

39306

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞEHİRİÇİ HABERLEŞME KABLOLARININ , YF PARAMETRELERİNİN
İNCELENMESİ ve 2 MBit/s' de KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

39306

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Güneş YILMAZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Haziran 1994

Tezin savunulduğu Tarih : 30 Kasım 1994

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Günsel DURUSOY - İ.T.Ü.

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Osman PALAMUTÇUOĞLU - İ.T.Ü.

Prof. Dr. Bülent SANKUR - B.Ü..

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

KASIM 1994

ÖNSÖZ

Sofya Teknik Üniversitesi 'nde başlamış olduğum " Doktora " eğitimi ve çalışmalarına , İstanbul Teknik Üniversitesi 'nde devam etme imkanı verildiği için , İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü 'ne teşekkür ederim .

Çalışma sırasında , her türlü ilgi ve desteği eksik etmeyen ve değerli görüşleriyle çalışmamı yönlendiren kıymetli hocam Prof. Dr. Günsel Durusoy 'a en içten hürmetlerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmaların büyük bir kısmını Türk - Siemens Kablo Fabrikası AR - GE laboratuvarlarında ve deney sahalarında yapmama kolaylık gösterildiği için firma yetkililerine teşekkür borçluyum.

Tezin bilgisayarda yazılmasına , tablo ve grafiklerin oluşturulmasında üstün yardımlarını gördüğüm mesai arkadaşlarım Fizik Müh. Bayram Kazancı , Mak. Müh. Ramazan Sipahi ve tüm emeği geçenlere müteşekkirim.

Yurtiçi ve yurtdışı çalışmalarım boyunca huzurlu çalışabilmem için her konuda çok anlayışlı olan eşim Halime Yılmaz , oğlum Ender ve kızım Sezen 'e teşekkür ederim.

İstanbul Teknik Üniversitesi

Elektrik-Elektronik Fakültesi

Haziran 1994

Y .Müh. Güneş Yılmaz

İÇİNDEKİLER

NOTASYON LİSTESİ.....	V
KISALTMALAR	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
TABLO LİSTESİ	XI
ÖZET	XIII
SUMMARY	XIV
BÖLÜM 1. GİRİŞ	01
BÖLÜM 2. SİMETRİK HABERLEŞME KABLOLARINDA BİRİNCİL VE İKİNCİL PARAMETRELERİN İNCELENMESİ	
2.1 Genel Bilgiler	08
2.2. Homogen hatların diferansiyel denklemi	12
2.3. Birincil parametrelerin sıcaklık ve frekansla değişimi	16
2.3.1. Hattın birim uzunluğunun çevrim direnci (R)	17
2.3.2. Hattın birim uzunluğunun endüktansı (L)	24
2.3.3. Birim Uzunluğunda Hat Parçasının İletkenleri Arasındaki Kısmi ve Efektif Kapasite (C).....	28
2.3.4. Birim uzunluğunda hat Parçasının İletkenleri Arasındaki Perditans.....	33
2.4. İkincil parametrelerin sıcaklık ve frekansla değişimi	35
2.4.1. Çok alçak frekanslarda ($f < 300$ Hz) değişim.....	35
2.4.2. Ses frekans bandında ($f = 300$ Hz - 10 kHz) değişim	36
2.4.3. Orta frekans bandında ($f = 10$ kHz - 100 kHz) değişim.....	37
2.4.4. Yüksek frekans bandında ($f > 100$ kHz) değişim.....	38
2.5. Transmisyon hatlarında yansıma	42
BÖLÜM 3. YAKIN VE UZAK UÇ DİYAFONİSİ	
3.1. Diyafoni olayının açıklaması	45
3.2. Kapasitif ve endüktif kuplajların analitik olarak incelenmesi.....	47

BÖLÜM 4. ŞEHİRİÇİ DAĞITIM KABLOLARININ SAYISAL HABERLEŞMEDE KULLANILMASI

4.1. Dağıtım şebekesi ile ilgili genel bilgiler	55
4.2. Yüksek frekanslarda çıkacak problemlerin ve etken faktörlerin belirlenmesi	59
4.3. 2B + D ve 30B + D sayısal haberleşmenin gelişmesi.....	63
4.3.1 Sayısal haberleşme	63
4.3.2 Örnekleme teoremi ve kodlama sistemleri	65
4.3.3 2B + D ve 30B + D sistemlerinin ISDN amacıyla gelişmesi	69
4.4. Bakır iletkenli çiftin kanal modeli ve kanal kapasitesi	71

BÖLÜM 5. YAPILAN İNCELEMELER VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Deney ve incelemelerin amacı	73
5.2. Ölçmelerin yapılması ile ilgili bilgiler ve kullanılan donatının tanıtılması	74
5.3. Teorik hesaplamaların pratik ölçme sonuçlarına uygunluğunun incelenmesi	77
5.4. Ses frekans dağıtım kablolarının 2 MBit/s sayısal haberleşmeye uygunluğunun araştırılması	92

SONUÇ	100
--------------------	------------

KAYNAKLAR.....	102
-----------------------	------------

EKLER	107
--------------------	------------

Ek - A Abone sayısı ve otomatik santral kapasitesinin son 10 yılda gösterdiği artış (%)	107
Ek - B Farklı tipten ses frekans haberleşme kablolarında Birincil parametrelerin frekansla değişimi.....	108
Ek - C Farklı tipten ses frekans haberleşme kablolarında İkincil parametrelerin frekansla değişimi.....	118
Ek - D Çok çiftli simetrik haberleşme kablolarında , yakın ve uzak uç diyafoni zayıflaması.....	129
Ek E - 2.048 MBit/s haberleşmesinde kullanılabilen maksimum hat uzunlukları	136
Ek - F Test ve deneylerde kullanılan cihazlar.....	138

ÖZGEÇMİŞ	139
-----------------------	------------

NOTASYON LİSTESİ

A_f	-----	Uzak uç diyafoni zayıflaması
A_n	-----	Yakın uç diyafoni zayıflaması
A_r	-----	Uygunsuzluk (refleksiyon) zayıflaması
A_t	-----	Direncin sıcaklıkla artma katsayısı
$2a$	-----	Çiftin iletken merkezleri arasındaki mesafe
C	-----	Hattın birim uzunluğunun kapasitesi
C_e	-----	Bir çiftin etken kapasitesi
D	-----	damar çapı
d	-----	Tel çapı
f	-----	Frekans [Hz]
f_N	-----	Nyquist frekansı
G	-----	Hattın birim uzunluğunun perditansı (kaçak iletkenlik)
L	-----	Hattın birim uzunluğunun endüktansı
R	-----	Hattın birim uzunluğunun çevrim direnci
r_o	-----	İletken yarı çapı
t_g	-----	Grup gecikmesi
$tg \delta$	-----	Dielektrik kayıp faktörü
t_p	-----	Faz gecikmesi
V_p	-----	Faz hızı
Y	-----	Hattın birim uzunluğunun admitansı
Z	-----	Empedans
Z_o	-----	Karakteristik empedans
α	-----	Zayıflama sabiti (Attenuation constant)
β	-----	Faz sabiti veya dalga uzunluğu sabiti
γ	-----	Propagasyon sabiti (Propagation constant)
δ	-----	Eşdeğer deri kalınlığı
ϵ_0	-----	Boşlugun dielektrik sabiti ($\epsilon_0 = 8.854 \text{ pF/ m}$)
ϵ_r	-----	Malzemenin bağıl dielektrik sabiti
χ	-----	Özgül iletkenlik [$S.m / mm^2$]
μ_0	-----	Boşluğun magnetik geçirgenliği ($\mu_0 = 4\pi.10^{-7} \text{ H / m}$)
μ_r	-----	Malzemenin bağıl geçirgenliği
ρ	-----	Özgül direnç [$ohm.mm^2 / m$]
ω	-----	$= 2.\pi.f$ - açısal frekans

KISALTMALAR

AC	- Alternating Current
AD	- Ana Demet
AMI	- Alternate , Mark Inversion
BRI	- Basic -Rate Interface (2B + D)
CCITT	- Comite Consultatif International Telegraphique et Telephonique
DC	- Direct Current
ELFEXT	- Equal Level Far End Crosstalk
FEXT	- Far End Crosstalk
HDB3	- High Density Bipolar of Order 3
ISDN	- Integrated Services Digital Network
LT	- Line Termination
NEXT	- Near End Crosstalk
PCM	- Pulse Code Modulation
PE	- Polyethylen
PP	- Polypropilen
PRI	- Primary Rate Interface (30B + D)
PVC	- Polyvinylchlorid
SER	- Symbol Error Rate / İşaret - Gürültü Oranı
TD	- Temel Demet
1"	- Bir çift
2B1Q	- Two Binary One Quaternary
2Y	- PE

ŞEKİL LİSTESİ

BÖLÜM 1.

Şekil 1.1	Otomatik telefon santrallarının hat kapasitesi	1
Şekil 1.2	100 kişi başına düşen telefon sayısı (1983 - 1993 arası nüfus artışı % 0. 692 olarak kabul edilmiştir.)	1
Şekil 1.3	Kişi başına telekomünikasyon yatırımı (\$)	2
Şekil 1.4	Dünyada telefon haberleşmesinde kullanılan farklı tipte kabloların % olarak şebekedeki ağırlığı	3

BÖLÜM 2.

Şekil 2.1	0.4 mm abone kablolarında kullanılan farklı tipte damarlar	8
Şekil 2.2	Dörtlü ve ikili sistemine göre damarların yerleşimi.....	9
Şekil 2.3	5 dörtlüden oluşan 10 çiftli temel demet ve 25 ikiliden oluşan 25 çiftli temel demetlerde çiftlerin yerleşimi	9
Şekil 2.4	50 ve 100 çiftli ana demetlerde, Temel Demetlerin yerleşimi.....	9
Şekil 2.5	300 ve 400 çiftli dağıtım kablo özlerinin şematik olarak kesiti	10
Şekil 2.6	900 ve 1200 çiftli dağıtım kablo özlerinin şematik olarak kesiti	10
Şekil 2.7	Şehir içi telefon şebekesinin yapısı.....	11
Şekil 2.8	İki telli Simetrik Transmisyon Hattının eşdeğer şeması	12
Şekil 2.9	Transmisyon Hattı.....	13
Şekil 2.10	İçerisi dolu silindirik bir telde yüksek frekans akım yoğunluğu ve efektif kesiti.....	18
Şekil 2.11	Yakın mesafede olan tellerden akan akımların birbirini etkilemesi.. ..	19
Şekil 2.12	Yakınlığın etkisinden dolayı direncin değişimi	20
Şekil 2.13	Bakır iletkenlerde efektif cidar kalınlığının frekansla değişimi	21
Şekil 2.14	0.4 ; 0.5 ; 0.6 ve 0.9 mm bakır iletkenli, dolgunuz ve dolgulu kablolarda çevrim direncinin frekansla değişimi	22
Şekil 2.15	İki telli transmisyon hatlarında endüktansın frekansla değişimi	26

Şekil 2.16	Ekranlı çiftin kısmi kapasiteleri	29
Şekil 2.17	Ekranlı dörtlüde kısmi kapasitelerin şekli	29
Şekil 2.18	Som ve Köpüklü PE izolasyonlu damarlarda , damar kapasitesinin D/d oranıyla değişimi	31
Şekil 2.19	Dağıtım kablolarında, kablo efektif kapasitesinin damarların D/d oranıyla değişimi	32
Şekil 2.20	İletkenler arası yalıtkan malzemedeki kayıplar	33
Şekil 2.21	0.4/0.7 tipi kablolarda hat zayıflaması α_1 , α_2 , α_3 ve α_g ' nin frekansla değişimi	39
Şekil 2.22	0.6 / 1.10 tipi kablolarda hat zayıflaması α_1 , α_2 , α_3 ve α_g ' nin frekansla değişimi	39
Şekil 2.23	0.4/0.7 tipi kablolarda faz sabiti β_1 , β_2 , β_3 ve β_g ' nin frekansla değişimi	40
Şekil 2.24	0.4 /0.70 tipi kablolarda Z_1 , Z_2 , Z_3 ve Z_g ' nin frekansla değişimi	41
Şekil 2.25	Sonu herhangi bir empedansla kapatılmış sınırlı uzunlukta transmisyon hattı.	42

BÖLÜM 3.

Şekil 3.1	Yakın ve uzak uç diyafonisi	45
Şekil 3.2	Aynı kablo içinde çiftler arası kapasitif ve endüktif kuplajlar	47
Şekil 3.3	Kuplajlardan kaynaklanan akımlar	49
Şekil 3.4	Yakın uç diyafoni zayıflamasının frekansla değişimi (k = 5 ve 50 pF) (m = 10 ve 50 nH)	53
Şekil 3.5	Uzak uç diyafoni zayıflamasının frekansla değişimi (k = 5 ve 50 pF) (m = 10 ve 50 nH)	53
Şekil 3.6	Farklı kapatma empedanslarında yakın uç diyafoni zayıflamasının frekansla değişimi	54
Şekil 3.7	Farklı kapatma empedanslarında uzak uç diyafoni zayıflamasının frekansla değişimi	54

BÖLÜM 4.

Şekil 4.1	Döşenmiş abone hat uzunluklarının % olarak dağılımı	57
Şekil 4.2a	Farklı uzunluklarda abone hat sayısının % olarak dağılımı	58

Şekil 4.2b	Şehiriçi telefon şebekesine döşenen farklı tip kabloların % olarak dağılımı	58
Şekil 4.3	Örnekleme , kuantalama ve kodlama	64
Şekil 4.4	İkili sayının tek ve çift kutuplu işareti	67
Şekil 4.5	İkili kaynak işaretinin AMI sistemine göre kodlanması	67
Şekil 4.6	HDB 3 kodu	67
Şekil 4.7	AMI , HDB 3 ve 2B 1Q kodlama sistemlerinde gönderilen 2,048 MBits işaretin normalize edilmiş güç spektrum yoğunluğu	68
Şekil 4.8	1993 yılının sonunda bazı Avrupa ülkelerinde 2B+D ve 30B+D sistemleri ile ISDN hizmetinden yararlanan abonelerin sayısı	69
Şekil 4.9	Almanya , Fransa ve B.Britanya'da 2B+D ve 30B+D sistemleri ile ISDN hizmetinden yararlanan abone sayısı (1993 yılı)	70
Şekil 4.10	a) 2B + D sistemi ile ISDN hizmetinden yararlanacak abone sayısının tahmini gelişmesi.....	70
	b) 30 + D sistemi ile ISDN hizmetinden yararlanacak abone sayısının tahmini gelişmesi	70
Şekil 4.11	Şehir içi dağıtım kablosunda , bir çiftin kanal modeli	71

BÖLÜM 5.

Şekil 5.1	Hat zayıflaması ve faz sabiti ölçme şeması	74
Şekil 5.2	Yakın uç diyafoni zayıflamasının ölçme şeması	75
Şekil 5.3	Uzak uç diyafoni zayıflamasının ölçme şeması	75
Şekil 5.4	Darbelelerin bozucu etkisinin ölçme şeması	75
Şekil 5.5	Karakteristik empedans ölçme şeması	76
Şekil 5.6	0.4 ; 0.5 ; 0.6 ; ve 0.9 mm dolgulu ve dolgusuz kablolarda çevrim direncinin frekansla değişimi	78
Şekil 5.7	Dolgusuz ve dolgulu kabloların çevrim dirençleri arasındaki fark a/ ohm/km olarak ve b/ % olarak	79
Şekil 5.8	Dolgusuz kablolarda self endüktansın frekansla değişimi	80
Şekil 5.9	Dolgulu kablolarda self endüktansın frekansla değişimi	80
Şekil 5.10	PD- AP - A 30 x 2 x 0.4 / 0.7 tipi kablolarda efektif kapasitenin sıcaklıkla değişimi	81

Şekil 5.11	Dolgulu ve dolgusuz kablolarda perditansın frekansla değişimi.....	82
Şekil 5.12	Yakın uç diyafoni zayıflaması ölçmelerinde 1dB hata ile hattın sonsuz olduğu kabul edilebilen minumum uzunluklar.....	88
Şekil 5.13	Yakın uç diyafoni zayıflamasının kapasitif kuplajların büyüklüğüne göre değişimi	89
Şekil 5.14	Yakın uç diyafoni zayıflamasının endüktif kuplajların büyüklüğüne göre değişimi	89
Şekil 5.15	Uzak uç diyafoni zayıflamasının kapasitif kuplajların büyüklüğüne göre değişimi	90
Şekil 5.16	Farklı gruplar arası yakın uç diyafoni zayıflamasının frekansla değişimi	91
Şekil 5.17	Farklı gruplar arası uzak uç diyafoni zayıflamasının frekansla değişimi	92



TABLO LİSTESİ

BÖLÜM 2.

Tablo 2.1	0.4 ve 0.5 mm tel çaplı kablolarda çevrim direnci R'nin frekansla değişimi	23
Tablo 2.2	0.6 ve 0.9 mm tel çaplı kablolarda çevrim direnci R'nin frekansla değişimi	23
Tablo 2.3	0.4 / 0.70 ve 0.4/0.84 damarlı kablolarda endüktans bileşenlerinin frekansla değişimi	27
Tablo 2.4	0.5/0.86 ve 0.5/1.04 damarlı kablolarda endüktans bileşenlerinin frekansla değişimi	27
Tablo 2.5	Telefon şebekesine döşenen sekiz farklı tip kablonun D/d oranları	32
Tablo 2.6	Dolgulu ve dolgusuz kablolarda perditansın frekansla değişimi	34
Tablo 2.7	Sekiz tip dağıtım kablosunda gerçek hat zayıflaması α_g 'nin frekansla değişimi	40
Tablo 2.8	Sekiz tip dağıtım kablosunda grup gecikmesi t_g 'nin frekansla değişimi	41

BÖLÜM 4.

Tablo 4.1	Telefon şebekesine döşenen dağıtım kablolarının DC çevrim direnci ve 1 KHZ 'deki zayıflaması (PTT şartnamesine göre)	57
Tablo 4.2	PTT'nin dağıtım kabloları şartnamesine göre maksimum hat	59
Tablo 4.3	Döşenen max. uzunlukların farklı frekanslardaki hat zayıflaması	60
Tablo 4.4	Dağıtım kablolarının dört farklı frekanstaki karakteristik empedansı	61
Tablo 4.5	Efektif kapasitesi farklı olan kablolarda karakteristik empedansın frekansla değişimi	62
Tablo 4.6	İkili bitlerin 2B1Q sistemine kodlanması	68

BÖLÜM 5.

Tablo 5.1	Dolgulu ve dolgusuz kablolarda tel ve damar çapları	77
Tablo 5.2	Çevrim direnci hesaplama formüllerinin geçerli olduğu frekans bandları	78

Tablo 5.3	0.4/0.70 ve 0.4/0.84 tipi kablolarda α_z ve α_g değerleri ve aralarındaki fark (dB ve % olarak)	83
Tablo 5.4	0.51/0.86 ve 0.5/1.04 tipi kablolarda α_z ve α_g değerleri ve aralarındaki fark (dB ve % olarak).....	84
Tablo 5.5	Tel çapları eşit , dolgunsuz ve dolgulu kabloların hat zayıflamaları	
Tablo 5.6	arasındaki farkın frekansla değişimi a) (0.4/0.70 - 0.4/0.84) ve (0.5/0.86 - 0.5/1.04) b) (0.6/1.1 - 0.6/1.40) ve (0.9/1.64 - 0.9/2.0)	84
Tablo 5.7	Karakteristik empedans hesaplama formüllerinin geçerli olduğu frekans bandları	85
Tablo 5.8	Tel çapı 0.4 ve 0.5 mm olan dolgulu ve dolgunsuz kablolarda hesaplanan Z_h ve Z_g 'nin frekansla değişimi	86
Tablo 5.9	Tel çapı 0.6 ve 0.9 mm olan dolgulu ve dolgunsuz kablolarda hesaplanan Z_h ve Z_g 'nin frekansla değişimi	86
Tablo 5.10	Yakın uç diyafoni zayıflamasının hat uzunluğundan bağımsız olduğu kabul edilebilen minimum uzunluklar	88
Tablo 5.11	18 farklı durum için çiftler arası gürültü kaynakları	93
Tablo 5.12	Dağıtım kablolarının 2.048 M bit/s haberleşmesi için kullanıldığında 2B1Q kodlama sistemine göre maximum hat uzunlukları (Q =15 dB)	94
Tablo 5.13	Dağıtım kablolarının 2.048 M bit / s haberleşmesi için kullanıldığında HDB3 kodlama sistemine göre maximum hat uzunlukları (Q =15 dB)	95
Tablo 5.14	Dağıtım kablolarının 2.048 M bit / s haberleşmesinde kullanıldığında , 2B1Q kodlama sisteminde gürültü kanal için maksimum hat uzunlukları	96
Tablo 5.15	Dağıtım kablolarının 2.048 M bit/s haberleşmesinde kullanıldığında HDB3 kodlama sisteminde gürültü kanal için maksimum hat uzunlukları	97
Tablo 5.16	Tel çapı 0.4 ve 0.5 mm olan kablolarda çiftlerin % 10 ve % 20 ' si üzerinden 2B1Q kodlama sistemine göre 2.048 MBit/s enformasyon taşıyabilen max. uzunluklar (L max. (Q))	98
Tablo 5.17	Tel çapı 0.4 ve 0.5 mm olan kablolarda çiftlerin % 10 ve % 20 ' si üzerinden HDB3 kodlama sistemine göre 2.048 MBit/s enformasyon taşıyabilen max. uzunluklar (L max. (Q))	98
Tablo 5.18	Tel çapı 0.4 ve 0.5 mm olan kablolarda çiftlerin % 50 ve % 100 ' ü üzerinden 2B1Q kodlama sistemine göre 2.048 MBit/s enformasyon taşıyabilen max. uzunluklar (L max. (Q))	98
Tablo 5.19	Tel çapı 0.4 ve 0.5 mm olan kablolarda çiftlerin % 50 ve % 100 ' ü üzerinden HDB3 kodlama sistemine göre 2.048 MBit/s enformasyon taşıyabilen max. uzunluklar (L max. (Q))	99
Tablo 5.20	Farklı tip kablolarda , 512 kHz ve 1024 kHz ' de hat zayıflaması $\alpha_g = 40$ dB olan uzunluklar	99

ÖZET

Teknolojinin bugünkü seviyesinde gerekli incelemeler yapıp önlemler alındığında , dağıtım kablolarının bir kısmında , bakır iletkenli çift üzerinden 2.048 MBit/s sayısal haberleşme , teknik açıdan mümkün , ekonomik açıdan uygun ve gelecek 10 - 15 yıl içerisinde abonelerin büyük çoğunluğu için yeterli olacağı düşünülmektedir. Dolayısıyla mevcut telefon şebekesinde ses frekans dağıtım kablolarının yüksek frekans parametrelerini inceleyip , ne oranda 2 MBit /s sayısal haberleşmede kullanılabileceğinin araştırılması faydalı olacaktır. Bu çalışmada deney ve incelemeler iki yönde yapılmıştır.

1. Teorik hesaplamaların , pratik ölçmeler ve deney sonuçlarıyla ne derece bağdaştığının incelenmesi ;

1 kHz - 10 MHz frekans bandında geçerli olmak üzere teorik hesaplamalarla bulunan kablo birincil ve ikincil parametreleri , yakın uç ve uzak uç diyafoni zayıflaması değerleri , dağıtım şebekesinde kullanılan 0.4 mm , 0.5 mm , 0.6 mm ve 0.9 mm çapında bakır iletkenli PD - AP- A ve PDF tipi kablolarda yapılan incelemeler ve deney sonuçları ile kıyaslanmış , formüllerin çok az hata ile (< %3 veya < %2) geçerli olduğu frekans bandları tesbit edilmiştir. Ayrıca hat zayıflaması ve karakteristik empedansı hesaplama formüllerine frekansla değişen düzeltme faktörü ilavesi teklif edilmiştir. Çok çiftli kablolarda , çiftler arası diyafoni etkisi daha net incelenebilmesi için bozucu etkinin şiddetine göre 5 gruba ayrılmış ve her grup için ampirik formüller teklif edilmiştir.

2. Dağıtım Kablolarının 2 MBit/s Hızında Sayısal Haberleşmeye Uygunluğunun İncelenmesi

Telefon şebekesi olarak döşenen ses frekans dağıtım kabloları 1 kHz - 2 MHz arası kullanıldığında , hat zayıflaması yapısal düzgünsüzlükler ve eklerden (muflardan) gelen yansımalar , komşu çiftler arası diyafoni gibi faktörlerin etkisi , yüksek rekanslarda çok daha şiddetlidir. 2 MBit /s sayısal haberleşmede kullanılan HDB3 kodu ($f_N = 1.024$ kHz) yerine , 2B1Q kodu ($f_N = 512$ kHz) kullanıldığında , hattaki zayıflama ~ % 25 - 30 az olur , diyafoni zayıflaması ise 3 - 4 dB daha yüksektir. Bunun sonucu olarak 2B1Q kodlama sistemi , kullanabilen maksimum kablo uzunluklarının ~ % 45 kadar artmasını sağlar. Bu tezde telefon şebekesine döşenen toplam 8 tip , dolgulu ve dolgunsuz kablonun gerçek kanal kapasitesinin frekansla değişimi incelenmiş , 512 kHz ve 1024 kHz ' de maksimum kullanılabilen uzunluklar tesbit edilmiştir. Aynı temel demet içinde birden fazla (2 , 3 , 4 ve 5) çiftin 2 MBit/s hızında haberleşme kanalı olarak kullanıldığında maksimum uzunlukların ne oranda azaldığı gösterilmiştir. Çift sayısı 10 ile 1200 arası değişen 0.4 mm , 0.5 mm , 0.6 mm ve 0.9 mm bakır telli kablolarda , çiftlerin % 10 , % 20 , . % 50 ve % 100 ' ü iletişim hızı 2 MBit / s sayısal haberleşmede kullanıldığında , işaret gürültü oranı 15 dB ' den az olmaması şartıyla maksimum hat uzunlukları tesbit edilmiştir.

SUMMARY

The total investment in order to install copper wire cable network around the world is over 400 billion dollars. The share of local cables in total investment of telecommunication systems is approximately 20-30 %. This ratio is around 19.6 - 30.34 % for the Turkish PTT between 1985-1990. However, the existent copper telecommunication cables are only used in voice frequency band. Although, the total investment costs are quite high for these cables, they are unable to meet broad band telecommunication service requirements of subscribers with new technological developments.

This type of service will be supplied over fiber optic cables in B-ISDN with a transfer speed of over 140 M Bit/s. In order to realize such a system, a long time (around 15-20 years) and a large investment are necessary. On the other hand, a copper conductor telephone network with a large investment value is existent and it is used inefficiently only in narrow frequency band. Therefore, the existent copper wire telecommunication cable will be the backbone of telecommunication in subscriber line for a long time (15-20 years)

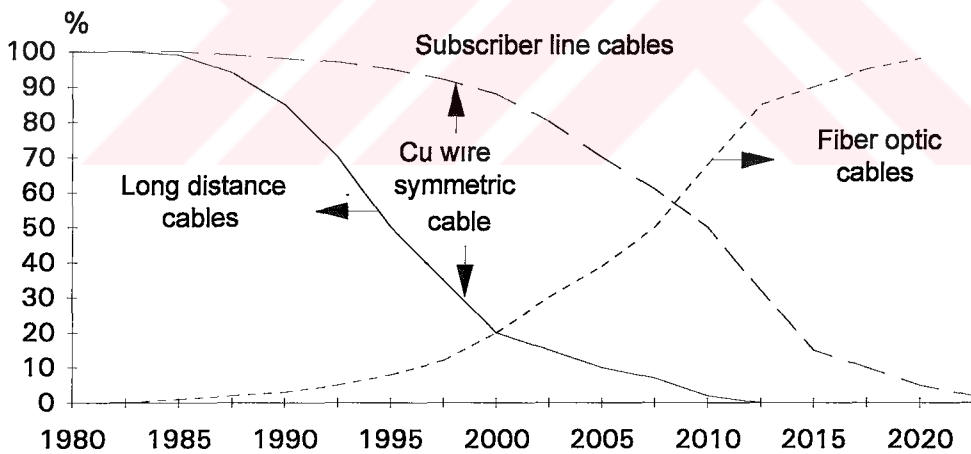


Figure 1.4 The Amount of Different Type of Cables Used in World's Telephone Network

So all PTTs investigate new ways to work on this telephone network system in the world. It is clear that the data transfer over 10 MBit/s and higher speeds in subscriber line is not economically and technically suitable. However, when necessary measures are taken in today's technological level it is possible to achieve 2.048 M Bit/s digital communication over copper conductor pairs in most of the local cables. It is thought that this will be economically suitable and will meet the needs of most of the subscribers within next

10-15 years. At this point, it is worthy to study the possibility of using voice frequency cables in 2.048 MBit/s digital communication by investigating high frequency parameters.

1. Verification of theoretical calculation with practical measurements and experimental results

Before going to details, some informations about different types of insulated voice - frequency local telephone cables, unit composed of definite numbers of cores, main unit and cable core are given.

In theoretical analysis, primary parameters(loop resistance of pair, self inductance, effective capacity and perditans), secondary parameters of cables (attenuation phase constant, characteristic impedance, group delay), cross-talk between pairs, reflections caused by imperfections through the line has been examined. In a frequency band between 1kHz - 10 MHz, theoretical calculated values of primary and secondary parameters of cables, Far and Nearend crosstalk attenuation and experimental values has been found to be the same with a very small error percentage (less than 2 or 3 %) for the local cables with different conductor diameters (0.4, 0.5, 0.6 and 0.9 mm in PD and PDF type cables). Depending on the changing characteristics of the parameters, the studies have been carried out in three different frequency bands,

- a) Voice - frequency band (300 Hz-10 kHz)
- b) Medium frequency band (10 kHz-100 kHz)
- c) High frequency band (higher than 100 kHz).

The boundaries of these frequency bands change depending on conductor diameter and type of the cable. For the evaluation of the loop resistance, 1 kHz - 10 MHz band has been divided into 5 parts and different formulas have been applied for each part. Line attenuation and cross-talk calculations include different constant values depending on the cable type and frequency.

The line attenuation and phase constant increase continuously by frequency. The change of α_1 , α_2 , α_3 by frequency shown in figure (2.21) are according to equations (2.55), (2.61), (2.68). It is shown that $\alpha_g = \alpha_2$ for low frequencies and $\alpha_g = \alpha_3$ for high frequencies.

The experiments show that α_2 is the nearest to real value. The difference between α_g (real line attenuation) and α_2 is between % 0.5 - % 1 for low frequency. When frequency increase, this difference also increase that occur %8 at 512 kHz and % 10 at 1024 kHz.

As required correction factors which change by frequency are added to α_2 values. Empirical formulas for different types of cables are as follows:

For Unfilled Cables

0.4 / 0.7	$\alpha_g = \alpha_2 + 2.0 \cdot (f)^{0.8}$	[dB]
0.5 / 0.86	$\alpha_g = \alpha_2 + 2.3 \cdot (f)^{0.7}$	[dB]
0.6 / 1.1	$\alpha_g = \alpha_2 + 2.5 \cdot (f)^{0.6}$	[dB]
0.9 / 1.64	$\alpha_g = \alpha_2 + 2.5 \cdot (f)^{0.55}$	[dB]

For Filled Cables

0.4 / 0.84	$\alpha_g = \alpha_2 + 2.5 \cdot (f)^{0.9}$	[dB]
0.5 / 1.04	$\alpha_g = \alpha_2 + 2.6 \cdot (f)^{0.65}$	[dB]
0.6 / 1.4	$\alpha_g = \alpha_2 + 2.8 \cdot (f)^{0.7}$	[dB]
0.9 / 2.0	$\alpha_g = \alpha_2 + 2.8 \cdot (f)^{0.8}$	[dB]

The frequency must be taken in MHz for correction factor.

To study the crosstalk effect in detail between pairs in multipair cables, the crosstalk sources are divided into 5 groups depending on the level of distortion effect. Empirical formulas are also applied for each group.

The groups are given below

a) Cross-talk loss between two pairs in a quad,

$$\begin{aligned} a_{n1} &= 49.2 - 10.5 \lg(f) & [\text{dB}] \\ a_{f1} &= 44.0 - 17.2 \lg(f) & [\text{dB}] \end{aligned}$$

b) Cross-talk loss between two pairs in different quads of a unit,

$$\begin{aligned} a_{n2} &= 53.0 - 17.1 \lg(f) & [\text{dB}] \\ a_{f2} &= 52.0 - 17.4 \lg(f) & [\text{dB}] \end{aligned}$$

c) Cross - talk loss between pairs of different units , in main units,

$$\begin{aligned} a_{n3} &= 62.0 - 15.5 \lg(f) & [\text{dB}] \\ a_{f3} &= 56.0 - 18.4 \lg(f) & [\text{dB}] \end{aligned}$$

d) Cross-talk loss between pairs of adjacent main units,

$$\begin{aligned} a_{n4} &= 78.0 - 14.4 \lg(f) & [\text{dB}] \\ a_{f4} &= 67.5 - 19.5 \lg(f) & [\text{dB}] \end{aligned}$$

e) Cross-talk loss between pairs of non-adjacent main units.

$$a_{ns} = 82.0 - 13.5 L_g (f) \quad [dB]$$

$$a_{fs} = 71.0 - 21.0 L_g (f) \quad [dB]$$

Where a_n - near end crosstalk [dB]

a_f - far end crosstalk [dB]

f - [MHz]

2. Study on application properties of local telephone cables in digital communication at a speed of 2 MBit/s.

When the voice frequency local cables which are installed as telephone network are used in the range of 1 kHz - 2 MHz, the damaging effects from factors like line attenuation, structural irregularities, reflections from joints and cross-talk between adjacent pairs are more distinctive at high frequencies.

The line attenuation decreases by ~25-30 % and cross-talk loss increases by 3-4 dB when the code HDB3 ($f_N = 1024$ kHz) is replaced by the code 2B1Q ($f_N = 512$ kHz) digital communication at 2 MBit/s. As a result of this, the coding system 2B1Q allows to increase the maximum allowable cable length by ~45 %. In this thesis, the total of 8 types of filled and unfilled cables which have been installed in a telephone network have been examined for their real channel capacity variation with the frequency and maximum allowable lengths have been found at 512 and 1024 kHz. The decreasing ratio of maximum lengths has been shown when more than one pair (2, 3, 4 and 5) has been used as a telecommunication channel at 2 Mbit/s within the same subunit. Maximum line lengths with the condition that the signal to noise ratio should not be less than 15 dB, have been determined in 0.4, 0.5, 0.6 and 0.9 diameter copper wire multipair cables, where the pair number is between 10 and 1200, and 10 %, 20 %, 50 %, and 100 % of pairs are used in 2 Mbit/s. For different types of cables these lengths are given in the following tables.

Table 1. The maximum loop lengths can be used according to 2B1Q code system for 2.048 MBit/s transmission

Cables Number of Pairs	0.4 / 0.70		0.4 / 0.84		0.5 / 0.86		0.5 / 1.04	
	10% L max (km)	20% L max (km)	10% L max (km)	20% L max (km)	10% L max (km)	20% L max (km)	10% L max (km)	20% L max (km)
10"	3.946	2.735	4.208	2.917	4.877	3.381	5.183	3.593
20"	3.278	2.667	3.496	2.844	4.052	3.296	4.306	3.503
30"	3.087	2.612	3.292	2.786	3.815	3.229	4.054	3.431
50"	2.895	2.527	3.088	2.695	3.578	3.124	3.803	3.320
100"	2.671	2.387	2.848	2.546	3.301	2.950	3.508	3.135

Table 2. The maximum loop lengths can be used according to HDB3 code system for 2.048 MBit/s transmission

Cable's Number of Pairs	0.4 / 0.70		0.4 / 0.84		0.5 / 0.86		0.5 / 1.04	
	10% L ma (km)	20% L ma (km)	10% L ma (km)	20% L ma (km)	10% L ma (km)	20% L ma (km)	10% L ma (km)	20% L ma (km)
10"	2.854	1.740	3.019	1.841	3.485	2.125	3.723	2.270
20"	2.155	1.695	2.280	1.794	2.631	2.070	2.811	2.212
30"	2.016	1.659	2.133	1.755	2.461	2.025	2.630	2.164
50"	1.878	1.601	1.986	1.694	2.292	1.955	2.449	2.089
100"	1.715	1.504	1.815	1.591	2.094	1.836	2.238	1.962

Table 3. The max. loop length which 2.048M Bit/s can be transmitted on % 50 and %100 of pairs for 0.4 and 0.5 mm wire diameter of cables according to 2B1Q coding system

Cable's Number of Pairs	0.4/0.70		0.4/0.84		0.5/0.86		0.5/1.04	
	% 50 Lma (km)	% 100 Lma (km)	% 50 Lma (km)	% 100 Lma (km)	% 50 Lma (km)	% 100 Lma (km)	% 50 Lma (km)	% 100 Lma (km)
10"	2.352	2.054	2.508	2.191	2.907	2.539	3.089	2.699
20"	2.307	2.023	2.461	2.158	2.852	2.501	3.031	2.658
50"	2.205	1.946	2.352	2.076	2.726	2.406	2.896	2.557
100"	2.090	1.853	2.229	1.976	2.584	2.290	2.746	2.433
300"	2.187	1.932	2.332	2.060	2.703	2.388	2.872	2.537
600"	2.066	1.832	2.203	1.954	2.554	2.264	2.714	2.406
1200"	2.039	1.809	2.175	1.929	2.521	2.236	2.679	2.376

Table 4. The max. length which 2.048 MBit/s can be transmitted on %50 and %100 of pairs for 0.4 and 0.5 mm wire diameter of cable according to HDB3 coding system

Cables Number of Pairs	0.4/0.70		0.4/0.84		0.5/0.86		0.5/1.04	
	% 50 Lma (km)	% 100 Lma (km)	% 50 Lma (km)	% 100 Lma (km)	% 50 Lma (km)	% 100 Lma (km)	% 50 Lma (km)	% 100 Lma (km)
10"	1.463	1.273	1.548	1.347	1.786	1.554	1.909	1.661
20"	1.434	1.250	1.517	1.323	1.751	1.526	1.871	1.631
50"	1.366	1.194	1.445	1.263	1.667	1.458	1.781	1.557
100"	1.287	1.125	1.361	1.190	1.571	1.374	1.679	1.468
300"	1.354	1.184	1.432	1.252	1.653	1.445	1.766	1.544
600"	1.271	1.111	1.345	1.176	1.552	1.357	1.658	1.450
1200"	1.254	1.095	1.326	1.159	1.531	1.337	1.635	1.429

The lengths given in table 5 valid for the homogeneous separation of HF pairs in groups. In practical applications there is also another factor which limits the loop length. It is required that the line attenuation between 2 repeaters or subscriber lines must be less than 40 dB. The max.lengths used for different types of cables according to this limitation are given on Table 5.

Table 5. The lengths of which the line attenuation is 40 dB at 512 kHz and 1024 kHz for different types of cables (L - km)

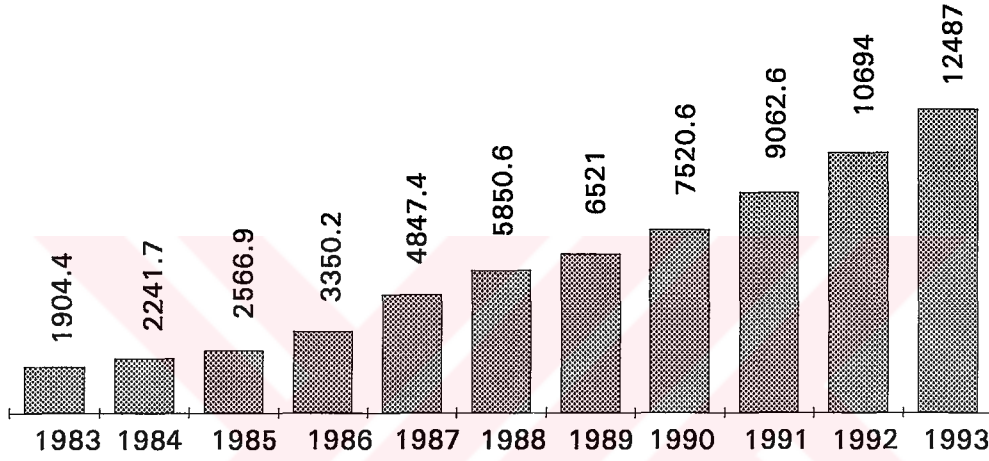
2B1Q	0.4/0.7	0.4/0.84	0.5/0.86	0.5/1.04	0.6/1.10	0.6/1.40	0.6/1.64	0.9/2.0
2B1Q (512 kHz)	2.55	2.72	3.15	3.34	3.78	4.10	5.37	5.70
HDB3 (1024 kHz)	1.84	1.95	2.25	2.40	2.70	2.89	3.80	3.60

When using 2.048 MBit/s communication on local telephone network, 50% of the subscriber line lengths can be used with HDB3 coding system, on the other hend 73% of them can be used with 2B1Q coding system.



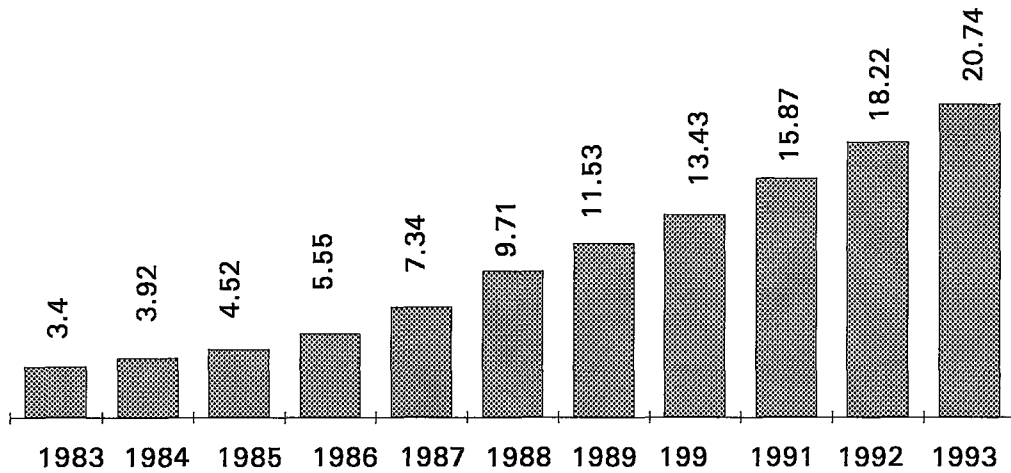
BÖLÜM 1. GİRİŞ

Haberleşme hizmetleri giderek modern ekonominin sinir sistemini oluşturmaktadır. Ülkemizde otomatik telefon hizmetinin başlatıldığı 1926 yılından ,1990 yılı sonuna kadar, otomatik santral kapasitesi 7.500.000 hattı geçmiştir. 1993 yılı sonunda ise %80 sayısal olmak üzere toplam 12.500.000 hatlık kapasiteye ulaşmıştır.



Şekil 1.1 Otomatik telefon santrallerinin hat kapasitesi (x 1000)

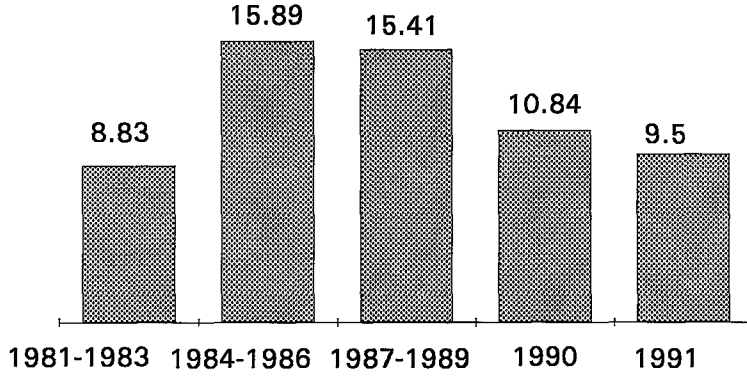
1983 yılından bugüne telefon yoğunluğu % 3,4 'ten , % 21'e çıkan Türkiye 'de telekomünikasyondaki gelişme bir çok alandaki kalkınmanın çok üzerindedir [1].



Şekil 1.2 100 kişi başına düşen telefon sayısı (1983-1993 arası ortalama nüfus artışı %o 6.92 olarak kabul edilmiştir.)

Son on yılda otomatik telefon kapasitesinin artışı ortalama ~ % 20,36 / yıl ve

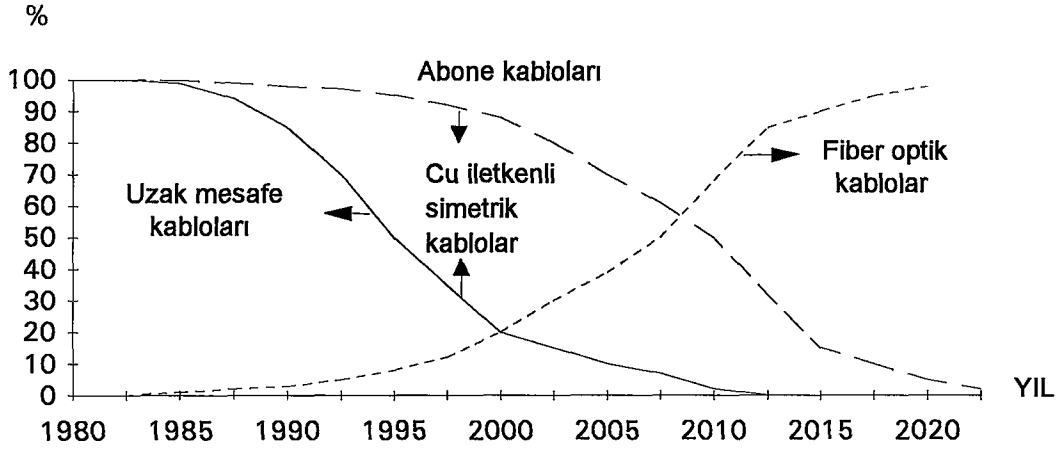
yatırımının gelire oranı, 1990 yılında % 29,79 ile OECD ülkeleri ortalamasından yaklaşık % 5 daha yüksek iken, AT ortalaması % 37,13 ' den düşüktür. 1980-90 yılları arasında ağ genişletmesi ve çağdaşlaştırılması için 7 milyar dolardan fazla yatırım yapılan Türkiye ' de , kişi başına telekomünikasyon yatırımı ~ 9 ile 16 dolar arasındır [1].



Şekil 1.3 Kişi Başına Telekomünikasyon Yatırımı (US \$)

Telefon şebekesi üzerine yapılan parasal yatırım önemli bir yüzdeye sahiptir. Dünyada abone kablosunun toplam telekomünikasyon sistemlerindeki harcama payı % 25- 30 civarlarındadır [2]. Bu değer Türk PTT ' si için 1985 ile 1990 arası yapılan yatırımlarda % 19,6 ile % 30,34 arası değişmiştir [3]. Ancak , böyle büyük yatırımlarla kurulan bakır iletkenli dağıtım şebekesinin son teknolojik gelişmeler ve abonelerin beklentileri doğrultusunda gündeme gelen , geniş bantlı , renkli videotelefon , renkli videokonferans , yüksek kaliteli TV gibi hizmetleri verme imkanı bulunmamaktadır.

Bugün var olan şebekeler tarafından sağlanamayan hizmetler , Geniş Bantlı Tümüleşik Hizmetler Sayısal Şebekesi (B - ISDN) tarafından sağlanabilecektir. Günümüzde bilinen tüm telekomünikasyon hizmetlerini sağlayabilecek olan B-ISDN şebekelerinde iletişim hızı 140 MBit/s ' nın üzerindedir. Yüksek hız nedeniyle iletişim ortamı olarak fiber optik kablolar ve optik bağlama elemanları kullanıldığından, her aboneye ulaşan bakır iletkenli simetrik haberleşme kabloların yerine fiber optik kablo döşenmesi gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için hem uzun süreye (15-20 yıl), hem büyük yatırımlara ihtiyaç vardır. Bir taraftan da milyarlarca lira harcanarak , döşenmiş bakır iletkenli kabloların oluşturduğu telefon şebekesi vardır.



Şekil 1.4 Dünyada telefon haberleşmesinde kullanılan farklı tipte kabloların % olarak şebekedeki ağırlığı [4]

Hatta bundan sonraki yatırımlarda da aynı kablo kullanılmaya devam etmektedir. Bakır iletkenli kablo şebekesini kurmak için yapılan yatırımlar dünya çapında 100 milyar doların üzerindedir [4]. Hiçbir PTT bu ölçüdeki bir yatırımı bir anda göz ardı edemez ve şebekenin daha iyi çalıştırılması için yollar arar. Dolayısı ile , abone hatlarında kullanılan bakır iletkenli kablolar daha uzun süre haberleşmenin belkemiği olacaktır. Elbette abone hattından 10 MBit/s ve daha yüksek hızda data transferi teknik ve ekonomik açıdan uygun değildir. Ancak teknolojinin bugünkü seviyesinde ve gerekli önlemler alındığında , dağıtım kablolarının büyük bir kısmında abone hattını oluşturan bakır iletkenli çift üzerinden siyah beyaz görüntülü telefon , videokonferans , görüntülü bilgi bankası sistemi ve yüksek hızda veri transferini sağlayan 2.048 MBit/s sayısal haberleşmenin ($H_{12} = 30B+D$ kanalları) , teknik açıdan mümkün , ekonomik açıdan uygun ve gelecek 10 - 15 yıl içerisinde abonelerin büyük bir kısmı için yeterli olacağı düşünülmektedir.

Şehir içi telefon şebekesine döşenmiş olan , çok çiftli ses frekans kablolarının ne oranda 2.048 MBit/s sayısal haberleşmede kullanılabileceği hakkında bir karar verilmesi için , söz konusu kabloların yüksek frekans parametrelerinin incelenmesi gerekir.

Kablonun özelliklerinden kaynaklanan , haberleşme mesafesini kısaltan ve kalitesini bozan önemli etkenler , işaret seviyesinin hat boyunca küçülmesine neden olan hat zayıflaması , komşu çiftlerden gelen gürültünün ne oranda sınırlandırıldığını gösteren diyafoni zayıflaması , empedans

dalgalanmalarının neden olduğu yansımaların zayıflaması , faz sabiti grup gecikmesi gibi frekansla değişen parametrelerle tanımlanır. Çok çiftli kablolar , yüksek frekans haberleşmesi amacıyla kullanıldığında , işaret gürültü oranını ve bununla birlikte kullanılabilen maksimum hat uzunluklarını belirleyen en önemli iki faktör ; işaret seviyesini düşüren hat zayıflaması ve gürültü seviyesini belirleyen diyafoni zayıflamasıdır.

Farklı tipten kablolarda bu iki parametrenin frekansla değişimini inceleyen çalışmalar vardır. Bu çalışmaların bir kısmında hat zayıflaması ve empedansın frekansla değişimi , diğer bir kısmında ise kapasitif ve endüktif kuplajlardan dolayı meydana gelen diyafoni olayının frekansla değişimi incelenmiştir.

Diyafoni olayının haberleşme üzerinde etkisi ilk defa 1905-1912 yıllarında G. Campbell ' ın yaptığı çalışmalarla başlamıştır [5] . 1922 yılında K. Kümpmüller çok çiftli kablolarda , diyafoni etkisini yaratan en önemli nedenin bükülmüş çiftler arasındaki kapasitif kuplajlar olduğunu tespit etmiş ve ekranlanmış bir dörtlüde (quad) kısmi kapasitelerin ve damarların ekrana karşı kapasite dengesizliğinin kapasitif kuplajları nasıl etkilediğini göstermiştir [6] .

D. Vogelsberg (1970) kapasitif kuplajları direkt ve indirekt kuplajlar olarak iki gruba ayırmış , direkt kuplajların çok daha etken olduğunu ve kablo uzunluğunun karekökü ile orantılı olarak arttığını , indirekt kuplajların ise hiç artmadığını açıklamıştır [7]

U. Peters (1980) , 1000 çiftli kağıt izoleli , 100 ve 20 çift polietilen izoleli, iletken çapı 0.6 mm , yıldız dörtlü sistemine göre bükülmüş uzak mesafe haberleşmesinde kullanılan kabloların , 8.848 MBit/s (PCM 120) sistemleri ile transmisyon ortamı olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır [8] . U. Peters bu çalışmalarında hat ikincil parametreleri , (zayıflama karakteristik empedans ve faz sabiti) ile birlikte haberleşmenin kalitesini bozan darbe gürültüsünü de incelemiş ve :

- Aynı dörtlüdeki çiftlerin , biri gidiş , biri dönüş yönünde kullanılmasının sakıncalı olduğu ,

- 4 ve 8 MBit/s haberleşmesinde kullanılacak kabloların komşu çiftleri arasındaki yakın ve uzak uç diyafoni zayıflamasının oldukça düşük olduğu, (2 km. uzunluğu olan hatların zayıflaması ile aynı seviyede olduğu) dolayısıyla

bu tip haberleşme için birbirine komşu olmayan ana demetlerdeki çiftlerin kullanılmasının zorunlu olacağı sonucuna varmıştır.

Nabio Tomita ve Makoto Ohmura (1989) [9] , 0.4 mm ve 0.5 mm iletkenli kablolarda yakın ve uzak uç diyafoni zayıflamasının 1 kHz - 1 MHz frekans bandındaki değişimini teorik ve deneysel olarak incelemişler ve :

- Alçak frekanslarda (1 - 20 kHz) , frekans yükseldikçe yakın ve uzak uç diyafoni zayıflamasının $20 \lg (f)$ olarak düştüğünü ,
- Yüksek frekanslarda ($f > 200$ kHz) , yakın uç diyafoni zayıflamasının $15 \lg f$, uzak uç diyafoni zayıflamasının da $20 \lg f$ olarak düştüğünü tespit etmişlerdir.

Türkiye 'de tesis edilmiş telefon abone hatlarının Darband - ISDN 'e uygunluğunu incelemek amacıyla , PTT AR-GE müdürlüğünde yapılan bir çalışmada [10] , abone hatlarındaki zayıflama hesaplanmış ve uzunluğu farklı olan hatlarda 1 kHz , 4 kHz ve 60 kHz 'de ölçmeler yapılmıştır.

Teorik ve pratik değerler kıyaslandığında tel çapı 0.4mm olan kablolarda % 7.27 ile % 9.54 arası , tel çapı 0.5 mm olan kablolarda da % 13.93 ile % 19.44 arası bir fark ortaya çıkmıştır . Test edilen hatlarda kablo ekleri (muflar) genelde 40 ile 200 m. ara ile yapılmış olduğundan , sözü edilen farkta bu bağlantı kayıplarının etkisinin yüksek olduğu görülmüştür.

Türk Siemens , AR - GE laboratuvarında tarafımdan yapılan çalışmalarda [11] [12] , PTT şebekesinde kullanılan PDF - AP tipi 50" - 0.4 mm , 50" - 0.6 mm ve 50" - 0.9 mm , kablolarda kablo birincil ve ikincil parametrelerinin değişimi 1 kHz ile 2 MHz frekans bandında ölçülmüş ve teorik hesaplama sonuçları ile kıyaslanarak , geçerli ampirik formüller belirlenmiştir. İkincil parametrelerin doğru olarak hesaplanması için 1 kHz - 2 MHz frekans aralığının üç alt banda ayrılması uygun görülmüştür (alçak frekanslar 1 -10 kHz , orta frekanslar 10 - 150 kHz ve yüksek frekanslar $f > 150$ kHz) .

Yakın uç ve uzak uç diyafoni zayıflamasının hesaplamasında kullanılan formüller verilmiş , farklı büyüklükte kapasitif kuplajların (5 pF , 50 pF ve 100pF) ve diyafoni yoluyla geçen farklı sayıda (1 , 9 ve 24) gürültü kaynağının etkisi incelenmiştir. Kapasitif kuplajlar küçük olduğunda , çiftler arası diyafoni zayıflamasının ağırlıklı olarak endüktif kuplajlardan belirlendiği ve frekans yükseldikçe $\sim 20 \lg f$ olarak düştüğü , kapasitif kuplajların büyük olduğu

durumlarda ise diyafoni zayıflamasının daha küçük olmakla birlikte frekans yükseldikçe $\sim 15 \lg f$ ile düştüğü, 1MHz ' den yüksek frekanslarda da yaklaşık olarak $10 \lg f$ olarak azaldığı görülmüştür.

