

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENSTRUMENTASYON KABLOLARININ EKRANLAMA ETKİNLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ İÇİN BİR ÖLÇME SİSTEMİ**

MUSTAFA TÜRKER GÜLTEPE

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRONİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. TUNCAY UZUN**

İSTANBUL, 2015

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENSTRUMENTASYON KABLOLARININ EKRANLAMA ETKİNLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ İÇİN BİR ÖLÇME SİSTEMİ**

MUSTAFA TÜRKER GÜLTEPE

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRONİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. TUNCAY UZUN**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENSTRUMENTASYON KABLOLARININ EKLANLAMA ETKİNLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ İÇİN BİR ÖLÇME SİSTEMİ**

Mustafa Türker GÜLTEPE tarafından hazırlanan tez çalışması 19.11.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Tuncay UZUN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Tuncay UZUN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Herman SEDEF
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Vedat TAVŞANOĞLU
Işık Üniversitesi

Günümüzde endüstride, fabrikalarda, santrallerde, rafinerilerde, eğitim kurumlarında, alışveriş merkezlerinde, kamu kuruluşlarında farklı özelliklerde enstrumantasyon kabloları enerji ve veri iletimi amacı ile kullanılır. Bu kablolar 90V, 300V, 500V, 1kV gerilimler altında çalışabilir. Aleve, benzine, eritici maddelere, petrol ve türevlerine, kemirgenlere, darbelere, girişimlere dayanıklı olacak şekilde kuru veya ıslak ortamlar için, toprak altı veya sıva altı kullanımlar için üretilebilirler. Artık hayatımızın bir parçası haline gelmiş birçok elektrikli cihaz arasında kabloları bir gereç olarak kullanmaktayız. Özellikle sanayi kuruluşlarında enstrumantasyon kabloları kritik sinyalleri iletmekte kullanılmaktadır. Elektrikli cihazların yaydığı elektromanyetik dalgalar kabloları da etki etmektedir. Bu kabloların dışarıdan gelecek etkilere dayanıklı olması gerekir. Çeşitli fiziksel koşullara dayanıklı olmasını kablo dış kılıfına yakın zırhlama, içeride iletkenle iletilen sinyalin bozulmasını da ekranlama önler.

Kablo üreticileri koaksiyel ve CCTV kablolar için çeşitli ölçümler yapmış olup kontrol kabloları için de ölçüm yapmaya başlamıştır. Bu çalışmada yapılan araştırmalarda daha önce ölçülmediği görülen, kablo üreticileri tarafından çok üretilen beş farklı yapıdaki enstrumantasyon kablosunun ekranlama etkinlikleri ölçülmüş, kabloları bulunan ekranlama yapıları birbirleri arasında karşılaştırılmıştır. Ölçüm yönteminde Uluslararası Elektroteknik Komitesi (IEC) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE) standartlarından faydalanılmıştır.

Çalışmalarım boyunca yakın ilgisini hiç esirgemeyen, yönlendirmeleri ve teşvikleri ile tezimi bitirmeme yardımcı olan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Tuncay UZUN'a, rahat ve ulaşılabilir laboratuvar ortamını sağlayan 2M Kablo Yönetim Kurulu Başkanı Mehmet Dereli'ye, ihtiyacım olduğunda yardıma koşan 2M Kablo Ar-Ge Departmanı ve Kalite Kontrol Departmanı personellerine, bu çalışmada takıldığım anlarda bir kıvılcım yakıp öneriler getiren ve tez dönemimde geleceğe dair birbirimize söz verdiğimiz müstakbel eşim Yasemin'e ve bana desteğini hiçbir zaman kesmeden sürdüren aileme teşekkür ederim.

Eylül, 2015

Mustafa Türker GÜLTEPE

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
ABSTRACT.....	xvii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
1.4 Tel ve Kablo Tarihçesi	3
1.5 Dengeli ve Dengesiz Hatlar	5
1.5.1 Dengesiz Hatlar	5
1.5.2 Dengeli Hatlar	6
1.6 Enstrumantasyon Kabloları.....	7
1.6.1 Enstrumantasyon Kabloları İsimlendirmeleri	8
1.6.2 Enstrumantasyon Kabloları Fiziksel Özellikleri	10
1.6.3 Enstrumantasyon Kabloları Elektriksel Özellikleri	11
1.6.3.1 Karakteristik Empedans	12
1.6.3.2 Elektriksel Uzun ve Elektriksel Kısa Devreler	14
1.6.3.3 Kuplaj Kavramı ve Kuplaj Uzunluğu.....	15
1.6.3.4 Kuplaj Zayıflaması.....	16
1.6.3.5 Kuplaj Transfer Fonksiyonu.....	16
1.6.3.6 Kesim Frekansı	17
1.6.3.7 Transfer Empedansı	18
1.6.3.8 Ekranlama Zayıflaması	19

1.7	Haberleşme Kablolarında Ekranlama Etkinliği Ölçmede Kullanılan Standartlar	20
1.8	Kabloların Ölçümünde Kullanılan Yöntemler.....	20
1.8.1	Üç Eksenli Test Metodu	21
1.8.1.1	Ekranlama Etkinliği Ölçme Yöntemleri.....	23
BÖLÜM 2		
EK RANLAMA ETKİNLİĞİ ÖLÇÜM SİSTEMLERİ.....		26
2.1	Ekranlama Etkinliği Ölçümünde Kullanılan Donanımlar	27
2.1.1	Balun	27
2.1.2	Agilent 8714ET Network Analizör	28
2.1.3	Emici Kelepçeler.....	28
2.1.4	CoMeT Ölçüm Cihazı	29
2.1.5	Karıştırıcı Modlu Elektromanyetik Yankı Odaları	30
2.1.6	Lantek Kablo Test Cihazları	31
2.1.7	Fluke Kablo Analizörleri	31
2.2	Ekranlama Etkinliği Ölçümünde Kullanılan Yazılımlar	32
2.2.1	WinCoMeT Yazılımı	32
2.2.2	Matlab ve Yardımcı Modülleri	32
2.2.3	CST Studio Suite ve CST Cable Studio	33
2.2.4	EMCoS Simülasyon Programı.....	33
2.2.5	LinkWare Kablo Analiz Programı.....	34
BÖLÜM 3		
ENSTRUMENTASYON KABLOLARININ ÖLÇÜMLERİ		35
3.1	Ölçüm Sistemi Yönteminin Belirlenmesi.....	35
3.2	Deney Altındaki Kabloların Teknik Özellikleri	37
3.3	Kabloların Çalışma Frekansı Aralıkları.....	48
3.4	Ölçüm Sisteminde Kullanılacak Devre Elemanlarının Tayini.....	49
3.4.1	Sonlandırma Direnci Hesabı.....	49
3.4.2	Sönümlendirme Direnci Hesabı	50
3.4.3	Empedans Uyumlama Devresi Hesabı	51
3.4.4	Kablo ₂ için S ₂₁ Parametresinin Teorik Hesabı	53
3.4.5	Kablo ₂ için Devrenin Gerilim Kazancı Hesabı	53
3.5	Kabloların Ölçümler İçin Hazır Hale Getirilmesi.....	54
3.5.1	Kablo ₁ 'in Ölçümler için Hazırlanması	55
3.5.2	Kablo ₂ 'nin Ölçümler için Hazırlanması.....	59
3.5.3	Kablo ₃ 'ün Ölçümler için Hazırlanması.....	60
3.5.4	Kablo ₄ 'ün Ölçümler için Hazırlanması.....	63
3.5.5	Kablo ₅ 'in Ölçümler için Hazırlanması	64
3.6	Network Analizör ve CoMeT Kalibrasyonları	66

3.7	Ölçümlerinin Uygulanması.....	68
3.7.1	RE-Y(St)Y-fl 2x2x0.5 mm ² (Kablo ₁) için Ölçümler	69
3.7.2	RE-2X(St)Y-fl 2x2x0.5 mm ² (Kablo ₂) için Ölçümler	71
3.7.3	RE-Y(St)YSWBY-fl 2x2x0.5 mm ² (Kablo ₃) için Ölçümler	73
3.7.4	RE-Y(St)Y-fl-PiMF 2x2x0.5 mm ² (Kablo ₄) için Ölçümler.....	75
3.7.5	RE-Y(St)YSWBY-fl-PiMF 2x2x0.5 mm ² (Kablo ₅) için Ölçümler	77
BÖLÜM 4		
ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ		80
BÖLÜM 5		
SONUÇ VE ÖNERİLER		86
KAYNAKLAR		90
ÖZGEÇMİŞ		93

SİMGE LİSTESİ

ϵ	Dielektrik sabiti
ω	Açısal frekans
c	Işık hızı
C	Kapasitans
d	İletken çapı
d_0	Ölçüm tüpü iç çapı
d_c	Kablo ekranının dış çapı
d_s	Kablo ekran üstü çapı
D	Ölçüm tüpü öz çapı
D_a	Öz büküm çapı
D_c	İki iletken arası mesafe
f_c	Kesim frekansı
G	Elektriksel iletkenlik
I_f	Çıkış akımı
I_r	Giriş akımı
L	Endüktans
L_c	Kuplaj uzunluğu
M_T	Birim uzunluk başına etkin karşılıklı indüktans
R	Elektriksel direnç
r	İletkenin yarıçapı
r_i	İzole et kalınlığı
V	Elektriksel Voltaj
Y_C	Birim uzunluk başına kapasitif transfer admitansı
Z	Empedans
Z_0	Karakteristik empedans
Z_e	Sonlandırma empedansı
Z_F	Birim uzunluk başına kapasitif kuplaj empedansı
Z_g	Kablonun giriş empedansı
Z_T	Birim uzunluk başına transfer empedansı

KISALTMA LİSTESİ

(C)	Kalaylı bakır tel örgü
(St)	Genel ekranlama (Screen tape, overall screen)
2G	Silikon kauçuk
2X	Çapraz bağlı polietilen (XLPE, Cross-linked polyethylene)
2Y	Polietilen (PE, Polyethylene)
3G	Etilen propilen kauçuk (EPR, Ethylene propylene rubber)
ALPES	Alüminyum polyester
AM	Genlik modülasyonu
ASTM	Amerikan Gereç Deneme Derneği (American Society for Testing and Materials)
BNC	Bayonet Neill–Concelman
BS	İngiliz Standartları (British Standards)
CAT	Kategori
CCTV	Kapalı devre televizyon (Closed-circuit television)
CoMeT	Kuplaj Ölçüm Cihazı (Coupling Measurement Tube)
CuB	Bakır bant
dB	Güç veya seviye oranı (Decibel)
DC	Doğru akım
EHF	Aşırı yüksek frekans
ELF	Aşırı alçak frekans
ELFEXT	Eşit katmanda uzak uç diyafonisi (Equal-level far-end crosstalk)
EMC	Elektromanyetik Uyumluluk (Electromagnetic compability)
EMI	Elektromanyetik girişim (Electromagnetic interference)
EN	Avrupa Standartları (European Standards)
ESD	Elektrostatik boşalma (Electrostatic discharge)
FEXT	Uzak uç diyafonisi (Far-end crosstalk)
FM	Frekans modülasyonu
FRNC	Alev geciktirici korozif dayanımlı (Flame retardant non corrosive)
H(ö)	Halojen içermeyen alev geciktirici, yağa dayanıklı (Halogen-free flame retardant, oil resistance)
HD	Harmonize Standartlar (Harmonization Document)
HF	Yüksek frekans
HFFR	Halojen içermeyen alev geciktirici (Halogen-free flame retardant)

IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission)
ISO	Uluslararası Standart Komitesi (International Organization for Standardization)
LAN	Yerel Alan Ağı
LF	Alçak frekans
LSF	Düşük duman yoğunluklu parlama yapmaz (Low smoke fume)
LSOH	Düşük duman yoğunluklu sıfır halojenli (Low smoke zero halogen)
LSZH	Düşük duman yoğunluklu sıfır halojenli (Low smoke zero halogen)
LSZH(ö)	Düşük duman yoğunluklu sıfır halojenli, yağa dayanıklı (Low smoke zero halogen, oil resistance)
NEXT	Yakın uç diyafonisi (Near-end crosstalk)
NF M	Fransız Standartları (French Standards)
PAS	Halka Açık Şartnameler (Publicly Available Specification)
PE	Polietilen (Polyethylene)
PES	Polyester
PiMF	Çiftler bireysel ekranlı (Pair in Metal Foil)
PP	Polipropilen (Polypropylene)
PVC	Polivinil Klorür (Polyvinyl chloride)
Q	Galvanizli çelik tel örgü zırh
RF	Radyo frekansı
SHF	Süper yüksek frekans
SI	Silikon kauçuk
SLF	Süper alçak frekans
STA	Çift kat galvanizli çelik bant zırhlama (Steel Tape Armour)
SWA	Galvanizli çelik tel zırh (Steel Wire Armour)
SWB	Galvanizli çelik tel örgü zırh (Steel Wire Braiding)
TIA	Telekomünikasyon Endüstrisi Derneği
TiMF	Üçlüler bireysel ekranlı (Triple in Metal Foil)
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TÜRKAK	Türk Akreditasyon Kurumu
UHF	Ultra yüksek frekans
ULF	Ses frekansı
VDE	Alman Elektroteknik Derneği (Verband der Elektrotechnik)
VHF	Çok yüksek frekans
VLF	Çok alçak frekans
VNA	Vektör network analizörü
XLPE	Çapraz bağlı polietilen (Cross-linked polyethylene)
Y	Polivinil Klorür, (PVC, Polyvinyl chloride)
Y(ö), PVC(ö)	Polivinil Klorür, yağa karşı dayanıklı (Polyvinyl chloride, oil resistance)
Yv	Güçlendirilmiş polivinil klorür
Yw	Isıya dayanıklı polivinil klorür (90°C)
YY	Çift polivinil klorür kılıf

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Örnek bir RE-Y(St)YSWBY-fl 2x2x0.5 mm ² enstrumantasyon kablosu	10
Şekil 1.2 Kablonun karakteristik empedansının şematik gösterimi	12
Şekil 1.3 Balun kullanarak kuplaj zayıflaması ölçüm düzeneği	16
Şekil 1.4 Kuplaj transfer fonksiyonunun frekans değişimine göre grafiği [11]	17
Şekil 1.5 Kablo üzerinde transfer empedansı [2]	19
Şekil 1.6 TS EN 50289-1-6'ya göre Üç Eksenli Test Metodu deney düzeneği [10]	21
Şekil 1.7 Üç Eksenli Test Metodu eş değer devre gösterimi [10]	22
Şekil 1.8 Dış devrede sönümleyici direnci ile eşdeğer iç devre bir arada	24
Şekil 1.9 Yükleme direnci ile iç devre, sönümlendirme direnci olmadan dış devre	25
Şekil 1.10 Uyumsuz (mismatched) ve sönümlendirme direnci olmayan, hem iç hem dış devrede kısa devre	25
Şekil 2.1 Kablo ekranlama zayıflaması ölçümü için genel bir blok diyagramı	26
Şekil 2.2 Balun genel bir görüntü [16]	27
Şekil 2.3 Balun mekanik şematiği [17]	27
Şekil 2.4 Agilent 8714ET network analizör	28
Şekil 2.5 Emici Kelepçeler [19]	29
Şekil 2.6 Bedea CoMeT ekranlama etkinliği temel ölçüm düzeneği [4]	29
Şekil 2.7 Lantek 7G Kablo Test Cihazı	31
Şekil 2.8 Fluke DSX-500 Cable Analyzer marka kablo analiz cihazı [21]	31
Şekil 2.9 WinCoMeT yazılımından genel bir görüntü	32
Şekil 2.10 CST Cable Studio ile EMI simülasyonu yapılan otomobil kablosu demeti [22]	33
Şekil 2.11 EMCos ile kablo ek yerlerinin diyafoni etkisi üzerine örnek bir tasarım ve simülasyon sonuçları	34
Şekil 2.12 LinkWare Analiz Programı aracılığı ile alınan örnek bir rapor	34

Şekil 3.1 Uyumlandırma devreli deney düzeneği blok diyagramı.....	36
Şekil 3.2 Eşit empedanslı deney düzeneği blok diyagramı	37
Şekil 3.3 $R_1 < 50 \Omega$ için empedans uyumlama devresi	52
Şekil 3.4 $R_1 > 50 \Omega$ için empedans uyumlama devresi	52
Şekil 3.5 Çok damarlı simetrik kabloların bağlanma yöntemi	54
Şekil 3.6 Kullanılan lehim teli	55
Şekil 3.7 Tüm damarların bir uçta ortak birleştirilmesi	55
Şekil 3.8 Kablo sonundaki iletkenlerin R_1 direncine ulaşması için 47Ω direnç ile sonlandırılması	56
Şekil 3.9 Kablo ucunun CoMeT aparatı ile sabitleştirilmesi.....	56
Şekil 3.10 Aparat ile sabitleştirilmiş kablo ucunun son hali.....	57
Şekil 3.11 CoMeT'e bağlamaya hazır hale getirilen kablo ucu	57
Şekil 3.12 CoMeT giriş aparatına bağlanan kablo ucu	58
Şekil 3.13 Kablonun diğer ucunda ekranlama elemanının tüp ile teması	58
Şekil 3.14 Deney altındaki kablo için hazırlanmış ölçüm düzeneği genel görüntüsü	59
Şekil 3.15 Kablo ₂ iletkenleri ve toprak teli	59
Şekil 3.16 Damarların iletkenlerinin R_1 direnci için hazırlanması	60
Şekil 3.17 İletkenlerin R_1 direnci ile lehimlenmesi sonrası kablonun görüntüsü.....	61
Şekil 3.18 Kablonun giriş ucunun hazır hale getirilmesi	61
Şekil 3.19 CoMeT çıkışında kablo örgüsünün sıkıştırma aparatına bağlantısı	62
Şekil 3.20 Kablo çıkış ucunun BNC konektör ile bağlantısı	62
Şekil 3.21 Kablo ₃ için ölçüm düzeneğinin son hali	63
Şekil 3.22 Sonlandırma kafası iç yapısı.....	63
Şekil 3.23 Kablo ₅ 'in galvanizli çelik tel örgü yapısı.....	64
Şekil 3.24 Kablo ₅ 'in iletkenleri ve toprak telleri.....	64
Şekil 3.25 Direnç ile bağlantıları sağlanmış kablo ucunun son hali	65
Şekil 3.26 Çıkış ucunda kablo örgüsü ile temas halinde olan tüpün görüntüsü	65
Şekil 3.27 Agilent 85036E Kalibrasyon Kiti.....	66
Şekil 3.28 Kablo ₁ için sisteme girilen transfer empedansı ölçüm parametreleri.....	69
Şekil 3.29 Kablo ₁ için transfer empedansı veri grafiği	70
Şekil 3.30 Kablo ₁ için belirlenmiş frekanslarda transfer empedansı değerleri.....	70
Şekil 3.31 Kablo ₁ için ekranlama zayıflaması veri grafiği	71
Şekil 3.32 Kablo ₁ için belirlenen frekanslarda elde edilen zayıflama değerleri.....	71

Şekil 3.33 Kablo ₂ için transfer empedansı veri grafiği	72
Şekil 3.34 Kablo ₂ için belirlenmiş frekanslarda transfer empedansı değerleri	72
Şekil 3.35 Kablo ₂ için ekranlama zayıflaması veri grafiği	73
Şekil 3.36 Kablo ₂ için belirlenen frekanslarda elde edilen zayıflama değerleri	73
Şekil 3.37 Kablo ₃ için transfer empedansı veri grafiği	74
Şekil 3.38 Kablo ₃ için belirlenmiş frekanslarda transfer empedansı değerleri	74
Şekil 3.39 Kablo ₃ için ekranlama zayıflaması veri grafiği	75
Şekil 3.40 Kablo ₃ için belirlenen frekanslarda elde edilen zayıflama değerleri	75
Şekil 3.41 Kablo ₄ için transfer empedansı veri grafiği	76
Şekil 3.42 Kablo ₄ için belirlenmiş frekanslarda transfer empedansı değerleri	76
Şekil 3.43 Kablo ₄ için ekranlama zayıflaması veri grafiği	77
Şekil 3.44 Kablo ₄ için belirlenen frekanslarda elde edilen zayıflama değerleri	77
Şekil 3.45 Kablo ₅ için transfer empedansı veri grafiği	78
Şekil 3.46 Kablo ₅ için belirlenmiş frekanslarda transfer empedansı değerleri	78
Şekil 3.47 Kablo ₅ için ekranlama zayıflaması veri grafiği	79
Şekil 3.48 Kablo ₅ için belirlenen frekanslarda elde edilen zayıflama değerleri	79
Şekil 5.1 Çalışma frekanslarına göre kabloların karşılaştırma grafiği	88
Şekil 5.2 Tüm frekans aralıklarında beş kablonun zayıflama performansları	88

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Enstrumantasyon kablolarında kullanılan izole/kılıf materyalleri kısaltma isimlendirmeleri	8
Çizelge 1.2 Enstrumantasyon kablolarında kullanılan zırh materyalleri kısaltma isimlendirmeleri	9
Çizelge 1.3 Enstrumantasyon kablolarında kullanılan ekranlama materyalleri kısaltma isimlendirmeleri	9
Çizelge 1.4 Enstrumantasyon kablolarında kullanılan standartlar	9
Çizelge 1.5 Enstrumantasyon kabloları genel test standartları	11
Çizelge 3.1 RE-Y(St)Y-fl 2x2x0.5 mm ² yapısı.....	38
Çizelge 3.2 RE-Y(St)Y-fl 2x2x0.5 mm ² teknik özellikleri.....	39
Çizelge 3.3 RE-2X(St)Y-fl 2x2x0.5 mm ² yapısı.....	40
Çizelge 3.4 RE-2X(St)Y-fl 2x2x0.5 mm ² teknik özellikleri	41
Çizelge 3.5 RE-Y(St)YSWBY-fl 2x2x0.5 mm ² yapısı	42
Çizelge 3.6 RE-Y(St)YSWBY-fl 2x2x0.5 mm ² teknik özellikleri	43
Çizelge 3.7 RE-Y(St)Y-fl-PiMF 2x2x0.5 mm ² yapısı	44
Çizelge 3.8 RE-Y(St)Y-fl-PiMF 2x2x0.5 mm ² teknik özellikleri	45
Çizelge 3.9 RE-Y(St)YSWBY-fl-PiMF 2x2x0.5 mm ² yapısı.....	46
Çizelge 3.10 RE-Y(St)YSWBY-fl-PiMF 2x2x0.5 mm ² teknik özellikleri.....	47
Çizelge 3.11 Frekans spektrumu tablosu	48
Çizelge 3.12 Teorik hesaplamalar sonucunda kabloların karakteristik empedansları ...	49
Çizelge 3.13 Network analizörde ölçüm ile kabloların karakteristik empedansları	50
Çizelge 3.14 Kablo ₂ için empedans uyumlama devresi direnç tablosu.....	52
Çizelge 4.1 Kablo ₁ ve Kablo ₂ 'nin belirlenmiş frekans aralıklarında ekranlama zayıflamaları karşılaştırma tablosu	81
Çizelge 4.2 Kablo ₁ ve Kablo ₄ 'nin belirlenmiş frekans aralıklarında ekranlama zayıflamaları karşılaştırma tablosu	81

Çizelge 4.3 Kablo ₁ ve Kablo ₃ 'ün belirlenmiş frekans aralıklarında ekranlama zayıflamaları karşılaştırma tablosu	82
Çizelge 4.4 Kablo ₃ ve Kablo ₅ 'in belirlenmiş frekans aralıklarında ekranlama zayıflamaları karşılaştırma tablosu.....	83
Çizelge 4.5 Kabloların zayıflama değerlerinin genel karşılaştırma tablosu	84

**ENSTRUMENTASYON KABLOLARININ EKRANLAMA ETKİNLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ İÇİN BİR ÖLÇME SİSTEMİ**

Mustafa Türker GÜLTEPE

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Tuncay UZUN

Enstrumantasyon kabloları, alçak gerilim hatlarında, hem analog hem dijital sinyal iletiminde kullanılıp geniş uygulama alanına sahiptirler. Fabrikalar, rafineriler, petro kimyasal tesisler, enerji santralleri, doğal gaz çevrim ve dolum tesisleri gibi alanlar bu kabloların bazı uygulama alanlarıdır. Üretim odaklı, belirli bir hassasiyetle çalışılan bu alanlarda kabloların dayanıklı olması beklenir. Bu dayanım fiziksel olabileceği gibi günümüzde artan elektrikli cihazlar sebebi ile elektromanyetik de olabilir. Dolayısıyla, özellikle endüstride veri iletiminde kullanılan kabloların veriyi en az kayıpla taşıması beklenir.

Bir kablonun girişimlere karşı ekranlamasında, kalınlıkları $20\ \mu$ - $100\ \mu$ (mikron) arasında değişen alüminyum folyo bantlar, uluslararası ve bölgesel standartlara uygun belirlenmiş sert veya bükülü, çıplak veya kalaylı bakırlar, yine standartlara uygun sert, çıplak, kalaylı bakırlar veya galvanizli çelik teller ile yapılan örgü konstrüksiyonları kullanılır. Ekranlama elemanları bir yapıda bir kere veya bir arada kullanılabilir. Her yapının kendine has bir elektromanyetik geçirgenliği mevcuttur. Uygun oranlarda kullanılan bu yapılar ile maksimum ekranlama etkinliği kabloları kazandırılır. Ekranlama etkinliğinin derecelendirilmesinde sarılan alüminyum bantların bindirme oranları, kullanılan bakırların veya çelik tellerin kesiti ve cinsi, örgü yapısının kapama oranı belirleyici rol oynar. Bu tez çalışmasında farklı ekranlama yapılarına sahip enstrumantasyon kablolarının zayıflama davranışlarını ölçmek için, Uluslararası, Avrupa ve Türk standartlarına uygun ölçme düzenekleri kurulmuş; yapılan ölçümlerde

kabloların belirlenmiş frekans aralığında girişimlere karşı zayıflama değerleri bulunmuştur. Elde edilen ölçüm verileri birbirleri arasında karşılaştırılmış ve ideal ekranlama yapısı bulunmuştur.

Ölçüm yöntemleri standartlarca belirlenmiş olan haberleşme kablolarından koaksiyel ve CCTV kablolarının zayıflama değerleri bilinmektedir. Literatürdeki bu kabloların ekranlama etkinliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı ise; enstrumantasyon kabloları için transfer empedansı ve ekranlama etkinliği ölçümlerinin standartlara uygun ölçüm düzeneklerini kurarak gerçekleştirmektir. Ölçümlerde ekranlama için kullanılan yapıların değiştirilmesi ile testler tekrarlanmış ve birbirleri ile kıyaslanmıştır. Yapılan çalışma, test ve ölçüm yöntemi belirlenmiş fakat ölçüm sonuçları yayınlanmamış olan diğer haberleşme kabloları için bir örnek oluşturmaktadır. Daha önceden enstrumantasyon kabloları üzerinde bu ölçümlerin yapılmamasından ötürü elde edilen sonuçlar bir ilk olma niteliğindedir.

Anahtar Kelimeler: Ekranlama etkinliği, transfer empedansı, enstrumantasyon kabloları, haberleşme kabloları, ekranlama, zayıflama

ABSTRACT

A MEASURING SYSTEM; DETERMINATION OF SHIELDING EFFECTIVENESS FOR INSTRUMENTATION CABLES

Mustafa Türker GÜLTEPE

Department of Electronic and Communications Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Dr. Tuncay UZUN

Instrumentation cables are used in the transmission of both analog and digital signals at low voltage transmission lines. These cables have a wide application field. Factories, refineries, petrochemical plants, power plants, combined cycle natural gas and filling plants constitute the some application areas of this cable. For these production oriented areas, cables are expected to be robust. External effects can be physical or electromagnetic because of rising electronic devices. Therefore, especially in industry, it is anticipated that data cables carry signal with minimal losses.

A cable which is shielded against interference, there are some ways to protect conductor; an aluminium tape (thickness between 20 to 100 μ (micron)), solid or stranded, bare or tinned copper determined in accordance with international or regional standards and solid, bare, tinned copper or galvanized steel braiding construction. Shielding elements may be used singly or in a combined structure. Each structure has a distinctive electromagnetic permeability. Maximum shielding effectiveness earned with the appropriate rate structures. Overlaps of aluminum tape, cross sectional area of copper or steel wire, type of copper, coverage of braiding play a decisive role. In this thesis, test setups in accordance with international, European and Turkish standards has been established for measuring different shielding structures. Shielding effectiveness of cables was observed on specified frequency band range . The

obtained results are compared between each other and optimum shielding structure was found.

It is known that coaxial and CCTV cables shielding effectiveness laid down by standards. Studies of these cable types were investigated in the literature. The main objective of this study; measure the transfer impedance and the shielding effectiveness of chosen instrumentation cables with test setups specified in standards. Measurements was repeated and compared with each other. This study is an example for other data cables whose test metods are determined but not published. Measurements of the shielding effectiveness on these cables has never been done before. So obtained result is the first for instrumentation cables.

Keywords: Shielding effectiveness, transfer impedance, instrumentation cables, communication cables, screening, attenuation

1.1 Literatür Özeti

Ekranlama etkinliği üzerine daha önceden yapılan çalışmalar koaksiyel kablolar ve CCTV kablolarını kapsamaktadır. Yapılan bu çalışmalarda Üç Eksenli Test Metodu kullanılarak transfer empedansının bulunması üzerine kullanılan yöntemler üzerinde durulmuş; yöntemlerde CoMeT ölçüm tüpü kullanılarak, dış devredeki sönümlendirme direnci ile eşdeğer iç devre yöntemi, yükleme direnci ile iç devre, sönümlendirme direnci olmadan dış devre yöntemi, uyumsuz (mismatched) ve sönümlendirme direnci olmadan, kısa devre kullanılarak uygulanan yöntem uygulanmıştır [1].

Yapılan bir başka çalışmada haberleşme kablolarının teknoloji ilerledikçe kullanımının da artması sebebiyle yüksek frekanslarda kullanılan kablolarda uygulanabilen yeni ölçüm yöntemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Alçak frekanslarda kullanılan Üç Eksenli Test Metodu yüksek frekanslarda kullanılan kablolarda da ilk defa 1993 yılında uygulanmıştır [2]. Bu sonuçlarla beraber yüksek frekanslarda da Üç Eksenli Test Metodu'nun kullanılabileceği standart komitelerince kabul edilmiştir.

