

关于改善数字电缆输入阻抗的探讨

姜廷运

(大连通信电缆厂 大连 116021)

【摘要】从传输理论角度,详细论述了数据电缆特性阻抗与输入阻抗物理意见,指出了两者概念上的差别和实际使用中的不同之处。从实际制造的角度论证改进输入阻抗波动范围退扭理论,指出了改善输入阻抗波动范围的工艺措施。

关键词: 特性阻抗 输入阻抗 波动范围 退扭

1 引言

正如我们大家众所周知的那样:对称数据电缆的电气、传输参数中的绝大多数参数的值,是可以根据检测结果进行定性乃至定量的分析,进而通过改变电缆结构元件的尺寸数值或元件彼此间的位置,来得以有效的改进。但也有极小数的参数与此不同,例如输入阻抗就是这些参数中典型的一个。由于输入阻抗频率特性曲线的波动范围,与制造过程中的诸多随机缺陷有着极为直接的关系,而制造过程中这诸多的随机缺陷之间又彼此间相互关联,相互影响,错综复杂,因而使得我们对输入阻抗这一参数的波动范围很难准确地进行定性和定量分析,更无法通过改变元件的尺寸来缩小它的波动范围——这给我们电缆制造厂家的制造带来了不少的困难。例如:笔者所在地的技术监督部门,今年早些时候对市场上流通的数据电缆进行了一次抽查,被抽产品共计22家(其中4家国外产品),而达到产品包装标定标准的只有6家,合格率仅为27%。在16家不合格产品中几乎100%是由于输入阻抗不合格或与此直接有关的SRL或RL不合格所致。从一定意义上讲,输入阻抗频率特性曲线波动范围的大小是一个数字电缆制造厂家产品质量水平,制造能力的综合表征。

本文旨在,从阻抗的物理含义入手,通过计算分

析,找出输入阻抗频率特性曲线产生波动的机理,进而探讨缩小其波动范围的措施。以保证产品的质量和高稳定性。

2 有关阻抗的概念

2.1 阻抗的物理含义

在诸多的传输理论的书籍中,将对称通信电缆的阻抗分为特性阻抗和输入阻抗两个概念来加以论述,其二者的物理含义如下:

特性阻抗(Z_c):电磁波沿均匀电缆线路传播而没有反射时所遇到的阻抗。亦即线路终端匹配时,线路内任一点的电压波(U)和电流波(I)的比值,就是线路的特性阻抗。

按上述物理含义,经推导后特性阻抗 Z_c 的值可由下式计算得出。

$$Z_c = \frac{U}{I} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (1)$$

式(1)中:

R ——回路的有效电阻;

L ——回路电感;

ω ——角频率 $\omega = 2\pi f$;

G ——绝缘电导;

C ——回路工作电容。

按上式计算出的均匀无反射电缆的特性阻抗的理论频率特性曲线如图1所示。

输入阻抗(Z_{in}):电缆回路的输入阻抗为始端电

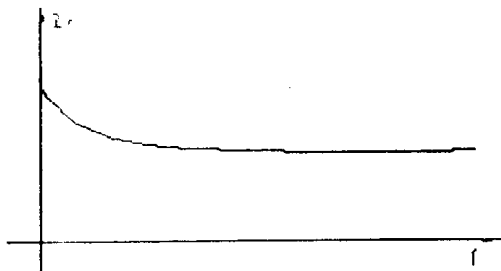


图1 Z_c 的理论频率特性曲线

压 U_0 和电流 I_0 之比, 其值可由下式求得(均匀的电
缆线路)

$$Z_{in} = \frac{U_0}{I_0} Z_c \frac{ch \gamma l + Z_c sh \gamma l}{Z_H sh \gamma l + Z_c ch \gamma l} \quad (2)$$

式(2)中:

γ ——电缆的传播常数;

Z_H ——负载阻抗;

l ——电缆的长度;

