

文章编号: 1005-8451 (2011) 05-0038-03

同轴电缆串扰的测试与分析

王钱帆, 王国栋

(北京交通大学 电子信息工程学院, 北京 100044)

摘要: 本文分析同轴电缆间的串扰问题, 并设计了实验方案, 制定实验装置, 在频域和时域下测量各相关参数对串扰的影响, 得出串扰随着电缆间距的变大而减小, 随着电缆离地高度的增加而增大, 在低频时受扰电缆的屏蔽层应单端接地, 高频时屏蔽层应双端接地, 而且在高频时串扰有震荡趋势。实验结果与理论分析基本一致, 此结论对实际中电缆布线可供参考。

关键词: 同轴电缆; 串扰; 测试**中图分类号:** U285.19 **文献标识码:** A

Testing and analysis on crosstalk of coaxial cables

WANG Qian-fan, WANG Guo-dong

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: This paper analyzed the crosstalk of coaxial cables, designed the experimental program, made the experimental device, and tested impacts of relevant parameters on crosstalk in time domain and frequency domain respectively. The data showed that crosstalk voltage decreased as spacing increased between cables or the height above ground of cables, and at low frequencies disturbed cable shield should be grounded at one end and at high frequencies disturbed cable shield should be grounded at both ends, and crosstalk shocked at high frequencies. The experimental results showed good consistency with theoretical analysis, so this conclusion should be helpful for our practical cabling.

Key words: coaxial cables; crosstalk; testing

在车载系统中, 电缆主要用于联接不同的系统, 并实现不同系统间能量与信息的有效传输和交换。电缆作为传输有用信号的重要途径, 干扰信号也通过各种耦合进入系统或分系统中的连接电缆。串扰是指相互靠近的导线之间的电磁耦合, 串扰严重会使设备遭受干扰而导致性能下降或功能不正常。因此, 在对车载电缆进行布线设计时, 应考虑电磁兼容性。

1 电缆的耦合机理

串扰是一个近场耦合问题, 即 $r < \lambda / 2 \pi$ (λ 为干扰波波长)时, 它使一条线中的信号耦合至另一条线中产生干扰信号。近场耦合有电场耦合和磁场耦合。电场耦合也叫电容耦合, 一根导线上的能量通过 2 导线之间的耦合电容耦合到另一根导线上。电容耦合的条件是源回路导线中的电压高, 电流小, 导线间的耦合主要通过电场进行。磁场耦合也叫电感耦合, 当源电路导线中的电流大, 但电

压较低时, 源电路对接收电路的骚扰耦合主要通过磁场进行, 可以用 2 个电路之间的互感来分析。2 导线间的耦合量与干扰信号的频率、电缆间距、电缆离地高度以及屏蔽层接地方式等因素有关。

2 同轴电缆串扰的测试

为了对电缆间串扰作进一步的研究, 我们设计了实验方案, 在抗干扰度实验室制定实验装置, 分别在频域和时域上测量各相关参数对串扰的影响。

在频域上测量时, 我们采用射频场感应的方法, 但由于电磁钳使用频率 (9 kHz ~ 13.2 GHz) 的限制, 而且在 9 kHz ~ 150 kHz 频率范围内来自射频发射机的电磁场所引起的感应骚扰不要求测量, 所以只测量 150 kHz ~ 30 MHz 电缆间的串扰情况。对于 150 kHz 以下低频情况下电缆间的串扰情况, 我们采用在时域上测量再通过作 FFT 变换进行比较的方法。在时域上测量时, 我们采用注入浪涌信号的方法, 用来模拟开关或雷电瞬变过电压引起的单极性浪涌 (冲击) 对电缆的干扰情况。

收稿日期: 2010-07-06

作者简介: 王钱帆, 在读硕士研究生; 王国栋, 副教授。

2.1 频域测试

在金属地板上水平放置2根相互平行的同轴电缆，如图1，电缆长分别是10 m和4 m。10 m长的电缆（用电缆G表示）用作模拟骚扰源，信号发生器发出的信号经过功率放大器再通过10 dB衰减器进入电磁铁，将信号耦合到电缆G上，电缆G双端接50 Ω负载，并且屏蔽层双端接地。4 m长的电缆（用电缆R表示）用作模拟受扰电缆，电缆R一端接50 Ω负载，另一端接入频谱分析仪，测量终端串扰电压。线槽用来模拟机车上电缆铺设的实际串扰情况，线槽紧贴金属地面，每个槽的宽度是10 cm。