Kabul edilmiş olan diğer bir ölçüm metodu olan Tüp İçinde Tüp Metodu'nda ise; ölçümü yapılan kablonun çıkışına bağlanan sönümlendirme direncinden önce birleştirici adaptör ve konnektörün yer aldığı sistemde, ölçüm tübünün içinde bir tüp daha vardır ve bu tübe kablonun, yani dış devrenin ekranı temas halindedir. Bu metot ise IEC 61196-1 ve EN 50289-1-6 standartlarına göre yapılmaktadır [3]. Frekans aralığı olarak MHz mertebelerinde ölçüm yapılmak istenen kablolarda ve kablo komponentlerinde Tüp İçinde Tüp Metodu geliştirilmiştir. Bu metotta ölçüm yapılan

kabloya ilaveten kablonun ucunda bulunan konnektör de ekranlama zayıflaması ölçümlerine katılmıştır. Böylelikle sadece kablonun ekranlama zayıflaması değil kablonun kullanımı esnasında kayıpların sebebini oluşturabilecek bağlantı ekipmanı da ölçümlere dahil edilebilmiştir [3].

İletişim kablolarında ekranlama etkinliğinin ölçülmesi hususunda kullanılan ölçüm metotlarından olan Tüp İçinde Tüp Metodu ve Emen Kelepçe Metodu'nun Üç Eksenli Test Metodu'na göre kıyaslamasının incelendiği çalışmada ise Üç Eksenli Test Metodu'nun yüksek ölçüm aralığına sahip olması ve test düzeneğinin kolay kurulabilmesi ön plana çıkmıştır [4].

Hat Enjeksiyon Metodu'nun (Line Injection Method) transfer empedansı değerlerinin ölçülmesinde hem kablo hem de kablo konnektörleri üzerinde uygulanabilirliğini ve iki farklı test laboratuvarında tekrarlanabilirliği bir araştırma konusu olarak ele alınarak metodun uygulanabilirliği anlatılmıştır [5]. Bu çalışmada koaksiyel kabloların test edilmesinin yanında dengeli hatlardan iki damarlı bükümlü kablolar ile de ölçümler yapılmıştır. Ölçümü yapılan kabloların empedansları 50 Ω ve 75 Ω olup, ölçüm sonrasında kablolar kendi aralarında karşılaştırılmış, daha sonra da ikinci bir test laboratuvarında aynı ölçümler gerçekleştirilip bu metodun tekrarlanabilirliği kanıtlanmıştır.

Bir başka çalışmada Üç Eksenli Test Metodu (Triaxial Test Method), Hat Enjeksiyon Metodu (Line Injection Method) ve Emen Kelepçe Metodu (Absorbing Clamp Method) anlatılmış, yeni bir metot olan Enjeksiyonlu Kelepçe Metodu (Injection Clamp Method) üzerinde çalışılmıştır. Bu metot, Emen Kelepçe Metodu (Absorbing Clamp Method) ile prensipte aynı özelliklere sahip olmasına karşın, dış devreye gelen besleme gücü enjeksiyonlu kelepçeden verilmektedir. Bu metodun avantajı 100 kHz ve aşağısında zayıflama değerlerinin bulunmasına imkan sağlamasıdır [6].

1.2 Tezin Amacı

Çevremizde artan elektronik cihazların yaydığı elektomanyetik dalgalar sinyal iletiminde kullandığımız kablolara olumsuz etki etmektedir. Veriyi bir noktadan diğer

noktaya ulaştırmada rol oynayan kablolarda çevreden gelen doğal ve doğal olmayan girişimleri engellemek için bir takım yöntemler bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, daha önceden literatürde çalışması yapılmamış enstrumantasyon kablolarının ekranlama etkinliklerinin ölçülmesidir. Çalışmada, seçilen beş farklı enstrumantasyon kablo yapısı için ekranlama etkinlikleri, haberleşme kabloları standartlarına uygun olarak seçilen bir yöntemle ölçülmüştür. Daha sonra kablolar birbirleri ve koaksiyel kablolarının ortalama zayıflama verileri ile karşılaştırılmıştır.

1.3 Hipotez

1880 yılı ve sonrasında koaksiyel ve CCTV kablolarının icadı ile beraber bu kabloların ekranlama etkinlikleri çeşitli yöntemlerle ölçülmüştür. lm yapılan kablolar sınıflandırılmıştır. Günümüzde ise teknolojinin gelişmesi, otomasyon sistemlerinin çoğalması, elektronik cihazlardaki artış nedeni ile enstrumantasyon kablolarında da zayıflama verileri değerlendirilebilir seviyeye gelmiştir. Bu çalışmada hipotez, farklı ekran elemanlarına sahip enstrumantasyon kablolarında çalışma frekansına bağlı olarak hangi yapının daha iyi ekranlama etkinliğine sahip olduğu sorusunun araştırılmasıdır.

1.4 Tel ve Kablo Tarihçesi

19. yüzyıl insanlık tarihi için bilgi ve enerji iletiminde bir başlangıçtı. Daha önceleri teller Antik Mısır'da kullanılırdı. Bu teller insanların doğada bulduğu bakır, altın, bronz, demir idi. O dönemlerde takı olarak kullanılan bu metallerden özellikle bakır ilerleyen yüzyıllarda en önemli sinyal iletim aracı olarak kullanılacaktı. 1830 yılında elektrikli telgrafın icadı ile teller kullanılmaya başlandı. Endüstri ağında bu icat devrim niteliğinde idi. Hızla yayılıp gelişti. Dolayısıyla da teller insan hayatına bir iletişim aracı olarak girmeye başladı.

19. yüzyılda telgraf ve telefon hatlarında çıplak teller kullanılıyordu. Bu tellerin uğradığı çevresel girişimler ve bir telin diğer tellerle yaptığı olumsuz etkileşimler sonucu telin üzerini bir yalıtkanla kaplama ihtiyacı oluştu. Böylece kablo kavramı doğdu. İlk yalıtım malzemesi kağıt idi. İletkeni kağıt izole ile kaplayıp (bu kaplama helisel olarak iletkenin

üzerini belirli bindirme oranlarında sarma ile oluşmaktaydı) birden fazla kabloyu aynı hatta birbirlerinden etkilenmeden enerji taşınmakta idi. Malzeme biliminin ilerlemesi, artan ihtiyaçlar sonrası kağıttan daha iyi yalıtım sağlayan plastikler ve mühendislik plastikleri üretilmeye başlandı.

Günümüzde her sektörün ihtiyacına cevap verebilecek kablolar üretilmektedir. İletkenler ve yalıtkanların özellikleri sürekli geliştirilmektedir. İletken teknolojisinde bakır, alüminyum ve gümüş başta olmak üzere metallerin iletkenlik performansları üzerine çalışılmaktadır. Yüksek frekanslara çıkıldıkça iletken üzerindeki sinyalin davranışı gözlenmekte, farklı metal birleşimleri ile düşük ağırlık, minimum maliyet, maksimum kayıpsız iletim üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Plastiklerin mekanik darbelere, kimyasallara, sürekli harekete, kemirgenlere, patlamalara, yangına karşı dayanıklılıklarını geliştirmek için ar-ge faaliyetleri yürütülmektedir.

Kablolarda Ekranlama Tarihçesi

19. yüzyılda Graham Bell'in icat ettiği telefon sonrası kurulan telefon hatlarında tel ve kablo ile denemeler yapılırken bir iletim hattının girişimlere karşı tepkisi gündeme gelmeye başladı. İletim hatlarında yaşanan, çevresel faktörlü girişimlerin ölçülmesi, telin veya kablonun bu girişime karşı gösterdiği direncin bilinmesi ve bu değerlere göre tellerin ve kabloların sınıflandırılması önem arz etmeye başladı.

20. yüzyıla gelindiğinde, kullanılan koaksiyel kablolarda ekranlamanın önemi anlaşılmaya başlandı. 1940 yılına gelindiğinde kabloların ekranlama etkinliklerinin ölçülmesi için klystron ve magnetrondan yapılmış tüplerde, yüksek frekanslarda AM/FM modülasyonları kullanılarak deneyler yapılmakta idi. 1947 yılında transistörün icadı ile yeni bir teknolojik evrime hazırlanan dünyada, kağıt kalem kullanılarak Smith Chart ve S-parametreleri ile yapılan hesaplamalar yavaş yavaş yerini mikroişlemcili, bilgisayarlı hesaplayıcılara bırakacaktı. 1960 yılı sonrasında network analizör ve spektrum analizörün icadı ile dalgaların davranışları hızlı bir şekilde gözlemlenmeye başladı. 1970'li yıllara gelindiğinde bilgisayarlar, mikroişlemciler ile çalışmaya başlayan network analizörler kullanılmaya başlandı. Günümüzde ise her laboratuvar ve hatta evlerde bu cihazlar kullanılmaktadır.

Kablolarda ekranlama etkinliği ölçümlerinde network analizörün sunmuş olduğu imkanlardan yararlanılarak ölçümler yapılmaktadır. Bu ölçümlerde Smith Chart ve S-parametreleri kullanılır. Genel bir düzenek spektrum analizör, sinyal jeneratörü, emici kelepçeler (pirinç kelepçeler) ve bilgisayar ile kurularak ekranlama etkinliği ölçülebilir. Pirinç kelepçelerin dışarıdan gelecek sinyallere karşı oluşturduğu koruma kalkanı sebebi ile zaman içerisinde tüplü sistemler de kullanılmaya başlanmıştır.

Özellikle CAT kablolar başta olmak üzere koaksiyel ve fiber kablolarda, teknik personellerin hızlıca kullanabileceği pratik cihazlar da üretilmektedir. Bu cihazlar, kabul görmüş belirli frekans aralıklarında, yine özellikle CAT kablolar gibi çalışma aralığı belirli sıkça kullanılan bu ürünler için hızlı çözüm sunarlar. Dijital sinyal iletimi ölçümlerinde, ISO 11801 ve TIA 568-C gibi standartlara uygun ölçümlerde kabloları ait NEXT, FEXT, ELFEXT, zayıflama, kapasitans, geri dönüş kaybı, empedans, gecikme gibi değerlere ulaşılabilir.

1.5 Dengeli ve Dengesiz Hatlar

1.5.1 Dengesiz Hatlar

Dengesiz hatlar, sıklıkla koaksiyel kabloların sahip olduğu, farklı damarlardaki iletkenlerin empedanslarının farklı olduğu hatlardır. Mikroşerit (Microstrip) hatlar da dengesiz hatlara örnektir. Koaksiyel kablolarda, tek damar üzerinden ölçümler yapılırken, genellikle toprağa giden iletken olarak kablo ekran elemanları kullanılır. Yani toprak iletkeni sıklıkla ortak devredir.

Dengesiz hatların ilk kullanıldığı yer telgraf haberleşmesi idi. Tek tel iletken, direkler arasında gerilirdi. Bu durumda giden sinyal ve geri dönen sinyalin etkisi söz konusu idi. Geri dönen sinyalin maliyeti giden sinyalin maliyeti ile % 50’şer pay sahibi idi. Sonraları geri dönüş iletkeninin toprağa bir mil ile gittiğinde genel iletken kaybının azaldığı keşfedildi. Ve bu keşif hızlı bir şekilde yayıldı. Teknoloji geliştikçe kablo sistemlerine geçildi. Kablo yapısı iletken, bu iletkeni koruyucu bir yalıtkan, yalıtkan üzeri koruyucu toprağa giden metalik bir ekran ve dış kılıftan oluşmaktaydı. İletişim ihtiyacı arttıkça bu kabloların da damar sayıları arttı. Yeraltı telgraf hatlarında bu yapı kullanılırken, denizaltı hatlarda tek damarlı yapı, çelik tel zırh ile kullanıldı. İlk telefon hatları, tıpkı

telgraf hatları gibi dengesiz teller ile kuruldu. Bu hatlar da enerji taşıyan hatların gelişmesi ile birlikte gelişti ve şu an kullandığımız dengeli bükümlü perli hatlara dönüştü.

Koaksiyel kablolar, merkez iletken ve bu merkez iletkeni koruyan ekrandan oluşur. Ekran iletken genellikle toprağa bağlanır. Bu kablolar İkinci Dünya Savaşı'nda radar sistemlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Günümüzde sıklıkla merkez iletken ve onu saran örgü ekrandan meydana gelmektedir. Koaksiyel kabloların avantajı teorik olarak mükemmel elektrostatik ekran ve yüksek doğrulukla bulunabilen iletim parametreleridir.

1.5.2 Dengeli Hatlar

Telekomünikasyonda ve profesyonel ses sistemlerinde, dengeli hat veya dengeli sinyal perleri şu özelliklerden oluşmalıdır; kullanılan iletkenler aynı tipte ve aynı empedans değerinde olmalıdır [7].

Simetrik sinyal taşıyan hatlar, yani örneğin iki kolda da toprağa giden eşit ama işareti ters voltajlar, sıklıkla dengeli hat olarak anılır. Bir başka tanımla iki paralel iletken hat ve bu hattı çevreleyen, toprağa giden örgü yapısı dengeli hat olarak tanımlanır [2].

Dengeli hatların üzerindeki sinyalin iletimi, gürültünün etkisinden veya çevredeki elektrik alanının girişiminden az etkilenir. Bu girişimi daha da azaltmak için damarlar bükümlü perler haline getirilirler. Böylelikle istenmeyen gürültüler engellenmiş olur. Yine bükülmüş damarların çevreden en az etkilenmesi istenildiğinde, özellikle haberleşme kabloları için elektromanyetik koruma, örgü veya bantlama ile arttırılır.

Dengeli hatlara ilk örnek telefon hatlarıdır. Bu hatlarda oluşan küçük girişimler hatların ucundaki kullanıcılara büyük sıkıntılar yaşatabilir. Bu hatların ilk tasarımı, iki sinyali taşıyan iki telgraf telini kullanmaktı. Bu telefon hatları, enerji taşıyan hatlarla aynı rotalarda kullanılıyordu. Dolayısıyla telefon hattında girişimler meydana geliyordu. İlk başta bükmeden ve çıplak tel olarak bu iletim hattı kullanıldığı için, hangi tel enerji hattına yakınsa, onda daha fazla girişim meydana gelmekteydi. Bu girişimlerin eşit olarak gelmesi için iki tel, hatvesi 100 metrede bir olarak bükülüp, iki telin de girişimden eşit etkilenmesi ve ortak modda aynı düşüşü yakalaması isteniyordu.

Telefon sistemleri geliřtiğinde teller yerine kablolar kullanılmaya bařlandı. Telgraf telleri ile gerçekleřtirilmeye çalıřılan bu iletim olayı, dengeli kabloda bükülü perler ile gerçekleřtirildiğinde elbette ki istenilen eřit miktarda giriřim sonucu dūřūē kavuřulacaktı. Fakat bu istenilenin olması için yineleyici yūkseltelerin icat edilmesi gerekmektedir. Yūkselte olmayan telefon hatlarında en fazla 30 kilometre yol alınabilir. Dengeli hatlarda bükümü perli yaparak ūretilen kablolar hala son kullanıcı telefon hatlarında kullanılmaktadır.

Dengesiz hatlar ile dengeli hatlar karřılařtırılacak olursa, dengeli hatlar mesafe bařında gūrūltū oranını azaltırlar. ūnkū dengeli hatlarda elektromanyetik giriřim veya çevreden gelen bir gūrūltū sinyali iki iletkeni de aynı yōnde etki eder. Bōylece hat sonunda iki sinyale de etki etmiř olan aynı giriřim oranı mevcuttur.

1.6 Enstrumantasyon Kabloları

Enstrumantasyon kabloları, analog ve dijital sinyal iletimlerinde kullanılmak ūzere geliştirilen haberleşme kablolarıdır. Bu kablolar sıklıkla fabrikalarda, rafinerilerde, petro kimyasal tesislerde, enerji santrallerinde, doğal gaz çevrim ve dolum tesislerinde vb. sanayi kuruluşlarında kullanılırlar.

Sahip oldukları fiziksel ūzellikleri bakımından yangına dayanıklılık, alev iletmezlik, yaėa, benzine, yakıt yaėına ve ōzūcū maddelere dayanıklılık, fare, bōcek vb. hařerelere dayanıklılık, dūřūk sıcaklıklarda kullanıma uygunluk, UV dayanıklılık, yūksək sıcaklıklara dayanıklılık gibi zor řartlar altında kullanıma uygundurlar.

Bu kabloları ūretmek için, ūreticinin belli bir tecrūbeye sahip olması gerekmektedir. Kablonun teknik olarak dizaynı ayrıntılıdır. ūretimdeki iřçilik payı fazladır. Sahip olduėu ūzellikler bakımından bařarıyla geçmesi gereken testler fazladır. Bu sebeple enstrumantasyon kabloları katma deėeri yūksək kablolardır.

Enstrumantasyon kabloları temel olarak EN 50288-7, PAS 5308 part 1&2, BS 5308 part 1&2 standartlarına gōre alçak gerilim hatlarında çalışmaya uygun olarak ūretilirler. Çalışma gerilimleri 90V, 300V, 500V, 600V ve 1kV'dir.

1.6.1 Enstrumantasyon Kabloları İsimlendirmeleri

Her kablo tipinde olduğu gibi enstrumantasyon kablolarının tanımlanması için standartlarca belirlenmiş çeşitli ifadelerden yararlanılır. Bu ifadeler Çizelge 1.1, Çizelge 1.2 ve Çizelge 1.3'teki gibidir.

Çizelge 1.1 Enstrumantasyon kablolarında kullanılan izole/kılıf materyalleri kısaltma isimlendirmeleri

SEMBOLLER	AÇIKLAMALAR
Y	PVC
H (LSZH /HFFR /LSOH /FRNC)	Halojensiz, alev geciktirici
Y(ö) (PVC(ö))	UV,Yağa ve Aliphatic Hidrokarbona Dayanıklı PVC
H(ö), LSZH(ö)	Yağa, yakıt yağlarına ve düşük sıcaklıklara dayanıklı halojensiz alev geciktirici malzeme
Yv	Güçlendirilmiş PVC kılıf
YY	Çift PVC Kılıflı
Yw	Isıya dayanıklı PVC kılıf (90°C)
LSF	Düşük duman yoğunluklu PVC (IEC 61034)
3G	EPR
2Y	PE
2X	XLPE
2G , SI	Silikon Kauçuk
...CI	Yangına dayanıklı, fonksiyonunu sürdürme özelliği

Çizelge 1.2 Enstrumantasyon kablolarında kullanılan zırh materyalleri kısaltma isimlendirmeleri

SEMBOLLER	AÇIKLAMALAR
SWA	Galvaniz çelik tel zırhlı (Min. Çap 0.90 mm) %95±5 kapama
SWB / Q	Galvaniz çelik tel örgü zırhlı (Min. Çap 0.30 mm) %75±2 kapama
STA	Çift kat galvaniz çelik bant zırhlama %100 kapama

Çizelge 1.3 Enstrumantasyon kablolarında kullanılan ekranlama materyalleri kısaltma isimlendirmeleri

SEMBOLLER	AÇIKLAMALAR
PiMF	Çiftler bireysel ekranlı
TiMF	Üçlüler bireysel ekranlı
(St)	Genel ekranlama
(C)	Kalaylı bakır tel örgü
CuB	Bakır bant

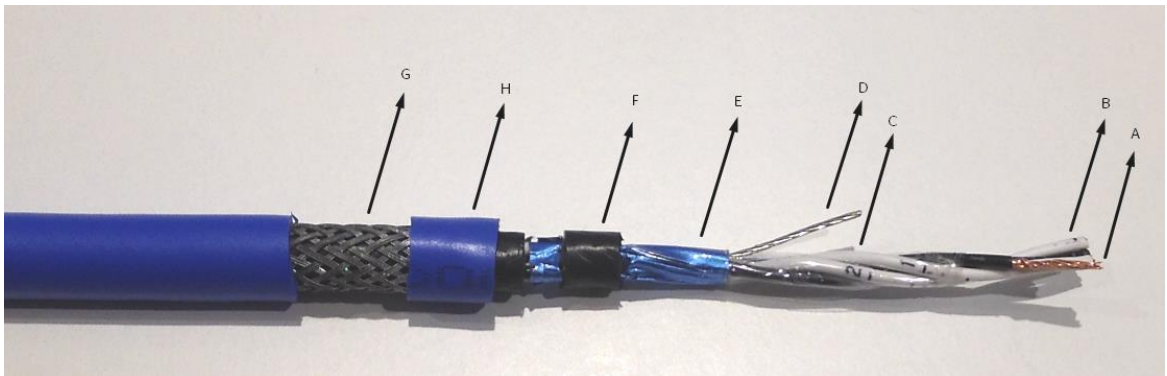
Enstrumantasyon kablolarında kullanılan temel standartlar ise Çizelge 1.4'teki gibidir.

Çizelge 1.4 Enstrumantasyon kablolarında kullanılan standartlar

Kablo Temel Yapısı	VDE 0815, VDE 0816, BS 5308 part1 ve BS 5308 part 2, EN50288-7, NF M 87-202
İzole ve Kılıf Malzemesi Özellikleri	EN 50290 -2 -21 /23 /26 /29 /22 /27; HD 21.1.S4; VDE 0207; BS 7655 IEC 60092-359
İletken Özellikleri	IEC60228, VDE 0295, BS 6360, HD 383

1.6.2 Enstrumantasyon Kabloları Fiziksel Özellikleri

Enstrumantasyon kablolarında iletkenler TS EN 60228 standardına uygun Sınıf 1,2 veya 5, 0,5 mm² - 2,5 mm² arasında kesit alanına sahip çıplak bakırdır. İlgili kesit alanlarında bu farklı sınıflarda tek veya bükülü çıplak bakırların tel sayısı ve tek tel çapları farklılık göstermektedir. İzole yalıtkan malzemesi PVC, PP, PE, XLPE veya HFFR'dir. İletken çalışma sıcaklığına göre izole malzemesi cinsi ve et kalınlığı değişir. Bükülü damarlar üzerine bükülü özün şekilsel olarak korunması ve nem bariyeri için bant uygulanır. Bu bant neme karşı dayanıklı polyester tipi bir malzeme olmalıdır. Ekranlama elemanı olarak kalaylı bakır tel ve metal folyo banttan oluşan yapı, kaplamalı veya kaplamasız tel örgü, ya da bunların kombinasyonu şeklinde bir yapı kullanılır. Bu yapı veya yapılar ile girişimlere karşı kablo korunur. Ara kılıf yalıtkan malzemeleri genelde PVC, PE veya HFFR'dir. Zırh olarak galvanizli çelik tel örgü, galvanizli çelik telin veya yassı telin veya bandın helisel sarılmasından oluşan koruma yapısı kullanılır. Zırh, genellikle kemirgen, haşere, mekanik darbe ve patlama anında kablo bütünlüğünü korumak için kullanılır. Yalıtkan dış kılıf PVC, PE veya HFFR'dir. Dış kılıf daha çok fiziksel olarak zorlu koşullara karşı dayanıklılık özelliği gösterir.



Şekil 1.1 Örnek bir RE-Y(St)YSWBY-fl 2x2x0.5 mm² enstrumantasyon kablosu

A: İletken

B: Yalıtkan izole

C: Sargı PES (polyester) bant

D: Kalaylı bakır toprak teli

E: ALPES (alüminyum-polyester) ekran bandı

F: Yalıtkan ara kılıf

G: Galvanizli çelik tel örgü

H: Yalıtkan dış kılıf

Bu kablolarda yapılan testler ve bu testlerin standartları Çizelge 1.5'teki gibidir.

Çizelge 1.5 Enstrumantasyon kabloları genel test standartları

Alev Testleri	IEC /EN 60332-1, IEC 60332-3-24, (BS 4066 part 1&3), EN 50266-2-4
Yangına Dayanıklılık Testleri	IEC 60331, BS 6387 C, W, Z, EN 50200
Oksijen İndeksi (LOI) Testleri	EN ISO 4589, TS 11162
Duman Yoğunluğu Testleri	IEC / EN 61034, BS 7622, EN 50268, HD 606
Korozif Gaz Ölçümü Testleri	IEC 60754-2, BS 6425, EN 50267
Yağa Dayanıklılık Testi	IEC 60811
Alifatik Hidrokarbona Dayanıklılık Testleri	NF M 87-202

1.6.3 Enstrumantasyon Kabloları Elektriksel Özellikleri

Enstrumantasyon kablolarını anlamak için kabloların elektriksel özelliklerinden bahsetmek gerekir. Bir kablonun zayıflama verilerini ölçüp analiz edebilmek için teorik tanımlamaları yapmak, bu tanımları kullanarak ölçüm yöntemine karar vermek sağlıklı sonuçlar alınması bakımından önem arz eder. Kablonun karakteristik empedansı değerinin elde edilmesi ile, ölçüm sistemindeki sonlandırma direnci değeri, sisteme bağlanan kaynak ve gerekli ise uygunlaştırma devrelerinin yapısı belirlenir. Deney altındaki kablonun elektriksel olarak uzun veya kısa olma durumu kesim frekansına kadar transfer empedans değerleri ölçümünü ya da kesim frekansı üzerindeki zayıflama değerlerinin ölçümünün kararının alınmasında etkilidir. Kuplaj kavramı ölçümü yapılacak kablo uzunluğu ile ilgili olup bu uzunluk zayıflamaya doğrudan etki etmektedir. Bu bölümün alt başlıklarında bu teorik kavramlardan bahsedilmiştir.

1.6.3.1 Karakteristik Empedans

İletim hatlarında yansız durumdaki hat üzerindeki gerilimin genliğinin akımın genliğine oranı ohm cinsinden karakteristik empedansı verir. Bir hattın karakteristik empedansının genel ifadesi (1.1) formülü gibidir.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (1.1)$$

Z_0 : Karakteristik empedans

R : Birim uzunluk başına direnç

G : Birim uzunluk başına iletkenlik

L : Birim uzunluk başına endüktans

C : Birim uzunluk başına kapasitans

j : İmajiner birim

ω : Açısal frekans

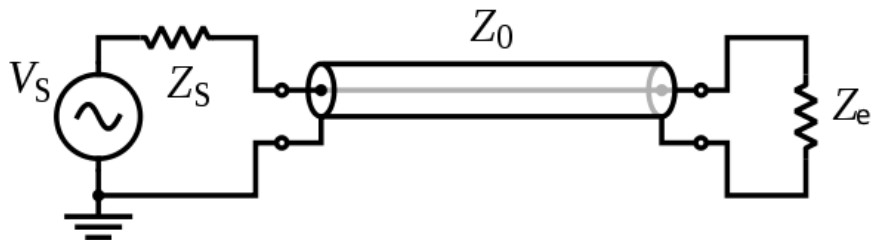
Teorik olarak yapısal değişimleri olmayan homojen kablolar için karakteristik empedans, kablo uçlarındaki gerilimin akıma doğrudan bölünmesi olarak ölçülür [8].

$$Z_0 = \frac{V_f}{I_f} = \frac{V_r}{I_r} \quad (1.2)$$

Z_0 : Karakteristik empedans

V_f, V_r : Kablo giriş ucundaki, çıkış ucundaki gerilimler

I_f, I_r : Giriş, çıkış akımları



Şekil 1.2 Kablonun karakteristik empedansının şematik gösterimi

V_s : Kaynak gerilimi

Z_s : Kaynağın empedansı

Z_0 : Karakteristik empedans

Z_e : Sonlandırma direnci

Bir devre üzerinde kablonun Z_0 karakteristik empedansına Şekil 1.2 aracılığı ile bakılacak olunursa, kaynağın empedansı ile yük empedansı maksimum güç transferi için uyumlu olmalıdır. İletim hatlarında karakteristik empedans, yüksek frekanslarda bakılması gereken bir parametredir. Yüksek frekanslara çıkıldıkça akımın kayıpsız taşınması bu akımın karakteristiğinin hesaplanmasına bağlıdır. Hesaplamalar sonucu tasarlanan kabloya iletim hattı denir. Kablo iletkenlerinin uzunluğunun işaretin dalga boyundan çok daha küçük olduğu sürece bu iletkenlerin mükemmel iletkenlerden yapılmış olduğu düşünülür. Herhangi bir anda bir tel üzerindeki her noktada akım ve gerilim aynıdır. Kabloların ekranlama etkinliğinin karakterize edilmesinde karakteristik empedans kullanılır. Yüksek frekanslarda karakteristik empedans (1.3) formülü ile bulunur.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1.3)$$

L : Endüktans (mH/km)

C : Kapasitans (nF/km)

Z_0 : Karakteristik empedans (Ohm)

Endüktansa ulaşmak için (1.4)'ten yararlanılır.

$$L = 0,4 \left(\ln \frac{D_c}{r} \right) \text{ mH/km} \quad (1.4)$$

D_c : İki iletken arası mesafe (mm)

r : İletkenin yarıçapı (mm)

L : Endüktans (mH/km)

Kapasitansa ulaşmak için (1.5)'ten yararlanılır.

$$C_B = \frac{\epsilon \cdot 10^3}{36 \cdot \ln \frac{2D_c}{d} \cdot \frac{(D_a^2 - D_c^2)}{(D_a^2 + D_c^2)}} \text{ (nF/km veya pF/m)} \quad (1.5)$$

D_c : İki iletken arası mesafe (mm)

d : İletken çapı (mm)

D_a : Öz büküm çapı (mm)

ϵ : Dielektrik sabiti

Çok damarlı simetrik kablolarda, yüksek frekanslarda, (1.6) formülü ile karakteristik empedans hesaplamaları yapılır [9].

$$Z_0 = \frac{276}{\sqrt{\epsilon}} \cdot \log \frac{d}{r_i} \quad (1.6)$$

ϵ : Dielektrik sabiti

d : İletken çapı (mm)

r_i : İzole et kalınlığı (mm)

Karakteristik empedans bilgisi sayesinde bir kablonun transfer empedansında ve ekranlama zayıflamasında yoruma gidilebilir. Karakteristik empedans, formülünden de anlaşılacağı üzere kablo uzunluğuna bağlı bir kavram değildir. Kablo boyu, iletken ve yalıtkan cinsine bağlıdır.