Bu çalışmada Türk PTT 'sinin " Ses frekans dağıtım kabloları " ile ilgili teorik hesaplamaların pratik ölçmeler ve deney sonuçlarıyla ne derece bağdaştığı incelenmiş ve gerektiğinde formüllere düzeltme faktörü eklenmiştir. Şehir içi telefon dağıtım şebekesinde kullanılan 0.4 mm , 0.5 mm , 0.6 mm , ve 0.9 mm çapında bakır iletkenli PD - APA ve PDF tipi kablolarda teorik hesaplamalarla bulunan kablo birincil ve ikincil parametreleri , yakın uç ve uzak uç diyafoni zayıflaması değerleri , deney sonuçları ile kıyaslanmış , formüllerin % 2 veya % 3 'den küçük bir hata ile geçerli olduğu frekans bandları tespit edilmiştir. 0 - 10 MHz frekans bölgesi 5 alt frekans bandına bölünmüş ve telefon şebekesine döşenen 8 tip dolgulu ve dolgusuz kablo için band sınırları belirlenmiştir.

Çok çiftli kablolarda , her çiftin çevrim direnci , eşit uzunlukta tek telin direncinden büyük olup , alçak frekanslarda (0.4 mm için $f < 108 \text{ kHz}$; 0.9 mm için $f < 21 \text{ kHz}$) frekanstan bağımsız , yüksek frekanslarda ise $\sim \sqrt{f}$ olarak değişmekte ve tel çapı eşit olan kablolarda , DC çevrim direnci eşit olup , yüksek frekanslarda ($\sim 1 \text{ MHz}$) dolgusuz kabloların çevrim direnci $\sim \% 2 - 2.5$ daha büyük olmaktadır.

İncelenen her kablo tipi için hat zayıflaması ve karakteristik empedansı hesaplama formülüne , frekansla değişen bir düzeltme faktörü ilave edilmiştir. Düzeltme faktörü dikkate alınmayan durumlarda , hesaplanan hat zayıflaması ile gerçek (ölçülen - ölçme hatası) hat zayıflamasının değerleri arasındaki fark , alçak frekanslarda (1 -10 kHz.) $\sim \% 0.5 - 1$ iken , 512 kHz ve 1024 kHz 'de de $\% 8-10$ 'a kadar yükselmektedir.

Yakın uç diyafoni zayıflaması incelemelerinde , her kablo tipi için hattın sonsuz kabul edilebildiği minimum uzunluklar belirlenmiş ve diyafoniye neden olan kaynaklar , önemi ve frekansla değişimi oranına göre beş gruba ayrılmıştır : aynı dörtlü içinde iki çiftin arasındaki diyafoni , komşu dörtlülerde bulunan çiftler arası diyafoni , komşu temel demetlerde , komşu ana demetlerde ve uzak (komşu olmayan) ana demetlerde bulunan iki çift arasındaki diyafoni.

Telefon şebekesine döşenmiş dağıtım kablolarında , çiftlerin bir kısmı HDB3 veya 2B1Q kodlama sistemlerine göre 2.048 MBit/s sayısal haberleşmesi için kullanıldığında , gürültülü kanalda " işaret - gürültü oranının " 15 dB 'den büyük olduğu ve hat zayıflamasının 40 dB 'den küçük olduğu durumlar için maksimum hat uzunlukları belirlenmiştir.

Tezde , bu inceleme ve araştırmalar giriş bölümü dışında üç ana bölüm içerisinde verilmiştir.

İkinci bölümde , çok çiftli simetrik haberleşme kabloları hakkında bilgi verilmiş , birincil ve ikincil parametre hesapları üzerinde etkili faktörler incelenmiş ve farklı frekans bandlarında (çok alçak frekanslar bandı , orta frekanslar bandı ve yüksek frekanslar bandı) geçerli hesaplama formülleri önerilmiştir.

Üçüncü bölümde , yakın uç ve uzak uç diyafoni zayıflamalarının çiftler arası kuplajlara bağlı olarak frekansla değişimleri incelenmiştir.

Dördüncü bölümde şehir içi telefon şebekesi ile ilgili genel bilgi verilmiş ve bu şebekenin 1 MHz ' e kadar frekans bandında kullanıldığında çıkacak problemler hakkında görüş bildirilmiştir.

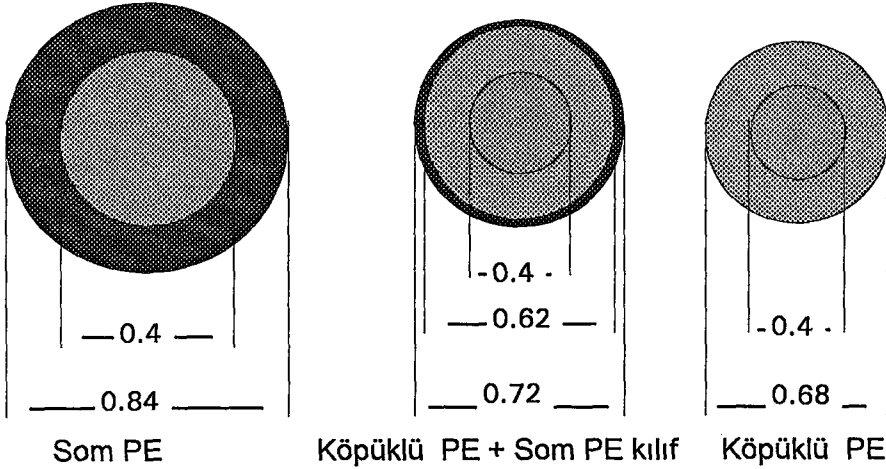
Aynı bölümde 2B+D ve 30B+D sistemlerinin ISDN amacıyla gelişmesi , bir çiftin kanal modeli ve kanal kapasitesinin hesaplama formülleri verilmiştir.

Beşinci bölümde teorik hesaplamaların , pratik ölçmeler ve deney sonuçlarıyla ne derece bağdaştığı incelenmiş ve şehir içi telefon şebekesine döşenen ses frekans kablolarının 2 MBit/s haberleşmesi için kullanıldığında HDB3 ve 2B1Q kodlama sistemlerine göre maksimum hat uzunlukları belirlenmiştir.

BÖLÜM 2. SİMETRİK HABERLEŞME KABLOLARINDA BİRİNCİL VE İKİNCİL PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

2.1 Genel Bilgiler

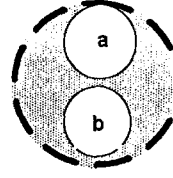
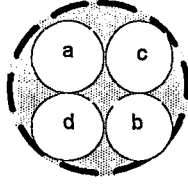
Şehir içi telefon şebekelerinde ve çok küçük olmayan semtler arası telefon bağlantılarında kullanılan simetrik haberleşme kabloları, plastik yalıtkanla (PE , PVC , PP) kaplanmış çok sayıda bakır telin belli bir yöntemle biraraya getirilmesi , üzerine alüminyum ekran , koruyucu kılıf ve plastik bir gömlek geçirilmesi şeklinde üretilir. En çok kullanılan tel çapları 0.4 ; 0.5 ; 0.6 ve 0.9 mm ' dir. İletken üzerine püskürtülen yalıtkan malzeme , bina içi kablolarda genelde yangını iletmeyen PVC , bina dışındaki abone kablolarında ise , PE malzemesidir. PE yanan ve yangını ileten bir malzemedir. Ancak dielektrik sabiti ve dielektrik kayıpları gibi önemli elektriksel parametrelerin geniş bir frekans bandında (10¹ – 10¹⁰ Hz) sabit ve çok küçük olması ($\epsilon_r = 2.3$; $\tan \delta \sim 0.0004$) yanında , üretim ve bakım açısından da ekonomik olması, PE ' ni haberleşme kablolarında en çok kullanılan malzeme durumuna getirmiştir. Damar yalıtkanı olarak som veya köpüklü malzeme kullanılır. Köpüklü malzeme kullanıldığında damar ve kablo boyutları daha küçüktür. (Şekil 2.1)



Şekil 2.1 Abone kablolarında kullanılan farklı tip damarlar (tel çapı = 0.4 mm)

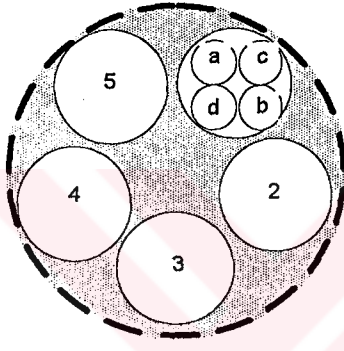
Damarlar ikili veya yıldız dörtlü (quad) olarak bükülür. Dörtlü içindeki bir

çiftin iki iletkeni karşılıklı köşelerdedir.

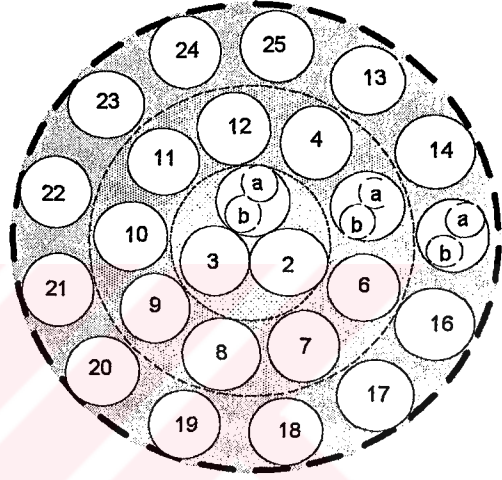


Şekil 2.2 Dörtlü ve ikili bükme sistemine göre damarların yerleşimi

Beş dörtlünün (toplam 10") veya 25 ikilinin (25") bir grup haline getirilmesiyle oluşan demetçiklere " Temel Demet " (TD) denir.



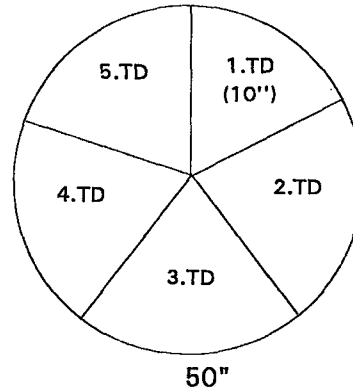
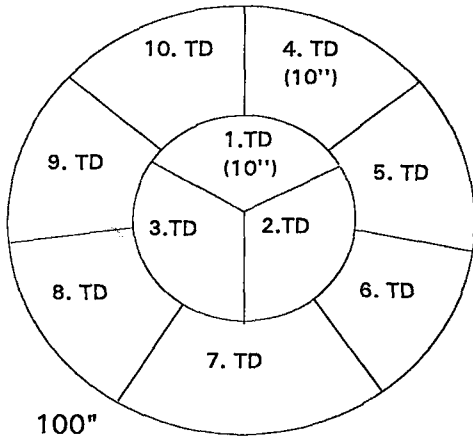
a / 10 çiftli TD



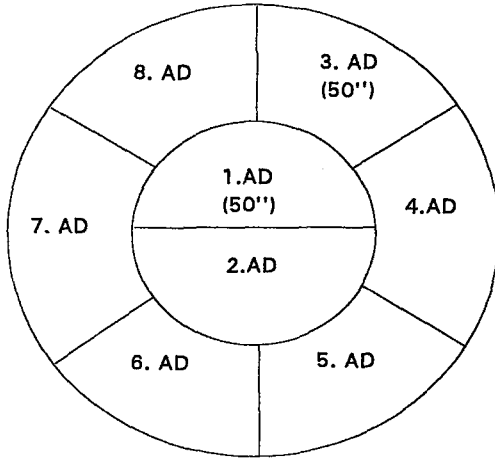
b / 25 çiftli TD

Şekil 2.3 5 dörtlüden oluşan 10 çiftli Temel Demet ve 25 ikiliden oluşan 25 çiftli Temel demetlerde çiftlerin yerleşimi

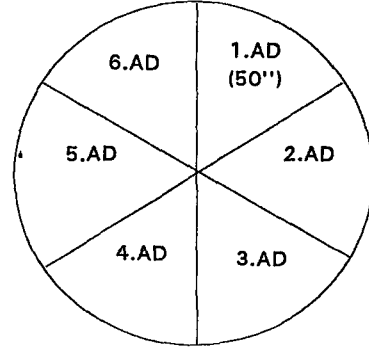
Belirli sayıda TD ' in birleşmesi ile oluşan demetçiklere " Ana demet " (AD) ve birkaç AD ' in birleşmesi ile oluşan demetlere " kablo özü " adı verilir. (Şekil 2.4 , 2.5)



Şekil 2.4 50 ve 100 çiftli ana demetlerde , temel demetlerin yerleşimi

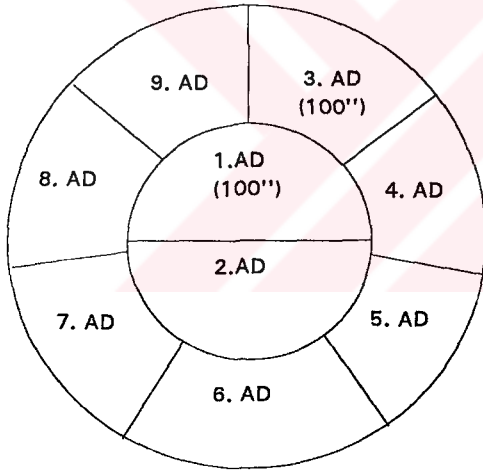


a/ 400 çift

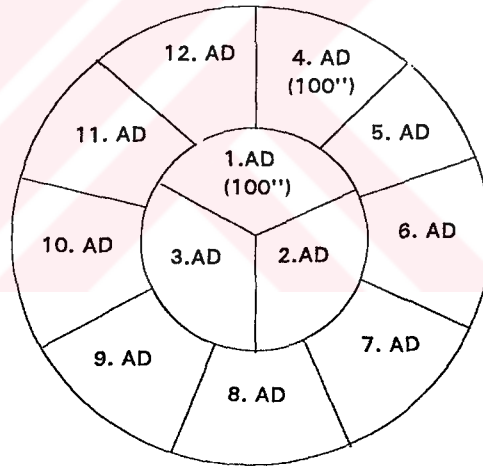


b/ 300 çift

Şekil 2.5 300 ve 400 çiftli dağıtım kablo özlerinin şematik olarak kesiti



a/ 900 çift



b/ 1200 çift

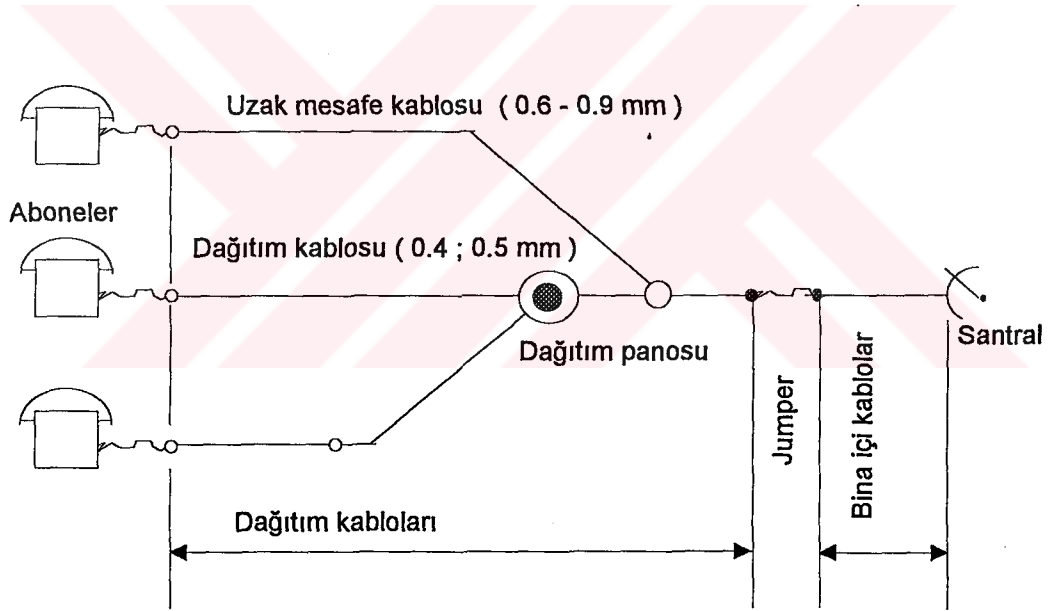
Şekil 2.6 900 ve 1200 çiftli dağıtım kablo özlerinin şematik olarak kesiti
 $900'' = (2 + 7) \times 100''$, $1200'' = (3 + 9) \times 100''$

Dışarıdan gelen elektromanyetik alanların etkisiyle , kablo damarlarında endüklenen istenmeyen (bozucu) gerilimi azaltmak amacıyla , kablo özünün üzerine alüminyum veya bakır kılıf geçirilir. Bu metal kılıf aynı zamanda , dış plastik kılıflardaki zedelenmeler sonucu , alt kısmına geçen suyun kablonun öz kısmına geçmesini önlemektedir. Mekanik darbelerden korunmak için ise çelik teller veya bantlardan koruma zırhı döşenir ve plastik dış kılıf püskürtülür.

İşletmeye alınmış haberleşme kablolarının özelliklerini bozan önemli bir etken sudur. Su kablo özü içersine nüfuz ettiğinde, işletme kapasitesi ve izolasyon direnci gibi elektrikselsel parametreler çok büyük oranda değişir ve kablo çalışamaz hale gelir. Suyun, öz içine girip damarlar arasında ilerlemesini önlemek amacıyla iki yöntem kullanılır.

- Kablo özüne, damarlar arası hiç boşluk kalmayacak şekilde Petrojell (kompaund) doldurulması
- Kablo özüne sürekli olarak kuru hava basılması. Bu durumda kablo boyunca havanın ilerlemesini sağlamak amacıyla ana demetler arasına belirli bir sayıda perforeli boru da döşenmektedir.

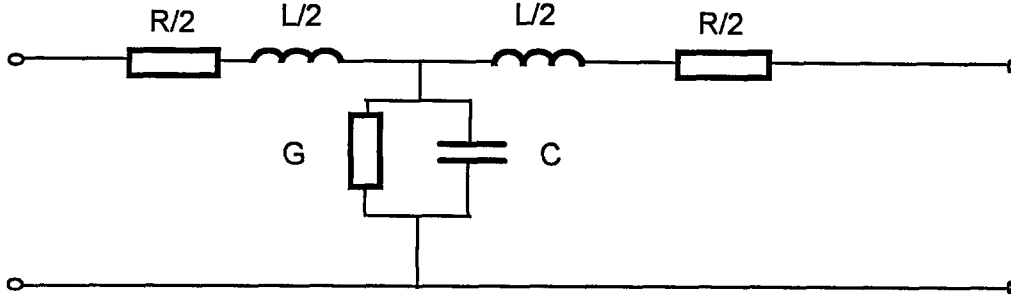
Şehir içi telefon şebekesinde kullanılan kablo bağlantılarının prensip şeması aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.7 Şehir içi telefon şebekesinin yapısı.

2.2 Simetrik - Homogen Hatların Diferansiyel Denklemleri

Simetrik transmisyon hatlarını oluşturan iletkenlerin her birim uzunluğunun bir direnci (R) ve bir endüktansı (L) vardır [13].



Şekil 2.8 İki telli Simetrik Transmisyon Hattının Eşdeğer Şeması

Ayrıca birbirine paralel ve araları yalıtılmış olan hat iletkenleri arasında bir kapasite (C) mevcut olduğu gibi yalıtkan maddelerin mükemmel olmaması nedeniyle küçükte olsa bir kaçak iletkenlik (G - perditans) vardır. Bütün bu direnç , endüktans , kapasite ve kaçak iletkenlik bir yerde toplu olmayıp hat boyunca üniform olarak dağılmıştır. Bu sebepten transmisyon hatlarına, " dağılmış parametrelili sistemler " denilir (System with Distributed Parameters) [14]. Keza transmisyon hatlarının uzunlukları , taşıdıkları işaret frekansına tekabül eden dalga uzunluğu yanında ihmal edilemez. Hatta çok defa yüksek frekanslarda hat uzunluğu dalga uzunluğunun birkaç ve daha fazla katı olabilmektedir.

Bunun sonucu olarak transmisyon hatlarında :

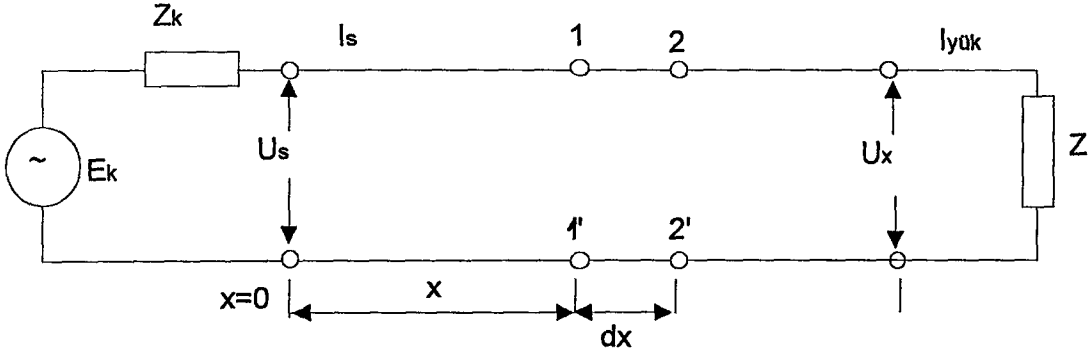
---Hat boyunca yayılmış kapasite ve kaçak dirençlerin hattı şöntlemesinden dolayı iletkenlerden geçen akımın değeri hat boyunca her noktada aynı olmayıp kaynaktan uzaklaştıkça küçülür.

---Hat iletkenleri arasında ölçülen gerilim hat boyunca sabit kalmayıp , uzaklığın fonksiyonu olarak küçülür.

---Akım veya gerilimin hat üzerindeki yayılma (propagasyon) hızı sınırlı bir değerdir.

Sonuç olarak hattın herhangi iki noktasındaki akımlar (veya gerilimler) arasında bir faz farkı oluşur.

Hattın kaynak uçlarından x uzaklığındaki sonsuz küçük bir dx parçasını gözönüne alalım.



Şekil 2.9 Transmisyon Hattı

Bu parçanın eşdeğer şeması şekil 2.9 ' da verilmiştir. Akım veya gerilimin hat üzerindeki yayılma hızı (propagation velocity) sınırlı bir değerdir ve hattın herhangi iki noktasındaki akımlar veya gerilimler arasında bir faz farkı oluşur. Hattın herhangi bir noktasındaki akım ve gerilim o noktanın kaynağa mesafesine ve zamana bağlıdır

ve $U = U(x, t)$ ve $I = I(x, t)$

şeklinde ifade edilir.

Şekil 2.9 ' da verilen transmisyon hattının , 1 - 1' noktasından dx mesafedeki 2-2' noktasında akım ve gerilim , 1-1' 'dekinden du ve di kadar farklıdır. Permeabilitesi μ , dielektrik katsayısı ϵ ve iletkenliği σ olan homojen ve izotrop ortamda elektromagnetik alanın elektrik alan vektörü (E) ve magnetik alan vektörü H arasındaki bağıntıyı gösteren Maxwell denklemlerinin ,

$$\text{Rot } E = - \mu \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\text{Rot } H = \sigma E + \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad (2.2)$$

ve devre teorisinin birlikte yorumlanmasıyla , hatta ait differansiyel denklemler

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = Ri + L' \frac{\partial i}{\partial t} \quad (2.3)$$

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = G' u + C \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.4)$$

şeklinde verilebilir.

(2.3) ve (2.4) ' te verilen denklemler hattın kısmi differansiyel denklemleridir. Bu denklemlerin çözümü akım ve gerilimin hat üzerindeki dağılımının mümkün olan bütün şekillerini verir. (2.3) ' ün x' e göre, (2.4) ' ün t' ye göre türevleri alınıp I yok edildiğinde çıkan (2.5)

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = L C \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} + (R C + L G) \frac{\partial U}{\partial t} + R G U \quad (2.5)$$

ve (2.3) ' ün t' ye göre, (2.4) ' ün x' e göre türevleri alınıp U elimine edildiğinde çıkan

$$\frac{\partial^2 I}{\partial x^2} = L C \frac{\partial^2 I}{\partial t^2} + (R C + L G) \frac{\partial I}{\partial t} + R G I \quad (2.6)$$

(2.6) denklemleri şekil itibarıyla birbirinin aynıdır. Bu ikinci dereceden iki bilinmeyenli lineer denkleme Telgrafçılar denklemleri adı verilmiştir [15] [16]. Hat başına uygulanan güç kaynağının U gerilimi, genellikle zamanın sinüsoidal bir fonksiyonudur. Böyle değil de, zamanın herhangi bir periodik fonksiyonu ise, Fourier serisine açılarak, sinüsoidal fonksiyonların toplamı şeklinde ifade edilebilir.

$$I = I(x, t) = I(x) \cdot e^{j\omega t} \quad (2.7)$$

$$U = U(x, t) = U(x) \cdot e^{j\omega t}$$

Burada ;

$U(x)$ ve $I(x)$ kompleks büyüklükleri, gerilim ve akımın hat başından (kaynak tarafından) x uzaklığında bulunan noktada efektif değeri olup sadece uzaklıkla değişir.

$\omega = 2\pi f$ ise kaynak geriliminin açısal frekansıdır.

(2.7) ' yi gözönünde tutarak, (2.3), (2.4), (2.5) ve (2.6) ' daki kısmi türevleri hesapladığımızda, (2.8) ve (2.9) bulunur.

$$\begin{aligned}\frac{\partial U}{\partial x} &= e^{j\omega t} \cdot \frac{dU(x)}{dx} & \frac{\partial U}{\partial t} &= j\omega \cdot e^{j\omega t} \cdot U(x) \\ \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} &= e^{j\omega t} \cdot \frac{d^2 U(x)}{dx^2} & \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} &= (j\omega)^2 \cdot e^{j\omega t} \cdot U(x)\end{aligned}\quad (2.8)$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial I}{\partial x} &= e^{j\omega t} \cdot \frac{dI(x)}{dx} & \frac{\partial I}{\partial t} &= j\omega \cdot e^{j\omega t} \cdot I(x) \\ \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} &= e^{j\omega t} \cdot \frac{d^2 I}{dx^2} & \frac{\partial^2 I}{\partial t^2} &= (j\omega)^2 \cdot e^{j\omega t} \cdot I(x)\end{aligned}\quad (2.9)$$

Bu değerler (2.3) ; (2.4) ; (2.5) ve (2.6) 'da yerine konulup kısaltmalar yapıldığında :

$$-\frac{dU(x)}{dx} = (R + j\omega L) I(x) \quad ; \quad -\frac{dI(x)}{dx} = (G + j\omega C) U(x) \quad (2.10)$$

$$\frac{d^2 U(x)}{dx^2} = (R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C) \cdot U(x) \quad (2.11)$$

ve

$$\frac{d^2 I}{dx^2} = (R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C) \cdot I(x) \quad (2.12)$$

denklemleri bulunur [17].

Bu denklemlerde görülen , $R + j\omega L = Z$ hattın birim uzunluğunun seri empedansı ,

$G + j\omega C = Y$ de birim uzunluğun şönt admitansdır.

Propagasyon sabiti γ ise

$$\gamma = \sqrt{Z \cdot Y} = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)} = \alpha + j\beta \quad (2.13)$$

olarak tanımlanır.

Burada :

α - Hattın Zayıflama sabitini (attenuation constant)

β - Faz sabiti veya dalga uzunluğu sabitini (phase constant)

ifade eder.

(2.13) ' de verilen denklemde α ve β ' yı çözdüğümüzde :

$$\alpha = \sqrt{0.5 \cdot [\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2) \cdot (G^2 + \omega^2 C^2)} - \omega^2 L C + R G]} \quad \text{Np/km} \quad (2.14)$$

$$\beta = \sqrt{0.5 \cdot [\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2) \cdot (G^2 + \omega^2 C^2)} + \omega^2 L C - R G]} \quad \text{rad/km} \quad (2.15)$$

elde edilir.

Karakteristik empedansın değeri (Z_0) ise

$$Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{(R + j \cdot \omega \cdot L)}{(G + j \cdot \omega \cdot C)}} = Z_r + j \cdot Z_i \quad (2.16)$$

olarak tanımlanır.

Burada Z_r , karakteristik empedansın gerçel kısmını , Z_i ise sanal kısmını göstermektedir. Sonsuz uzunluktaki bir hattın herhangi bir noktasında ölçülen giriş empedansı , hattın uzunluğundan bağımsızdır ve karakteristik empedansa eşittir. Tanımından da görüldüğü gibi , karakteristik empedans hattın sonundaki yük empedansına bağlı olmayıp sadece hattın birincil parametreleri ve frekansla değişir.

2.3 Birincil Parametrelerin Frekans ve Sıcaklıkla Değişimi

Homogen bir hattın transmisyon özelliklerini tamamiyle tanımlayan elektriksel parametrelere birincil parametreler denir. Bu parametreler , hattın yapılmasında kullanılan malzemelerin iletkenliği , permeabilitesi , dielektrik sabiti gibi fiziksel özelliklerine , boyutlarına ve geometrik konumlarına göre değiştiği gibi , çevre koşullarının değişmesinden de etkilenmektedir. R , L , C ve G olarak belirtilen Birincil parametreler nitelikleri bakımından ikiye ayrılırlar [17]

Boyuna parametreler : Direnç ve endüktans

Enine Parametreler : Kapasite ve perditans

Transmisyonla ait kavramların tanımları ve ölçmelerdeki öneminden dolayı , çeşitli frekans bölgelerinde gösterdikleri özellikleri de göz önüne alarak , birincil parametrelerin birer birer incelenmesi yararlı olacaktır.

2.3.1 Hattın Birim Uzunluğunun Çevrim Direnci (R)

Çapı d , uzunluğu L , özgül direnci ρ olan silindirik bir tek telin doğru akım direnci

$$R_0 = \frac{4 \cdot \rho \cdot L}{\pi \cdot d^2} = \frac{\rho \cdot L}{\pi \cdot r_0^2} = \frac{L}{\pi \cdot r_0^2 \cdot \chi} \quad (2.17)$$

formülü ile hesaplanır.

Burada $\chi = 1/\rho$ olup

χ – Tel malzemesinin özgül iletkenliğini

ρ – özgül direncini

r_0 - tel yarıçapını

ifade eder.

Hattın birim uzunluğunun çevrim direnci (çiftin gidiş- dönüş iletkenlerinin toplam direnci)

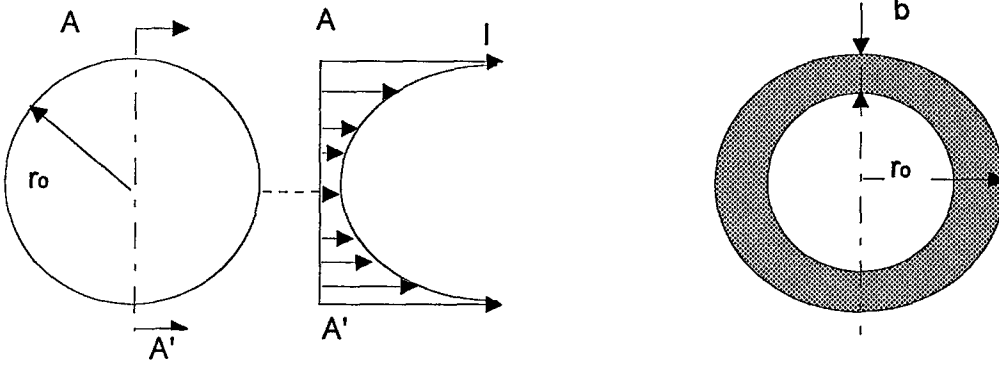
$$R = 2R_0 = \frac{2}{\pi \cdot r_0^2 \cdot \chi} = \frac{8}{\pi \cdot d^2 \cdot \chi} \quad (2.18)$$

olarak hesaplanır

Çevrim Direncini Etkileyen Faktörler

a- Deri olayı

Alternatif akımda , frekans yükseldikçe tel kesitinin merkezinde akım yoğunluğu azalır , yüzeye gidildikçe artar. Çok yüksek frekanslarda hemen hemen bütün akım telin yüzeyinde , duvar kalınlığı " b " olan silindirik bir borudan akar [18][19]. Deri olayı (skin effect) denilen bu olayın etkisiyle, telin kesiti adeta küçülmüş gibi olur ve sonuç olarak alternatif akımdaki efektif direnç R , doğru akım direnci R_0 ' a göre artar.



Şekil 2.10 a) İç dolu silindirik bir telde yüksek frekans akım yoğunluğunun dağılımı b) İç dolu silindirik bir telde yüksek frekans efektif kesiti

Tel merkezinden uzaklaştıkça , akım yoğunluğunun değişimi

$$|I_x| = |I_0| \cdot e^{-bx} \quad (2.19)$$

şeklindedir.

burada : $b = \sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \chi}$

olarak hesaplanır ve iletken malzemenin özellikleriyle belirlenen bir sabittir.

I_0 : DC akımda iletken kesitinden geçen akımın yoğunluğudur.

I_x : AC akımda iletken yüzeyinden x derinlikteki akımın yoğunluğudur.

$x = 1/b$ olduğunda

$$I_x = |I_0| e^{-1} = \frac{|I_0|}{e}$$

değerini alır.

Yani, iletken yüzeyinden $x = 1/b$ derinlikte akan DC akım " f " frekansındaki alternatif akımın " e " katıdır [19] ve

$$\delta = x = \frac{1}{b} = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \chi}} \quad (2.20)$$

olarak hesaplanan büyüklüğe , eşdeğer deri kalınlığı atı verilir.

Burada : μ_0 - Boşluğun magnetik geçirgenliği

μ_r - Malzemenin bağıl geçirgenliği

χ - Malzemenin özgül iletkenliğini

f - Frekansı göstermektedir.

Yukarıdaki açıklamaları göz önünde bulundurarak alternatif akım için bir iletkenin direnci

a) Yüksek frekanslarda $(5\delta > r_0 > \delta)$

$$R_i = R_0 \cdot \frac{r_0^2}{\delta (2r_0 - \delta)} \quad (2.21)$$

b) Çok yüksek frekanslarda $(5\delta < r_0)$

$$R_i = R_0 \left(\frac{r_0}{2\delta} + \frac{1}{4} \right) \quad (2.22)$$

formülleri ile hesaplanır [20].

Genel olarak iletkenlerin direnci sıcaklıkla orantılı olarak artar. Normal oda sıcaklığındaki $(+20^\circ\text{C})$ direnç R_0 ile gösterilirse herhangi bir $T^\circ\text{C}$ 'deki direnç

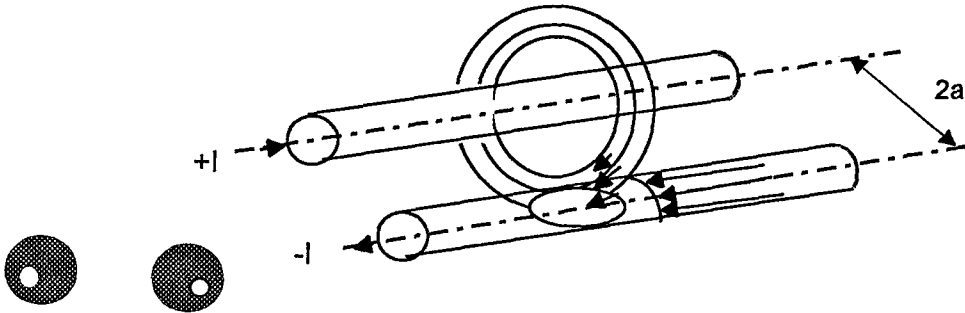
$$R_i = R_0 \cdot [1 + A_t (T - 20)] \quad (2.23)$$

formülü ile hesaplanır.

A_t = sıcaklıkla direncin artma katsayısı (Bakır iletkenler için $A_t = 4 \times 10^{-3}$)

c - Yakınlığın Etkisi (Proximity)

Simetrik haberleşme kablolarında aynı kablo içinde birbirine çok yakın birden fazla izole edilmiş tel olduğundan her telin direnci , komşu iletkenlerden geçen akımlardan da etkilenir ve yakın çevresi boş olan tek telin direncinden büyüktür. Ayrıca bu etkinin şiddeti frekansla değişir [21].



Şekil 2.11 Yakın mesafede olan tellerden akan akımların birbirini etkilemesi

Bu değişim :

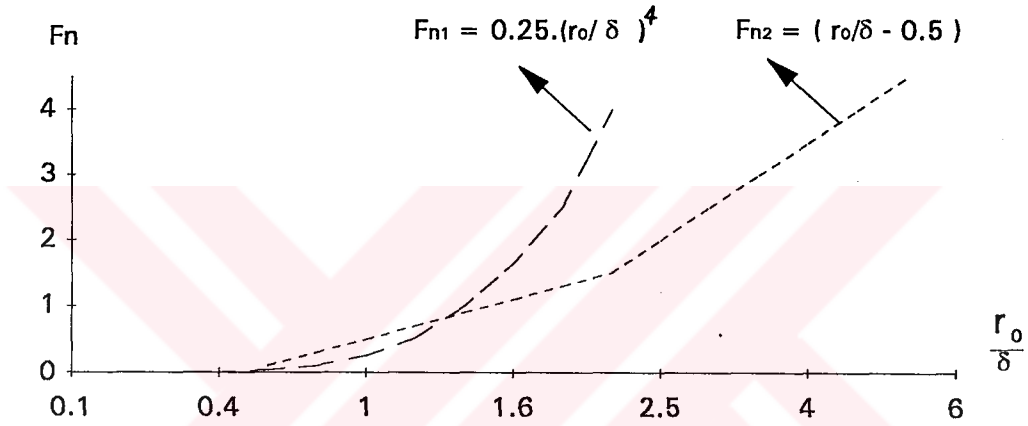
Alçak frekanslarda $(\delta > r_0)$; $R_n \sim f(F_{n1})$

$$R_n = R_0 \left(\frac{r_0}{2a} \right)^2 \cdot F_{n1} = R_0 \left(\frac{r_0}{2a} \right)^2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{r_0}{\delta} \right)^4 \quad (2.24)$$

Yüksek frekanslarda $(\delta < r_0)$; $R_n \sim f(F_{n2})$

$$R_n = R_0 \left(\frac{r_0}{2a} \right)^2 \cdot F_{n2} = R_0 \left(\frac{r_0}{2a} \right)^2 \cdot \left(\frac{r_0}{\delta} - \frac{1}{2} \right) \quad (2.25)$$

şeklinde formüle edilmektedir [20].



Şekil 2.12 Yakınlığın etkisinden dolayı direncin değişimi

c - Işınlama (Radyasyon) Etkisi

Çok çiftli kablolarda herhangi bir iletkenin oluşturduğu manyetik alan komşu çiftlerde ve ekranda Foucault akımlarına neden olmaktadır. Söz konusu akımlar ilave enerji kaybına sebep olduğundan , kablo içindeki iletkenin direnci etrafında başka metaller bulunmayan iletkenin direncinden daha yüksektir. Çevrim direncini etkileyen ve yukarıda açıklanan faktörleri göz önünde bulundurarak , çok çiftli bir kabloda , her çiftin çevrim direnci koşullara bağlı olarak aşağıdaki formüllerin biri ile hesaplanır.

Alçak frekanslarda $(\delta > r_0)$

$$R = 2R_0 \left(1 + \left(\frac{r_0}{2a} \right)^2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{r_0}{\delta} \right)^4 \right) \quad (2.26)$$

Yüksek frekanslarda ($5\delta > r_0 > \delta$)

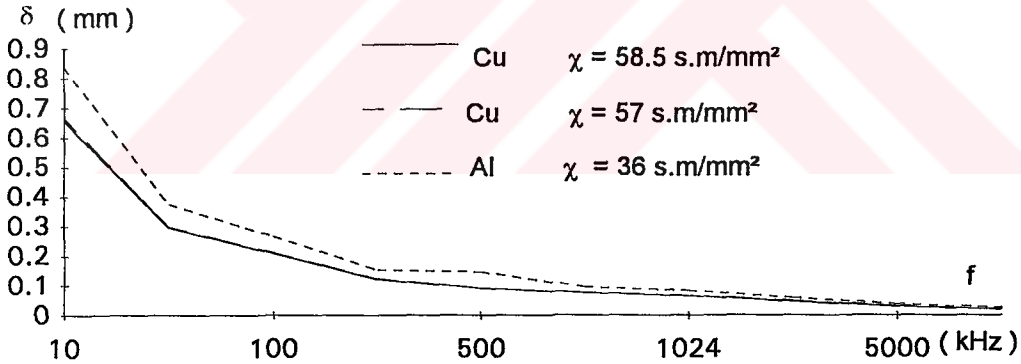
$$R = 2R_0 \left(\frac{r_0^2}{\delta (2r_0 - \delta)} + \left(\frac{r_0}{2a} \right)^2 \left(\frac{r_0}{\delta} - \frac{1}{2} \right) \right) \quad (2.27)$$

Çok yüksek frekanslarda ($5\delta < r_0$)

$$R = 2R_0 \left(\left(\frac{r_0}{2\delta} - \frac{1}{4} \right) + \left(\frac{r_0}{2a} \right)^2 \left(\frac{r_0}{\delta} - \frac{1}{2} \right) \right) \quad (2.28)$$

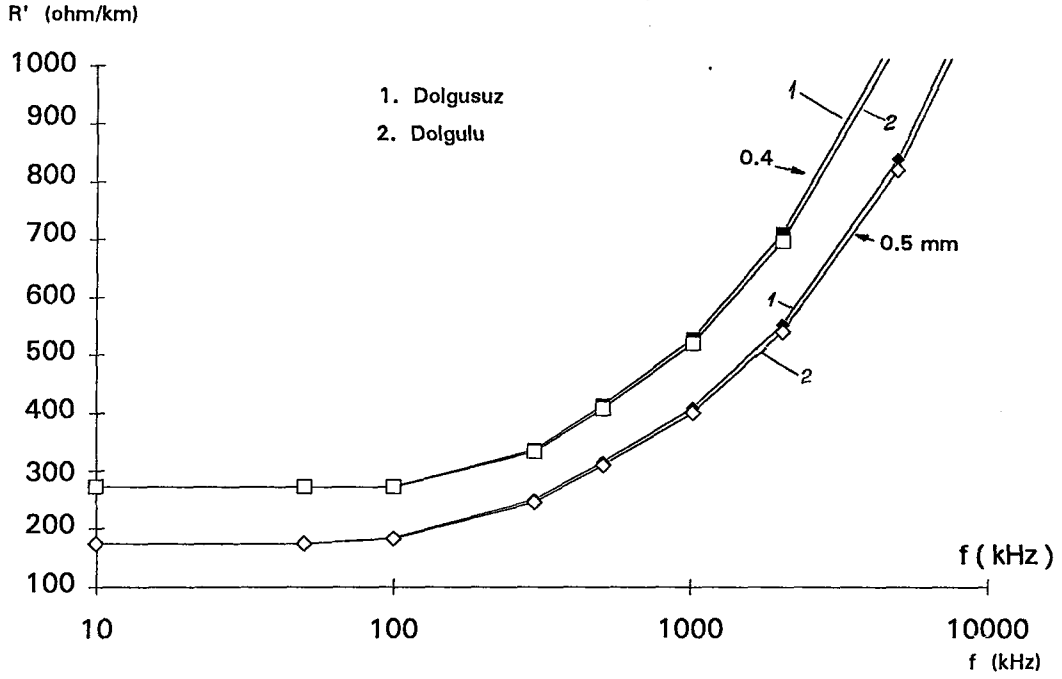
(2.26), (2.27), ve (2.28) formüllerinde kablo ekranının yarı çapı r_0 iletken yarıçapı (r_0)' dan çok daha büyük olduğu kabul edilmiştir. Haberleşme kablolarında kullanılan elektrolitik bakırın bağıl magnetik geçirgenliği $\mu_r \sim 1$ ve öz iletkenliği ~ 58.5 [S.m / mm²] olduğundan, (2.20)' de deri olayını veren formül aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu_0 \cdot \mu_r}} = \frac{65.8025}{\sqrt{1000 \cdot f(\text{kHz})}} \quad [\text{mm}] \quad (2.28a)$$

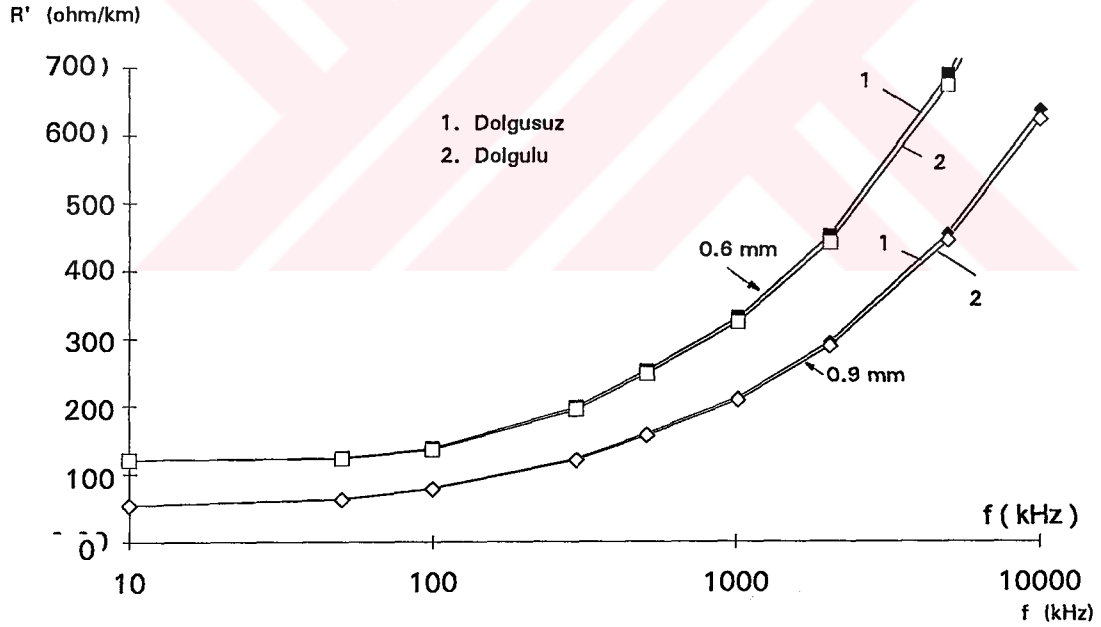


Şekil 2.13 Bakır iletkeninde efektif cidar kalınlığının frekansla değişimi

Şekil 2.13 'den görüldüğü gibi özgül iletkenliği daha yüksek olmakla birlikte, magnetik olmayan malzemelerde (kablo tekniğinde kullanılan bakır, aliminyum ve gümüş gibi) efektif deri kalınlığı daha küçük olacaktır. Ayrıntılı değerler Ek -B, Tablo - B.1 ' de dir. Şehir içi telefon şebekesinde kullanılan 0.4, 0.5, 0.6, ve 0.9 mm bakır iletkenli, dolgulu ve dolgusuz kablolarda bir çiftin çevrim direnci aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



a) 0.4 ve 0.5 mm Bakır İletkenli Kablolarda Çevrim Direncinin Frekansla Değişimi



b) 0.6 ve 0.9 mm Bakır İletkenli Kablolarda Çevrim Direncinin Frekansla Değişimi

Şekil 2.14 0.4, 0.5, 0.6 ve 0.9 mm Bakır İletkenli, Dolgulu ve Dolgusuz Kablolarda Çevrim Direncinin Frekansla Değişimi

Şekil 2.14 a ve b 'deki grafiklerde çevrim direncinin ayrıntılı değerleri Tablo 2.1 ve Tablo 2.2 'de verilmiştir.

Tablo 2-1 0.4 ve 0.5 mm Tel Çaplı Kablolarda Çevrim Direnci
R'nin Frekansla Değişimi

		0.4/0.70 a=0.49 mm	0.4/0.84 a=0.59 mm	0.5/0.86 a=0.61 mm	0.5/1.04 a=0.74 mm
Frekans f(kHz)	Skin Kalınlığı δ (mm)	R (ohm/km)	R (ohm/km)	R (ohm/km)	R (ohm/km)
1	2.0809	272.06	272.06	174.12	174.12
10	0.6580	272.06	272.06	174.12	174.12
50	0.2943	272.08	272.08	174.18	174.16
100	0.2081	272.16	272.13	184.28	182.64
300	0.1201	336.86	332.77	250.02	246.31
512	0.0886	414.46	408.28	315.62	310.18
1024	0.0650	528.78	519.73	409.19	401.36
2048	0.0460	712.15	698.61	552.97	541.40
5000	0.0294	1063.86	1041.72	841.59	822.85
10000	0.0208	1478.69	1446.66	1173.67	1146.68

Tablo 2-2 0.6 ve 0.9 mm Tel Çaplı Kablolarda Çevrim Direnci
R' nin Frekansla Değişimi

		0.6/1.10 a=0.78 mm	0.6/1.40 a=0.99 mm	0.9/1.64 a=1.16 mm	0.9/2.00 a=1.41 mm
Frekans f(kHz)	Skin Kalınlığı δ (mm)	R (ohm/km)	R (ohm/km)	R (ohm/km)	R (ohm/km)
1	2.0809	120.92	120.92	53.74	53.74
10	0.6580	120.92	120.92	53.76	53.76
50	0.2943	123.28	122.40	63.13	62.46
100	0.2081	137.65	136.06	78.95	77.86
300	0.1201	197.70	194.31	122.71	120.59
512	0.0886	253.16	248.26	159.22	156.23
1024	0.0650	331.22	324.24	212.36	208.17
2048	0.0460	451.62	441.40	295.18	289.11
5000	0.0294	689.91	673.47	454.23	444.56
10000	0.0208	964.09	940.49	637.23	623.43

Tablo 2-1 ve 2-2 'de "a" çift iletkenlerinin arasındaki mesafenin yarısıdır (Bak şekil 2.11).

Şekil ve tablolardan görüldüğü gibi :

- alçak frekanslarda , tel çapları eşit olan çiftlerin çevrim direnci de eşittir.
- yüksek frekanslarda , dolgulu kablolardaki direnç artışı dolgusuzlara göre daha azdır.

2.3.2 Hattın Birim Boy Uzunluğunun Endüktansı (L)

Uzayda tek başına bulunan silindirik bir iletkenin iç endüktansı ,alçak frekanslarda

$$L_i = \frac{\mu_0}{\pi} = 0.05 \text{ mH / km} \quad (2.29)$$

olarak belirlenmiştir [13].

İletkenden geçen akımın iletken içinde meydana getirdiği magnetik akının değişimi ile oluşan bu iç endüktans frekansla değişir ve yüksek frekanslarda

$$L_i = \frac{1}{2 \cdot r_0 \cdot \omega} \sqrt{\frac{\mu \cdot f}{\pi \cdot \chi}} = \frac{\mu \cdot \delta}{4 \pi r_0} = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot \delta}{4 \pi r_0} \quad (2.30)$$

olarak hesaplanır.

Kablo tekniğinde kullanılan iletkenler normalde bakır (Cu) veya alüminyumdan (Al) yapıldığından, $\mu_r \sim 1$ ' dir

$$\text{ve} \quad L_i = \frac{\mu_0}{4 \pi} \cdot \frac{\delta}{r_0} = 0.1 \cdot \frac{\delta}{r_0} \text{ (m H / km)} \quad (2.31)$$

olarak hesaplanır.

Yüksek frekanslarda cidar olayı nedeniyle akım iletkenin yüzeyine doğru itildiğinden iletken içindeki magnetik alanın şekli değişir (şiddeti düşer) ve frekans yükseldikçe iç endüktans küçülür. İletkenin dışındaki magnetik alana cidar olayının bir etkisi yoktur. Zira bu alan toplam akıma tabidir. Bu nedenle, iletken dışındaki magnetik akı değişmelerinin doğurduğu " dış endüktans " frekanstan bağımsızdır ve

$$L_1 = \frac{\mu}{2 \pi} \cdot \ln \left(\frac{2a - r_0}{r_0} \right) = \frac{\mu_0}{2 \pi} \cdot \ln \left(\frac{2a - r_0}{r_0} \right) \quad (2.32)$$

olarak hesaplanır.

İki iletkenli bir hattın toplam endüktansı, iç ve dış endüktansların toplamıdır.

$$L_t = 2 (L_i + L_1)$$

ve çok alçak frekanslarda ($\omega \rightarrow 0$)

$$L_t = 2 \cdot \left(\frac{\mu_0}{8 \pi} + \frac{\mu_0}{\pi} \ln \left(\frac{2a - r_0}{r_0} \right) \right) \quad (2.33)$$

$$L_t = 0.1 + 0.4 \cdot \ln \left(\frac{2a - r_0}{r_0} \right) \quad (\text{mH/km})$$

orta ve yüksek frekanslarda da

$$L_t = 2 \cdot \left(\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\delta}{r_0} + \frac{\mu_0}{\pi} \ln \left(\frac{2a - r_0}{r_0} \right) \right) \quad (\text{H/km})$$

$$L_t = \frac{\mu_0}{\pi} \left(\frac{\delta}{2r_0} + \ln \left(\frac{2a - r_0}{r_0} \right) \right) \quad (\text{H/km})$$

$$L_t = 0.4 \left(\frac{\delta}{2r_0} + \ln \left(\frac{2a - r_0}{r_0} \right) \right) \quad (\text{mH/km}) \quad (2.34)$$

formülleri geçerlidir.

Transmisyon hattını oluşturan iletkenler bir metal ekran içine alındığında, iletkenlerden geçen akımın oluşturduğu dış magnetik alan sadece ekranın içindeki alanda sınırlanmış olduğundan, dış endüktans küçülür. Her bir iletken için dış endüktansın azalması aşağıdaki formülle hesaplanır [13].

$$L_e = -\frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\ln \frac{r_e^2 + a^2}{r_e^2 - a^2} - 2 \frac{\delta_e (a \cdot r_e)^2}{r_e (r_e^4 - a^4)} \right) \cdot A \quad (2.35)$$

Burada

r_e - ekranın yarıçapı

δ_e - ekranın efektif deri kalınlığı

A - frekansa göre değişen r_0 ve δ 'ya bağlı bir faktördür. (s.22)

Alçak frekanslarda $\delta_e > r_e$ olduğundan ve çok çiftli kablolarda ekranın yarıçapı (r_e) izole edilmiş iletkenler arası mesafe $2a$ 'dan çok daha büyük olduğundan, L_e çok küçüktür ($L_e = < 0.001 \text{ mH/km}$) ve pratiğe yönelik hesaplamalarda $L_e = 0$ kabul edilebilir. (2.3.1) ' de açıklanan yakınlık ve ışınlama etkileri dış endüktansı küçülmesi yönünde etkiler. Birim uzunluğunda tek bir iletkenin dış endüktansının küçülmesi aşağıda verilmiştir.

$$L_y = -\frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{r_0}{2a} \right)^2 \left(1 - \frac{(2a \cdot r_e)^2}{r_e^4 - a^4} \right) \cdot A \quad (2.36)$$

Burada

Alçak frekanslarda $(\delta > r_0)$

$$A = \frac{1}{12} \left(\frac{r_0}{\delta} \right)$$

Yüksek frekanslarda $(\delta < r_0)$

$$A = 1 - \frac{\delta}{r_0}$$

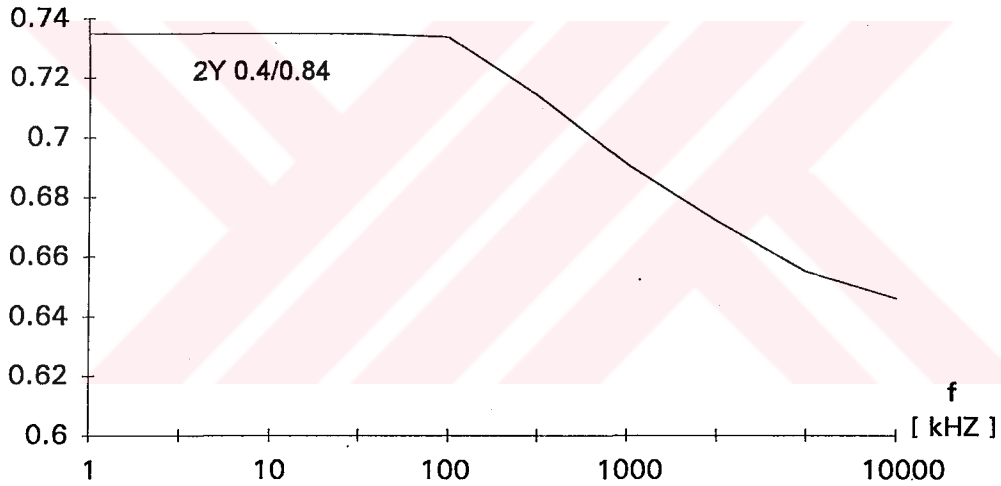
olarak hesaplanır.

Yapılan açıklamalardan sonra iki telli bir transmisyon hattının toplam endüktansı

$$L_t = 2 (L_i + L_1 + L_e + L_y)$$

dır ve şekil 2.15 'de gösterilmiştir.

