

局域网非屏蔽双绞线的电磁泄漏测试分析

孔保根, 杨芳

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:针对局域网非屏蔽双绞线电磁信息泄漏的现状,分析了非屏蔽双绞线的传输机理,给出了计算传输信号的耦合模型;分析了非屏蔽双绞线电磁泄漏的测试结果,对处理非屏蔽双绞线的电磁兼容性问题具有参考价值。

关键词:非屏蔽双绞线;传导发射;耦合模型

中图分类号:TN915.08 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2004)06-0053-03

计算机网络安全已越来越引起人们的重视,目前的研究主要集中在防止“传导”方式的窃密及信息泄漏方面,如信息加密、身份鉴别、水印技术、防火墙等均属于此。实际上网络信息还可以通过传输介质以辐射方式泄漏,相对于传导方式泄漏所造成的危害,辐射泄漏更为隐蔽,防范难度也更大。为解决非屏蔽双绞线传输信息泄漏的问题,在网线的空线对注入伪随机宽带扫频干扰信号,使有用信号被淹没在干扰信号里,达到保护信息传输的目的。但这样电磁辐射的功率势必增加,对有用信号会造成影响。应建立科学合理的传输特性测试技术,测试其传导发射、了解辐射发射源的信号特征,为屏蔽双绞线的设计和确定局域网安全范围提供准确的依据。

1 非屏蔽双绞线(UTP)传输模型及计算

1.1 UTP 传输特性理论模型

双绞线传输信号是以串行方式按帧的形式传送,传输速率可达 100 Mbps。而串行传输方式很容易通过分频、分时、分位来进行窃收,同时其传输方式及数据格式又基本依照某个统一标准,给通过电磁辐射窃收网络信息造成可能。双绞线实际结构电路图如图 1 所示。

由于双绞线的传输速率较高,应当用长线理论来分析研究。双绞线是由两根导线在空间 360° 绞合而成的非均匀传输线,不能直接采用均匀传输线方程来求解^[1],但可以将其分成若干小段,每一小段可近似看成均匀传输线,应用网络理论就可将整个传输线看成若干二端口网络级联,级联网络的链矩阵等于各二端口网络的链矩阵之积。通过求解链参方程来确定电缆端电压和端电流,进而确定沿线电压、电流分布。

计算出整个线长上的链参矩阵 Φ_T 后,加上边界条件

$$\begin{cases} V(0) = V_s - Z_s I(0) \\ V(l) = Z_L I(l) \end{cases} \quad (1)$$

可得:

$$[\varphi_{11} Z_s - \varphi_{12} - Z_L \varphi_{21} Z_s + Z_L \varphi_{22}] I(0) = [\varphi_{11} - Z_L \varphi_{21}] V_s \quad (2)$$

$$[\varphi_{11} Z_L - \varphi_{12} - Z_s \varphi_{21} Z_L + Z_s \varphi_{22}] I(l) = V_s \quad (3)$$

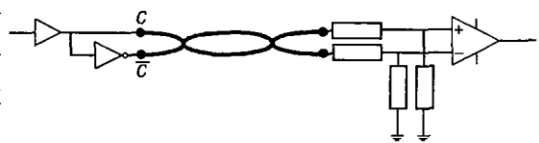


图1 双绞线实际结构电路图

收稿日期:2004-06-23

作者简介:孔保根(1967-),男,浙江绍兴人,讲师,主要从事电讯网络技术研究。

式中 φ_{11} 、 φ_{12} 、 φ_{21} 、 φ_{22} 为整线链参方程 Φ_T 的 4 个子参数^[2]。由方程式(2)、(3)可分别求出向量电流 $I(0)$ 和 $I(l)$ ，代入式(1)即可求出向量电压 $V(0)$ 和 $V(l)$ 。

通过每个均匀段传输线方程可得到每一个均匀段右端向量电流、向量电压，从而每个均匀段两端向量电流、向量电压均可确定。再根据均匀传输线方程求解方法就可以确定沿线电流分布。