1.6.3.2 Elektriksel Uzun ve Elektriksel Kısa Devreler

İletim hattının elektriksel olarak uzun veya kısa olma durumu frekans, dielektrik katsayısı, kuplaj uzunluğu, ışık hızı gibi faktörlere bağlıdır. Kablonun elektriksel olarak uzun olması durumunda (1.7) formülü kullanılır [8].

$$f_c \cdot L_c \geq \frac{c}{\pi \cdot |\sqrt{\epsilon}|} \quad (1.7)$$

Kablonun elektriksel olarak kısa olması durumunda (1.8) formülü kullanılır.

$$f_c \cdot L_c \leq \frac{c}{\pi \cdot |\sqrt{\epsilon}|} \quad (1.8)$$

f_c : Kesim frekansı

L_c : Kuplaj uzunluğu (m)

c : Işık hızı (3×10^8 m/s)

ϵ : Dielektrik sabiti

Kablonun elektriksel kısa olması durumunda ekranlama etkinliği transfer empedansı üzerinden ölçülür. Kablonun elektriksel olarak uzun olması durumunda da ekranlama zayıflaması verileri kullanılır. Bölüm 1.4.3.5'te bu kavramların birbirleri arasındaki ilişkiden bahsedilmiştir.

1.6.3.3 Kuplaj Kavramı ve Kuplaj Uzunluğu

Bir elektriksel sinyali bir uçtan bir uca bağlamak için yapılan bağlantıya kuplaj denir. Deney altındaki bir kablonun, deney tüpü bağlantı başlangıcı ile sonlandırma direnci R_1 arasındaki mesafesi kuplaj uzunluğudur ve ölçülen en yüksek frekansa bağlıdır. Kuplaj uzunluğu aşağıda verilen (1.9) eşitliği ile ifade edilir.

$$L_{c, \text{en büyük}} \leq \frac{50 \cdot 10^6}{\sqrt{\epsilon} \cdot f_{\text{en büyük}}} \quad (1.9)$$

En küçük kuplaj uzunluğu 0,3 metre olmalıdır. Ölçülecek en büyük frekans, izin verilen en kısa kuplaj uzunluğu L_c , en küçük = 0,3 metre ile verilir [10].

$$f_{\text{en büyük}} \leq \frac{167 \cdot 10^6}{\sqrt{\epsilon}} \quad (1.10)$$

$L_{c, \text{en büyük}}$: En büyük kuplaj uzunluğu, m

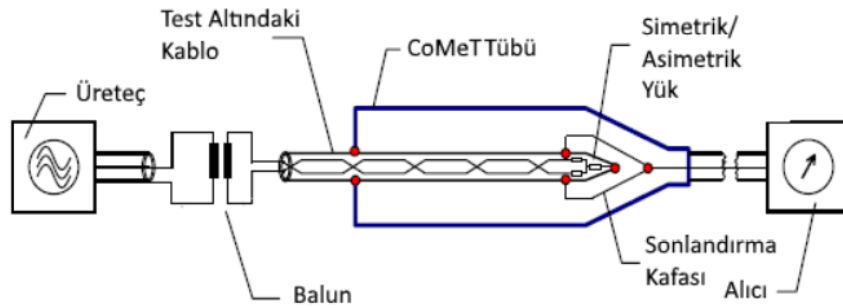
$f_{\text{en büyük}}$: En büyük frekans, (Hz)

ϵ : Dielektrik sabitidir.

Kuplaj uzunluğundaki dikkat edilmesi gereken nokta, uzunlukla çarpılan kablonun faz sabitinin 1'den daha az olmasıdır. Genel olarak 1 metrelik bir tüp 30 MHz'e kadar olan frekanslar için, 0,3 metrelik bir tüp 100 MHz'e kadar olan frekanslar için uygundur [10].

1.6.3.4 Kuplaj Zayıflaması

Kuplaj zayıflaması ve aynı zamanda gecikmelerin zayıflamalarını ölçmek için, diferansiyel sinyallere ihtiyaç vardır. Dengeli kablolarla diferansiyel sinyaller elde etmek için baluna ihtiyaç vardır. Balun, 50 Ω network analizörün dengesiz sinyallerini dengeli sinyallere çevirir.



Şekil 1.3 Balun kullanarak kuplaj zayıflaması ölçüm düzeneği

Bu yöntem dışında 180° faz kaydırma yöntemi ile iki jeneratöre sahip bir network analizörde dengeli sinyaller de elde edilebilir.

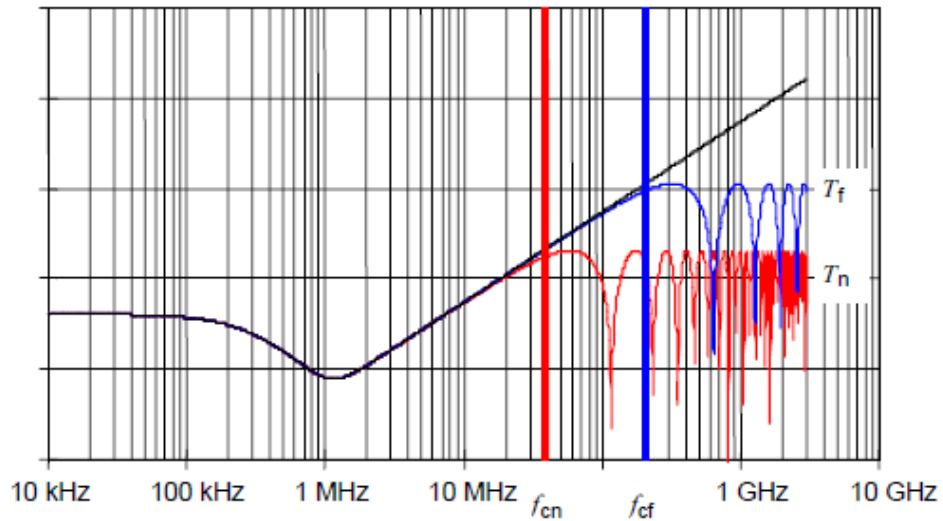
Bir başka yöntem ise çok portlu VNA (vektör network analizör) kullanarak ölçüm yapmaktır. Bu son iki yöntem de balunsuz yöntemler olarak geçer ve 3 GHz ve üstü için ölçüm imkanı sunar.

IEC 62153-4-9'a göre ekranlama zayıflamasını doğru ölçmek için, ölçüm yapılacak tüp uzunluğu en az 2 metre, kablo uzunluğunun da 100 metre (dengesiz zayıflamaları ölçmek için ideal uzunluk, çünkü uzunlukla doğru orantılı olarak zayıflamalar artmaktadır) olması gerekmektedir.

1.6.3.5 Kuplaj Transfer Fonksiyonu

Kuplaj transfer fonksiyonu $T_{n,f}$ ekranlama zayıflaması (a_s) ile transfer empedansı (Z_T) arasındaki ilişkidir. Simgedeki "n" harfi yakın ucu (near end), "f" harfi uzak ucu (far end) temsil eder [11]. Transfer empedansı (Z_T) elektriksel kısa olan (electrically short)

devrelerde düşük frekans aralıklarında ölçülür. Bu ölçüm $f_{cn,f}$ kesim frekansına (cut-off frequency) kadar yapılır. Tıpkı transfer empedansı (Z_T) gibi, ekranlama zayıflaması da (a_s) $f_{cn,f}$ kesim frekansına (cut-off frequency) kadar ölçülebilir. Bu ölçümde de elektriksel olarak uzun olan taraf etkilidir. Test altındaki kablonun uzunluğuna ve kablo tipine göre $f_{cn,f}$ kesim frekansı (cut-off frequency) değişir.



Şekil 1.4 Kuplaj transfer fonksiyonunun frekans değişimine göre grafiği [11]

Haberleşme kabloları için Transfer empedansı (Z_T), ekranlama zayıflaması (a_s) ve kuplaj zayıflamasının ölçümleri IEC 62153-4 standart serisinde ve EN 50289-1 standart serisinde Üç Eksenli Test Metodu'nda (Triaxial Test Method), Hat Enjeksiyon Metodu'nda (Line Injection Method) ve Emen Kelepçe Metodu'nda (Absorbing Clamp Method) anlatılmıştır.

1.6.3.6 Kesim Frekansı

Kesim frekansı (cut-off frequency) transfer empedansının ölçülebildiği maksimum frekanstır. Kablonun elektriksel olarak uzun olması durumunda (1.7) eşitliğinden faydalanarak çözüme gidilir [12]. Kesim frekansı (cut-off frequency) kabloun uzunluğuna bağlı bir değerdir. Şekil 1.4'ten görüldüğü üzere yakın uçtaki kesim frekansı ile uzak uçtaki kesim frekansı arasında kalan alan gri bölge olarak adlandırılır. Bu gri bölge deney altındaki kablonun uzunluğuna bağlı olarak değişir. Gri bölgenin sol tarafı elektriksel olarak kısa devreler için transfer empedansı verilerini, gri bölgenin sağ tarafı ise elektriksel olarak uzun devrelerin zayıflama verilerini barındırır. Bu sebeple birden

fazla kablo için yapılacak ölçümlerde deney altındaki kabloların uzunluğu eşit şekilde ayarlanmalıdır. Ölçümü yapılan kablonun uzunluğu ölçüm sonuçları paylaşılırken belirtilmelidir. Nitekim koaksiyel kabloların teknik dokümanları paylaşılırken dB/m ya da dB/100 m cinsinden zayıflama değerleri ifade edilmektedir. Ölçümler yapılırken farklı uzunluktaki kabloların zayıflama ölçüm değerleri farklı olacaktır. Bu sebeple standartlarda verilen düzeltme faktörleri formülleri ile dB/m ya da dB/100 m cinsine değerler uyarlanıp paylaşılır.

1.6.3.7 Transfer Empedansı

Ekranın etkinliğini ölçmede ve değerlendirmede kullanılan en yaygın parametrelerden birisi transfer empedans (Z_T) değeridir. Bu değer, kablo ekranının çevreden gelen elektrostatik deşarj (ESD) etkilerini ve DC 1000 MHz'e kadar olan frekans aralığında yayınımların karakteristiklerine ulaşmada sayısal olarak yorumlanabilir bir şekilde kullanılır.

Kablonun mutlak girişim seviyesi transfer empedansı değeri ile belirlenir. Kabloda ekran, iletkenden iletilen sinyal ile dış çevrede yayılmakta olan sinyallerin arasında bulunur. Transfer empedansı ölçerek bu kablo ekranının etkisi belirlenir [8]. Yani kısaca transfer empedansına kablo ekranının direnci denir. Transfer empedansı ölçme ve kullanılma yöntemleri IEC (International Electrotechnical Commission) tarafından belirlenir.

Elektriksel olarak kısa muntazam bir kablonun transfer empedansı Z_T , birim uzunluğa bağlı olarak dış devrede (ortam) endüklenen gerilimin iç devredeki (kablo) akıma oranı veya tersi olarak tanımlanır [10].

$$Z_T = \frac{V_2}{I_r \cdot L_c} \quad (1.11)$$

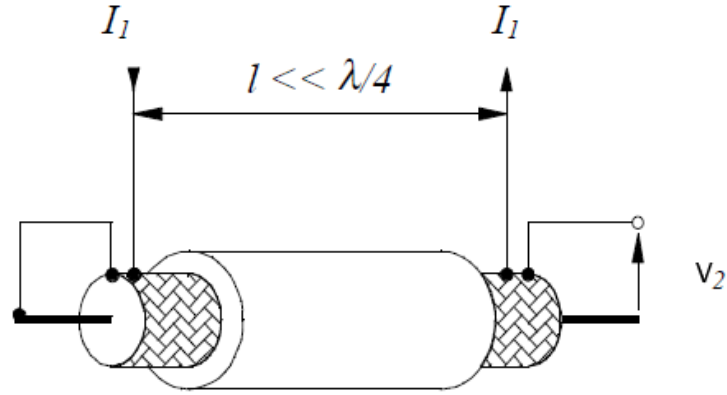
$$Z_T = 20 \log_{10} \left(\frac{|Z_T|}{1\Omega} \right) (\text{dB}) \quad (1.12)$$

olarak formülize edilir [13].

V_2 : Çıkış voltajı

I_r : Giriş akımı

L_c : Kuplaj uzunluğu



Şekil 1.5 Kablo üzerinde transfer empedansı [2]

1.6.3.8 Ekranlama Zayıflaması

Kablo ekranının etkinliğini ölçmede iki parametre kullanılır. Bunlardan biri transfer empedansı diğeri ise ekranlama zayıflamasıdır. Zayıflama, sinyal seviyesinin azalmasıdır [14]. Bir sinyalin, kabloda ekran elemanından geçerken, girişimler sonucu uğramış olduğu kayıba ekranlama zayıflaması denir. Ekranlama zayıflaması, elektriksel olarak uzun kabloların zayıflama davranışlarını açıklamak için uygun bir kriterdir. Maksimum beslenen gücün saçılan güce oranının logaritmik ifadesi olarak formülize edilir [10].

$$a_s = 10 \cdot \log \left| \frac{P_1}{P_2} \right| = 20 \cdot \log \left| \frac{V_1}{V_2} \right| \quad (1.13)$$

Ekranlama zayıflaması, transfer empedansı ile yakından ilişkili bir parametredir ve sıklıkla transfer empedansının etkisinde bu parametre ölçülerek kablo zayıflama tanımlamaları kataloglarda ve teknik dokümanlarda sunulur. Ekranlama zayıflaması ölçerken test altındaki devre ve jeneratör eşdeğer yapılmaz. Dolayısıyla empedans eşitleme devresine ihtiyaç duyulmaz. Sadece, uzak uçta test altındaki devre, kendi karakteristik empedansı ile eşdeğer olmalıdır. Elektriksel olarak uzun kablolar için kablo ekranının transfer empedansının frekansla doğrusal değiştiği frekans aralığında ekranlama zayıflaması uzunluktan ve frekanstan bağımsızdır. Uyumlu olmayan, dış devreden dolayı ekran boyunca elektromanyetik kuplajın ve yakın ve uzak uçta yayılan kısmi dalgaların üst üste ilavesinin neden olduğu uzak uçtaki V_2 geriliminde değişme

vardır. Dış devrenin yakın ucundaki kısa devrenin neden olduğu toplam yansıma, dış devrenin yakın ucundaki alıcıda yakın uç ve uzak uç yönlerinde yayılan kısmi dalgaların toplam gerilimini etkiler. Bu toplam gerilim, frekans aralıklarının üst üste bindirilmiş periyotları ile gerilimin değişimi olarak ölçülür. Dış devrenin karakteristik empedansı üst üste bindirmenin en büyük değerlerine göre önemsizdir [10].

1.7 Haberleşme Kablolarında Ekranlama Etkinliği Ölçmede Kullanılan Standartlar

Bir kablonun ekranlama etkinliğinin ölçülmesi için çeşitli ölçüm yöntemleri kullanılmaktadır. Günümüzde farklı firmaların sunduğu yöntemler veya kişisel olarak tasarlanan sistemlerle uygulanan çözümler bulunmaktadır. Firmaların kullandığı yöntemlerde, standartlarda belirtilen ortamlar, ölçüm mühendisliği yapan firmaların geliştirdiği sistemler ile sağlanmaktadır. Bu cihazlar bir çok firma tarafından test edilip cihazın uygulayıcı firmaların üretim ve ürün özelliklerine uygun olması durumunda ortak kabul görmekte, test raporlarında firmaya ait test cihazları da belirtilmektedir. Kişisel olarak tasarlanan yöntemlerde uygulayıcı kendi imkanları ile standartlarda bahsedilen ortamları kurup deneyleri gerçekleştirebilir. Büyük kablo firmaları kendi test laboratuvarlarını oluşturup testleri kendi bünyelerinde gerçekleştirmektedir. Diğer firmalar ise ihtiyacı olan testleri, ölçüm mühendisliği yapan akredite olmuş firmalara yaptırmaktadır.

Kablolarda ekranlama etkinliği ölçülürken izlenecek kurallar uluslararası ve bazı ulusal komitelerce belirlenmektedir. IEC 62153, TS/EN 50289, TS/EN 50117, IEC 61156-1, IEC-60793-1 bu standartlardan bazılarıdır ve sadece Türkiye ve Avrupa’da kullanılanlarıdır. Birçok ülkenin kendi elektriksel çalışma değerlerine göre hazırladığı standartları mevcuttur. Bu çalışmada ülkemizde ve Avrupa’da geçerli olan IEC 62153 ve TS/EN 50289 standart serilerinden faydalanılmıştır.

1.8 Kabloların Ölçümünde Kullanılan Yöntemler

Ekranlı dengeli kablolarda, ekranlama etkinliği ölçülürken hangi karakteristiğin ölçüleceğine karar verilip, test düzenekleri hazırlanmalıdır. Ölçme önceliği şu şekilde olmalıdır;

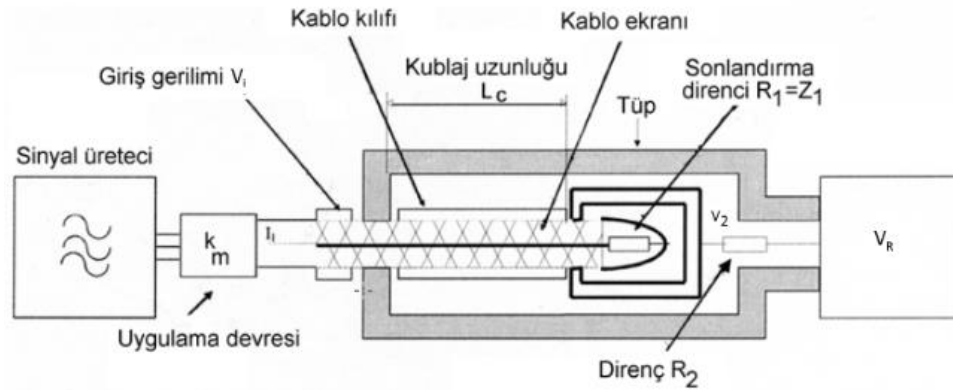
- Karakteristik empedans
- Transfer empedans
- Ekranlama zayıflaması

Transfer empedansı ve ekranlama zayıflaması ölçülürken; test altındaki kabloun perlerinin veya damarlarının tüm bağlantı uçları (hem giriş hem de çıkış tarafları) beraber bağlanmalıdır.

1.8.1 Üç Eksenli Test Metodu

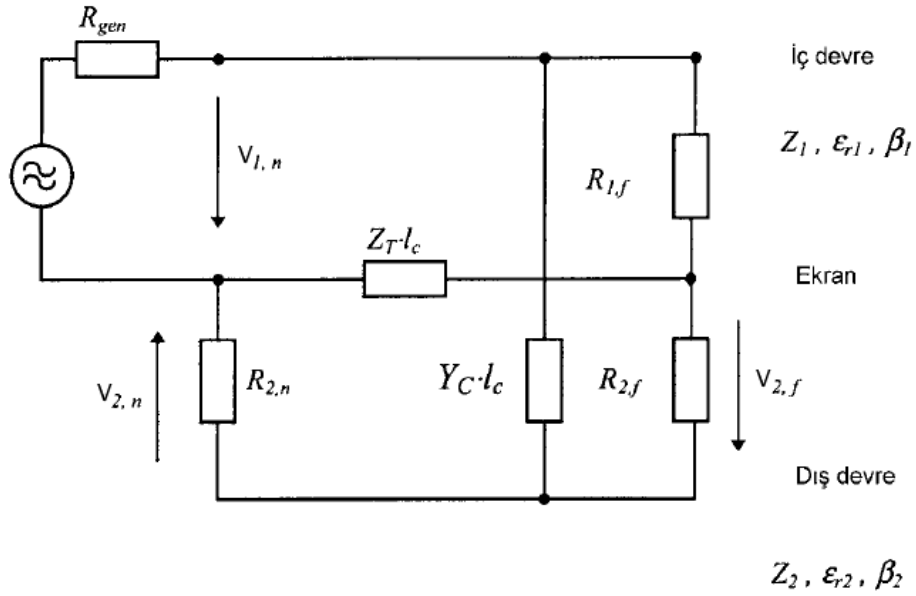
Bu çalışmada, TS EN 50289-1 ve IEC 62153-4 standart serilerinde bahsedilen, kablolarda ekranlama zayıflaması ölçümlerinde uygulayıcılar tarafından tercih edilen Üç Eksenli Test Metodu (Triaxial Test Method) uygulanmıştır. Dolayısı ile ölçümlerde yukarıdaki standartlardan faydalanılmıştır.

Zayıflamaları ölçmek için kullanılacak tüpün uzunluğu 30 MHz'e kadar olan ölçümlerde 1 metre, 100 MHz'e kadar olan ölçümlerde 0,3 metre olması uygundur. Ancak ölçümlerde uygulayıcı ile müşteri arasında daha önceden mutabakat sağlanan yöntemlerle testler gerçekleştirilebilir.



Şekil 1.6 TS EN 50289-1-6'ya göre Üç Eksenli Test Metodu deney düzeneği [10]

Şekil 1.6'dan görüleceği üzere dış sistemin iç iletkeni aynı zamanda iç sistemin dış iletkenine eşittir. İki sistemin kuplajı, transfer empedansına ve ekranın kapasitif kuplaj admitansına sebep olur. Eşlenik devre, yük direnci ve seri direnç düzenek devresinin yük koşullarını değiştirmek için kullanılırlar. Sinyal jeneratörü ve alıcı ile de farklı durumlar oluşturulabilir.



Şekil 1.7 Üç Eksenli Test Metodu eş değer devre gösterimi [10]

β_1 : İç devrenin faz sabiti

β_2 : Dış devrenin faz sabiti

ϵ_{r1} : İç devrenin bağıl dielektrik geçirgenliği

ϵ_{r2} : Dış devrenin bağıl dielektrik geçirgenliği

L_c : Kuplaj uzunluğu

M_T : Birim uzunluk başına etkin karşılıklı indüktans

Örgülü ekranlar için $M_T = M'_{12} - M''_{12}$ dir

M'_{12} doğrudan kaçak manyetik akı ile ve M''_{12} örgüdeki manyetik akı ile ilgilidir

R_{gen} : Üretcin çıkış direnci

$R_{1,f}$: Uzak uçtaki iç devrenin yük direnci

$R_{2,f}$: Uzak uçtaki dış devrenin yük direnci

$R_{2,n}$: Yakın uçtaki dış devrenin yük direnci

R_T : Birim uzunluk başına ekran direnci

$V_{1,n}$: Yakın uçtaki iç devreyi besleyen gerilim

$V_{2,f}$: Uzak uçtaki dış devreye kuplajlanan gerilim

$V_{2,n}$: Yakın uçtaki dış devreye kuplajlanan gerilim

Y_C : Birim uzunluk başına kapasitif transfer admitansı = $j\omega C_T$

Z_F : Birim uzunluk başına kapasitif kuplaj empedansı = $Z_1 Z_2 Y_C$

Z_1 : İç devrenin karakteristik empedansı

Z_2 : Dış devrenin karakteristik empedansı

Z_T : Birim uzunluk başına transfer empedansı = $R_T + j\omega M_T$

Üç Eksenli Test Metodu'nda eğer sinyal jeneratörü ile iç devrenin yani kablonun empedansı eşit ise K_m empedans uygunlaştırma devresine ihtiyaç kalmaz. Eğer iç devrenin empedansı ile sinyal jeneratörü empedansları birbirlerine uymuyorsa bir empedans uygunlaştırma devresine ihtiyaç vardır. Bu devre Bölüm 3.3.3'te anlatılmıştır.

Üç Eksenli Test Metodu hem uygulaması kolay hem de transfer empedans ve ekranlama zayıflama verilerine aynı düzeneden ulaşma imkanı sunmasından dolayı son yıllarda kablo sektöründe en fazla kullanılan yöntem haline gelmiştir. Bu test metodunun diğer avantajları ise aşağıda sıralanmıştır;

- Dışarıdan gelecek elektromanyetik etkilere karşı duyarsızdır,
- Test düzeneği elektromanyetik gücün dağılmasına izin vermez,
- Sistem 125 db'den daha yüksek bir dinamik aralığa sahiptir,
- Kurulumu basittir,
- Tekrarlanabilirliği kolay bir test düzeneğidir,
- Deney altındaki kablonun test düzeneğine montajı kolaydır,
- Tek ölçüm ile hem transfer empedans hem de ekranlama zayıflaması verilerine ulaşılabilir [4].

Üç Eksenli Test Metodu kendi içerisinde üç farklı yöntem ile ayrılır. Ölçümü yapılacak kablonun karakteristik empedansına göre ayrılan iki yöntem ve bu yöntemlerden farklı olarak üzerinde çalışılmakta olan kısa devre yöntemi mevcuttur. Bölüm 1.7.1.1'de bu üç yöntem anlatılmıştır.

1.8.1.1 Ekranlama Etkinliği Ölçme Yöntemleri

Dış Devrede Sönümlendirme Direnci ile Beraber Eşdeğer İç Devre Yöntemi

Bu yöntemde, iç devre, yani kablo, $R_1=Z_0$ eşdeğer direnci ile sonlanır. Bu iç devre jeneratör ile beslendiğinden bozucu devre olarak sayılır. Eğer iç devrenin (kablonun) empedansı bilinmiyorsa, bu değer ölçülüp bulunmalıdır. Dış devre kablo ekranının yakın ucunda kısa devre yapılmıştır. Ve uzak uçta R_2 sönümlendirme (damping) direnci

ile alıcıya bağlanmıştır. Eğer iç devrenin empedansı jeneratör empedansından farklı ise empedans eşleştirme adaptörleri kullanılır. Eğer empedans eşleştirme devresine sahip değilsek, IEC 62153-4-3 Annex B’de anlatıldığı gibi el yapımı bir empedans eşleştirme devresi de kullanılabilir. R_2 , (1.14) eşitliği yardımı ile hesaplanabilir.

$$R_2 = A \cdot 60 \ln \left(\frac{D}{d_s} \right) - 50 \quad (1.14)$$

$$A = \sqrt{2}$$

veya,

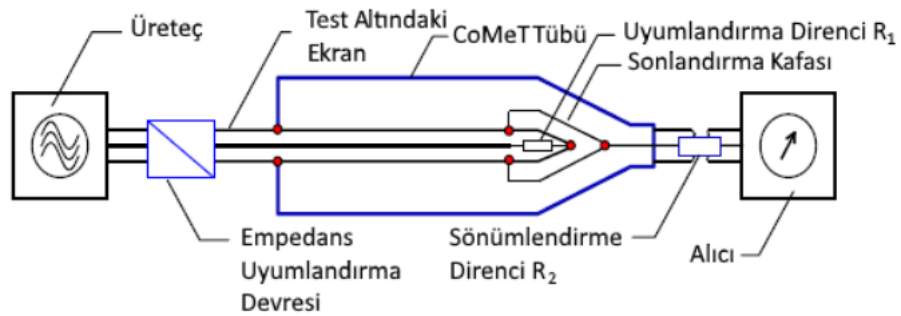
$$A = \sqrt{\frac{\epsilon_{r1}}{\epsilon_{r2}}}$$

D : Tüpün öz çapı

d_s : Kablo ekran üstü çapı

ϵ_{r1} : İç devrenin bağıl dielektrik geçirgenliği

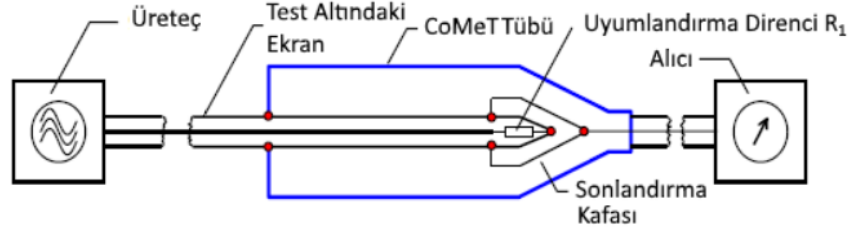
ϵ_{r2} : dış devrenin bağıl dielektrik geçirgenliği



Şekil 1.8 Dış devrede sönümleyici direnci ile eşdeğer iç devre bir arada

Sadece Uyumlandırma Direnci ile Beraber Dış Devre Yöntemi

Bu yöntemin prensibi de ilk yöntem ile aynıdır. İlk yöntem ile farklı olarak empedans eşitleme devresi ve dış devrede alıcıya giden sönümlendirme direnci kullanılmaz. Bu yöntem ile daha yüksek dinamik aralıklar elde edilir. Yükleme direnci R_1 , iç devrenin empedansı ile eşit veya jeneratör empedansı ile eşit olmalıdır.

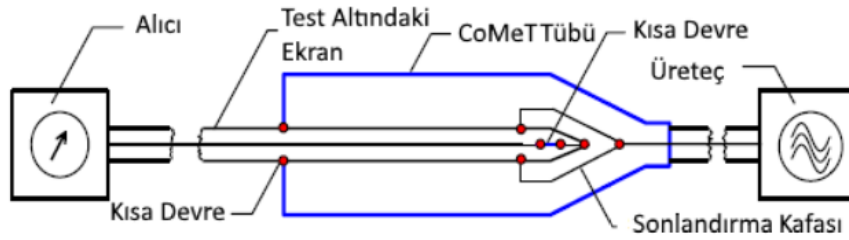


Şekil 1.9 Yükleme direnci ile iç devre, sönümlendirme direnci olmadan dış devre

Kısa Devre Yöntemi

Bu yöntemde, hem iç hem de dış devre kısa devre yapılır. R_1 ve R_2 dirençleri kaldırılır. Empedans eşleştirme devresi de kullanılmaz. Bu yöntemde jeneratör ve alıcı yer değiştirir. Jeneratör yakın uçta dış devreyi besler, iç devre de (test altındaki kablo) uzak uçta alıcıya bağlanmıştır. Bu yöntem, hassas bir yöntem olarak bilinir. Transfer empedansının düşük olduğu değerlerde ($1 \mu\Omega/m$ ve daha aşağısı) kullanılmaktadır.

Bu yöntemin avantajı, pratikliği ve hızlı bir çözüm sunmasıdır. Dezavantajları ise düşük bant genişliklerinde doğru sonuç vermemesi ve kablo empedansı ve jeneratör empedanslarının eşit olma zorunluluğunun olmasıdır. Aksi takdirde rezonanslarla sıklıkla karşılaşmaktadır.