L_t [mH / km)



Şekil 2.15 İki telli transmisyon hatlarında endüktansın frekansla değişimi

Farklı tipte kablolar için L_t 'nin frekansla değişimi ayrıntılı olarak Ek B - tablo B.5 - B.9 'da verilmiştir. Çok çiftli kablolarda $R_e \gg a$ ve $L_e \sim 0$ olduğundan iki telli hattın toplam endüktansı

$$L_t = \frac{\mu_0}{\pi} \left(\frac{\delta}{2r_0} + \ln \left(\frac{2a - r_0}{r_0} \right) - \left(\frac{r_0}{2a} \right)^2 \right) \quad (2.37)$$

olarak hesaplanır.

Çok yüksek frekanslarda $(\delta \ll r_0)$ ve $(\delta / 2.r_0 \sim 0)$ olduğundan az bir hata ile

$$L_t = \frac{\mu_0}{\pi} \left(L_n \left(\frac{2a-r_0}{r_0} \right) - \left(\frac{r_0}{2a} \right)^2 \right) \quad (2.38)$$

formülü geçerlidir.

Tablo 2-3 0.4/0.70 ve 0.4/0.84 Damarlı Kablolarda Endüktans Bileşenlerinin Frekansla değişimi

Frekans f(kHz)	2Y 0.4/0.70 Ekran Çapı=40 mm L1= 0.272 mH/km Lt1=0.528 mH/km				2Y 0.4/0.84 Ekran Çapı=40 mm L1= 0.318 mH/km Lt1=0.624 mH/km			
	Li (mH/km)	Le (mH/km)	Ly (mH/km)	Lt (mH/km)	Li (mH/km)	Le (mH/km)	Ly (mH/km)	Lt (mH/km)
1	0.050	-0.0002	0.0000	0.644	0.050	-0.0003	0.0000	0.735
10	0.050	-0.0002	0.0000	0.644	0.050	-0.0003	0.0000	0.735
50	0.050	-0.0002	-0.0001	0.644	0.050	-0.0003	-0.0001	0.735
100	0.050	-0.0002	-0.0006	0.643	0.050	-0.0003	-0.0004	0.734
300	0.050	-0.0002	-0.0033	0.637	0.050	-0.0003	-0.0023	0.730
512	0.043	-0.0002	-0.0046	0.620	0.043	-0.0003	-0.0032	0.714
1024	0.032	-0.0002	-0.0056	0.596	0.032	-0.0003	-0.0039	0.691
2048	0.023	-0.0002	-0.0064	0.577	0.023	-0.0003	-0.0044	0.672
5000	0.015	-0.0002	-0.0071	0.559	0.015	-0.0003	-0.0049	0.655
10000	0.010	-0.0002	-0.0074	0.550	0.010	-0.0003	-0.0051	0.646

Tablo 2-4 0.5/0.86 ve 0.5/1.04 Damarlı Kablolarda Endüktans Bileşenlerinin Frekansla Değişimi

Frekans f(kHz)	2Y 0.5/0.86 Ekran Çapı=40 mm L1= 0.271 mH/km Lt1=0.526 mH/km				2Y 0.5/1.04 Ekran Çapı=40 mm L1= 0.319 mH/km Lt1=0.626 mH/km			
	Li (mH/km)	Lh (mH/km)	Lnh (mH/km)	Lt (mH/km)	Li (mH/km)	Lh (mH/km)	Lnh (mH/km)	Lt (mH/km)
1	0.050	-0.0003	0.0000	0.642	0.050	-0.0005	0.0000	0.736
10	0.050	-0.0004	0.0000	0.642	0.050	-0.0005	0.0000	0.736
50	0.050	-0.0004	-0.0004	0.641	0.050	-0.0005	-0.0002	0.736
100	0.050	-0.0004	-0.0014	0.639	0.050	-0.0005	-0.0009	0.734
300	0.046	-0.0004	-0.0043	0.625	0.046	-0.0005	-0.0029	0.722
512	0.035	-0.0004	-0.0054	0.600	0.035	-0.0005	-0.0036	0.698
1024	0.026	-0.0004	-0.0062	0.581	0.026	-0.0005	-0.0042	0.679
2048	0.018	-0.0004	-0.0068	0.565	0.018	-0.0005	-0.0046	0.664
5000	0.012	-0.0004	-0.0074	0.550	0.012	-0.0005	-0.0050	0.650
10000	0.008	-0.0004	-0.0076	0.543	0.008	-0.0005	-0.0052	0.643

Yapılan açıklamalardan, şekil 2.15 ve Tablo 2.3 ve Tablo 2.4 ' den de görüldüğü gibi, frekans yükseldikçe, iki telli simetrik bir transmisyon hattının efektif self endüktansı küçülür ve belli bir frekanstan sonra sadece tel yarıçapı ve teller arası mesafe ile belirlenen sabit değere düşer.

2.3.3 Birim Uzunluğunda Hat Parçasının İletkenleri Arasındaki Kısmi ve Efektif Kapasite (C)

2.3.3.1 Kısmi Kapasiteler

Birbirinden yalıtılmış n adet iletkenin üzerinde sırasıyla toprağa göre $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ elektrik yükleri toplanmış ve bunların etkisiyle iletkenlerin toprağa göre potansiyelleri $V_1, V_2, \dots, V_n$ değerlerine gelmiş ise ;

$$\begin{aligned} Q_1 &= C_{10}.V_1 + C_{12}.(V_1 - V_2) + \dots + C_{1n}(V_1 - V_n) \\ Q_2 &= C_{20}.V_2 + C_{21}.(V_2 - V_1) + \dots + C_{2n}(V_2 - V_n) \\ ---&\quad\quad\quad\text{-----}\hspace{8em}\\ Q_n &= C_{n0}.V_n + C_{n1}.(V_n - V_1) + \dots + C_{nn-1} . (V_n - V_{(n-1) }) \end{aligned} \tag{2.39}$$

denklemleri ile belirlenen C_{10} büyüklüğü, i ve k iletkenleri arasındaki kısmi kapasitedir. $C_{10}, C_{20}, \dots, C_{n0}$ ise sırasıyla 1, 2, ..., (n-1) ve n numaralı iletkenlerin toprağa göre kısmi kapasiteleridir.

2.3.3.2 Efektif kapasite

İki iletkenin arasındaki efektif kapasite, bunlardan birinin taşıdığı elektrik yükünün iki iletkenin potansiyelleri arasındaki farka oranına denir [17].

$$C_e = \frac{Q_i}{V_i - V_k} \quad (2.40)$$

Burada ;

V_i ve V_k , i ve k iletkenlerin toprağa göre potansiyelleri

Q_i : i - nolu iletkenin elektrik yükü

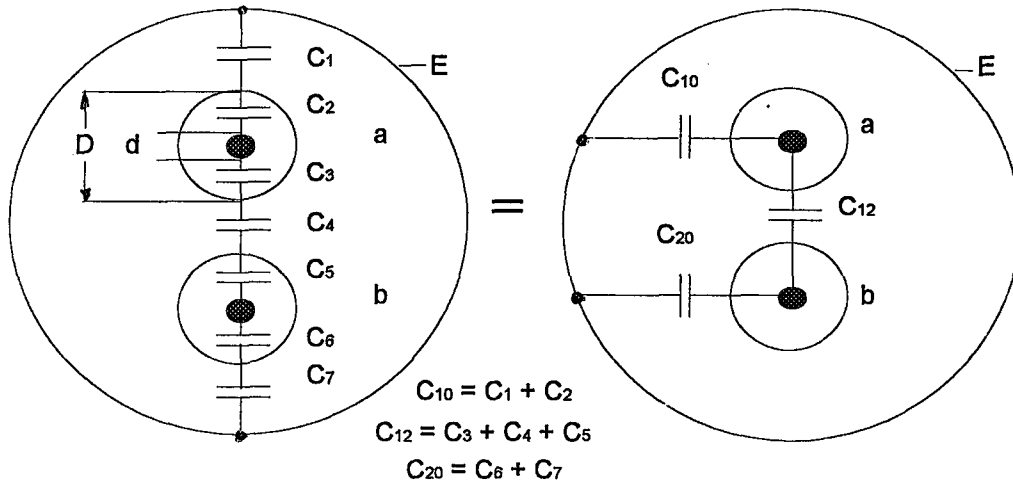
$C_e =$: Efektif kapasite ' dir.

Bir transmisyon hattının ikincil parametrelerini incelerken , hesaba katılması gereken kapasite efektif kapasitedir. Yakın ve uzak uç diyafoni zayıflamaları incelenirken ise , kapasitif kuplajlara neden olan , kısmi kapasitelerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Kablo imalatında simetriye büyük önem verildiğinden , gerek iletkenler arasındaki kısmi kapasiteler , gerekse iletkenlerin toprağa göre kısmi kapasiteleri kendi aralarında birbirine hemen hemen eşittir. İletkenler arasındaki kapasite kablonun

geometrik boyutlarına olduğu kadar kullanılan yalıtkan malzemelerin özelliğine ve imal tarzına da geniş ölçüde bağlıdır [22] , [23].

Ekranlı bir çiftin kısmi kapasiteleri Şekil 2 ' 16 da gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Ekranlı çiftin kısmi kapasiteleri

Şekil 2.16 ' da verilen çiftin efektif kapasitesi

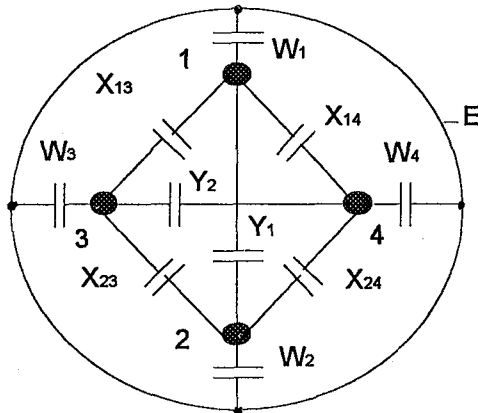
$$C_e = C_{12} + \frac{C_{10} \cdot C_{20}}{C_{10} + C_{20}} \quad .(2.41)$$

olarak hesaplanır.

Burada ;

C_{12} - iki damar arasındaki kapasite
 C_{10} , C_{20} - damarlarla toprak arasındaki kapasite

Yıldız dörtlü sistemine göre bükülmüş , ekranlı bir dörtlüde parsiyel kapasiteleri gösteren şema Şekil 2.17 ' de verilmiştir [24].



Şekil 2.17 Ekranlı dörtlüde parsiyel kapasitelerin şekli

Dörtlüyü oluşturan her çiftin efektif kapasitesi

$$C_e (1-2) = Y_1 + \frac{X_{13} \cdot X_{23}}{X_{13} + X_{23}} + \frac{X_{14} \cdot X_{24}}{X_{14} + X_{24}} + \frac{W_1 \cdot W_2}{W_1 + W_2}$$

$$C_e (3-4) = Y_2 + \frac{X_{13} \cdot X_{14}}{X_{13} + X_{14}} + \frac{X_{23} \cdot X_{24}}{X_{23} + X_{24}} + \frac{W_3 \cdot W_4}{W_3 + W_4} \quad (2.42)$$

olarak hesaplanır.

Burada ;

$X_{13}, X_{14}, X_{23}, X_{24}$ - damarlararası kapasiteler

W_1, W_2, W_3, W_4 - damar - ekran arası kısmi kapasitelerdir.

Kaliteli bir kabloda $X_{13} = X_{14} = X_{23} = X_{24} = X$

$$Y_1 = Y_2 = Y$$

$$W_1 = W_2 = W_3 = W_4 = W$$

olduğundan , (2.42) formülü

$$C_e = X + Y + \frac{W}{2} \quad \text{şeklini alır.} \quad (2.43)$$

Genelde $X : Y : W = 5 : 1 : 10$ oranları geçerlidir [13].

Her damarın kapasitesinin

$$C_d = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{\ln (D / d)} \quad [\text{pF} / \text{m}] \quad (2.44)$$

olarak hesaplandığını gözönünde bulundurursak , çiftin efektif kapasitesi ,

dolgunsuz kablolarda ; [25] [26]

$$C_e = \frac{\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{\ln \left(\frac{2a - r_0}{r_0} \right) - \left(\frac{r_0}{2a} \right)} \quad [\text{pF} / \text{m}] \quad (2.45)$$

ve dolgulu kablolarda [27] ;

$$C_e = \frac{\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_{pe}^{0.75} \cdot \epsilon_d^{0.25}}{\ln \left(\frac{2a - r_0}{r_0} \right) - \left(\frac{r_0}{2a} \right)} \quad [\text{pF} / \text{m}] \quad (2.46)$$

şeklinde hesaplanır.

Burada ; ϵ_0 - Boşluğun dielektrik geçirgenliği (8.854 pF / m)

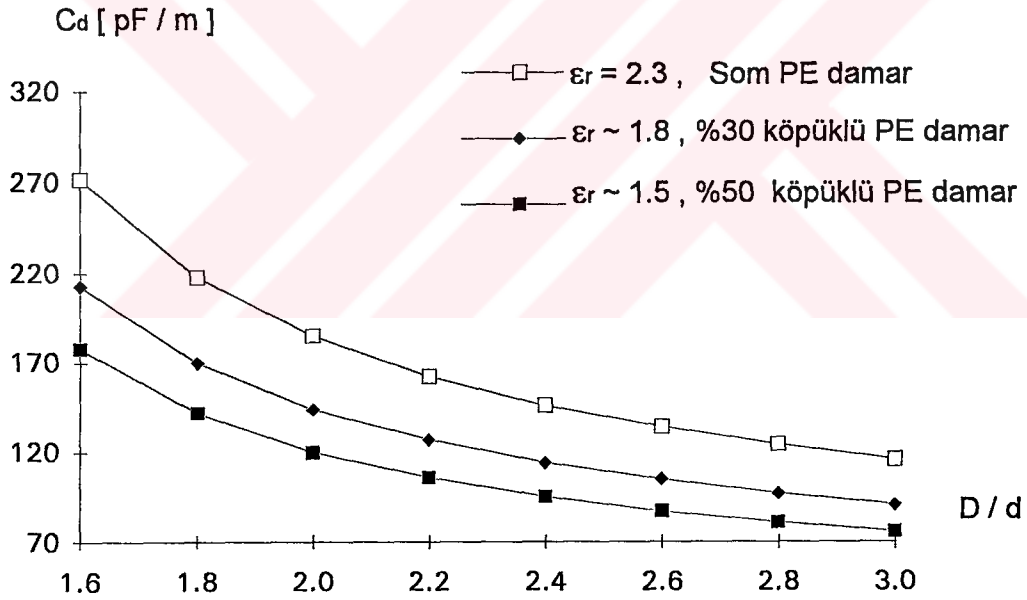
ϵ_r - malzemenin dielektrik sabiti

r_0 - tel yarıçapı

D - Damar çapı

2a - tel merkezleri arasındaki mesafe $2a = D \cdot \sqrt{2}$ dir.

Formüllerden de görüldüğü gibi , efektif kapasite değeri frekansa bağımlı olmayıp, sadece kullanılan malzemenin özelliklerine ve kablo geometrik boyutlarına bağlıdır. Üretilen ve işletmeye alınan simetrik haberleşme kabloların büyük çoğunluğunda , damar çapı / tel çapı oranı 1.6 ile 2.5 arasındadır. D / d 'nin 1.4 'ten küçük olması üretilebilirlik ve işletme açısından problemli , 3.0 'den büyük olması da ekonomik açıdan uygun değildir. Şekil 2.18 ' de bir Som PE izolasyonlu damar ve köpük oranları farklı olan iki köpüklü PE izolasyonlu damarda , damar kapasitesinin D / d oranıyla değişimi verilmiştir [28].



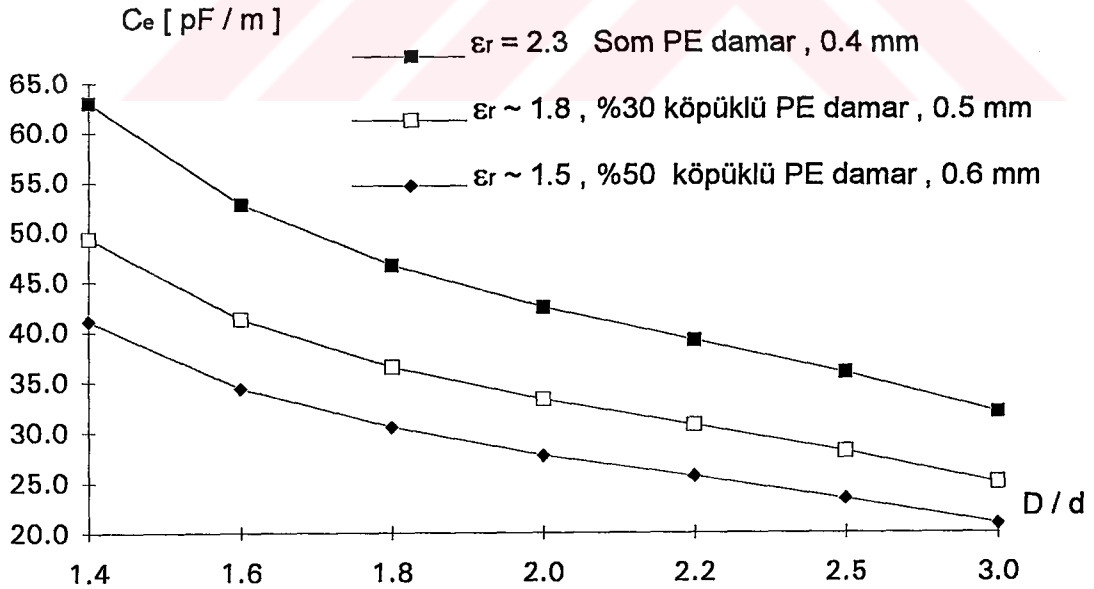
Şekil 2.18 Som ve köpüklü PE izolasyonlu damarlarda damar kapasitesinin D / d oranıyla değişimi

Aşağıdaki tabloda da telefon şebekesinde en fazla kullanılan kablolarda D / d oranları görülmektedir.

Tablo 2-5 Telefon şebekesine döşenen sekiz farklı tip kablunun D / d oranları

	Kablo Tipi	D / d
Dolgusuz kablolar , PD - AP - A , PD - PAP ,	0.4 / 0.7	1.75
	0.5 / 0.86	1.72
	0.6 / 1.1	1.83
	0.9 / 1.64	1.82
Dolgulu kablolar , PDF - AP	0.4 / 0.84	2.1
	0.5 / 1.04	2.08
	0.6 / 1.4	2.33
	0.9 / 2.0	2.22

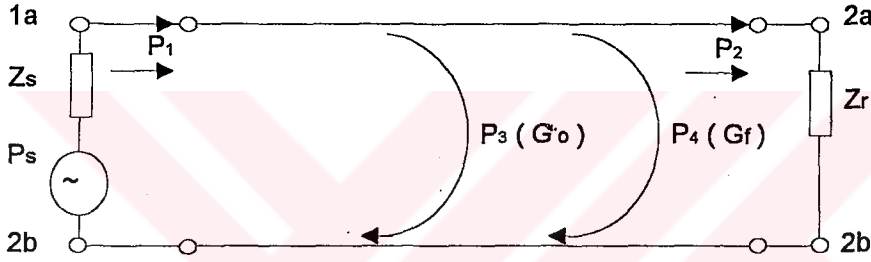
PD - APA ve PD - PAP tipi kablolarda farklı özellikte damarlar için çiftlerin efektif kapasitenin D / d oranıyla değişimi şekil 2.19 ' da verilmiştir.



Şekil 2.19 Dağıtım kablolarında , kablo efektif kapasitesinin damarların D / d oranıyla değişimi

2.3.4. Birim uzunluğunda Hat Parçasının İletkenleri Arasındaki Perditans (G)

Transmisyon hatlarındaki enerji kaybının başlıca iki nedeni vardır: Hat iletkenlerinde oluşan ısı kaybı ve iletkenler arası yalıtkan malzemedeki kayıplar. İletkenlerdeki ısı kaybı, bu iletkenlerin doğru akımda dahi belli bir omik direnci olmasından kaynaklanır. Yüksek frekanslarda direnç değeri frekansa bağlı olarak yükseldiğinden (şekil 2.14 a, b) kayıplar da yükselmektedir. İletkenler arası yalıtkan malzemedeki kayıplar ise yalıtkan malzemenin mükemmel, yani DC izolasyon direnci sonsuz büyük ve AC dielektrik kayıpları sonsuz küçük olmamasından kaynaklanır. Çok küçük te olsa, her yalıtkanın bir iletkenliği vardır ve kaynaktan çekilen gücün bir kısmı alıcıya ulaşmadan kısa yoldan geri döner (P_3).



Şekil 2.20 İletkenler arası yalıtkan malzemedeki kayıplar

Şekil 2.20 'den görüldüğü gibi

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \quad (2.47)$$

yazılabilir. Burada ;

P_1 kaynaktan çekilen gücü

P_2 alıcıya ulaşan gücü

P_3 kaçak akımlardan dolayı güç kaybını

P_4 "dielektrik histerezis" ' ten dolayı güç kaybını ifade etmektedir.

Hattın enine parametrelerinden biri olan perditans (G), belli bir frekanstaki $G + j \omega . C$ admitansının gerçel kısmıdır ve iki bileşeni vardır.

$$G = G_0 + G_f$$

Burada ;

$G_0 = 1 / R_{iz}$ — frekansa bağımlı olmayan , DC gerilimde ölçülen izolasyon direncinin (R_{iz}) tersidir.

G_f - dielektrik kayıplarının neden olduğu , frekansla değişen kayıplardır.

Doğru akımda ve alçak frekanslarda G_0 ' ın değeri ihmal edilebilecek kadar küçüktür ($G_0 < 10^{10}$ mho / km). Yalıtkan bir madde , alternatif elektrik alanının etkisinde kalırsa , bu maddenin hacminde " Dielektrik Histerezis " denilen ve frekansla orantılı olarak artan enerji kaybı oluşur. P_4 ile gösterilen bu kayıp

$$P_4 = U^2 \cdot \omega \cdot C_e' \cdot \tan \delta = U^2 \cdot G_f \quad (2.48)$$

şeklinde yazılabilir [29].

Burada ;

U - çift iletkenleri arasındaki gerilim

C_e çiftin efektif kapasitesi

$\tan \delta$ - yalıtkan malzemenin dielektrik kayıp faktörüdür.

Görüldüğü gibi efektif G' yi hesaplamak için, kullanılan yalıtkan malzemenin dielektrik kayıp faktörünün de bilinmesi gerekir. G_0 çok küçük olduğundan , incelemeyi yaptığımız frekans bölgelerinde $G \sim G_f$. kabul edilebilir ve

$$G = \omega \cdot C_e \cdot \tan \delta = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_e \cdot \tan \delta \quad (2.49)$$

veya

(2.44) formülünü de dikkate alarak

$$G = \frac{\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{\ln (2a / r_0)} \cdot \tan \delta = \frac{2 \pi^2 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \tan \delta}{\ln (2a / r_0)} \cdot f \quad (2.50)$$

olarak verilebilir.

Dolgulu ve dolgusuz kablolarda perditsanın frekansla değişimi Tablo 2.6 'da gösterilmiştir.

Tablo 2-6 Dolgulu ve Dolgusuz Kablolarda Perditsanın Frekansla Değişimi

	Dolgusuz $\tan \delta = 0.0003$				Dolgulu $\tan \delta = 0.0010$		
	0.4 mm	0.5 mm	0.6 mm	0.9 mm	0.4 mm	0.5 mm	0.6 mm
Frekans f(kHz)	G (mho)xE-6	G (mho)xE-6	G (mho)xE-6	G (mho)xE-6	G (mho)xE-6	G (mho)xE-6	G (mho)xE-6
1	0.076	0.076	0.073	0.074	0.226	0.226	0.213
10	0.759	0.761	0.731	0.735	2.262	2.258	2.128
50	3.794	3.804	3.657	3.676	11.312	11.291	10.640
100	7.588	7.608	7.315	7.353	22.624	22.581	21.280
300	22.764	22.823	21.944	22.059	67.873	67.744	63.841
512	41.886	41.994	40.377	40.588	124.887	124.649	117.467
1024	77.702	77.902	74.901	75.293	231.674	231.233	217.910
2048	155.404	155.805	149.803	150.587	463.349	462.467	435.819
5000	379.404	380.383	365.729	367.643	1131.222	1129.070	1064.012
10000	758.809	760.766	731.458	735.287	2262.444	2258.139	2128.025

2.4. İkincil Parametrelerin Frekans ve Sıcaklıkla Değişimi

Birincil parametreleri R , L , C ve G olan bir transmisyon hattının karakteristik empedansı Z_0 ve propagasyon sabiti γ

$$Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = Z_r + jZ_i$$

ve

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

şeklinde verilmişti.

Birer gerçel büyüklük olan R , L , C ve G 'ye birincil parametreler denildiği gibi, birer kompleks büyüklük olan Z ve γ 'ya ikincil parametreler adı verilir. Görülüyor ki, ikincil parametrelerin her ikisi de hattın birincil parametrelerinden başka, frekansa da bağımlıdır. Yani, her bir hattın karakteristik empedansı ve propagasyon sabiti, belli bir frekans için sabit olmakla birlikte, hat üzerinden iletilen işaretin frekansı ile değişen büyüklüklerdir. Hat zayıflaması α ve faz sabiti β 'nın hesaplama formülleri (2.14) ve (2.15) 'de verilmiştir. Her frekansta sinüsoidal dalganın faz hızı V_p ve faz gecikmesi t_p arasında

$$V_p = \frac{1}{t_p} = \frac{\omega}{\beta}$$

bağıntısı vardır.

Yukarıda adı geçen ikincil parametreler, her hattın transmisyon özelliklerinin bir göstergesidir. Bu parametrelerin frekansla değişimi ayrı frekans bantlarında oldukça büyük bir farklılık gösterdiğinden, bizi ilgilendiren 0 - 2 MHz frekans bölgesini en azından dört ayrı banda bölmekte yarar vardır.

- Çok alçak frekanslar ve doğru akım (DC)
- Ses frekansları bandı (300 Hz - 10 kHz)
- Orta frekanslar bandı (10 kHz - 150 kHz)
- Yüksek frekanslar bandı > 150 kHz

2.4.1 Çok Alçak Frekanslar Bandında Değişim

Bu frekanslarda $\omega = 0$, veya $\omega \rightarrow 0$ olduğundan $\omega L \approx 0$, $\omega C \approx 0$ 'dır ve ikincil parametrelerin değeri

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R}{G}} \quad (2.51)$$

$$\gamma = \sqrt{R.G} ; \beta = 0 \quad (2.52)$$

şeklinde hesaplanır.

Z_0 sırf omik bir direnç, γ ise gerçel bir sayıdır. Sürekli rejime erişmiş doğru akım halinde, reaktif empedans söz konusu olamayacağından bu sonuç fiziksel gerçeklere tam uymaktadır. Frekans yükseldikçe Z_0 ve γ 'yı veren (2.13) ve (2.16) denklemlerinde gerçel bileşenin yanında bir de sanal bileşen bulunur.

2.4.2. Ses Frekansları Bandında Değişim (300 Hz - 10 kHz)

Ses frekansları bandında $\omega L \ll R$ ve $\omega C \gg G$ olduğundan karakteristik empedans

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R}{G + j\omega.C}} = \sqrt{\frac{R}{2\omega.C}} + j \sqrt{\frac{R}{2\omega.C}} = Z_r + j Z_i \quad (2.53)$$

$$|Z_0| = \sqrt{Z_r^2 + Z_i^2}$$

olarak hesaplanır.

Propagasyon sabiti ise

$$\gamma = j\omega.C.R = \sqrt{\frac{\omega.C.R}{2}} + j \sqrt{\frac{\omega.C.R}{2}} = \alpha + j\beta \quad (2.54)$$

şeklini alır.

Hat zayıflaması ve faz sabitinin değerleri rakam olarak aynıdır

$$\alpha \approx \beta \approx \sqrt{\frac{\omega.C.R}{2}} \quad (2.55)$$

Tek frekans için faz hızı

$$V_p = \frac{\omega}{\beta} = \sqrt{\frac{2\omega}{R.C}} \quad (2.56)$$

ve faz gecikmesi

$$t_p = \frac{1}{V_p} = \sqrt{\frac{R.C}{2\omega}} \quad (2.57)$$

olarak hesaplanır.

Sözkonusu , birçok frekansı içeren frekans bandı ise ,

$$\text{grup faz hızı} \quad V_g = \frac{d\omega}{d\beta} = 2 \cdot \sqrt{\frac{2\omega}{R.C}} \quad (2.58)$$

ve grup faz gecikmesi

$$t_g = \frac{1}{V_g} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R.C}{2\omega}} \quad (2.59)$$

formülleri ile bulunur.

Görüldüğü gibi bu frekans bandında , ikincil parametrelerin tamamı , frekansla $\sqrt{f}$, olarak değişmektedir. Sıcaklıkla değişim ise $\sim \% 2 / ^\circ\text{C}$ dir [29] [30].

2.4.3 Orta Frekanslar Bandı (10 kHz - 150 kHz)

Bu frekanslarda $\omega L \approx R$ ve $\omega C \gg G$ dir ve hat empedansı

$$Z = Z_r + jZ_i = \sqrt{\frac{L}{C}} D_l - j \sqrt{\frac{R}{2\omega L C}} \cdot \frac{1}{D_l} \quad (2.60)$$

olarak hesaplanır.

$$\text{Burada} \quad D_l = \sqrt{0.5 + 0.5 \sqrt{1 + \left(\frac{R}{\omega L}\right)^2}} \quad \text{dir.}$$

Hat zayıflaması ,

$$\alpha_2 = \frac{R}{2} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} D_l \quad (2.61)$$

Faz sabiti ,

$$\beta_2 = \omega \sqrt{L C} \cdot D_l \quad (2.62)$$

Faz hızı ,

$$V_p = \frac{1}{\sqrt{L.C} \cdot D_l} \quad (2.63)$$

Faz gecikmesi ,

$$t_p = \sqrt{L.C} \cdot D_l \quad (2.64)$$

olarak hesaplanır [5] [23].

Tüm formüllerde yer alan D_l faktörü hesaplanmış ve incelenen frekans bandının alt kısmında (~ 10 kHz) , kablo tiplerine göre farklı (0.4 mm $\sim$ 1.9 ; 0.6 mm $\sim$ 1.4 ; 0.9 mm $\sim$ 1.13) değerler aldığı , frekans yükseldikçe , değerlerin

düşerek 1.0 'e yaklaştığı görülmüştür. Orta frekanslar bandının üst kısmında ise (~ 150 kHz) , $D_1 \sim 1.0$ (0.4 mm ~ 1.02 , 0.6 mm ~ 1.006 , 0.9 mm ~ 1.002) bulunmuştur.

2.4.4 Yüksek Frekans Bandı ($f > 150$ kHz)

İncelenen frekans bandında $\omega L \gg R$ ve $\omega C \gg G$ olduğundan , Birincil ve İkincil parametreleri arasındaki bağıntıyı veren formüller de sadeleşir.

Hat empedansı

$$Z_0 = \sqrt{L/C} = Z_r \quad (2.65)$$

gerçel büyüklük olup , omik bir dirençtir.

$$\text{Faz sabiti} \quad \beta = \omega \sqrt{L \cdot C} \quad (2.66)$$

Hat zayıflaması

$$\alpha_z = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} = \alpha_a + \alpha_y \quad (2.67)$$

veya

$$\alpha_z = \frac{R}{2 \cdot Z_0} + \frac{G \cdot Z_0}{2} = \alpha_a + \alpha_y \approx \frac{R}{2 \cdot \sqrt{L/C}} \quad (2.68)$$

olarak hesaplanır.

Burada; α_a -çiftin etken direnci, endüktansı ve kapasitesinden kaynaklanan zayıflama
 α_y -yalıtkandaki dielektrik kayıplarından kaynaklanan zayıflama

Bu frekanslarda faz hızı hat hızına eşit olduğundan

$$V_p = V_g = 1/\sqrt{L \cdot C} \quad (2.69)$$

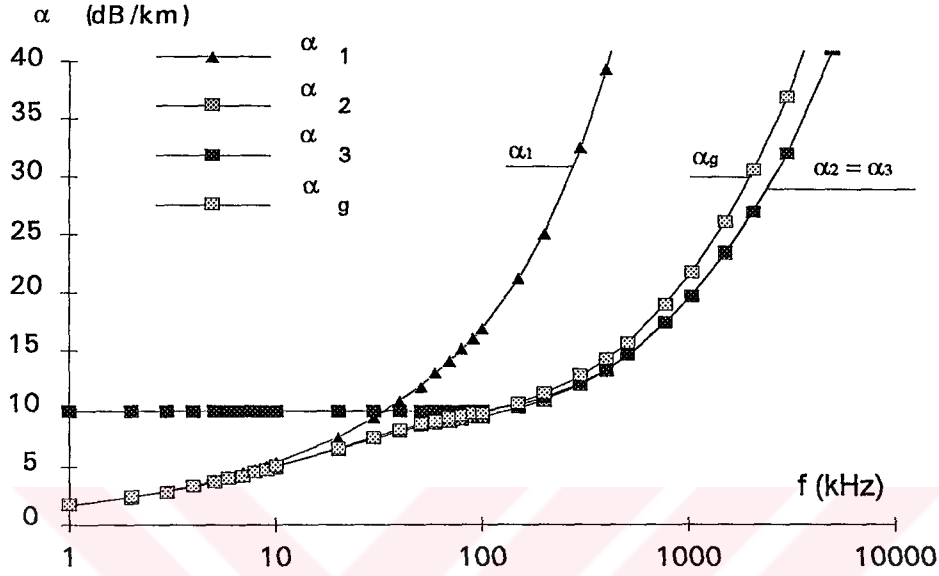
faz gecikmesi ile grup gecikmesi de eşittir ve

$$t_p = t_g = \frac{1}{V_g} \sim \sqrt{L \cdot C} = t_0 \quad (2.70)$$

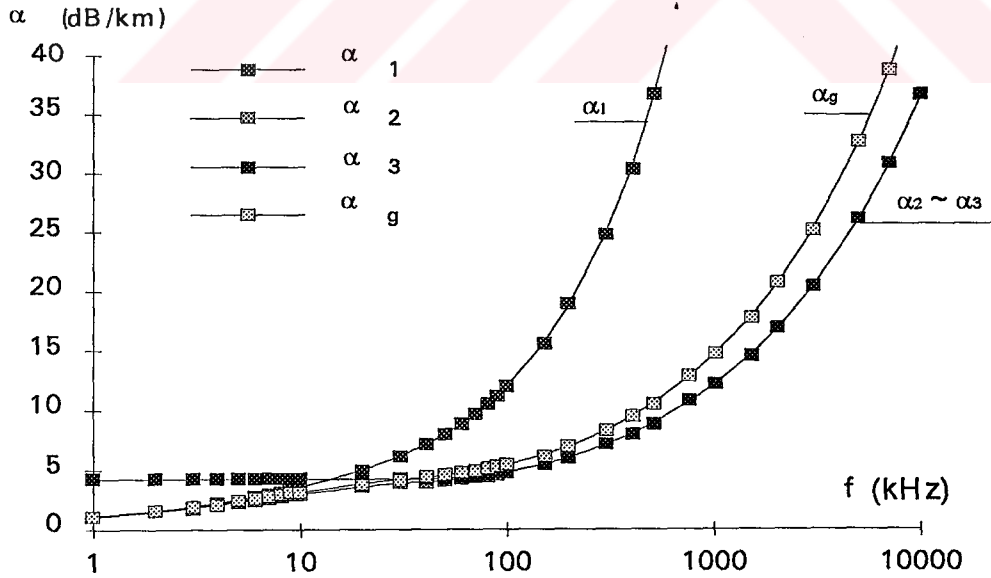
olarak hesaplanır.

Görüldüğü gibi yüksek frekans bandında faz sabiti dışında ikincil parametrelerin frekansla değişim hızı , orta frekanslara göre azalmıştır. Efektif kapasite frekansla değişmediğinden , karakteristik empedans , faz hızı ve faz gecikmesi sadece endüktansın çok az oranda (~ % 5) değişmesinden etkilenir. Hat zayıflaması da direkt olarak frekansa bağlı değildir ve sadece direncin frekansla değişiminden etkilenir.

0.4 / 0.7 ve 0.6 / 1.10 tipi kablolarda (2.55), (2.61) ve (2.68)' e göre hesaplanan α_1 , α_2 ve α_3 ve ölçülen gerçek hat zayıflaması α_g 'nin frekansla değişimi Şekil 2.21 ve Şekil 2.22 'de verilmiştir.



Şekil 2.21 0.4/0.70 tipi kablolarda Hat Zayıflamasının Frekansla Değişimi



Şekil 2.22 0.6/1.10 tipi kablolarda Hat Zayıflamasının Frekansla Değişimi

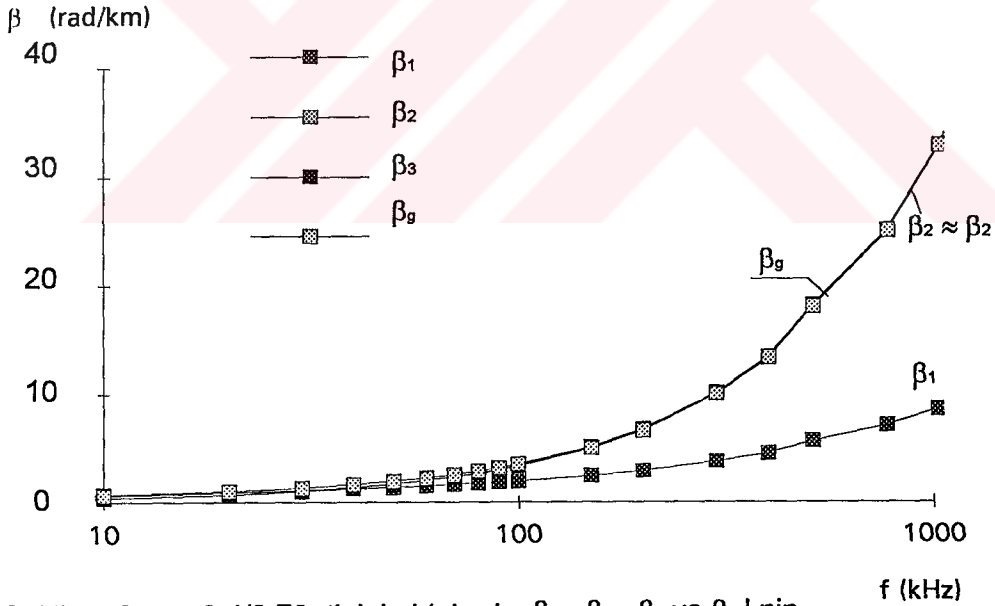
Telefon şebekesine döşenen sekiz tip dolgulu ve dolgusuz dağıtım kablosunda gerçek hat zayıflaması değerlerinin frekansla değişimi Tablo 2-7 'de verilmiştir.

Tablo 2-7

Sekiz tip dağıtım kablosunda gerçek hat zayıflamasının frekansla değişimi

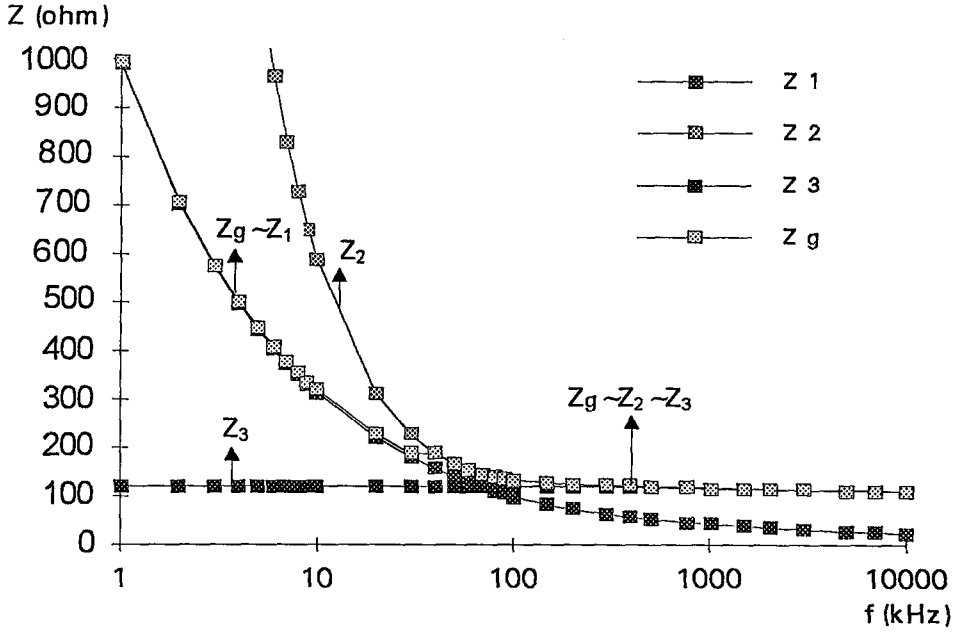
frekans f (kHz)	0.4/0.70 α_g (dB/km)	0.4/0.84 α_g (dB/km)	0.5/0.86 α_g (dB/km)	0.5/1.04 α_g (dB/km)	0.6/1.10 α_g (dB/km)	0.6/1.40 α_g (dB/km)	0.9/1.64 α_g (dB/km)	0.9/2.0 α_g (dB/km)
1	1.68	1.68	1.35	1.36	1.14	1.12	0.78	0.76
10	5.00	4.93	3.89	3.87	3.15	3.02	1.85	1.76
50	8.63	8.27	6.10	5.88	4.58	4.21	2.69	2.51
100	9.63	9.12	6.94	6.61	5.42	4.94	3.52	3.29
300	12.80	11.98	10.05	9.50	8.30	7.61	5.81	5.49
512	15.71	14.73	12.71	11.96	10.57	9.76	7.45	7.08
1024	21.72	20.53	17.79	16.65	14.80	13.83	10.54	10.10
2048	30.53	29.30	24.99	23.28	20.76	19.71	14.93	14.46
5000	48.22	47.72	39.77	36.80	32.68	31.85	23.44	23.06
10000	70.06	71.72	57.41	52.82	46.64	46.59	33.35	33.25

0.4 / 0.7 tipi kablolarda (2.55) ; (2.62) ; (2.66)' ya göre hesaplanan β_1 , β_2 , β_3 ve gerçek faz sabiti β_g değerlerinin frekansla değişimi Şekil 2.23 ' de dir.



Şekil 2.23 0.4/0.70 tipi kablolarda β_1 , β_2 , β_3 ve β_g ' nin frekansla değişimi

0.4 / 0.7 tipi kablolarda (2.53) ; (2.60) ; (2.65)' e göre hesaplanan Z_1 , Z_2 ve Z_3 değerleri ve gerçek karakteristik empedans Z_g değerlerinin frekansla değişimi Şekil 2.24 ' de verilmiştir.



Şekil 2.24 0.4/0.7 tipi kablolarla hesaplanan ve gerçek karakteristik empedansın frekansla değişimi

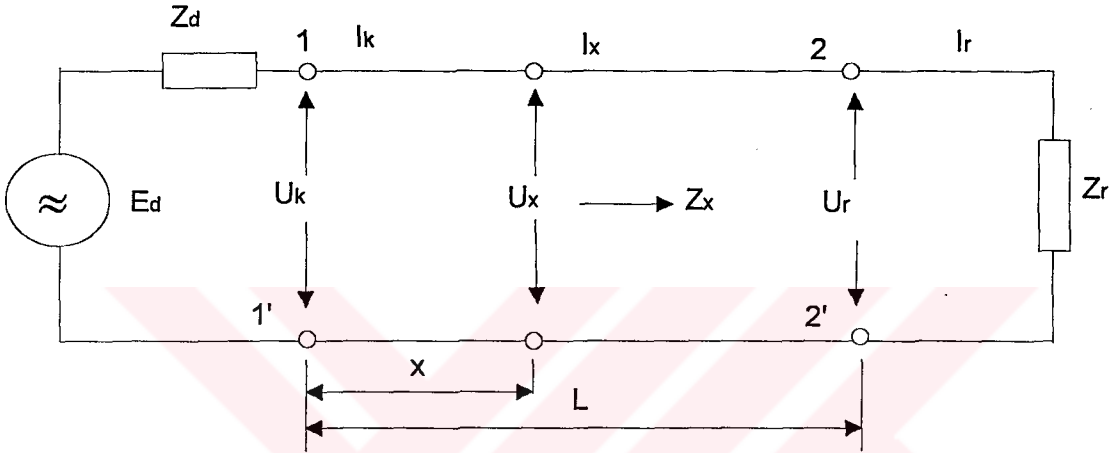
Tablo 2-8 'de de 8 tip dağıtım kablosunda grup gecikmesinin frekansla değişimi görülmektedir.

Tablo 2-8 Sekiz tip dağıtım kablosunda grup gecikmesi t_g nin frekansla değişimi

	0.4/0.70	0.4/0.84	0.5/0.86	0.5/1.04	0.6/1.10	0.6/1.40	0.9/1.64	0.9/2.00
frekans f (kHz)	t_g μs	t_g s	t_g μs	t_g μs	t_g μs	t_g μs	t_g μs	t_g μs
1	20.76	21.12	17.66	18.04	15.73	16.17	12.28	12.65
10	10.20	10.57	9.22	9.60	8.69	9.14	7.59	7.95
50	7.50	7.87	7.06	7.44	6.91	7.35	6.45	6.82
100	6.86	7.23	6.57	6.95	6.52	6.97	6.17	6.55
300	6.29	6.65	6.10	6.49	6.07	6.53	5.78	6.17
512	6.06	6.44	5.87	6.27	5.88	6.35	5.64	6.03
1024	5.80	6.18	5.65	6.05	5.69	6.17	5.49	5.90
2048	5.59	5.98	5.47	5.88	5.54	6.02	5.38	5.79
5000	5.39	5.79	5.30	5.73	5.40	5.89	5.27	5.69
10000	5.28	5.69	5.21	5.63	5.31	5.81	5.21	5.62

2.5 Transmisyon Hatlarında Yansımalar

Transmisyon hattın sonuna , kendi karakteristik empedansından farklı bir empedans bağlandığında (veya karakteristik empedansları farklı olan iki kablo birbirine bağlandığında) , gelen enerjinin bir kısmı yansıyıp tekrar kaynağa döner [31]. Benzeri yansıma sadece hat başında ve sonunda değil , hat boyunca empedans dalgalanmaları (değişikliği) olan her noktada olur [32].



Şekil 2.25 Sonu herhangi bir empedansla kapatılmış sınırlı uzunlukta transmisyon hattı

Uzunluğu sınırlı ve karakteristik empedansı Z_0 olan hattın sonu herhangi bir Z_r yük empedansı ile kapandığını , baş tarafına da iç empedansı Z_d olan bir E_d kaynağı uygulandığını farz edelim. Hattın kaynak ucundaki gerilim ve akım U_k ve I_k , yük ucundaki gerilim ve akım da U_r ve I_r ise, kaynaktan x uzaklıktaki bir noktanın U_x gerilimi ve I_x akımını hesapladığımızda ;

$$U_x = \frac{U_k - Z_0 I_k}{2} e^{\gamma x} + \frac{U_k + Z_0 I_k}{2} e^{-\gamma x} \quad (2.71)$$

$$I_x = - \frac{U_k - Z_0 I_k}{2 Z_0} e^{\gamma x} + \frac{U_k + Z_0 I_k}{2 Z_0} e^{-\gamma x} \quad (2.72)$$

elde edilir [14].

(2.5.1) ve (2.5.2)' den görüldüğü gibi herhangi bir x noktasındaki gerilim ve akım , ikişer bileşenden oluşmuştur. Bunlardan $e^{-\gamma x}$ çarpanını ihtiva eden bileşenler hat başında (kaynak ucunda , $x = 0$) maksimum olup , yüke

yaklaştıkça genlikleri sonsuz uzun hatlarda olduğu gibi $e^{-\alpha x}$ çarpanı ile küçülür ve $-\beta x$ kadar faz değişimine uğrarlar. $e^{\gamma x}$ çarpanını ihtiva eden bileşenler ise , tersine , yük uçlarında ($x = L$) maksimum , kaynak tarafında minimum değerlerini alırlar. Hat başında ölçülen empedans Z_k olduğuna göre

$$U_k = Z_k . I_k \quad (2.73)$$

denklemini dikkate alarak (2.5.1) ve (2.5.2) bağıntıları aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$U_x = \frac{(Z_k + Z_0).U_k}{Z_k} \frac{e^{-\gamma x}}{2} + \frac{(Z_k - Z_0).U_k}{Z_k} \frac{e^{\gamma x}}{2} = U_g + U_y \quad (2.74)$$

$$I_x = \frac{(Z_k + Z_0).I_k}{Z_k} \frac{e^{-\gamma x}}{2} - \frac{(Z_k - Z_0).I_k}{Z_k} \frac{e^{\gamma x}}{2} = I_g + I_y \quad (2.75)$$

(2.5.4) ve (2.5.5)' den görüldüğü gibi hattın herhangi bir noktasındaki gerilim veya akımın değeri , gelen ve yansıyan dalgaların gerilim ve akımlarının toplamına eşittir. Hat üzerinde herhangi bir noktadaki yansıyan gerilimin gelen gerilime oranına Yansıma Katsayısı denir ve k_r ile gösterilir.

$$k_r = \frac{U_y}{U_g} = \frac{Z_k - Z_0}{Z_k + Z_0} \quad (2.76)$$

Kaynağa uzaklığı x olan noktadaki yansıma katsayısı ise

$$k_r = \frac{U_y}{U_g} = \frac{Z_k - Z_0}{Z_k + Z_0} e^{2\gamma x} \quad (2.77)$$

olarak bulunur.

Yansıma katsayısı , hattın karakteristik empedansı ile giriş empedansına ve söz konusu noktanın kaynağa uzaklığına göre değişir. Yansıma katsayısının büyük olması empedans uygunsuzluğunun büyük olduğunu gösterir .

Empedans uygunsuzluğunu ifade eden ve dB olarak

$$A_r = 20.Lg \left| \frac{1}{k_r} \right| = 20.Lg \frac{Z_k - Z_0}{Z_k + Z_0} \quad [dB] \quad (2.78)$$

ile tanımlanan , A_r parametresine , uygunsuzluk (refleksiyon) zayıflaması (Mismatch attenuation ;) adı verilir. İyi bir empedans uygunluğu için A_r ' nin mümkün mertebe büyük olması gerekir. Empedans uygunsuzluğunun hat zayıflaması üzerinde etkisi aşağıdaki formülde verilmiştir [33][34].

$$\alpha_i = \alpha_g + 20.Lg |q_1| + 20.Lg |q_2| + 2.3 |r_1.r_2.10^{-\alpha/10}| \quad [dB] \quad (2.79)$$

Burada α_i - İşletme şartlarında hat zayıflaması

α_g - Empedans uygunsuzluğu olmayan hattın zayıflaması

$$q_1 = \frac{Z_d + Z_0}{2.\sqrt{Z_d.Z_0}} \quad q_2 = \frac{Z_r + Z_0}{2.\sqrt{Z_r.Z_0}} \quad (2.80)$$

olmak üzere

$$k_{r1} = \frac{Z_d - Z_0}{Z_d + Z_0} \quad k_{r2} = \frac{Z_r - Z_0}{Z_r + Z_0} \quad (2.81)$$

k_{r1} , k_{r2} - hat başında ve hat sonunda yansıma katsayılarıdır[34].

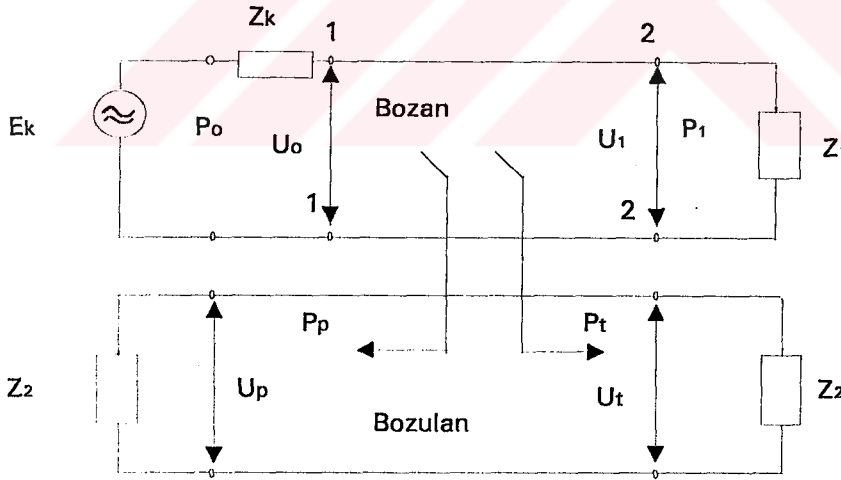
Görüldüğü gibi işletme şartlarında bir transmisyon hattı boyunca empedans dalgalanmaları oluyorsa ve / veya hat tam karakteristik empedansı ile kapatılmıyorsa , işletme şartlarındaki gerçek hat zayıflaması (α_i) , yansısız hattın zayıflaması (α_g) 'den daha büyüktür.

BÖLÜM 3. YAKIN VE UZAK UÇ DİYAFONİSİ

3.1 Diyafoni Olayının Açıklanması

Birden fazla çiftli kablolarda herhangi bir çiftin oluşturduğu devreye komşu devrelerden istenmeyen haber geçişine diyafoni denir. Bu haber geçişinin en önemli nedeni kablo çiftleri arasındaki elektromagnetik kuplajlardır. Ortaya çıkış biçimine göre iki tip diyafoni vardır. Para diyafoni veya yakın uç diyafonisi ve Tele diyafoni veya uzak uç diyafonisi. Bozulan hattın baş tarafında oluşan P_p gücünün bozan hattın aynı ucundan gönderilen P_o gücüne oranının logaritmasına yakın uç diyafoni zayıflaması denir [34] [35].

$$A_n = - 10.Lg \left| \frac{P_p}{P_o} \right| \quad [dB] \quad (3.1)$$



Şekil - 3.1 Yakın ve uzak uç diyafonisi

Bozulan hattın uzak ucunda oluşan P_t gücünün , bozan hattın baş tarafından gönderilen P_o gücüne oranının logaritmasına ise uzak uç diyafoni zayıflaması denir.

$$A_f = - 10.Lg \left| \frac{P_t}{P_o} \right| \quad [dB] \quad (3.2)$$

$P = U \cdot I = U^2 / Z$ olduğundan , 3.1 ve 3.2 'deki yakın uç ve uzak uç diyafoni zayıflamaları

$$A_n = -20.Lg \left| \frac{U_p}{U_0} \right| \sqrt{\left| \frac{Z_1}{Z_2} \right|} = 20.Lg \left| \frac{U_p}{U_0} \right| + 10.Lg \left| \frac{Z_1}{Z_2} \right| \quad [dB] \quad (3.3)$$

ve

$$A_f = -20.Lg \left| \frac{U_t}{U_0} \right| \sqrt{\left| \frac{Z_1}{Z_2} \right|} = 20.Lg \left| \frac{U_t}{U_0} \right| + 10.Lg \left| \frac{Z_1}{Z_2} \right| \quad [dB] \quad (3.4)$$

şeklinde ifade edilir.

Çok çiftli dağıtım kablolarında , çiftlerin birincil ve ikincil parametreleri birbirine çok yakın veya eşittir. Dolayısıyla $|Z_1| = |Z_2|$ olduğu kabul edildiğinde çok küçük bir hata ile

$$A_f = -20.Lg \left| \frac{U_p}{U_0} \right| \quad [dB] \quad (3.5)$$

ve

$$A_f = -20.Lg \left| \frac{U_t}{U_0} \right| \quad [dB] \quad (3.6)$$

olarak hesaplanır.