1.2 UTP 的辐射

有了电流分布就可以计算其电磁辐射。传输线的辐射可分为差模辐射和共模辐射，分别由差模电流和共模电流引起。差模电流传输有用信号，共模电流与结构形式、接地方式等有关，幅值较前者小。双线线元上的电流分别为 I_1 、 I_2 ，它们总可以分解为差模电流(I_D)分量和共模电流(I_C)分量，则有：

$$\begin{cases} I_1 = I_C + I_D \\ I_2 = I_C - I_D \end{cases}$$

长度为 l ，电流为 I 的电流元的辐射场近似为

$$E = \frac{j60\pi I l \sin\theta}{r\lambda} e^{-jkr}$$

其最大辐射方向的电场应与线元平行，为简便起见只考虑该方向电场。则双绞线元辐射可分解为如图 2(a)、(b)所示的差模辐射和共模辐射。

对于差模辐射，由于两线元上的电流反相，它们产生的辐射场也反相相减；而对于共模辐射，由于两线元上的电流同相，它们产生的辐射场也同相叠加。可以看出，虽然共模电流通常要比差模电流小，但它产生的辐射却比后者产生的要强。

图 3 为双绞线差模辐射简化模型。差模辐射时可将双绞线视作平行双线交错级联，分别计算每个绞环的差模辐射场再叠加。图 4 为双绞线共模辐射简化模型，共模辐射时可将双绞线视作平行双线。

双线激励可以认为是两根单线激励的和，因此可以使用单线激励的公式，通常在匹配的情况下 $I(z)$ 应为行波电流，即假设

$$J(z) = \hat{z} \delta(x) \delta(y) I_0 e^{-jk_0 z} \tag{4}$$

$$E_0 = \int_0^l j \frac{60\pi I_0 e^{-jk_0 z'}}{R\lambda_0} \sin\theta e^{-jk_0 r} dz' = \frac{60\pi I_0 l}{r\lambda_0} e^{-jk_0 r} \sin\theta \frac{\sin[\frac{k_0 l}{2}(1 - \cos\theta)]}{\frac{k_0 l}{2}(1 - \cos\theta)} e^{-j\frac{k_0 l}{2}(1 - \cos\theta)} \tag{5}$$

从上式得方向函数为

$$f(\theta) = \sin\theta \frac{\sin[\frac{k_0 l}{2}(1 - \cos\theta)]}{\frac{k_0 l}{2}(1 - \cos\theta)} \tag{6}$$

式(6)中第一项 $\sin\theta$ 为线元 dz' 的方向性函数，第二项为将该行波电流视为一连续线元阵的阵因子。阵因子的主瓣在 $\theta=0$ 方向，即沿轴向指向行波电流相位滞后的方向。由于线元方向性的影响，单导线行波天线的方向图反而在 $\theta=0$ 形成一零陷，最大辐射方向应与导线平行。在双线激励时，由于差模工作每个绞环两线上的电流反相，其各自的方向函数 $\sin\theta$ 差一符号，再加上相邻绞环的抵消作用，刚好可以有效减小电磁辐射，理想值为零；而共模工作正相反，两线线元各自的方向函数始终一致，而且相邻绞环没有抵消作用，使得电磁辐射远大于差模工作所产生的辐射。

2 测试及结果分析

局域网非屏蔽双绞线传导发射测试在电磁屏蔽室内进行，测试系统由小型局域网、测试台、电流卡钳、线性阻抗稳定网络、频谱仪等组成，采用电流探头法。待测 UTP 电缆由 4 对双绞线组成，用其中两对。网卡

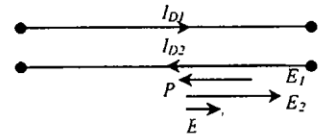


图 2(a) 差模辐射

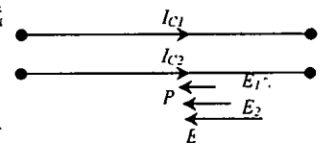


图 2(b) 共模辐射

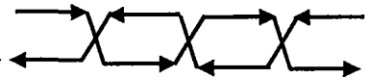


图 3 差模辐射模型

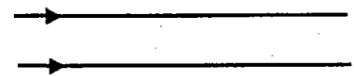


图 4 共模辐射模型

是单线输出,故加一个反相器形成差模输出(图1中的c与c̄)接到双绞线上,如图1所示。接口用RJ-45连接器,1、2对为发送对,3、6对为接收对,其余闲置不用。测试频率范围从10 kHz到100 MHz。