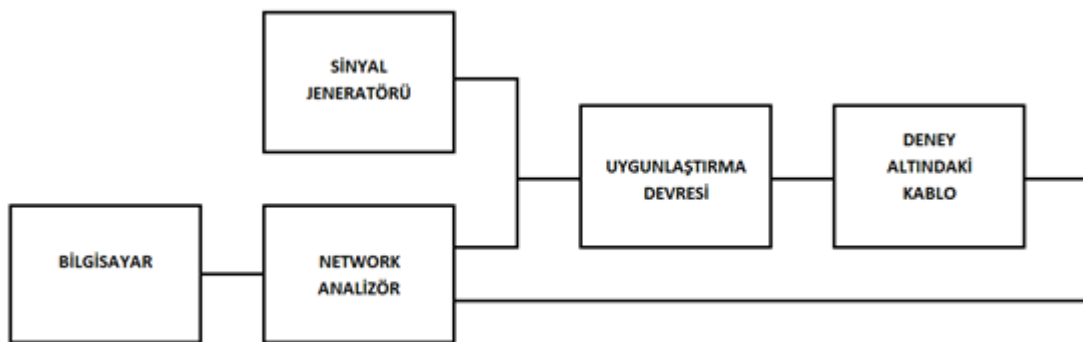
Şekil 1.10 Uyumsuz (mismatched) ve sönümlendirme direnci olmayan, hem iç hem dış devrede kısa devre

BÖLÜM 2

EKRANLAMA ETKİNLİĞİ ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

Kabloların ekranlama etkinliklerinin ölçülmesinde çeşitli firmaların yazılım ve donanım çözümleri mevcuttur. Bunun yanında standartlarda belirtilen materyallere ve sistemlere uygun kişisel olarak test ortamları da oluşturulabilmektedir. Kullanılan yazılımlar yardımı ile kablo ekranının davranışları gözlemlenebilmekte ve analizleri yapılabilmektedir. Ölçüm donanımları da simülasyonlardan ve teorik hesaplamalardan elde edilen verileri birbirleriyle kıyaslama imkanı sunmaktadır.

Ekranlama etkinliği ölçümü için aşağıdaki blok diyagramda verilen ölçüm sistemi düzeneği kullanılır. Bu ve bunun benzeri sistemlerde bulunan donanımlar ve yazılımlar aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.



Şekil 2.1 Kablo ekranlama zayıflaması ölçümü için genel bir blok diyagramı

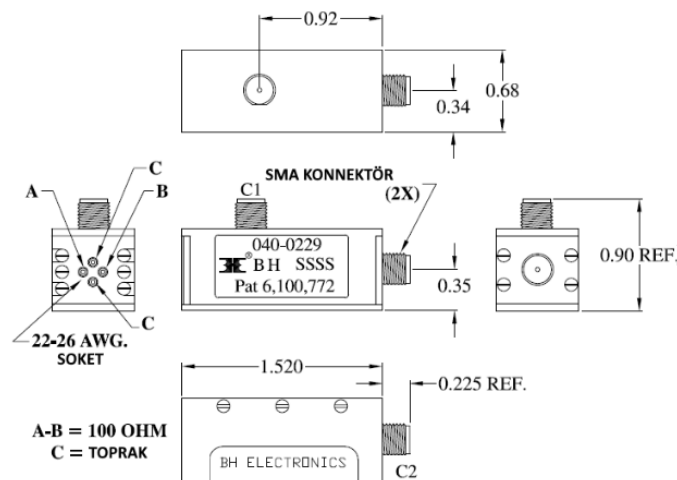
2.1 Ekranlama Etkinliği Ölçümünde Kullanılan Donanımlar

2.1.1 Balun

Dengeli ve dengesiz hatlar balun (balanced to unbalanced) adı verilen devre ile birbirlerine bağlanabilirler. Balun, dengesiz sinyali alır ve bunu içerisinde ters şekilde kopyalar. Dengesiz ve ters kopyalanmış dengesiz sinyali beraber göndererek dengeli sinyal şeklinde çıkış verir. Diğer bir kullanım şekli de, iki sinyalin farkını alır, bu sinyali gürültüden arındırarak tekrar dengesiz bir şekilde çıkış üretir. Balun bir dengeleme aracıdır. Pasif bir devre elemanıdır. Balunlar silindirik veya çember şeklinde bir ferit nüve üzerine, tel, tek damarlı veya çok damarlı kablo ile sarımlar yapılarak elde edilirler. İletişim hattı ve anten arasında, test cihazı ile test yapılacak devre arasında empedans, voltaj veya akımı dengelemek için kullanılırlar. Balun filtre görevi de görür. Sıklıkla empedans transferi işlemleri için kullanılır. Dengesiz portlarda (genellikle 50 Ω ve 75 Ω) şu oranlarda empedanslar elde etmek için kullanılırlar; 1:1, 1:2 ve 1:4. 50 Ω çıkışa sahip dengesiz bir sistemde 50:50 Ω , 50:100 Ω , 50:200 Ω dengeli çıkışlar üretirler [15].



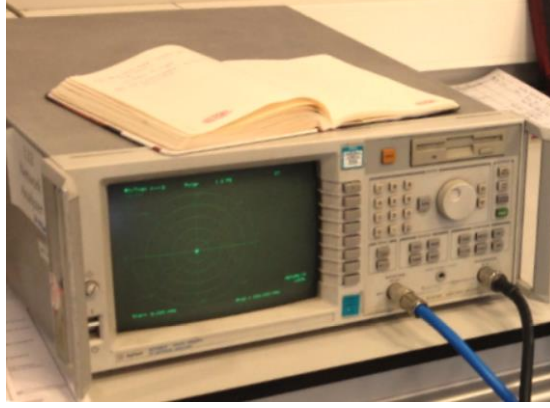
Şekil 2.2 Balun genel bir görüntü [16]



Şekil 2.3 Balun mekanik şematığı [17]

2.1.2 Agilent 8714ET Network Analizör

300 kHz ile 3000 MHz arasında, yansıma ve transmisyon parametreleri ölçümü yapabilen network analizör Agilent tarafından sunulmaktadır.



Şekil 2.4 Agilent 8714ET network analizör

Agilent 8714ET network analizör özellikleri;

- Dar ve geniş bant algılamasına sahiptir,
- 100 dB dinamik aralığa sahiptir,
- Gerçek zamanlı tarama hızı: 40 ms/sweep,
- Entegre T/R test düzeneğine sahiptir,
- 1 Hz çözünürlük ile sentezleyen kaynağa sahiptir,
- Standart LAN (local area network) arayüzüne sahiptir,
- Standart 2, 6, ve 12 port anahtarlama test düzeneğine sahiptir [18].

2.1.3 Emici Kelepçeler

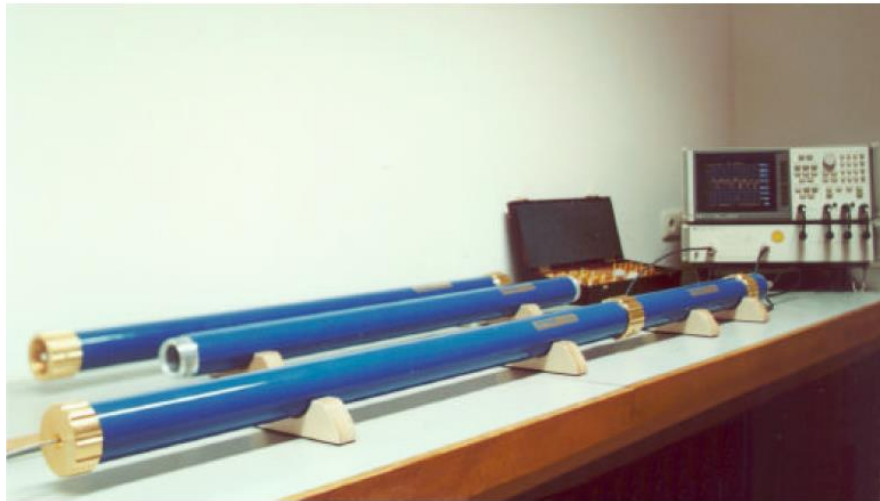
Emici kelepçeler (absorbing clamps), ferit kelepçelerden oluşan, elektromanyetik cihazlardan yayılan radyo frekanslarına karşı cihazın , kablounun veya konnektörün ekran dayanıklılığının ölçülmesinde kullanılan tüp yapısında bir ölçme sistemidir. Genellikle kablolar için 30 MHz - 1000 MHz arasında ölçümler yapılmasına olanak sağlar.



Şekil 2.5 Emici Kelepçeler [19]

2.1.4 CoMeT Ölçüm Cihazı

Elektronik cihazların artması ile EMC'nin (electromagnetic compability) etkisi önem kazanmıştır. EMC'nin ölçülüp bu ölçümlere göre elektrikli sistemlerin çalıştırılması ve konumlandırılması gerekmektedir. CoMeT (Coupling Measuring Tube) Ölçüm Cihazı, bir kablonun ekranlama etkinliğinin ölçülmesinde kullanılan, uluslararası standartların getirdiği yöntemlere göre hazırlanmış bir ölçüm sistemidir. Haberleşme kabloları ve aksesuarları için, transfer empedansı, ekranlama zayıflaması ve kuplaj zayıflaması ölçümlerinde kullanılır [20].



Şekil 2.6 Bedea CoMeT ekranlama etkinliği temel ölçüm düzeneği [4]

CoMeT ölçüm sistemleri IEC 62153-4 standard serisinin getirdiği metot olan Üç Eksenli Test Metodu'nu (Triaxial Test Method) kullanır. Ülkemizde de bu standart serisi ve bu standart serisinden türetilmiş TS EN 50289 serisinden faydalanılır.

Yukarıda bahsedilen standartların haricinde CoMeT ölçüm sistemleri diğer ölçme metotlarını da destekler. Yeni araştırmaların yapılmasına ve yeni test metotlarının

geliştirilmesi için üzerinde çalışılabilir. CoMeT sistemleri ile ölçme metotlarında kullanılan yöntemler aşağıdaki gibidir;

- Üç Eksenli Test Metodu (Triaxial Test Method)
- Emici Kelepçe Metodu (Absorbing Clamp Method)
- Tüp İçinde Tüp Metodu (Tube in Tube Procedure)
- Hat Enjeksiyon Metodu (Line Injection Method)

CoMeT ölçüm sistemleri kullanılarak;

- Çevresel faktörlerin elektromanyetik uyumluluk (EMC) etkisini minimuma indirir,
- Elektromanyetik güçlerin radyasyon etkilerini ölçülen düzeneğine yansıtmaz,
- Ölçüm aralığı yüksektir (>125 dB),
- Kolay bir şekilde ölçme sistemi kurulmasına olanak tanır,
- Deneyler rahatlıkla tekrarlanabilir,
- Ölçüm yapılacak kablonun hızlı bir şekilde hazırlanmasına olanak verir [4].

2.1.5 Karıştırıcı Modlu Elektromanyetik Yankı Odaları

Elektromanyetik yankılanma odası, elektronik ekipmanlarda elektromanyetik ölçümler yapmak için kullanılan elektriksel olarak büyük, yüksek derecede iletken, oyuk şeklinde veya oda şeklinde kapalı bir alandır. Karıştırıcı Modlu Yankı Odaları (Reverberation (Mode-Stirred) Chamber), EMC (elektromanyetik uyumluluk) ölçümlerinde kullanılan, dışarıdan herhangi bir sinyalin girmesine karşı ekranlanmış ve içerisinde test edilen araca karşı sinyallerin dolaşmasına ve yansımaya izin veren bir odadır. Bu odada yapılan EMC testleri genellikle 1 GHz ve üstü frekans aralığındadır. Kablolar için de ekranlama etkinliği ölçümleri, kablo sonlandırma direnci ile sonlandırıldığında, kablo kısa devre yapıldığında, kablo açık devre yapıldığında gibi kıstaslara bağlı olarak ölçümler yapılabilmektedir.

2.1.6 Lantek Kablo Test Cihazları

Dijital sinyal iletimi ölçümlerinde, ISO 11801 ve TIA 568-C gibi standartlara uygun ölçümlerde kablolarla ait NEXT, FEXT, ELFEXT, zayıflama, kapasitans, geri dönüş kaybı, empedans, gecikme gibi değerler bu test cihazları ile ölçülebilir. CAT kablolar başta olmak üzere koaksiyel ve fiber kablolarda ölçüm yapılır. Bu cihazlar, kabul görmüş belirli frekans aralıklarında hızlı çözüm sunarlar.



Şekil 2.7 Lantek 7G Kablo Test Cihazı

2.1.7 Fluke Kablo Analizörleri

Kablo analizörleri ile kabloya ait bakır kalitesi, zayıflama verileri, diyafoni ölçümleri, geri dönüş kaybı ölçümleri yapılabilmektedir. Hafızalarında yüklü standartların verileri ile ölçüm yaptığı verileri karşılaştırır. Bu cihazlarla gerekli ölçümler yapıp raporlanarak kabloların sertifikalandırılması yapılmaktadır.

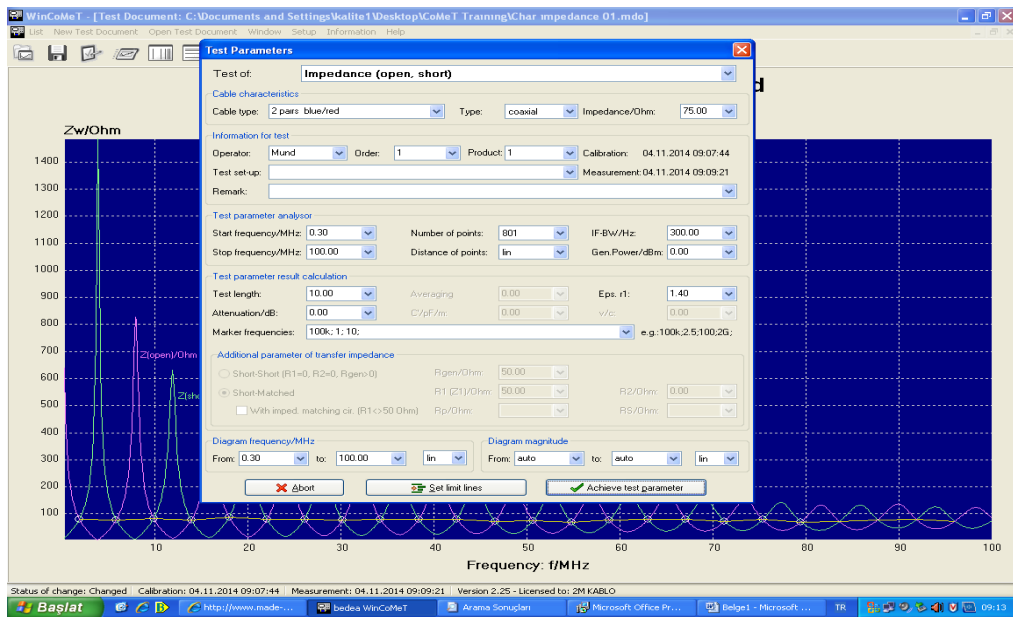


Şekil 2.8 Fluke DSX-500 Cable Analyzer marka kablo analiz cihazı [21]

2.2 Ekranlama Etkinliği Ölçümünde Kullanılan Yazılımlar

2.2.1 WinCoMeT Yazılımı

WinCoMeT, CoMeT ölçüm sisteminden gelen verileri okuma ve yorumlamada kullanılan, bedea Berkenhoff & Drebes GmbH firması tarafından geliştirilen, Windows işletim sistemine sahip bilgisayarlarda çalışan ölçme programıdır [20]. Bu yazılım kullanılarak, zayıflama, empedans, hız oranı, dengesiz zayıflama, yakın uç ve uzak uç diyafonisi, geri dönüş kaybı, dielektrik sabiti yansıması ölçümleri yapılabilir. Ölçüm yapıldıktan sonra veriler program bünyesinde kayıt yapılabilir, çeşitli dosya formatlarında (.xps, .pdf, .xls gibi) çıktı alınabilir. WinCoMeT, kablo sektöründe çoğunlukla kullanılan Rohde & Schwarz, Agilent gibi network analizör markaları ile uyumlu bir şekilde çalışır.



Şekil 2.9 WinCoMeT yazılımından genel bir görüntü

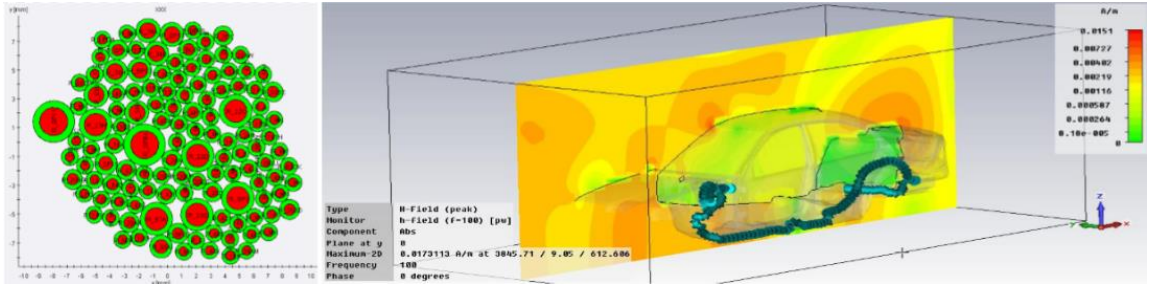
2.2.2 Matlab ve Yardımcı Modülleri

Matlab, dünya üzerinde milyonlarca mühendisin ve bilim insanının kullandığı bir mühendislik hesaplama, analiz ve simülasyon programıdır. Matlab yazılım ortamında geliştirilebilen bir çok farklı modülü ile de güçlü bir araçtır. Kablolardaki ekranlama etkinliği ve zayıflama üzerine gerek duyduğu donanımlarla uyumlu çalışabilir. Deney

altındaki kabloların EMC (electromagnetic compability) davranışlarının data analizleri yapılır.

2.2.3 CST Studio Suite ve CST Cable Studio

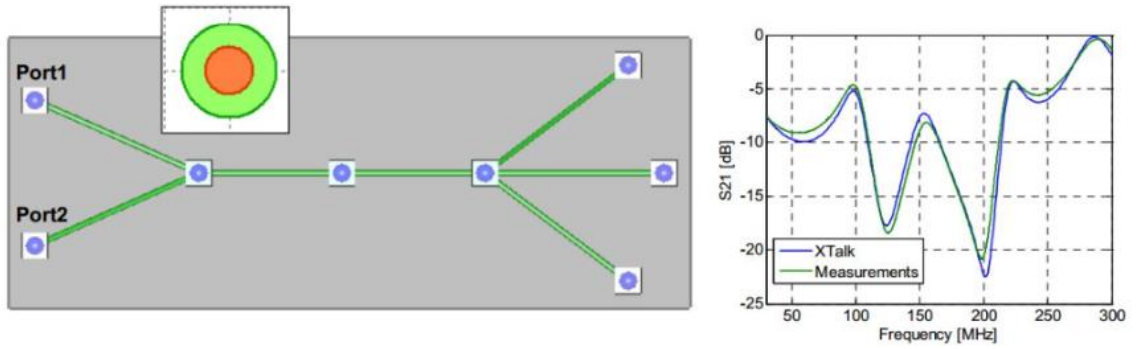
CST Studio Suite mühendislik yazılımı, bir dizayn, simülasyon ve optimizasyon programıdır. Çeşitli yapıların modellenmesine imkan sunarak EMI (elektromanyetik girişim) ve EMC (elektromanyetik uyumluluk) analizlerinin yapılmasında kullanılır. Ağırlıklı olarak savunma sanayisinde, askeri cihazlarda, silahlarda; havacılık, otomotiv sanayi gibi hatayı kabul etmeyen sektörlerde sıklıkla kullanılan bu program ile kabloların da elektromanyetik uyumluluğu analiz modülü ile beraber incelenebilmektedir. CST Cable Studio kablolarda ve kablo konnektörlerinde modelleme, analiz ve simülasyon yapılabilen bir yazılımdır. Kablolarda S Parametreleri hesaplamaları, diyafoni etkisi, transfer empedansı, kablo ekranının etkinliği hesaplanıp ölçülebilmektedir. 3 boyutlu simülasyon modülü ile beraber ise kabloya ve bağlantı ekipmanına etki edecek girişimlerin simülasyonu yapılabilir.



Şekil 2.10 CST Cable Studio ile EMI simülasyonu yapılan otomobil kablosu demeti [22]

2.2.4 EMCoS Simülasyon Programı

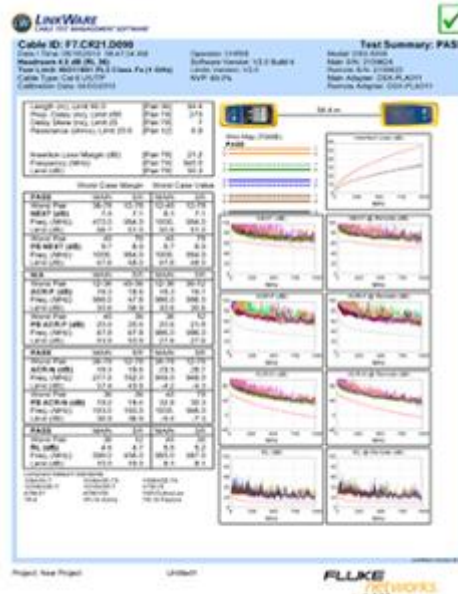
Bilimsel ve endüstriyel problemlerin modellemesinin yapılabildiği bu programda kabloların diyafoni, EMC vb. simülasyonları yapılabilir. EMCoS Simülasyon Programı elektromanyetik alan hesabı ve veri işleme üzerine ayrıntılı hesaplamalar yapabilen bir yazılımdır.



Şekil 2.11 EMCos ile kablo ek yerlerinin diyafoni etkisi üzerine örnek bir tasarım ve simülasyon sonuçları

2.2.5 LinkWare Kablo Analiz Programı

Aşağıda örnek bir rapor ekran görüntüsü verilen yazılım kullanılarak Fluke test cihazları ile ölçümü yapılan kabloların, bilgisayar aracılığı ile analiz yapılabilmektedir. Veriler kaydedilip, kablo yerleşim düzenleri birbirleri arasında karşılaştırılabilir. Test ekipmanlarından gelen test sonuçları rapor formatında ayarlanabilir [23].



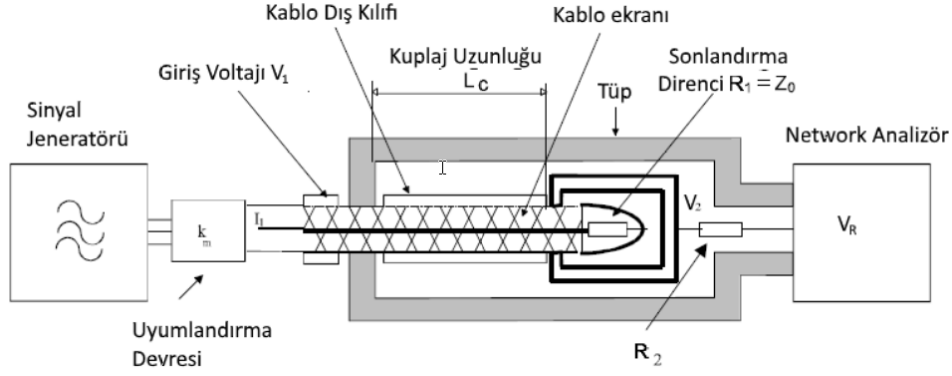
Şekil 2.12 LinkWare Analiz Programı aracılığı ile alınan örnek bir rapor

ENSTRUMENTASYON KABLOLARININ ÖLÇÜMLERİ

Kablo sektöründe piyasa araştırması yapıldığında en çok satılan beş farklı tipteki kablo, ölçümleri yapılmak üzere seçilmiştir. Ölçümlerin amacı, farklı ekranlama yapılarından oluşan seçilmiş kablolardan hangisinin girişimlere karşı daha dayanıklı olduğunu bulmaktır. Bulunan sonuçlar üzerinde en doğru yapının hangi ekranlama elemanları ile sağlandığı değerlendirilmiştir. Ölçüm sistemi olarak, frekans aralığı geniş, etkin ve doğru sonuçlar alınmasına olanak sağlayan ve uygulayıcılar tarafından kabul gören Bölüm 2.2.4'te bahsedilen CoMeT Ölçüm Cihazı ve Bölüm 2.1.1'de bahsedilen WinCoMeT yazılımı ölçme sistemi olarak seçilmiştir.

3.1 Ölçüm Sistemi Yönteminin Belirlenmesi

Ölçüm sistemi, deney altındaki kablonun elektriksel özelliklerine göre belirlenen pasif ve aktif devre elemanları ile oluşturulan bir sistemdir. Sinyal üretici, network analizör, uyumlandırma devresi, sonlandırma direnci bu sistemi oluşturan ana elemanlardır. Bölüm 1.7'de anlatılan Üç Eksenli Test Metodu'nun (Triaxial Test Method) iki ayrı oluşturulma yöntemi Dış Devrede Sönümlendirme Direnci ile Beraber Eşdeğer İç Devre Yöntemi ve Sadece Uyumlandırma Direnci ile Beraber Dış Devre Yöntemi bu çalışmada kullanılmıştır. Ölçüm düzeneklerinin blok diyagramları Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'deki gibidir [10].



Şekil 3.1 Uyumlandırma devreli deney düzeneği blok diyagramı

V_1 : Giriş voltajı

V_2 : Çıkış voltajı

L_c : Kuplaj uzunluğu

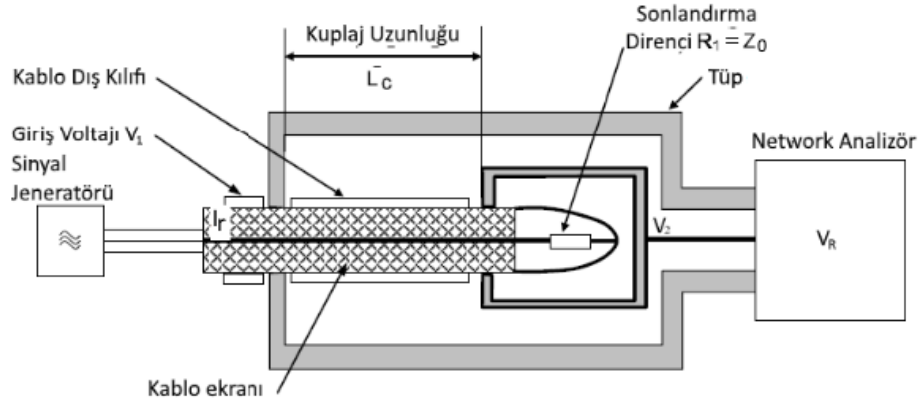
R_1 : Sonlandırma direnci

R_2 : Sönümlendirme direnci

Z_0 : İç devrenin karakteristik empedansı

Bu ölçüm düzeneğinin avantajı yüksek kesim frekansı sağlamasıdır. Dezavantajı ise kullanılan empedans uyumlama devresi ile sönümlendirme direncinin dinamik aralığa olan negatif etkisidir. Bu düzeneğindeki R_1 direnci iç devrenin, yani kablonun karakteristik empedansına en fazla %10'luk bir farkla yakın veya eşit olması gerekir. Kablonun karakteristik empedansı öncelikle teorik olarak hesaplanmış, daha sonrasında network analizör ile ölçülüp doğrulanmıştır. Blok diyagramdaki R_2 direnci sönümlendirme direnci (damping resistor) olarak kullanılmıştır. Sinyal jeneratöründen sonra network analizörün 50 Ω 'luk empedansını, sistemin empedansına uyumlandıracak bir empedans uyumlandırma devresi kullanılmıştır.

Kablonun karakteristik empedansının alıcı ve verici network analizörün empedansı ile eşit olması durumunda IEC 62153-4-3 Test Metodu B ve EN 50289-1-6 standartlarına göre test düzeneği hazırlanmalıdır. Ölçümlerin yapılacağı düzeneğin blok diyagramı Şekil 3.2'deki gibidir.



Şekil 3.2 Eşit empedanslı deney düzeneği blok diyagramı

I_r : Giriş akımı

V_1 : Giriş voltajı

V_2 : Çıkış voltajı

L_c : Kuplaj uzunluğu

Z_0, R_1 : Sonlandırma direnci

Bu ölçüm yönteminin bir önceki yönetime göre frekans dinamik aralığı daha fazladır. R_1 direnci iç devrenin yani kablunun empedansına eşit olmalıdır. Bu empedans da sinyal jeneratörü ve network analizöre eşit olup maksimum güç iletimi sağlanmalıdır.

Üç Eksenli Test Metodu'nun ölçüm yöntemlerinden olan bu iki yöntem ile kabloya ait transfer empedansı ve ekranlama zayıflaması birlikte ölçülebilir.

3.2 Deney Altındaki Kabloların Teknik Özellikleri

Ölçüm için seçilen kablolar aşağıdaki gibidir.

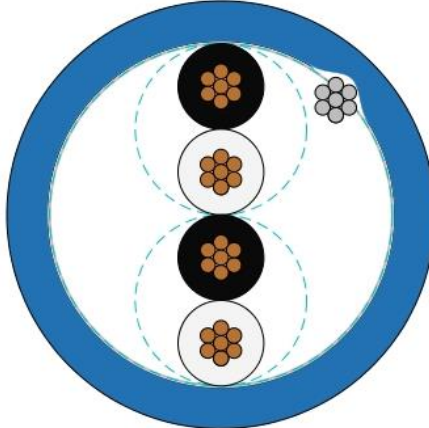
- RE-Y(St)Y-fl 2x2x0.5 mm²
- RE-2X(St)Y-fl 2x2x0.5 mm²
- RE-Y(St)YSWBY-fl 2x2x0.5 mm²
- RE-Y(St)Y-fl-PiMF 2x2x0.5 mm²
- RE-Y(St)YSWBY-fl-PiMF 2x2x0.5 mm²

Kablolar seçilirken, CoMeT Ölçüm Cihazı için uygun boyutlu olmaları gözetilmiştir. Ekranlama zayıflaması için ALPES folyo, toprak teli ve örgü teli gibi kablo elemanlarının etkileri incelenmiştir. Bu sebeple kabloların kesit alanları ve izole et kalınlıkları aynı

seçilmiştir. Temel enstrumantasyon kablosu yapısını temsil eden bu kabloların yapı bilgisi, teknik ve elektriksel özellikleri Çizelge 3.1'den, Çizelge 3.10'a kadar olan çizelgelerde verilmiştir.