Z_c ——特性阻抗。

实际电缆的输入阻抗的频率特性曲线如图 2 所
示, 在 YD/T 1019-2001 中将该阻抗称复合阻抗。

由于实际电路中几乎 100% 都有反射波的存在, 因而特性阻抗的频率特性曲线在实际中很难十分准确地测出, 基于设计目的 YD/T 1019-2001 附录 B 中提出了拟合阻抗的概念, 其定义如下:

拟合阻抗: “为了设计目的对阻抗数据取得函数
渐近线。”

在实际使用中以此渐近线代替特性阻抗 Z_c 的
频率特性曲线。拟合阻抗的频率特性曲线见图 2 所
示。

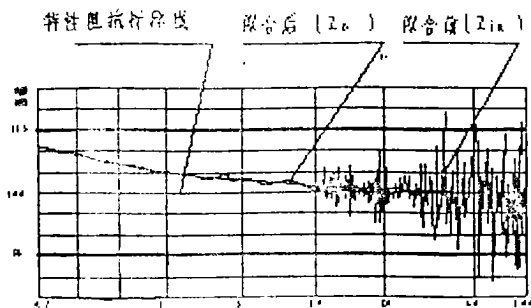


图2 输入阻抗及拟合阻抗频率特性曲线

2.2 关于阻抗概念实际使用中的几点看法

(1) 如前所述, 特性阻抗 Z_c 和输入阻抗 Z_{in} 无论
是在物理含义上, 还是计算方法以及与各自有关的

因素上都存在着很大的不同, 两者只是在线路无任何
反射波存在或者在长的电缆线路中值才是相等的,
而在实际线路或者是短线路中情况就完全不同了,
对此有的文章乃至相关的标准中将二者视为同一概
念, 这不但在用法上有待于商讨, 而在实际中容易造
成概念的混淆, 正因为如此, A STMD 4566 标准的
44 条和 45 条中把图 2 中的拟合前的曲线定义为输
入阻抗 Z_{in} 以区别于特性阻抗 Z_c 。笔者认为这一规定
颇为确切, 它不但体现了传输理论中的论述, 而且在
实际使用中给人们以确切清晰的概念, 有效地避免
了可能发生的混淆。

业内权威人士徐乃英先生: 在其《数字电缆的特
性阻抗与结构回损》一文中也明确地阐明了这一点。
本文也是在将图 2 中拟合前的曲线定义为输入阻抗
 Z_{in} 这个名称而加以讨论的。(全文如此)

(2) 拟合阻抗实质上是为了从输入阻抗 Z_{in} 的
频率特性曲线中分离出电缆结构效应的影响, 而用
数学的最小二乘法对其进行函数拟合后而得到函数
渐近线。这种拟合虽然存在着一定的拟合误差, 但在
一定程度上, 可以用此来代替特性阻抗 Z_c 的频率特
性曲线, 而用于结构调整和设计目的。

(3) 鉴于上述 YD/T 1019-2001 中的第
5.10.6.1 条中表 26 的规定(即 $100 \pm 15\Omega$) 应当是
对输入阻抗 Z_{in} 波动范围的规定, 而不是对特性阻抗
的限制范围; 而该条中的表 29 中的规定(即下限为
 95Ω , 上限为 $105 + 8\Omega$) 才应当是对特性阻抗 Z_c 波动
的限制范围。

3 输入阻抗波动机理及因素的分析

前面我们所说的电缆线路都是均匀无反射的线
路, 这种线路必须同时具备二个条件: 其一, 电缆的
结构元件无论是在其纵向还是横向上元件的各要素
和特性都是均匀一致的; 其二, 负载阻抗是匹配的。
这里我们把二个条件同时存在的电缆线路称其为均
匀的电缆线路。在实际使用中, 由于上述二个条件几
乎都不存在, 所以实际的线路都是不均匀的并且都
有反射波的存在, 如图 3 所示。此时情况就大不相同
了, Z_{in} 不再等于 Z_c , 而是在整个频带上产生不对称
的不规则的波动。下面对引起输入阻抗 Z_{in} 频率特性
曲线波动的因素逐项进行分析。