Şekil 3.2 'den görüldüğü gibi , uzak uç diyafoni etkisine neden olan güç hattın başından sonuna kadar olan yolu da geçtiğinden , çiftler arası diyafoni zayıflamasına , geçilen yolun hat zayıflaması eklenmektedir.

$$A_f = A_{fe} + \alpha$$

Burada

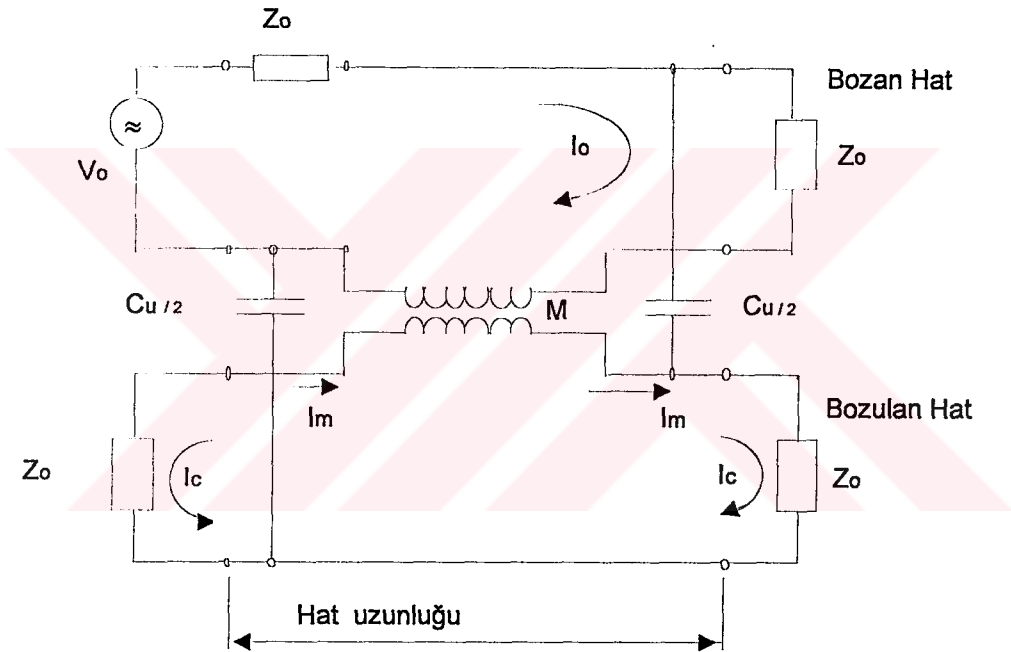
$$A_{fe} = -10.Lg \left| \frac{P_t}{P_1} \right| + 20.Lg \left| \frac{U_1}{U_0} \right| \quad [dB] \quad (3.7)$$

olarak hesaplanır.*

* Kablolardaki diyafoniye açıklayan kaynaklarda , A_n - NEXT Loss , A_f - FEXT loss ve A_{fe} - ELFEXT loss olarak tanımlanır [37] [38].

3.2 Kapasitif ve İndüktif Kuplajların Analitik Olarak İncelenmesi

Elektriksel olarak birbirinden izole edilmiş komşu çiftlerin damarları arasındaki kapasite dengesizliği ve çift hatveleri arasındaki oranların uygun olmaması veya sabit tutulmaması gibi düzensizlikler yüzünden bu çiftler arasında kapasitif ve endüktif kuplajlar oluşmaktadır. Kablo çiftlerinin birbirine çok yakın olması, herhangi birinden akan akımın yarattığı elektromagnetik alanın etkisinde kalan diğer çiftlerde istenmeyen bir gerilim endüklenmesine ve parazit akımlar akmasına neden olmaktadır [39].



Şekil 3.2 Aynı kablo içinde çiftler arası kapasitif ve endüktif kuplajlar

Burada

- $Cu/2$ --- kapasitif kuplajlar
- M --- endüktif kuplajlar
- I_0 --- bozan devrenin akımı
- I_c --- kapasitif kuplajlardan dolayı akım
- I_m --- endüktif kuplajlardan dolayı akım
- Z_0 --- her bir çiftin karakteristik empedansı

İki devrenin karakteristik empedansları aynı olduğu kabul edilmiştir ($Z_0 = Z_1 = Z_2$). Bozan devrede akan akım I_0 ve sonlandırma empedansı Z_0 üzerinde düşen gerilim $V_0 = I_0 \cdot Z_0$ dır. C_u 'nun oluşturduğu empedans, Z_0 empedansından çok daha yüksek olduğundan V_0 gerilimi nedeniyle her iki uçtaki sonlandırmaların üzerinden I_c akımı geçmektedir [36].

$$I_c = j\omega \cdot \frac{I_0 \cdot Z_0 \cdot C_u}{8} \quad (3.8)$$

Burada

$$I_c = \frac{V_0}{X_c} = \frac{V_0}{1 / j\omega \cdot C_u} \quad \text{ve} \quad C_u = \frac{k_1}{4} \quad \text{olup}$$

k_1 - aşağıda tanımlanan kapasite dengesizliğidir.

Şekil 2 'deki damarlar arası kapasiteler tam eşit olmadığı durumlarda $X_{13} = X_{14} = X_{24}$ ve $W_1 = W_2 = W_3 = W_4$ dır ve çiftler arası bir kapasite dengesizliği oluşur.

Bu kapasite dengesizliği k_1

$$k_1 = X_{13} + \frac{W_1 \cdot W_3}{4 \cdot W} + X_{14} + \frac{W_1 \cdot W_4}{4 \cdot W} - \left(X_{23} + \frac{W_2 \cdot W_3}{4 \cdot W} + X_{24} + \frac{W_2 \cdot W_4}{4 \cdot W} \right) \quad (3.9)$$

ile ifade edilir.

Burada - $X_{13}, X_{14}, X_{23}, X_{24}$ - damarlar arası kapasiteler
 W_1, W_2, W_3, W_4 - her damarın ekrana karşı kapasitesi
 $4 \cdot W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$ dir.

endüktif kuplajlardan dolayı indüklenen $V_m = j\omega \cdot M \cdot I_0$ gerilimi , bozulan devrede her iki kapatma empedansından geçen I_m akımına neden olur.

$$I_m = -j\omega \cdot \frac{I_0 \cdot M}{2 \cdot Z_0} \quad (3.10)$$

Yapılan açıklamalardan sonra $P_0 = I_0 \cdot Z_0$, $P_p = (I_c - I_m) \cdot Z_0$ ve

$P_t = (I_c + I_m) \cdot Z_0$ olduğu görülmektedir , (3.1) ve (3.2)' deki formüller aşağıdaki gibi yazılabilir.

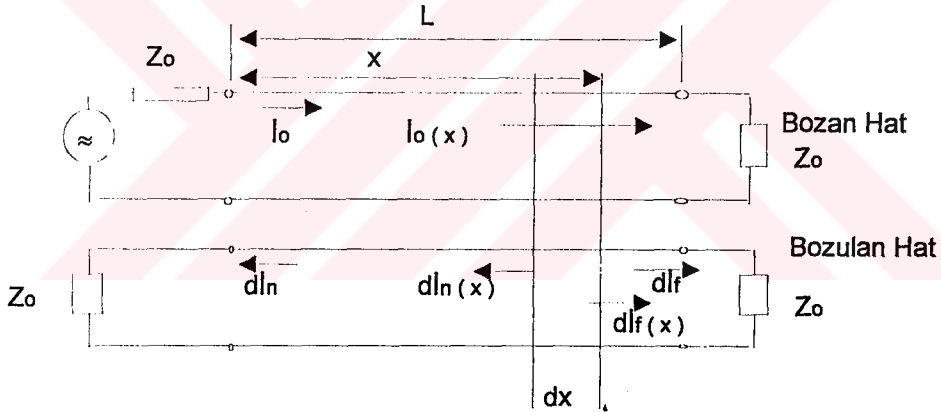
$$A_n = 10 \cdot \text{Lg} \left| \frac{I_c - I_m}{I_0} \right|^2 = 10 \cdot \text{Lg} \left(\omega^2 \cdot \left| \frac{Z_0 \cdot C_u}{8} + \frac{M}{2 \cdot Z_0} \right|^2 \right) \quad [\text{dB}] \quad (3.11)$$

$$A_f = 10.Lg \left| \frac{I_c + I_m}{I_0} \right|^2 = 10.Lg \left(\omega^2 \left| \frac{Z_0.C_u}{8} - \frac{M}{2.Z_0} \right|^2 \right) \quad [dB] \quad (3.12)$$

Görüldüğü gibi karakteristik empedansı büyük olan devrelerde I_c laha büyük, empedansı küçük olan devrelerde ise I_m daha etkilidir. Simetrik hattın empedansının alçak frekanslarda büyük olduğu ve frekans yükseldikçe küçülerek sabit bir değere ulaştığını gözönünde bulundurursak ; alçak rekanslarda kapasitif kuplajların yüksek frekanslardada endüktif kuplajların daha etkili olması beklenmelidir.

3.2.2 Yakın Uç Diyafonisi

Şekil 3.2 dikkate alınarak bulunan (3.11) formülü , tüm hat üzerindeki yakın uç diyafoni zayıflamasını ifade etmektedir. Hat boyunca diyafoninin nasıl değiştiğini görmek amacıyla kısa dx uzunluğunda bir hat parçasını inceleyelim.



Şekil 3.3 Kuplajlardan kaynaklanan akımlar

Şekil 3.3 ' ü dikkate alarak , yakın uç diyafonisine nedem olan $dI_n(x)$ akımı ;

$$dI_n(x) = I_0(x).(I_c - I_m).dx = I_0(x) \left(\omega^2 \left| \frac{Z_0.C_u}{8} - \frac{M}{2.Z_0} \right|^2 \right).dt \quad [dB] \quad (3.13)$$

şeklinde ifade edilir.

İki devrenin de aynı transmisyon parametrelerine sahip olduğunu farz

edersek ($\gamma_1 = \gamma_2$), hatlardaki akımlar

$$I_o(x) = I_o \cdot e^{-\gamma x}$$

ve

$$dI_n = dI_n(x) \cdot e^{-\gamma x}$$

ile ifade edilip oranları da

$$\frac{dI_n}{I_o} = \frac{dI_o(x) \cdot e^{-\gamma x}}{I_o(x) \cdot e^{-\gamma x}} = -j\omega \cdot \left(\frac{C_u \cdot Z_o}{8} - \frac{M}{2 \cdot Z_o} \right) \cdot e^{-2\gamma x} \cdot dx \quad [dB] \quad (3.14)$$

şeklinde belirlenir. Yani işaret, x mesafesini hem gidiş hemde dönüş olarak geçmiş olur.

Burada $C_n = \left(\frac{C_u \cdot Z_o}{8} + \frac{M}{2 \cdot Z_o} \right)$ olduğunu kabul edersek

$$\frac{dI_n}{I_o} = j\omega \cdot C_n \cdot e^{-2 \cdot \gamma \cdot x} \cdot dx$$

gibi yazılır.

Diyafoniye neden olan kuplajların hat boyunca üniform dağıldığında (0-L arası integral alındığında), yakın uç diyafoni etkisi, (NEXT),

$$NEXT = \left| \frac{I_n}{I_o} \right|^2 = \omega^2 C_n^2 \int_0^L e^{-4 \cdot \alpha \cdot x} dx = \frac{\omega^2 C_n^2}{2\alpha} (1 - e^{-4 \cdot \alpha \cdot L}) \quad (3.15)$$

olarak ifade edilir ve yakın uç diyafoni zayıflaması da

$$A_n = -10 \lg \frac{\omega^2 C_n^2}{2\alpha} (1 - e^{-4 \cdot \alpha \cdot L}) \quad (3.16)$$

olarak hesaplanır.

İki çiftin transmisyon parametreleri farklı ise ($\gamma_1 \neq \gamma_2$)

$$A_n = -10 \lg \frac{\omega^2 C_n^2}{(\alpha_1 + \alpha_2)} (1 - e^{-2 \cdot (\alpha_1 + \alpha_2) \cdot L}) \quad (3.17)$$

formülü geçerlidir.

Hat zayıflaması α 'nın frekansla değişimi $\sim \sqrt{f}$ olduğu bandlarda

$$A_n = B - 10.Lg.(f^{3/2}) = B - 15.Lg f$$

geçerli olacaktır.

3.2.3 Uzak Uç Diyafonisi

Uzak uç diyafoniye neden olan dl_f akımı

$$dl_f(x) = I_o(x).(I_c + I_m).dx = I_o(x).j\omega \left(\frac{C_u.Z_o}{8} - \frac{M}{2Z_o} \right).dx \quad (3.18)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada $\left(\frac{C_u.Z_o}{8} - \frac{M}{2Z_o} \right) = C_f$ olduğunu kabul edelim.

Hat boyunca ilerleyen $I_o(x)$ ve $dl_f(x)$ akımları

$$I_o(x) = I_o(L) e^{-\gamma.(L-x)} \quad (3.19)$$

ve

$$dl_f(x) = dl_f(L) e^{-\gamma.(L-x)} \quad (3.20)$$

şeklinde ifade edilir.

(3.19) ve (3.20) dikkate alındığında , (3.18)

$$dl_f(L).e^{-\gamma.(L-x)} = I_o(x).j\omega.C_f.dx = I_o(L).e^{-\gamma.(L-x)} \omega.C_f.dx \quad (3.21)$$

şeklini alır ve sadeleştirildiğinde

$$dl_f(L) = I_o(L) j\omega.C_f.dx \quad (3.22)$$

olarak yazılır.

(3.22) ' nin karesini alıp

$$d(I_f(L))^2 = -I_o^2(L).\omega^2.C_f^2 dx \quad (3.23)$$

(0 - L) arasında integre edildiğinde

$$|f^2(L)| = - |I_0^2(L)| \cdot \omega^2 \cdot C_f^2 \cdot L \quad (3.24)$$

bulunur.

Bütün açıklamalardan sonra , uzak uç diyafonisi

$$\left| \frac{f^2(L)}{I_0^2} \right| = \omega^2 \cdot C_f^2 \cdot L = FEXT \quad (3.25)$$

şeklinde ifade edilir.

Uzak uç diyafoni zayıflaması da

$$A_f = -10 \cdot Lg \left| \frac{f^2(L)}{I_0^2} \right| = -10 Lg (\omega^2 \cdot C_f^2 \cdot L) \quad (3.26)$$

şeklinde bulunur.

Görüldüğü gibi uzak uç diyafoni zayıflaması , frekans ve kuplajların dışında hat uzunluğundan da etkilenmektedir.

Cf - (3.18) formülünde verilen ifade ile alındığında , (3.26) 'da verilen uzak uç diyafoni zayıflaması

$$A_f = -10 \cdot Lg \left(\omega^2 \cdot \left(\frac{C_u \cdot Z_0}{8} - \frac{M}{2Z_0} \right)^2 \right) \cdot L \quad (3.27)$$

olarak hesaplanır.

(3.16), (3.17) ve (3.27) formüllerinde ω 'yi $2 \cdot \pi \cdot f$ ile değiştirdiğimizde yakın uç diyafoni zayıflaması ,

$$A_n = -10 Lg \frac{(2 \pi f)^2}{2\alpha} \cdot \left(\frac{C_u \cdot Z_0}{8} + \frac{M}{2Z_0} \right)^2 \cdot (1 - e^{-4 \cdot \alpha \cdot L}) \quad (3.28)$$

veya farklı özellikte çiftler için ($\alpha_1 \neq \alpha_2$)

$$A_n = -10 Lg \frac{(2 \cdot \pi \cdot f)}{(\alpha_1 + \alpha_2)} \cdot \left(\frac{C_u \cdot Z_0}{8} + \frac{M}{2Z_0} \right)^2 (1 - e^{-2 \cdot (\alpha_1 + \alpha_2) \cdot L}) \quad (3.29)$$

olarak hesaplanır.

Uzak uç diyafoni zayıflaması da

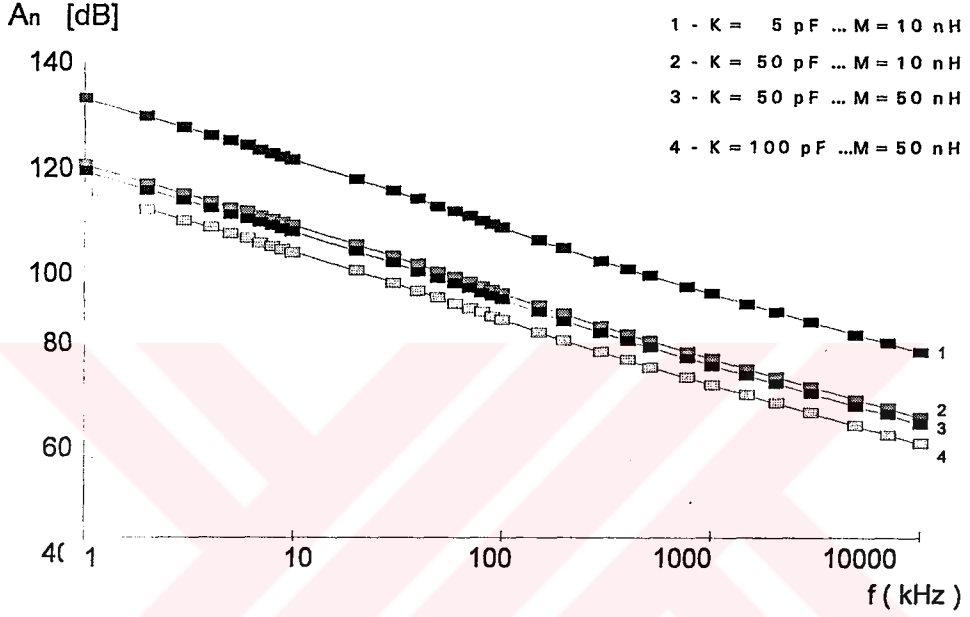
$$A_f = -10 Lg (2 \pi f)^2 \left(\frac{M}{2Z_0} - \frac{C_u \cdot Z_0}{8} \right) L \quad (dB) \quad (3.30)$$

olarak bulunur.

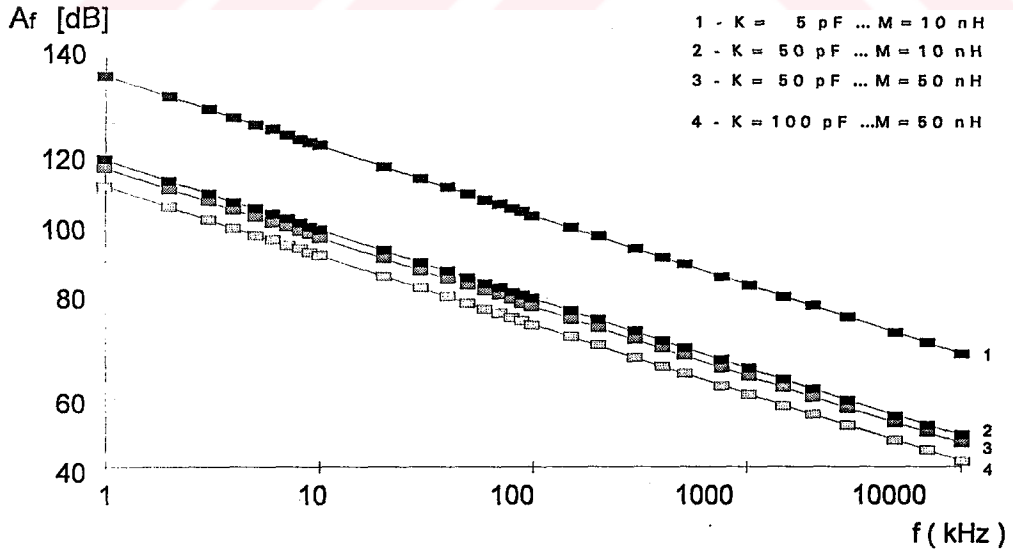
Uzunluğu fazla olan kablolarda ($L \gg 1 \text{ km}$), $e^{-4 \cdot \alpha \cdot L} \ll 1$ olduğundan yakın uç diyafoni zayıflaması

$$A_n = -10 \lg \frac{2(\pi f)^2}{\alpha} \left(\frac{M}{2Z_0} + \frac{C_u Z_0}{8} \right) \quad (\text{dB}) \quad (3.31)$$

şeklini alır. Dolgulu 100" x2x0.4/0.84 tipi kablolarda, farklı büyüklükte kapasitif ve endüktif kuplajların diyafoni zayıflaması üzerinde etkisi şekil 3.4 ve 3.5 'de verilmiştir.

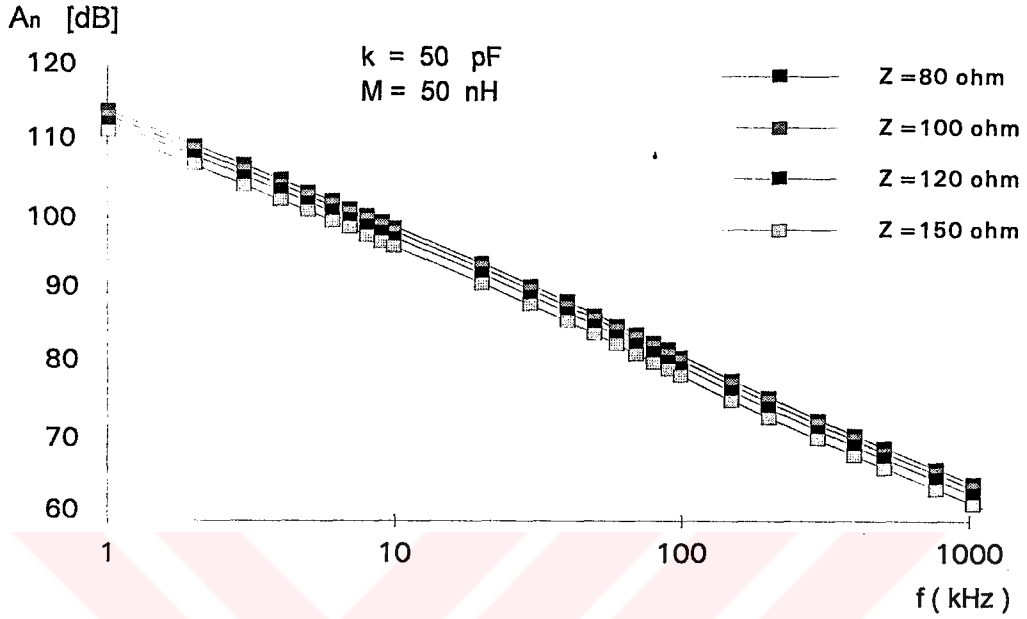


Şekil 3.4 Yakın uç diyafoni zayıflamasının frekansla değişimi

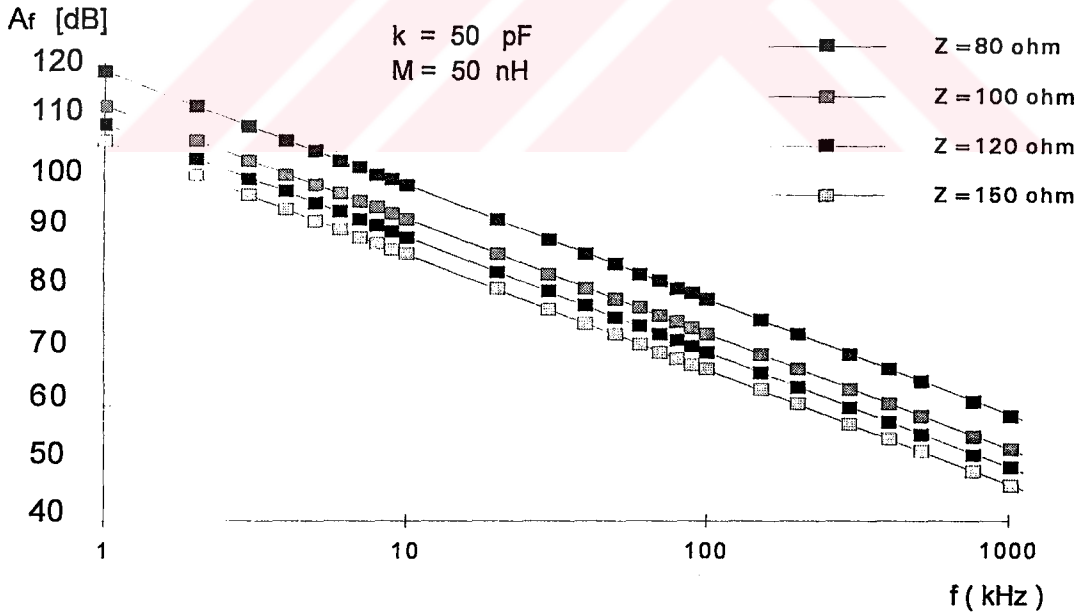


Şekil 3.5 Uzak uç diyafoni zayıflamasının frekansla değişimi

Şekil 3.6 ve 3.7 'de ise aynı tipten kablolarda (100" x 2 x 0.4/0.8/4) , yakın ve uzak uç diyafoni zayıflamalarının , hat sonundaki kapatma empedansından ne şekilde etkilendiği görülmektedir.



Şekil 3.6 Farklı kapatma empedanslarında yakın uç diyafoni zayıflamasının frekansla değişimi



Şekil 3.7 Farklı kapatma empedanslarında uzak uç diyafoni zayıflamasının frekansla değişimi

BÖLÜM 4. ŞEHİRİÇİ DAĞITIM KABLOLARININ SAYISAL HABERLEŞMEDE KULLANILMASI

4.1 Dağıtım Şebekesi ile İlgili Genel Bilgiler

PTT nin yurt içine yayılmış olarak kurup işlettiği üç tür şebeke vardır [32].

Telefon şebekesi

Teleks şebekesi

Paket bağlaşımlı veri şebekesi

Bu şebekelerin abone hattı adı verilen ve santraldaki LT (Line Termination) ile abone terminali arasında bağlantıyı sağlayan kısım , 0.4 mm çapında bakır iletkenli kablodan ibarettir. 1980 ' lerin başında ISDN fikri doğduğunda, tümleşik erişim için en yaygın olan telefon şebekesinin seçilmesi doğaldı. Fakat bu ana kadar yapılan yatırımlarda bağlaşma ve iletim ortamı sayısala dönüştüğü halde , abone hattı bakır kablo olmaya devam etti , hatta bundan sonraki yatırımlarda da aynı kablo kullanılmaya devam etmektedir. Telefon şebekesi üzerinde yapılan parasal yatırım önemli bir yüzdeye sahiptir. Dünyada abone kablosunun toplam telekommunikasyon sistemlerindeki harcama payı % 25 - 30 civarındadır [2]. Bu değer Türk PTT ' si için 1985 ile 1990 arası yapılan yatırımlarda % 19.6 ile % 30.34 arası değişmektedir [1][3]. Hiçbir PTT bu ölçekteki büyük yatırımı bir anda gözardı edemez ve şebekenin daha verimli çalıştırılması için yollar arar.

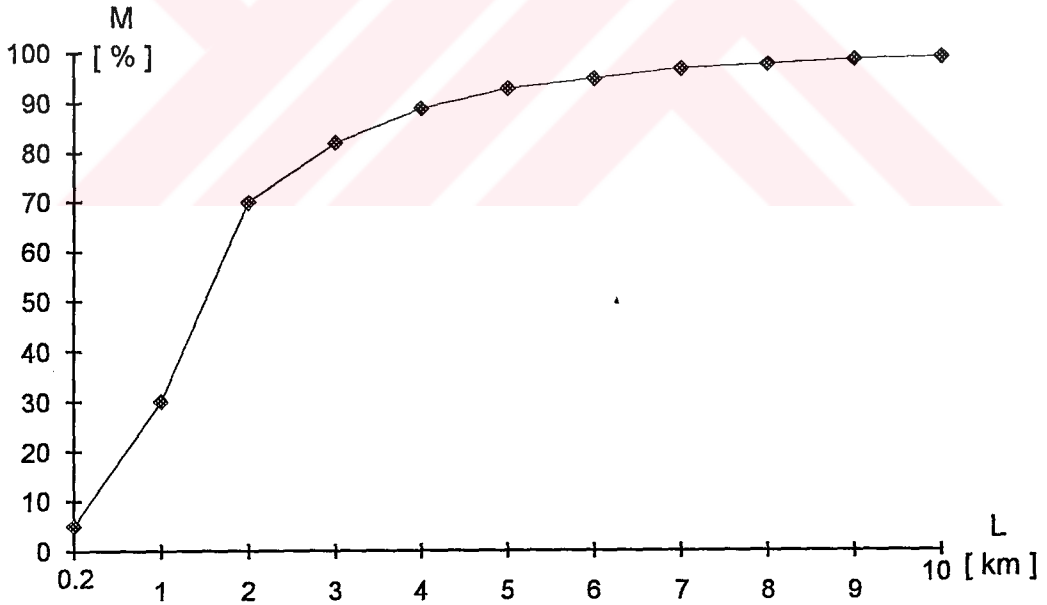
Dünya , belli yörelerin dışında artık telefon açısından hemen hemen doymaya ulaşmış durumdadır. 1987 'de yaklaşık 650 milyon aboneye ulaşan telefon şebekesindeki yıllık artış % 6 , veri şebekelerindeki artış ise % 20' dir. Fakat daha sonraki istatistikler veri şebekesindeki artışları % 9, görüntü iletimindeki artışı ise % 20 ' lerin üzerinden olduğunu göstermiştir [42]. Haberleşme sistemlerinde sesli ve hareketli resmin kullanılmaya başlanması oldukça yenidir. Abone ile santral arası halen

kullanılmakta olan analog haberleşme devreleri görüntülü haberleşme olanağını veremez ancak, sayısal şebekelerde bu olanağı bulmak mümkündür. Geçen on yılda telekomünikasyon endüstrisi tüm ses, veri ve video servislerini destekleyecek tek bir şebeke (ISDN) tasarımını planları arasına almış ve uygulamaya başlamıştır. Ancak doğal olarak diğer teknolojilerde olduğu gibi, böyle yeni bir haberleşme sistemi, yararların yanında bazı problemleri de getirmektedir. Örneğin bu yeni şebeke, kullanıcılarına kaliteli servis, tüm servislerin aynı terminalin üzerinden sağlanabilmesi, yüksek transmisyon hızları, daha yüksek verimlilik gibi ayrıcalıklar sağlarken, kullanılan cihazlar bazı standart arabağdaşımlar zorunluluğunu da getirmektedir. Çok farklı tip servisler veren ISDN 'de haberleşme kalitesini sağlamak önemli olduğu kadar da zordur. ISDN 'ye geçiş diğer ülke PTT 'lerinde olduğu gibi Türk PTT 'sinde de tartışılan konulardan biridir. ISDN 'ın ilk aşaması olan darband ISDN 'de gereken transmisyon kalitesini sağlamak üzere, transmisyon hatlarında bir değişiklik gereksinimi olup olmadığı araştırılmaktadır. Abone hatlarının da özellikleri gözönünde bulundurularak darband - ISDN 'nın 144 kBit/s sınırları içerisinde kalması uygun görülmüştür. Ancak simetrik kabloların kullanım alanı 144 kBit/s ile de sınırlanmamaktadır. Teknolojinin bugünkü seviyesinde, gerekli önlemler alındığında abone hattını oluşturan, bir bakır iletkenli çift üzerinden $H_{12} = 30B + D$ (2048 kBit/s) sayısal haberleşme mümkündür. Ancak bilgi akışını etkileyen birçok problemin açığa çıkarılması ve çözülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, simetrik haberleşme kablolarının oluşturduğu abone hatlarında çıkan ve haberleşmeyi bozan faktörler incelenmiştir. Abone hatları döşenirken bakır tel çaplarına göre, hat uzunluklarını veren bazı standart değerlere uyulmuştur. Bu standart değerler, günümüz şebekesinin kaldırabileceği zayıflamalara göre belirlenmiştir. Türkiye 'de bugüne kadar çekilen hatların uzunluğunu belirleyen standart değerler Tablo 4-1 'de verilmiştir. Uzunlukları, tabloda verilen maksimum uzunluklardan az olan hatlarda repetör kullanılmadığından, telefon cihazından çıkan ses frekansları dahilindeki işaret, santrale ulaşmaya dek herhangi bir kuvvetlendirme işlemine tabi tutulmamaktadır.

Tablo 4-1 Telefon şebekesine döşenen dağıtım kabloların DC çevrim direnci ve 1 kHz 'deki zayıflaması (PTT işletme kriterlerine göre)

İletken tel çapı (mm)	Döşenen max.uzunluk (m)	1 km kablonun		1 kHz ' de hat zayıflaması max. (dB/km)	Döşenen max. uzunluğun	
		DC-çevrim direnci (ohm/km) ort	max		Çevrim direnci (ohm)	1kHz ' de hat zayıflaması max. (dB)
0.4	3750	278.8	293.0	2.61	1035.0	9.787
0.5	5250	178.8	186.0	1.85	920.0	9.712
0.6	6750	124.2	129.2	1.45	823.5	9.787
0.7	8500	91.2	95.0	1.15	756.5	9.775
0.8	10250	69.8	72.6	0.95	697.0	9.737
0.9	12000	55.2	57.6	0.81	636.0	9.720

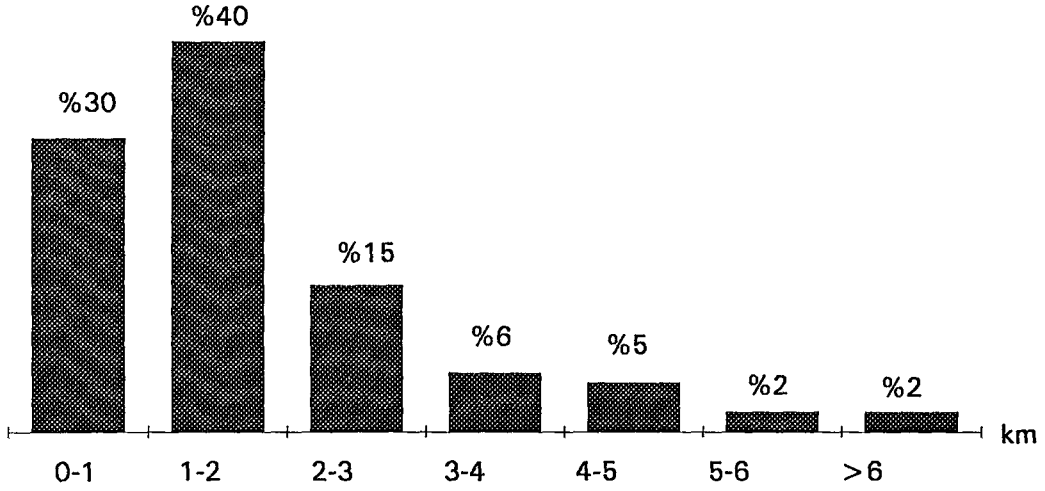
Günümüz şebekesinde döşenmiş olan abone hatlarının % 30 ' u 1 km ' nin altında, % 70 ' i 2 km ' nin altında ve % 96 ' sı 5 km ' nin altındadır. Şekil 4.1 ' de verilen grafikten , döşenmiş abone hat uzunluklarının % olarak ağırlıkları görülmektedir.



Şekil 4.1 Döşenmiş abone hat uzunluklarının % olarak dağılımı

Şekil 4.1 ' de M , uzunluğu belirli bir L değerinden az olan dağıtım kabloları , şebekeye döşenmiş toplam kablo içerisindeki payını göstermektedir. Döşenmiş

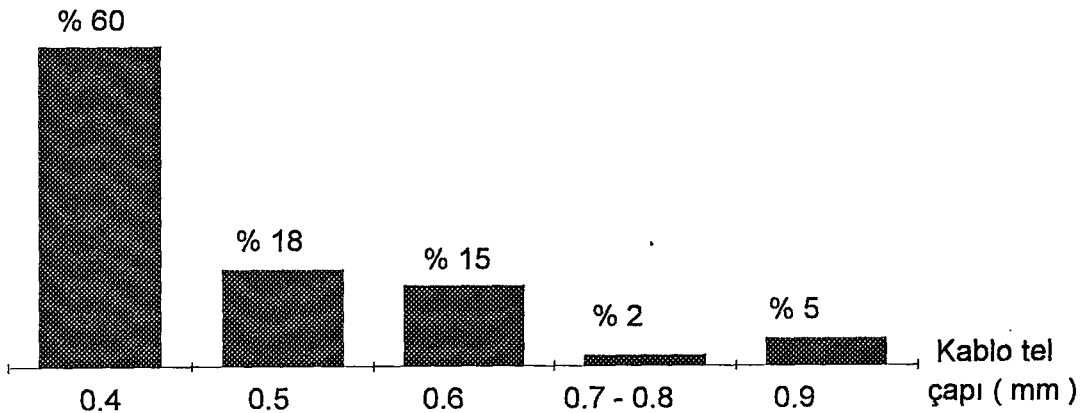
abone kablolarının 0 - 1 km , 1 - 2 km , 2 - 3 km gibi aralıklarda yer alanlarının yüzdesi şekil 4.2 ' de verilmiştir.



Şekil 4.2a Farklı uzunluklarda abone hat sayısının % olarak ağırlığı

Görüldüğü gibi abone hatlarının büyük çoğunluğunun (% 40) 1 - 2 km arası, % 30 ' u , 0 - 1 km arası ve ~ % 15 ' i , 2 - 3 km arası uzunluğa sahiptir. 3 km' den uzun hatlar ise toplamın % 15 'ini oluşturmaktadır.

Son beş yılda (1989 - 1993) şehir içi telefon şebekesine döşenen kablolar , çift x km (hat x km) uzunluklarına göre değerlendirildiğinde , abone hatlarının ~ % 60 ' ının tel çapı 0.4 mm olan kablolar olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2b Şehir içi telefon şebekesine döşenen farklı tip kabloların % olarak ağırlığı

4.2. Yüksek Frekanslarda Etken Faktörlerin ve Çıkacak Problemlerin Belirlenmesi.

Ses frekans dağıtım kablolarında , aboneler arasında telefon görüşmesini sağlayan 300 Hz ile 3400 Hz arası frekans bandı yerine 1 MHz veya 2 MHz frekanslara kadar kullanım gündeme geldiğinde , transmisyonu bozan etkenlerin sayısı arttığı gibi , şiddeti de artar , dolayısıyla düzeltici önlem alınması da zorlaşır. Etken faktörler ve çıkan problemler aşağıda sıralanmıştır ;

Hat Zayıflaması

Ses frekans dağıtım kablolarının , DC çevrim direnci, 1kHz'deki hat zayıflaması ve max. döşenen uzunluklar tablo 4-1 ' de ,hat zayıflamasının frekansla değişimi ise Şekil 2.21 ve Tablo 2.7 ' de verilmiştir. PTT ' nin ses frekans dağıtım kabloları Teknik şartnamesinde verilen ortalama ve maksimum çevrim direnci ve efektif kapasite değerlerini dikkate alarak hesaplanan , 1 kHz 'deki hat zayıflaması değerleri ve PTT ' de işletme kriterleri olarak kabul edilen hat zayıflaması değerleri aşağıdaki tabloda görülmektedir [43] [44].

Tablo 4-2 PTT ' nin dağıtım kabloları şartnamesi ve PTT telefon şebekesi işletme kriterlerine göre maksimum hat zayıflaması

Kablo Tipi	PTT şartnamesi α_1 max.(dB / km)	PTT işletme kriterleri α_2 max. (dB / km)	Fark (%)
0.4	1.82	2.61	43.4
0.5	1.46	1.85	26.7
0.6	1.15	1.45	26.1
0.7	1.00	1.15	15.0
0.8	0.87	0.95	9.2
0.9	0.77	0.81	5.2

Tabloda $Fark = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_2} \cdot 100$ (%) olarak hesaplanmıştır.

Tablodan görüldüğü gibi işletme kriterlerinde verilen değerler , şartnamede verilen değerlerden ~ % 5 ile % 43 arası daha yüksektir. Bu artışın başlıca nedeni kablo eklerinde (muflarda) ve dağıtım panolarındaki yansımalarıdır. Hat boyunca muf ve dağıtım pano sayısının fazla olması veya eklenen kabloların aynı tipten olmaması,

yansımayı arttıran faktörlerdir. Bu çalışmada tespit edilen dört farklı frekanstaki ortalama hat zayıflaması değerlerini Tablo 2-7 ' den alıp , döşenen max. uzunluklara göre hesaplandığında, Tablo 4-3.' de gösterilen zayıflama değerler bulunmuştur.

Tablo 4-3. Döşenen max. uzunlukların farklı frekanslardaki hat zayıflaması

Kablo tipi max.uzlk.	1 kHz (dB)	100 kHz (dB)	512 kHz (dB)	1024 kHz (dB)
0.4/0.70 (3750 m)	6.3	36.1	58.9	81.45
0.4/0.84 (3750 m)	6.3	34.2	55.2	76.98
0.5/0.86 (5250 m)	7.08	36.4	66.72	93.4
0.5/1.04 (5250 m)	7.08	34.7	62.79	87.4
0.6/1.1 (6750 m)	7.7	36.59	71.3	99.9
0.6/1.4 (6750 m)	7.56	33.3	65.88	93.35
0.9/1.64 (12000 m)	9.12	42.24	89.4	126.5
0.9/2.0 (12000 m)	9.12	39.5	85	121.2

Görüldüğü gibi döşenmiş maksimum uzunluklarda, 512 kHz ve 1024 kHz'deki hat zayıflaması değerleri 50 - 60 dB' in üzerindedir. Sayısal haberleşme sistemlerinde iki tekrarlayıcı veya santral abone arası en büyük zayıflama sınırı 40 dB olarak kabul edildiğinden , kabloların bir kısmının kullanılamıyacağı hemen görülmektedir.

Karakteristik Empedans

Karakteristik empedans , birincil parametrelerden belirlenen ve her frekansta kablo boyunca sabit kalan bir parametredir. Ancak birincil parametrelerdeki dalgalanmaların kaçınılmaz olması , imalat , nakliye ve döşeme

problemlerinden dolayı kablo uzunluklarının 250 ile 2000 m arasında sınırlanmış olması, dolayısıyla çok sayıda muf kullanılma zorunluluğu, hat boyunca empedansın dalgalanmasına ve yer yer nominal değerinden çok sapmasına neden olmaktadır.

Tablo 4-4 Dağıtım kablolarının dört farklı frekanstaki karakteristik empedansı

Kablo	Karakteristik empedans Z_0 (ohm)			
Tipi	1 kHz	100 kHz	512 kHz	1024 kHz
0.4/0.70	994.5	133.9	119.8	117.00
0.4/0.84	994.5	139.9	128.25	125.7
0.5/0.86	795.6	126.7	117.45	115.22
0.5/1.04	795.6	134.15	126.48	124.51
0.6/1.1	664.5	126.5	119.17	117.4
0.6/1.40	664.5	136.00	130.00	128.5
0.9/1.64	444.9	122.5	116.4	115.24
0.9/2.0	444.9	131.00	125.5	124.5

Tel çapları eşit olan dolgulu ve dolgusuz kabloların karakteristik empedansları arasındaki fark 1 kHz 'de ~ 0 iken, 512 kHz ve 1024 kHz 'de % 7 - 10 arasındadır. Mufun etkisini hiç dikkate almadan, ideal şartlarda, dolgulu ve dolgusuz kablo eklendiğinde, tek bir ekten kaynaklanan yansımanın zayıflaması $\sim 26 \div 30$ dB olacaktır. Hat boyunca 4 - 5 ek yeri olduğunu düşünürsek, yansıma zayıflaması $\sim 18 - 22$ dB 'e düşmektedir. Gerçek bir muf ekinde, empedans değişikliği $\sim \% 15 - 20$ arasındadır. Böyle bir muftan gelen yansımanın zayıflaması $\sim 18 - 22$ dB 'dir. Yine hat boyunca 4 - 5 muf olduğunu düşünürsek yansımanın zayıflaması $\sim 13 - 15$ dB 'e kadar düşmektedir. Telefon şebekesine döşenen kabloların efektif kapasitesi PTT şartnamesinde üstten sınırlanıp 0.4 mm mm ve 0.5 mm tellilerde $C_e \text{ ort.} < 50 \text{ nF/km}$; 0.6 mm ve 0.9 mm tellilerde ise $C_e \text{ ort.} < 45 \text{ nF/km}$ olarak belirlenmiş bir alt sınır yoktur. Efektif kapasitenin küçük olması, damar çapının daha büyük olması, dolayısıyla kablo maliyetinin artması demektir. Döşenen 0.4 ve 0.5 mm tel çaplı kabloların çoğunda efektif kapasitenin 45 - 47 nF/km olması ile birlikte, 40 nF/km ve 50 nF/km' ye yakın değerler de az değildir. Efektif kapasitesi 40, 44 ve 50 nF/km olan üç tip kablonun karakteristik empedansı Tablo 4-5' de verilmiştir.

Tablo 4-5 Efektif kapasitesi farklı olan kablolarda karakteristik empedansın frekansla değişimi

Frekans (kHz)	0.4/0.70			0.4/0.84		
	C_e (nF/km)			C_e (nF/km)		
	40	44	50	40	44	50
1	1042.4	994.5	932.5	1042.4	994.5	932.5
100	140.4	134	125.6	146.8	139.9	131.3
512	125.6	119.8	112.4	134.5	128.25	120.3
1024	122.7	117	109.7	131.9	125.7	118

Tablo 4-5' den görüldüğü gibi aynı tipten (0.4 / 0.70 veya 0.4 / 0.84) ancak efektif kapasiteleri farklı olan iki kablo eklendiğinde ($C_e = 40$ nF/km ve $C_e = 50$ nF/km), hem alçak hem yüksek frekanslardaki karakteristik empedans $\sim \% 10 \div 12$ arasında farketmektedir. Tel çapları eşit , dolgulu (0.4 / 0.84 mm-40 nF/km) ve dolgusuz (0.4 / 0.7 mm - 50 nF / km) kablolar eklendiğinde , 512 kHz ve 1024 kHz ' de empedans farkı $\sim \% 20$ ' lere çıkar.

Yakın uç ve uzak uç diyafoni zayıflaması

Yakın uç ve uzak uç diyafonisine neden olan kuplajlar Bölüm 3' te incelenmişti. Alçak frekanslarda diyafoniyi belirleyen kuplajlar, kapasitif kuplajlardır. Frekans yükseldikçe endüktif kuplajların etkisi artar ve 1 - 2 MHz' den yüksek frekanslarda diyafoni zayıflamasının düşmesinde başlıca neden endüktif kuplajlardır. Kapasitif kuplajların ortalaması ~ 50 pF / (1 km) , endüktif kuplajların ortalaması ~ 50 nH / (1 km) olan bir kabloda , 512 kHz ve 1024 kHz ' deki yakın uç ve uzak uç diyafoni zayıflamaları 60 - 50 dB ' e kadar düşer. Bu frekanslarda döşenmiş maksimum kablo uzunluklarının hat zayıflaması da aynı mertebededir. Yani işletme şartlarında işaret gürültüye karışmış olacaktır. Sayısal haberleşme kanallarında , yakın uç diyafonisinin bozucu etkisi uzak uç diyafonisine göre daha güçlüdür. Yakın uç diyafoni zayıflaması ve hat zayıflaması , çiftin kanal kapasitesini , dolayısıyla kullanılabilen max. kablo uzunluklarını belirleyen faktörlerdir.

4.3. 2B + D ve 30B + D Sayısal Haberleşmenin Gelişmesi

4.3.1 Sayısal haberleşme

Haberleşme tekniğinin büyük hedeflerinden biri , iki nokta arasında bulunan haberleşme kanalını en verimli şekilde kullanabilmektir. Bu hedefe ulaşmak için sarf edilen çabalar , analog ve sayısal çoğullama sistemlerini ortaya çıkarmıştır. Sistemlerin temel felsefesi , aynı kanaldan yararlanacak işaretleri, birbirlerini etkilemeyecek şekilde bir sıraya sokarak tek kanaldan göndermektir. Bu işlemler analog sistemlerde , eşzamanlı işaretlerin frekans bandlarını uygun şekilde kaydırıp , frekans ekseninde yanyana dizerek , sayısal sistemlerde ise haberleşme kanallarını belli zaman aralıklarında sıra ile gönderilecek eşzamanlı işaretlere tahsis ederek yapılmaktadır. Teorik yönden her iki uygulama da birbirinin dengidir , çünkü zaman uzayında yapılan işlemlerin frekans uzayında, frekans uzayında yapılan işlemlerin zaman uzayında karşılığı vardır. Ancak gerçek uygulamada sayısal sistemlerin lehine büyük farklar ortaya çıkar. En büyük fark gürültü yönünde görülür. Gürültü , haberleşme sistemlerine dışından gelebileceği gibi (komşu çiftlerden gelen diyafoni , dışardan gelen e.m.k), sistemin içinde de üretilir.

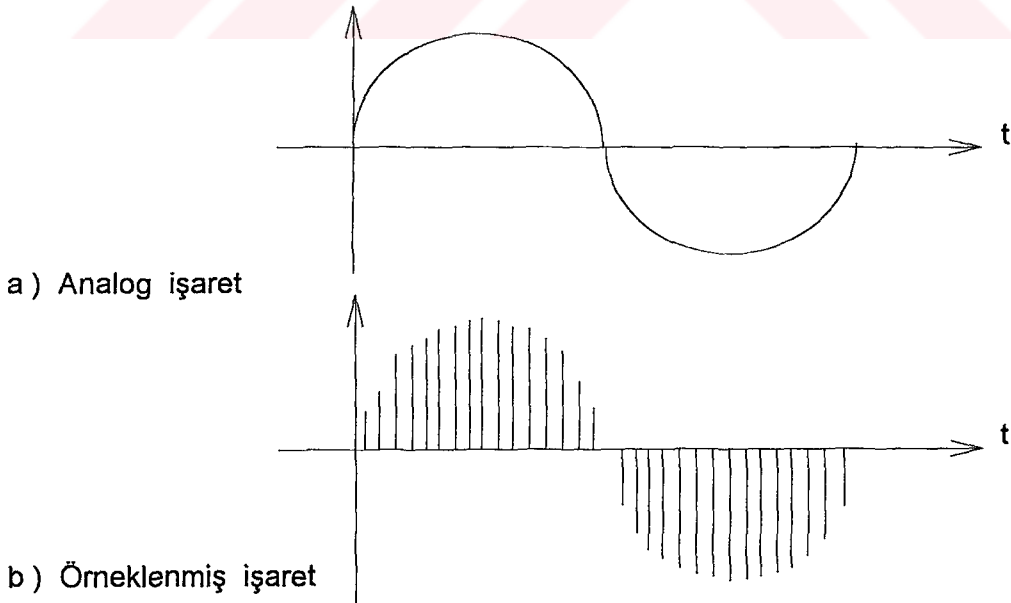
Analog çoğullama sistemlerinde istenmeyen gürültü gücü işaretin üzerine eklenir. Gürültü , bir kanaldan gönderilen işareti tanınmayacak şekle sokarken , zayıflama da işaretin belli bir mesafeden sonra gürültü seviyesine inmesine ve gürültüden ayırdedilememesine neden olur. İşaret belli aralıklarla kuvvetlendirilse bile, her müdahale işaret üzerine bir miktar da gürültü kattığı için bu işlem sınırlanmıştır.

Sayısal haberleşmede ise durum çok farklıdır. İkili sistemde yapılan bu tip haberleşmede , sistem içindeki işaretin genliğinin , belli sınırlar içinde kalmak şartıyla , bir önemi yoktur. Bundan dolayı , analog sistemleri çalışamaz duruma getirebilen şiddette bir gürültü , sayısal sistemde etkili olmayabilir. Zaman paylaşmalı sistemlerde , haberleşme kanalı sırayla işaret kanallarına bağlanırken , bu kanallara ait işaret dilimleri doğrudan doğruya (analog olarak) gönderilecek olursa , yine pek fazla birşey kazanılmış olmaz. Her kanala ayrılan zaman dilimi çok kısa olduğundan , bu aralıkta o kanalın hatta verebileceği enerji de küçük olacak , gürültü ve zayıflama yine etkisini gösterecektir. Ancak,

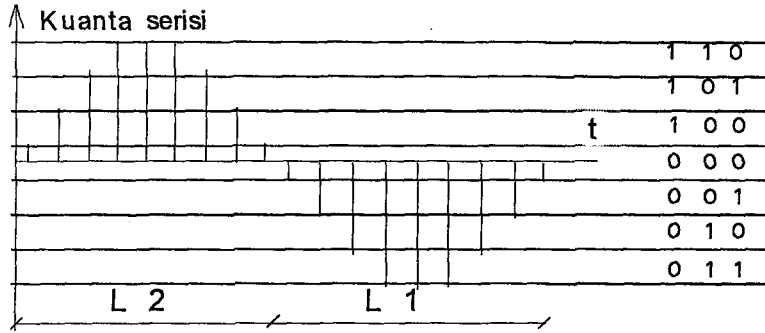
böyle yapılması yerine , her zaman diliminin içinde elde edilen işaret dilimi , yani işareten alınan örnek kodlanarak bir sayı dizisi şekline getirilirse durum farklı olur. Hattan gönderilen işaretler yalnızca iki , üç veya dört seviyeli olduğundan , bu işaretlerin üzerine gürültü binse dahi , belli anlarda işaret seviyesinin ne olduğuna karar vermek kolaydır ve gürültü seviyesinin altına düşmeden işareti yeniden üreterek kuvvetlendirmek mümkündür.

Kaynaktan gelen analog işaretin sayısala dönüştürülmesinde en çok kullanılan teknik PCM tekniğidir. Bu yöntemde üç ana işlem vardır ; örnekleme , kuantalama ve kodlama. Kaynaktan gelen analog işareten düzenli aralıklarla çok kısa süreli örnekler alınır. Her örnek kuantalanır, yani genliği belli bir seviyeye yuvarlatılır. Şekil 4.3 'te , örnekleme , 7 seviyeye kuantalama ve kodlama gösterilmiştir.

Kuantalanmış bir işaret sınırlı sayıda değere sahiptir. Kodlama aşamasında (Şekil - 4.3c) her kademeye genellikle ikili sayı olan bir kod kelimesi karşı düşürülür. Kodlama , her kuantalama seviyesinin tek anlamlı bir tanımlamasını yapmak demektir. Şekil 4.3 d' de , kuantalanan örneklerin sırasına karşı düşen kod kelimelerinin sırası gösterilmiştir. Örneklenmiş işaret , örnekleme sıklığı yeterli olmak şartıyla kaynak işaretinin yeniden elde edilebilmesini sağlar. Bu özellik örnekleme teoreminden kaynaklanmaktadır[48].



4.3 Analog işaretin örneklenmesi



c) Kuantalama ve kodlama

L 1 bölgesi kod kelimeleri

0 0 1	0 1 0	0 1 1	0 1 1	0 1 1	0 1 0	0 0 1	0 0 0
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

L 1 bölgesi kod kelimeleri

1 0 0	1 0 1	1 1 0	1 1 0	1 1 0	1 0 1	1 0 0	0 0 0
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

d) Kod serisi

Şekil 4.3 Analog işaretin örneklenmesi ,
kuantalanması ve kodlanması

4.3.2 Örneklemeye teoremi ve kodlama sistemleri

Nyquist örneklemeye teoremine göre , frekans bandı sınırlı olan bir analog işaretin yeniden ve bozulmadan elde edilebilmesi için yeterli koşul

$$B = 1 / T = 2.f_s \quad [\text{Hz}] \quad (4.1)$$

olmasıdır.

Burada ; f_s - analog işaretin band genişliği

T - alınan örnek değerleri arasındaki eşit zaman bölümleri

B - örneklemeye hızı

Örneklemeye frekansı, analog işaretin en yüksek frekansının iki ve daha fazla katı olması şartıyla, örneklenmiş bir işaret analog işareti hakkında tam ve tek anlamlı bilgiyi taşır. Buna göre, kesim frekansı f_g olan ideal alçak geçiren kanaldan , ikili transmisyon yöntemleriyle bir saniyede taşınabilecek maksimum enformasyon miktarı

$$B = 2.f_g \quad [\text{bit} / \text{s}] \quad (4.2)$$

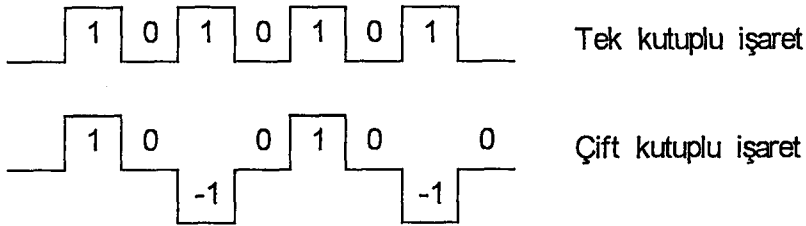
ifadesinden elde edilir.

İkili transmisyon yöntemleri yerine, daha fazla seviyeli yöntemler kullanıldığında, ($M = 2^i$ seviyeli) taşınabilecek maksimum enformasyon miktarı artar ve

$$B_i = 2.fg. \log_2 (M) \quad [\text{bit / s}] \quad (4.3)$$

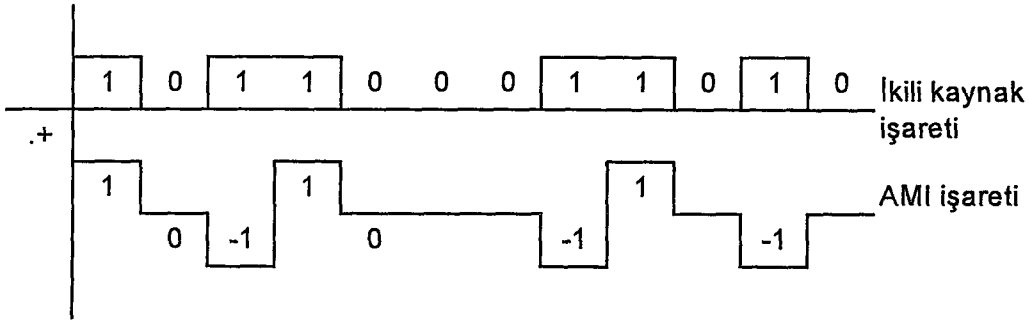
olarak hesaplanır.