RE-Y(St)Y-fl 2x2x0.5 mm² (Kablo₁)

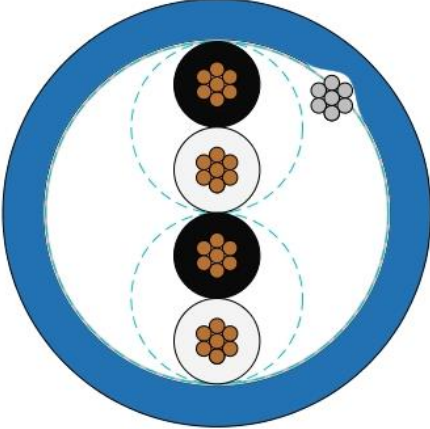
Çizelge 3.1 RE-Y(St)Y-fl 2x2x0.5 mm² yapısı

	
Kablo Yapısı	
İletken	Tavlı, bükülü bakır teller (IEC 228, HD 383, BS 6360, VDE 0295 Class 2)
İzole	PVC (EN 50290-2 / VDE 0207 YI1)
Damar Renkleri	Çift siyah / beyaz, numaralı
Büküm	Çiftler katlar halinde beraber bükülür
Ayırıcı	Polyester bant
Genel Ekranlama	AL-PES bant (7x0.30 mm kalaylı bakır topraklama teli ile)
Kılıf	UV Dayanıklı, Alevi Geciktirici PVC (VDE 0207 YM1/HD 21.1.S4 TM1), Mavi (RAL 5015)
KABLO ÇAPI (mm)(±%5)	7.28
BAKIR AĞIRLIĞI (Kg/Km)	22.1
KABLO AĞIRLIĞI (Kg/Km)	59.861
Referans Standartlar	BS 5308 part1, part2; EN 50288-7; VDE 0815

Çizelge 3.2 RE-Y(St)Y-fl 2x2x0.5 mm² teknik özellikleri

Teknik ve Elektriksel Özellikler (20°C)	
İletken (Cu) (tel sayısı x tel çapı)	7x0.30 mm
İzole Et Kalınlığı (nom.mm)	0.40
İletken Direnci (max. Ω/km)	36
L/R Oranı (max.)	25 µH/Ω
Çalışma Gerilimi	300V / 500 V
Test Gerilimi	Damar/damar 2000 V Damar/ekran 1000 V
Kapasite (800 Hz) max.nF/km	170
Kapasite Dengesizliği (max.)	500 pF / 500m
İzolasyon Direnci (min. M.Ωxkm)	100
İşletme Sıcaklığı	sabit -40°C.....+70°C tesis sırasında -5°C.....+50°C
Min. Bükülme Yarıçapı (sabit)	7.5 x Kablo çapı
Oksijen İndeksi	Min.%29
Alev Testleri	IEC/EN 60332-1, IEC 60332-3-22 (CAT-A), (BS 4066 part 1&3), EN 50266-2-2
Yağa Dayanım Testi (IEC 60811)	ASTM No 2 yağı 70°C 4 saat

RE-2X(St)Y-fl 2x2x0.5 mm² (Kablo₂)Çizelge 3.3 RE-2X(St)Y-fl 2x2x0.5 mm² yapısı

	
Kablo Yapısı	
İletken	Tavlı, bükülü bakır teller (IEC 228, HD 383, BS 6360, VDE 0295 Class 2)
İzole	XLPE
Damar Renkleri	Çift siyah / beyaz, numaralı
Büküm	Çiftler katlar halinde beraber bükülür
Ayırıcı	Polyester bant
Genel Ekranlama	AL-PES bant (7x0.30 mm kalaylı bakır topraklama teli ile)
Kılıf	UV Dayanıklı, Alevi Geciktirici PVC (VDE 0207 YM1/HD 21.1.S4 TM1), Mavi (RAL 5015)
KABLO ÇAPI (mm)(±%5)	7.28
BAKIR AĞIRLIĞI (Kg/Km)	20.1
KABLO AĞIRLIĞI (Kg/Km)	58.85
Referans Standartlar	BS 5308 part1, part2; EN 50288-7; VDE 0815

Çizelge 3.4 RE-2X(St)Y-fl 2x2x0.5 mm² teknik özellikleri

Teknik ve Elektriksel Özellikler (20°C)	
İletken (Cu) (tel sayısı x tel çapı)	7x0.30 mm
İzole Et Kalınlığı (nom.mm)	0.40
İletken Direnci (max. Ω/km)	36
L/R Oranı (max.)	25 µH/Ω
Çalışma Gerilimi	300V / 500 V
Test Gerilimi	Damar/damar 2000 V Damar/ekran 1000 V
Kapasite (800 Hz) max.nF/km	85
Kapasite Dengesizliği (max.)	500 pF / 500m
İzolasyon Direnci (min. M.Ωxkm)	5000
İşletme Sıcaklığı	sabit -40°C.....+90°C tesis sırasında -5°C.....+50°C
Min. Bükülme Yarıçapı (sabit)	7.5 x Kablo çapı
Oksijen İndeksi	Min.%29
Alev Testleri	IEC/EN 60332-1, IEC 60332-3-22 (CAT-A), (BS 4066 part 1&3), EN 50266-2-2
Yağa Dayanım Testi (IEC 60811)	ASTM No 2 yağı 70°C 4 saat

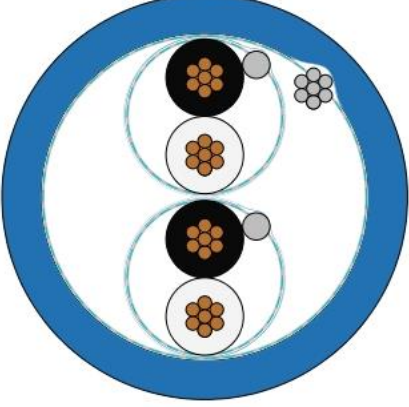
RE-Y(St)YSWBY-fl 2x2x0.5 mm² (Kablo₃)Çizelge 3.5 RE-Y(St)YSWBY-fl 2x2x0.5 mm² yapısı

	
Kablo Yapısı	
İletken	Tavlı, bükülü bakır teller (IEC 228, HD 383, BS 6360, VDE 0295 Class 2)
İzole	PVC (EN 50290-2 / VDE 0207 YI1)
Damar Renkleri	Çift siyah / beyaz, numaralı
Büküm	Çiftler katlar halinde beraber bükülür
Ayırıcı	Polyester bant
1. Ekran	AL-PES bant (7x0.30 mm kalaylı bakır topraklama teli ile)
Ara Kılıf	PVC (EN 50290-2 / VDE 0207 YM1 / HD 21.1.S4 TM1), Siyah
2. Ekran	Galvanizli çelik tel örgü (0.3 mm, kapama %75)
Kılıf	UV Dayanıklı, Alevi Geciktirici PVC (VDE 0207 YM1/HD 21.1.S4 TM1), Mavi (RAL 5015)
KABLO ÇAPI (mm)(±%5)	10.28
BAKIR AĞIRLIĞI (Kg/Km)	22.1
KABLO AĞIRLIĞI (Kg/Km)	150.418
Referans Standartlar	BS 5308 part1, part2; EN 50288-7; VDE 0815

Çizelge 3.6 RE-Y(St)YSWBY-fl 2x2x0.5 mm² teknik özellikleri

Teknik ve Elektriksel Özellikler (20°C)	
İletken (Cu) (tel sayısı x tel çapı)	7x0.30 mm
İzole Et Kalınlığı (nom.mm)	0.40
İletken Direnci (max. Ω/km)	36
L/R Oranı (max.)	25 µH/Ω
Çalışma Gerilimi	300V / 500 V
Test Gerilimi	Damar/damar 2000 V Damar/ekran 1000 V
Kapasite (800 Hz) max.nF/km	170
Kapasite Dengesizliği (max.)	500 pF / 500m
İzolasyon Direnci (min. M.Ωxkm)	100
İşletme Sıcaklığı	sabit -40°C.....+70°C tesis sırasında -5°C.....+50°C
Min. Bükülme Yarıçapı (sabit)	10 x Kablo çapı
Oksijen İndeksi	Min.%29
Alev Testleri	IEC/EN 60332-1, IEC 60332-3-22 (CAT-A), (BS 4066 part 1&3), EN 50266-2-2
Yağa Dayanım Testi (IEC 60811)	ASTM No 2 yağı 70°C 4 saat

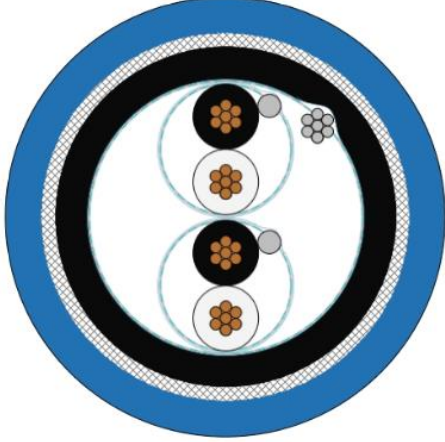
RE-Y(St)Y-fl-PiMF 2x2x0.5 mm² (Kablo₄)Çizelge 3.7 RE-Y(St)Y-fl-PiMF 2x2x0.5 mm² yapısı

	
Kablo Yapısı	
İletken	Tavlı, bükülü bakır teller (IEC 228, HD 383, BS 6360, VDE 0295 Class 2)
İzole	PVC (EN 50290-2 / VDE 0207 YI1)
Damar Renkleri	Çift siyah / beyaz, numaralı
Bireysel Ayırıcı	Polyester bant
Bireysel Ekran	AL-PES bant (0.60 mm kalaylı bakır topraklama teli ile)
Bireysel Ayırıcı	Polyester bant
Büküm	Ekranlanmış çiftler katlar halinde beraber bükülür
Ayırıcı	Polyester bant
Genel Ekran	AL-PES bant (7x0.30 mm kalaylı bakır topraklama teli ile)
Kılıf	UV Dayanıklı, Alevi Geciktirici PVC (VDE 0207 YM1/HD 21.1.S4 TM1), Mavi (RAL 5015)
KABLO ÇAPI (mm)(±%5)	8.18
BAKIR AĞIRLIĞI (Kg/Km)	27.16
KABLO AĞIRLIĞI (Kg/Km)	74.249
Referans Standartlar	BS 5308 part1, part2; EN 50288-7; VDE 0815

Çizelge 3.8 RE-Y(St)Y-fl-PiMF 2x2x0.5 mm² teknik özellikleri

Teknik ve Elektriksel Özellikler (20°C)	
İletken (Cu) (tel sayısı x tel çapı)	7x0.30 mm
İzole Et Kalınlığı (nom.mm)	0.40
İletken Direnci (max. Ω/km)	36
L/R Oranı (max.)	25 µH/Ω
Çalışma Gerilimi	300V / 500 V
Test Gerilimi	Damar/damar 2000 V Damar/ekran 1000 V
Kapasite (800 Hz) max.nF/km	220
Kapasite Dengesizliği (max.)	500 pF / 500m
İzolasyon Direnci (min. M.Ωxkm)	100
İşletme Sıcaklığı	sabit -40°C.....+70°C tesis sırasında -5°C.....+50°C
Min. Bükülme Yarıçapı (sabit)	7.5 x Kablo çapı
Oksijen İndeksi	Min.%29
Alev Testleri	IEC/EN 60332-1, IEC 60332-3-22 (CAT-A), (BS 4066 part 1&3), EN 50266-2-2
Yağa Dayanım Testi (IEC 60811)	ASTM No 2 yağı 70°C 4 saat

RE-Y(St)YSWBY-fl-PiMF 2x2x0.5 mm² (Kablo₅)Çizelge 3.9 RE-Y(St)YSWBY-fl-PiMF 2x2x0.5 mm² yapısı

	
Kablo Yapısı	
İletken	Tavlı, bükülü bakır teller (IEC 228, HD 383, BS 6360, VDE 0295 Class 2)
İzole	PVC (EN 50290-2 / VDE 0207 YI1)
Damar Renkleri	Çift siyah / beyaz, numaralı
Bireysel Ayırıcı	Polyester bant
Bireysel Ekran	AL-PES bant (0.60 mm kalaylı bakır topraklama teli ile)
Bireysel Ayırıcı	Polyester bant
Büküm	Ekranlanmış çiftler katlar halinde beraber bükülür
Ayırıcı	Polyester bant
1. Genel Ekran	AL-PES bant (7x0.30 mm kalaylı bakır topraklama teli ile)
Ara Kılıf	PVC (EN 50290-2 / VDE 0207 YM1 / HD 21.1.S4 TM1), Siyah
2. Genel Ekran	Galvanizli çelik tel örgü (0.3 mm, kapama %75)
Kılıf	UV Dayanımlı, Alevi Geciktirici PVC (VDE 0207 YM1/HD 21.1.S4 TM1), Mavi (RAL 5015)
KABLO ÇAPI (mm)(±%5)	11.28

Çizelge 3.9 RE-Y(St)YSWBY-fl-PiMF 2x2x0.5 mm² yapısı (devamı)

BAKIR AĞIRLIĞI (Kg/Km)	27.16
KABLO AĞIRLIĞI (Kg/Km)	174.792
Referans Standartlar	BS 5308 part1, part2; EN 50288-7; VDE 0815

Çizelge 3.10 RE-Y(St)YSWBY-fl-PiMF 2x2x0.5 mm² teknik özellikleri

Teknik ve Elektriksel Özellikler (20°C)	
İletken (Cu) (tel sayısı x tel çapı)	7x0.30 mm
İzole Et Kalınlığı (nom.mm)	0.40
İletken Direnci (max. Ω/km)	36
L/R Oranı (max.)	25 µH/Ω
Çalışma Gerilimi	300V / 500 V
Test Gerilimi	Damar/damar 2000 V Damar/ekran 1000 V
Kapasite (800 Hz) max.nF/km	220
Kapasite Dengesizliği (max.)	500 pF / 500 m
İzolasyon Direnci (min. M.Ωxkm)	100
İşletme Sıcaklığı	sabit -40°C.....+70°C tesis sırasında -5°C.....+50°C
Min. Bükülme Yarıçapı (sabit)	10 x Kablo çapı
Oksijen İndeksi	Min.%29
Alev Testleri	IEC/EN 60332-1, IEC 60332-3-22 (CAT-A), (BS 4066 part 1&3), EN 50266-2-2
Yağa Dayanım Testi (IEC 60811)	ASTM No 2 yağı 70°C 4 saat

Çalışmada, ifade bakımından kolaylık sağlaması için kablo isimlendirmeleri aşağıdaki gibi kısaltılmıştır.

- RE-Y(St)Y-fl 2x2x0.5 mm² için Kablo₁,
- RE-2X(St)Y-fl 2x2x0.5 mm² için Kablo₂,
- RE-Y(St)YSWBY-fl 2x2x0.5 mm² için Kablo₃,
- RE-Y(St)Y-fl-PiMF 2x2x0.5 mm² için Kablo₄,
- RE-Y(St)YSWBY-fl-PiMF 2x2x0.5 mm² için Kablo₅.

3.3 Kabloların Çalışma Frekansı Aralıkları

Enstrumantasyon kablolarının çalışma frekans aralıkları 10 MHz – 100 MHz arasındadır. Bu frekans aralığı yüksek ve çok yüksek frekans bantlarına tekabül eder. Bahsedilen bu frekanslar dışında daha yüksek frekanslarda nadiren kullanımları mevcuttur. Özellikle 80 MHz’de enstrumantasyon kabloları sıkça kullanılırlar.

Çizelge 3.11 Frekans spektrumu tablosu

Frekans İsim	Sembol	Aralık - Titreşim Sayısı	Dalgaboyu
Aşırı alçak frekans	ELF	3 Hz ile 30 Hz	10.000 km ile 100.000 km
Süper alçak frekans	SLF	30 Hz ile 300 Hz	1000 km ile 10.000 km
Ses frekansı	ULF	300 Hz ile 3 kHz	100 km ile 1000 km
Çok alçak frekans	VLF	3 kHz ile 30 kHz	10 km ile 100 km
Alçak frekans	LF	30 kHz ile 300 kHz	1 km ile 10 km
Orta frekans	MF	300 kHz ile 3 MHz	100 m ile 1 km
Yüksek frekans	HF	3 MHz ile 30 MHz	10 m ile 100 m
Çok yüksek frekans	VHF	30 MHz ile 300 MHz	1 m ile 10 m
Ultra yüksek frekans	UHF	300 MHz ile 3 GHz	10 cm ile 100 cm
Süper yüksek frekans	SHF	3 GHz ile 30 GHz	1 cm ile 10 cm
Aşırı yüksek frekans	EHF	30 GHz ile 300 GHz	1 mm ile 10 mm

3.4 Ölçüm Sisteminde Kullanılacak Devre Elemanlarının Tayini

3.4.1 Sonlandırma Direnci Hesabı

Ölçüme başlanmadan önce bakılması gereken ilk parametre kablonun karakteristik empedanstır. Kablonun karakteristik empedans değeri kaynak ile aynı olmalıdır. Aksi takdirde kaynak ile yük arasında maksimum güç transferi sağlanamaz ve elde edilen veriler yanıltıcı olur. Kablonun karakteristik empedansının alıcı ve verici network analizörün empedansından farklı olması durumunda IEC 62153-4-3 Test Method A ve EN 50289-1-6 6.2.4'e göre bir test düzeneği hazırlanmalıdır. Ölçümlerin yapılacağı düzeneğin blok diyagramı Şekil 3.1'deki Üç Eksenli Test Metodu blok diyagramında gösterilmiştir.

Teorik Hesaplamalar

R_1 direncini bulmak Şekil 3.1'deki blok diyagramdan görüleceği üzere kablonun karakteristik empedansını yani Z_0 'ı bulmak demektir. Deney altındaki kabloların karakteristik empedanslarını tarif etmek için aşağıdaki kısaltmalar kullanılmıştır.

- RE-Y(St)Y-fl 2x2x0.5 mm² için Z_{01} ,
- RE-2X(St)Y-fl 2x2x0.5 mm² için Z_{02} ,
- RE-Y(St)YSWBY-fl 2x2x0.5 mm² için Z_{03} ,
- RE-Y(St)Y-fl-PiMF 2x2x0.5 mm² için Z_{04} ,
- RE-Y(St)YSWBY-fl-PiMF 2x2x0.5 mm² için Z_{05} .

Kabloların karakteristik empedansları (1.6) formülünden yararlanılarak hesaplanmış ve Çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.12 Teorik hesaplamalar sonucunda kabloların karakteristik empedansları

Karakteristik Empedans	Empedans (Ω)
Z_{01}	48,6012
Z_{02}	64,0923
Z_{03}	48,6012
Z_{04}	48,6012
Z_{05}	48,6012

Network Analizör Ölçüm Sonuçları

Kabloların karakteristik empedanslarını ölçmek için her kablodan eşit uzunlukta parçalar alınmıştır. Ölçülecek kablonun iki ucuna BNC konnektörler bağlanıp, merkezde uçları birleştirilen damarların iletkenleri, konnektör dışında temas için ise ekranlama elemanlarından Kablo₁, Kablo₂ ve Kablo₄ için toprak teli/tellerinin ve ALPES folyonun/folyoların alüminyum tarafı; Kablo₃ ve Kablo₅ içinse toprak teli/telleri, ALPES folyonun/folyoların alüminyum tarafları ve örgü telleri birleştirilerek bağlantılar sağlanmıştır. Kabloların network analizör ile ölçülen karakteristik empedansları Çizelge 3.13'te verilmiştir.

Çizelge 3.13 Network analizörde ölçüm ile kabloların karakteristik empedansları

Karakteristik Empedans	Empedans (Ω)
Z_{01}	48,344
Z_{02}	59,9075
Z_{03}	51,29
Z_{04}	50,655
Z_{05}	50,9651

Teorik ölçümlerde elde edilen sonuç ile network analizör ile ölçüm sonucu elde edilen empedans değerleri birbirine yakın çıkmıştır. IEC 60228 standardına göre [24] bakır (Cu), Class 2, PVC izoleli Kablo₁, Kablo₃, Kablo₄ ve Kablo₅'in karakteristik empedansları yaklaşık olarak 50 Ω elde edilmiştir. Network analizörün yansıma (reflection) ve iletim (transmission) portları 50 Ω olduğundan bu kabloların transfer empedansı ve ekranlama zayıflaması ölçümleri için empedans uyumlama devresine (impedance matching circuit) gerek duyulmamıştır. Dolayısıyla Bölüm 3.1'de blok diyagramı verilen Eşit empedanslı deney düzeneği blok diyagramı uygulanmıştır. Kablo₂ için karakteristik empedans Z_0 değeri yaklaşık olarak 60 Ω elde edilmiştir. Bu kablo için ölçümlerde Şekil 3.1'deki uygunlaştırma devreli blok diyagramı kullanılmıştır.

3.4.2 Sönümlendirme Direnci Hesabı

TS EN 50289-1-6 standardına göre R_2 direnci, 55 mm'lik bir iç çapa sahip tüp boyutu için ve çapı yaklaşık 5 mm olan kablolar için 150 Ω değerinde olmalıdır [10]. Tüpün

diğer boyutları ve kabloların diğer çapları için direnç değeri (3.1) formülüne göre hesaplanır.

$$R_2 \approx 1,4 \cdot 60 \ln \frac{d_0}{d_c} - 50 \quad (3.1)$$

d_0 : Tüpün iç çapı

d_c : Kablo ekranının dış çapı

Deneyde kullanılan yardımcı elemanlardan olan CoMeT ölçüm cihazının tüp kısmının iç çapı d_0 yaklaşık 40 mm'dir. Deney için hazırlanan Kablo₂'nin çapı yaklaşık 5 mm olmadığı için R_2 direnci (3.1) formülüne göre hesaplanmıştır ve 113,9028 Ω bulunmuştur. Hesaplanan direnç değerinin $\pm 5\%$ 'ini geçmeyecek şekilde $R_{2\text{kablo2}}$ 113,9028 Ω yerine 110 Ω kullanılmıştır.

3.4.3 Empedans Uyumlama Devresi Hesabı

R_1 , 50 Ω değil ise bu durumda empedans uyumlama devresi gereklidir. Bu, bir R_s seri direnç ve bir R_p paralel direnci olan iki direnç devresi ile gerçekleştirilmelidir [10].

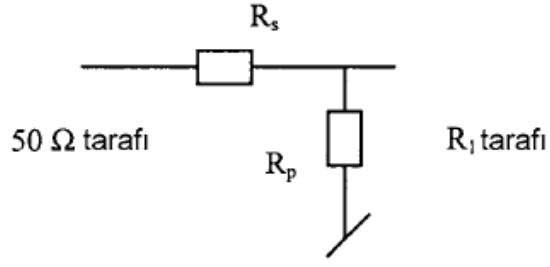
$R_1 < 50 \Omega$ Olması Durumu

İç sistemin empedansı ve sonuç olarak R_1 50 Ω 'dan küçük ise aşağıdaki formüller kullanılır.

$$R_s = 50 \sqrt{1 - \frac{R_1}{50}} \quad (3.2)$$

$$R_p = \frac{R_1}{\sqrt{1 - \frac{R_1}{50}}} \quad (3.3)$$

Düzenleme biçimi Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 $R_1 < 50 \Omega$ için empedans uyumlama devresi

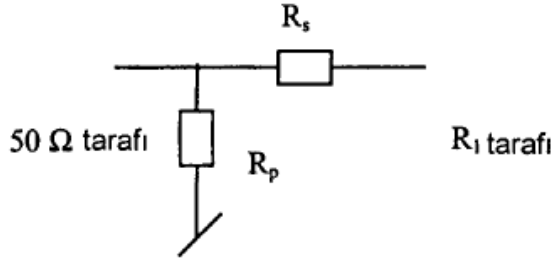
$R_1 > 50 \Omega$ Olması Durumu

İç sistemin empedansı ve sonuç olarak R_1 , 50Ω 'dan büyük ise (3.4) ve (3.5) formülleri kullanılır.

$$R_s = R_1 \sqrt{1 - \frac{50}{R_1}} \quad (3.4)$$

$$R_p = \frac{50}{\sqrt{1 - \frac{50}{R_1}}} \quad (3.5)$$

Düzenleme biçimi Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 $R_1 > 50 \Omega$ için empedans uyumlama devresi

Deney altındaki kablolardan Kablo₂'nin empedansı 50Ω 'dan yüksek olduğu Şekil 3.4'teki uyumlama devresi kullanılır. Uyumlama devresinin R_s ve R_p dirençleri Çizelge 3.14'teki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 3.14 Kablo₂ için empedans uyumlama devresi direnç tablosu

Uyumlama Devresi Dirençleri	Direnç (Ω)
R_1	60
R_s	24,4949
R_p	122,4745

Çizelge 3.14'teki direnç değerlerinin $\pm 5\%$ 'ini geçmeyecek şekilde R_s direnci 24,4949 Ω yerine 25 Ω ; R_p direnci 122,4745 Ω yerine 120 Ω seçilmiştir.

3.4.4 Kablo₂ için S_{21} Parametresinin Teorik Hesabı

Deneyi yapılacak olan Kablo₂'nin S_{21} parametresinin hesabı için IEC 62153-4-3 Annex B'den faydalanılmıştır [25]. Bu parametre ile, empedans uyumlandırma devresinin genel devreye verimliliği teorik olarak araştırılmıştır. Deney altındaki kablonun empedansı, network analizör empedansından büyük olduğu için (3.6) formülü ile geri dönüş parametresi hesaplanır.

$$S_{21} = \frac{2R_p\sqrt{Z_0 Z_N}}{(R_s+R_p+Z_0)(R_p+Z_N)-R_p^2} \quad (3.6)$$

R_p : Empedans uyumlandırma devresi paralel direnç

R_s : Empedans uyumlandırma devresi seri direnç

Z_N : Network analizör empedansı

Z_0 : İç devrenin empedansı

Deney altındaki kablonun S_{21} parametresi 0,6428 bulunmuştur.

3.4.5 Kablo₂ için Devrenin Gerilim Kazancı Hesabı

IEC 62153-4-3 standardına göre devrenin gerilim kazancı (3.7) formülündeki gibi hesaplanır [25].

$$k_m = \frac{Z_0}{R_s + Z_0} \quad (3.7)$$

Z_0 : İç devrenin empedansı

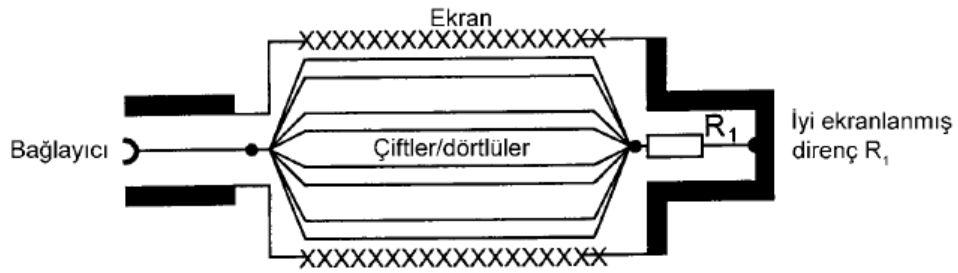
R_s : Empedans uyumlandırma devresi seri direnci

Kablonun gerilim kazancı k_m 0,7058 hesaplanmıştır.

3.5 Kabloların Ölçümler İçin Hazır Hale Getirilmesi

Dizaynları gereği Kablo₁ ve Kablo₂ benzer yapıda, diğer kablolar kendi aralarında farklı yapıdadır. Kablo₁ ve Kablo₂'de izolasyon malzemelerin farklı olma durumları ölçülmüştür (Kablo₁ PVC, Kablo₂ XLPE izolelidir). Kablo₃, Kablo₄ ve Kablo₅'te farklı ekranlama elemanları birbirleri arasında ölçülüp karşılaştırılmıştır.

Ekranlanmış simetrik kablolar, dörtlü koaksiyel sistem gibi davranır. Bundan dolayı bütün çiftlerin iletkenleri, her iki uçta birbirine bağlanmalıdır. Bütün ekranlar, ayrıca müstakil olarak ekranlanmış çiftlerin ve dörtlülerin ekranları dahil her iki uçta birbirine bağlanmalıdır. Ekranlar, bütün çevre üzerinde bağlanmalıdır [10]. TS EN 50289-1-6 standardına göre çok damarlı dengeli kabloların bağlama yöntemi Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Çok damarlı simetrik kabloların bağlama yöntemi

Deney altındaki kablonun etkili kuplaj uzunluğunun elektriksel dalga boyu ile ilişkisi ekranlama zayıflaması eğrisindeki değişimleri etkiler [10]. Bu sebeple kablo uzunlukları bu çalışmada 1 metre tüp içinde, 2 metre de tüp dışında olmak üzere toplam 3 metre seçilmiştir.

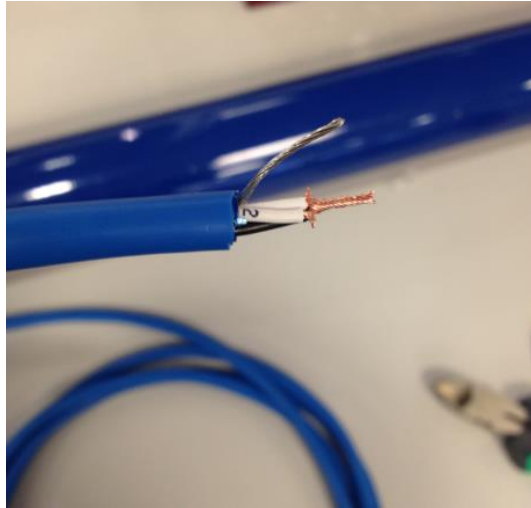
Ekranlama etkinliklerinin ölçülmesinde kullanılan yardımcı araçların oluşturabileceği etkiler de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sebeple kullanılan lehimin de önemi büyüktür. Lehimleme işlemlerinde mümkün olduğunca az lehim kullanılmaya özen gösterilmiştir. Havya ile ekranlama elemanlarına üç kereden fazla ısıtma işlemi uygulanmamıştır. Havya 300 °C'den fazla bir ısıya yükseltilmemiştir. Kullanılan lehim teli olarak 0,8 mm Pro'sKit marka lehim teli seçilmiştir.



Şekil 3.6 Kullanılan lehim teli

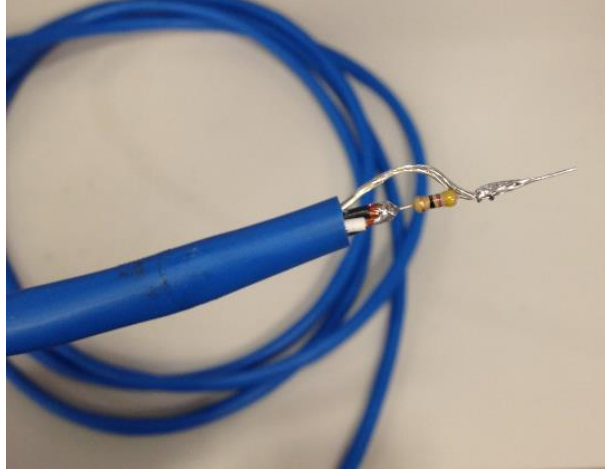
3.5.1 Kablo₁'in Ölçümler için Hazırlanması

Bu kabloda perlenmiş olan iki grup, toplamda 4 damar içlerindeki iletkenlerle beraber hem kablo başında hem de kablo sonunda birbirleri ile temas edecek bir biçimde bağlanmıştır. Bu kablonun ekranını, öz bükümdeki toprak teli ve ALPES bant oluşturmaktadır.