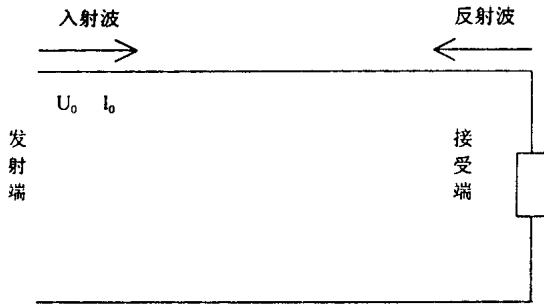


图 3 实际线路的输入阻抗

3.1 负载不匹配时的输入阻抗

这里,我们先假定电缆结构要素是均匀的,只是负载阻抗不匹配, Z_H 处于短路、开路和任意情况时输入阻抗 Z_m 的计算。将式 2 整理后得出:

$$Z_m = Z_c \frac{thn + th\gamma l}{1 + thn \cdot th\gamma l} = Z_c th(\gamma l + n) \quad (3)$$

式(3)中:

$$thn = \frac{Z_H}{Z_c};$$

γ ——传播常数;

l ——电缆长。

由式(2)和式(3)可以看出:输入阻抗 Z_m 与特性阻抗 Z_c 、传播常数 γ 负载阻抗 Z_H 、线路长度 l 传输的频率 f 等因素有关(这是它区别于 Z_c 的主要所在)。因此,输入阻抗 Z_m (包括负载开路时的输入阻抗 Z_{open} 和负载短路时的输入阻抗 Z_{short}) 的模和相角都将随线路的长度 l 和频率 f 的变化而波动——这是输入阻抗产生波动的原因之一。

3.2 电缆存在结构效应时的输入阻抗

这里所说的结构效应,是指电缆的结构元件的结构要素,是不均匀的,并在不均匀点处引发电磁波反射的现象。

在实际使用中,由于电缆的长度很短 ($l < 100m$), 电缆在制造过程中又不可能做的绝对均匀,因此实际的电缆线路 100% 都是不均匀的。而每一个不均匀点都将必然不同程度地引发电磁波的反射,如图 3 所示。这时在线路始端测得的电压 U_0 应为入射电压波 U_{λ} 和反射电压波 $U_{\text{反}}$ 之和,即: $U_0 = U_{\lambda} + U_{\text{反}}$; 同时测得的电流 I_0 应为入射波电流 I_{λ} 和反射波电流 $I_{\text{反}}$ 之差,即: $I_0 = I_{\lambda} - I_{\text{反}}$ 。此时的输入阻抗 Z_m 可用下式计算:

$$Z_{\lambda} = \frac{U_0}{I_0} = \frac{U_{\lambda} + U_{\text{反}}}{I_{\lambda} - I_{\text{反}}} \quad (4)$$

从物理概念上来说,由于线路具有衰减常数 α 和相移常数 β , 电磁波在传输过程中,幅值和相角必然会发生变化。因此当反射波在始端与入射波相叠加时情况就变得非常复杂:在某些频点上可能同相位,在有些频点上可能是反相位,于是有些 $U_{\lambda} + U_{\text{反}}$ 为最大而 $I_{\lambda} - I_{\text{反}}$ 为最小,在另外一些频点上情况完全相反,或在两者之间交互出现,而使 Z_m 的频率曲线发动不对称无规则的波动——这是导致输入阻抗频率特性曲线波动的主要原因。

从式(4)中我们可以清楚地看出:输入阻抗波动范围的大小取决于反射波的大小,若 $U_{\text{反}}、I_{\text{反}}$ 均为零(无反射时)此时 $Z_{\lambda} = Z_c$; 而 $U_{\text{反}}、I_{\text{反}}$ 的幅值越大, β 越大输入阻 Z_m 的波动就越大。