(4.3) ' den de görüldüğü gibi daha fazla seviyeli kodlama sistemlerinin kullanılması, daha fazla enformasyon akışını, yada aynı miktarda enformasyonun daha dar frekans bandından iletilmesini sağlar. Ancak M seviyesinin yükselmesi, gürültüden etkilenme olasılığını da yükselttiğinden, pratik uygulamada en fazla kullanılan kodlama sistemleri, Avrupa 'da üç seviyeli AML ve HDB3, Amerika 'da da dört seviyeli 2B1Q sistemleridir [46, 49]. Kodlamada, kodlanmış işaretin DC bileşeni olmaması istenir. Ayrıca frekans spektrumunun dar olması da bir avantajdır. Bu hususların her ikisi de dönüşümlü işaret değiştirme, (AML-Alternate Mark Inversion) kodlama yöntemiyle sağlanabilir. Bu yöntemde her ikinci "1" 'in işareti eksi yapılır. Ayrıca işaret spektrumu darbe biçiminden bağımsız olarak daima temel frekansı içerir. Doğru akım taşımayan AML kodlamada, yeterli uzunlukta darbe gönderilince ortalama değer sıfır olacaktır. Çift kutuplu (-1, 0, 1) AML işaretinin temel frekansı, gelen tek kutuplu (0, 1) işaretin yarısı kadardır. Böylece band genişliği de yarıya indirilmiş olur (Şekil 4.4).



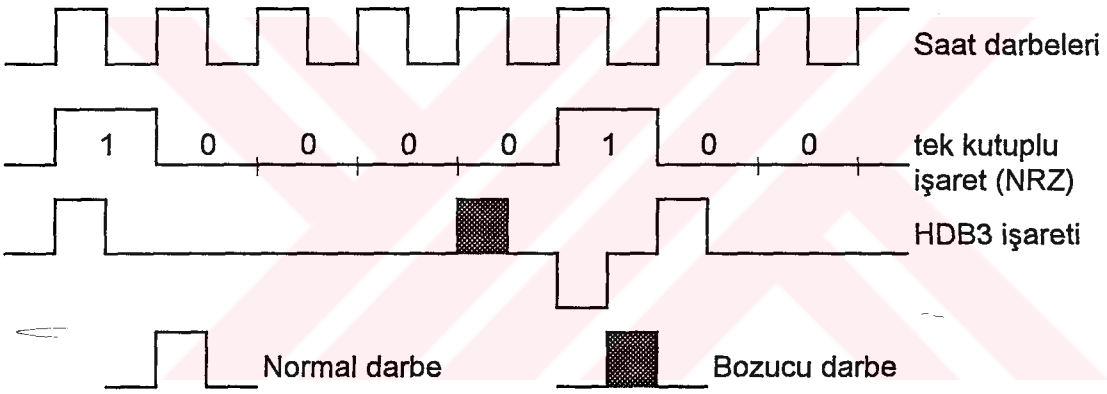
Şekil 4.4 İkili sayının tek ve çift kutuplu işareti

Ardışık gelen " 1 " 'lerin her ikincisi kutup değiştirip " -1 " olur, " 0 " değişmeden aynen kalır.



Şekil 4.5 İkili kaynak işaretinin AMI sistemine göre kodlanması

HDB3 (High Density Bipolar of Order 3) - yüksek yoğunluklu çift kutuplu kodlama sistemi AMI kodunun benzeridir. Farkı , bu yöntemde en çok 3 ardışık sıfıra izin verilmesidir. Ardışık dördüncü sıfıra rastlandığında bu sıfırın yerine bir önceki ile aynı polaritede olan bozucu bir kod darbesi yerleştirilir (Şekil 4.6) [40].



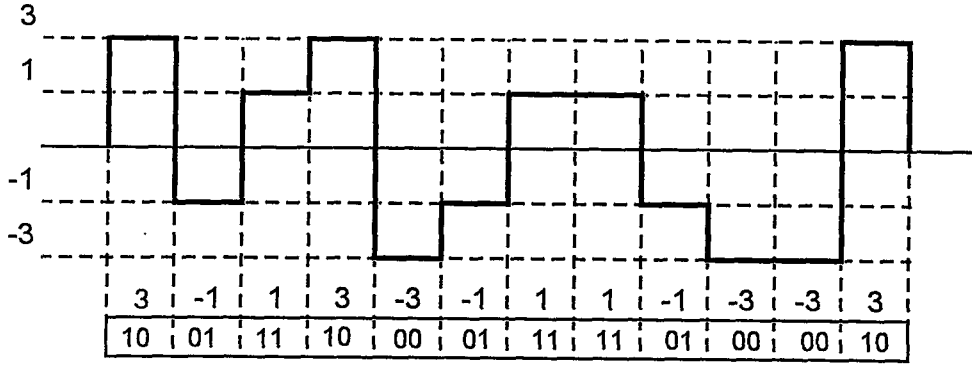
Şekil 4.6 HDB3 Kodu

Doğru akımlı darbe dizisinden kaçınmak için de , birbirini izleyen bozucu darbelerin ters polariteli olmaları şartı getirilmiştir.

2B1Q - (Two Binary - One Quaternary) - dört seviyeli kodlama sisteminde her iki bit birleştirilip (dibit) , bir dört seviyeli simgeye kodlanmaktadır [49].

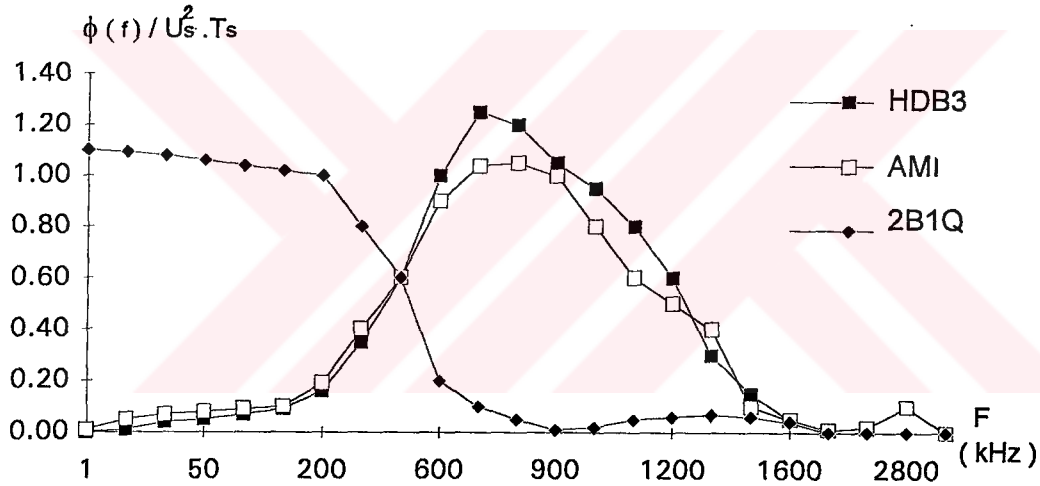
Tablo 4. İkili bit ' lerin 2B1Q sistemine kodlanması

İkili bit sayısı	2B1Q kod simgesi
00	-3
01	-1
11	1
10	3



Şekil 4.7 a 2B1Q İşareti

Bu yeniden kodlama , işleminden sonra gönderilen simgelerin hızı yarı yarıya düşer ve buna bağlı olarak 2B1Q kodlama sisteminde güç spektrum yoğunluğu alçak frekanslar bölgesine kayar.



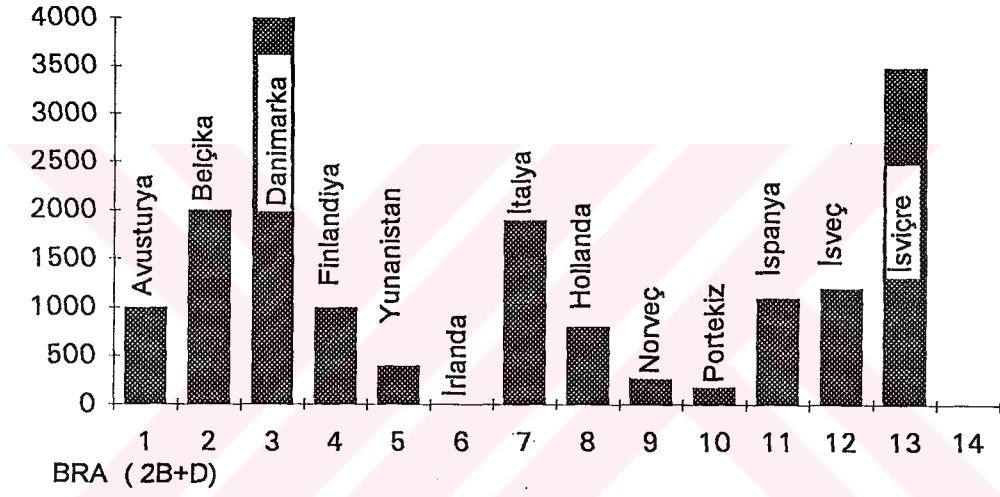
Şekil 4.7 AMI , HDB3 ve 2B1Q kodlama sistemlerinde gönderilen 2.048 M Bit / s , işaretlerin normalize edilmiş güç spektrum yoğunluğu

Şekilde $\phi(f)$ - ortalama güç spektrumunun yoğunluğu
 U_s - gönderilen darbenin maksimum genliği
 T_s - darbe genişliği

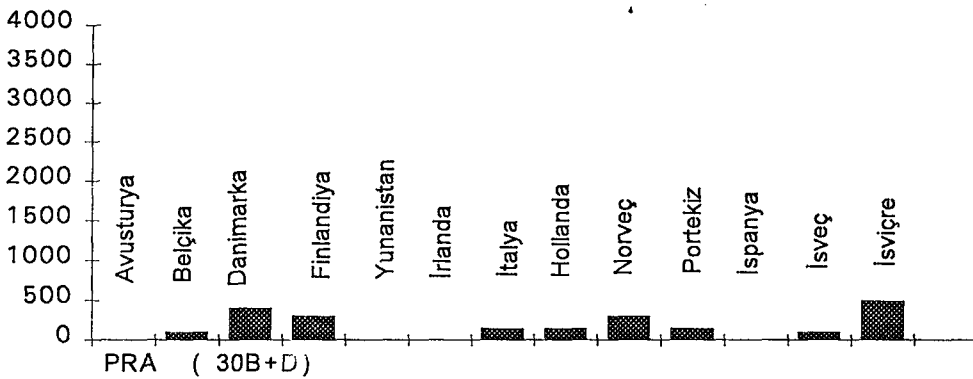
Şekil 4.7 'den de görüldüğü gibi 2.048 MBit / s hızında gönderilen işaretlerin güç spektrum yoğunluğu HDB3 ve AMI kodlama sistemlerinde 0.2 - 1.4 MHz arasında iken 2B1Q sisteminde 0 - 0.8 MHz arasındadır [47].

4.3.3 2B + D ve 30B + D sistemlerinin ISDN amacıyla gelişmesi

Darbe kod modülasyon sistemleri (PCM), başlangıçta yalnızca santrallar arası bağlantılarda kullanıldığı halde, basitliği, analog sistemlere göre üstünlüğü ve ucuzluğundan dolayı bugün uzak mesafe bağlantılarında da kullanılmaktadır. Diğer taraftan, kablo maliyetlerinin sistem maliyetlerinin üstüne çıkmasından dolayı santrallar ve toplu abone gurupları arasında da (30B + D) sistemlerinin kullanılmaya başlandığını görüyoruz ve nihayet sayısal telefon santralları içinde PCM sistemleri organik olarak bulunmaktadır. Avrupa ' da ISDN servisi veren 2B + D (144 kBit / s) ve 30B + D (2.048 MBit / s) haberleşme sistemlerinin gelişmesi aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

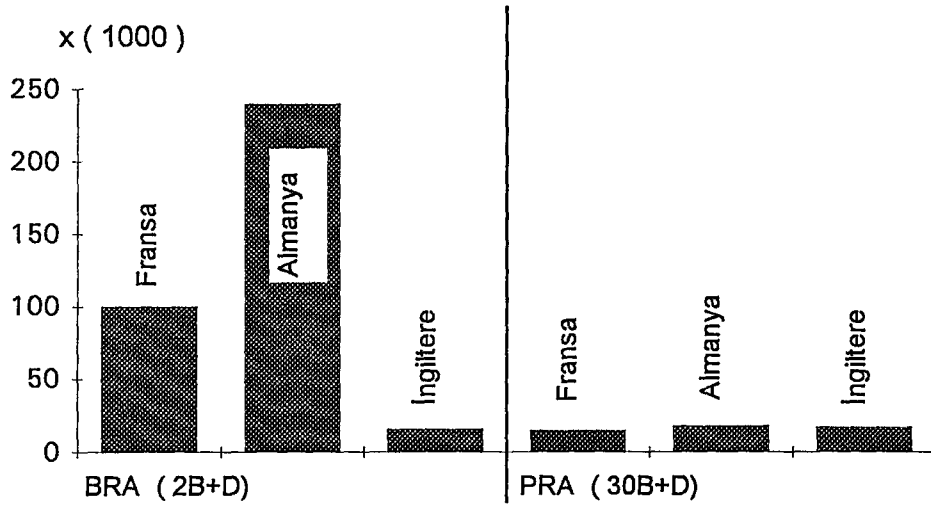


a)

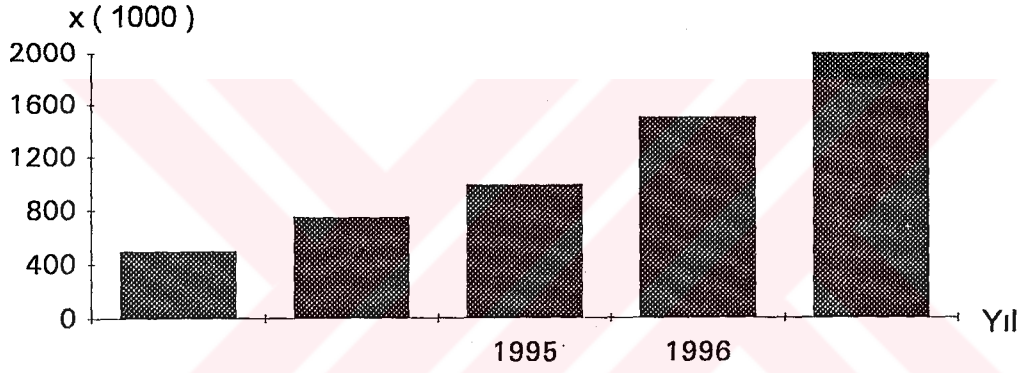


b)

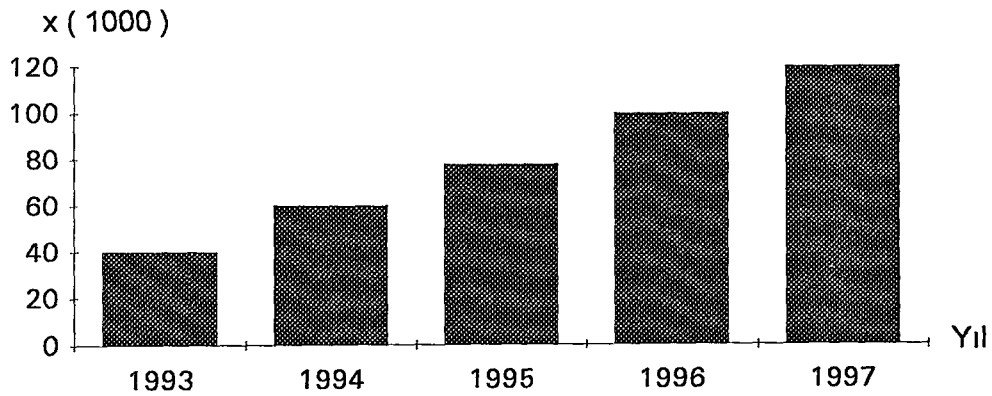
Şekil 4.8 1993 yılı sonunda bazı Avrupa ülkelerinde 2B + D ve 30B + D sistemleri ile ISDN hizmetinden yararlanan abone sayısı [50] [51]



Şekil 4.9 Almanya , Fransa , ve İngiltere ' de 2B + D ve 30B + D sistemleri ile ISDN hizmetinden yararlanan abone sayısı



a) 2B + D

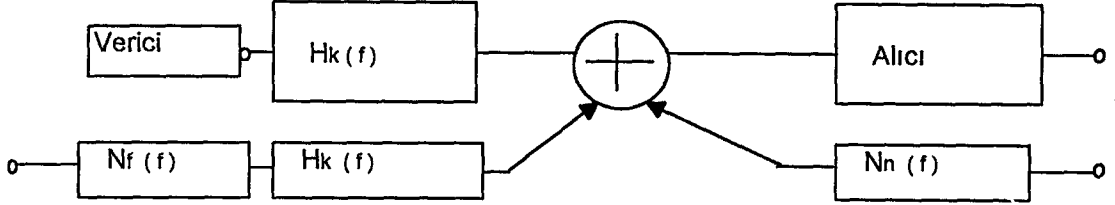


b) 30B + D

Şekil 4.10 2B + D ve 30B + D, sistemleri ile ISDN hizmetinden yararlanacak abone sayısının tahmini gelişmesi

4.4 Çiftin Kanal Modeli ve Kanal Kapasitesi

Telefon dağıtım kablolarının büyük çoğunluğu , çift sayısı 10 ile 3000 arasında olan kablolardır. Çok çiftli kablolarda her çift , diğer çiftlerden geçen akımlardan etkilendiği gibi , kendisi de onları etkiler. Bir çift üzerinden iletilen işareti bozan başlıca iki etken vardır : Hat zayıflaması ve diyafoniler. Her ikisi de 2. ve 3. bölümlerde incelenmiştir. Bu bozucu faktörleri dikkate alarak bir çiftin kanal modeli Şekil 4.11 ' de verilmiştir [51].



Şekil 4.11 Şehir içi dağıtım kablosunda bir çiftin kanal modeli

Burada ; $H_k(f)$ - çiftin oluşturduğu kanalın transfer fonksiyonu
 $N_f(f)$ - uzak uç diyafonisinin etkisi
 $N_n(f)$ - yakın uç diyafonisinin etkisi

Şekil 4.11 ' den görüldüğü gibi uzak uç diyafonisi hat boyunca ilerleyip alıcıya gelinceye kadar $|H_k(f)|^2$ oranında zayıflar. Yakın uç diyafonisi ise alıcıya yakın mesafelerde indüklendiğinden daha şiddetli olur ve haberleşmeyi daha fazla etkiler. Bir çiftin transfer fonksiyonu

$$H_k(f) = 10^{-\alpha \cdot L / 20} \quad (4.4)$$

ifadesi ile bulunur.

Burada L [km] - hat uzunluğu

α [dB] - hat zayıflamasıdır.

Yakın uç diyafonisine neden olan gücün transfer fonksiyonu

$$|N_n(f)|^2 = \sum_{i=1}^v n_{ni} \cdot 10^{-a_{ni}(f) / 10} \quad (4.5)$$

ve uzak uç diyafonisine neden olan gücün transfer fonksiyonu

$$|N_f(f)| = (L)^{1.5} \cdot \sum_{i=1}^v n_{fi} \cdot 10^{-a_{fi}(f) / 10} \quad (4.6)$$

olarak hesaplanır [34].

Burada ; a_{ni} - i seviyesinden yakın uç diyafoni zayıflaması
 a_{nj} - j seviyesinden uzak uç diyafoni zayıflaması
 n_{ni} - i seviyesinde yakın uç diyafoni kaynaklarının sayısı
 n_{nj} - j seviyesinde uzak uç diyafoni kaynaklarının sayısı
 V - yakın uç diyafoni kaynaklarının seviye sayısı (1 - v)
 m - uzak uç diyafoni kaynaklarının seviye sayısı

Uzak uç diyafonisi hat boyunca ilerleyip zayıfladığından alıcıya etkisi

$$|H_f(f)|^2 |H_k(f)|^2 = \sum_{i=1}^v n_{ij} \cdot 10^{-a_{ij}(f)/10} \quad (4.7)$$

olarak bulunur.

Burada $a_{ij}(f) = a_j(f) + \alpha - 10 \lg L$ olup

L [km] - hat uzunluğudur.

Diyafoni yoluyla geçen gürültüyü dikkate aldığımızda , Nyquist frekansındaki işaret - gürültü oranı

$$Q = 10 \cdot \lg \left(\frac{|H_k(f)|^2}{|N_n(f)|^2 + |N_f(f)|^2 \cdot |H_k(f)|^2} \right) \quad [\text{dB}] \quad (4.8)$$

ifadesi ile bulunur

Telefon kablolarında diyafoni gürültüsü kaçınılmaz olduğundan, çiftin kanal kapasitesi

$$C = \int_0^{\infty} \log_2 \left(1 + \frac{|H_k(f)|^2}{|N_n(f)|^2 + |N_f(f)|^2 \cdot |H_k(f)|^2} \right) df \quad [\text{Bit/s}] \quad (4.9)$$

olarak hesaplanır.

Gürültünün , diyafoniden kaynaklandığı durumlar için , kanal kapasitesinin , verici gücüne bağımlı olmayıp , verici ile alıcı arasındaki çiftin transfer fonksiyonuyla doğru orantılı , komşu çiftlerden gelen güçlerin transfer fonksiyonuyla ters orantılı olduğu , görülmektedir. Yani , hat zayıflamasının yükselmesi veya diyafoni zayıflamasının azalması , kanal kapasitesini küçülme yönünde etkiler. İşaret gürültü oranı Q , kullanıcıyı tatmin edecek bir düzeyde tutulmakta ve haberleşmenin cinsine bağlı olarak değişmektedir. Kullanıcı tatminkarlığı esas alınarak , ses için 30 dB, video için 45 dB ve belirlenen hata oranı esas alınarak ($SER \sim 10^{-8}$) , veri transferi için 15 dB olarak belirlenmiştir [51] [52].

BÖLÜM 5. YAPILAN DENEYLER ,İNCELEMELER ve SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Deney ve İncelemelerin Amacı

Milyarlarca lira harcanarak döşenen şehir içi ses frekans dağıtım kablolarının daha verimli kullanılması ve buna bağlı olarak abonelere daha kaliteli hizmet verilmesi , bir arzu olmaktan çıkmış , ihtiyaç haline gelmiştir. Ses frekansları bandında kullanılmak üzere tasarlanmış , üretilmiş ve telefon dağıtım şebekesine döşenmiş bu kabloların , normal telefon görüşmeleri frekans bandının , 50 -100 ve daha fazla katı kadar geniş frekans bandlarında çalışması gündeme gelmiştir. Çok çiftli kablolardaki yapısal düzgünlükler , eklerden gelen yansımalar , komşu çiftler arası diyafoni gibi faktörlerin bozucu etkisi , yüksek frekanslarda çok daha şiddetlidir. Tasarım aşamasında yapılan hesaplamalarda ve teorik incelemelerde kullanılan formüllerin geçerli olduğu (küçük bir hata ile gerçekleri yansıttığı) frekans bandları, kablo tipine göre değişik olabilmektedir. Dolayısıyla her tip kablo için yüksek frekans parametrelerinin incelenmesi ve 2 MBit/s sayısal haberleşmede kullanılabilecek uzunlukların tesbit edilmesi gerekir. Yukarıda yapılan açıklamalar ve bölüm 2 , 3 ve 4 'te yapılan teorik incelemeler doğrultusunda , deney ve incelemeler iki yönde yapılmıştır.

--- 1 kHz - 10 MHz frekans aralığında geçerli olmak üzere , teorik hesaplamalarla bulunan kablo birincil ve ikincil parametreleri, yakın ve uzak uç diyafoni zayıflaması değerleri , dışarıdan gelen elektromanyetik alanların etkisinin , farklı tip kablolarda yapılan pratik incelemeler ve deney sonuçları ile kıyaslanması , her tip kablo için, formüllerin geçerli olduğu frekans bandları tesbit edilmesi ve gerektiğinde formüllerle düzeltme faktörü eklenmesi veya ampirik formüller teklif edilmesi

--- Telefon şebekesi olarak döşenen ses frekans dağıtım kablolarının 1 kHz 2 MHz arası kullanıldığında çıkacak problemlerin incelenmesi , 2 MBit/s sayısal haberleşmeye uygunluğunun araştırılması , çiftler arası diyafoniden kaynaklanan gürültüyü dikkate alarak , 8 tip dolgulu ve dolgusuz kablo için , HDB3 ve 2B1Q kodlama sistemlerine göre 2MBit/s kanal kapasitesini sağlayabilen maksimum hat uzunluklarının belirlenmesidir.

5.2 Ölçmelerin Yapılması ile İlgili Bilgiler ve Kullanılan

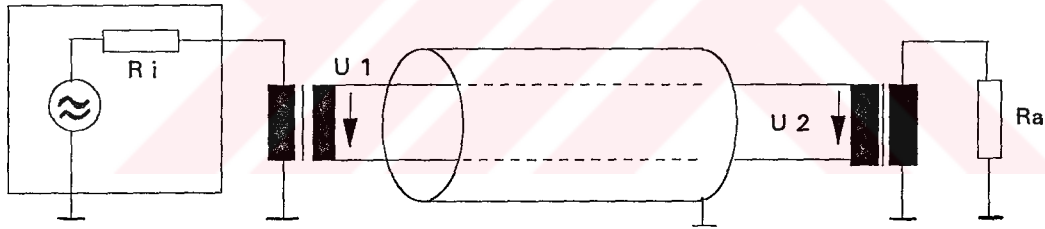
Donatının Tanıtılması

Şehir içi telefon şebekesine döşenen ses frekans dağıtım kabloları ile ilgili teorik hesaplamaların , pratik ölçmeler ve deney sonuçlarıyla ne derecede bağdaştığının incelenmesi amacıyla aşağıda sıralanmış parametreler ölçülmüştür.

- DC çevrim direnci -HP 3478 A , Resistomat Type 2302
- Yüksek frekans çevrim direnci - (100 kHz - 2 MHz) -HP 4192 A
- Çiftin efektif kapasitesi - (800 Hz) -HP 4192 A
- Dielektrik kayıp fakt. - (1kHz -2MHz) -HP4192 A , HP4194 A
- Hat zayıflaması - (1 kHz - 5MHz) -HP 4192 A , K 2355
- Karakteristik empedans - (1 kHz - 2 MHz) -HP 4192 A , K 2355
- Yakın uç ve uzak uç diyafoni zayıflaması- (1 kHz-5 MHz)-HP 4192 A , K 2355
- Kare şeklinde darbelerin bozucu etkisi-(1 kHz-500 kHz) - ...AFG , K 2355
- Kapasitif kuplajların ölçülmesi -R 2020

Kullanılan cihazların özellikleri Ek F s. 138 'de verilmiştir.

Kablolardaki çiftlerin hat zayıflaması ölçmeleri Şekil 5.1 ' de verilen şemaya göre yapılmıştır.



Şekil 5.1 Hat Zayıflaması ve Faz Sabiti Ölçme Şeması

Bu ölçmelerde cihaz empedansının kablo giriş empedansından farklı olduğundan , ölçme esnasında kablonun her iki ucundaki yansımalarından dolayı ölçülen değer gerçek kablo zayıflamasından büyüktür.

$$\alpha_g = \alpha_s - \alpha_y$$

Burada α_g = gerçek hat zayıflaması

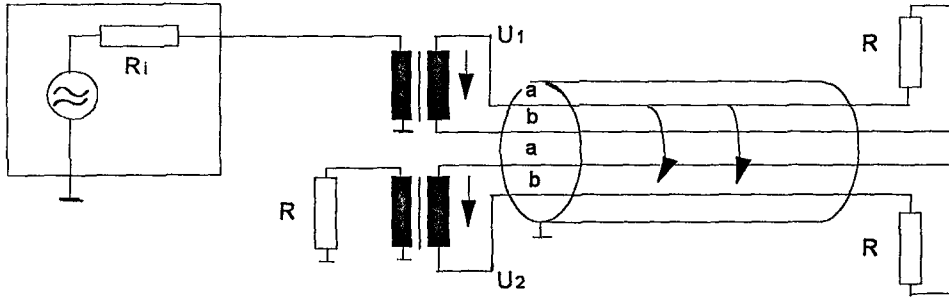
α_s = ölçülen değer

$$\alpha_y = 2 \cdot 20 \lg \cdot \frac{R + Z}{2 \sqrt{R \cdot Z}} \quad \text{Yansımalarından kaynaklanan ilave zayıflama}$$

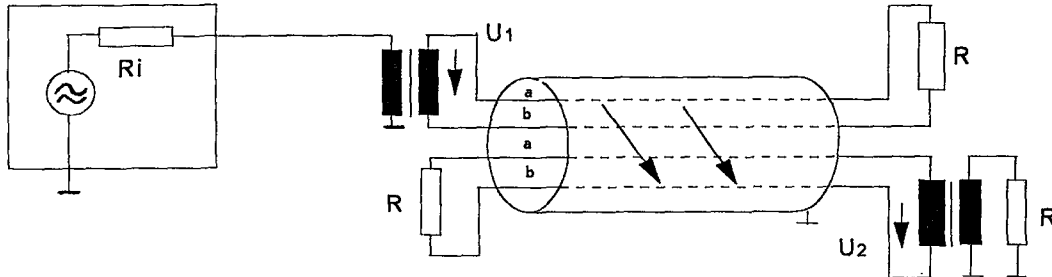
R = cihaz çıkış/giriş empedansı

Z = kablo empedansıdır.

Yakın uç ve uzak uç diyafoni değerleri Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 'de verilen şemalara göre yapılmıştır.



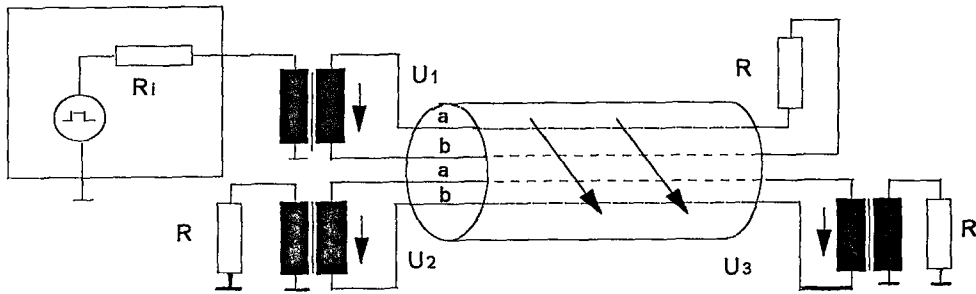
Şekil 5.2 Yakın Uç Diyafoni Zayıflamasının Ölçme Şeması



Şekil 5.3 Uzak Uç Diyafoni Zayıflamasının Ölçme Şeması

İki çift arasındaki diyafoni zayıflaması ölçmelerinde, çiftlerin birer ucu ölçme cihazına bağlanmış diğer uçları ise kablo empedansına eşit veya yakın büyüklükte bir empedansla kapatılmıştır. Çiftlerin giriş empedansları, cihaz empedansından farklı olduğundan, ölçülen diyafoni zayıflaması değeri, gerçek değerden daha yüksektir ve hat zayıflaması ölçmelerinde yapılan düzeltme bu ölçmelerde de yapılmaktadır.

Bozan hattın 1kHz-500kHz arası kare şeklinde darbeler gönderilip, bozulan hatta diyafoni yoluyla geçen gürültü seviyesi, şekil 5.4 'te verilen şemaya göre ölçülmüştür.



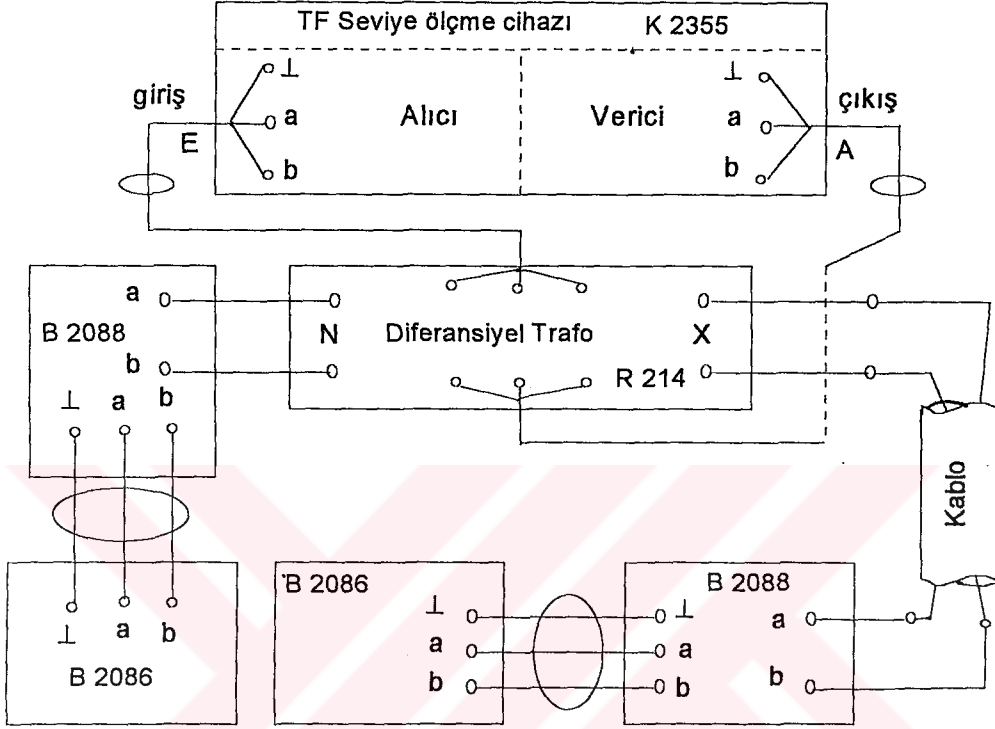
Şekil 5.4 Darbelerin Bozucu Etkisinin Ölçülmesi

Kablo giriş empedansı ölçmesi iki farklı yöntemle yapılmıştır.

- Kısa devre - açık devre yöntemiyle - otomatik olarak
- Hat yansımasının minimum olduğu empedansla kapatılarak - el ile

Otomatik ölçmelerde kullanılan cihazın çıkış empedansı 120 ohm sabit bir değer

olduğundan , alçak frekanslarda iki yöntemle ölçülen değerler arasında % 5 - 6 fark olduğu (manuel ölçme sonuçlarının gerçek değerlere daha yakın olduğu) görülmüştür. Frekans yükseldikçe aradaki fark küçülmekte ve yüksek frekanslarda (0.4 mm için 300kHz , 0.9 mm için 50 kHz) % 0.8 - 1.5 (1-2 ohm) değerine düşmektedir. Manuel ölçmeler Şekil 5.5 ' de verilen şemaya göre yapılmıştır.



Şekil 5.5 Karakteristik empedans ölçme şeması

Ölçme sonuçlarının histogramları düzenlenmiş ve histogramların görünüşünden dağılımın " normal dağılım " olacağı varsayımı yapılmıştır. Varsayıma dayanarak, n örnek için , ortalama değer ($\bar{x}$) standart sapma (s) ve güvenilirlik sınırları :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad ; \quad s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

ve % 98 güvenilirlik sınırları $\bar{x} \pm \frac{2.33 \cdot s}{\sqrt{n}}$ bağlantılarından hesaplanmıştır.

Değerlendirmeye alınan sonuçlarda , hat zayıflaması , çevrim direnci , ve efektif kapasite ölçmeleri için $n \geq 100$, $s = 0.3 - 0.8$ yakın uç ve uzak uç diyafoni zayıflaması için $n \geq 50$, $s = 3 - 6.0$ karakteristik empedans için $n \geq 20$, $s = 0.5 - 2$, kapasitif kuplajlar için $n \geq 100$, $s = 5 - 12$ ve kare şeklinde darbelerin etkisini incelemeyen ölçmelerde $n \geq 20$, $s = 2.5 - 5$, olarak bulunmuştur.

5.3 Teorik Hesaplamaların Pratik Ölçme Sonuçlarına Uygunluğunun İncelenmesi

Birincil ve ikincil parametrelerin frekansla değişimini incelerken , 1 - 10 MHz frekans bölgesini en azından üç farklı frekans bandına bölmemiz gerekir. Bölüm 2 'de kablo teorisini gözönünde bulundurarak yapılan açıklamalarda , parametrelerin çoğunun her frekans bandında farklı bir formülle hesaplandığı görülmüştür. Ancak , farklı tipte kablolar için öngörülen bu üç frekans bandının sınırları da değişmektedir. Dolayısıyla , hesaplanan değerlerin tam olarak veya çok küçük bir fark ile gerçek değerlere eşit olmasını sağlamak için farklı tip kablolarla geçerli frekans bandlarının belirlenmesi gerekir.

Şehir içi telefon şebekesinde , en fazla kullanılan kablolar , 0.4 mm , 0.5 mm, 0.6 mm ve 0.9 mm çapında bakır telli , dolgulu veya dolgusuz ses frekansı kablolarıdır. Bunlardan tel çapları 0.4 mm ve 0.5 mm olan kablolar , şehir içi, santral - abone arası 4 - 5 km 'yi aşmayan durumlarda , tel çapları 0.6 mm ve 0.9 mm olan kablolar ise , uzak mesafe (7 - 12 km) dağıtım şebekesinde kullanılır. İncelenen kabloların tamamı , PTT 'nin "şehir içi ses frekansı dağıtım kabloları" ve "uzak mesafe ses frekansı dağıtım kabloları" Teknik şartnamelerine uygundur. Bakır tellerin üzerine püskürtülen som PE ' den izolasyon , dolgulu ve dolgusuz kablolarla farklı kalınlıkta olduğundan , damar çapları da farklıdır.

Tablo 5.1 Dolgulu ve dolgusuz kablolarla tel ve damar çapları

	d [mm] - tel çapı		D [mm] - Damar çapı					
	d	D	d	D	d	D	d	D
Dolgusuz	0.4	0.7	0.5	0.86	0.6	1.1	0.9	1.64
Dolgulu	0.4	0.84	0.5	1.04	0.6	1.4	0.9	2.0

5.3.1 Birincil Parametreler

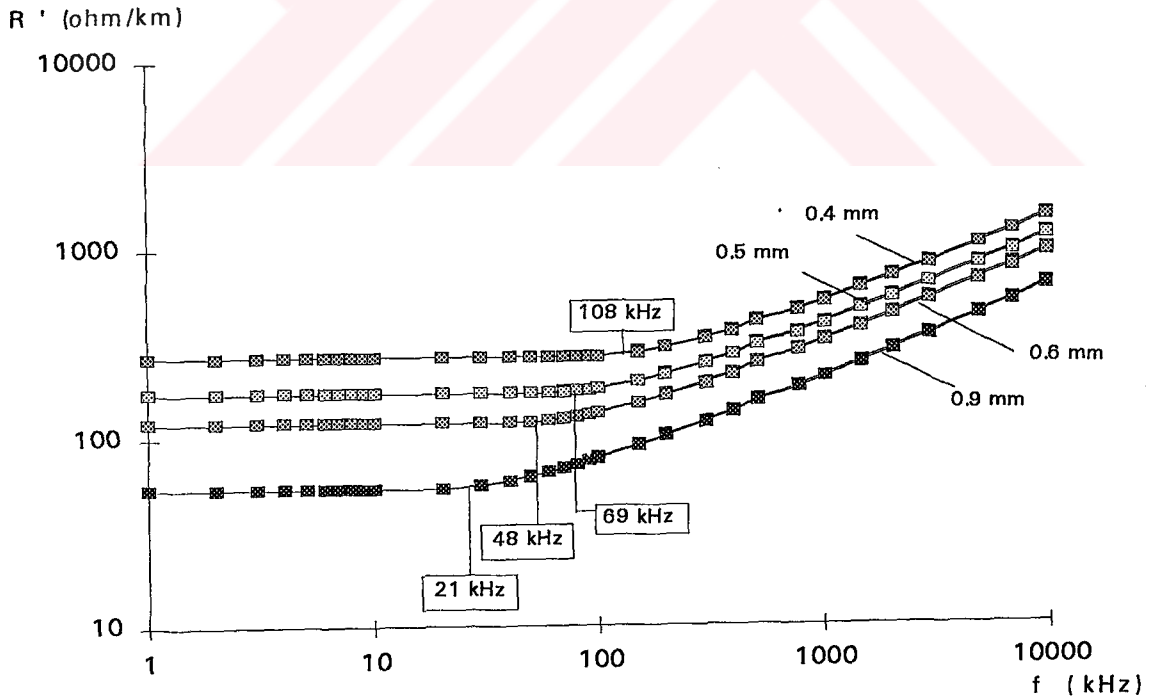
Çevrim direnci sıcaklıkla ve frekansla en fazla değişen parametredir. Alçak ve orta frekanslar bandında , ikincil parametrelerin hesaplama formüllerinin tamamında yer aldığı için , çevrim direncinin az hata ile hesaplanması önemlidir. Bölüm 2.3.1 'de yapılan incelemeler sonucu çevrim direncinin hesaplanması için 3 farklı formül verilmiştir (2.26 , 2.27 , 2.28). Yapılan incelemelerde bu üç formül ile hesaplanan direnç değerlerinin genel olarak doğru olduğu (fark < % 1,5) , sadece bir formülden diğerine geçiş

frekanslarda hatanın $\sim \% 3$ ' e kadar yükseldiği görülmüştür. Hatanın $\% 1.5$ ' dan az olmasını sağlamak amacıyla, üç frekans bandı beş'e çıkarılmış ve her tip kablo için frekans bandlarının sınırları tespit edilmiştir.

Tablo 5-2 Çevrim direnci hesaplama formüllerinin geçerli olduğu frekans bandları

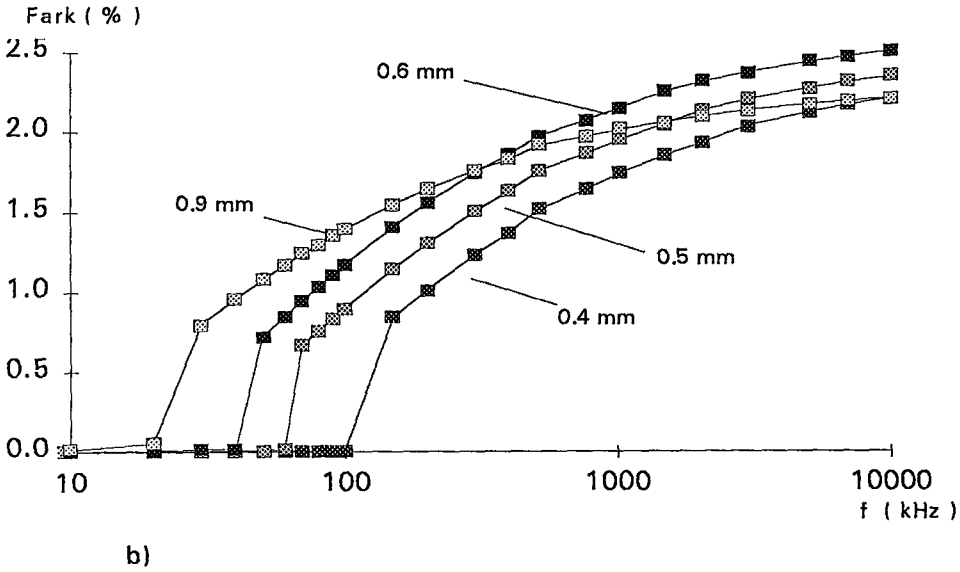
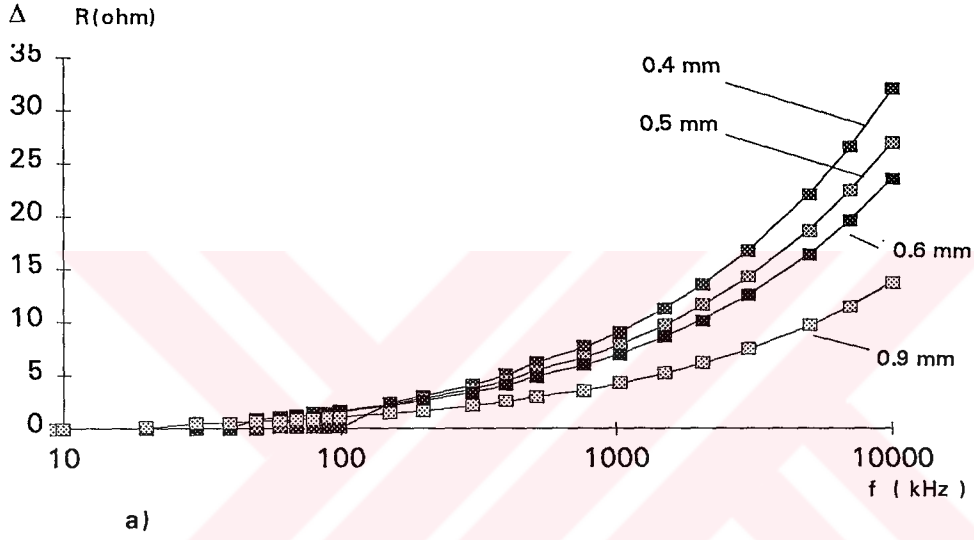
δ / r_0 oranı	0.4 mm f [kHz]	0.5 mm f [kHz]	0.6 mm f [kHz]	0.7 mm f [kHz]	Geçerli formül
1. $\delta > 1.1 r_0$	$f < 89.50$	$f < 57.25$	$f < 39.75$	$f < 17.670$	(2.26)
2. $1.1 r_0 > \delta > 0.9 r_0$	$f > 89.50$ $f > 133.64$	$f > 57.25$ $f < 85.53$	$f > 39.75$ $f < 59.40$	$f > 17.670$ $f < 26.400$	$\frac{(2.26) + (2.27)}{2}$
3. $0.9 r_0 > \delta > 0.22 r_0$	$f < 133.64$ $f < 2.236.55$	$f > 85.53$ $f < 1.431.40$	$f > 59.40$ $f < 994.00$	$f < 26.400$ $f > 441.800$	(2.27)
4. $0.22 r_0 > \delta > 0.18 r_0$	$f > 2.236.55$ $f < 3.341.00$	$f > 1.431.40$ $f < 2.138.25$	$f > 994.00$ $f < 1.484.90$	$f > 441.800$ $f < 660.000$	$\frac{(2.27) + (2.28)}{2}$
5. $\delta < 1.18$	$f > 3.341.00$	$f > 2.138.25$	$f < 1.484.90$	$f > 660.000$	(2.27)

Tablo 5-2' i dikkate alarak hesaplanan çevrim direnci değerlerinin frekansla değişimi Şekil 5.6' da verilmiştir.



Şekil 5.6 0.4, 0.5, 0.6 ve 0.9 mm Dolgulu ve Dolgusuz Kabloların Çevrim Direncinin Frekansla Değişimi

Görüldüğü gibi , çevrim direnci belirli bir frekansa kadar sabit kalır ve daha yüksek frekanslarda hızla artmaya başlar. Direncin artmaya başladığı frekans 0.9 mm telli kablolar için ~ 21 kHz olup , tel çapı düştükçe daha yüksek frekanslar bölgesine kayar ve 0.4 mm telli kablolarda 108 kHz 'e kadar yükselir. Bu direnç artışının nedeni , bölüm 2.3.1 'de açıklanan " deri olayı "dır. Tel çapları eşit , damar çapları farklı olan dolgulu ve dolgusuz kabloların çevrim dirençleri arasındaki fark yüksek frekanslarda ($f > 1$ MHz) $\sim \% 2 - 2.5$ 'a düşmektedir [Şekil 5.7a , b].



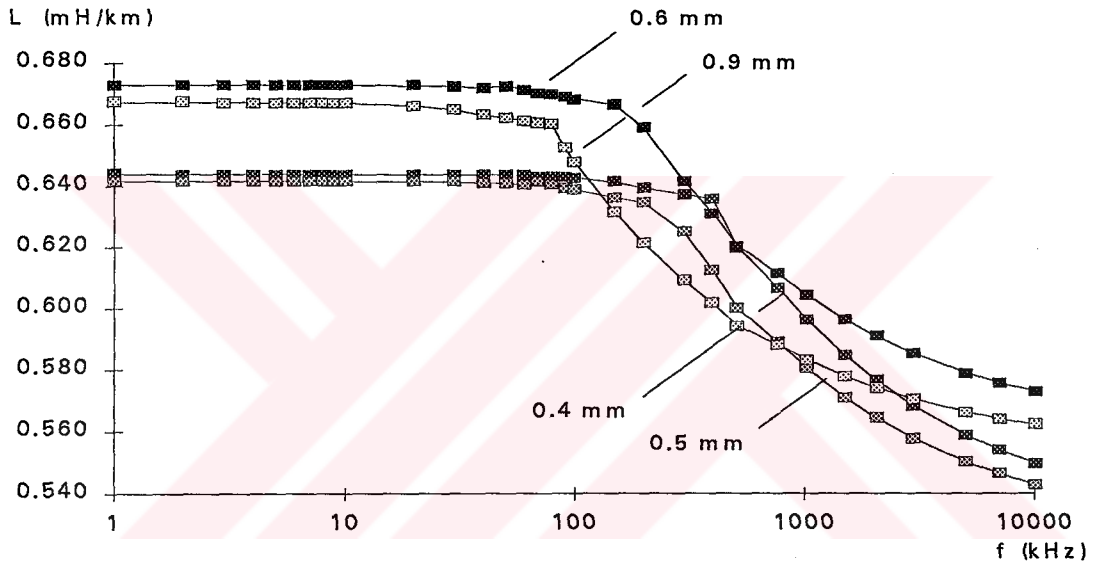
Şekil 5.7 Dalgusuz ve dolgulu kabloların çevrim dirençleri arasındaki fark
a) ohm/km olarak b) % olarak

Dolguşuz kabloları kullarılan damarların çapları daha k olduğundan çift tellerinin merkezleri arasındaki mesafe $2a$ 'da daha ktir. Dolayısıyla yakınlığın etkisi daha şiddetli olan dolguşuz kabloları çevrim direncinin de b olması beklenen bir sonuçtur. şekil 5.7 ' de verilen fark

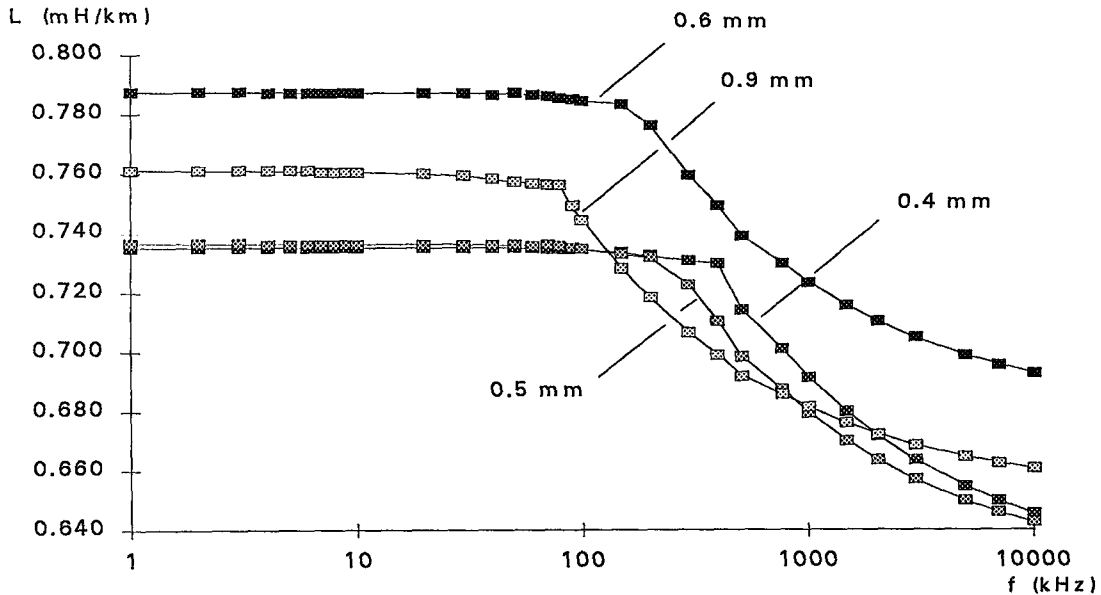
$$\text{Fark} = \frac{R_{\text{dolguşuz}} - R_{\text{dolgu}}}{R_{\text{dolgu}}} \cdot 100 = \frac{\Delta R}{R_{\text{dolgu}}} \cdot 100 \quad [\%]$$

olarak hesaplanmıştır.

Bir çiftin self endüktansı , frekans yükseldikçe düşer ve çok yüksek frekanslarda, damar ve kablo boyutlarıyla belirlenen sabit bir değere ulaşır.

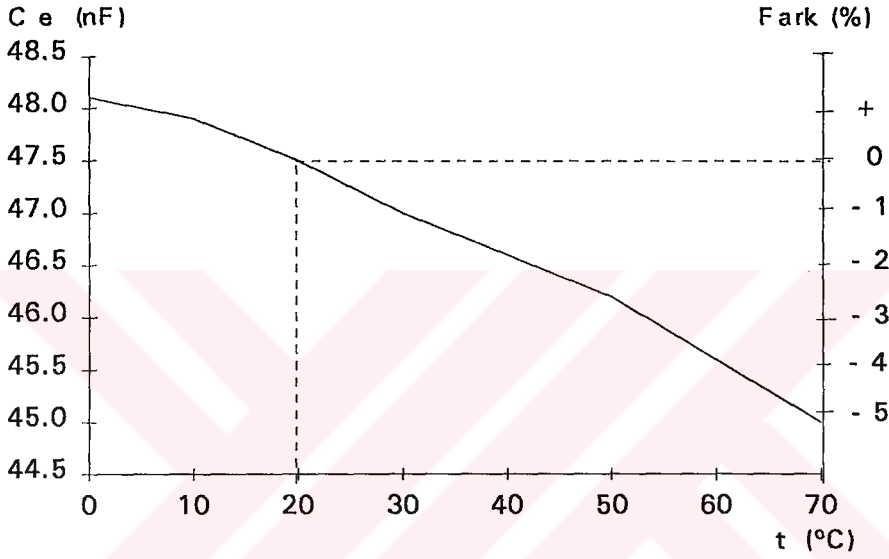


şekil 5.8 Dolguşuz Kabloları Self Endüktansı L' nin Frekansla Değişimi



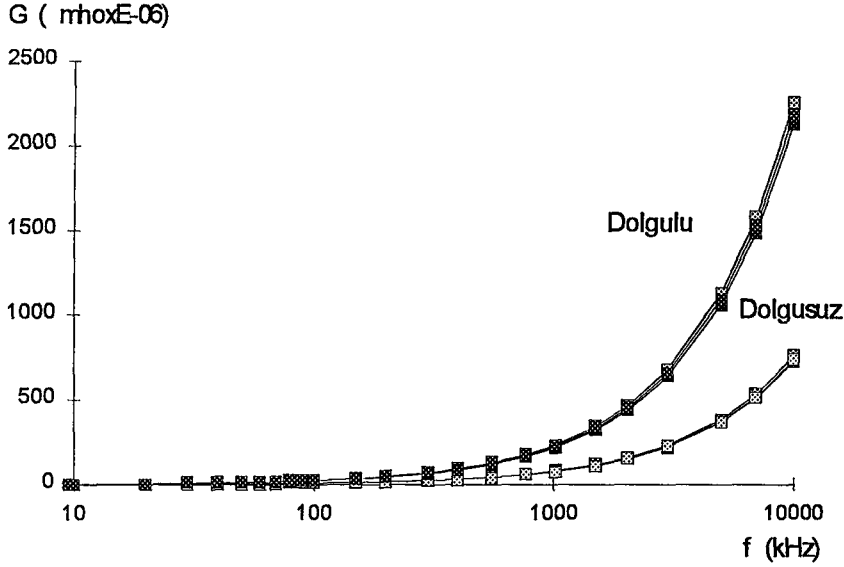
şekil 5.9 Dolgu Kabloları Self Endüktansı L' nin Frekansla Değişimi

Dolgulu kablolarda 2a daha büyük olduğundan , self endüktans da $\sim$ %15 daha büyüktür. PTT Şartnamesi gereği her iki tip kablonun efektif kapasiteleri eşit olduğundan , endüktanslarının farklı olması yüksek frekanslarda dolgulu kabloların karakteristik empedansının $\sim$ % 7 - 8 arası daha büyük olmasına neden olur. PE izolasyonlu kablonun efektif kapasitesi frekansla değişmez. Sıcaklıkla ise çok az da olsa ($20^{\circ} - 70^{\circ} \text{ C}$ arası $\sim$ %5) düşer.