Şekil 3.7 Tüm damarların bir uca ortak birleştirilmesi

Kablonun iki ucunda da damarların iletkenleri birleştirildikten sonra kablonun CoMeT'e girecek kısmı Şekil 3.8'de tarif edildiği gibi 47 Ω 'luk R_1 direnci ile lehimlenmiştir.



Şekil 3.8 Kablo sonundaki iletkenlerin R_1 direncine ulaşması için 47 Ω direnç ile sonlandırılması

Bir ucu sonlandırılmış kablo, CoMeT'in sunmuş olduğu özel aparat yardımı ile sıkılaştırılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken kıstas damarların iletkenlerinin sadece direnç ile teması, direncin de sadece ekranlama elemanı ile olan temasıdır. Bu sebeple CoMeT Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da görülen aparatı kullanmayı tavsiye eder.



Şekil 3.9 Kablo ucunun CoMeT aparatı ile sabitleştirilmesi

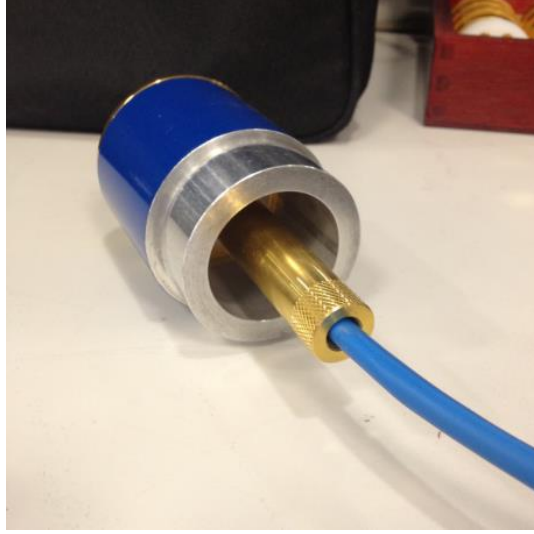


Şekil 3.10 Aparat ile sabitleştirilmiş kablo ucunun son hali

Daha sonra sonlandırılmış kablo ucu, bağlama aparatı ile sonlandırma test kafasına bağlanmıştır.

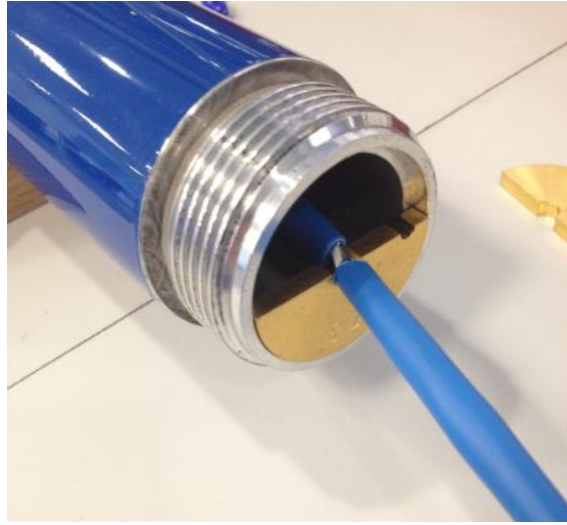


Şekil 3.11 CoMeT'e bağlamaya hazır hale getirilen kablo ucu



Şekil 3.12 CoMeT giriş aparatına bağlanan kablo ucu

Kablonun diğer ucu, 1 metre uzunluğa sahip tüpün içerisinden geçirildikten sonra çıkış kafasında, dış kılıfı 1 cm soyularak ekranın tüp ile teması sağlanmıştır.



Şekil 3.13 Kablonun diğer ucunda ekranlama elemanının tüp ile teması

Kablo 1 metre çıkışındaki tüp ile bağlantısı yapıldıktan sonra, kablo çapına uygun BNC konnektör ile montajı yapılmıştır. Bu konnektör network analizörün iletim (transmission) portuna bağlanmıştır. Kablonun giriş ucu da Şekil 3.12’de gösterildiği gibi sonlandırma kafası ile CoMeT’e bağlanmış, bu bağlantı da network analizörün yansıma (reflection) portuna, ekranlanmış özel test bağlantı kablosuyla bağlanmıştır. Network analizöre bağlantısı yapılmış deney altındaki kablo Şekil 3.14’te gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Deney altındaki kablo için hazırlanmış ölçüm düzeneği genel görüntüsü

Bu aşamadan sonra, ilk önce kalibrasyon işlemleri yapılmış, daha sonra CoMeT yazılımı ile network analizör üzerinde ölçümler yapılmıştır.

3.5.2 Kablo₂'nin Ölçümler için Hazırlanması

Bu kabloda perlenmiş olan iki grup, toplamda 4 damar içlerindeki iletkenlerle beraber hem kablo başında hem de kablo sonunda birbirleri ile temas edecek bir biçimde bağlanmıştır. Bu kablonun ekranını, öz bükümdeki toprak teli ve ALPES bant oluşturmaktadır. Bu kablonun Kablo₁'den farkı izolesinin PVC değil XLPE olmasıdır.

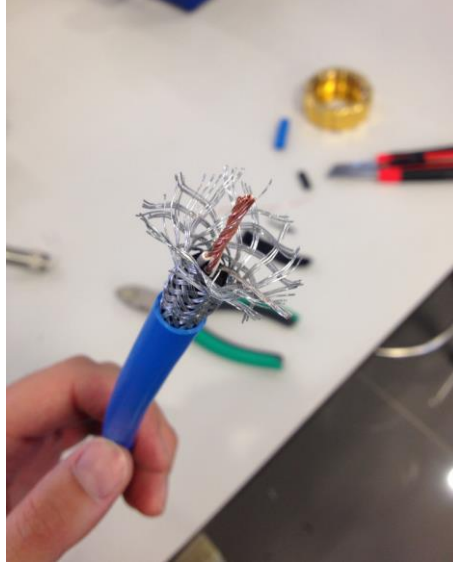


Şekil 3.15 Kablo₂ iletkenleri ve toprak teli

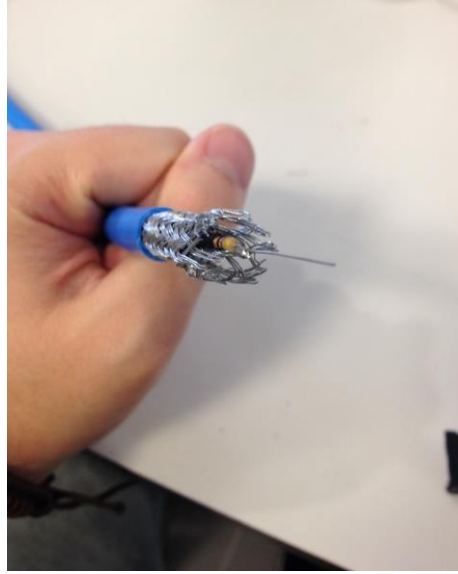
Kablo₂'nin izolesinin XLPE olmasından dolayı Z_0 karakteristik empedansı yaklaşık olarak 60 Ω 'dur. Bu sebeple kablonun sonlandırılmasında Bölüm 3.4.1'de bulunan 110 Ω 'luk bir direnç kullanılmıştır. Bu sönümleme direncinden önce yine devreyi (kabloyu) sonlandırmak için TS EN 50289-1-6 standardına göre direnç seçimi yapılmıştır. Bu direncin değeri 60 Ω 'dur. Network analizörün port çıkışları 50 Ω olduğu için yansıma (reflection) portu ile kablo iletkeni arasında empedans uygunlaştırma devresi kullanılmalıdır [10]. Bu devrenin kurulması ve kullanılacak dirençler Bölüm 3.4.3'te anlatılmıştır. Kurulan empedans uygunlaştırma devresi, network analizör ve ölçümü yapılacak Kablo₂ arasında kurulmuştur.

3.5.3 Kablo₃'ün Ölçümler için Hazırlanması

Bu kabloda bulunan 4 damar ve içlerindeki iletkenler hem kablo başında hem de kablo sonunda birbirleri ile temas edecek bir biçimde bağlanmıştır. Bu kabloun ekranını, galvanizli çelik tel örgü ve öz bükümdeki toprak teli ve ALPES bant oluşturmaktadır. Kablo sonundaki iletkenler R_1 direncine ulaşmak için yine Kablo₁'de anlatıldığı gibi bir araya getirilmiştir.



Şekil 3.16 Damarların iletkenlerinin R_1 direnci için hazırlanması



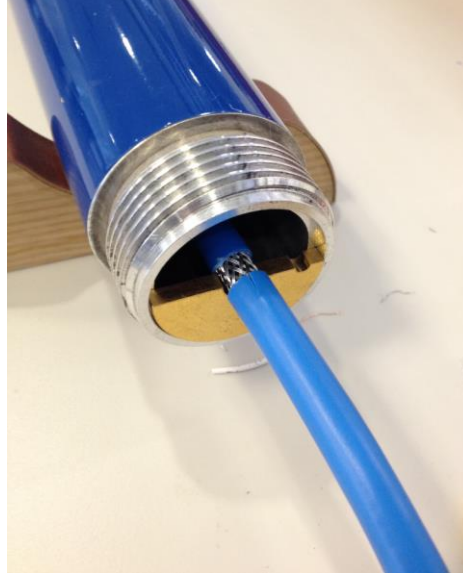
Şekil 3.17 İletkenlerin R_1 direnci ile lehimlenmesi sonrası kablonun görüntüsü

Ekranlama elemanlarından ALPES folyo ve toprak teli teması korunup, bu elemanlar kablonun örgüsünü oluşturan galvanizli çelik teller ile lehimlenerek birbirlerine bağlanmışlardır. Bir ucu sonlandırılmış kablo CoMeT'in sunmuş olduğu özel aparat yardımı ile sıkılaştırılmıştır.



Şekil 3.18 Kablonun giriş ucunun hazır hale getirilmesi

Yine kablonun 1 metre sonrasında CoMeT çıkışına temas edecek galvanizli çelik teller Şekil 3.18'deki gibi aparatlarla ayarlanıp bağlanmıştır.



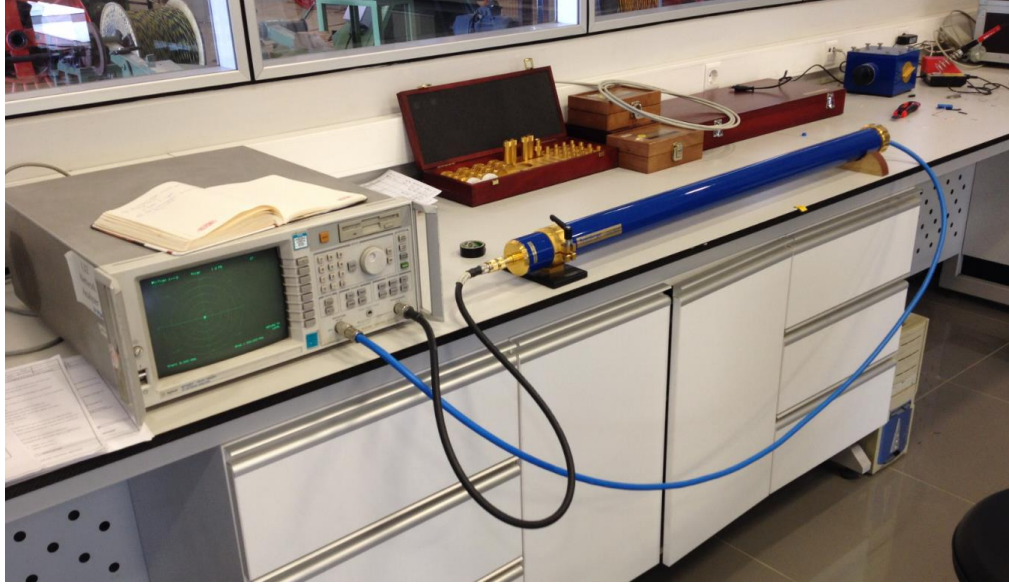
Şekil 3.19 CoMeT çıkışında kablo örgüsünün sıkıştırma aparatına bağlantısı

Kablo çıkışında dış kılıf çapına uygun BNC konnektör ile gerekli bağlantılar yapılmış olup, bu konnektör network analizörün iletim (transmission) portuna bağlanmıştır.



Şekil 3.20 Kablo çıkış ucunun BNC konnektör ile bağlantısı

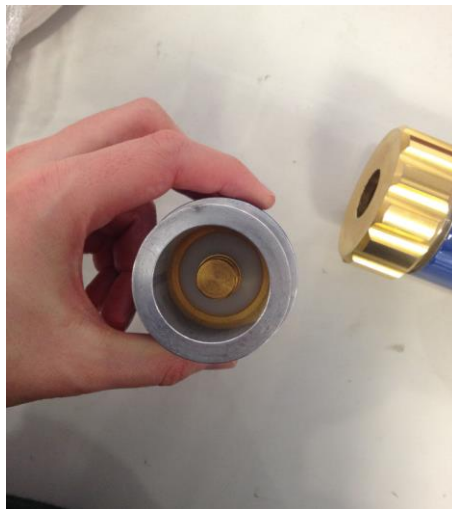
Kablo₃'ün ölçümler için hazırlanması bu aşama ile bitirilmiş olup sonrasında kalibrasyona geçilmiştir.



Şekil 3.21 Kablo₃ için ölçüm düzeneğinin son hali

3.5.4 Kablo₄'ün Ölçümler için Hazırlanması

Bu kabloda bulunan 4 damar ve içlerindeki iletkenler hem kablo başında hem de kablo sonunda birbirleri ile temas edecek bir biçimde bağlanmıştır. Bu kabloun ekranını, hem ikilemelerdeki (PiMF) toprak teli ve ALPES bant hem de öz bükümdeki toprak teli ve ALPES bant oluşturmaktadır. Yine kablo sonundaki 4 iletken bakır R_1 direnci ile ekranlama elemanları, toprak telleri ve dolayısıyla ALPES bantlar ile temas ettirilerek lehimlenmiştir. Bir ucu sonlandırılmış kablo CoMeT'in sunmuş olduğu özel aparat yardımı ile sıkılaştırılmıştır ve sonlandırma kafası ile sonlandırılmıştır. Sonlandırma kafasının içi Şekil 3.22'deki gibidir.



Şekil 3.22 Sonlandırma kafası iç yapısı

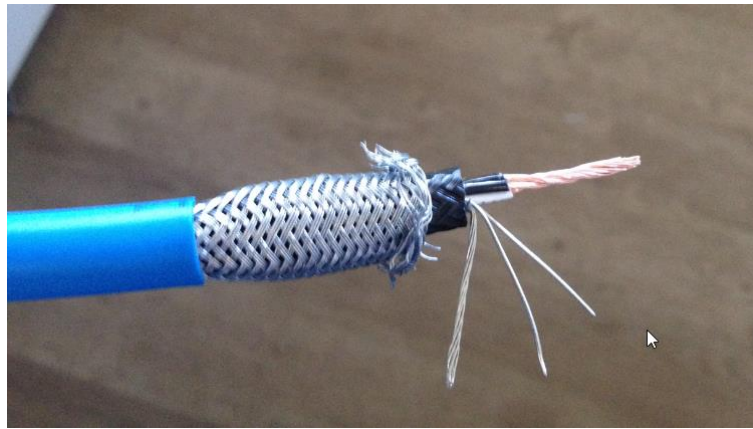
Diğer uçta 1 metre olan tütün çıkışında, 1 cm dış kılıfı soyulan, kablo ekranının yani toprak teli ve ALPES bantın tütün ile teması yardımcı aparatlarla sağlanmıştır. Bundan sonra BNC konnektör ile bağlanan kablonun çıkışı network analizörün iletim (transmission) portuna bağlanmıştır.

3.5.5 Kablo₅'in Ölçümler için Hazırlanması

Bu kabloda bulunan 4 damar ve içlerindeki iletkenler hem kablo başında hem de kablo sonunda birbirleri ile temas edecek bir biçimde bağlanmıştır. Bu kablonun ekranını, hem ikilemelerdeki (PIMF) toprak teli ve ALPES bant, hem öz bükümdeki toprak teli ve ALPES bant, hem de galvanizli çelik tel örgü oluşturmaktadır.



Şekil 3.23 Kablo₅'in galvanizli çelik tel örgü yapısı



Şekil 3.24 Kablo₅'in iletkenleri ve toprak telleri

Kablo iletkenleri R_1 direncinin bir ucu ile toprak telleri, ALPES folyolar ve galvanizli elik tel rg R_1 direncinin öteki ucu ile lehimlenmiştir.



şekil 3.25 Direnç ile bağlantıları sağlanmış kablo ucunun son hali

Bir ucu sonlandırılmış kablo CoMeT'in sunmuş olduğu özel aparat yardımı ile sıkılaştırılmıştır. Daha sonra sonlandırılmış kablo ucu bağlama aparatı ile sonlandırma test kafasına bağlanmışır. Diğer uçta, 1 metre olan tüpün çıkışında, 1 cm dış kılıfı soyulan, kablo ekranının tüp ile teması yardımcı aparatlarla sağlanmışır.



şekil 3.26 çıkış ucunda kablo örgüsü ile temas halinde olan tüpün görüntüsü

Daha sonra kablo network analizörün iletim (transmission) portuna BNC konnektör yardımı ile bağlanmıştır.

3.6 Network Analizör ve CoMeT Kalibrasyonları

Ölçümlere başlanmadan önce hem network analizör hem de CoMeT Ölçüm Cihazı kalibre edilmiştir. Agilent 8714ET marka network analizör yılda bir kere TÜRKAK tarafından, akredite olan bir kalibrasyon firması tarafından kalibre edilmektedir. Ayrıca her ölçüm öncesi kendi kalibrasyon prosedürüne göre de kalibre edilir. CoMeT Ölçüm Cihazı'nın bedea tarafından sunulan kalibrasyon prosedürü mevcuttur. Bu kalibrasyon prosedürü CoMeT yazılımına gömülmüş haldedir. Ölçümlere başlanmadan önce program aracılığı ile kalibrasyon işlemleri yapılmıştır.

Network Analizör Kalibrasyonu

Kablolarda ölçümlere başlanmadan önce network analizör kalibre edilmiştir. Kalibrasyon işlemi için 50 Ω luk kalibrasyon kiti kullanılır. Kalibrasyon kitinde bir adet, bir ucu açık diğer ucu kısa devre olan (open/short) kalibratör, bir adet sonlandırma (load/termination) ucu olan kalibratör ve bir adet de kalibrasyon kablosu bulunur.



Şekil 3.27 Agilent 85036E Kalibrasyon Kiti

Kalibrasyon işleminde normal empedans/zayıflama ölçecekmiş gibi network analizörde ayarlama yapılır [26]. Empedans ayarı 50 Ω olarak ayarlanır. Frekans aralığı 0-3 GHz ayarlanır. “MEAS 2” tuşuna ve daha sonra “Reflection” tuşuna basılır, ardından “CAL” tuşuna basılır. Sonra “PORT 1” tuşuna basılır. Gelen ekranda yapılması gerekenler sırayla yazar. Önce yansıma (reflection) ucuna açık (open) uç takılır. Ve

ekranın sağ üst köşesindeki “Measure Standard” tuşuna basılır. Sonra yansıma (reflection) ucuna kısa devre (short) ucu takılıp “Measure Standard” tuşuna basılır. Daha sonra yansıma (reflection) portuna sonlandırma ucu (load termination) takılır ve “Measure Standard” tuşuna basılır. Kalibrasyonun ikinci aşamasına geçilir. “MEAS 1” tuşuna tuşuna basılır ve ekranın sağ üst köşesindeki “Measure Standard” tuşuna basılır. Sonra “CAL” tuşuna basılır. Gelen ekranda “Enhanced Response” tuşuna basılır. Yansıma (reflection) ucuna açık (open) uç takılır ve “Measure Standard” tuşuna basılır. Yansıma (reflection) ucuna kısa devre (short) ucu takılıp “Measure Standard” tuşuna basılır. Yansıma (reflection) ucuna sonlandırma (load termination) ucu takılır ve “Measure Standard” tuşuna basılır. Bundan sonra network analizör ekranında iki uçlu kablo bağlantısı yapılması istenir. Kalibrasyon kablosu yansıma (reflection) ve transmission (iletim) portlarına bağlanıp “Measure Standard” tuşuna basılır. Böylece kalibrasyon işlemi tamamlanmıştır.

CoMeT Cihazı Kalibrasyonu

Öncelikle network analizör üzerinde ölçüm yapılacak frekans aralığı belirlenmelidir. Agilent 8714ET marka network analizörde 3 MHz ile 1000 MHz arasında aralık belirlenmiş ve 8 adet işaretçi (marker) ile belirlenen frekans değerleri (3, 10, 30, 100, 200, 300, 500, 1000 MHz) işlenmiştir. Kablo bağlantıları Bölüm 3.3.6’da anlatıldığı gibi yapıldıktan sonra bilgisayar ile WinCoMeT programı açılır. “Prepare Test Parameters” bölümü seçilir. Bu ekran Şekil 2.30’da gösterildiği gibidir. “Eps.r1” değeri ölçülecek kablonun izolesinin dielektrik sabitidir. “Start frequency/MHz”, “Stop frequency/MHz”, “Impedance/Ohm”, “Test length” ve “ R_1 (Z_0) Ohm” seçenekleri mutlaka doldurulmalıdır. Diğer seçenekler kullanıcının inisiyatifindedir. Bilgilerin girilme işleminden sonra ekranın sağ alt köşesinde bulunan “Achieve test parameter” butonuna tıklanır. Kalibrasyon kablosunun bir ucu yansıma (reflection) diğer ucu iletim (transmission) portuna bağlanır. Daha sonra ana ekranda bulunan “Measurement” butonuna ardından “Perform calibration” butonuna tıklanır. Daha sonra network analizörden ölçümler gelmeye başlar ve WinCoMeT işlemlerini gerçekleştirir. İşlemler bittikten sonra WinCoMeT ekranında ölçümü yapılacak kablonun bağlanması uyarısı gelir. Bu aşamadan sonra ölçümü yapılacak kablo bağlantısı yapıp ölçüme geçilmiştir.

3.7 Ölçümlerinin Uygulanması

Deneyin yapılacağı frekans aralıkları TS EN 50289-1-1’de belirtildiği üzere, 3 MHz, 10 MHz, 30 MHz, 100 MHz, 200 MHz, 300 MHz, 500 MHz, 1000 MHz aralıklarında seçilmiştir. Bu aralıklar enstrumantasyon kablolarının çalışma frekansı aralığına da uygundur. Yapılan ölçümlerde alınan 1 MHz üstü frekans aralığı TS EN 50289-1-11’deki karakteristik empedansın 1 MHz’in üzerindeki frekanslar ve kutupsal olmayan yalıtım malzemeleri için doğru değerini vermesinden dolayıdır [25].

Deney numunesi, deney düzeneğine tutturulmalıdır. Deney düzeneği, üçlü koaksiyel biçimde bir teçhizattır. Kablo ekranı, hem iç sistemin dış iletkenini hem de dış sistemin iç iletkenini oluşturur. Dış sistemin dış iletkeni, kablonun besleme tarafındaki ekrana kısa devre yapılmış bir tüptür [10]. Sonlandırma direnci R_1 , kablonun karakteristik empedansı ile uygun olmalıdır. R_2 sönmülendirme direnci tüpün iç çapı ile kablo ekranının dış çapına bağlıdır.

Kablo₁, Kablo₃, Kablo₄ ve Kablo₅ için kurulan deney düzeneklerinde R_1 sonlandırma direnci ile devre (kablo) bir uçta sonlandırılmış, uzak uçta da kablo network analizöre bağlanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu bulunan R_2 , hem teorik hesaplamalarda hem de network analizörde yapılan doğrulama ölçümü sonucu elde edilen R_1 (dolayısıyla Z_0) ve empedans uyumlandırma devresinin yer aldığı deney düzeneği Kablo₂ için kurulmuştur. Bu deney düzeneği Kablo₂’nin transfer empedansı ve ekranlama zayıflamasını ölçmek için kullanılmıştır.

Kablo₂’nin, Kablo₁, Kablo₃, Kablo₄ ve Kablo₅’ten materyal bazlı farkı izole malzemesi olarak XLPE kullanılmasıdır. XLPE’nin etkisi kablonun karakteristik empedansının 50 Ω ’dan farklı olmasına, dolayısıyla portları 50 Ω olan network analizöre uygun olmamasına sebep olmuştur. Bu durumda ölçüm yapabilmek için TS EN 50289-1-6 standardında bahsedildiği gibi bir empedans uygunlaştırma devresine ihtiyaç duyulmuştur ve bu devre diğer deney düzeneklerinden farklı olarak kurulmuştur.

Deneyin yapılacağı frekans aralıkları TS EN 50289-1-1 standardına göre, 3 MHz, 10 MHz, 30 MHz, 100 MHz, 200 MHz, 300 MHz, 500 MHz, 1000 MHz aralıklarında seçilmiştir [26]. Deneylere başlanmadan önce network analizör ve CoMeT kendi kalibrasyon prosedürlerine göre kalibre edilmiştir [27],[28]. Transfer empedansının

değerleri, ilgili kablo standardında belirtilen özellikler için olan frekanslarda birim uzunluk başına Z_T olarak ifade edilir. Deney sonuçlarında sıcaklık düzeltmesine gerek duyulmaz [10].

Ekranlama zayıflaması için, ölçülen gerilim oranı, üçlü deney düzeneğinin dış tüpünün çapına veya dış sistemin karakteristik empedansına bağlı değildir. İlgili kablo standardında istendiğinde, normalize edilmiş ekranlama zayıflaması ($a_{s,n}$) kaydedilmelidir. İlave olarak bütün frekans aralığı boyunca frekansa karşılık a_s veya $a_{s,n}$ 'nin kayıtları, ilgili kablo standardında belirtiliyorsa rapor edilmelidir [29].

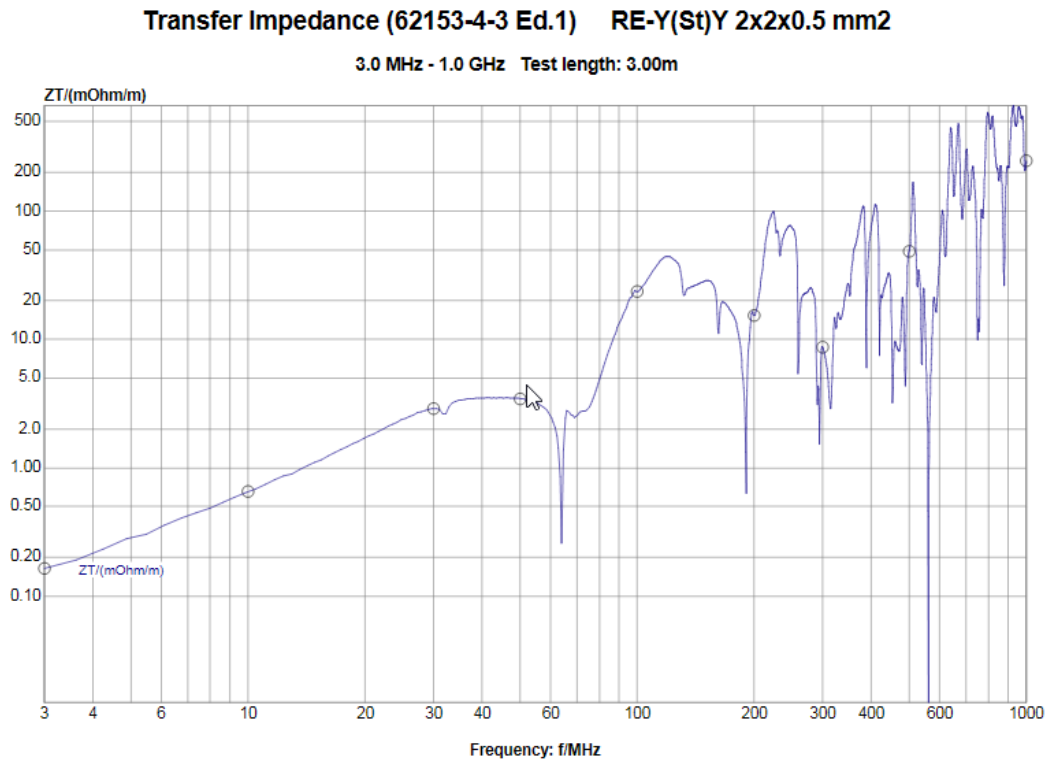
3.7.1 RE-Y(St)Y-fl 2x2x0.5 mm² (Kablo₁) için Ölçümler

Kablo₁ için WinCoMeT üzerinde transfer empedansı için yapılan ayarlamalar aşağıdaki gibidir. Öncelikle transfer empedans ölçülmüş daha sonra ekranlama etkinliği sonuçlarına geçilmiştir.

The screenshot shows the 'Test Parameters' dialog box for a 'Transfer Impedance (62153-4-3 Ed.1)' test. The test is identified by '001'. The test job is '1' and the operator is 'MTG'. The test set-up is 'Kablo1' and the measurement date is '15.06.2015 19:12:17'. The device under test is 'RE-Y(St)Y 2x2x0.5 mm2' with a cable type of '2MKABLO'. The test parameter analyzer settings include a start frequency of 3.00 MHz, stop frequency of 1000.00 MHz, 1601 points, and a distance of points set to 'lin'. The test parameter result calculation settings include a test length of 3.00, averaging of 0.00, and a test length of 3.00. The diagram frequency is set from 3.00 to 1000.00 MHz. The diagram magnitude is set from 'auto' to 'auto'. The test is configured for 'Short-Matched' with a test length of 3.00. The test is configured for 'Short-Matched' with a test length of 3.00. The test is configured for 'Short-Matched' with a test length of 3.00.

Şekil 3.28 Kablo₁ için sisteme girilen transfer empedansı ölçüm parametreleri

Yapılan ölçüm sonucu alınan transfer empedansı grafiği Şekil 3.29'daki gibidir.