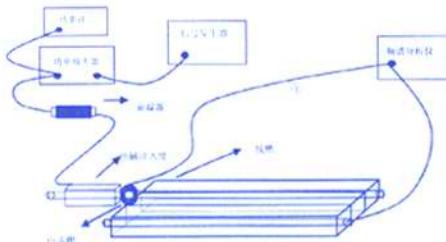


图1 频域测试装置图

图中，信号发生器为E8257C 250 kHz ~ 20 GHz，功率放大器为MODEL 250L-CE 0.01~220 MHz 50 WATTS，频谱分析仪为E7404A 9 kHz ~ 13.2 GHz，同轴电缆型号为KSR 400，特征阻抗为50 Ω，电流钳用来测量电缆G上的电流。信号发生器设置为-3 dBm，功率放大器性能 ≥ 47 dB。

(1) 移走线槽，将2根电缆紧贴地面，电缆G固定，移动电缆R分别至间距5 cm、10 cm、20 cm处，电缆R屏蔽层双端接地，分别测量不同电缆间距时的串扰电压，见图2。可以看出，随着电缆间距的增大，串扰电压逐渐减小。这是因为随着间距的增大，互电感和互电容都减小，所以串扰减小。

(2) 移走线槽，将2根电缆放置间距20 cm处，电缆R屏蔽层双端接地，分别测量2根电缆在紧贴地面和离地10 cm 2种情况下的串扰电压，见图3。可以看出，随着电缆离地高度的增大，串扰电压也增大。这是因为互电感与受干扰电路的面积有关，离地高度越高，回路面积越大，互电感也就越大，所以串扰也增大。

(3) 移走线槽，将2根电缆紧贴地面，放置间距20 cm处，改变电缆R的屏蔽层的接地方式，测

量不同情况下的串扰电压，见图4。可以看出，低频时，屏蔽层双端接地情况下的串扰电压明显大于单端接地情况下的串扰电压，而在高频时，屏蔽层双端接地情况下的串扰电压则要小于单端接地的情况。这是因为，屏蔽层双端接地虽然有磁屏蔽作用，但在低频时由于地环路的影响，实际效果并不理想，相反单端接地则可以避免地环路的影响；而当频率比较高时，由于高频集肤效应地环路的噪声电流在屏蔽层的外表面流动，屏蔽层双端接地的磁屏蔽作用将大大增强。

(4) 将2根电缆分别置于线槽第1、2个槽中，紧贴底板，电缆R屏蔽层双端接地，测量出电缆R上的串扰电压，并将其与在没有线槽的情况下进行比较，见图5。可以看出，电缆放置在线槽内时的串扰电压明显小于没有线槽时的串扰电压。这是由于将线槽紧贴金属板地面，就等于在2根电缆外面分别又套上了一个屏蔽层，屏蔽效果自然增强。