Şekil 5.10 PD-A P-A 30x2x0.4/0.70 tipi kabloda Efektif Kapasitenin Sıcaklıkla Değişimi

Hattın birim uzunluğunda self endüktansı , kapasitansı ve perditansı veren formüller (2.37 , 2.45 , 2.46 , 2.50) , % 2 'den az hata ile tüm frekans bandlarında geçerlidir. Perditansın hesaplama formülünde (2.50) yer alan, yalıtkan malzemenin dielektrik kayıp faktörünün ($\text{tg } \delta$) doğru olarak tayin edilmesi önemlidir. Dolgusuz kablolarda , $\text{tg } \delta$, damar izolasyonu olarak kullanılan PE malzemesinin dielektrik kayıp faktörüdür. Bu faktör , kaliteli bir PE malzemesi için 0.00005 - 0.0001 arasında olsa da , üretilen damarlarda $\sim$ 0.0003 - 0.0004 seviyesine yükselir ve hesaplamalarda bu değer geçerlidir. Dolgulu kablolarda $\text{tg } \delta$, dolgu malzemesinin dielektrik kayıp faktöründen de etkilendiğinden , dolgu malzemesinin kalitesine göre $\text{tg } \delta$ 'sı da çok geniş sınırlar arası değişmektedir. Ancak kaliteli petrojel dolgularında $\text{tg } \delta$ 0.0005 ile 0.0020 arasındadır.



Şekil 5-11 Dolgulu ve dolgusuz kablolarda perditanın frekansla değişimi

Perditans hesaplamalarında $\tan \delta$ değerlerinin yaklaşık bu sınırlarda alınması gerekir. Bu çalışma kapsamında yapılan incelemelerde kablodaki efektif dielektrik kayıp faktörü $\tan \delta \sim 0.001$ olarak ölçülmüştür. Kapasitans ve perditans değerlerini doğru orantıyla etkileyen yalıtkan malzemenin dielektrik sabiti ϵ_r , polietilenin tipi ve kalitesine göre 2.28 ile 2.35 arasında değişir. İncelenen kablolarda dielektrik sabiti $\epsilon_r = 2.3$ olarak ölçülmüş ve yer aldığı tüm hesaplamalarda bu değer kullanılmıştır.

5.3.2 İkincil Parametrelerin İncelenmesi

İncelenen ikincil parametrelerin tamamı (hat zayıflaması α , faz sabiti β , karakteristik empedans Z ve grup gecikmesi t_g frekansla büyük bir değişim göstermektedir. Bunlardan Z ve t_g yüksek frekanslarda ağırlıklı olarak L ve C_e 'den belirlendikleri için frekansla çok az değişirler. Hat zayıflaması ve faz sabiti ise frekansla sürekli yükselen parametrelerdir. Şekil (2.21) de gösterilen $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 'ün frekansla değişimi (2.55), (2.61), (2.68), formüllerine göre olmaktadır. Alçak frekanslarda $\alpha_1 \approx \alpha_2$ ve yüksek frekanslarda $\alpha_2 \approx \alpha_3$ olduğu görülmektedir. Yapılan incelemelerde de α_2 'nin gerçek değerlere en yakın olduğu görülmüştür. Ancak , alçak frekanslarda α_2 değerlerinin gerçek hat zayıflaması α_g

değerlerinden sadece % 0.5 - % 1 arası farklı olması ile birlikte frekans yükseldikçe bu fark artmakta ve 512 kHz 'de ~ % 8 , 1024 kHz 'de ~ % 10 seviyelerine çıkmaktadır. Bu farkı azaltmak için α_2 değerlerine frekansla değişen düzeltme faktörü ilave edilmiştir. Düzeltme faktörü kablo tiplerine göre değişik olup aşağıda verilmiştir.

Dolgusuz Kablolar

$$\begin{aligned} 0.4 / 0.7 & \quad \alpha_g = \alpha_2 + 2.0 \cdot (f)^{0.8} \quad [\text{dB}] \\ 0.5 / 0.86 & \quad \alpha_g = \alpha_2 + 2.3 \cdot (f)^{0.7} \quad [\text{dB}] \\ 0.6 / 1.1 & \quad \alpha_g = \alpha_2 + 2.5 \cdot (f)^{0.6} \quad [\text{dB}] \\ 0.9 / 1.64 & \quad \alpha_g = \alpha_2 + 2.5 \cdot (f)^{0.55} \quad [\text{dB}] \end{aligned}$$

Dolgulu Kablolar

$$\begin{aligned} 0.4 / 0.84 & \quad \alpha_g = \alpha_2 + 2.5 \cdot (f)^{0.9} \quad [\text{dB}] \\ 0.5 / 1.04 & \quad \alpha_g = \alpha_2 + 2.6 \cdot (f)^{0.65} \quad [\text{dB}] \\ 0.6 / 1.4 & \quad \alpha_g = \alpha_2 + 2.8 \cdot (f)^{0.7} \quad [\text{dB}] \\ 0.9 / 2.0 & \quad \alpha_g = \alpha_2 + 2.8 \cdot (f)^{0.8} \quad [\text{dB}] \end{aligned}$$

Düzeltme faktöründe frekans MHz olarak alınmıştır. Farklı tip kablolarda α_2 ve α_g değerlerini ve aralarındaki farkı veren tablolar aşağıda verilmiştir.

Tablo 5-3 0.4/0.70 ve 0.4/0.84 tipi kablolarda α_2 ve α_g değerleri ve aralarındaki farklar (dB/km ve % olarak)

Frekans (kHz)	0.4/0.70				0.4/0.84			
	α_2 (dB/km)	α_g (dB/km)	Fark	%	α_2 (dB/km)	α_g (dB/km)	Fark	%
1	1.67	1.68	0.01	0.48	1.67	1.68	0.00	0.30
10	4.95	5.00	0.05	1.02	4.90	4.93	0.04	0.81
50	8.45	8.63	0.18	2.16	8.10	8.27	0.17	2.08
100	9.31	9.63	0.32	3.40	8.80	9.12	0.31	3.58
300	12.04	12.80	0.76	6.34	11.14	11.98	0.85	7.60
512	14.54	15.71	1.17	8.05	13.36	14.73	1.37	10.24
1024	19.68	21.72	2.04	10.36	17.98	20.53	2.55	14.20
2048	26.99	30.53	3.55	13.15	24.54	29.30	4.77	19.42
5000	40.97	48.22	7.25	17.69	37.08	47.72	10.64	28.70

Tablo 5-4 0.5/0.86 ve 0.5/1.04 tipi kablola α_2 ve α_g değerleri ve aralarındaki farklar (dB/km ve % olarak)

Frekans f (kHz)	0.5/0.86				0.5/1.04			
	α_2 (dB/km)	α_g (dB/km)	Fark	%	α_2 (dB/km)	α_g (dB/km)	Fark	%
1	1.33	1.35	0.02	1.37	1.33	1.36	0.03	2.19
10	3.80	3.89	0.09	2.41	3.74	3.87	0.13	3.49
50	5.82	6.10	0.28	4.86	5.51	5.88	0.37	6.73
100	6.48	6.94	0.46	7.08	6.03	6.61	0.58	9.66
300	9.06	10.05	0.99	10.93	8.32	9.50	1.19	14.30
512	11.27	12.71	1.44	12.77	10.28	11.96	1.68	16.37
1024	15.45	17.79	2.34	15.14	14.01	16.65	2.64	18.84
2048	21.19	24.99	3.80	17.93	19.14	23.28	4.14	21.65
5000	32.67	39.77	7.10	21.72	29.40	36.80	7.40	25.17
10000	45.88	57.41	11.53	25.12	41.21	52.82	11.61	28.18

Tablo 5-5 0.6/1.10 ve 0.6/1.40 tipi kablolar α_2 ve α_g değerleri ve aralarındaki farklar (dB/km ve % olarak)

Frekans f (kHz)	0.6/1.10				0.6/1.40			
	α_2 (dB/km)	α_g (dB/km)	Fark	%	α_2 (dB/km)	α_g (dB/km)	Fark	%
1	1.10	1.14	0.04	3.59	1.10	1.12	0.02	2.02
10	2.99	3.15	0.16	5.27	2.91	3.02	0.11	3.83
50	4.17	4.58	0.41	9.94	3.86	4.21	0.34	8.90
100	4.79	5.42	0.63	13.11	4.38	4.94	0.56	12.74
300	7.09	8.30	1.21	17.13	6.41	7.61	1.21	18.81
512	8.90	10.57	1.67	18.80	8.00	9.76	1.75	21.90
1024	12.26	14.80	2.54	20.68	10.98	13.83	2.85	25.93
2048	16.92	20.76	3.84	22.72	15.09	19.71	4.62	30.66
5000	26.11	32.68	6.57	25.15	23.21	31.85	8.64	37.22
10000	36.68	46.64	9.95	27.13	32.55	46.59	14.03	43.11

Tablo 5-6 0.9/1.64 ve 0.9/2.0 tipi kablolar α_2 ve α_g değerleri ve aralarındaki farklar (dB/km ve % olarak)

Frekans f (kHz)	0.9/1.64				0.9/2.00			
	α_2 (dB/km)	α_g (dB/km)	Fark	%	α_2 (dB/km)	α_g (dB/km)	Fark	%
1	0.72	0.78	0.06	7.77	0.72	0.76	0.04	6.20
10	1.65	1.85	0.20	12.00	1.59	1.76	0.18	11.13
50	2.21	2.69	0.48	21.77	2.05	2.51	0.46	22.63
100	2.81	3.52	0.70	25.06	2.59	3.29	0.70	27.14
300	4.52	5.81	1.29	28.50	4.13	5.49	1.36	32.92
512	5.72	7.45	1.73	30.22	5.21	7.08	1.87	35.98
1024	8.01	10.54	2.53	31.63	7.26	10.10	2.84	39.09
2048	11.22	14.93	3.71	33.06	10.16	14.46	4.30	42.38
5000	17.38	23.44	6.06	34.85	15.71	23.06	7.35	46.81
10000	24.48	33.35	8.87	36.24	22.10	33.25	11.15	50.44

5.3.4 Karakteristik Empedans

Şekil 2.24 'de gösterilen Z_1 , Z_2 , Z_3 'ün frekansla değişimi (2.53), (2.60), (2.65) formüllerine göre. Yapılan incelemelerde, ölçülen karakteristik empedans alçak frekanslarda Z_1 'e, orta frekanslarda Z_2 'ye yüksek frekanslarda da Z_2 ve Z_3 'e yakın olduğu görülmüştür. Alçak frekanslarda hesaplanan Z_1 değerleri ile gerçek değerler arasında farkı azaltmak için Z_1 değerlerine frekansla değişen düzeltme faktörü eklenmiştir. Farklı tip kablolar için Z_1 , Z_2 ve Z_3 'ün geçerli olduğu frekans bandları ve düzeltme faktörü aşağıda verilmiştir.

Tablo 5- 7 Karakteristik Empedans hesaplama formüllerinin geçerli olduğu frekans bandları

Kablo tipi	Frekans Aralığı (kHz)	Empedans (ohm)	Hata Oranı (%)
0.4 / 0.7	$1 < f < 30$	$Z_g = Z_1 + 2.5 \cdot (f)^{0.3}$	< 2
0.4 / 0.84	$200 < f < 30$	$Z_g \sim Z_2$	< 3
	$f > 30$	$Z_g \sim Z_3$	< 2
0.5 / 0.86	$1 < f < 30$	$Z_g = Z_1 + 2.0 \cdot (f)^{0.3}$	< 2
0.5 / 1.04	$30 < f < 200$	$Z_g \sim Z_2$	< 3
	$f > 200$	$Z_g \sim Z_3$	< 2
0.6 / 1.10	$1 < f < 10$	$Z_g = Z_1 + 3.1 \cdot (f)^{0.4}$	< 2
0.6 / 1.40	$100 < f < 10$	$Z_g \sim Z_2$	< 3
	$f > 100$	$Z_g \sim Z_3$	< 2
0.9 / 1.64	$1 < f < 5$	$Z_g = Z_1 + 4.0 \cdot (f)^{0.6}$	< 2
0.9 / 2.0	$6 < f < 10$	$Z_g = Z_1 + 4.5 \cdot (f)^{0.3}$	< 2
	$60 < f < 10$	$Z_g \sim Z_2$	< 3
	$f > 60$	$Z_g \sim Z_3$	< 2

Aşağıda farklı tip kablolarda düzeltme faktörü ile hesaplanan Z_h ve gerçek Z_g değerlerini veren tablolar aşağıda görülmektedir.

Tablo 5-8 Tel çapı 0.4 ve 0.5 mm olan dolgulu ve dolgusuz kablolarda hesaplanan Z_h ve Z_g 'nin frekansla değişimi

Frekans f(kHz)	0.4/0.70 (C= 44 nF/km)		0.4/0.84 (C= 44 nF/km)		0.5/0.86 (C= 44 nF/km)		0.5/1.04 (C= 44 nF/km)	
	Z_h (ohm)	Z_g (ohm)	Z_h (ohm)	Z_g (ohm)	Z_h (ohm)	Z_g (ohm)	Z_h (ohm)	Z_g (ohm)
1	992.01	995	992.01	996	793.61	796	793.61	796
10	313.70	319	313.70	319	250.96	254	250.96	255
50	166.95	167	168.22	169	141.48	143	146.52	148
100	133.88	134	139.96	139	126.68	128	134.15	135
300	122.69	123	130.71	131	120.51	120	129.17	129
512	119.80	120	128.25	128	117.45	118	126.48	127
1024	116.98	117	125.75	126	115.22	115	124.51	124
2048	114.75	115	123.76	124	113.44	113	122.93	123
5000	112.83	113	122.05	122	111.91	112	121.57	122
10000	111.84	112	121.16	121	111.12	110	120.86	121

Tablo 5-9 Tel çapı 0.6 ve 0.9 mm olan dolgulu ve dolgusuz kablolarda hesaplanan Z_h ve Z_g 'nin frekansla değişimi

Frekans f(kHz)	0.6/1.10 (C= 44 nF/km)		0.6/1.40 (C= 44 nF/km)		0.9/1.64 (C= 44 nF/km)		0.9/2.00 (C= 44 nF/km)	
	Z_h (ohm)	Z_g (ohm)	Z_h (ohm)	Z_g (ohm)	Z_h (ohm)	Z_g (ohm)	Z_h (ohm)	Z_g (ohm)
1	661.34	666	661.34	662	440.89	446	440.89	448
10	209.14	220	209.14	222	139.45	148	139.44	150
50	133.74	135	141.70	144	125.46	128	133.43	135
100	126.51	128	136.04	138	122.49	124	130.95	130
300	121.57	122	131.98	133	117.99	119	126.94	126
512	119.17	120	129.89	130	116.40	116	125.53	124
1024	117.41	119	128.35	128	115.24	115	124.48	123
2048	115.99	117	127.11	127	114.30	114	123.64	122
5000	114.78	115	126.04	126	113.48	113	122.91	121
10000	114.15	114	125.48	124	113.06	112	122.53	121

Faz sabiti β ve grup gecikmesi t_g için bölüm 2 ' de verilen formüller ,
% 2 ' den az bir hata ile gerçek değerleri vermektedir.

5.3.5 Yakın ve Uzak Uç Diyafoni Zayıflaması

Yakın ve uzak uç diyafoni zayıflaması bölüm 3.2 ' de incelenmiş ve çiftler arası diyafoni zayıflamasının (3.28) , (3.29) , (3.30) , (3.31) formüllerine göre değiştiği sonucuna varılmıştı.

Diyafoni zayıflaması hesaplamalarında genelde uzak uç diyafoni zayıflamasının uzunlukla $-10 \lg L$ olarak değiştiği , yakın uç diyafoni zayıflamasının ise uzunluktan bağımsız olduğu kabul edilmektedir. Yani , (3.28) ' de $1 - e^{-4.\alpha.L} = 1$ kabul edilmektedir. Ancak bu her zaman doğru olmayıp frekansla değişir ve her tip kablo için belli bir minimum uzunluktan büyük hatlar için geçerlidir. Dolayısıyla , minimum uzunluklar her tip kablo için ayrı ayrı hesaplanması gerekir. (3.31) formülünü dikkate alarak , yakın uç diyafoni zayıflaması

$$A_n = -10.Lg \frac{A}{\alpha} (1 - e^{-4.\alpha.L}) \quad [dB] \quad (5.1)$$

veya

$$A_n = -10.Lg A + 10.Lg \alpha - 10.Lg (1 - e^{-4.\alpha.L}) \quad [dB] \quad (5.2)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada

$$A = 2.\pi^2.f^2. \left(\frac{M}{2.Z_0} - \frac{C_u.Z_0}{8} \right) \text{ olur ve uzunluktan bağımsızdır.}$$

α --- hat zayıflaması

L --- hat uzunluğu ' dur.

Yakın uç diyafoni zayıflamasının hat uzunluğundan bağımsız olması 5.2 'de, $Lg (1 - e^{-4.\alpha.L}) = 0$ olması demektir. Teorik olarak bu sadece sonsuz uzun hatlar için geçerlidir. Şehir içi dağıtım kablolarında, sadece belirli bir hata payı ile $1 - e^{-4.\alpha.L} \sim 0$ olduğu kabul edilebilir. Ölçme sonuçlarına göre yakın uç diyafoni zayıflaması alçak frekanslarda (1 kHz - 10 kHz) 80 - 100 dB arası, incelenen yüksek frekanslarda da (512 kHz , 1024 kHz) 50 - 55 dB arası değerler almaktadır. İzin verilen maksimum hata payını a) 5 dB , b) 2.5 dB ve c) 1 dB olarak kabul edersek , $A_n = 50$ dB için , $1 - e^{-4.\alpha.L} = b$ değerleri aşağıdaki gibi olmalıdır.

- a) $1 - e^{-4\alpha L} < 0.3162$ b) $1 - e^{-4\alpha L} < 0.5623$ c) $1 - e^{-4\alpha L} < 0.794$
- ve
- a) $\alpha L > 0.095$ b) $\alpha L > 0.2065$ c) $\alpha L > 0.395$

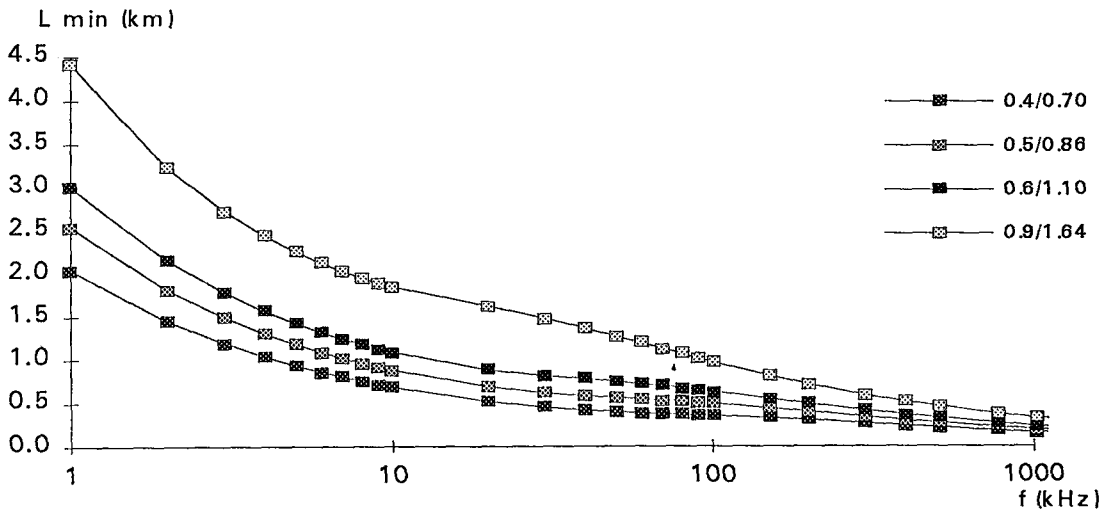
Burada α - [Np / km] dir. Hat zayıflaması α 'yı dB birimi ile aldığımız da , yakın uç diyafoni zayıflamasının hat uzunluğundan bağımsız olduğunun kabul edilebilmesi için müsaade edilen hata payı sınırları içerisinde , asgari hat uzunluklarının Tablo 5-10 'da verilen L_{min} değerlerinden büyük olması gerekir .

Tablo 5-10 Yakın uç diyafoni zayıflamasının hat uzunluğundan bağımsız olduğu kabul edilebilen minimum uzunluklar

Hata [ϵ] [%]	[dB]	Hat uzunluğu L_{min} [km]
$\epsilon < \%10$	~ 5 dB	$L_{min} = 0.825 / \alpha$
$\epsilon < \%5$	~ 2.5 dB	$L_{min} = 1.80 / \alpha$
$\epsilon < \%2$	~ 1 dB	$L_{min} = 3.43 / \alpha$

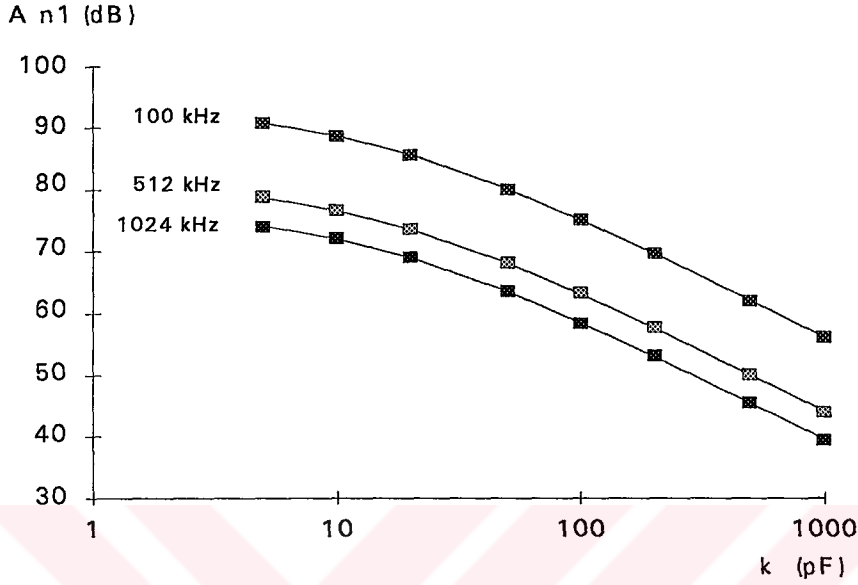
Burada α - [dB / km] olarak alınmalıdır.

Yani ölçülen ve hesaplanan yakın uç diyafoni zayıflaması değerleri arasında fark olmaması için $1 - e^{-4\alpha L} \neq 0$ olduğu kabul edilmelidir. Farklı tip kablolar için hesaplanan L_{min} uzunlukları aşağıdaki grafikte verilmiştir.

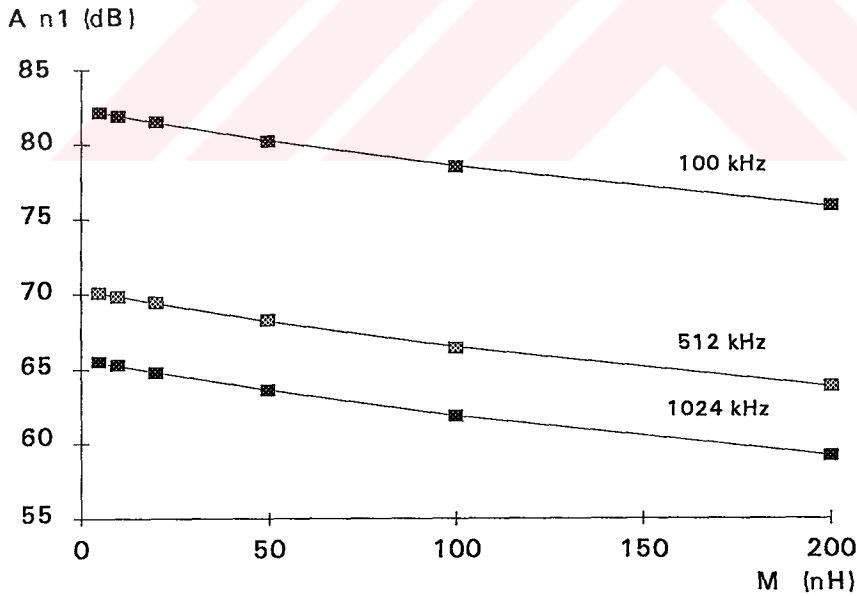


Şekil 5-12 Yakın uç diyafoni zayıflaması ölçmelerinde 1 dB hata ile , hattın sonsuz olduğu kabul edilebilen minimum uzunluklar

Dolgu 100" x 0.4 / 0.84 tipi kablolarda üç ayrı frekans için (100 , 512 ve 1024 kHz) yakın uç ve uzak uç diyafoni zayıflamasının kapasitif ve endüktif kuplajların büyüklüğüne göre değişimi aşağıdaki şekillerde verilmiştir (5.13 , 5.14 ve 5.15).



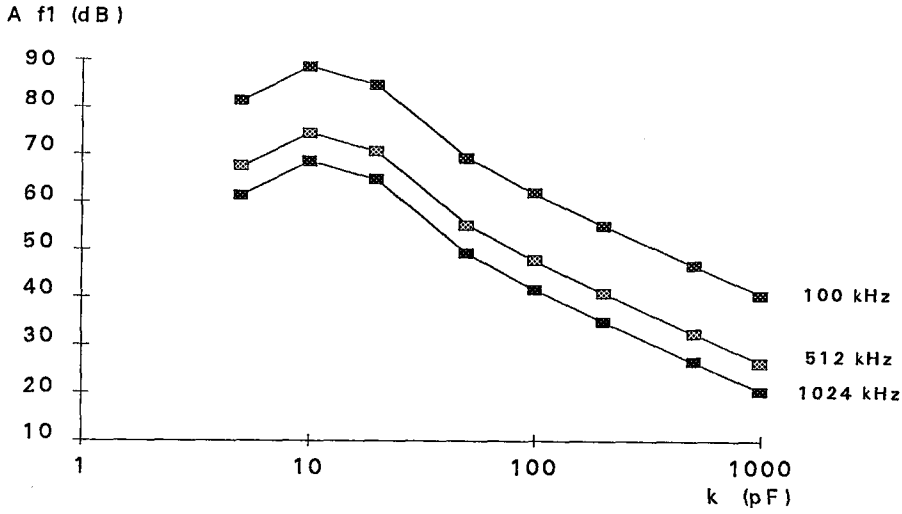
Sekil 5.13 Yakın uç diyafoni zayıflamasının kapasitif kuplajların büyüklüğüne göre değişimi



Sekil 5.14 Yakın uç diyafoni zayıflamasının endüktif kuplajların büyüklüğüne göre değişimi

Farklı tip dolgu ve dolgusuz dağıtım kablolarında yapılan yakın uç ve uzak uç diyafoni zayıflaması ölçmelerinde , diyafoni zayıflamasının frekansla değişim oranının çiftler arası mesafeden ve çiftlerin gruplaşmasından da etkilendiği

görülmüştür.



Sekil 5.15 Uzak uç diyafoni zayıflamasının kapasitif kuplajların büyüklüğüne göre değişimi

Sayısal haberleşme ile ilgili kanal kapasiteleri hesaplamalarında kullanılması amacıyla, bölüm 3.2 'de yapılan açıklamalar da dikkate alınarak, yakın uç ve uzak uç diyafoni zayıflaması, önemi ve frekansla değişim oranına göre beş gruba ayrılmıştır. Hesaplamaları kolaylaştırmak için pratik ölçme sonuçlarını içeren ampirik formüller aşağıda verilmiştir.

a_n yakın uç diyafoni zayıflaması, a_r uzak uç diyafoni zayıflaması olmak üzere,

1. Aynı dörtlü içinde iki çiftin arası

$$a_{n1} = 49.2 - 10.5 \text{ Lg}(f) \text{ [dB]} \quad a_{r1} = 44 - 17.2 \text{ Lg}(f) \text{ [dB]}$$

2. Aynı temel demet içinde komşu dörtlüler de olan çiftler arası

$$a_{n2} = 53 - 17.1 \text{ Lg}(f) \text{ [dB]} \quad a_{r2} = 52 - 17.4 \text{ Lg}(f) \text{ [dB]}$$

3. Aynı ana demet, komşu temel demetlerde olan çiftler arası

$$a_{n3} = 62 - 15.5 \text{ Lg}(f) \text{ [dB]} \quad a_{r3} = 56 - 18.4 \text{ Lg}(f) \text{ [dB]}$$

4. Komşu ana demetlerde olan çiftler arası

$$a_{n4} = 78 - 14.4 \text{ Lg}(f) \text{ [dB]} \quad a_{r4} = 67.5 - 19.5 \text{ Lg}(f) \text{ [dB]}$$

5. Ana demetlerde komşu olmayan çiftler arası

$$a_{n5} = 82 - 13.5 \text{ Lg}(f) \text{ [dB]} \quad a_{r5} = 71 - 21 \text{ Lg}(f) \text{ [dB]}$$

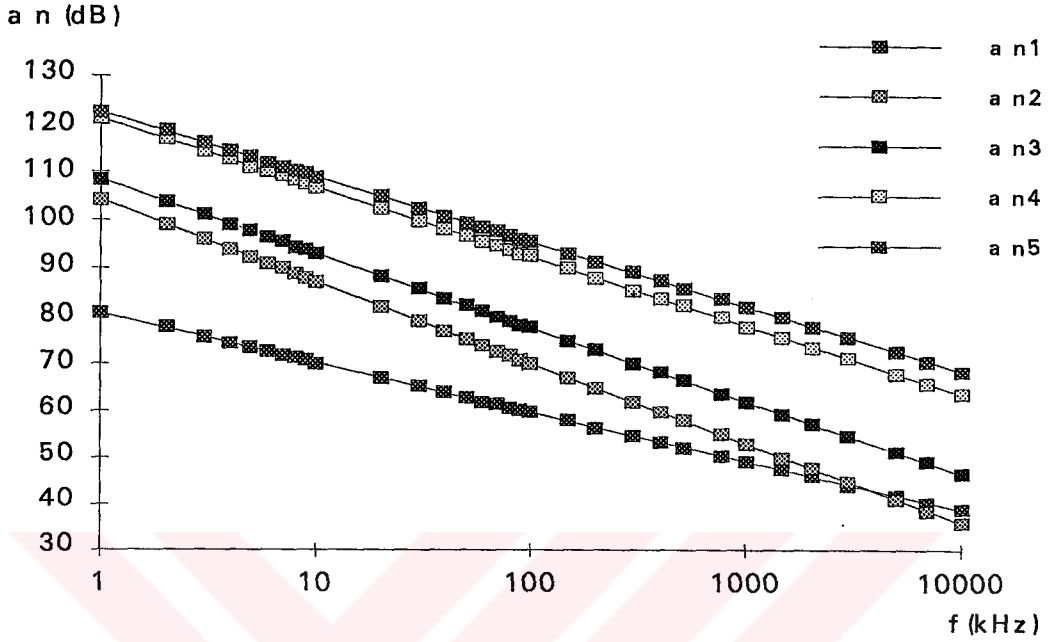
olarak hesaplanmaktadır. Formüllerde f frekansı MHz olarak alınmıştır.

Hat uzunluğunda $-10 \cdot \text{Lg } L$ olarak değişen uzak uç diyafoni zayıflamasına hat zayıflaması da eklendiğinde bozucu işaretin, alıcıya ulaştığında toplam zayıflaması

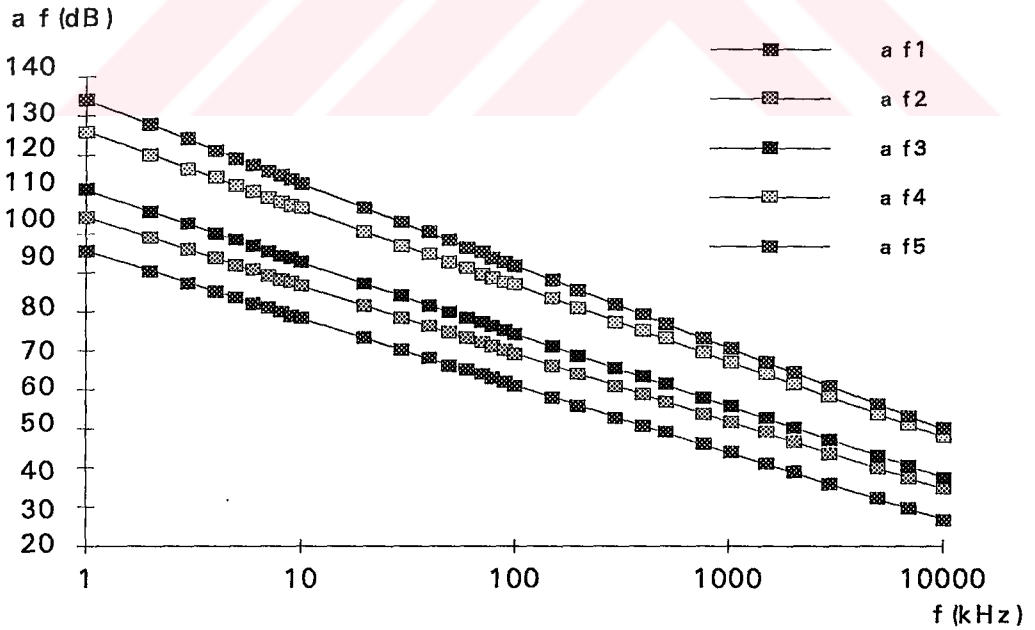
$$A_{fi} = a_{fi} + \alpha_g - 10 \cdot \text{Lg } L \text{ [dB]}$$

olarak hesaplanır.

Dolgulu 400" x2 x 0.4/0.84 tipi kablolarda beş farklı gruba ayrılmış diyafoni zayıflaması değerlerinin frekansla değişimi aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Sekil 5.16 Farklı gruplar arası yakın uç diyafoni zayıflamasının frekansla değişimi



Sekil 5.17 Farklı gruplar arası uzak uç diyafoni zayıflamasının frekansla değişimi

Bölüm 5.4 Ses frekans dağıtım kablolarının 2 MBit/s sayısal haberleşmeye uygunluğunun incelenmesi

İncelemelerde, 2.048MBit/s haberleşmesinde kullanılabilen maksimum hat uzunlukları üç farklı kritere göre belirlenmiştir.

1. İşaret seviyesinin gürültü seviyesinden en az 15 dB daha yüksek kalması şartıyla belirlenen maksimum hat uzunlukları ,
2. Gürültülü kanalda , 2.048MBit/s hızında enformasyon taşınabilecek maksimum hat uzunlukları ,
3. Hat zayıflaması 40dB ' i geçmeyen maksimum hat uzunlukları.

İşaret - gürültü seviyelerinin arasında 15 dB fark olması , bit hata oranının 10^{-8} ' den küçük olmasını sağlamaktadır [51] , [52].

Telefon şebekesine döşenmiş bir kablodaki çiftlere , gürültü üç yoldan gelebilir.

a) Kablo dışından - dağıtım kablosuna yakın döşenmiş enerji kablolarındaki kısa devre akımları , yıldırım düşmesi sonucu kablo etrafından geçen şiddetli akımların etkisiyle çiftlerde endüklenen e.m.k v.b.

b) Kablo içinde , komşu çiftlerden gelen gürültü

c) Çiftin bakır tellerinde,elektronların hareketliliğinden dolayı termik gürültü

Yüksek gerilim enerji kablolarından gelen gürültüyü azaltmak için her iki kabloda da (enerji ve haberleşme)koruyucu ekran ve zırh kullanılmaktadır. Yıldırım düşmesi olayları ise oldukça nadir olduğundan incelemeye alınmamıştır. Çiftin bakır tellerin deki termik gürültünün seviyesi komşu çiftlerden gelen gürültüden çok düşük olduğundan ,pratik olarak bir etkisinin olmadığı kabul edilmiştir[52]. Yakın ve uzak uç diyafonisi zayıflamaları sonsuz büyük olmadığından, her çifte komşu çiftlerden istenmeyen gürültü geçer. Geçen gürültü , çiftlerin kablodaki konumundan ve çift hatveleri arasındaki farktan da etkilenmektedir . Birbirine çok yakın olan çiftler (aynı temel demette) arası gürültü geçişi çok daha şiddetlidir. Bölüm 4.4' te işaret gürültü oranını veren (4.8) ve çiftin kanal kapasitesini veren (4.9) formüllerini dikkate alırsak , gürültülü kanalda , yukarıda açıklanan 1. ve 2. kritere göre maksimum hat uzunlukları

$$L_{\max}(\alpha) = (1/\alpha) \cdot (15 + 10 \lg (|N_n(f)|^2 + |N_f(f)|^2 + |H_k(f)|^2)) \quad (5.3)$$

ve $Q_{\min} = 15 \text{ dB}$

$$L_{\max}(c) = (10/\alpha) \lg [(2^{c/f} - 1) \cdot (|N_n(f)|^2 + |N_f(f)|^2 + |H_k(f)|^2)] \quad (5.4)$$

olarak hesaplanır.

Uzak uç diyafonisinin etkisi hat boyunca ilerleyip alıcıya ulaştığında , ilaveten hat zayıflaması kadar zayıfladığından , alıcıya gelen işaret en fazla yakın uç diyafonisinden etkilenmektedir. Yakın uç diyafoni etkisinin , uzak uç diyafoniye göre 20 -100 kat daha şiddetli olduğunu gözönünde tutarsak (5.3) ve (5.4) aşağıda verilen

$$L_{\max}(Q) = (1/\alpha).(15 + 10 L_g(|N_n(\eta)|^2)) \quad (5.5)$$

$$Q_{\min} = 15 \text{ dB}$$

$$L_{\max}(C) = (10/\alpha) L_g[(2^{c/f} - 1)|N_n(\eta)|^2] \quad (5.6)$$

şeklini alır.

İncelemeler 10 çiftli temel demet , 50 ve 100 çiftli ana demetlerde farklı sayıda bozucu kanalın mevcut olduğu toplam 18 farklı durum için yapılmıştır. Bunlardan 10'u aynı temel demet içinde çiftler arası gürültü geçişini , sekizi de aynı ana demet içinde bulunan temel demetler arasındaki gürültü geçişini kapsamaktadır. İncelenen 18 farklı durum aşağıdaki gibidir.

Tablo 5-11 18 farklı durum için çiftler arası gürültü kaynakları

Durum	YF Kanal Sayısı	Bozucu gürültü kaynağı	Açıklama
10 çift A.D. içinde			
1	2	$1a_{n_1}$	Aynı dörtlüde 2 YFÇ
2	2	$1a_{n_2}$	Farklı dörtlülerden 2 YFÇ
3	3	$2a_{n_2}$	Farklı dörtlülerden 3 YFÇ
4	4	$3a_{n_2}$	Farklı dörtlülerden 4 YFÇ
5	5	$4a_{n_2}$	Farklı dörtlülerden 5 YFÇ
6	6	$1a_{n_1} + 4a_{n_2}$	Bir dörtlüden 2, diğerlerinden birer YFÇ
7	7	$1a_{n_1} + 5a_{n_2}$	İki dörtlüde 2'er YF, diğerlerinde birer YFÇ
8	8	$1a_{n_1} + 6a_{n_2}$	Üç dörtlüde 2'er YF, kalan ikisinde birer YFÇ
9	9	$1a_{n_1} + 7a_{n_2}$	Dört dörtlüde 2'er YF, bir dörtlüde 1 YFÇ
10	10	$1a_{n_1} + 8a_{n_2}$	Çiftlerin tamamı YFÇ'dir
50 çift A.D. içinde			
11	5	$4a_{n_3}$	Aynı A.D. içinde her TD'de 1 YF çifti
12	10	$1a_{n_2} + 8a_{n_3}$	Aynı A.D. içinde her TD'de 2 YF çifti
13	25	$4a_{n_2} + 20a_{n_3}$	Aynı A.D. içinde her dörtlüde 1 YF çifti
14	50	$1a_{n_1} + 8a_{n_2} + 40a_{n_3}$	A.D.'nin tamamı YF çifti
100 çift A.D. içinde			
15	10	$9a_{n_3}$	Aynı A.D. içinde her TD'de 1 YF çifti
16	20	$1a_{n_2} + 18a_{n_3}$	Aynı A.D. içinde her TD'de 2 YF çifti
17	50	$4a_{n_2} + 45a_{n_3}$	Aynı A.D. içinde her dörtlüde 1 YF çifti
18	100	$1a_{n_1} + 8a_{n_2} + 90a_{n_3}$	A.D.'nin tamamı YF çifti

Burada YFÇ- 2.048MBit/s haberleşmesi için kullanılan yüksek frekans çiftidir.

Bu incelemelerde , dört seviyeli 2B1Q ve "sözde " üç seviyeli HDB3 kodlama sistemleri ile bakır iletkenli çift üzerinden 2.048 MBit/s hızında enformasyon taşındığında , kullanılabilecek maksimum hat uzunlukları belirlenmiştir. Her iki kodlama sisteminin Nyquist frekansında (2B1Q için 512 kHz , HDB3 için 1024 kHz) işaret seviyesinin , komşu çiftlerden geçen gürültü seviyesinden en az 15 dB yüksek olması şartıyla, telefon şebekesine döşenen dağıtım kablolarının 2.048MBit/s haberleşmesi için kullanılabilen maksimum uzunlukları ($L_{max}(Q)$) Tablo 5-12 ve Tablo 5-13'de verilmiştir.

Tablo 5-12 Dağıtım kablolarının 2.048 MBit/s haberleşmesi için kullanıldığında ,
2B1Q kodlama sistemine göre maksimum hat uzunlukları
($Q = 15$ dB)

Durum	Gürültü Seviyesi $\mu W/Hz$	0.4/0.70 $L_{max}(Q)$ km	0.4/0.84 $L_{max}(Q)$ km	0.5/0.86 $L_{max}(Q)$ km	0.5/1.04 $L_{max}(Q)$ km	0.6/1.10 $L_{max}(Q)$ km	0.6/1.40 $L_{max}(Q)$ km	0.9/1.64 $L_{max}(Q)$ km	0.9/2.0 $L_{max}(Q)$ km
10" TD									
1	0.6	2.371	2.529	2.931	3.115	3.524	3.817	5.000	5.261
2	1.6	2.735	2.917	3.381	3.593	4.065	4.403	5.768	6.069
3	3.2	2.544	2.713	3.144	3.341	3.780	4.094	5.364	5.644
4	1.8	2.431	2.593	3.005	3.194	3.614	3.914	5.127	5.395
5	6.4	2.352	2.508	2.907	3.089	3.496	3.786	4.960	5.219
6	12	2.170	2.314	2.682	2.850	3.225	3.492	4.575	4.815
7	14	2.136	2.278	2.640	2.806	3.175	3.438	4.505	4.740
8	16	2.106	2.246	2.603	2.767	3.130	3.390	4.441	4.673
9	17	2.079	2.217	2.570	2.731	3.090	3.347	4.384	4.613
10	19	2.054	2.191	2.539	2.699	3.054	3.307	4.332	4.559
50" A D									
11	0.9	2.895	3.088	3.578	3.803	4.303	4.660	6.105	6.424
12	34	2.527	2.695	3.124	3.320	3.756	4.068	5.329	5.608
13	11	2.205	2.352	2.726	2.896	3.277	3.549	4.650	4.893
14	28	1.946	2.076	2.406	2.557	2.893	3.133	4.105	4.319
100" A D									
15	2	2.671	2.848	3.301	3.508	3.969	4.299	5.632	5.926
16	5.6	2.387	2.546	2.950	3.135	3.548	3.842	5.033	5.296
17	16	2.090	2.229	2.584	2.746	3.107	3.364	4.408	4.638
18	39	1.853	1.976	2.290	2.433	2.753	2.982	3.907	4.111

Tablo 5-13 Dağıtım kablolarının 2.048 MBit/s haberleşmesi için kullanıldığında , HDB3 kodlama sistemine göre maksimum hat uzunlukları (Q=15 dB)

Durum	Gürültü Seviyesi $\mu\text{W}/\text{Hz}$	0.4/0.70 Lmax (Q) km	0.4/0.84 Lmax (Q) km	0.5/0.86 Lmax (Q) km	0.5/1.04 Lmax (Q) km	0.6/1.10 Lmax (Q) km	0.6/1.40 Lmax (Q) km	0.9/1.64 Lmax (Q) km	0.9/2.0 Lmax (Q) km
10"TD									
1	12	1.570	1.661	1.917	2.048	2.304	2.466	3.235	3.376
2	5.2	1.740	1.841	2.125	2.270	2.554	2.733	3.586	3.743
3	10	1.602	1.695	1.956	2.089	2.351	2.516	3.301	3.445
4	10	1.521	1.609	1.857	1.984	2.232	2.388	3.134	3.270
5	21	1.463	1.548	1.786	1.909	2.147	2.298	3.015	3.146
6	33	1.371	1.450	1.674	1.788	2.012	2.153	2.825	2.948
7	39	1.342	1.419	1.638	1.750	1.969	2.107	2.765	2.885
8	44	1.316	1.392	1.607	1.717	1.931	2.067	2.712	2.830
9	49	1.293	1.368	1.579	1.687	1.898	2.031	2.666	2.782
10	54	1.273	1.347	1.554	1.661	1.868	1.999	2.624	2.738
50"A D									
11	2.6	1.878	1.986	2.292	2.449	2.755	2.949	3.869	4.038
12	11	1.601	1.694	1.955	2.089	2.350	2.514	3.299	3.443
13	34	1.366	1.445	1.667	1.781	2.004	2.145	2.814	2.937
14	81	1.194	1.263	1.458	1.557	1.752	1.875	2.460	2.567
100"A D									
15	5.9	1.715	1.815	2.094	2.238	2.517	2.694	3.535	3.689
16	17	1.504	1.591	1.836	1.962	2.207	2.362	3.099	3.234
17	51	1.287	1.361	1.571	1.679	1.888	2.021	2.652	2.767
18	110	1.125	1.190	1.374	1.468	1.651	1.767	2.319	2.420

Görüldüğü gibi 0.4/0.70 tipi kablolarda bozucu gürültünün aynı dörtlüde bulunan diğer çiftten geldiği durumda (durum 1) , kullanılabilen maksimum uzunluk 2B1Q için 2371 m iken HDB3 ' e göre 1570 m' ye düşer (~% 50). Bozucu gürültünün, temel demetin başka bir dörtlüsünden geldiği durumda ise kullanılabilen maksimum uzunluklar 2B1Q için 2735 m , HDB3 için de 1740 m olup düşüş oranı ~%57' dir. Temel demetin % 100 ' ü (durum 10) 2.048 MBit/s haberleşmesi amacıyla kullanıldığında maksimum uzunluk lar 2B1Q sistemi için 2054 m , HDB3 sistemi için ise 1273 m olarak bulunmuştur. 50 çiftli ana demette çiftlerin %10'u (durum 11) her temel demetten bir çift YF çifti olarak kullanıldığında Lmax. değerleri , 2B1Q sistemi için 2895 m , HDB3 sistemi için de 1878 m ' dir. 100 çiftli ana demetlerde, her temel demette 1 YFÇ olduğunda ise kullanılabilen maksimum uzunluklar 2B1Q için 2671 m , HDB3 için 1715 m' dir. Yani , 10 YFÇ ' nin kullanılması gerekiyorsa bunun yapılması için üç farklı grup (10"TD , 50"AD , 100"AD) mevcut olduğunda

kullanılabilen uzunluklar aşağıdaki gibidir.

	10"TD	50"AD	100"AD
2B1Q	2054 m	2895 m	2671 m
HDB3	1273 m	1878 m	1715 m

Görüldüğü gibi YFÇ'nin tek veya birkaç temelde yoğunlaşması yerine ,ana demetlerin içinde düzgün bir dağılım yapıldığında , kullanılabilen uzunluklar ~%30 ,~ %40 kadar artmaktadır. Diğer tip kablolarda (0.5 mm , 0.6 mm , 0.9 mm) Lmax. değerlerinin artması ile birlikte , gruplar içinde dağılımın etkisi yaklaşık aynıdır. Gürültülü kanaldan 2.048 MBit/s hızında enformasyon taşınabilecek maksimum uzunluklarda (Lmax(c)) 2B1Q sistemi için Tablo 5-14' de HDB3 sistemi için ise Tablo 5-15'de verilmiştir.

Tablo 5-14 Dağıtım kablolarının 2.048 MBit/s haberleşmesinde kullanıldığında ,
2B1Q kodlama sisteminde gürültülü kanal için maksimum hat uzunlukları

Durum	Gürültü Seviyesi $\mu\text{W}/\text{Hz}$	0.4/0.70 Lmax (C) km	0.4/0.84 Lmax (C) km	0.5/0.86 Lmax (C) km	0.5/1.04 Lmax (C) km	0.6/1.10 Lmax (C) km	0.6/1.40 Lmax (C) km	0.9/1.64 Lmax (C) km	0.9/2.0 Lmax (C) km
10"TD									
1	6	2.577	2.749	3.186	3.385	3.831	4.148	5.435	5.719
2	1.6	2.941	3.137	3.636	3.864	4.372	4.735	6.203	6.527
3	3.2	2.750	2.933	3.399	3.612	4.087	4.426	5.798	6.102
4	4.8	2.638	2.813	3.260	3.465	3.920	4.246	5.562	5.853
5	6.4	2.558	2.728	3.162	3.360	3.802	4.118	5.394	5.676
6	12	2.376	2.534	2.937	3.121	3.531	3.824	5.010	5.272
7	14	2.342	2.498	2.895	3.077	3.481	3.770	4.939	5.197
8	16	2.312	2.466	2.858	3.037	3.437	3.722	4.876	5.131
9	17	2.285	2.437	2.825	3.002	3.397	3.678	4.819	5.071
10	19	2.261	2.411	2.794	2.969	3.360	3.639	4.767	5.016
50"A D									
11	0.9	3.101	3.307	3.833	4.073	4.609	4.992	6.539	6.881
12	3.4	2.733	2.915	3.379	3.590	4.063	4.400	5.764	6.065
13	11	2.411	2.572	2.980	3.167	3.584	3.881	5.085	5.350
14	28	2.153	2.296	2.661	2.828	3.199	3.465	4.539	4.777
100"A D									
15	2	2.877	3.068	3.556	3.779	4.276	4.631	6.067	6.384
16	5.6	2.593	2.766	3.205	3.406	3.854	4.174	5.468	5.754
17	16	2.296	2.449	2.838	3.016	3.413	3.696	4.842	5.095
18	39	2.059	2.196	2.545	2.704	3.060	3.314	4.341	4.568

Tablo 5-15 Dağıtım kablolarının 2.048 MBit/s haberleşmesinde kullanıldığında,HDB3 kodlama sisteminde gürültülü kanal için maksimum hat uzunlukları

Durum	Gürültü Seviyesi $\mu\text{W/Hz}$	0.4/0.70 Lmax (C) km	0.4/0.84 Lmax (C) km	0.5/0.86 Lmax (C) km	0.5/1.04 Lmax (C) km	0.6/1.10 Lmax (C) km	0.6/1.40 Lmax (C) km	0.9/1.64 Lmax (C) km	0.9/2.0 Lmax (C) km
10"TD									
1	12	1.719	1.819	2.099	2.243	2.523	2.700	3.543	3.697
2	5.2	1.889	1.999	2.307	2.465	2.773	2.967	3.894	4.063
3	10	1.751	1.852	2.138	2.284	2.570	2.750	3.608	3.765
4	16	1.670	1.767	2.039	2.178	2.451	2.622	3.441	3.591
5	21	1.612	1.706	1.968	2.103	2.366	2.532	3.322	3.467
6	33	1.520	1.608	1.856	1.983	2.231	2.387	3.132	3.269
7	39	1.491	1.577	1.820	1.945	2.188	2.341	3.072	3.206
8	44	1.465	1.550	1.789	1.911	2.150	2.301	3.019	3.151
9	49	1.443	1.526	1.761	1.882	2.117	2.266	2.973	3.102
10	54	1.422	1.505	1.736	1.855	2.087	2.234	2.931	3.059
50"A D									
11	2.6	2.027	2.144	2.474	2.644	2.974	3.183	4.176	4.358
12	11	1.750	1.852	2.137	2.283	2.568	2.749	3.607	3.764
13	34	1.515	1.602	1.849	1.976	2.223	2.379	3.121	3.257
14	81	1.343	1.421	1.640	1.752	1.971	2.109	2.768	2.888
100"A D									
15	5.9	1.864	1.973	2.276	2.432	2.736	2.928	3.842	4.010
16	17	1.653	1.749	2.018	2.156	2.426	2.596	3.406	3.554
17	51	1.436	1.519	1.753	1.873	2.107	2.255	2.959	3.088
18	110	1.274	1.348	1.556	1.662	1.870	2.001	2.626	2.741

Tablolardan görüldüğü gibi , 2B1Q sistemine göre belirlenen uzunluklar ,HDB3 sistemine göre ~ %48 ile %60 arası daha büyüktür. Gürültü kanal için belirlenen uzunluklar , işaret - gürültü oranının en az 15dB olması şartına göre belirlenen uzunluklardan ~ %8 - 10 arası daha büyüktür. Bu durumda hata oranını 10^{-8} seviyesinde tutabilmek için daha sonraki analizlerde sadece Lmax (Q) değerlerinin dikkate alınması uygun olacaktır. Kablodaki çiftlerin %100 ' ünün 2.048 MBit /s haberleşmesi için kullanıldığında Lmax (Q) değerleri en düşüktür. Mevcut telefon şebekesinde , çiftlerin tamamının 2.048 MBit/s haberleşmesi için kullanılma ihtiyacı küçük bir olasılıktır. Ancak %10 ile %50 arasında kullanım yoğun olacağı beklenilmelidir. Çift üzerinden enformasyon akışı her iki yönde olduğu için ana demet ve temel demet içinde düzgün bir şekilde dağılmış olması önemlidir. 100 çiftli bir ana demette , 10 çiftin 2.048 MBit/s için kullanılması gündemde ise , her temel demetten bir çift alınması Lmax (Q) değerlerinin en büyük olmasını sağlayacaktır. Çift sayısı 10 ile 1200 arası olan sekiz tip dolgulu ve dolgusuz dağıtım

kablosunda , çiftlerin %10,%50,%100'ünün 2.048 MBit/s haberleşmesi için kullanıldığında işaret gürültü seviyesi en az 15 dB olması şartıyla max. hat uzunlukları $L_{max}(Q)$ değerleri Tablo 5-16, 5-17, 5-18 ve 5-19' da verilmiştir.

