

# 车载北斗导航仪电源线传导发射测试

周蓓, 万发雨, 葛俊祥

(南京信息工程大学 电子与信息工程学院, 南京 210044)

**摘要:**针对国内车载导航产品存在电磁兼容性测试不合格的问题,对某型车载北斗导航仪进行了电源线传导发射测试研究.首先分析了线性阻抗稳定网络(LISN)在测试中的重要作用,继而搭建测试平台分别测试了导航仪处于不同状态下的零线、火线传导发射,并评估了测量不确定度.为了对干扰信号的时频特性作进一步的分析,引入了短时傅里叶变换(STFFT)的分析方法.

**关键词:**传导发射;不确定度;短时傅里叶变换

**中图分类号:** TN98

**文献标志码:** A

随着卫星导航系统的发展和完善,车载导航系统也越来越受到广大用户的青睐.但是由于国内还没有车载导航产品电磁辐射强制性标准,因此很多厂家都忽视了电磁兼容设计,根据近年来国家质检总局的产品抽查显示,国内的车载导航产品不合格率超过三成,不合格的主要原因是辐射骚扰超标和电源端子骚扰电压超标<sup>[1]</sup>.导航仪与车内其他电子设备同处在密闭狭小的空间,工作电磁环境比较复杂,为使其不影响汽车内部电子系统及车内电子设备的正常工作,有必要对其电磁辐射特性进行测试研究.本文就某型车载北斗导航仪对其电源线传导辐射进行了测试研究.

## 1 测试原理

电源线传导发射测试(10 kHz~10 MHz)是用于衡量受试设备通过接入公共电网的线缆发射无意射频骚扰的水平.若骚扰电压高于相应的标准限值,就会影响电网的质量和其他设备的正常工作.为了确保实验中测量到的传导干扰纯粹来自被测设备 EUT,就需要给 EUT 提供一个干净的电源;为了保证测量的重复性和可比性,必须在测量点规定一个标准的负载阻抗.实验中将待测设备的电源线与线性阻抗稳定网络(LISN)的电源输出端连接,LISN 通过 0.25  $\mu\text{F}$  的电容将输入信号耦合传送至 EMI 接收机.

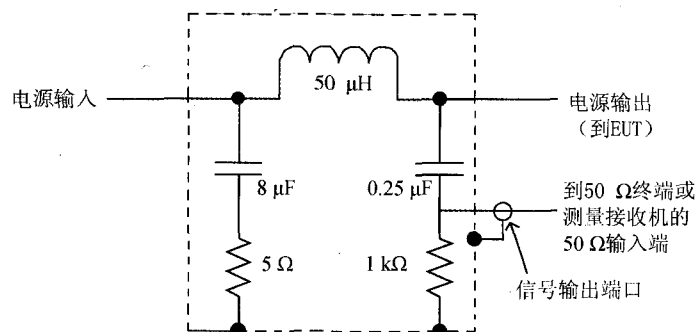


图1 LISN简图

LISN 是一个三端口网络,如图 1<sup>[2]</sup>所示,端口 1 接输入电源,端口 2 连接到 EUT 的电源输入,端口 3 则连接标准的 50  $\Omega$  终端负载或接测量接收机的 50  $\Omega$  输入端.它由一个  $\pi$  型滤波电路组成.50  $\mu\text{H}$  的电感和 0.25  $\mu\text{F}$  的电容共同构成低通滤波器,高频时电感为大阻抗,而电容表现为低阻抗,因而来自公网的高频干扰信号被滤除,只允许直流以及部分低频信号通过;左侧 50  $\mu\text{H}$  的电感和 8  $\mu\text{F}$  的电容构成一个低通滤波器,来自受试设备的高频信号被电感阻隔,

收稿日期:2014-10-02;修回日期:2014-12-10.

基金项目:国家自然科学基金(61372066);江苏省信息与通信工程优势学科.

作者简介(通信作者):葛俊祥(1960—),男,江苏南京人,南京信息工程大学教授,博士生导师,主要研究微波毫米波理论与技术、天线理论与技术、雷达系统等,E-mail:jxge@nuist.edu.cn.

不能通过,但能通过  $0.25 \mu\text{F}$  的隔直电容并耦合到 EMI 接收机. 耦合电容下端接的  $1 \text{ k}\Omega$  电阻是耦合电流的泄放电阻,用以防止受试设备断开时产生尖峰电压而损坏测量设备. 当去掉  $50 \Omega$  电阻时,  $1 \text{ k}\Omega$  电阻为  $0.25 \mu\text{F}$  的电容提供放电通路[3]. 由 LISN 的阻抗特性曲线[2]可知,在  $2 \text{ MHz}$  以上其阻抗稳定在  $50 \Omega$ ,可以为 EUT 在高频提供稳定的阻抗,从而避免电网阻抗波动对 EUT 传导干扰测试的影响. 综上所述, LISN 在测试中的作用是将受试设备的骚扰信号和电网中的骚扰信号隔离,以测得纯净的受试设备的传导干扰,同时提供稳定的阻抗( $50 \Omega$ ),确保了测量的准确性与可重复性.