3.3 特性阻抗 Z_c 与反射波的关系

数据电缆最基本的结构元件是绝缘单线和绞合线对,电缆基本的结构元件示意图如图 4、图 5 所示。

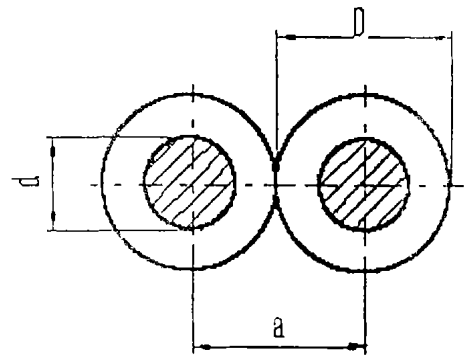


图 4 绞合线对断面图

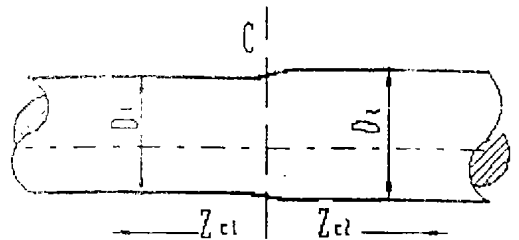


图 5 绝缘单线轴向示意图

前面我们已经叙述过,输入阻抗 Z_m 波动的大小主要取决于反射波幅值的大小及衰减常数 α 和相移常数 β , 其中起主导作用的还是反射波幅值的大小,我们用反射系数 P 来表示反射波的大小。反射系数 P 有两种情况:

由于负载不匹配引起的反射系数:

$$P_{\text{负}} = \frac{Z_H - Z_c}{Z_H + Z_c} \quad (5)$$

由于 Z_c 不相等引起的反射系数:

$$P_{ZC} = \frac{Z_{c2} - Z_{c1}}{Z_{c2} + Z_{c1}} \quad (6)$$

因负载不匹配引起的反射前面已经说过了, 这里主要分析各段电缆的特性阻抗 Z_c 不相等与反射波大小的关系。

在电缆的制造过程中, 要保证结构元件各要素如: 导体直径 d 、绝缘外径 D 、两线间的距离 a 、导体与绝缘层的同心度等各要素都 100% 的均匀是不可能, 例如图 5 所示的绝缘单线在某一点(或区段)前后直径不相等的情况, 在实际制造中是相当普遍的。这一点前后直径的变化将导致该点前后的特性阻抗不相同, 即 $Z_{c1} \neq Z_{c2}$ 。由式(6)可以看出, Z_{c1} 与 Z_{c2} 的差越大反射系数 P_{ZC} 也就越大, 因而反射波也就越大, 此时的输入阻抗波动就越大。

3.4 结构要素与输入阻抗的关系

从式(1)中我们看出, 特性阻抗 Z_c 的大小是由电缆的四个一次参数 L 、 C 、 R 、 G 来决定的。由传输理论知, 当频率超过一定值时(例 $f > 30$ kHz 时), 特性阻抗 Z_c 可由下式算出。

$$Z_c = |Z_c| = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\varphi = 0) \quad (7)$$

由式(7)可知, 在高频时, 特性阻抗 Z_c 的值主要取决回路电感 L 、回路工作电容 C 。

回路电感:

$$L = \lambda \left[4 \ln \frac{2a-b}{d} + Q(x) \right] \times 10^{-4} \text{ (亨/公里)} \quad (8)$$

回路工作电容:

$$C = \frac{\lambda \epsilon_r}{36 \ln \left(\frac{2a}{d} \cdot \varphi \right)} \times 10^{-6} \text{ (法/公里)} \quad (9)$$

式(8)、(9)中:

λ ——线对总绞合系数;

a ——两绝缘导线间的距离(mm);

d ——单线的导体直径(mm);

ϵ_r ——相对介电常数;

φ ——绞合方式的修正系数;

$Q(x)$ —— $x = \frac{kd}{2}$ 的特定函数(随频率的增加而减

小)