Tablo 5-16 Tel çapı 0.4 ve 0.5 mm olan kablolarda çiftlerin % 10 ve % 20' si üzerinden 2B1Q kodlama sistemine göre, 2.048 MBit/s taşınabilen max. uzunluklar($L_{max}(Q)$)

Kablo Çift Sayısı	0.4/0.70		0.4/0.84		0.5/0.86		0.5/1.04	
	% 10	% 20	% 10	% 20	% 10	% 20	% 10	% 20
	L_{max} (km)	L_{max} (km)	L_{max} (km)	L_{max} (km)	L_{max} (km)	L_{max} (km)	L_{max} (km)	L_{max} (km)
10"	3.946	2.735	4.208	2.917	4.877	3.381	5.183	3.593
20"	3.278	2.667	3.496	2.844	4.052	3.296	4.306	3.503
30"	3.087	2.612	3.292	2.786	3.815	3.229	4.054	3.431
50"	2.895	2.527	3.088	2.695	3.578	3.124	3.803	3.320
100"	2.671	2.387	2.848	2.546	3.301	2.950	3.508	3.135

Tablo 5-17 Tel çapı 0.4 ve 0.5 mm olan kablolarda çiftlerin % 10 ve % 20' si üzerinden HDB3 kodlama sistemine göre, 2.048 MBit/s taşınabilen max. uzunluklar($L_{max}(Q)$)

Kablo Çift Sayısı	0.4/0.70		0.4/0.84		0.5/0.86		0.5/1.04	
	% 10	% 20	% 10	% 20	% 10	% 20	% 10	% 20
	L_{max} (km)	L_{max} (km)	L_{max} (km)	L_{max} (km)	L_{max} (km)	L_{max} (km)	L_{max} (km)	L_{max} (km)
10"	2.854	1.740	3.019	1.841	3.485	2.125	3.723	2.270
20"	2.155	1.695	2.280	1.794	2.631	2.070	2.811	2.212
30"	2.016	1.659	2.133	1.755	2.461	2.025	2.630	2.164
50"	1.878	1.601	1.986	1.694	2.292	1.955	2.449	2.089
100"	1.715	1.504	1.815	1.591	2.094	1.836	2.238	1.962

Tablo 5-18 Tel çapı 0.4 ve 0.5 mm olan kablolarda çiftlerin % 50 ve % 100' ü üzerinden 2B1Q kodlama sistemine göre, 2.048 MBit/s taşınabilen max. uzunluklar($L_{max}(Q)$)

Kablo Çift Sayısı	0.4/0.70		0.4/0.84		0.5/0.86		0.5/1.04	
	% 50	% 100	% 50	% 100	% 50	% 100	% 50	% 100
	L_{max} (km)	L_{max} (km)	L_{max} (km)	L_{max} (km)	L_{max} (km)	L_{max} (km)	L_{max} (km)	L_{max} (km)
10"	2.352	2.054	2.508	2.191	2.907	2.539	3.089	2.699
20"	2.307	2.023	2.461	2.158	2.852	2.501	3.031	2.658
30"	2.269	1.995	2.420	2.128	2.804	2.466	2.980	2.621
50"	2.205	1.946	2.352	2.076	2.726	2.406	2.896	2.557
100"	2.090	1.853	2.229	1.976	2.584	2.290	2.746	2.433
200"	2.194	1.938	2.340	2.066	2.712	2.395	2.882	2.545
300"	2.187	1.932	2.332	2.060	2.703	2.388	2.872	2.537
400"	2.179	1.926	2.324	2.054	2.694	2.381	2.863	2.530
600"	2.066	1.832	2.203	1.954	2.554	2.264	2.714	2.406
900"	2.052	1.820	2.189	1.941	2.537	2.250	2.696	2.391
1200"	2.039	1.809	2.175	1.929	2.521	2.236	2.679	2.376

Tablo 5-19 Tel çapı 0.4 ve 0.5 mm olan kablolarda çiftlerin % 50 ve % 100' ü üzerinden HDB3 kodlama sistemine göre, 2.048 MBit/s taşınabilen max. uzunluklar(L max(Q))

Kablo Çift Sayısı	0.4/0.70		0.4/0.84		0.5/0.86		0.5/1.04	
	% 50 Lmax (km)	% 100 Lmax (km)	% 50 Lmax (km)	% 100 Lmax (km)	% 50 Lmax (km)	% 100 Lmax (km)	% 50 Lmax (km)	% 100 Lmax (km)
10"	1.463	1.273	1.548	1.347	1.786	1.554	1.909	1.661
20"	1.434	1.250	1.517	1.323	1.751	1.526	1.871	1.631
30"	1.408	1.230	1.490	1.301	1.720	1.501	1.837	1.604
50"	1.366	1.194	1.445	1.263	1.667	1.458	1.781	1.557
100"	1.287	1.125	1.361	1.190	1.571	1.374	1.679	1.468
200"	1.358	1.188	1.437	1.257	1.658	1.450	1.772	1.549
300"	1.354	1.184	1.432	1.252	1.653	1.445	1.766	1.544
400"	1.349	1.180	1.427	1.248	1.647	1.441	1.760	1.539
600"	1.271	1.111	1.345	1.176	1.552	1.357	1.658	1.450
900"	1.262	1.103	1.335	1.167	1.541	1.347	1.646	1.439
1200"	1.254	1.095	1.326	1.159	1.531	1.337	1.635	1.429

Tablo 5-16 , 5-17, 5-18 ve 5-19 'daki uzunluklar , YF çiftlerinin gruplar içinde düzgün bir şekilde dağılmış durum için geçerlidir. Pratik uygulamada , hat uzunluklarını sınırlayan bir faktör daha vardır. Bu da sayısal haberleşmede iki tekrarlayıcı arası veya abone santral arasındaki hat zayıflamasının 40 dB 'i geçmemesi şartıdır.Bu sınırlamaya göre farklı tip kablolar için kullanılabilen max. uzunluklar Tablo 5-20 'de verilmiştir.

Tablo 5- 20 Farklı tip kablolarda 512 ve 1024 kHz ' de hat zayıflaması 40 dB olan uzunluklar (L-km)

	0.4/0.7	0.4/0.84	0.5/0.86	0.5/1.04	0.6/1.10	0.6/1.40	0.6/1.64	0.9/2.0
2B1Q (512 kHz)	2.55	2.72	3.15	3.34	3.78	4.10	5.37	5.70
HDB3 (1024 kHz)	1.84	1.95	2.25	2.40	2.70	2.89	3.80	3.60

Yukarıda yapılan açıklamalar ve telefon şebekesine döşenmiş kablo uzunlukları dikkate alındığında (Şekil 4.1 , Şekil 4.2a ve 4.2b) 2.048MBit/s haberleşmesi için kullanılabilecek abone hat uzunluklarının HDB3 kodlaması kullanıldığında yaklaşık % 50 , 2B1Q kodlaması kullanıldığında yaklaşık %73 olması beklenmelidir.

SONUÇ

Telefon şebekesine döşenen abone kablosunun toplam telekomünikasyon sistemlerindeki harcama payı , dünyada $\sim$ % 25 - 30 civarındadır. Bu değer Türk PTT ' si için 1985 ile 1990 arası yapılan yatırımlarda % 19.6 ile % 30.34 arası değişmektedir. Böyle büyük yatırımlarla kurulan bakır iletkenli dağıtım şebekesinin , sadece ses frekansları bandında kullanılması yeterli olmayıp , daha verimli işletilmesi için araştırmaların yapılması doğaldır.

Bu çalışmada , Türk PTT ' sinin " Ses frekans dağıtım kabloları teknik şartnamesi " ne göre üretilip şehir içi telefon şebekesine döşenen kabloların yüksek frekans parametreleri incelenmiş ve 2.048 MBit/s sayısal haberleşmede ne oranda kullanılabileceği araştırılmıştır.

Yapılan incelemelerden aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Çok çiftli kablolar , her çiftin çevrim direnci , eşit uzunlukta tek telin direncinden büyük olup , alçak frekanslarda (0.4 mm. için $f < 108$ kHz ; 0.9 mm için $f < 21$ kHz.) frekanstan bağımsız , yüksek frekanslarda ise $\sim \sqrt{f}$ olarak değişmektedir. Teorik hesaplamaların % 2 ' den az hata ile ölçme sonuçlarına eşit olması için 0 - 10 MHz. frekans bölgesi 5 alt frekans bandına bölünmüş ve şehir içi dağıtım şebekesine döşenen 8 tip (0.4 ; 0.5 ; 0.6 ve 0.9 mm.) dolgulu ve dolgusuz kablo için band sınırları ve geçerli formüller belirlenmiştir (Tablo 5.2). Tel çapı eşit olan kablolar , DC çevrim direnci eşit olup , yüksek frekanslarda (~ 1 MHz.) dolgusuz kabloların çevrim direnci $\sim$ % 2 - 2.5 daha büyük olmaktadır.

Dolgusuz ve dolgulu kabloların çift efektif kapasiteleri eşit olup , self endüktansları arasında ise $\sim$ % 12 - 15 fark vardır. Bu farktan dolayı yüksek frekanslarda , dolgulu kabloların karakteristik empedansı $\sim$ % 6 - 7 daha yüksektir. PE izolasyonlu kablolar , sıcaklık yükseldiğinde , kablonun efektif kapasitesi düşer (20° C ile 70° C arası bu düşüş $\sim$ % 4 - 5 civarındadır).

Yalıtkan malzemesindeki kayıpların bir göstergesi olan perditan , dolgulu kablolar , dolgusuz kablolar göre ~ 3 - 4 kat daha yüksektir.

Her kablo tipi için hat zayıflaması ve karakteristik empedansı hesaplama formüllerinin geçerli olduğu frekans bandları belirlenmiş ve frekansla değişen bir düzeltme faktörü ilave edilmiştir. Düzeltme faktörü dikkate alınmayan durumlarda , hesaplanan α_2 ile gerçek α_g değerleri arasındaki fark , alçak frekanslarda (1 - 10 kHz.) ~ % 0.5 - 1 iken , 512 kHz. ve 1024 kHz ' de % 8 - 10 ' a kadar yükselmektedir.

Yakın uç diyafoni zayıflaması hesaplamalarında , her kablo tipi için hattın sonsuz kabul edilebildiği minimum uzunluklar belirlenmiştir. Yakın uç ve uzak uç diyafonisine neden olan kaynaklar , sayısal haberleşme açısından önemi ve frekansla değişim oranına göre beş gruba ayrılmıştır. Her grupta diyafoni zayıflamalarının hesaplanması için ampirik formüller önerilmiştir.

Telefon şebekesine döşenen dağıtım kablolarında , çiftlerin bir kısmı 2.048 MBit/s sayısal haberleşmesi için kullanıldığında , diyafoni gürültüsü mevcut olan kanalda , " işaret - gürültü seviyesi " 15 dB ' den büyük ve hat zayıflamasının 40 dB ' den küçük olduğu durumlar için maksimum hat uzunlukları belirlenmiştir. Bu uzunluklar komşu çiftlerden geçen gürültünün seviyesi ile değişir (durum 1 ÷ 18) ve gürültü seviyesi değişik olan kanallarda , 2B1Q kodlama sistemine göre $L_{max.} = 2546$ m. (0.4 / 0.7 tipi kabloda) ile 5700 m. , (0.9 / 2.0 mm. tipi kablolar) arasında , HDB3 kodlama sistemine göre de 1840 m ile 3950 m arasında değişmektedir.

Telefon şebekesine döşenmiş kablo uzunlukları da dikkate alındığında , 2.048 MBit/s haberleşmesi için kullanılabilen abone hat oranı HDB3 sistemine göre ~ % 50 , 2B1Q sistemine göre de ~ % 73 olması beklenmelidir.

KAYNAKLAR

1. * - : Telekomünikasyonda Neredeyiz ?
PTT Dergisi - 1994/137 s. 24 - 25
2. Baur,Hans :Technologische Perspektiven der Kommunikationstechnik in den neunziger Jahren:Telcom report - Sept.Okt.1991 s 2 - 7
3. PTT : PTT Faaliyet Raporu 1989 -1990 , s.62 , Projeler İtibarıyla Yatırım Harcamaları Listesi
4. Walkoe,W :High Bit Rate Digital Subscriber Line: A Copper Biridge to the Network of the Future - IEEE Journal on Selected Areas in Communications vol.9, No.6 8/1991 pp.765-768
5. Bell Syst. : Dr. Campbell " Memoranda of 1907 and 1912 ". Bell Syst. Tech. J. Vol. 14 , No 4 , pp 552 - 572 oct. 1935
6. Küpfmüller, K. : Zur Theorie und Messung des Nebensprechens in Spulenleit. Wiss. Veröff. Siemens - Konz. 1922 , Heft 3 s. 12 - 20
7. Vogelsberg, D. : Kapazitive Kopplungen in Nachrichtenkabelni NTZ , 1970 , Heft 3 s. 158 - 165
8. Peters , U. : Untersuchung der Übertragungseigenschaften und Störungen
Tröndle , K. von Ortskabeln bei einer Digitalübertragung Oberhalb von
Wellhausen,H. 2.048MBit/s NTZ Archiv , Bd. 2 (1980) H. 6 s. 111 -117
9. Nobio , T. : Low - Frequency Crosstalk Loss Characteristics of Balanced
Makoto , Oh. Cables Electronics and Comm. in Japan , Part 1 Vol. 72
No. 3 , 1989 , pp. 95 - 105
10. Türkoğlu, M. B. : ISND 'de " S " ve " U " Arayüzlerinin İncelenmesi. Abone Hat-
larının ISDN 'e Uygunluğu Üzerine Yapılan Araştırma Sonuçları.
PTT ; AR - GE Bülteni , Sayı 3 , 1991 , s. 86 - 127

11. Yılmaz , G. : Ses Frekans Haberleşme kablolarının 0 - 2 MHz. Frekans Bandında Kullanılma İmkanlarının Araştırılması. Elektr. Müh. V. Ulusal Kongresi , 1993 , s. 748 - 753
12. Yılmaz , G. : Crosstalk and Transmission Characteristics of Multipair Symmetrical Cables at 1kHz. - 2 MHz. Frequency Region. 7 'th Mediterranean Electrotechnical Conference April 12 - 14, 1994 , Antalya , pp. 1109 - 1112
13. Schmidt,H. : Theorie und Technik der Nachrichtenkabel: Dr.Alfred Hüthing Verlag, Heidelberg - 1982
14. Atalay, H. :Transmisyon Tekniği; K.T.Ü -1977
15. Steinbuch,K. :Nachrichtentechnik, Band 11: Springer Verlag Berlin-Heidelberg, Rupprecht,W. New York, 1982
16. Enke,H. : Berechnung und Konstruktion von Nachrichtenkabeln:Heft 12. Siemens ZL / Berlin - 1966
17. Uzgören, F. : İki İletkenli Transmisyon Hatları; İ.T.Ü. - 1982
18. Stadler,E. : Hochfrequenztechnik; Vogel - Verlag , 1973
19. Megla , G. :Dezimeterwellentechnik, Berliner Union Stuttgart -1962
20. Kaden H. : Wirbelströme und Schirmung in der Nachrichtentechnik: Springer - Verlag, Berlin , Göttingen, Heidelberg/1959
21. Riley, E. :Transmission Systems, (ABC of the Telephone Volume 8 , Acuna, V. pp. 11 - 19 , 1990
22. Normann :Rechenformel für Betriebskapazitäten; KLN - Siemens - 1982
23. Vieth, B. : Berechnungsunterlage für PE - isolierte Kabel, Siemens, NK E KB 11 , Berlin , August 1981
24. Gürkaynak, E. : Notiz über Rechenformel für die Betriebskapazität , Siemens KLN , NK E KB 12 , Berlin , May 1982

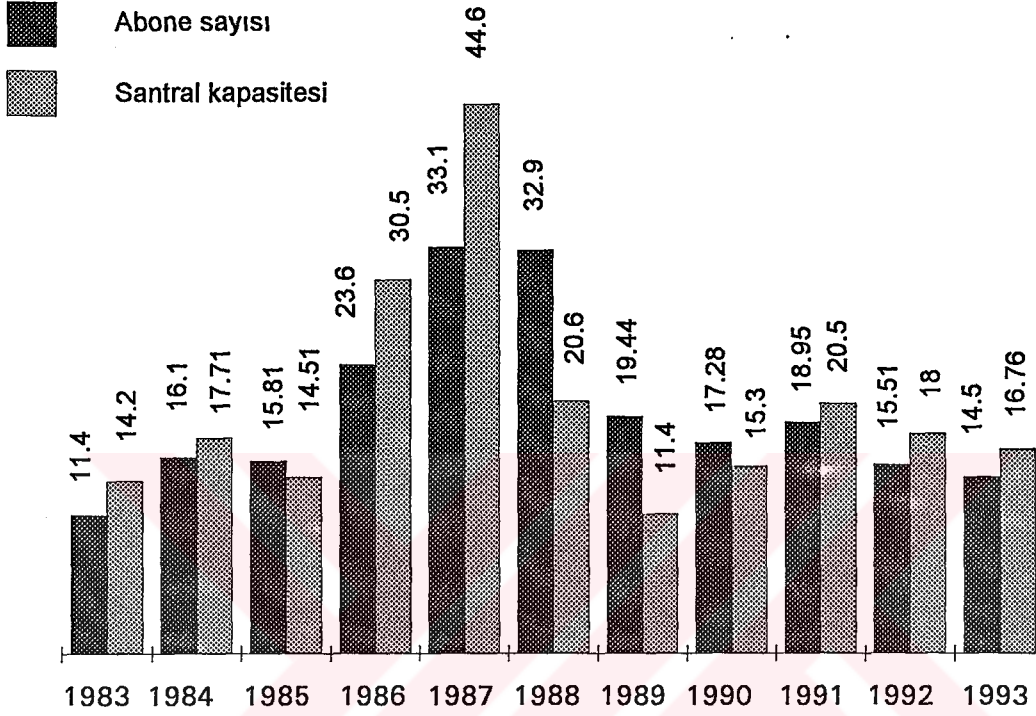
25. Heinz, W. : Unterlagen für WKM Viena über Betriebskapazitätsberechnungen, Siemens -KLN , NKE 121 - Nov.1978
26. Belevitch, V. :Capacitance of Circuits in a Tight Screened Pair or Quad. Philips Journal of Research - vol.33, no. 3/4 - 1978, pp.139 - 148
- 27.Yılmaz, G. : Haberleşme Kablolarında Kullanılan Petrojel Dolgu Malzemelerinin Elektriksel Parametrelerinin Ölçümü ve Değerlendirilmesi: Türk Siemens (TSS Araştırma sonuçları 1990)
28. Mitchell, D.M. : The effect of filling Compound on the Capacitance of Foam - Skin Insulation, Laboratory Simulation vs. Cable performance: AT & T Technologies. 37 th int. wire & Cable Symp. Proc. 1988 pp. 500 - 503
29. Kohlrausch, F. : Praktische Physik, Band 2; B.G.Teubner Verlag, Stuttgart -1968
30. Lenehan,T.A. : Experimental Test of Propagation Parameter Calculations for Shielded Balanced Pair Cables. The Bell System Technical Journal . vol 56. No.4, 1977, pp. 627 - 636
31. Gillaber,A.
Buffat,D. : Bestimmung der elektrischen Eigenschaften des Ortsnetzes als Grundlage für seine Digitalisierung, Technische-Mitteilungen PTT 8/1992 s.344 - 357
- 32.Küpfmüller, K. : Einführung in die theoretische Elektrotechnik, Springer - Verlag Berlin - 1988
33. Chatter,Leo M : Impedance Irregularities in Telephone Networks;DCM int. Corp. 31 ' th Int. Wire & Cable Symp. Proc. 1982 pp. 221 - 236
- 34.Welhausen,H. : Eigenschaften Symmetrischer Kabel der Ortsnetze und Generelle Übertragungsmöglichkeiten; Der Fernmelde Ingenieur , Z. Heft 10 / 11 1989
35. Kayran, A.H. : Analog Haberleşme , İTÜ Sistem Yayınları - 1991
36. Riley, E.
Acuna, V. : Understanding Transmission (ABC of the Telephone - Volume 7 , 1990)
37. Sauerburger,H.: Ein Beitrag zur Berechnung des Nebensprechens in Mehrpaarigen Kabeln, Archiv El. Übertragung Band 3 ,1984 Heft 5 s. 316 - 322

38. Bing , Han S. : Behavior of Crosstalk Loss for Adjacent Pairs at Low Frequencies
IEEE Trans. on Commun. vol. com - 23, No 9,1975 pp.956-962
39. Pierce,St. B. :Crosstalk in Twisted Pair Circuits; İnternational Wire & Cable
Symp. Proc. 1986 pp.349 - 354
40. Eyyuboğlu, H.T. : ISDN Tartışması - PTT , AR - GE Bülteni
Sayı.2, ocak 1991, s. 1 - 8
41. Lechleider, J. :Coordinated Transmission for Two - Pair Digital Subscriber
Lines. IEEE , J. on Selected Areas in Communication
1991 ,vol.9 no.6 pp. 920-930
42. Lopez , J.L. : "Spains Vision of the Future " , Telecommunications,
Nov. 1989 , pp.23-28
43. PTT : Şehiriçi Ses Frekans Dağıtım Kabloları Teknik Şartnamesi
iş no : 331 - A/1 Temmuz 1992
44. PTT : Uzak Mesafe Ses Frekans Dağıtım Kabloları Teknik
Şartnamesi. iş no : 331 - B/1 Temmuz - 1992
45. Lüke, H.D :Signalübertragung. Einführung in die Theorie der Nachrichten-
übertragungs technik, Springer-Verlag , Berlin -1975
46. Lechleider, J. :High Bit Rate Digital Supscriber Lines: A Review of HDSL
Progress IEEE Journ. on selected Areas in Communication
1991 ,vol.9 no.6 pp.769-784
47. Röder, H.Fr. : Die Übertragung quaternarer Digitalsignale auf symmetrischen
Ortsverbindungs - und Ortsanschlusskabeln, Frequenz 40 ,
1986 , Heft 4 , s. 93-100
48. Teletaş : PCM 30-03 Sayısal Çoklayıcı Sistemi Fonksiyonel Tanıtım Föyü-
1986
49. Wellhausen, H. : Effiziente Nutzung Vorhandener Kupfer Ortsanschlussleit-
Heuser, St. ungsnetze. Der Fernmelde Ingenieur , Heft 8/9, 1993 s.46-47
50. * : ISDN in Europe: What is Going on ?
ISDN Vol. 9 No : 12 December 1993 pp. 4 - 7

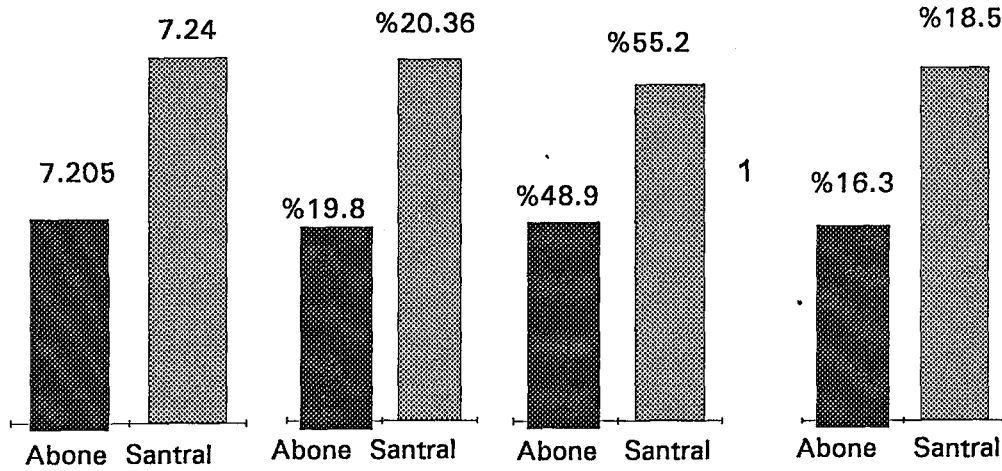
51. Heuser, St. : Vergleich Verschiedener Verfahren zur 2.048 MBit/s
Digitalsignalübertragung auf Vielpaarigen, Symmetrischen
Kabeln , D.B.P - FTZ , 442 TB 76 Oktober 1990
52. Werner, J.J :The HDSL Environment , IEEE Journal on Selected
Areas in Communication 1991 , vol.9 no.6 pp. 785-800



EK -A - Otomatik santral kapasitesi ve abone sayısının son on yılda gösterdiği artışlar



Şekil A-1 Otomatik Santral Kapasitesi ve Abone Sayısının Yüzde Olarak Artışı



Şekil A - 2

- a) 1983 - 1993 arası toplam artış
- b) ortalama yıllık artış
- c) 1991 - 1993 arası toplam artış
- d) 1991 - 1993 arası ortalama artış

Ek B

Tablo B.1 Al. ve Cu. İletkenlerde Skin Kalınlığının Frekansla Değişimi

Frekans f(kHz)	Bakır $\chi=58.5$ s*m/mm ²	Bakır $\chi=58.0$ s*m/mm ²	Bakır $\chi=57.0$ s*m/mm ²	Alüminyum $\chi=36.0$ s*m/mm ²
1	2.0809	2.0996	2.1081	2.6531
2	1.4714	1.4846	1.4907	1.8760
3	1.2014	1.2122	1.2171	1.5318
4	1.0404	1.0498	1.0541	1.3265
5	0.9306	0.9390	0.9428	1.1865
6	0.8495	0.8572	0.8606	1.0831
7	0.7865	0.7936	0.7968	1.0028
8	0.7357	0.7423	0.7453	0.9380
9	0.6936	0.6999	0.7027	0.8844
10	0.6580	0.6639	0.6666	0.8390
20	0.4653	0.4695	0.4714	0.5932
30	0.3799	0.3833	0.3849	0.4844
40	0.3290	0.3320	0.3333	0.4195
50	0.2943	0.2969	0.2981	0.3752
60	0.2686	0.2711	0.2722	0.3425
70	0.2487	0.2509	0.2520	0.3171
80	0.2326	0.2347	0.2357	0.2966
90	0.2193	0.2213	0.2222	0.2797
100	0.2081	0.2100	0.2108	0.2653
150	0.1699	0.1714	0.1721	0.2166
200	0.1471	0.1485	0.1491	0.1876
300	0.1201	0.1212	0.1217	0.1532
400	0.1040	0.1050	0.1054	0.1327
512	0.0886	0.0894	0.0897	0.1129
772	0.0749	0.0756	0.0759	0.0955
1024	0.0650	0.0656	0.0659	0.0829
1500	0.0537	0.0542	0.0544	0.0685
2048	0.0460	0.0464	0.0466	0.0586
3000	0.0380	0.0383	0.0385	0.0484
5000	0.0294	0.0297	0.0298	0.0375
7000	0.0249	0.0251	0.0252	0.0317
10000	0.0208	0.0210	0.0211	0.0265

Ek B

Tablo B.2 0.4 ve 0.5 mm Tel Çaplı Kablolarda Çevrim Direncinin Frekansla Değişimi

		2Y 0.4/0.70 a=0.49 mm	2Y 0.4/0.84 a=0.59 mm	2Y 0.5/0.86 a=0.61 mm	2Y 0.5/1.04 a=0.74 mm
Frekans f(kHz)	Skin Kalınlığı δ (mm)	R' (ohm/km)	R' (ohm/km)	R' (ohm/km)	R' (ohm/km)
1	2.0809	272.06	272.06	174.12	174.12
2	1.4714	272.06	272.06	174.12	174.12
3	1.2014	272.06	272.06	174.12	174.12
4	1.0404	272.06	272.06	174.12	174.12
5	0.9306	272.06	272.06	174.12	174.12
6	0.8495	272.06	272.06	174.12	174.12
7	0.7865	272.06	272.06	174.12	174.12
8	0.7357	272.06	272.06	174.12	174.12
9	0.6936	272.06	272.06	174.12	174.12
10	0.6580	272.06	272.06	174.12	174.12
20	0.4653	272.06	272.06	174.13	174.12
30	0.3799	272.07	272.07	174.14	174.13
40	0.3290	272.07	272.07	174.16	174.14
50	0.2943	272.08	272.08	174.18	174.16
60	0.2686	272.09	272.08	174.20	174.18
70	0.2487	272.11	272.09	177.82	176.63
80	0.2326	272.12	272.10	179.16	177.82
90	0.2193	272.14	272.11	181.45	179.95
100	0.2081	272.16	272.13	184.28	182.64
150	0.1699	286.04	283.66	201.14	198.86
200	0.1471	302.23	299.21	218.37	215.56
300	0.1201	336.86	332.77	250.02	246.31
400	0.1040	369.53	364.53	278.07	273.61
512	0.0886	414.46	408.28	315.62	310.18
772	0.0749	471.55	463.92	362.57	355.91
1024	0.0650	528.78	519.73	409.19	401.36
1500	0.0537	621.45	610.12	484.23	474.50
2048	0.0460	712.15	698.61	552.97	541.40
3000	0.0380	838.11	821.36	660.88	646.63
5000	0.0294	1063.86	1041.72	841.59	822.85
7000	0.0249	1247.35	1220.84	988.47	966.09
10000	0.0208	1478.69	1446.66	1173.67	1146.68

Ek B

Tablo B.3 0.6 ve 0.9 mm Tel Çaplı Kablolarda Çevrim Direncinin Frekansla Değişimi

		2Y 0.6/1.10 a=0.78 mm	2Y 0.6/1.40 a=0.99 mm	2Y 0.9/1.64 a=1.16 mm	2Y 0.9/2.00 a=1.41 mm
Frekans f(kHz)	Skin Kalınlığı δ (mm)	R' (ohm/km)	R' (ohm/km)	R' (ohm/km)	R' (ohm/km)
1	2.0809	120.92	120.92	53.74	53.74
2	1.4714	120.92	120.92	53.74	53.74
3	1.2014	120.92	120.92	53.74	53.74
4	1.0404	120.92	120.92	53.74	53.74
5	0.9306	120.92	120.92	53.75	53.74
6	0.8495	120.92	120.92	53.75	53.75
7	0.7865	120.92	120.92	53.75	53.75
8	0.7357	120.92	120.92	53.75	53.75
9	0.6936	120.92	120.92	53.76	53.75
10	0.6580	120.92	120.92	53.76	53.76
20	0.4653	120.93	120.93	53.83	53.80
30	0.3799	120.95	120.94	56.46	56.01
40	0.3290	120.98	120.96	59.68	59.11
50	0.2943	123.28	122.40	63.13	62.46
60	0.2686	125.01	123.96	66.54	65.77
70	0.2487	127.71	126.52	69.83	68.97
80	0.2326	130.86	129.52	72.99	72.05
90	0.2193	134.22	132.75	76.03	75.01
100	0.2081	137.65	136.06	78.95	77.86
150	0.1699	154.58	152.44	92.07	90.67
200	0.1471	170.20	167.59	103.41	101.74
300	0.1201	197.70	194.31	122.71	120.59
400	0.1040	221.55	217.51	139.14	136.64
512	0.0886	253.16	248.26	159.22	156.23
772	0.0749	292.40	286.45	186.03	182.43
1024	0.0650	331.22	324.24	212.36	208.17
1500	0.0537	390.54	381.92	254.41	249.26
2048	0.0460	451.62	441.40	295.18	289.11
3000	0.0380	540.71	528.17	354.64	347.23
5000	0.0294	689.91	673.47	454.23	444.56
7000	0.0249	811.19	791.58	535.18	523.68
10000	0.0208	964.09	940.49	637.23	623.43

Ek B

Tablo B.4 Dolgusuz ve dolgulu kabloların çevrim dirençleri arasındaki farkın frekansla değişimi (ohm ve % olarak)

Frekans f(kHz)	0.4 mm		0.5 mm		0.6 mm		0.9 mm	
	Fark		Fark		Fark		Fark	
	ohm	%	ohm	%	ohm	%	ohm	%
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.05
30	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.45	0.80
40	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.02	0.57	0.96
50	0.01	0.00	0.02	0.01	0.88	0.72	0.67	1.08
60	0.01	0.00	0.03	0.02	1.05	0.84	0.77	1.17
70	0.01	0.01	1.18	0.67	1.20	0.95	0.86	1.24
80	0.02	0.01	1.35	0.76	1.34	1.03	0.94	1.30
90	0.02	0.01	1.50	0.83	1.47	1.11	1.01	1.35
100	0.03	0.01	1.64	0.90	1.60	1.17	1.09	1.40
150	2.38	0.84	2.28	1.14	2.15	1.41	1.40	1.55
200	3.02	1.01	2.81	1.30	2.61	1.56	1.67	1.64
300	4.09	1.23	3.70	1.50	3.39	1.74	2.12	1.76
400	5.00	1.37	4.46	1.63	4.04	1.86	2.50	1.83
512	6.18	1.51	5.44	1.75	4.90	1.97	2.99	1.92
772	7.63	1.64	6.65	1.87	5.95	2.08	3.60	1.97
1024	9.05	1.74	7.84	1.95	6.98	2.15	4.20	2.02
1500	11.33	1.86	9.73	2.05	8.62	2.26	5.15	2.06
2048	13.53	1.94	11.57	2.14	10.22	2.31	6.07	2.10
3000	16.75	2.04	14.25	2.20	12.54	2.37	7.41	2.13
5000	22.13	2.12	18.74	2.28	16.44	2.44	9.66	2.17
7000	26.51	2.17	22.38	2.32	19.61	2.48	11.50	2.20
10000	32.03	2.21	26.98	2.35	23.60	2.51	13.80	2.21

$$\text{Fark (ohm)} = R_{\text{dolgusuz}} - R_{\text{dolgulu}}$$

$$\text{Fark (\%)} = \frac{\text{Fark (ohm)}}{R_{\text{dolgulu}}} \times 100$$

Ek B

Tablo B.5 0.4/0.70 ve 0.4/0.84 Damarlı Kablolarda Endüktans Bileşenlerinin Frekansla Değişimi

Frekans f(kHz)	2Y 0.4/0.70 Ekran Çapı=40 mm L1= 0.272 mH/km Lt1=0.528 mH/km				2Y 0.4/0.84 Ekran Çapı=40 mm L1= 0.318 mH/km Lt1=0.624 mH/km			
	Li (mH/km)	Lh (mH/km)	Ln _h (mH/km)	Lt (mH/km)	Li (mH/km)	Lh (mH/km)	Ln _h (mH/km)	Lt (mH/km)
1	0.050	-0.0002	0.0000	0.644	0.050	-0.0003	0.0000	0.735
2	0.050	-0.0002	0.0000	0.644	0.050	-0.0003	0.0000	0.735
3	0.050	-0.0002	0.0000	0.644	0.050	-0.0003	0.0000	0.735
4	0.050	-0.0002	0.0000	0.644	0.050	-0.0003	0.0000	0.735
5	0.050	-0.0002	0.0000	0.644	0.050	-0.0003	0.0000	0.735
6	0.050	-0.0002	0.0000	0.644	0.050	-0.0003	0.0000	0.735
7	0.050	-0.0002	0.0000	0.644	0.050	-0.0003	0.0000	0.735
8	0.050	-0.0002	0.0000	0.644	0.050	-0.0003	0.0000	0.735
9	0.050	-0.0002	0.0000	0.644	0.050	-0.0003	0.0000	0.735
10	0.050	-0.0002	0.0000	0.644	0.050	-0.0003	0.0000	0.735
20	0.050	-0.0002	0.0000	0.644	0.050	-0.0003	0.0000	0.735
30	0.050	-0.0002	-0.0001	0.644	0.050	-0.0003	0.0000	0.735
40	0.050	-0.0002	-0.0001	0.644	0.050	-0.0003	-0.0001	0.735
50	0.050	-0.0002	-0.0001	0.644	0.050	-0.0003	-0.0001	0.735
60	0.050	-0.0002	-0.0002	0.643	0.050	-0.0003	-0.0001	0.735
70	0.050	-0.0002	-0.0003	0.643	0.050	-0.0003	-0.0002	0.735
80	0.050	-0.0002	-0.0004	0.643	0.050	-0.0003	-0.0003	0.734
90	0.050	-0.0002	-0.0005	0.643	0.050	-0.0003	-0.0003	0.734
100	0.050	-0.0002	-0.0006	0.643	0.050	-0.0003	-0.0004	0.734
150	0.050	-0.0002	-0.0012	0.641	0.050	-0.0003	-0.0009	0.733
200	0.050	-0.0002	-0.0022	0.640	0.050	-0.0003	-0.0015	0.732
300	0.050	-0.0002	-0.0033	0.637	0.050	-0.0003	-0.0023	0.730
400	0.050	-0.0002	-0.0040	0.636	0.050	-0.0003	-0.0027	0.730
512	0.043	-0.0002	-0.0046	0.620	0.043	-0.0003	-0.0032	0.714
772	0.036	-0.0002	-0.0052	0.606	0.036	-0.0003	-0.0036	0.701
1024	0.032	-0.0002	-0.0056	0.596	0.032	-0.0003	-0.0039	0.691
1500	0.027	-0.0002	-0.0061	0.585	0.027	-0.0003	-0.0042	0.680
2048	0.023	-0.0002	-0.0064	0.577	0.023	-0.0003	-0.0044	0.672
3000	0.019	-0.0002	-0.0067	0.568	0.019	-0.0003	-0.0046	0.663
5000	0.015	-0.0002	-0.0071	0.559	0.015	-0.0003	-0.0049	0.655
7000	0.012	-0.0002	-0.0073	0.554	0.012	-0.0003	-0.0050	0.650
10000	0.010	-0.0002	-0.0074	0.550	0.010	-0.0003	-0.0051	0.646

Ek B

Tablo B.6 0.5/0.86 ve 0.5/1.04 Damarlı Kablolarda Endüktans Bileşenlerinin Frekansla Değişimi

	2Y 0.5/0.86 Ekran Çapı=40 mm L1= 0.271 mH/km Lt1=0.526 mH/km				2Y 0.5/1.04 Ekran Çapı=40 mm L1= 0.319 mH/km Lt1=0.626 mH/km			
Frekans f(kHz)	Li (mH/km)	Lh (mH/km)	Ln _h (mH/km)	Lt (mH/km)	Li (mH/km)	Lh (mH/km)	Ln _h (mH/km)	Lt (mH/km)
1	0.050	-0.0003	0.0000	0.642	0.050	-0.0005	0.0000	0.736
2	0.050	-0.0003	0.0000	0.642	0.050	-0.0005	0.0000	0.736
3	0.050	-0.0003	0.0000	0.642	0.050	-0.0005	0.0000	0.736
4	0.050	-0.0003	0.0000	0.642	0.050	-0.0005	0.0000	0.736
5	0.050	-0.0004	0.0000	0.642	0.050	-0.0005	0.0000	0.736
6	0.050	-0.0004	0.0000	0.642	0.050	-0.0005	0.0000	0.736
7	0.050	-0.0004	0.0000	0.642	0.050	-0.0005	0.0000	0.736
8	0.050	-0.0004	0.0000	0.642	0.050	-0.0005	0.0000	0.736
9	0.050	-0.0004	0.0000	0.642	0.050	-0.0005	0.0000	0.736
10	0.050	-0.0004	0.0000	0.642	0.050	-0.0005	0.0000	0.736
20	0.050	-0.0004	-0.0001	0.641	0.050	-0.0005	0.0000	0.736
30	0.050	-0.0004	-0.0001	0.641	0.050	-0.0005	-0.0001	0.736
40	0.050	-0.0004	-0.0002	0.641	0.050	-0.0005	-0.0002	0.736
50	0.050	-0.0004	-0.0004	0.641	0.050	-0.0005	-0.0002	0.736
60	0.050	-0.0004	-0.0005	0.641	0.050	-0.0005	-0.0004	0.736
70	0.050	-0.0004	0.0000	0.642	0.050	-0.0005	0.0000	0.736
80	0.050	-0.0004	-0.0006	0.640	0.050	-0.0005	-0.0004	0.735
90	0.050	-0.0004	-0.0010	0.640	0.050	-0.0005	-0.0007	0.735
100	0.050	-0.0004	-0.0014	0.639	0.050	-0.0005	-0.0009	0.734
150	0.050	-0.0004	-0.0027	0.636	0.050	-0.0005	-0.0018	0.733
200	0.050	-0.0004	-0.0034	0.635	0.050	-0.0005	-0.0023	0.732
300	0.046	-0.0004	-0.0043	0.625	0.046	-0.0005	-0.0029	0.722
400	0.040	-0.0004	-0.0049	0.612	0.040	-0.0005	-0.0033	0.710
512	0.035	-0.0004	-0.0054	0.600	0.035	-0.0005	-0.0036	0.698
772	0.029	-0.0004	-0.0058	0.589	0.029	-0.0005	-0.0040	0.687
1024	0.026	-0.0004	-0.0062	0.581	0.026	-0.0005	-0.0042	0.679
1500	0.021	-0.0004	-0.0065	0.571	0.021	-0.0005	-0.0044	0.670
2048	0.018	-0.0004	-0.0068	0.565	0.018	-0.0005	-0.0046	0.664
3000	0.015	-0.0004	-0.0071	0.558	0.015	-0.0005	-0.0048	0.657
5000	0.012	-0.0004	-0.0074	0.550	0.012	-0.0005	-0.0050	0.650
7000	0.010	-0.0004	-0.0075	0.546	0.010	-0.0005	-0.0051	0.646
10000	0.008	-0.0004	-0.0076	0.543	0.008	-0.0005	-0.0052	0.643

Ek B

Tablo B.7 0.6/1.10 ve 0.6/1.40 Damarlı Kablolarla Endüktans Bileşenlerinin Frekansla Değişimi

Frekans f(kHz)	2Y 0.6/1.10 Ekran Çapı=40 mm L1= 0.287 mH/km Lt1=0.559 mH/km				2Y 0.6/1.40 Ekran Çapı=40 mm L1= 0.345 mH/km Lt1=0.680 mH/km			
	Li (mH/km)	Lh (mH/km)	Lnh (mH/km)	Lt (mH/km)	Li (mH/km)	Lh (mH/km)	Lnh (mH/km)	Lt (mH/km)
1	0.050	-0.0005	0.0000	0.673	0.050	-0.0009	0.0000	0.787
2	0.050	-0.0006	0.0000	0.673	0.050	-0.0009	0.0000	0.787
3	0.050	-0.0006	0.0000	0.673	0.050	-0.0009	0.0000	0.787
4	0.050	-0.0006	0.0000	0.673	0.050	-0.0009	0.0000	0.787
5	0.050	-0.0006	0.0000	0.673	0.050	-0.0009	0.0000	0.787
6	0.050	-0.0006	0.0000	0.673	0.050	-0.0009	0.0000	0.787
7	0.050	-0.0006	0.0000	0.673	0.050	-0.0009	0.0000	0.787
8	0.050	-0.0006	0.0000	0.673	0.050	-0.0009	0.0000	0.787
9	0.050	-0.0006	0.0000	0.673	0.050	-0.0009	0.0000	0.787
10	0.050	-0.0006	0.0000	0.673	0.050	-0.0009	0.0000	0.787
20	0.050	-0.0006	-0.0001	0.673	0.050	-0.0010	-0.0001	0.787
30	0.050	-0.0006	-0.0002	0.672	0.050	-0.0010	-0.0001	0.787
40	0.050	-0.0006	-0.0004	0.672	0.050	-0.0010	-0.0003	0.787
50	0.050	-0.0006	-0.0001	0.673	0.050	-0.0010	-0.0001	0.787
60	0.050	-0.0006	-0.0008	0.671	0.050	-0.0010	-0.0005	0.786
70	0.050	-0.0006	-0.0012	0.670	0.050	-0.0010	-0.0008	0.786
80	0.050	-0.0006	-0.0016	0.670	0.050	-0.0010	-0.0010	0.785
90	0.050	-0.0006	-0.0020	0.669	0.050	-0.0010	-0.0012	0.785
100	0.050	-0.0006	-0.0022	0.668	0.050	-0.0010	-0.0014	0.784
150	0.050	-0.0006	-0.0032	0.666	0.050	-0.0010	-0.0020	0.783
200	0.047	-0.0006	-0.0037	0.659	0.047	-0.0010	-0.0023	0.776
300	0.039	-0.0006	-0.0044	0.642	0.039	-0.0010	-0.0027	0.759
400	0.034	-0.0006	-0.0048	0.631	0.034	-0.0010	-0.0029	0.749
512	0.029	-0.0006	-0.0051	0.621	0.029	-0.0010	-0.0032	0.739
772	0.025	-0.0006	-0.0055	0.611	0.025	-0.0010	-0.0034	0.730
1024	0.021	-0.0006	-0.0057	0.604	0.021	-0.0010	-0.0035	0.723
1500	0.018	-0.0006	-0.0060	0.596	0.018	-0.0010	-0.0037	0.715
2048	0.015	-0.0006	-0.0062	0.591	0.015	-0.0010	-0.0038	0.710
3000	0.013	-0.0006	-0.0064	0.585	0.013	-0.0010	-0.0039	0.705
5000	0.010	-0.0006	-0.0066	0.579	0.010	-0.0010	-0.0041	0.699
7000	0.008	-0.0006	-0.0067	0.576	0.008	-0.0010	-0.0041	0.695
10000	0.007	-0.0006	-0.0068	0.573	0.007	-0.0010	-0.0042	0.693

Ek B

Tablo B.8 0.9/1.64 ve 0.9/2.0 Damarlı Kabloalarda Endüktans Bileşenlerinin Frekansla Değişimi

Frekans f(kHz)	2Y 0.9/1.64 Ekran Çapı=40 mm L1= 0.285 mH/km Lt1=0.555 mH/km				2Y 0.9/2.0 Ekran Çapı=40 mm L1= 0.332 mH/km Lt1=0.654 mH/km			
	Li (mH/km)	Lh (mH/km)	Ln _h (mH/km)	Lt (mH/km)	Li (mH/km)	Lh (mH/km)	Ln _h (mH/km)	Lt (mH/km)
1	0.050	-0.0012	0.0000	0.667	0.050	-0.0017	0.0000	0.761
2	0.050	-0.0012	0.0000	0.667	0.050	-0.0018	0.0000	0.761
3	0.050	-0.0012	0.0000	0.667	0.050	-0.0018	0.0000	0.761
4	0.050	-0.0013	0.0000	0.667	0.050	-0.0019	0.0000	0.761
5	0.050	-0.0013	0.0000	0.667	0.050	-0.0019	0.0000	0.761
6	0.050	-0.0013	0.0000	0.667	0.050	-0.0019	0.0000	0.761
7	0.050	-0.0013	-0.0001	0.667	0.050	-0.0019	0.0000	0.761
8	0.050	-0.0013	-0.0001	0.667	0.050	-0.0019	-0.0001	0.761
9	0.050	-0.0013	-0.0001	0.667	0.050	-0.0019	-0.0001	0.761
10	0.050	-0.0013	-0.0001	0.667	0.050	-0.0019	-0.0001	0.761
20	0.050	-0.0013	-0.0005	0.666	0.050	-0.0019	-0.0004	0.760
30	0.050	-0.0013	-0.0011	0.665	0.050	-0.0019	-0.0008	0.759
40	0.050	-0.0013	-0.0020	0.663	0.050	-0.0019	-0.0013	0.758
50	0.050	-0.0013	-0.0025	0.662	0.050	-0.0020	-0.0017	0.757
60	0.050	-0.0013	-0.0030	0.661	0.050	-0.0020	-0.0020	0.757
70	0.050	-0.0013	-0.0033	0.661	0.050	-0.0020	-0.0022	0.756
80	0.050	-0.0013	-0.0035	0.660	0.050	-0.0020	-0.0024	0.756
90	0.047	-0.0013	-0.0038	0.653	0.047	-0.0020	-0.0025	0.749
100	0.044	-0.0013	-0.0039	0.648	0.044	-0.0020	-0.0026	0.744
150	0.037	-0.0013	-0.0046	0.631	0.037	-0.0020	-0.0030	0.728
200	0.032	-0.0013	-0.0049	0.621	0.032	-0.0020	-0.0033	0.718
300	0.026	-0.0013	-0.0054	0.609	0.026	-0.0020	-0.0036	0.706
400	0.023	-0.0013	-0.0056	0.602	0.023	-0.0020	-0.0038	0.699
512	0.020	-0.0013	-0.0059	0.594	0.020	-0.0020	-0.0039	0.692
772	0.017	-0.0013	-0.0061	0.588	0.017	-0.0020	-0.0041	0.686
1024	0.014	-0.0013	-0.0063	0.583	0.014	-0.0020	-0.0042	0.681
1500	0.012	-0.0013	-0.0064	0.578	0.012	-0.0020	-0.0043	0.676
2048	0.010	-0.0013	-0.0066	0.574	0.010	-0.0020	-0.0044	0.672
3000	0.008	-0.0013	-0.0067	0.571	0.008	-0.0020	-0.0045	0.668
5000	0.007	-0.0013	-0.0068	0.566	0.007	-0.0020	-0.0046	0.665
7000	0.006	-0.0013	-0.0069	0.564	0.006	-0.0020	-0.0046	0.662
10000	0.005	-0.0013	-0.0070	0.562	0.005	-0.0020	-0.0047	0.661

Ek B

Tablo B.9 Dolgusuz ve Dolgulu Kablolarla Self İndüktansın Frekansla Değişimi

	0.4/0.70	0.4/0.84	0.5/0.86	0.5/1.04	0.6/1.10	0.6/1.40	0.9/1.64	0.9/2.00
Frekans f(kHz)	L (mH/km)	L (mH/km)	L (mH/km)	L (mH/km)	L (mH/km)	L (mH/km)	L (mH/km)	L (mH/km)
1	0.644	0.735	0.642	0.736	0.673	0.787	0.667	0.761
2	0.644	0.735	0.642	0.736	0.673	0.787	0.667	0.761
3	0.644	0.735	0.642	0.736	0.673	0.787	0.667	0.761
4	0.644	0.735	0.642	0.736	0.673	0.787	0.667	0.761
5	0.644	0.735	0.642	0.736	0.673	0.787	0.667	0.761
6	0.644	0.735	0.642	0.736	0.673	0.787	0.667	0.761
7	0.644	0.735	0.642	0.736	0.673	0.787	0.667	0.761
8	0.644	0.735	0.642	0.736	0.673	0.787	0.667	0.761
9	0.644	0.735	0.642	0.736	0.673	0.787	0.667	0.761
10	0.644	0.735	0.642	0.736	0.673	0.787	0.667	0.761
20	0.644	0.735	0.641	0.736	0.673	0.787	0.666	0.760
30	0.644	0.735	0.641	0.736	0.672	0.787	0.665	0.759
40	0.644	0.735	0.641	0.736	0.672	0.787	0.663	0.758
50	0.644	0.735	0.641	0.736	0.673	0.787	0.662	0.757
60	0.643	0.735	0.641	0.736	0.671	0.786	0.661	0.757
70	0.643	0.735	0.642	0.736	0.670	0.786	0.661	0.756
80	0.643	0.734	0.640	0.735	0.670	0.785	0.660	0.756
90	0.643	0.734	0.640	0.735	0.669	0.785	0.653	0.749
100	0.643	0.734	0.639	0.734	0.668	0.784	0.648	0.744
150	0.641	0.733	0.636	0.733	0.666	0.783	0.631	0.728
200	0.640	0.732	0.635	0.732	0.659	0.776	0.621	0.718
300	0.637	0.730	0.625	0.722	0.642	0.759	0.609	0.706
400	0.636	0.730	0.612	0.710	0.631	0.749	0.602	0.699
512	0.620	0.714	0.600	0.698	0.621	0.739	0.594	0.692
772	0.606	0.701	0.589	0.687	0.611	0.730	0.588	0.686
1024	0.596	0.691	0.581	0.679	0.604	0.723	0.583	0.681
1500	0.585	0.680	0.571	0.670	0.596	0.715	0.578	0.676
2048	0.577	0.672	0.565	0.664	0.591	0.710	0.574	0.672
3000	0.568	0.663	0.558	0.657	0.585	0.705	0.571	0.668
5000	0.559	0.655	0.550	0.650	0.579	0.699	0.566	0.665
7000	0.554	0.650	0.546	0.646	0.576	0.695	0.564	0.662
10000	0.550	0.646	0.543	0.643	0.573	0.693	0.562	0.661

Ek B

Tablo B.10 Dolgulu ve Dolgusuz Kablolarla Perditanın Frekansla Değişimi

Frekans f(kHz)	Dolgusuz $\text{tg } \delta = 0.0003$				Dolgulu $\text{tg } \delta = 0.0010$			
	0.4 mm	0.5 mm	0.6 mm	0.9 mm	0.4 mm	0.5 mm	0.6 mm	0.9 mm
	G (mho) $\times 10^{-6}$	G (mho) $\times 10^{-6}$	G (mho) $\times 10^{-6}$	G (mho) $\times 10^{-6}$	G (mho) $\times 10^{-6}$	G (mho) $\times 10^{-6}$	G (mho) $\times 10^{-6}$	G (mho) $\times 10^{-6}$
1	0.076	0.076	0.073	0.074	0.226	0.226	0.213	0.219
2	0.152	0.152	0.146	0.147	0.452	0.452	0.426	0.438
3	0.228	0.228	0.219	0.221	0.679	0.677	0.638	0.656
4	0.304	0.304	0.293	0.294	0.905	0.903	0.851	0.875
5	0.379	0.380	0.366	0.368	1.131	1.129	1.064	1.094
6	0.455	0.456	0.439	0.441	1.357	1.355	1.277	1.313
7	0.531	0.533	0.512	0.515	1.584	1.581	1.490	1.532
8	0.607	0.609	0.585	0.588	1.810	1.807	1.702	1.750
9	0.683	0.685	0.658	0.662	2.036	2.032	1.915	1.969
10	0.759	0.761	0.731	0.735	2.262	2.258	2.128	2.188
20	1.518	1.522	1.463	1.471	4.525	4.516	4.256	4.376
30	2.276	2.282	2.194	2.206	6.787	6.774	6.384	6.564
40	3.035	3.043	2.926	2.941	9.050	9.033	8.512	8.752
50	3.794	3.804	3.657	3.676	11.312	11.291	10.640	10.941
60	4.553	4.565	4.389	4.412	13.575	13.549	12.768	13.129
70	5.312	5.325	5.120	5.147	15.837	15.807	14.896	15.317
80	6.070	6.086	5.852	5.882	18.100	18.065	17.024	17.505
90	6.829	6.847	6.583	6.618	20.362	20.323	19.152	19.693
100	7.588	7.608	7.315	7.353	22.624	22.581	21.280	21.881
150	11.382	11.411	10.972	11.029	33.937	33.872	31.920	32.822
200	15.176	15.215	14.629	14.706	45.249	45.163	42.560	43.762
300	22.764	22.823	21.944	22.059	67.873	67.744	63.841	65.644
400	30.352	30.431	29.258	29.411	90.498	90.326	85.121	87.525
552	41.886	41.994	40.377	40.588	124.887	124.649	117.467	120.784
772	58.580	58.731	56.469	56.764	174.661	174.328	164.284	168.923
1024	77.702	77.902	74.901	75.293	231.674	231.233	217.910	224.063
1500	113.821	114.115	109.719	110.293	339.367	338.721	319.204	328.218
2048	155.404	155.805	149.803	150.587	463.349	462.467	435.819	448.126
3000	227.643	228.230	219.438	220.586	678.733	677.442	638.407	656.435
5000	379.404	380.383	365.729	367.643	1131.222	1129.070	1064.012	1094.059
7000	531.166	532.536	512.021	514.701	1583.711	1580.697	1489.617	1531.682
10000	758.809	760.766	731.458	735.287	2262.444	2258.139	2128.025	2188.118

Ek C

Tablo C.1 0.4/0.70 ve 0.4/0.84 tipi Kablolarda Hesaplanan (α_1 , α_2 , α_3)
ve gerçek (α_g) Hat zayıflamasının Frekansla Değişimi

Frekans f (kHz)	0.4/0.70				0.4/0.84			
	α_1 (dB/km)	α_2 (dB/km)	α_3 (dB/km)	α_g (dB/km)	α_1 (dB/km)	α_2 (dB/km)	α_3 (dB/km)	α_g (dB/km)
1	1.68	1.67	9.77	1.68	1.68	1.67	9.14	1.68
2	2.38	2.35	9.77	2.36	2.38	2.34	9.14	2.35
3	2.92	2.85	9.77	2.87	2.92	2.84	9.14	2.86
4	3.37	3.27	9.77	3.29	3.37	3.26	9.14	3.27
5	3.77	3.63	9.77	3.66	3.77	3.61	9.14	3.63
6	4.13	3.95	9.77	3.98	4.13	3.92	9.14	3.95
7	4.46	4.23	9.77	4.27	4.46	4.20	9.14	4.23
8	4.76	4.49	9.77	4.53	4.76	4.45	9.14	4.48
9	5.05	4.73	9.77	4.77	5.05	4.68	9.14	4.72
10	5.33	4.95	9.77	5.00	5.33	4.90	9.14	4.93
20	7.53	6.51	9.77	6.59	7.53	6.38	9.14	6.45
30	9.23	7.43	9.77	7.55	9.23	7.22	9.14	7.33
40	10.65	8.03	9.77	8.19	10.65	7.75	9.14	7.89
50	11.91	8.45	9.77	8.63	11.91	8.10	9.14	8.27
60	13.05	8.74	9.77	8.95	13.05	8.34	9.14	8.54
70	14.09	8.95	9.77	9.18	14.09	8.51	9.15	8.74
80	15.07	9.10	9.78	9.37	15.07	8.64	9.15	8.90
90	15.98	9.22	9.78	9.51	15.98	8.73	9.15	9.02
100	16.85	9.31	9.78	9.63	16.85	8.80	9.15	9.12
150	21.15	10.03	10.29	10.46	21.07	9.36	9.54	9.81
200	25.11	10.71	10.89	11.26	24.98	9.95	10.07	10.53
300	32.46	12.04	12.16	12.80	32.27	11.14	11.22	11.98
400	39.26	13.26	13.35	14.22	39.00	12.24	12.29	13.33
512	47.04	14.54	14.60	15.71	46.69	13.36	13.40	14.73
772	61.62	17.39	17.44	19.01	61.12	15.93	15.96	17.91
1024	75.15	19.68	19.72	21.72	74.50	17.98	18.01	20.53
1500	98.60	23.37	23.41	26.14	97.70	21.30	21.32	24.90
2048	123.33	26.99	27.02	30.53	122.15	24.54	24.56	29.30
3000	161.93	32.01	32.03	36.82	160.31	29.03	29.05	35.75
5000	235.53	40.97	40.99	48.22	233.07	37.08	37.09	47.72
7000	301.76	48.25	48.27	57.74	298.54	43.62	43.63	58.03
10000	392.70	57.44	57.45	70.06	388.42	51.86	51.87	71.72