Şekil 3.29 Kablo₁ için transfer empedansı veri grafiği

Belirlenen frekanslarda (3, 10, 30, 100, 200, 300, 500, 1000 MHz) transfer empedansı verileri Şekil 3.30'daki gibidir.

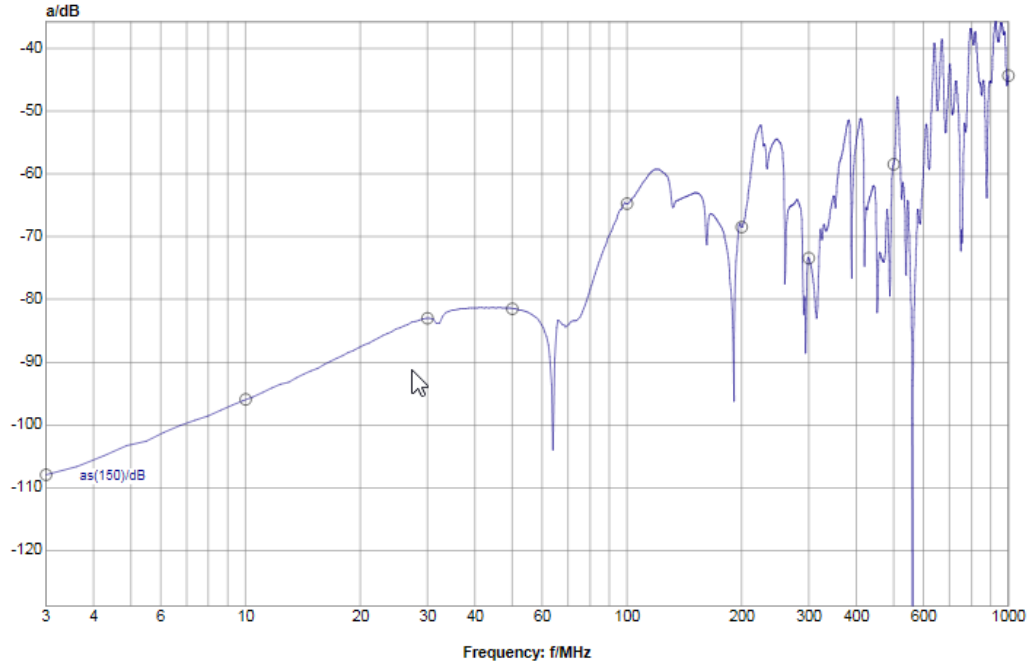
- Markerdata			
f/MHz	ZT/(mOhm/m)	f/MHz	ZT/(mOhm/m)
0.10	0.0000	200.00	15.4
3.00	0.165	300.00	8.69
10.00	0.654	500.00	48.8
30.00	2.90	1000.00	247
50.00	3.46		
100.00	23.5		

Şekil 3.30 Kablo₁ için belirlenmiş frekanslarda transfer empedansı değerleri

Öte yandan Kablo₁ için ekranlama etkinliği grafiği Şekil 3.31'deki gibidir.

Screening Attenuation (62153-4-4 Ed.1) RE-Y(St)Y 2x2x0.5 mm2

3.0 MHz - 1.0 GHz Test length: 3.00m



Şekil 3.31 Kablo₁ için ekranlama zayıflaması veri grafiği

Belirlenmiş frekanslardaki alınan zayıflama değerleri Şekil 3.32'deki gibidir.

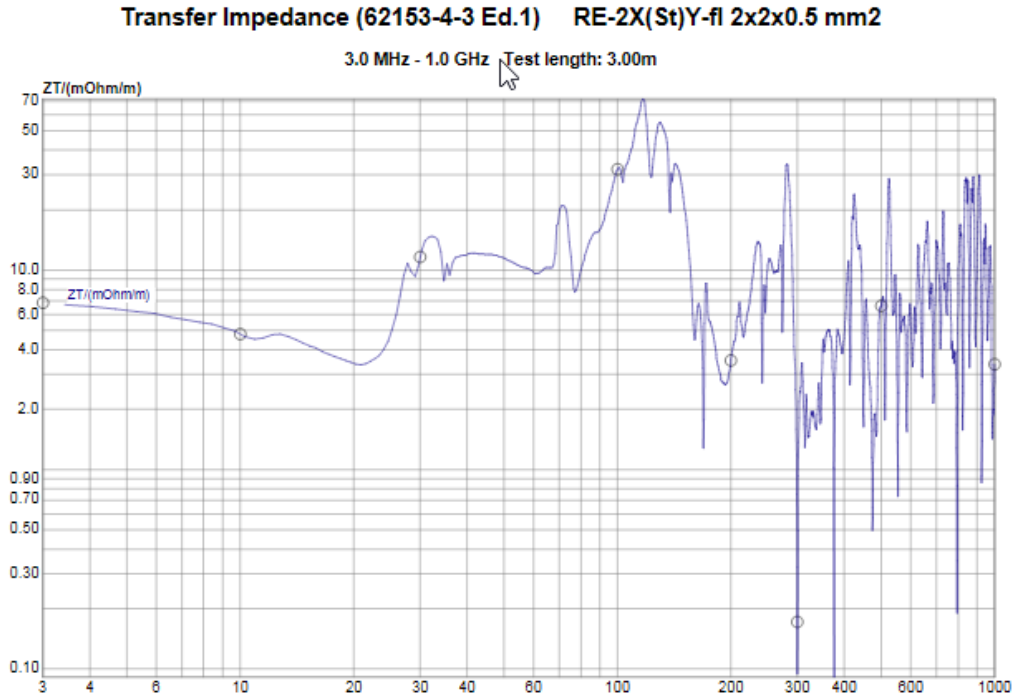
Markerdata

f/MHz	as(150)/dB	f/MHz	as(150)/dB
0.10	0.0000	200.00	-68.5
3.00	-108	300.00	-73.4
10.00	-95.9	500.00	-58.4
30.00	-83.0	1000.00	-44.4
50.00	-81.4		
100.00	-64.8		

Şekil 3.32 Kablo₁ için belirlenen frekanslarda elde edilen zayıflama değerleri

3.7.2 RE-2X(St)Y-fl 2x2x0.5 mm² (Kablo₂) için Ölçümler

Yapılan ölçüm sonucu alınan grafik Şekil 3.33'teki gibidir.



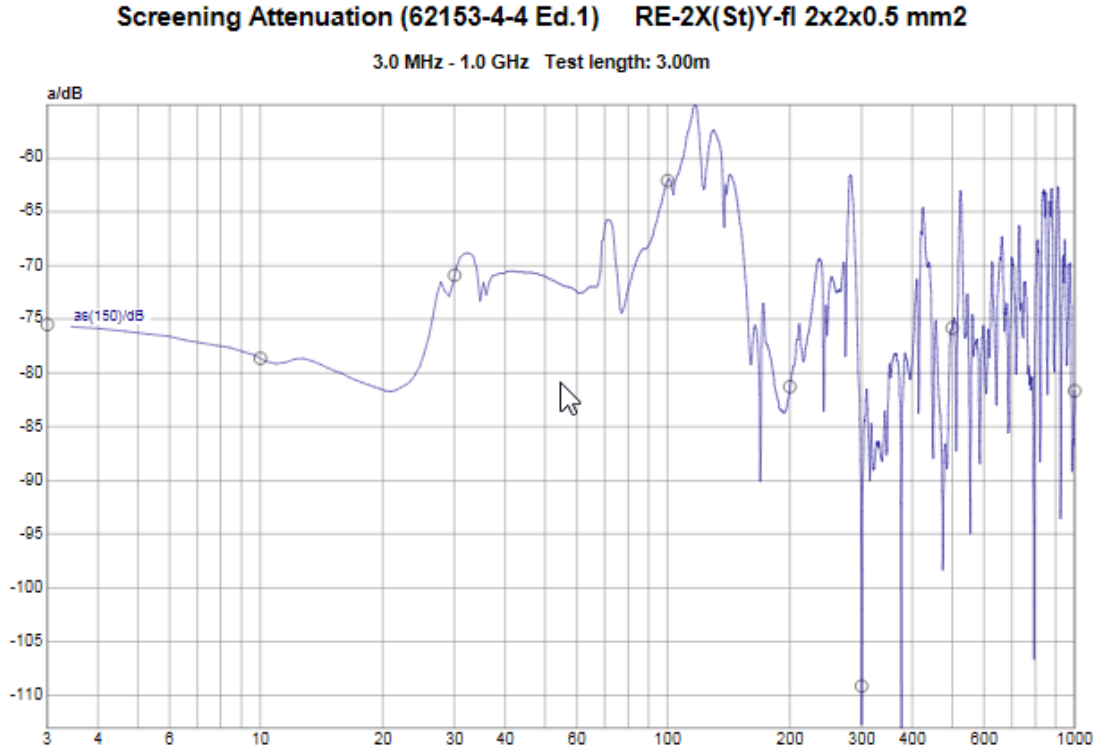
Şekil 3.33 Kablo₂ için transfer empedansı veri grafiği

Belirlenen frekanslarda (3, 10, 30, 100, 200, 300, 500, 1000 MHz) transfer empedansı verileri Şekil 3.34'teki gibidir.

Markerdata			
f/MHz	ZT/(mOhm/m)	f/MHz	ZT/(mOhm/m)
0.10	0.0000	300.00	0.172
3.00	6.84	500.00	6.63
10.00	4.79	1000.00	3.37
30.00	11.7		
100.00	32.0		
200.00	3.53		

Şekil 3.34 Kablo₂ için belirlenmiş frekanslarda transfer empedansı değerleri

Öte yandan Kablo₂ için yapılması gereken diğer ölçüm olan ekranlama etkinliği grafiği Şekil 3.35'teki gibidir.



Şekil 3.35 Kablo₂ için ekranlama zayıflaması veri grafiği

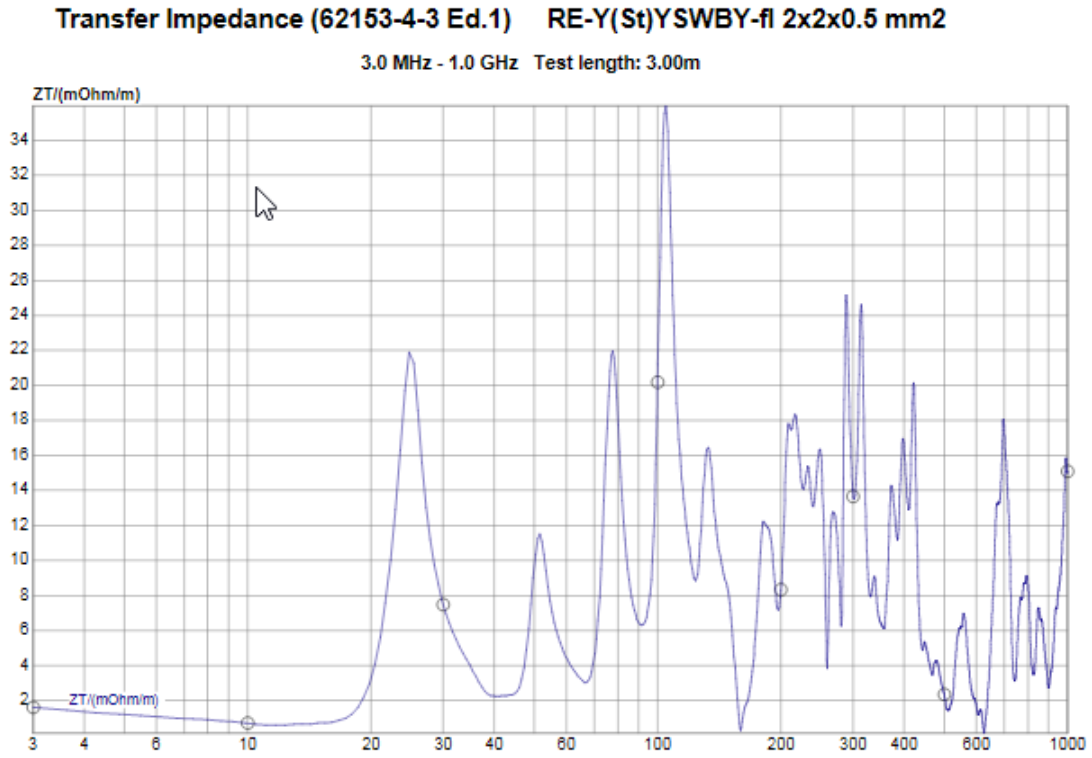
Belirlenmiş frekanslardaki alınan zayıflama değerleri Şekil 3.36'daki gibidir.

Markerdata			
f/MHz	as(150)/dB	f/MHz	as(150)/dB
0.10	0.0000	300.00	-109
3.00	-75.5	500.00	-75.8
10.00	-78.6	1000.00	-81.7
30.00	-70.9		
100.00	-62.1		
200.00	-81.3		

Şekil 3.36 Kablo₂ için belirlenen frekanslarda elde edilen zayıflama değerleri

3.7.3 RE-Y(St)YSWBY-fl 2x2x0.5 mm² (Kablo₃) için Ölçümler

Kablo₃ için WinCoMeT üzerinde transfer empedansı için alınan grafik Şekil 3.37'deki gibidir.

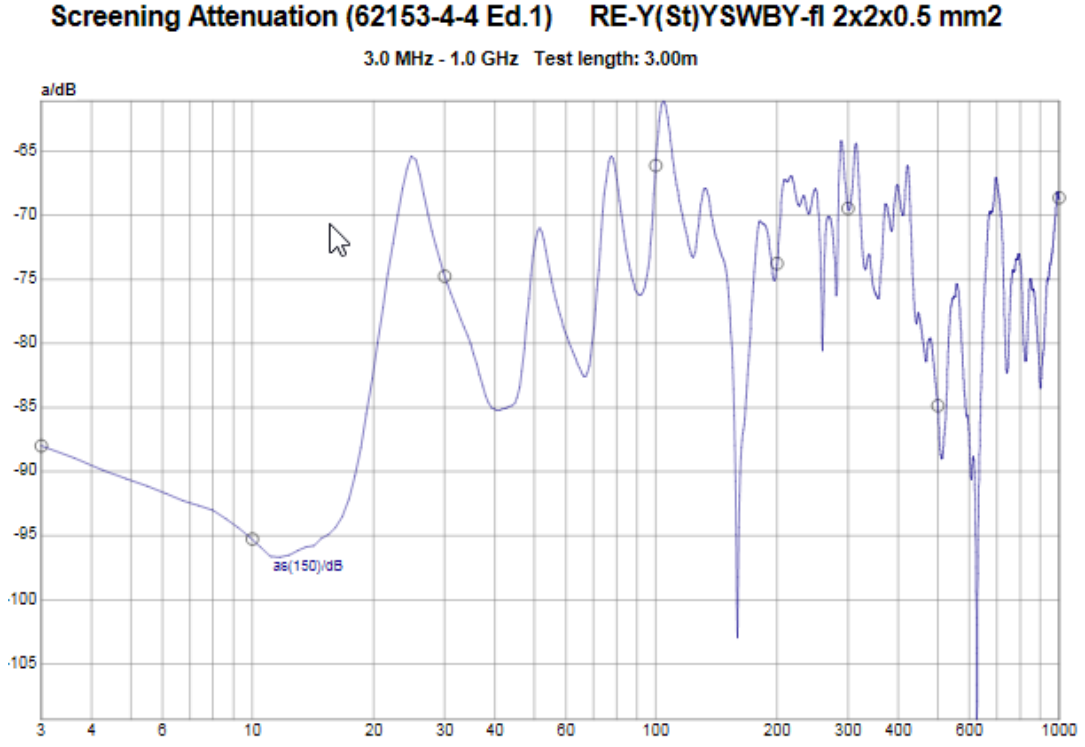


Belirlenen frekanslarda (3, 10, 30, 100, 200, 300, 500, 1000 MHz) transfer empedansı verileri Şekil 3.38'teki gibidir.

Markerdata			
f/MHz	ZT/(mOhm/m)	f/MHz	ZT/(mOhm/m)
0.10	0.0000	300.00	13.7
3.00	1.62	500.00	2.34
10.00	0.704	1000.00	15.1
30.00	7.49		
100.00	20.2		
200.00	8.36		

Şekil 3.38 Kablo₃ için belirlenmiş frekanslarda transfer empedansı değerleri

Kablo₃ için yapılması gereken diğer ölçüm olan ekranlama etkinliği için alınan grafik Şekil 3.39'daki gibidir.



Şekil 3.39 Kablo₃ için ekranlama zayıflaması veri grafiği

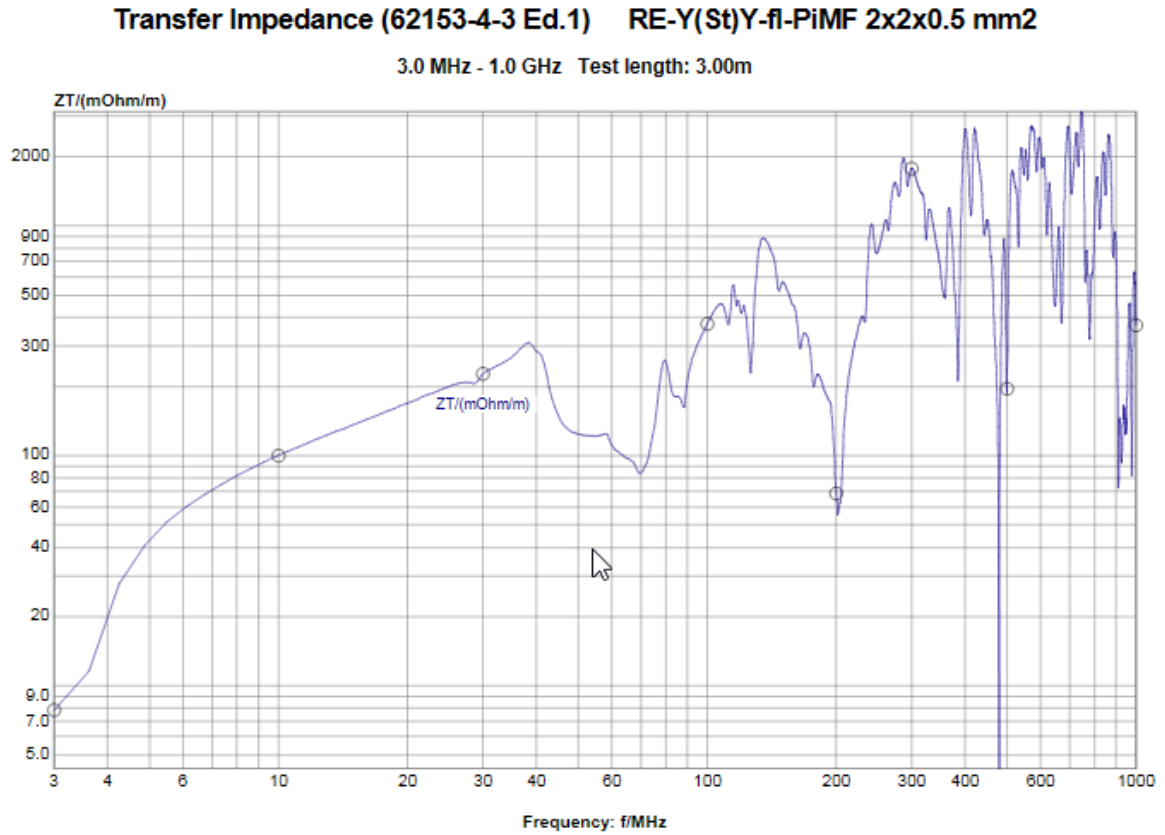
Belirlenmiş frekanslarda ki alınan zayıflama değerleri Şekil 3.40'daki gibidir.

Markerdata			
f/MHz	as(150)/dB	f/MHz	as(150)/dB
0.10	0.0000	300.00	-69.5
3.00	-88.0	500.00	-84.8
10.00	-95.3	1000.00	-68.6
30.00	-74.7		
100.00	-66.1		
200.00	-73.8		

Şekil 3.40 Kablo₃ için belirlenen frekanslarda elde edilen zayıflama değerleri

3.7.4 RE-Y(St)Y-fl-PiMF 2x2x0.5 mm² (Kablo₄) için Ölçümler

Kablo₄ için WinCoMeT üzerinde transfer empedansı için alınan grafik Şekil 3.41'deki gibidir.



Şekil 3.41 Kablo₄ için transfer empedansı veri grafiği

Belirlenen frekanslarda (3, 10, 30, 100, 200, 300, 500, 1000 MHz) transfer empedansı verileri Şekil 3.42'deki gibidir.

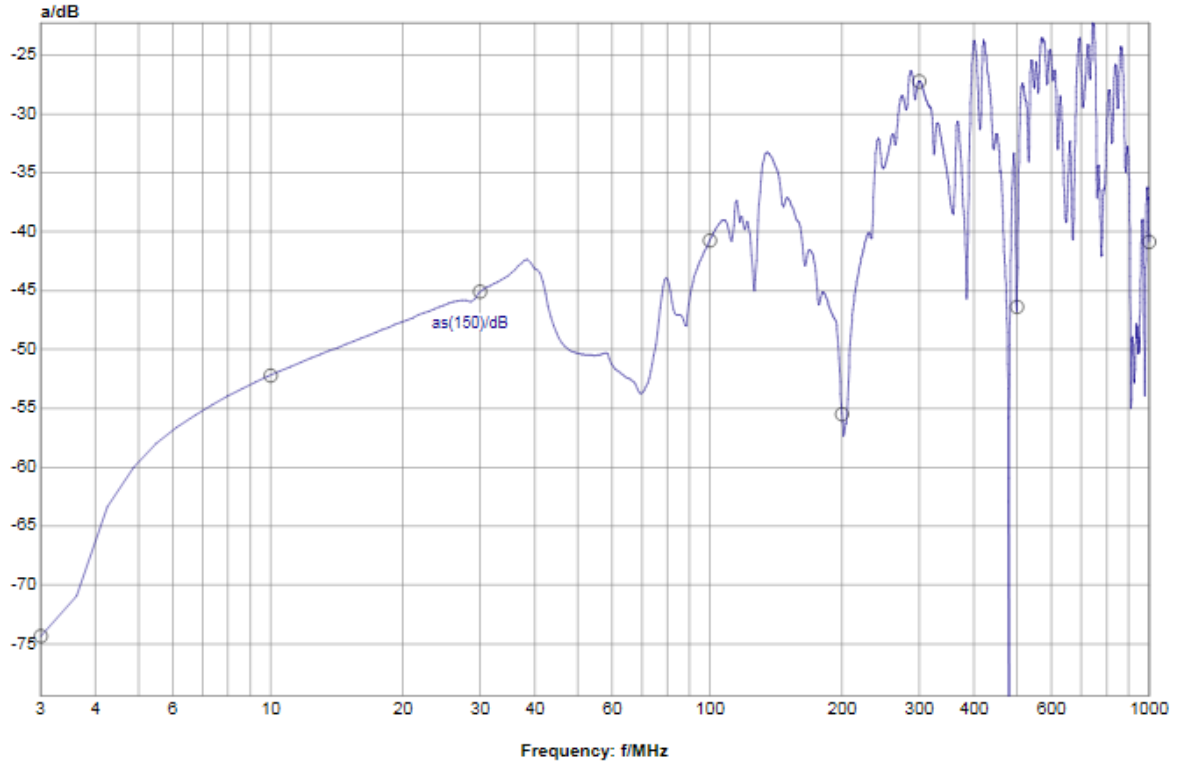
- Markerdata			
f/MHz	ZT/(mOhm/m)	f/MHz	ZT/(mOhm/m)
0.10	0.0000	300.00	1779
3.00	7.81	500.00	196
10.00	100	1000.00	368
30.00	227		
100.00	375		
200.00	68.5		

Şekil 3.42 Kablo₄ için belirlenmiş frekanslarda transfer empedansı değerleri

Öte yandan Kablo₄ için yapılması gereken diğer ölçüm olan ekranlama etkinliği için alınan grafik Şeki 3.43'teki gibidir.

Screening Attenuation (62153-4-4 Ed.1) RE-Y(St)Y-fl-PiMF 2x2x0.5 mm²

3.0 MHz - 1.0 GHz Test length: 3.00m



Şekil 3.43 Kablo₄ için ekranlama zayıflaması veri grafiği

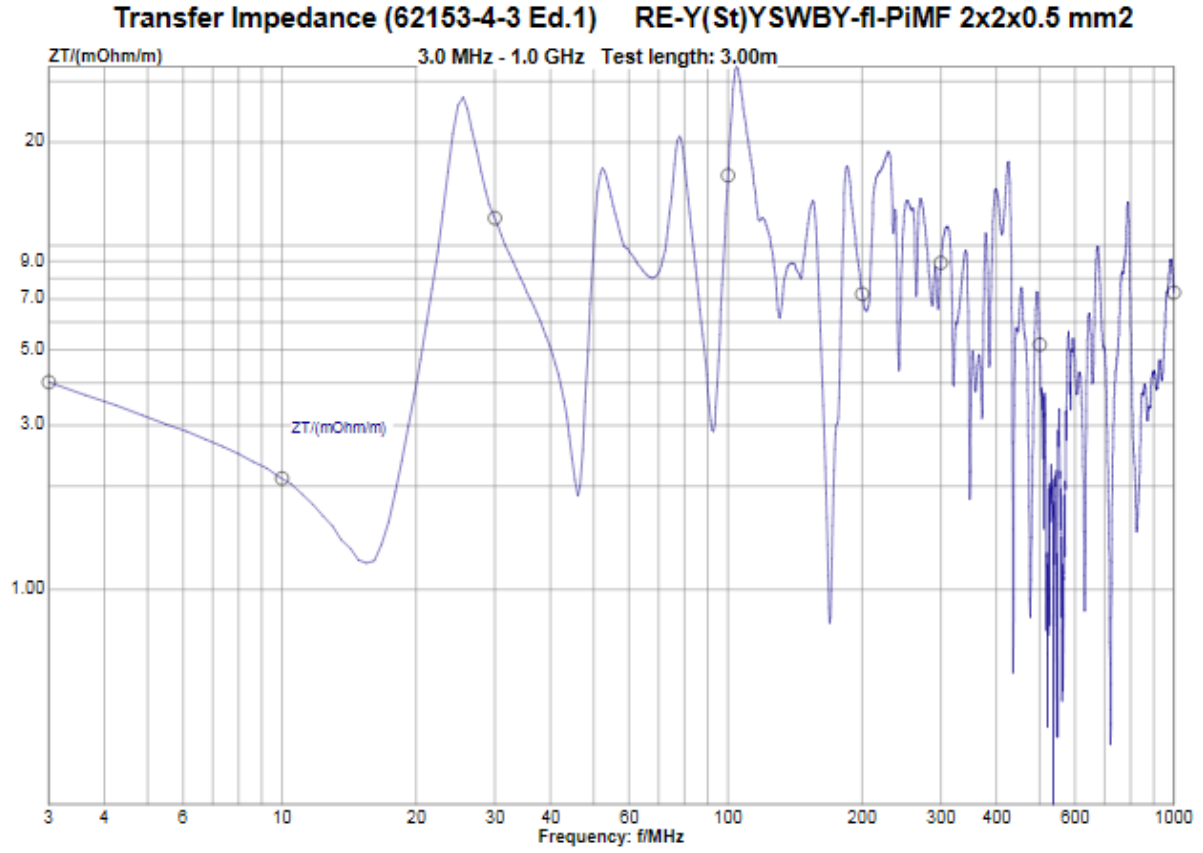
Belirlenmiş frekanslarda ki alınan zayıflama değerleri Şekil 3.44'teki gibidir.

- Markerdata			
f/MHz	as(150)/dB	f/MHz	as(150)/dB
0.10	0.0000	300.00	-27.2
3.00	-74.4	500.00	-46.4
10.00	-52.2	1000.00	-40.9
30.00	-45.1		
100.00	-40.7		
200.00	-55.5		

Şekil 3.44 Kablo₄ için belirlenen frekanslarda elde edilen zayıflama değerleri

3.7.5 RE-Y(St)YSWBY-fl-PiMF 2x2x0.5 mm² (Kablo₅) için Ölçümler

Kablo₅ için WinCoMeT üzerinde transfer empedansı için alınan grafik Şekil 3.45'teki gibidir.



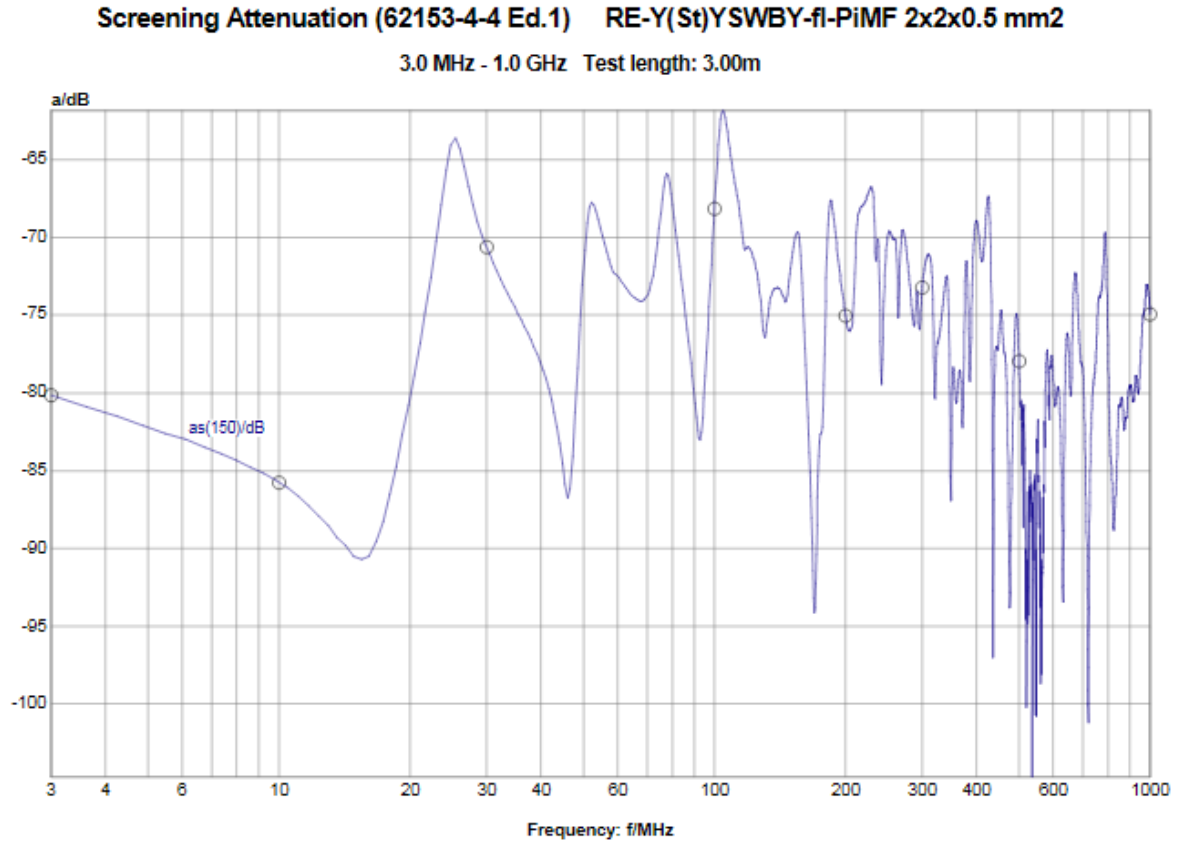
Şekil 3.45 Kablo₅ için transfer empedansı veri grafiği

Belirlenen frekanslarda (3, 10, 30, 100, 200, 300, 500, 1000 MHz) transfer empedansı verileri Şekil 3.46'daki gibidir.