从(8)、(9)两式中可以看出, 结构要素 a (两导线间的距离)、 d (导体直径)的任何变化, 都将导致一次参数 L 、 C 的变化必然引发了特性阻抗 Z_c 的变化, 如果绝缘单线在制造过程中, 多次出现如图 5 中所示的点, 那么结果就会变得十分复杂, 在每一个点处都会引发一个反射波, 这些反射波汇集在测试始端, 会严重恶化输入阻抗 Z_{in} 的波动范围。结构要素 a 、 d 在制造过程中的缺陷(即不均匀程度)越严重, 电缆线路的反射波就越大, 输入阻抗就越恶化。因此, 结构要素 a 、 d 的不均匀是引发线路中反射波最根本的原因所在。

问题还不仅仅如此, 实验和计算都证明, 绝缘单线的导体和绝缘层的同心度的偏差, 特别是这种偏差周期性出现时所引起的两导线间距离 a 值的变化所引发的反射波远比单线自身的不均匀引发的反射波严重的多。这一点在制造过程中应给予充分地注意。

3.5 其他因素对输入阻抗的影响

除了前面我们所讲的对输入阻抗有较大影响的几项主要因素之外, 下面这些制造过程中的工艺因素也是不可忽略的。

(1) 绞对和成缆绞向对输入阻抗的影响。

目前国内的数据电缆产品中, 绞对线和成缆的绞向有同向的, 但也有为数不少的厂家的产品两者是反向的。笔者认为两者的作法均有一些道理: 同向者因绞合应力使电缆护套后在内应力的作用下有“打扣”现象, 反向绞合的这种现象就很小; 同向绞合的两导线间的距离(a)相对保持稳定能力要比反向绞合的大的多。试验证明在同等单线的条件下, 两者同向绞合的产品的输入阻抗优于反向绞合的产品, 如图 6、图 7 所示。

(2) 绝缘材料及色母粒的性能和质量对输入阻抗的波动也起着相当的作用, 特别是色母粒, 因其内部有矿物质的成分, 因而相对绝缘料在很大程度上有杂质的含义, 所以不同电缆段上的用量或质量的不均匀, 必然造成介电常数 ϵ_r 的值的变化, 而引发不同程度的反射波。

(3) 护套松紧的均匀性对输入阻抗的波动也是有影响的。因为参与工作电容计算的是相对介电常数 ϵ_r , ϵ_r 的值除了与电缆元件的尺寸有关外还与护

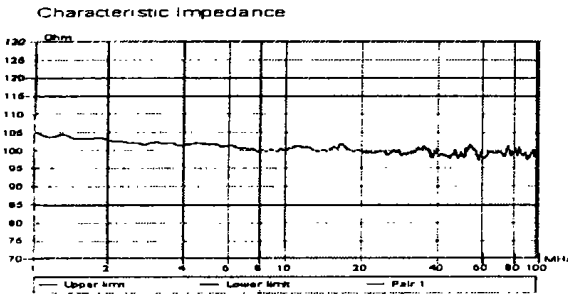


图6 同向绞合产品的输入阻抗频率曲线

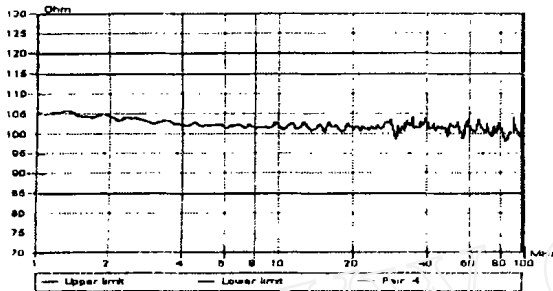


图7 反向绞合的产品的输入阻抗频率曲线

套层所包围的截面内的空气与塑料所占的面积比有直接关系, 护套松紧将导致不同段电缆内空气与绝缘料所占面积的差别, 而使 ϵ 出现不同值, 引发了各段的特性阻抗 Z_c 的差别。

4 缩小输入阻抗频率特性曲线波动范围措施的探讨

从前面的叙述中我们可以看出, 导致输入阻抗的恶化有三个较大的方面:

- 其一: 元件结构要素制造过程中的不均匀
- 其二: 工艺要素的不均匀
- 其三: 原材料性能及色母粒的分布不均匀

上述三个方面的因素的共同作用, 将导致不同电缆段上: (1) $\frac{a}{b}$ 的不同; (2) 四个一次参数 G, R, L, C 不同。问题最严重的是这些因素的周期性变化。不管这些周期是否有规律的, 每一个周期都将有一个反射波的产生, 这些反射波在始端的叠加将严重地恶化输入阻抗 Z_{in} 的频率特性曲线。

正如前面所说的, 有些参数可以定性定量地进行分析, 如特性阻抗就可以通过改变 L, C 的大小来有效地调整它的标称位置, 而输入阻抗就不是这么

回事了, 没有办法通过改变哪一个元件的尺寸来改进它的频率特性曲线的波动范围, 而只能在定性分析的基础上通过试验的办法来加以解决。试验证明下列几项措施是缩小输入阻抗频率特性曲线波动范围必须作到或者说还是比较有效的办法。

4.1 保证元件的制造误差和工艺参数

正如众所周知的那样, 各结构元件的要素和工艺参数应控制在一定的范围之内, 例如:

导体直径 d : 应控制在 ± 0.001 (mm), 且几何要素应正确;

绝缘外径 D : 应控制在 ± 0.002 (mm), 且几何要素应正确;

导体与绝缘层的同心度: 应控制在 90%;

导体的软化: 应控制在 $\pm 2\%$;

绞对成缆放线涨力: 应控制在 2 N;

护套松紧应均匀一致。

4.2 严格保证原材料的性能

应选用介电常数小而介质损耗角正切 $\tan \delta$ 的频率特性变化小的原材料, 特别是色母料, 因其自身含有矿物质, 对绝缘料而言属于杂质, 这种杂质分布的不均, 可能导致相对介电常 ϵ 不稳定性, 引发工作电容的波动, 将破坏特性阻抗 Z_c 曲线的平滑和延续性。当然, 铜材的选择也是不可忽略的因素, 铜材内部杂质除了影响生产效率外, 还将导致有效电阻的不均匀, 这种不均匀对一次参数电感 L 及二次参数衰减都将造成影响。

4.3 单线退扭

单线的退扭是本文对减少输入阻抗频率特性曲线波动范围措施的重点, 单线退扭是制造高水平数字电缆的有效措施之一。

4.1、4.2 条中所叙述的措施, 如果能得到有效地保证, 此时的输入阻抗的波动范围可以控制在一定的范围之内, 但是因为这些要素的随机性特别大, 其受制于的因素又特别复杂, 几乎在全部程度上都取决于设备的先进性、专业性以及自动控制的精确性和稳定性上。严重的是这些要素不能在进入下一工序之前, 利用现有的检测手段确切地确定它的整体误差水平, 换句话说只能用“死后验尸”的办法来衡量这些要素的实际水平, 而问题一经发现即为不可逆转之事——这就是数字电缆合格品率相对较低的原因之所在。

关键问题是,目前国内数字电缆制造厂家所用的单线设备 90% 以上都不是近期的专业设备,而是利用 90 年代初期的市话电缆设备代用,使用这些设备要想把元件的结构要素控制在“4.1”条中的范围之内,在实际中的可能性不是很大的,对于 5 类及其以下的电缆是可用的,而对 5e 类及以上的电缆其稳定性相对较差。

对于如何利用现有设备来制造 5e 类及以上的高水平的电缆,笔者做了大量的试验,认为单线退扭是一个有效的措施。目前对退扭作法的本身国内外尚有两种意见,其一:反对退扭,认为退扭必然能破坏单线的质量;其二:主张退扭,认为部分地牺牲单线的质量来大幅地提高电缆的水平是得而尝失的。笔者对两种看法也无力从理论上加以证明谁对谁非,只是对两种说法都做了大量的试验,认为两种说都有各自的道理,都有其各自的实践根据。到目前为止,国内外尚无文章精确地量化退扭理论及其作用。笔者凭借部分国外有关的片断资料,在生产实践中做过一定量试验,如图 8、图 9 所示,试验结果可有效地证明下列两点:

(1) 随着退扭率的增加,单线的质量受到破坏

从图 8 中可以看出,随着退扭率的增加,单线在导体与绝缘层的结合强度、铜线的内应力、绝缘表面等都受到破坏,且这种破坏程度几乎随着退扭率的增加成线性关系地增加。

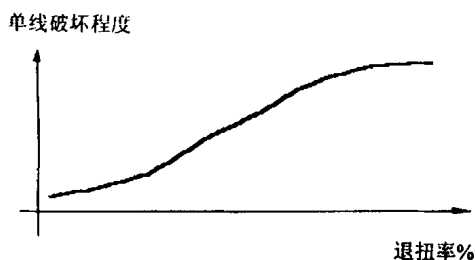


图 8 退扭率对单线质量影响的曲线

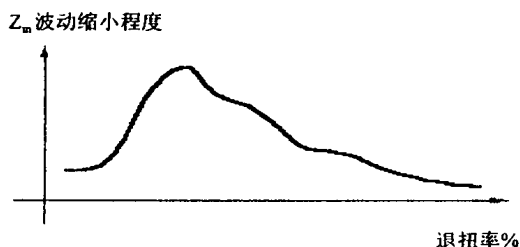


图 9 退扭率对电缆质量影响的曲线

(2) Z_m 的波动幅度

从图 9 中可以看出,在退扭率从 0 开始至某一数值的范围内 Z_m 的波动幅度随着退扭率的增加几乎成线性关系减小,但当退扭率达到一定数值而继续增加时, Z_m 的波动幅值又几乎随着退扭率的增加而成线性关系增加,但增加的幅度要比减小时缓慢的多。

根据上述分析和试验结果,我们用同一轴单线,用相同的工艺参数作了两箱 5e 类的数字电缆,其二者的 Z_m 的频率特性曲线分别如图 10、图 11 所示。

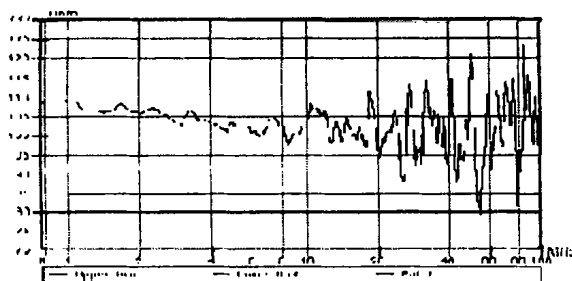


图 10 没加退扭 Z_m 频率特性曲线

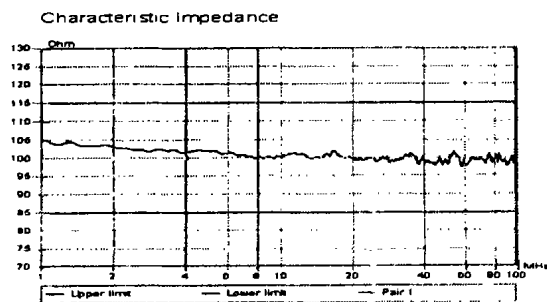


图 11 加退扭后 Z_m 的频率特性曲线

值得提出的是采用退扭工艺后,大批量生产中 Z_m 波动范围均可控制在 $\pm 5 \sim 6\Omega$ 之内,合格率几乎为 100%。

实施证明:用尽量小的单线质量的破坏来换取质量明显提高的优等品这一作法是可行的,是有效的。问题的关键是退扭率的确定,因各家产品的结构设计不同,单线尺寸、绞对成缆节距不同,笼统地确定一个退扭率是不可能的。另一方面退扭率的确立又是一个模糊逻辑的问题,它与 Z_m 的计划控制幅值有关,另外又无法进行准确的定量分析,所以退扭率的确定只能是根据各家的具体情况具体要求在实践中试验取得。它的大致范围应为 20~ 40% 之间。

(下转第 48 页)