Ek C

Tablo C.2 0.5/0.86 ve 0.5/1.04 tipi Kablolarda Hesaplanan (α_1 , α_2 , α_3)
ve gerçek (α_g) Hat zayıflamasının Frekansla Değişimi

Frekans f (kHz)	0.5/0.86				0.5/1.04			
	α_1 (dB/km)	α_2 (dB/km)	α_3 (dB/km)	α_g (dB/km)	α_1 (dB/km)	α_2 (dB/km)	α_3 (dB/km)	α_g (dB/km)
1	1.35	1.33	6.26	1.35	1.35	1.33	5.85	1.36
2	1.91	1.86	6.26	1.89	1.91	1.86	5.85	1.90
3	2.33	2.25	6.26	2.29	2.33	2.24	5.85	2.30
4	2.70	2.57	6.26	2.62	2.70	2.56	5.85	2.63
5	3.01	2.84	6.26	2.90	3.01	2.82	5.85	2.90
6	3.30	3.08	6.26	3.14	3.30	3.05	5.85	3.14
7	3.57	3.29	6.26	3.36	3.57	3.25	5.85	3.35
8	3.81	3.48	6.26	3.55	3.81	3.43	5.85	3.54
9	4.04	3.65	6.26	3.73	4.04	3.59	5.85	3.71
10	4.26	3.80	6.26	3.89	4.26	3.74	5.85	3.87
20	6.03	4.82	6.26	4.97	6.03	4.67	5.85	4.88
30	7.38	5.34	6.26	5.54	7.38	5.12	5.85	5.39
40	8.52	5.64	6.27	5.88	8.52	5.37	5.85	5.69
50	9.53	5.82	6.27	6.10	9.53	5.51	5.85	5.88
60	10.44	5.93	6.27	6.26	10.44	5.60	5.85	6.02
70	11.39	6.12	6.40	6.48	11.36	5.73	5.93	6.20
80	12.23	6.23	6.45	6.62	12.18	5.82	5.97	6.32
90	13.05	6.35	6.54	6.78	13.00	5.92	6.05	6.46
100	13.86	6.48	6.64	6.94	13.80	6.03	6.14	6.61
150	17.74	7.17	7.26	7.78	17.64	6.63	6.69	7.38
200	21.34	7.82	7.90	8.57	21.20	7.21	7.26	8.12
300	27.97	9.06	9.11	10.05	27.76	8.32	8.35	9.50
400	34.06	10.20	10.24	11.41	33.78	9.33	9.35	10.76
512	41.05	11.27	11.30	12.71	40.69	10.28	10.30	11.96
772	54.03	13.58	13.61	15.50	53.53	12.35	12.37	14.55
1024	66.11	15.45	15.47	17.79	65.47	14.01	14.03	16.65
1500	87.03	18.44	18.46	21.50	86.16	16.69	16.70	20.07
2048	108.68	21.19	21.20	24.99	107.53	19.14	19.15	23.28
3000	143.79	25.48	25.49	30.44	142.24	22.98	22.98	28.29
5000	209.49	32.67	32.68	39.77	207.14	29.40	29.41	36.80
7000	268.63	38.51	38.52	47.49	265.57	34.62	34.63	43.83
10000	349.86	45.88	45.89	57.41	345.81	41.21	41.21	52.82

Ek C

Tablo C.3 0.6/1.10 ve 0.6/1.40 tipi Kablo larda Hesaplanan (α_1 , α_2 , α_3)
ve gerçek (α_g) Hat zayıflamasının Frekansla Değişimi

Frekans f (kHz)	0.6/1.10				0.6/1.40			
	α_1 (dB/km)	α_2 (dB/km)	α_3 (dB/km)	α_g (dB/km)	α_1 (dB/km)	α_2 (dB/km)	α_3 (dB/km)	α_g (dB/km)
1	1.12	1.10	4.25	1.14	1.12	1.10	3.93	1.12
2	1.59	1.53	4.25	1.59	1.59	1.52	3.93	1.56
3	1.95	1.85	4.25	1.92	1.95	1.83	3.93	1.88
4	2.25	2.09	4.25	2.19	2.25	2.07	3.93	2.13
5	2.51	2.30	4.25	2.41	2.51	2.27	3.93	2.34
6	2.75	2.48	4.25	2.59	2.75	2.44	3.93	2.51
7	2.97	2.63	4.25	2.76	2.97	2.58	3.93	2.67
8	3.18	2.77	4.25	2.90	3.18	2.70	3.93	2.80
9	3.37	2.89	4.25	3.03	3.37	2.81	3.93	2.92
10	3.55	2.99	4.25	3.15	3.55	2.91	3.93	3.02
20	5.02	3.63	4.25	3.86	5.02	3.46	3.93	3.64
30	6.15	3.89	4.25	4.20	6.15	3.67	3.93	3.91
40	7.10	4.03	4.25	4.39	7.10	3.77	3.93	4.06
50	8.02	4.17	4.33	4.58	7.99	3.86	3.97	4.21
60	8.84	4.27	4.40	4.74	8.81	3.95	4.03	4.34
70	9.66	4.40	4.49	4.90	9.61	4.05	4.11	4.48
80	10.45	4.53	4.61	5.07	10.40	4.16	4.21	4.63
90	11.22	4.66	4.73	5.25	11.16	4.27	4.32	4.79
100	11.98	4.79	4.85	5.42	11.91	4.38	4.43	4.94
150	15.55	5.41	5.45	6.22	15.44	4.94	4.96	5.68
200	18.84	6.01	6.04	6.96	18.70	5.46	5.48	6.37
300	24.87	7.09	7.11	8.30	24.66	6.41	6.42	7.61
400	30.40	8.01	8.03	9.46	30.12	7.23	7.24	8.70
512	36.76	8.90	8.92	10.57	36.41	8.00	8.01	9.76
772	48.52	10.76	10.77	12.90	48.02	9.65	9.66	11.99
1024	59.47	12.26	12.27	14.80	58.34	10.98	10.98	13.83
1500	78.16	14.56	14.57	17.75	77.30	13.00	13.01	16.72
2048	98.21	16.92	16.92	20.76	97.10	15.09	15.09	19.71
3000	130.07	20.35	20.36	25.19	128.55	18.12	18.13	24.17
5000	189.67	26.11	26.11	32.68	187.40	23.21	23.21	31.85
7000	243.35	30.79	30.79	38.82	240.39	27.34	27.34	38.28
10000	317.09	36.68	36.69	46.64	313.18	32.55	32.55	46.59

Ek C

Tablo C.4 0.9/1.64 ve 0.9/2.0 tipi Kabloalarda Hesaplanan (α_1 , α_2 , α_3)
ve gerçek (α_g) Hat zayıflamasının Frekansla Değişimi

Frekans f (kHz)	0.9/1.64				0.9/2.0			
	α_1 (dB/km)	α_2 (dB/km)	α_3 (dB/km)	α_g (dB/km)	α_1 (dB/km)	α_2 (dB/km)	α_3 (dB/km)	α_g (dB/km)
1	0.75	0.72	1.90	0.78	0.75	0.72	1.77	0.75
2	1.06	0.98	1.90	1.06	1.06	0.97	1.77	1.02
3	1.30	1.15	1.90	1.26	1.30	1.14	1.77	1.20
4	1.50	1.28	1.90	1.40	1.50	1.26	1.77	1.34
5	1.67	1.38	1.90	1.52	1.67	1.35	1.78	1.44
6	1.83	1.46	1.90	1.61	1.83	1.42	1.78	1.52
7	1.98	1.53	1.90	1.69	1.98	1.48	1.78	1.59
8	2.12	1.58	1.90	1.75	2.12	1.52	1.78	1.64
9	2.25	1.62	1.90	1.81	2.25	1.56	1.78	1.69
10	2.37	1.65	1.90	1.85	2.37	1.59	1.78	1.73
20	3.35	1.82	1.90	2.11	3.35	1.72	1.78	1.94
30	4.20	1.95	1.99	2.31	4.19	1.82	1.85	2.11
40	4.99	2.08	2.11	2.50	4.97	1.93	1.96	2.28
50	5.74	2.21	2.24	2.69	5.71	2.05	2.07	2.45
60	6.45	2.34	2.36	2.87	6.42	2.16	2.18	2.61
70	7.14	2.46	2.48	3.04	7.10	2.27	2.28	2.77
80	7.80	2.57	2.59	3.20	7.75	2.38	2.39	2.92
90	8.45	2.70	2.71	3.36	8.39	2.49	2.50	3.07
100	9.07	2.81	2.83	3.52	9.01	2.59	2.60	3.22
150	12.00	3.33	3.34	4.21	11.91	3.05	3.06	3.87
200	14.69	3.77	3.78	4.80	14.57	3.45	3.46	4.44
300	19.59	4.52	4.53	5.81	19.42	4.13	4.13	5.41
400	24.09	5.16	5.17	6.67	23.88	4.71	4.71	6.25
512	29.16	5.72	5.73	7.45	28.88	5.21	5.21	7.02
772	38.70	6.99	6.99	9.15	38.32	6.34	6.35	8.71
1024	47.62	8.01	8.01	10.54	47.15	7.26	7.27	10.11
1500	63.09	9.64	9.64	12.76	62.45	8.73	8.74	12.38
2048	79.40	11.22	11.22	14.93	78.58	10.16	10.16	14.62
3000	105.34	13.52	13.53	18.10	104.23	12.23	12.23	17.95
5000	153.90	17.38	17.39	23.44	152.26	15.71	15.71	23.68
7000	197.66	20.52	20.52	27.81	195.53	18.54	18.54	28.45
10000	257.79	24.48	24.48	33.35	254.98	22.10	22.10	34.61

Ek C

Tablo C.5 0.4/0.70 tipi kablolarda hesaplanan
(β_1 , β_2 , β_3) ve gerçek (β_g)
faz sabitinin frekansla değişimi

frekans f(kHz)	0.4/0.70			
	β_1 (rad/km)	β_2 (rad/km)	β_3 (rad/km)	β_g (rad/km)
1	0.194	0.195	0.033	0.194
2	0.274	0.278	0.067	0.274
3	0.336	0.343	0.100	0.336
4	0.388	0.400	0.134	0.388
5	0.434	0.450	0.167	0.434
6	0.475	0.497	0.201	0.475
7	0.513	0.540	0.234	0.513
8	0.549	0.582	0.268	0.549
9	0.582	0.622	0.301	0.582
10	0.613	0.660	0.334	0.613
20	0.867	1.004	0.669	1.004
30	1.062	1.319	1.003	1.319
40	1.227	1.626	1.338	1.626
50	1.371	1.934	1.672	1.934
60	1.502	2.244	2.006	2.244
70	1.623	2.557	2.340	2.557
80	1.735	2.872	2.674	2.872
90	1.840	3.190	3.008	3.190
100	1.940	3.509	3.341	3.509
150	2.435	5.138	5.007	5.007
200	2.891	6.779	6.666	6.666
300	3.738	10.077	9.982	9.982
400	4.520	13.382	13.295	13.295
512	5.624	18.198	18.115	18.115
772	7.094	25.137	25.057	25.057
1024	8.651	33.039	32.961	32.961
1500	11.351	47.883	47.808	47.808
2048	14.199	64.893	64.819	64.819
3000	18.643	94.323	94.251	94.251
5000	27.116	155.888	155.817	155.817
7000	34.741	217.259	217.188	217.188
10000	45.211	309.113	309.043	309.043

Ek C

Tablo C.6 0.4/0.70 ve 0.4/0.84 tipi kablolarda faz gecikmesi t_p ve grup gecikmesi t_g 'nin frekansla değişmesi

Frekans f (kHz)	0.4/0.70			0.4/0.84		
	t_0 μs	t_p μs	t_g μs	t_0 μs	t_p μs	t_g μs
1	5.32	36.19	20.76	5.69	36.55	21.12
2	5.32	27.15	16.24	5.69	27.51	16.60
3	5.32	23.14	14.23	5.69	23.51	14.60
4	5.32	20.75	13.04	5.69	21.12	13.40
5	5.32	19.13	12.22	5.69	19.49	12.59
6	5.32	17.92	11.62	5.69	18.29	11.99
7	5.32	16.99	11.16	5.69	17.35	11.52
8	5.32	16.23	10.78	5.69	16.60	11.14
9	5.32	15.61	10.47	5.69	15.97	10.83
10	5.32	15.08	10.20	5.69	15.45	10.57
20	5.32	12.22	8.77	5.69	12.59	9.14
30	5.32	10.96	8.14	5.69	11.32	8.50
40	5.32	10.20	7.76	5.69	10.57	8.13
50	5.32	9.69	7.50	5.69	10.05	7.87
60	5.32	9.31	7.31	5.69	9.67	7.68
70	5.32	9.01	7.17	5.69	9.37	7.53
80	5.32	8.77	7.05	5.68	9.14	7.41
90	5.32	8.57	6.95	5.68	8.94	7.31
100	5.32	8.40	6.86	5.68	8.77	7.23
150	5.31	7.90	6.60	5.68	8.25	6.97
200	5.30	7.60	6.45	5.68	7.96	6.82
300	5.30	7.28	6.29	5.67	7.64	6.65
400	5.29	7.09	6.19	5.67	7.45	6.56
512	5.22	6.91	6.06	5.60	7.28	6.44
772	5.17	6.63	5.90	5.55	7.00	6.28
1024	5.12	6.47	5.80	5.51	6.85	6.18
1500	5.07	6.28	5.67	5.47	6.66	6.07
2048	5.04	6.14	5.59	5.44	6.53	5.98
3000	5.00	5.99	5.49	5.40	6.38	5.89
5000	4.96	5.82	5.39	5.37	6.22	5.79
7000	4.94	5.73	5.33	5.35	6.13	5.74
10000	4.92	5.64	5.28	5.33	6.04	5.69

Ek C

Tablo C.7 0.5/0.86 ve 0.5/1.04 tipi kablolarda faz gecikmesi t_p ve grup gecikmesi t_g 'nin frekansla değişmesi

Frekans f (kHz)	0.5/0.86			0.5/1.04		
	t_0 μs	t_p μs	t_g μs	t_0 μs	t_p μs	t_g μs
1	5.31	30.00	17.66	5.69	30.38	18.04
2	5.31	22.77	14.04	5.69	23.15	14.42
3	5.31	19.57	12.44	5.69	19.95	12.82
4	5.31	17.66	11.49	5.69	18.04	11.86
5	5.31	16.36	10.83	5.69	16.73	11.21
6	5.31	15.39	10.35	5.69	15.77	10.73
7	5.31	14.65	9.98	5.69	15.02	10.36
8	5.31	14.04	9.68	5.69	14.42	10.06
9	5.31	13.54	9.43	5.69	13.92	9.81
10	5.31	13.12	9.22	5.69	13.50	9.60
20	5.31	10.83	8.07	5.69	11.21	8.45
30	5.31	9.82	7.57	5.69	10.20	7.95
40	5.31	9.22	7.26	5.69	9.59	7.64
50	5.31	8.80	7.06	5.69	9.18	7.44
60	5.31	8.50	6.90	5.69	8.88	7.28
70	5.31	8.30	6.80	5.69	8.66	7.18
80	5.31	8.11	6.71	5.69	8.48	7.08
90	5.30	7.96	6.63	5.69	8.33	7.01
100	5.30	7.84	6.57	5.68	8.21	6.95
150	5.29	7.46	6.37	5.68	7.83	6.75
200	5.28	7.24	6.26	5.67	7.62	6.64
300	5.24	6.95	6.10	5.64	7.33	6.49
400	5.19	6.75	5.97	5.59	7.14	6.36
512	5.14	6.61	5.87	5.54	7.00	6.27
772	5.09	6.37	5.73	5.50	6.77	6.13
1024	5.05	6.24	5.65	5.47	6.64	6.05
1500	5.01	6.08	5.54	5.43	6.48	5.96
2048	4.98	5.96	5.47	5.40	6.37	5.88
3000	4.95	5.83	5.39	5.38	6.25	5.81
5000	4.92	5.69	5.30	5.35	6.11	5.73
7000	4.90	5.61	5.25	5.33	6.03	5.68
10000	4.89	5.53	5.21	5.32	5.95	5.63

Ek C

Tablo C.8 0.4, 0.5, 0.6 ve 0.9 mm tel çaplı dolgulu ve dolgusuz kablolarda grup gecikmesi t_g 'nin frekansla değişmesi

frekans f (kHz)	0.4/0.70	0.4/0.84	0.5/0.86	0.5/1.04	0.6/1.10	0.6/1.40	0.9/1.64	0.9/2.00
	t_g μs	t_g μs	t_g μs	t_g μs	t_g μs	t_g μs	t_g μs	t_g μs
1	20.76	21.12	17.66	18.04	15.73	16.17	12.28	12.65
2	16.24	16.60	14.04	14.42	12.72	13.16	10.27	10.64
3	14.23	14.60	12.44	12.82	11.38	11.83	9.38	9.75
4	13.04	13.40	11.49	11.86	10.59	11.03	8.85	9.22
5	12.22	12.59	10.83	11.21	10.04	10.49	8.49	8.85
6	11.62	11.99	10.35	10.73	9.64	10.09	8.22	8.59
7	11.16	11.52	9.98	10.36	9.33	9.77	8.01	8.38
8	10.78	11.14	9.68	10.06	9.08	9.52	7.84	8.21
9	10.47	10.83	9.43	9.81	8.87	9.31	7.70	8.07
10	10.20	10.57	9.22	9.60	8.69	9.14	7.59	7.95
20	8.77	9.14	8.07	8.45	7.74	8.19	6.95	7.32
30	8.14	8.50	7.57	7.95	7.32	7.76	6.69	7.06
40	7.76	8.13	7.26	7.64	7.06	7.51	6.54	6.91
50	7.50	7.87	7.06	7.44	6.91	7.35	6.45	6.82
60	7.31	7.68	6.90	7.28	6.79	7.23	6.38	6.75
70	7.17	7.53	6.80	7.18	6.69	7.14	6.33	6.70
80	7.05	7.41	6.71	7.08	6.62	7.07	6.28	6.66
90	6.95	7.31	6.63	7.01	6.57	7.01	6.22	6.59
100	6.86	7.23	6.57	6.95	6.52	6.97	6.17	6.55
150	6.60	6.97	6.37	6.75	6.37	6.81	6.00	6.39
200	6.45	6.82	6.26	6.64	6.25	6.70	5.90	6.29
300	6.29	6.65	6.10	6.49	6.07	6.53	5.78	6.17
400	6.19	6.56	5.97	6.36	5.97	6.43	5.70	6.09
512	6.06	6.44	5.87	6.27	5.88	6.35	5.64	6.03
772	5.90	6.28	5.73	6.13	5.76	6.24	5.55	5.95
1024	5.80	6.18	5.65	6.05	5.69	6.17	5.49	5.90
1500	5.67	6.07	5.54	5.96	5.60	6.08	5.43	5.83
2048	5.59	5.98	5.47	5.88	5.54	6.02	5.38	5.79
3000	5.49	5.89	5.39	5.81	5.47	5.96	5.33	5.74
5000	5.39	5.79	5.30	5.73	5.40	5.89	5.27	5.69
7000	5.33	5.74	5.25	5.68	5.35	5.85	5.24	5.65
10000	5.28	5.69	5.21	5.63	5.31	5.81	5.21	5.62

Ek C

Tablo C.9 0.4/0.70 tipi kablolarda hesaplanan Z1, Z2, Z3 ve gerçek Z g karakteristik empedansın frekansla değişimi

Frekans f(kHz)	C= 44 nF/km			
	Z1 (ohm)	Z2 (ohm)	Z3 (ohm)	Z g (ohm)
1	992.01	5753.11	120.98	995
2	701.46	2878.51	120.98	704
3	572.74	1921.14	120.98	576
4	496.00	1443.08	120.98	499
5	443.64	1156.75	120.97	447
6	404.99	966.28	120.97	409
7	374.94	830.58	120.97	379
8	350.73	729.11	120.97	355
9	330.67	650.47	120.97	335
10	313.70	587.79	120.97	319
20	221.82	312.02	120.97	227
30	181.12	226.72	120.96	188
40	156.85	187.93	120.96	187
50	140.30	166.95	120.95	167
60	128.08	154.35	120.93	154
70	118.58	146.23	120.92	146
80	110.92	140.70	120.90	140
90	104.58	136.77	120.88	136
100	99.22	133.88	120.86	134
150	83.05	127.32	120.74	127
200	73.93	124.75	120.56	124
300	63.73	122.69	120.35	123
400	57.81	121.82	120.22	121
512	52.11	119.80	118.70	120
772	47.00	118.15	117.40	118
1024	43.22	116.98	116.43	117
1500	38.71	115.65	115.28	115
2048	35.47	114.75	114.48	114
3000	31.79	113.81	113.64	113
5000	27.74	112.83	112.72	113
7000	25.39	112.30	112.23	112
10000	23.13	111.84	111.79	112

Ek C

Tablo C.10 0.4 ve 0.5 mm tel çaplı dolgulu ve dolgusuz kablolarda hesaplanan Z_h ve gerçek Z_g karakteristik empedansın frekansla değişimi

Frekans f(kHz)	0.4/0.70 (C= 44 nF/km)		0.4/0.84 (C= 44 nF/km)		0.5/0.86 (C= 44 nF/km)		0.5/1.04 (C= 44 nF/km)	
	Z_h (ohm)	Z_g (ohm)	Z_h (ohm)	Z_g (ohm)	Z_h (ohm)	Z_g (ohm)	Z_h (ohm)	Z_g (ohm)
1	992.01	995	992.01	996	793.61	795	793.61	796
2	701.46	704	701.46	704	561.16	563	561.16	563
3	572.74	576	572.74	576	458.19	460	458.19	460
4	496.00	499	496.00	499	396.80	399	396.80	399
5	443.64	447	443.64	447	354.91	358	354.91	358
6	404.99	409	404.99	409	323.99	327	323.99	327
7	374.94	379	374.94	379	299.96	303	299.96	303
8	350.73	355	350.73	355	280.58	284	280.58	284
9	330.67	335	330.67	335	264.54	268	264.54	268
10	313.70	319	313.70	319	250.96	254	250.96	255
20	221.82	227	221.82	227	177.46	182	177.46	182
30	181.12*	202	181.12*	202	172.33	172	172.93	172
40	187.93	187	186.61	186	151.93	151	155.37	155
50	166.95	167	168.22	169	141.48	143	146.52	148
60	154.35	154	157.34	157	135.45	135	141.47	141
70	146.23	146	150.39	150	132.19	132	138.64	138
80	140.70	140	145.69	145	129.65	129	136.56	136
90	136.77	136	142.38	142	127.93	127	135.16	135
100	133.88	134	139.96	139	126.68	128	134.15	135
150	127.32	127	134.42	134	123.59	123	131.69	131
200	124.75	124	132.35	132	122.34	122	130.71	130
300	122.69	123	130.71	131	120.51	120	129.17	129
400	121.82	121	130.03	130	118.93	118	127.79	127
512	119.80	120	128.25	128	117.45	118	126.48	127
772	118.15	118	126.79	126	116.15	116	125.33	125
1024	116.98	117	125.75	126	115.22	115	124.51	124
1500	115.65	115	124.57	124	114.16	114	123.57	123
2048	114.75	115	123.76	124	113.44	113	122.93	123
3000	113.81	113	122.93	122	112.70	112	122.27	122
5000	112.83	113	122.05	122	111.91	112	121.57	122
7000	112.30	112	121.58	121	111.49	111	121.20	121
10000	111.84	112	121.16	121	111.12	110	120.86	121

Ek C

Tablo C.11 0.6 ve 0.9 mm tel çaplı dolgulu ve dolgusuz kablolarda hesaplanan Z_h ve gerçek Z_g karakteristik empedansın frekansla değişimi

Frekans f(kHz)	0.6/1.10 (C= 44 nF/km)		0.6/1.40 (C= 44 nF/km)		0.9/1.64 (C= 44 nF/km)		0.9/2.0 (C= 44 nF/km)	
	Z_h (ohm)	Z_g (ohm)	Z_h (ohm)	Z_g (ohm)	Z_h (ohm)	Z_g (ohm)	Z_h (ohm)	Z_g (ohm)
1	661.34	666	661.34	667	440.89	446	440.89	448
2	467.64	472	467.64	472	311.76	317	311.76	317
3	381.82	387	381.82	387	254.55	260	254.55	260
4	330.67	337	330.67	337	220.45	227	220.45	227
5	295.76	303	295.76	303	197.18	204	197.18	204
6	269.99	279	269.99	279	180.01	187	180.00	187
7	249.96	259	249.96	259	166.66	174	166.65	174
8	233.82	244	233.82	244	155.90	164	155.89	164
9	220.45	232	220.45	232	146.99	155	146.98	155
10	209.14	220	209.14	222	139.45	148	139.44	150
20	175.88	175	176.80	176	135.16	135	141.47	141
30	149.13	149	154.37	154	129.01	129	136.29	136
40	138.53	138	145.69	145	126.65	126	134.38	134
50	133.74	135	141.70	144	125.46	128	133.43	135
60	130.84	130	139.40	139	124.75	124	132.87	132
70	129.09	129	138.03	138	124.29	124	132.50	132
80	127.94	127	137.13	137	123.95	123	132.25	132
90	127.12	127	136.50	136	123.09	123	131.47	131
100	126.51	128	136.04	138	122.49	124	130.95	130
150	124.92	124	134.84	134	120.51	120	129.19	129
200	123.67	123	133.80	133	119.35	119	128.16	128
300	121.57	122	131.98	133	117.99	119	126.94	126
400	120.34	120	130.91	130	117.18	117	126.22	126
512	119.17	120	129.89	130	116.40	116	125.53	124
772	118.15	118	128.99	128	115.72	115	124.92	124
1024	117.41	119	128.35	128	115.24	115	124.48	123
1500	116.57	116	127.61	127	114.68	114	123.98	123
2048	115.99	117	127.11	127	114.30	114	123.64	122
3000	115.41	115	126.59	126	113.90	113	123.28	123
5000	114.78	115	126.04	126	113.48	113	122.91	121
7000	114.44	114	125.74	125	113.26	113	122.71	122
10000	114.15	114	125.48	124	113.06	112	122.53	121

Ek D

Tablo D.1 0.4/0.70 ve 0.4/0.84 mm tel çaplı kablolar için Yakın uç diyafoni zayıflamasının hat boyundan bağımsız olduğu kabul edilebilen minimum uzunluklar (Hesaplanan ve gerçek değer arasındaki farkın 5 dB, 2.5 dB ve 1dB olduğu kabul edilmiştir.)

Frekans f (kHz)	0.4/0.70				0.4/0.84			
	Alfa g (dB/km)	5 dB L min (km)	2.5 dB L min (km)	1 dB L min (km)	Alfa g (dB/km)	5 dB L min (km)	2.5 dB L min (km)	1 dB L min (km)
1	1.68	0.491	1.071	2.042	1.68	0.492	1.075	2.048
2	2.36	0.349	0.762	1.453	2.35	0.351	0.766	1.459
3	2.87	0.287	0.627	1.194	2.86	0.289	0.630	1.200
4	3.29	0.250	0.546	1.041	3.27	0.252	0.550	1.048
5	3.66	0.226	0.492	0.938	3.63	0.227	0.496	0.945
6	3.98	0.207	0.452	0.862	3.95	0.209	0.456	0.869
7	4.27	0.193	0.422	0.804	4.23	0.195	0.426	0.811
8	4.53	0.182	0.397	0.757	4.48	0.184	0.401	0.765
9	4.77	0.173	0.377	0.719	4.72	0.175	0.381	0.727
10	5.00	0.165	0.360	0.686	4.93	0.167	0.365	0.695
20	6.59	0.125	0.273	0.520	6.45	0.128	0.279	0.532
30	7.55	0.109	0.238	0.454	7.33	0.113	0.246	0.468
40	8.19	0.101	0.220	0.419	7.89	0.105	0.228	0.435
50	8.63	0.096	0.209	0.398	8.27	0.100	0.218	0.415
60	8.95	0.092	0.201	0.383	8.54	0.097	0.211	0.401
70	9.18	0.090	0.196	0.373	8.74	0.094	0.206	0.392
80	9.37	0.088	0.192	0.366	8.90	0.093	0.202	0.386
90	9.51	0.087	0.189	0.361	9.02	0.091	0.200	0.380
100	9.63	0.086	0.187	0.356	9.12	0.090	0.197	0.376
150	10.46	0.079	0.172	0.328	9.81	0.084	0.184	0.350
200	11.26	0.073	0.160	0.305	10.53	0.078	0.171	0.326
300	12.80	0.064	0.141	0.268	11.98	0.069	0.150	0.286
400	14.22	0.058	0.127	0.241	13.33	0.062	0.135	0.257
512	15.71	0.053	0.115	0.218	14.73	0.056	0.122	0.233
772	19.01	0.043	0.095	0.180	17.91	0.046	0.101	0.192
1024	21.72	0.038	0.083	0.158	20.53	0.040	0.088	0.167
1500	26.14	0.032	0.069	0.131	24.90	0.033	0.072	0.138
2048	30.53	0.027	0.059	0.112	29.30	0.028	0.061	0.117
3000	36.82	0.022	0.049	0.093	35.75	0.023	0.050	0.096
5000	48.22	0.017	0.037	0.071	47.72	0.017	0.038	0.072
7000	57.74	0.014	0.031	0.059	58.03	0.014	0.031	0.059
10000	70.06	0.012	0.026	0.049	71.72	0.012	0.025	0.048

Ek D

Tablo D.2 0.5/0.86 ve 0.5/1.04 mm tel çaplı kablolar için Yakın uç diyafoni zayıflamasının hat boyundan bağımsız olduğu kabul edilebilen minimum uzunluklar (Hesaplanan ve gerçek değer arasındaki farkın 5 dB, 2.5 dB ve 1dB olduğu kabul edilmiştir.)

Frekans f (kHz)	0.5/0.86				0.5/1.04			
	Alfa g (dB/km)	5 dB L min (km)	2.5 dB L min (km)	1 dB L min (km)	Alfa g (dB/km)	5 dB L min (km)	2.5 dB L min (km)	1 dB L min (km)
1	1.35	0.611	1.333	2.540	1.36	0.607	1.325	2.524
2	1.89	0.436	0.951	1.813	1.90	0.434	0.947	1.804
3	2.29	0.360	0.785	1.495	2.30	0.358	0.782	1.490
4	2.62	0.315	0.687	1.308	2.63	0.314	0.685	1.305
5	2.90	0.284	0.621	1.183	2.90	0.284	0.620	1.181
6	3.14	0.262	0.573	1.091	3.14	0.263	0.573	1.092
7	3.36	0.246	0.536	1.021	3.35	0.246	0.537	1.023
8	3.55	0.232	0.506	0.965	3.54	0.233	0.508	0.968
9	3.73	0.221	0.483	0.919	3.71	0.222	0.485	0.924
10	3.89	0.212	0.463	0.882	3.87	0.213	0.465	0.887
20	4.97	0.166	0.362	0.691	4.88	0.169	0.369	0.703
30	5.54	0.149	0.325	0.620	5.39	0.153	0.334	0.636
40	5.88	0.140	0.306	0.584	5.69	0.145	0.316	0.603
50	6.10	0.135	0.295	0.562	5.88	0.140	0.306	0.583
60	6.26	0.132	0.288	0.548	6.02	0.137	0.299	0.570
70	6.48	0.127	0.278	0.529	6.20	0.133	0.291	0.554
80	6.62	0.125	0.272	0.518	6.32	0.131	0.285	0.543
90	6.78	0.122	0.266	0.506	6.46	0.128	0.279	0.531
100	6.94	0.119	0.259	0.494	6.61	0.125	0.272	0.519
150	7.78	0.106	0.231	0.441	7.38	0.112	0.244	0.465
200	8.57	0.096	0.210	0.400	8.12	0.102	0.222	0.422
300	10.05	0.082	0.179	0.341	9.50	0.087	0.189	0.361
400	11.41	0.072	0.158	0.301	10.76	0.077	0.167	0.319
512	12.71	0.065	0.142	0.270	11.96	0.069	0.150	0.287
772	15.50	0.053	0.116	0.221	14.55	0.057	0.124	0.236
1024	17.79	0.046	0.101	0.193	16.65	0.050	0.108	0.206
1500	21.50	0.038	0.084	0.160	20.07	0.041	0.090	0.171
2048	24.99	0.033	0.072	0.137	23.28	0.035	0.077	0.147
3000	30.44	0.027	0.059	0.113	28.29	0.029	0.064	0.121
5000	39.77	0.021	0.045	0.086	36.80	0.022	0.049	0.093
7000	47.49	0.017	0.038	0.072	43.83	0.019	0.041	0.078
10000	57.41	0.014	0.031	0.060	52.82	0.016	0.034	0.065

Ek D

Tablo D.3 0.6/1.10 ve 0.6/1.40mm tel çaplı kablolar için Yakın uç diyafoni zayıflamasının hat boyundan bağımsız olduğu kabul edilebilen minimum uzunluklar (Hesaplanan ve gerçek değer arasındaki farkın 5 dB, 2.5 dB ve 1dB olduğu kabul edilmiştir.)

Frekans f (kHz)	0.6/1.10				0.6/1.40			
	Alfa g (dB/km)	5 dB L min (km)	2.5 dB L min (km)	1 dB L min (km)	Alfa g (dB/km)	5 dB L min (km)	2.5 dB L min (km)	1 dB L min (km)
1	1.14	0.722	1.575	3.001	1.12	0.735	1.604	3.056
2	1.59	0.518	1.130	2.152	1.56	0.529	1.153	2.198
3	1.92	0.429	0.936	1.784	1.88	0.439	0.959	1.827
4	2.19	0.377	0.824	1.569	2.13	0.388	0.846	1.611
5	2.41	0.343	0.748	1.426	2.34	0.353	0.770	1.468
6	2.59	0.318	0.694	1.322	2.51	0.328	0.716	1.364
7	2.76	0.299	0.652	1.243	2.67	0.309	0.675	1.286
8	2.90	0.284	0.620	1.181	2.80	0.295	0.643	1.225
9	3.03	0.272	0.593	1.131	2.92	0.283	0.617	1.176
10	3.15	0.262	0.572	1.089	3.02	0.273	0.596	1.135
20	3.86	0.213	0.466	0.888	3.64	0.227	0.495	0.943
30	4.20	0.196	0.429	0.817	3.91	0.211	0.460	0.877
40	4.39	0.188	0.410	0.782	4.06	0.203	0.443	0.844
50	4.58	0.180	0.393	0.748	4.21	0.196	0.428	0.815
60	4.74	0.174	0.380	0.724	4.34	0.190	0.415	0.791
70	4.90	0.168	0.367	0.700	4.48	0.184	0.402	0.765
80	5.07	0.163	0.355	0.676	4.63	0.178	0.388	0.740
90	5.25	0.157	0.343	0.654	4.79	0.172	0.376	0.716
100	5.42	0.152	0.332	0.633	4.94	0.167	0.364	0.694
150	6.22	0.133	0.290	0.552	5.68	0.145	0.317	0.604
200	6.96	0.119	0.259	0.493	6.37	0.130	0.283	0.539
300	8.30	0.099	0.217	0.413	7.61	0.108	0.236	0.450
400	9.46	0.087	0.190	0.363	8.70	0.095	0.207	0.394
512	10.57	0.078	0.170	0.324	9.76	0.085	0.185	0.352
772	12.90	0.064	0.140	0.266	11.99	0.069	0.150	0.286
1024	14.80	0.056	0.122	0.232	13.83	0.060	0.130	0.248
1500	17.75	0.046	0.101	0.193	16.72	0.049	0.108	0.205
2048	20.76	0.040	0.087	0.165	19.71	0.042	0.091	0.174
3000	25.19	0.033	0.071	0.136	24.17	0.034	0.074	0.142
5000	32.68	0.025	0.055	0.105	31.85	0.026	0.057	0.108
7000	38.82	0.021	0.046	0.088	38.28	0.022	0.047	0.090
10000	46.64	0.018	0.039	0.074	46.59	0.018	0.039	0.074

Ek D

Tablo D.4 0.9/1.64 ve 0.9/2.0mm tel çaplı kablolar için Yakın uç diyafoni zayıflamasının hat boyundan bağımsız olduğu kabul edilebilen minimum uzunluklar (Hesaplanan ve gerçek değer arasındaki farkın 5 dB, 2.5 dB ve 1dB olduğu kabul edilmiştir.)

Frekans f (kHz)	0.9/1.64				0.9/2.00			
	Alfa g (dB/km)	5 dB L min (km)	2.5 dB L min (km)	1 dB L min (km)	Alfa g (dB/km)	5 dB L min (km)	2.5 dB L min (km)	1 dB L min (km)
1	0.78	1.063	2.320	4.420	0.75	1.104	2.408	4.589
2	1.06	0.777	1.696	3.231	1.02	0.810	1.768	3.368
3	1.26	0.656	1.432	2.728	1.20	0.687	1.499	2.857
4	1.40	0.588	1.282	2.443	1.34	0.618	1.348	2.569
5	1.52	0.543	1.185	2.257	1.44	0.573	1.251	2.384
6	1.61	0.512	1.116	2.127	1.52	0.542	1.183	2.255
7	1.69	0.488	1.066	2.031	1.59	0.520	1.134	2.161
8	1.75	0.471	1.027	1.957	1.64	0.502	1.096	2.088
9	1.81	0.457	0.996	1.898	1.69	0.489	1.066	2.032
10	1.85	0.445	0.971	1.851	1.73	0.478	1.042	1.986
20	2.11	0.392	0.854	1.628	1.94	0.426	0.930	1.772
30	2.31	0.357	0.779	1.484	2.11	0.392	0.855	1.629
40	2.50	0.329	0.719	1.369	2.28	0.362	0.790	1.505
50	2.69	0.307	0.669	1.274	2.45	0.337	0.735	1.400
60	2.87	0.288	0.627	1.196	2.61	0.316	0.689	1.312
70	3.04	0.272	0.593	1.129	2.77	0.298	0.650	1.238
80	3.20	0.258	0.563	1.073	2.92	0.283	0.617	1.175
90	3.36	0.245	0.535	1.020	3.07	0.268	0.586	1.116
100	3.52	0.235	0.512	0.975	3.22	0.256	0.559	1.066
150	4.21	0.196	0.428	0.815	3.87	0.213	0.465	0.886
200	4.80	0.172	0.375	0.714	4.44	0.186	0.406	0.773
300	5.81	0.142	0.310	0.590	5.41	0.152	0.333	0.634
400	6.67	0.124	0.270	0.514	6.25	0.132	0.288	0.549
512	7.45	0.111	0.241	0.460	7.02	0.118	0.256	0.489
772	9.15	0.090	0.197	0.375	8.71	0.095	0.207	0.394
1024	10.54	0.078	0.171	0.325	10.11	0.082	0.178	0.339
1500	12.76	0.065	0.141	0.269	12.38	0.067	0.145	0.277
2048	14.93	0.055	0.121	0.230	14.62	0.056	0.123	0.235
3000	18.10	0.046	0.099	0.190	17.95	0.046	0.100	0.191
5000	23.44	0.035	0.077	0.146	23.68	0.035	0.076	0.145
7000	27.81	0.030	0.065	0.123	28.45	0.029	0.063	0.121
10000	33.35	0.025	0.054	0.103	34.61	0.024	0.052	0.099

Ek D

Tablo D.5 Farklı büyüklükte endüktif ve kapasitif kuplajlar için Yakın ve Uzak uç
(A_n ve A_f) diyafoni zayıflamasının frekansla değişimi

frekans (kHz)	L = 1000 m							
	K=5 pF M=10 nH		K=50 pF M=10 nH		K=50 pF M=50 nH		K=100 pF M=50 nH	
	A _n (dB)	A _f (dB)	A _n (dB)	A _f (dB)	A _n (dB)	A _f (dB)	A _n (dB)	A _f (dB)
1	130.97	133.58	114.34	107.03	112.68	109.36	107.66	101.81
2	126.43	127.56	109.80	101.01	108.14	103.34	103.12	95.79
3	123.76	124.04	107.13	97.49	105.47	99.82	100.45	92.27
4	121.85	121.54	105.22	94.99	103.56	97.32	98.54	89.77
5	120.37	119.60	103.74	93.05	102.08	95.38	97.06	87.83
6	119.15	118.02	102.52	91.47	100.86	93.80	95.84	86.25
7	118.12	116.68	101.49	90.13	99.83	92.46	94.81	84.91
8	117.22	115.52	100.59	88.97	98.93	91.30	93.91	83.75
9	116.42	114.49	99.79	87.95	98.13	90.28	93.11	82.73
10	115.70	113.58	99.07	87.03	97.41	89.36	92.39	81.81
20	110.89	107.56	94.26	81.01	92.60	83.34	87.58	75.79
30	107.96	104.04	91.32	77.49	89.67	79.82	84.64	72.27
40	105.81	101.54	89.18	74.99	87.52	77.32	82.50	69.77
50	104.10	99.60	87.47	73.05	85.81	75.38	80.79	67.83
60	102.67	98.02	86.04	71.47	84.38	73.80	79.36	66.25
70	101.45	96.68	84.81	70.13	83.15	72.46	78.13	64.91
80	100.37	95.52	83.74	68.97	82.08	71.30	77.06	63.75
90	99.42	94.49	82.78	67.95	81.12	70.28	76.10	62.73
100	98.55	93.58	81.92	67.03	80.26	69.36	75.24	61.81
150	95.39	90.06	78.76	63.51	77.10	65.84	72.08	58.29
200	93.21	87.56	76.58	61.01	74.92	63.34	69.90	55.79
300	90.25	84.04	73.62	57.49	71.96	59.82	66.94	52.27
400	88.21	81.54	71.57	54.99	69.92	57.32	64.89	49.77
512	86.49	79.39	69.86	52.85	68.20	55.18	63.18	47.63
772	83.76	75.83	67.12	49.28	65.47	51.61	60.44	44.06
1024	81.88	73.37	65.25	46.83	63.59	49.16	58.57	41.61
1500	79.37	70.06	62.74	43.51	61.08	45.84	56.06	38.29
2048	77.34	67.35	60.71	40.81	59.05	43.14	54.03	35.59
3000	74.84	64.04	58.20	37.49	56.55	39.82	51.52	32.27
5000	71.57	59.60	54.94	33.05	53.28	35.38	48.26	27.83
7000	69.43	56.68	52.80	30.13	51.14	32.46	46.12	24.91
10000	67.17	53.58	50.54	27.03	48.88	29.36	43.86	21.81

Ek D

Tablo D.6 Farklı gruplar arası yakın uç diyafoni zayıflamasının frekansla değişimi

Frekans f(kHz)	a n1 (dB)	a n2 (dB)	a n3 (dB)	a n4 (dB)	a n5 (dB)
1	80.70	104.30	108.50	121.20	122.50
2	77.54	99.15	103.83	116.87	118.44
3	75.69	96.14	101.10	114.33	116.06
4	74.38	94.00	99.17	112.53	114.37
5	73.36	92.35	97.67	111.13	113.06
6	72.53	90.99	96.44	109.99	111.99
7	71.83	89.85	95.40	109.03	111.09
8	71.22	88.86	94.50	108.20	110.31
9	70.68	87.98	93.71	107.46	109.62
10	70.20	87.20	93.00	106.80	109.00
20	67.04	82.05	88.33	102.47	104.94
30	65.19	79.04	85.60	99.93	102.56
40	63.88	76.90	83.67	98.13	100.87
50	62.86	75.25	82.17	96.73	99.56
60	62.03	73.89	80.94	95.59	98.49
70	61.33	72.75	79.90	94.63	97.59
80	60.72	71.76	79.00	93.80	96.81
90	60.18	70.88	78.21	93.06	96.12
100	59.70	70.10	77.50	92.40	95.50
150	57.85	67.09	74.77	89.86	93.12
200	56.54	64.95	72.83	88.07	91.44
300	54.69	61.94	70.10	85.53	89.06
400	53.38	59.80	68.17	83.73	87.37
512	52.25	57.97	66.51	82.19	85.92
772	50.38	54.92	63.74	79.62	83.52
1024	49.09	52.82	61.84	77.85	81.86
1500	47.35	49.99	59.27	75.46	79.62
2048	45.93	47.68	57.17	73.52	77.80
3000	44.19	44.84	54.60	71.13	75.56
5000	41.86	41.05	51.17	67.93	72.56
7000	40.33	38.55	48.90	65.83	70.59
10000	38.70	35.90	46.50	63.60	68.50

Ek D

Tablo D.7 Farklı gruplar arası uzak uç diyafoni zayıflamasının frekansla değişimi

Frekans f(kHz)	a f1 (dB)	a f2 (dB)	a f3 (dB)	a f4 (dB)	a f5 (dB)
1	95.60	104.20	111.20	126.00	134.00
2	90.42	98.96	105.66	120.13	127.68
3	87.39	95.90	102.42	116.70	123.98
4	85.24	93.72	100.12	114.26	121.36
5	83.58	92.04	98.34	112.37	119.32
6	82.22	90.66	96.88	110.83	117.66
7	81.06	89.50	95.65	109.52	116.25
8	80.07	88.49	94.58	108.39	115.04
9	79.19	87.60	93.64	107.39	113.96
10	78.40	86.80	92.80	106.50	113.00
20	73.22	81.56	87.26	100.63	106.68
30	70.19	78.50	84.02	97.20	102.98
40	68.04	76.32	81.72	94.76	100.36
50	66.38	74.64	79.94	92.87	98.32
60	65.02	73.26	78.48	91.33	96.66
70	63.86	72.10	77.25	90.02	95.25
80	62.87	71.09	76.18	88.89	94.04
90	61.99	70.20	75.24	87.89	92.96
100	61.20	69.40	74.40	87.00	92.00
150	58.17	66.34	71.16	83.57	88.30
200	56.02	64.16	68.86	81.13	85.68
300	52.99	61.10	65.62	77.70	81.98
400	50.84	58.92	63.32	75.26	79.36
512	49.00	57.06	61.35	73.17	77.11
772	45.93	53.96	58.07	69.69	73.36
1024	43.82	51.82	55.81	67.30	70.78
1500	40.97	48.94	52.76	64.07	67.30
2048	38.65	46.58	50.27	61.43	64.46
3000	35.79	43.70	47.22	58.20	60.98
5000	31.98	39.84	43.14	53.87	56.32
7000	29.46	37.30	40.45	51.02	53.25
10000	26.80	34.60	37.60	48.00	50.00

Tablo E.1 Dağıtım kablolarının 2.048 MBit/s haberleşmesi için kullanıldığında 2E1Q kodlama sisteminin göre maksimum hat uzunlukları

Gürültü Seviyesi	0.4/0.70		0.4/0.84		0.5/0.85		0.5/1.04		0.6/1.10		0.6/1.40		0.9/1.84		0.9/2.0	
	L max (Q) km	L max (C) km	L max (Q) km	L max (C) km	L max (Q) km	L max (C) km	L max (Q) km	L max (C) km	L max (Q) km	L max (C) km	L max (Q) km	L max (C) km	L max (Q) km	L max (C) km	L max (Q) km	L max (C) km
10" TD																
1	2371	2577	2529	2749	2931	3186	3115	3385	3524	3831	3817	4148	5000	5435	5261	5719
2	2735	2941	2917	3137	3381	3636	3593	3864	4065	4372	4403	4735	5768	6203	6069	6527
3	2544	2750	2713	2933	3144	3399	3341	3612	3780	4087	4094	4426	5364	5798	5644	6102
4	2431	2638	2593	2813	3005	3260	3194	3465	3614	3920	3914	4245	5127	5562	5395	5853
5	2352	2558	2508	2728	2907	3162	3089	3360	3496	3802	3786	4118	4960	5394	5219	5676
6	2170	2376	2314	2534	2682	2937	2850	3121	3225	3531	3492	3824	4575	5010	4815	5272
7	2136	2342	2278	2498	2640	2895	2806	3077	3175	3481	3438	3770	4505	4939	4740	5197
8	2106	2312	2246	2466	2603	2858	2767	3037	3130	3437	3390	3722	4441	4876	4673	5131
9	2079	2285	2217	2437	2570	2825	2731	3002	3090	3397	3347	3678	4384	4819	4613	5071
10	2054	2261	2191	2411	2539	2794	2699	2969	3054	3360	3307	3639	4332	4767	4559	5016
50" AD																
11	2895	3101	3088	3307	3578	3833	3803	4073	4303	4609	4660	4992	6105	6539	6424	6881
12	2527	2733	2695	2915	3124	3379	3320	3590	3756	4063	4068	4400	5329	5764	5608	6065
13	2205	2411	2352	2572	2726	2980	2896	3167	3277	3584	3549	3881	4650	5085	4893	5350
14	1946	2153	2076	2296	2406	2661	2557	2828	2893	3199	3133	3465	4105	4539	4319	4777
100" AD																
15	2671	2877	2848	3068	3301	3556	3508	3779	3969	4276	4299	4631	5632	6067	5926	6384
16	2387	2593	2546	2766	2950	3205	3135	3406	3546	3854	3842	4174	5033	5468	5296	5754
17	2090	2296	2229	2449	2584	2838	2746	3016	3107	3413	3364	3696	4408	4842	4638	5095
18	1853	2059	1976	2196	2290	2545	2433	2704	2753	3060	2982	3314	3907	4341	4111	4568

Table E 2 Dağıtım kablolarının 2 048 MBit/s haberleşmesi için kullanıldığında, HD30 kodlama sistemine göre maksimum haberleşme uzaklıkları

	Gürültü Seviyesi W	0.4/0.70		0.4/0.84		0.5/0.80		0.5/1.04		0.6/1.10		0.6/1.40		0.9/1.64		0.9/2.0	
		L max (Q) km	L max (C) km	L max (Q) km	L max (C) km	L max (Q) km	L max (C) km	L max (Q) km	L max (C) km	L max (Q) km	L max (C) km	L max (Q) km	L max (C) km	L max (Q) km	L max (C) km	L max (Q) km	L max (C) km
10" TD																	
1	1.2E-05	1.570	1.719	1.661	1.819	1.917	2.099	2.048	2.243	2.304	2.523	2.466	2.700	3.235	3.543	3.376	3.697
2	5.2E-06	1.740	1.889	1.841	1.999	2.125	2.307	2.270	2.465	2.554	2.773	2.733	2.967	3.586	3.894	3.743	4.063
3	1E-05	1.602	1.751	1.695	1.852	1.956	2.138	2.089	2.284	2.351	2.570	2.516	2.750	3.301	3.608	3.445	3.765
4	1.6E-05	1.521	1.670	1.609	1.767	1.857	2.039	1.984	2.178	2.232	2.451	2.388	2.622	3.134	3.441	3.270	3.591
5	2.1E-05	1.463	1.612	1.548	1.706	1.786	1.968	1.909	2.103	2.147	2.366	2.298	2.532	3.015	3.322	3.146	3.467
6	3.3E-05	1.371	1.520	1.450	1.608	1.674	1.856	1.788	1.983	2.012	2.231	2.153	2.387	2.825	3.132	2.948	3.269
7	3.9E-05	1.342	1.491	1.419	1.577	1.638	1.820	1.750	1.945	1.969	2.188	2.107	2.341	2.765	3.072	2.885	3.206
8	4.4E-05	1.316	1.465	1.392	1.550	1.607	1.789	1.717	1.911	1.931	2.150	2.067	2.301	2.712	3.019	2.830	3.151
9	4.9E-05	1.293	1.443	1.368	1.526	1.579	1.761	1.687	1.882	1.898	2.117	2.031	2.266	2.666	2.973	2.782	3.102
10	5.4E-05	1.273	1.422	1.347	1.505	1.554	1.736	1.661	1.855	1.868	2.087	1.999	2.234	2.624	2.931	2.738	3.059
50" AD																	
11	2.6E-06	1.878	2.027	1.986	2.144	2.292	2.474	2.449	2.644	2.755	2.974	2.949	3.183	3.869	4.176	4.038	4.358
12	1.1E-05	1.601	1.750	1.694	1.852	1.955	2.137	2.089	2.283	2.350	2.568	2.514	2.749	3.299	3.607	3.443	3.764
13	3.4E-05	1.366	1.515	1.445	1.602	1.667	1.849	1.781	1.976	2.004	2.223	2.145	2.379	2.814	3.121	2.937	3.257
14	8.1E-05	1.194	1.343	1.263	1.421	1.458	1.640	1.557	1.752	1.752	1.971	1.875	2.109	2.460	2.768	2.567	2.888
100" AD																	
15	5.9E-06	1.715	1.864	1.815	1.973	2.094	2.276	2.238	2.432	2.517	2.736	2.694	2.928	3.535	3.842	3.689	4.010
16	1.7E-05	1.504	1.653	1.591	1.749	1.836	2.018	1.962	2.156	2.207	2.426	2.362	2.596	3.099	3.406	3.234	3.554
17	5.1E-05	1.287	1.436	1.361	1.519	1.571	1.753	1.679	1.873	1.888	2.107	2.021	2.255	2.652	2.959	2.767	3.088
18	0.00011	1.125	1.274	1.190	1.348	1.374	1.556	1.468	1.662	1.651	1.870	1.767	2.001	2.319	2.626	2.420	2.741

TEST VE DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZLAR.

EK F

Ölçülen parametre	Cihazın adı	Ölçme aralığı	max. Hassasiyet	Üretici firma
1. DC çevrim direnci	HP 3478 A Digital Multimeter Resistomat Type 2302 Digital Ohmmeter	30Ω / 30 MΩ 5mΩ / 50 kΩ	1mΩ 0.1μΩ	Hewlett Packard Burstner
2. Yüksek frekans çevrim direnci (5 Hz - 13 MHz)	HP 4192 A LF Impedans Analyzer	0.1Ω / 1.3 MΩ	100μΩ	Hewlett Packard
3. Çiftin efektif kapasitesi (800 Hz)	HP 4192 A LF Impedans Analyzer R 2020 - (800 Hz)	1pF / 100mF 0 - 200 nF	1fF 10 pF	Hewlett Packard Siemens
4. Yalıtkan malzemenin dielektrik kayıp faktörü	HP 4192 A (100 Hz - 5 Mhz) HP 4194 A(100Hz-40 MHz) Impedans/Gain Analyzer	0.0005 / 20 0.001 / 10	0.0001 0.0001	Hewlett Packard Hewlett Packard
5. Karakteristik empedans	HP 4192 A(10kHz -10MHz) K 2355+B 2086+B 2088 (200Hz - 620 kHz)	1Ω - 100 kΩ 10 Ω - 999 Ω	1Ω 1Ω	Hewlett Packard Siemens
6. Hat zayıflaması yakın uç ve uzak uç diyafoni zayıflaması	HP 4192 A (10 kHz - 10 MHz) K 2355(200Hz.-620kHz) TF - Pegelmessplatz	- 0.8 dB / - 100 dBV 40 dBm / - 110 dBm	0.01dB 0.25 dB	Hewlett Packard Siemens
7. Kapasitif kuplajlar K ₁ , K ₉ - 12	R 2020 Digital Kopplungsmesser (800 Hz)	1. 0 ± 999 pF 2. 0 ± 9.99 nF	1 pF 10 pF	Siemens
8. Darbelerin bozucu etkisi	AFG - Function Generator K 2355	(10 MHz - 20 MHz)	3 ½ digits	Rohde + Schwarz

ÖZGEÇMİŞ

Güneş Yılmaz , 1957 ' de Razgrad ' ın (Bulgaristan) İspirih ilçesinde doğdu. Orta ve lise öğrenimini doğduğu ilçede tamamladıktan sonra , 1975 - 1980 arası Varna Teknik Üniversitesinde Haberleşme Tekniği konusunda eğitim gördü. 1980 - 1983 arası Razgrad PTT ' sinin şehirlerarası haberleşme bölümünde mühendis ve şef olarak , 1983 - 1986 arası da bir fabrikanın Elektrik - Elektronik kısımların müdürü olarak çalıştı. 1983 - 1985 arası Varna Teknik Üniversitesi 'nin " Otomasyon " bölümünde yüksek lisans eğitimini tamamladı. 1986'da Sofya Teknik Üniversitesinde " Doktora " eğitime başladı ve aynı üniversitenin , Elektroteknik Malzemeleri Enstitüsü 'nde uzman araştırmacı ve Öğretim Görevlisi olarak çalıştı. Siyasi nedenlerden dolayı 1989 yılında Türkiye ' ye geldi. Aynı yıl Türk - Siemens kablo fabrikasının İmalat Teknolojisi Geliştirme bölümünde çalışmaya başladı ve 1990 ' dan itibaren İstanbul Teknik Üniversitesi 'nde doktora eğitimine devam etti.

Halen Türk - Siemens 'de AR - GE müdürü olarak çalışan Güneş Yılmaz ' ın , izolasyon malzemeleri , kablo tekniği ve ölçme tekniği konularında 11 bildiri ve 2 patenti vardır.