- Markerdata			
f/MHz	ZT/(mOhm/m)	f/MHz	ZT/(mOhm/m)
0.10	0.0000	300.00	8.90
3.00	4.02	500.00	5.17
10.00	2.11	1000.00	7.31
30.00	12.0		
100.00	16.0		
200.00	7.25		

Şekil 3.46 Kablo₅ için belirlenmiş frekanslarda transfer empedansı değerleri

Öte yandan Kablo₅ için yapılması gereken diğer ölçüm olan ekranlama etkinliği için alınan grafik Şeki 3.47'deki gibidir.



Şekil 3.47 Kablo₅ için ekranlama zayıflaması veri grafiği

Belirlenmiş frekanslardaki alınan zayıflama değerleri Şekil 3.48'deki gibidir.

Markerdata			
f/MHz	as(150)/dB	f/MHz	as(150)/dB
0.10	0.0000	300.00	-73.2
3.00	-80.1	500.00	-78.0
10.00	-85.7	1000.00	-74.9
30.00	-70.6		
100.00	-68.1		
200.00	-75.0		

Şekil 3.48 Kablo₅ için belirlenen frekanslarda elde edilen zayıflama değerleri

ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Uygulayıcılar tarafından enstrumantasyon kabloları 10 MHz - 100 MHz arasında kullanılmaktadır. Bu frekans aralığı yüksek frekans ile çok yüksek frekans aralıklarına denk gelmektedir. Yapıları gereği Kablo₁ ile Kablo₂ birbirlerine izolasyon katmanları hariç benzemektedir. Bu kablolar iki adet per toplamda dört damardan oluşmakta, ekran olarak toprak teli ve ALPES bant kullanmaktadır. Kabloların dış kılıfları PVC'dir. Bu kabloların birbirinden farklı yanı Kablo₁ izolesinin PVC, Kablo₂ izolesinin XLPE malzemeden üretilmiş olmasıdır. Bu iki kablonun zayıflamalarının birbirleri arasında karşılaştırılması Çizelge 4.1'de verilmiştir. Frekans aralıkları endüstride sıklıkla kullanılan 3 MHz - 100 MHz aralığında seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre XLPE izoleli Kablo₂'nin zayıflama değeri Kablo₁'e göre daha azdır. Yani Kablo₂ Kablo₁'e göre 3 MHz - 100 MHz frekans aralığında daha stabil bir ekranlama etkinliği yapısına sahiptir. Tek tek frekans bazlı inceleme yapıldığında da Kablo₂'nin zayıflama değerleri Kablo₁'e göre daha iyidir.

Çizelge 4.1 Kablo₁ ve Kablo₂'nin belirlenmiş frekans aralıklarında ekranlama zayıflamaları karşılaştırma tablosu

Kablo Adı Frekans (MHz)	RE-Y(St)Y-fl 2x2x0.5 mm² (Kablo₁) Zayıflaması (dB)	RE-2X(St)Y-fl 2x2x0.5 mm² (Kablo₂) Zayıflaması (dB)
3	-108.0	-75.5
10	-95.9	-78.6
30	-83	-70.9
100	-64.8	-62.1

Yapısal olarak kablolar incelendiğinde Kablo₁ ile Kablo₄'ün birbirleri arasındaki fark Kablo₄'te ekstra PiMF yapısının olmasıdır. Bu yapıda her per (iki damardan oluşan yapı) için PES bant, toprak teli, ALPES bant ve tekrar PES bantlı yapı diğer kabloya göre ilaveten mevcuttur. Dolayısıyla Kablo₄'te ekranlama elemanı genel toprak teli dahil 3 adet toprak teli ve 3 adet ALPES banttır. Kablo₁ yapısında sadece genel toprak teli ve ALPES bant mevcuttur. Kablo₁ ile Kablo₄'ün zayıflama değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 4.2'de verilmiştir. Yine frekans aralığı olarak 3 MHz - 100 MHz frekans aralığı seçilmiştir.

Çizelge 4.2 Kablo₁ ve Kablo₄'nin belirlenmiş frekans aralıklarında ekranlama zayıflamaları karşılaştırma tablosu

Kablo Adı Frekans (MHz)	RE-Y(St)Y-fl 2x2x0.5 mm² (Kablo₁) Zayıflaması (dB)	RE-Y(St)Y-fl-PiMF 2x2x0.5 mm² (Kablo₄) Zayıflaması (dB)
3	-108.0	-74.4
10	-95.9	-52.2
30	-83	-45.1
100	-64.8	-40.7

Çizelge 4.2'deki sonuçlar göstermektedir ki PiMF'li yapıya sahip Kablo₄, her frekans değerinde Kablo₁'e göre daha üstün bir ekranlama etkinliğine sahiptir. Bu da demektir

ki sadece genel ekranı olan bir haberleşme kablosuna göre genel ekranı ve perlerinde ekranı bulunan haberleşme kabloları ile daha iyi bir ekranlama sağlanabilmektedir.

Çalışmada diğer bir karşılaştırma ise sadece genel ekranlı Kablo₁ ile genel ekran ve örgü ekran yapısına sahip Kablo₃ arasında olmuştur. Kabloların zayıflama değerlerini içeren Çizelge 4.3'e bakılacak olunursa örgü ekranın etkisi görülecektir. Ancak yukarıda bahsedilen PiMF'li Kablo₄'ün aksine Kablo₃'ün zayıflama değerleri o kadar etkileyici değildir. Fakat yine görülecektir ki Kablo₃ Kablo₁'e göre yüksek frekanslarda daha iyi zayıflama değerlerine sahiptir.

Çizelge 4.3 Kablo₁ ve Kablo₃'ün belirlenmiş frekans aralıklarında ekranlama zayıflamaları karşılaştırma tablosu

Kablo Adı Frekans (MHz)	RE-Y(St)Y-fl 2x2x0.5 mm² (Kablo₁) Zayıflaması (dB)	RE-Y(St)YSWBY-fl 2x2x0.5 mm² (Kablo₃) Zayıflaması (dB)
3	-108.0	-88
10	-95.9	-95.3
30	-83	-74.7
100	-64.8	-66.1

Genel ekran ve örgü yapılarının aynı olduğu Kablo₃ ve Kablo₅ kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Kablo₅'in Kablo₃'ten farkı genel ekran ve örgü yapısına ek olarak PiMF'li yapıya sahip olmasıdır. Çizelge 4.4'te bu iki kablonun belirlenmiş frekans aralıklarında zayıflama değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 4.4 Kablo₃ ve Kablo₅'in belirlenmiş frekans aralıklarında ekranlama zayıflamaları karşılaştırma tablosu

Kablo Adı Frekans (MHz)	RE-Y(St)YSWBY-fl 2x2x0.5 mm² (Kablo₃) Zayıflaması (dB)	RE-Y(St)YSWBY-fl-PiMF 2x2x0.5 mm² (Kablo₅) Zayıflaması (dB)
3	-88	-80.1
10	-95.3	-85.7
30	-74.7	-70.6
100	-66.1	-68.1

Elde edilen sonuçlardan görüleceği üzere ekstra PiMF yapısı Kablo₅'te ekranlama etkinliğine pozitif etki yapmıştır. Kablo₃ yüksek frekans aralığında Kablo₅'ten daha kötü bir zayıflama performansına sahiptir. Fakat çok yüksek frekans aralığında Kablo₃'ün zayıflama değerleri daha iyi olduğu görülmüştür. Özetle; genel ekran, PiMF yapısı ve örgü ekrana sahip bir kablo çalışma aralığı olan yüksek frekanslarda daha iyi zayıflama değerlerine sahiptir.

Genel olarak sonuçlar değerlendirilecek olursa; izole materyalinin etkisini incelemek amacı ile Kablo₂ Kablo₁ ile aynı yapıya sahiptir. Bu karşılaştırmada XLPE izoleli Kablo₂'nin zayıflama değerleri PVC izoleli Kablo₁'e göre yüksek frekanslarda daha iyi olduğu gözlenmiştir. İzole materyali farklılığını bir kenara bırakıp ekranlama elemanları yapılarına bakılacak olunursa Kablo₁, Kablo₃, Kablo₄ ve Kablo₅ kendi aralarında karşılaştırılmalıdır. Bu karşılaştırmada en iyi zayıflama değerlerine Kablo₄ sahiptir. Genel karşılaştırma tablosu Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 Kabloların zayıflama değerlerinin genel karşılaştırma tablosu

Kablo Adı Frekans (MHz)	Kablo₁ Zayıflaması (dB)	Kablo₂ Zayıflaması (dB)	Kablo₃ Zayıflaması (dB)	Kablo₄ Zayıflaması (dB)	Kablo₅ Zayıflaması (dB)
3	-108	-75.5	-88	-74.4	-80.1
10	-95.9	-78.6	-95.3	-52.2	-85.7
30	-83	-70.9	-74.7	-45.1	-70.6
100	-64.8	-62.1	-66.1	-40.7	-68.1
200	-68.5	-81.3	-73.8	-55.5	-75
300	-73.4	-109	-69.5	-27.2	-73.2
500	-58.4	-75.8	-84.8	-46.4	-78
1000	-44.4	-81.7	-68.6	-40.9	-74.9

Alınan sonuçlar neticesinde enstrumantasyon kablolarının ekranlama yeteneklerinin ne ölçüde olduğunu saptamak için koaksiyel kabloları ile karşılaştırmak faydalı olacaktır. Kablo₁, Kablo₃, Kablo₄ ve Kablo₅'in karakteristik empedansları 50 Ω olduğundan bu kabloları yine 50 Ω karakteristik empedansa sahip koaksiyel kablolarla karşılaştırmak doğru olacaktır. Kablo tipleri arasında kıyaslama yapılacak olunursa 3 ila 10 MHz frekans aralığında koaksiyel kabloların zayıflama değerleri yaklaşık olarak 2 dB - 10 dB arasında değişirken, enstrumantasyon kablolarında 50 ila 100 dB arasında değişmekte; 10 MHz - 30 MHz frekans aralığında koaksiyel kablolarda 5 dB - 20 dB arasında değişirken, enstrumantasyon kablolarında 45 dB - 95 dB arasında değişmekte; 30 MHz - 100 MHz frekans aralığında da koaksiyel kablolarda zayıflamalar 5 dB - 30 dB arasında değişirken, enstrumantasyon kablolarında 40 dB - 85 dB arasında değişmektedir. Bu karşılaştırma sonucuna göre neden koaksiyel kablolar endüstride kullanılmıyor sorusu akıllarda yer edebilir. Bunun cevabı ise şu şekilde verilebilir; endüstride kullanılan kablolarda öncelikle yağ, benzin türevlerine, aleve, yangına, haşerelere dayanım istenmektedir. Bunun için enstrumantasyon kabloları tercih edilir. Başka bir seçim nedeni ise kablo boyutlarıdır. Enstrumantasyon kablo yapısı ile daha küçük çaplarda daha fazla damar bir kabloda kullanılabilir. Ama koaksiyel kablolar çiftli (dual) yapılar hariç hep tek iletken üzeri izole, ekran katmanı, zırh katmanı (varsa) ve dış kılıf olarak

üretirler. Dolayısıyla aynı bir enstrumantasyon kablosundan dört ayrı damar geçirirken, aynı çapa sahip koaksiyel kablosundan tek damar geçer. Bu durum da uygulayıcı tarafında koaksiyel kablo kullanması halinde yer sıkıntısı doğurur. Diğer bir kıstas metrajdır. Enstrumantasyon kabloları uzun metrajlarda üretilirler. Ama koaksiyel kabloları kısa metrajda, maksimum 100 metre uzunluğunda, üretilirler. Koaksiyel kabloların zayıflama değerleri 100 metreden sonra kalitesini ciddi anlamda kaybetmeye başlar. Bu da örneğin bir fabrika içerisinde 1000 metre koaksiyel kablo kullanmaktansa 1000 metre enstrumantasyon kablosu kullanılmasını daha uygun hale getirir. Maliyet ve fiyatlandırma penceresinden bakılacak olunursa, koaksiyel kablolar aynı metrajdaki enstrumantasyon kablolarına oranla daha pahalıdır. Bu bilgilere ek olarak enstrumantasyon kabloları intrinstik güvenli sistemler (intrinsically safe systems) ve patlamaya dayanıklı sistemlerde (explosion proof systems) kullanılması uygun bir kablo türüdür. Kullanıcı kendi sisteminin yapısını ve ihtiyaçlarını bilip, üreticiye kendi sınırları olan zayıflama aralığını verirse onun talebine karşılık kaliteli enstrumantasyon kablolarının üretilmesi mümkündür.

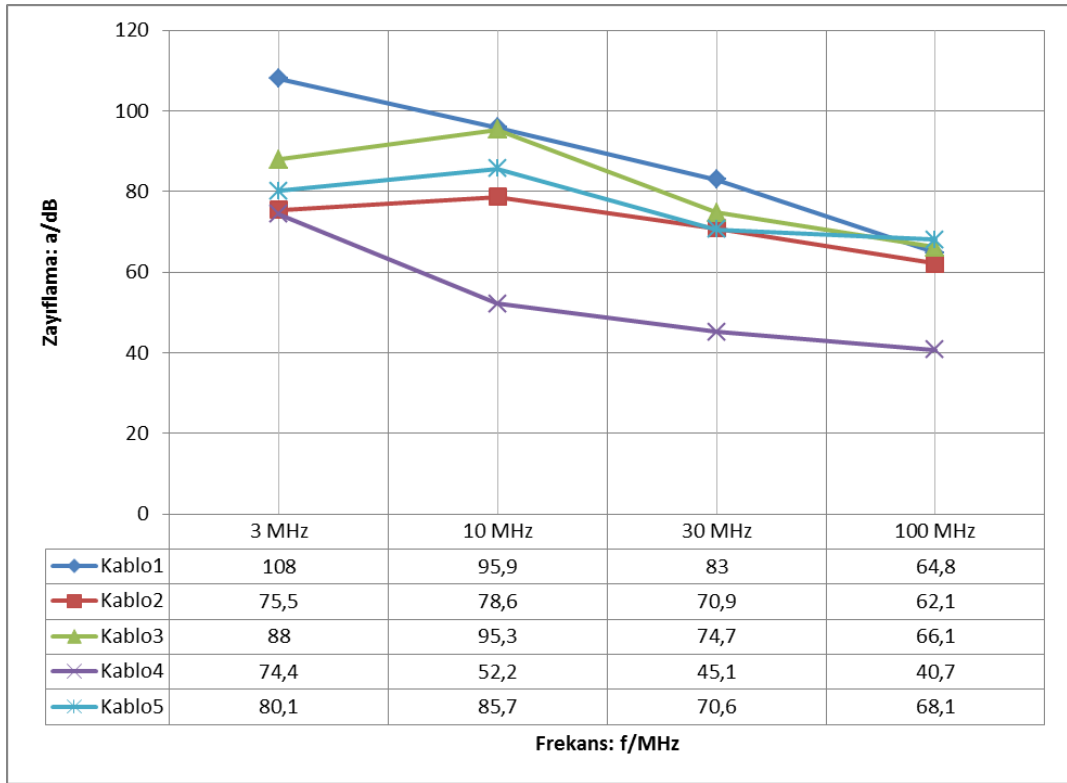
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, günümüzde yaygın olarak kullanılan beş enstrumantasyon kablosu seçilmiş ve seçilen enstrumantasyon kablolarının ekranlama etkinlikleri incelenmiştir. Bu incelemenin nedeni artan PLC sistemli makineler, bilgisayarlar, el terminalleri, telefonlar, radyo sinyalleri ve hatta diğer kabloların oluşturduğu girişimlere karşı enstrumantasyon kablolarının ne derecede etkilendiğinin ölçülmesidir. Kablolarda ekran yapıları şu şekildedir; genel ekran yani toprak teli ve ALPES bantın beraber kullanıldığı yapı, PiMF veya TiMF olarak adlandırılan perlerin (2 ya da 3 damardan oluşan ve belirli bir hatvede bükülmüş damarlar) üzerine gelen toprak teli ve ALPES bant yapısı, örgü ekran yani bakır veya galvanizli çelik tellerin örülmesi ile belirli kapama oranına sahip yapı. Kablo₁ (RE-Y(St)Y-fl 2x2x0.5 mm²) ve Kablo₂ (RE-2X(St)Y-fl 2x2x0.5 mm²) kablolarda genel ekran yapısı kullanılmış olup bu iki kabloyu birbirinden ayıran özellik dielektrik katsayıları farklı izole malzemesi PVC ve XLPE kullanılmasıdır. Kablo₃ (RE-Y(St)YSWBY-fl 2x2x0.5 mm²) kabloda genel ekran ile beraber %75 kapama oranına sahip galvanizli çelik tel örgü yapısı kullanılmıştır. Kablo₄ (RE-Y(St)Y-fl-PiMF 2x2x0.5 mm²) kabloda PiMF ve genel ekran yapısı kullanılmıştır. Kablo₅ (RE-Y(St)YSWBY-fl-PiMF 2x2x0.5 mm²) kabloda ise PiMF yapısı, genel ekran ve örgü yapısı birlikte kullanılmıştır.

Kabloların zayıflama değerlerini ölçmek için öncelikle karakteristik empedanslarını bilmek gerekir. Karakteristik empedans değerleri öncelikle teorik olarak hesaplanmış, daha sonra TS EN 50289-1-11 standardına göre laboratuvarında ölçülmüştür. Kabloların karakteristik değerleri doğrulandıktan sonra, ölçüm işlemi için hazırlanmıştır. Ölçme

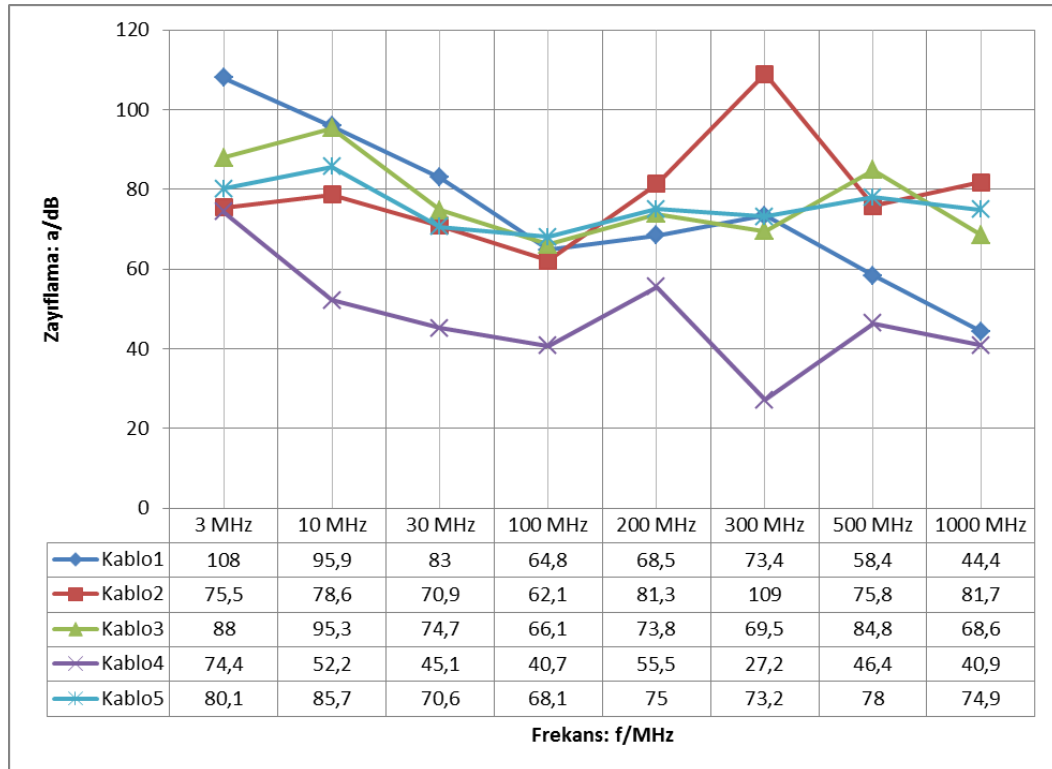
sistemi için TS EN 50289-1-6 standardına uygun Üç Eksenli Test Metodu (Triaxial Test Method) kullanılmıştır. Ölçüm sisteminde öncelikle kabloların transfer empedansları ölçülmüştür. Transfer empedansları ile kabloların ekranlama etkinliği karakterize edilmiştir. Transfer empedans verileri ile kısa muntazam kabloların ekranlama etkinlikleri açıklanabilir. Ölçüm sistemi ile daha sonra ekranlama zayıflaması ölçümlerine geçilmiştir. Kablolar elektriksel olarak uzun olduğu için ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde bu zayıflama değerleri kullanılmıştır.

Zayıflama değerleri incelenirken enstrumantasyon kablolarının kullanıldığı 3 MHz – 100 MHz frekans aralığı gözlemlenmiştir. Değerler alındıktan ve incelendikten sonra Kablo₄'ün (RE-Y(St)Y-fl-PiMF 2x2x0.5 mm²) diğer kablolarla göre daha iyi zayıflama performansına sahip olduğu görülmüştür. İzole materyallerinin incelendiği ilk iki kabloda ise XLPE izoleli Kablo₂'nin (RE-2X(St)Y-fl 2x2x0.5 mm²) daha iyi zayıflama değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Kablo₃ (RE-Y(St)YSWBY-fl 2x2x0.5 mm²) ve Kablo₅'te (RE-Y(St)YSWBY-fl-PiMF 2x2x0.5 mm²) bulunan galvanizli çelik tel örgü yapısı, değerlendirilen frekans aralıklarında, Kablo₄'e (RE-Y(St)Y-fl-PiMF 2x2x0.5 mm²) göre daha etkisiz bir sonuç vermiştir. Alınan zayıflama değerleri incelenecek olunursa çelik örgü yapısının diğer ekranlama yapılarına oranla etkileyici bir sonuç vermediği görülmektedir. İncelenen beş kablonun kullanıldıkları çalışma frekans aralıklarında gösterdikleri zayıflama performansları Şekil 5.1'deki grafik ile gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Çalışma frekanslarına göre kabloların karşılaştırma grafiği

Elde edilen genel sonuçlara göre beş kablonun karşılaştırması Şekil 5.2'deki grafik ile verilmiştir.



Şekil 5.2 Tüm frekans aralıklarında beş kablonun zayıflama performansları

Bundan sonraki çalışmalarda Kablo₄'ün (RE-Y(St)Y-fl-PiMF 2x2x0.5 mm²) öncelikle damar sayısı aynı kalmak şartıyla diğer kesitleri 0.75, 1.0, 1.3, 1.5 ve 2.5 mm², sonrasında ise 4x2, 8x2, 10x2, 16x2, 20x2 ve 24x2 damar sayılı versiyonları Ar-Ge çalışması olarak prototip üretim yapılabilir ve zayıflama değerleri ölçülebilir. Kablo₄'e (RE-Y(St)Y-fl-PiMF 2x2x0.5 mm²) göre daha yüksek zayıflama değerlerine sahip Kablo₃'ün (RE-Y(St)YSWBY-fl 2x2x0.5 mm²) ekran örgü yapısı galvanizli çelik tel yerine çıplak bakır tel kullanılıp, öncelikle kapama oranı %75, sonrasında ise %55, %70, %85 ve %90 olarak Ar-Ge çalışması olarak üretilip ölçümler yapılırsa çelik telli yapının zayıflama değerlerine göre daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir (verilen bu kapama oranları koaksiyel kablolarda da kullanılan oranlardır). PVC izoleli dört kablo tipinin XLPE izoleli versiyonları üretilip bu kabloların zayıflama değerleri ölçülmeli ve PVC izole ile karşılaştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Halme, L. ve Mund, B., (2003). "EMC of Cables, Connectors and Components with Triaxial Test set-up", 62nd IWCS Conference, 10-13 November 2003, Charlotte, NC.
- [2] Breitenbach O., Hähner T. ve Mund B., (1998). "Screening of Cables in The MHz to GHz Frequency Range Extended Application of a Simple Measuring Method", IEE Colloquium on, 06 May 1998, London.
- [3] Mund B., (2004). "Measuring the EMC on RF- Connectors and Connecting Hardware. Tube in Tube Test Procedure", 53rd IWCS/Focus Conference, 14-17 November 2004, Philadelphia, Pennsylvania.
- [4] Mund B., (2000). "Measuring the Screening Effectiveness of Communication Cables", Wire, 27-29.
- [5] Bluhm M., Peroglio E., Pierucci G., Squizzato V., Zich R. E., (2000). "Measurements of Transfer Impedance with the Line Injection Method on Cables and Connectors", Electromagnetic Compatibility IEEE International Symposium 21-25 August 2000, Washington, DC, 599-604.
- [6] Hähner T., Mund B., (1999). "Background, Content and Future of the EMC Measurement Standard prEN 50289-1-6, Open / Shielded Test Methods".
- [7] Young, E.C., (1988), The Penguin Dictionary of Electronics, Second Edition, London Penguin Books.
- [8] TS EN 50289-1-11, (2005). Kablolar - Haberleşme Kabloları – Deney Metotları İçin Özellikler - Bölüm 1-11: Elektriksel Deney Metotları – Karakteristik Empedans, Giriş Empedansı, Geri Dönüş Kaybı, TSE, Ankara.
- [9] Kuphaldt, T.R., (2007). Lessons In Electric Circuits, Volume II – AC, Sixth Edition, ibiblio.org.
- [10] TS EN 50289-1-6, (2006). Kablolar - Haberleşme Kabloları – Deney Metotları İçin Özellikler – Bölüm 1-6: Elektriksel Deney Metotları – Elektromanyetik Performans, TSE, Ankara.
- [11] Mund B., (2004). "Tube in Tube", Wire, 30-32.
- [12] IEC 62153-4-1, (2013). Metallic Communication Cable Test Methods – Part 4-1: Introduction to Electromagnetic (EMC) Test Methods, IEC.

- [13] Burgt, M.V., Solving Signal Problems, https://www.belden.com/resourcecenter/documents/upload/Solving_Signal_Problems.pdf, 1 Haziran 2015.
- [14] Gibilisco, S., (2001), The Illustrated Dictionary of Electronics, Eighth Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [15] Anaren Microwave, Inc., Measurement techniques for Baluns, https://www.anaren.com/sites/default/files/uploads/File/BalunTesting_0.pdf, 6 Haziran 2015.
- [16] BH Electronics, Inc., Test Baluns, <https://www.bhelectronics.com/products/test-baluns.html>, 28 Temmuz 2015.
- [17] BH Electronics, Inc., 1.3 GHz Test Balun, <https://www.bhelectronics.com/products/assets/documents/040-0229-catalog-print.pdf>, 28 Temmuz 2015.
- [18] Agilent Technologies, (2000). User's Guide Agilent Technologies 8712ET and 8714ET RF Network Analyzers, Part No. 08714-90011.
- [19] Teseq, AMZ 41, <http://www.teseq.com/products/AMZ-41.php>, 28 Temmuz 2015.
- [20] The bedea BERKENHOFF & DREBES GmbH, CoMeT, <http://www.bedea.com/index.php/en/portfolio/test-equipment/comet>, 28 Temmuz 2015.
- [21] DSX-5000 CableAnalyzer, <http://www.flukenetworks.com/datacom-cabling/Versiv/DSX-5000-Cableanalyzer>, 28 Temmuz 2015.
- [22] CST, https://www.cst.com/content/events/workshop_documents/2010/Real_World_Cable_Modeling.pdf, 18 Ağustos 2015.
- [23] Fluke LinkWare PC Cable Test Management Software, <http://www.flukenetworks.com/datacom-cabling/copper-testing/LinkWare-Cable-Test-Management-Software>, 28 Temmuz 2015.
- [24] IEC 60228, (2004). Conductors of insulated cables, IEC, Cenevre.
- [25] IEC 62153-4-3, (2013). Metallic communication cable test methods Part 4-3: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Surface transfer impedance – Triaxial method, IEC.
- [26] 2M Kablo Sanayi ve Tic. A.Ş., (2004). Network Analizör Cihazı Kullanma Talimatı, Doküman No T-17, İstanbul.
- [27] TS EN 50289-1-1, (2004). Kablolar - Haberleşme Kabloları – Deney Metotları İçin Özellikler – Bölüm 1-1: Elektriksel Deney Metotları – Genel Özellikler, TSE, Ankara.

- [28] 2M Kablo Sanayi ve Tic. A.Ş., (2014). Transfer Empedans, Ekranlama Zayıflaması Ve Kuplaj Zayıflaması Kalibrasyon Talimatı, Doküman No T319, İstanbul.
- [29] IEC 62153-4-4, (2015). Metallic communication cable test methods - Part 4-4: Electromagnetic compatibility (EMC) - Test method for measuring of the screening attenuation as up to and above 3 GHz, triaxial method, IEC.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	Mustafa Türker GÜLTEPE
Doğum Tarihi ve Yeri	17.06.1989, Selçuklu
Yabancı Dili	İngilizce, İtalyanca
E-posta	mturkergultepe@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektronik ve Hab. Müh.	Süleyman Demirel Üniversitesi	2012
Lise	Sayısal	Ortaklar Anadolu Öğretmen Lisesi	2007

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum
07.2013-...	2M Kablo Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi, Ar-Ge Mühendisi
04.2013-07.2013	Spintek İletişim Limited Şirketi, Ar-Ge Mühendisi