从实验结果我们还注意到，随着频率的升高，串扰有震荡趋势，这是因为电缆的分布电感与分布电容产生了谐振现象。

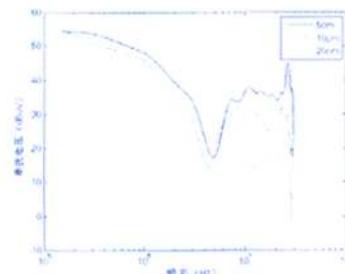


图2 不同间距下的串扰情况

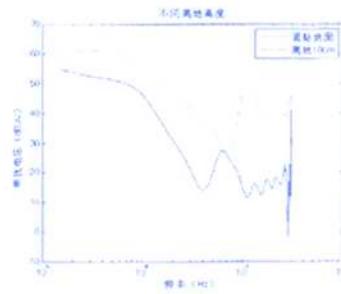


图3 不同离地高度下的串扰情况

2.2 时域测量

在金属地板上水平放置2根相互平行的同轴电缆，电缆长分别是10 m和4 m。10 m长的电

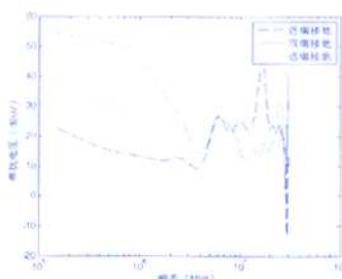


图4 屏蔽层不同接地方式下的串扰情况

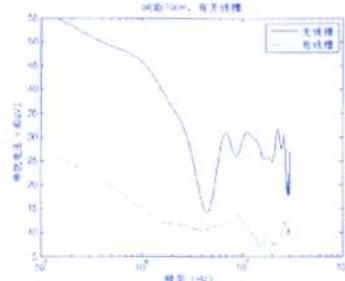


图5 有无线槽时的串扰情况

缆（用电缆 G 表示）用作模拟骚扰源，通过抗扰度综合测试仪发出一个浪涌信号，电缆 G 双端接 50Ω 负载，并且屏蔽层双端浮地。4 m 长的电缆（用电缆 R 表示）用做模拟受扰电缆，电缆 R 一端接 50Ω 负载，另一端接入数字示波器，测量终端串扰电压。

实验中，抗扰度综合测试仪为 KeyTek 的 EMC Pro，数字示波器为 Tek DPO 3052，抗扰度综合测试仪发出的浪涌信号幅值为 2 kV。

(1) 将 2 根电缆放置间距 5 cm 处，电缆 R 屏蔽层双端接地，分别测量 2 根电缆在紧贴地面和离地 10 cm 2 种情况下的串扰电压，见图 6。测量数据显示，电缆紧贴地面时，串扰电压幅值为 123 mV；电缆离地高度为 10 cm 时，串扰电压的幅值为 392 mV。对上述时域波形分别作 FFT 变换并进行比较，可以发现在 3 kHz ~ 150 kHz 范围内，电缆距离地面 10 cm 时的串扰响应明显大于电缆紧贴地面的情况。

(2) 将 2 根电缆紧贴地面，放置间距 5 cm 处，改变电缆 R 屏蔽层的接地方式，测量不同情况下的串扰电压，见图 7。测量数据显示，屏蔽层双端接地时，串扰电压幅值为 123 V；而当屏蔽层单端接地时，串扰电压的幅值为 18.4 mV。对上述时

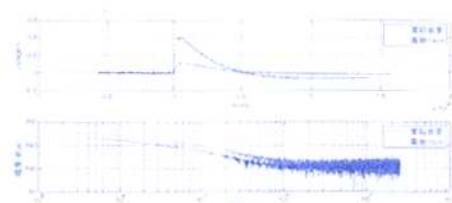


图6 不同离地高度的串扰情况

域波形分别作 FFT 变换，并进行比较。可以发现在 3 kHz ~ 150 kHz 范围内，屏蔽层双端接地时的串扰响应明显大于屏蔽层单端接地的情况，这是由于低频时地环路影响比较严重造成的。

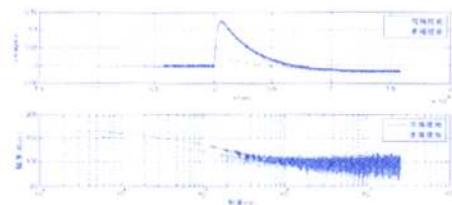


图7 屏蔽层不同接地方式下的串扰情况

3 结束语

通过测试结果，可以得出：串扰随着电缆间距的增大而减小，随着电缆离地高度的增加而增大；在高频时，串扰呈震荡趋势；在低频时屏蔽层单端接地屏蔽效果比较好，在高频时屏蔽层应双端接地。这与理论分析结果一致，说明该测试方法是可靠的。依此得出减小串扰的措施，为在实际中的电缆布线提供一定的帮助。

参考文献：

- [1] Clayton R. Paul and Betty A. Bowles. Symbolic Solution of the Multi-conductor Transmission-Line Equations for Lines Containing Shielded Wires. IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility[J]. 1991 (8): 149-162.
- [2] 王天顺. 电磁场对机电电缆耦合的预测[J]. 飞机设计, 1996 (1).
- [3] Tim Williams 著, 李 迪, 等译. EMC for Product Designers, Fourth Edition[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008 (3).
- [4] 沙 芬. 机电一体化系统的电磁兼容技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.