系统的设计,为清晰起见,图中只画了主用和备用同步路由,不可用的路由不再画出, $S1$ 字节也不再标出,由于主用同步源优先级为1,备用同步源优先级为2,因此,优先级也不必标出。图8中除NE1外(NE1无需备用同步源,因为环上只有一个主用时钟),其他网元均有一主一备的同步源;图9中每个网元均有一主一备的同步源,这些同步设计均是在充分考虑了同步系统安全性(主用和备用)的情况下,避免了定时环路,图8(b)和图9(b)实际上就是前面图2(a)和图3的简化画法。对于更为复杂的设计,同样可以应用上述原则。

(上接第32页)

5 结论

综上所述我们可以得出下列几个结论:

5.1 关于阻抗的概念

(1) 特性阻抗 Z_c 与输入阻抗 Z_{in} ,在概念上计算方法等方面都是不同的,它们二者只是在电缆线路是均匀且无反射波存在时在数值上是相等的。把二者视为同等概念的提法有待商讨。

(2) 由于测量原因将输入阻抗 Z_{in} 的实测结果,用数学方法进行函数拟合而得到的拟合函数渐近线,在一定精度范围内,可以用来代替特性阻抗 Z_c 的频率特性曲线,而用于设计和参数调整的目的。

5.2 关于输入阻抗 Z_{in} 的波动机理

(1) 结构要素“ $\frac{a}{b}$ ”的波动是输入阻抗 Z_{in} 频率特性曲线波动的主要根源,导体直径“ d ”、绝缘外径 D 、导体与绝缘层的偏心度、各结构元件几何素的正确与否是导致 $\frac{a}{b}$ 波动的主要因素,其中偏心度影响是最大的。

(2) 不论什么因素所形成的 $\frac{a}{d}$ 的周期性变化是恶化 Z_{in} 频率特性曲线的直接原因。

(3) 原材料性能的均匀和稳定也是导致 Z_{in} 频率特性曲线波动的原因之一。

6 结束语

由于传输网同步系统较为复杂,因此在实际工程中,设计、施工人员和设备厂家常常为传输网同步系统的设置出现一些争议,希望本文的分析能提供一些帮助。

参 考 文 献

- 1 邮电技术规定 YDN 099-1998(内部标准). 光同步传送网技术体制 北京: 中华人民共和国信息产业部, 1998
- 2 韦乐平. 光同步数字传送网(修订本). 北京: 人民邮电出版社, 1998
- 3 邮电技术规定 YDN 117-1999. 数字同步网的规划方法与组织原则 北京: 中华人民共和国信息产业部, 1999

5.3 缩小 Z_{in} 频率特性曲线波动的措施

(1) 保证将各结构元件结构要素控制在设计范围内,减少 $\frac{a}{d}$ 的波动。

(2) 采取退扭方法可以有效地打乱 $\frac{a}{d}$ 波动周期性,使其相对紊乱无序,进而降低 $\frac{a}{d}$ 的影响程度是减少 Z_{in} 频率特性曲线波动范围的有效措施。

(3) 退扭率应根据各自的情况试验确定。

参 考 文 献

- 1 TIA / EIA - 568 Commercial Building Telecommunication Standard 1991
- 2 TIA / EIA - 568 - A Commercial Building Telecommunication Cabling Standard 1995
- 3 郑玉东. 通信电缆. 机械工业出版社, YD/T838 1-1996eqv IEC1156-1: 1994 数字通信用对绞/星绞对称电缆第1部分: 总规范
- 4 N. N 格罗得涅夫, P. M 拉凯尔尼克, . 沙尔 通信电缆的理论基础和制造(上)
- 5 徐乃英. 数字通信电缆的特性阻抗与结构回损
- 6 ASTM D 4566-86 Electrical Performance of Insulations and Jackets for Telecommunications Wire and Cable
- 7 YD/T838 1-1996 数字通信用对绞/星绞对称电缆第1部分: 总规范
- 8 YD/T1019-2001. 数字通信用实心聚烯烃绝缘水平对绞电缆