图5是传输信息时单根信号线(接收对中的3号线)的传导发射测试结果,测试单根信号线可以直接得出局域网串行数据传输的信号特征。可以看出,单根线上传输的信息的频谱是近似周期信号的宽带离散谱,从幅值来看,最高在10 MHz附近达到-20 dBm,40 MHz以后幅值平均在-70 dBm左右。

图6是传输信息时发送对线的传导发射测试结果,测试一对双绞线则可以验证其差动传输共模、差模场与路的对应关系,得出其发射量级。1号线(发送+)和2号线(发送-)形成一对差模传输。与传送文件的单根线对比,可以看出,1、2对线的幅值要低很多,最高只有-60 dBm,与前面理论分析一致。另外,虽与不发射信号时的辐射值接近,但在10 kHz到100 MHz的整个频段内,幅值要高出5~10 dBm,这说明,尽管双绞线形成差模传输可以减少辐射,却不能达到理想的值而完全消除辐射发射。

图7是传输信息时8芯线的传导发射测试结果,从总体发射来看,其发射量级并不高,与1、2对线和3、6对线采取差模传输的结果相同,但同时这样的发射量级不能满足军用和特殊场合的网络信息安全要求,所以非屏蔽双绞线只适用于对网络信息安全要求不高的普通局域网系统。

参考文献:

- [1] Clayton R. Paul. Derivation of Common Impedance Coupling from The Transmission - Line Equations [J]. IEEE Trans. Electromagn. Compat., 1992, 34(3): 315 - 319.
- [2] Knobloch A, Grabe H, RST JPK. Shielded or Unshielded Twisted - Pair for High Speed Data Transmission [J]. IEEE Trans. Electromagn. Compat., 1998, 24(2): 112 - 117.
- [3] 郝桂友. 计算机电磁辐射的测量 [J]. 测试技术学报, 2002, 16(2): 140 - 143.

(编辑: 门向生)

Analysis of Electromagnetic Leakage on Transmitting of Unshielded Twisted - Pair Used in LAN

KONG Bao - gen, YANG Fang

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

Abstract: This paper analyzes the transmission mechanism of unshielded twisted - pair according to the status of the leakage of electromagnetism information of UTP used in LAN, consequently educes the coupling model. This test is a typical EMC experiment item. It may provide a reference for dealing with the EMC problem of UTP.

Key words: UTP; conducted transmission; coupling model

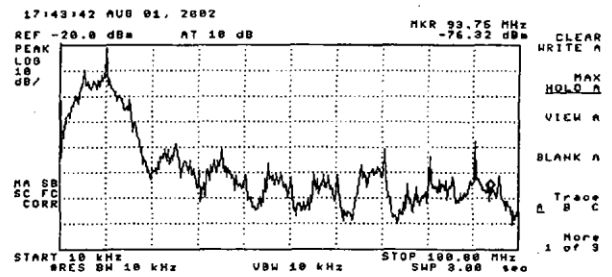


图5 单根信号线传输信息频谱特性

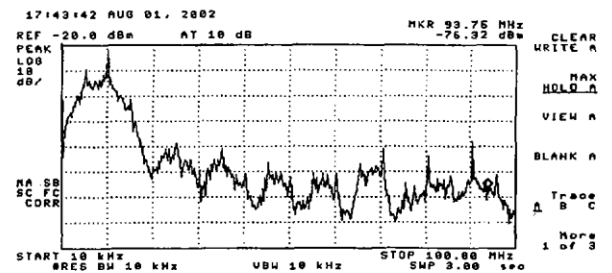


图6 一对信号线传输信息频谱特性

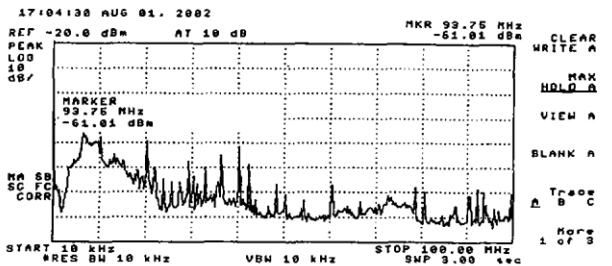


图7 所有信号线传输信息频谱特性