## 2 测试平台搭建

测试平台主要包含置于屏蔽室中的 LISN 和控制室中的 EMI 接收机, EUT 的传导发射通过 LISN 耦合到接收机, LISN 的输出信号经衰减器送至 EMI 接收机, 计算机通过 LAN 接口实现对接收机的控制与实验结果的显示. 为了使导航仪在屏蔽室内正常工作,需要用到卫星导航信号模拟器,它可以模拟多通道 GPS 和 BD2 卫星导航信号,每个频点具有 12 个通道,能同时提供 12 路多径信号,导航信号通过电缆输出.

## 3 测试过程及结果分析

整个测试在电磁兼容室和控制室内完成,试验布置如图 2,将某型车载北斗导航仪的电源线连至 LISN,为保护接收机防止过载, LISN 的输出接一个  $25 \text{ W}$ ,  $20 \text{ dB}$  的衰减器(功率太小的衰减器容易被连续波大信号或者强瞬态干扰击穿、烧毁),再通过同轴电缆线接 EMI 接收机的 RF 输入端口,测试连接完成. 启动 EMI 接收机(预热  $30 \text{ min}$ ),接通 LISN 电源,将车载导航仪调至静默工作状态,如表 1 所示设置接收机的参数. 频率扫描分成两段,  $10 \text{ kHz} \sim 250 \text{ kHz}$  分辨带宽  $1 \text{ kHz}$ , 视频带宽  $3 \text{ kHz}$ ;  $250 \text{ kHz} \sim 10 \text{ MHz}$  分辨带宽  $10 \text{ kHz}$ , 视频带宽  $30 \text{ kHz}$ , 驻留时间设为最小  $15 \text{ ms}$ . 这样既提高了分辨率,又缩短了测量时间. 采用峰值检波是为了获得传导发射的最大发射值. 测试结果见图 3. 该测试结果已经校准了 LISN, 衰减器和线缆的损耗.

在图 3 中,横坐标为频率,采用对数坐标轴,纵坐标表示传导发射电平,折线是极限线. 导航仪额定电源电压为直流  $5 \text{ V}$ ,故选用 GJB151A[4]中 CE102—受试设备额定电源电压小于  $28 \text{ V}$  的极限线. 从图 3 可以看到,在整个测试频段零、火线传导发射均小于极限线,  $45 \text{ kHz}$  处火线传导发射值离极限线很近,其测量不确定度在文章第 5 部分给出. 图 3 中红色曲线为设备通电但未开机时测试的底噪,在  $50 \text{ kHz} \sim 250 \text{ kHz}$ , 零线传导电平要低于底噪  $5 \sim 20 \text{ dB}\mu\text{V}$ ,与火线传导发射差别较大,由差模共模辐射规律可知,在该频段共模干扰水平可以和差模干扰相比拟,主要是导航仪电源内阻较大导致;在  $40 \text{ kHz} \sim 200 \text{ kHz}$ , 火线测试曲线出现 4 个较高的尖峰,如图 3 中箭头所示,其频率依次为  $45 \text{ kHz}$ 、 $90 \text{ kHz}$ 、 $135 \text{ kHz}$ 、 $180 \text{ kHz}$ . 这些频率之间存在倍数关系,分别为基波, 1 次谐波, 2 次谐波, 3 次谐波,由于开关电源的开关频率在  $20 \text{ kHz} \sim 100 \text{ kHz}$ ,所以该辐射应该是开关电源基频及其谐波分量.

表 1 EMI 接收机参数设置

频率范围/kHz	频率步距/kHz	分辨带宽/kHz	视频带宽/kHz	驻留时间/ms	检波方式
10~250	0.1	1	3	15	峰值检波
250~10 000	1.0	10	30	15	峰值检波

由于车载导航仪在导航状态下只接受卫星信号,因而不会对传导发射带来影响,本文仅在导航仪待机时

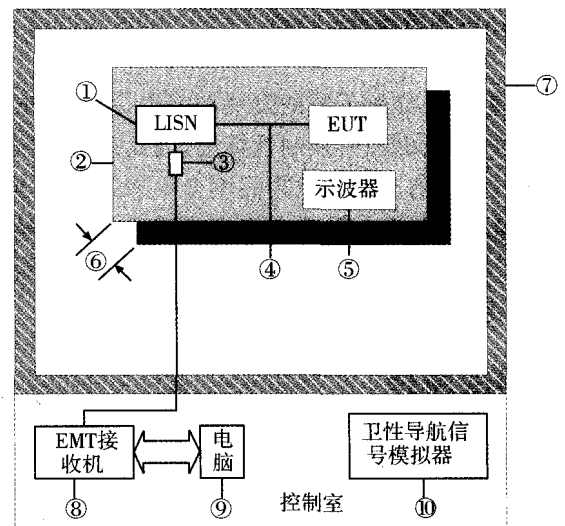


图 2 电源线传导发射试验布置图.①线性阻抗稳定网络 (HTLISN8001),②实验台,③衰减器(DTS25),④电源线,⑤示波器(MSO7104B 1 GHz,4 GSa/S),⑥实验台高度( $h=80 \text{ cm}$ ),⑦电磁兼容室( $7 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ ),⑧EMI接收机(N9038A,Agilent),⑨计算机及软件,⑩卫星导航信号模拟器(HWA-GNSS-8000)

及通话状态下对其进行电源线传导发射测试. 待机和通话状态下的火线传导发射对比测试曲线如图4.

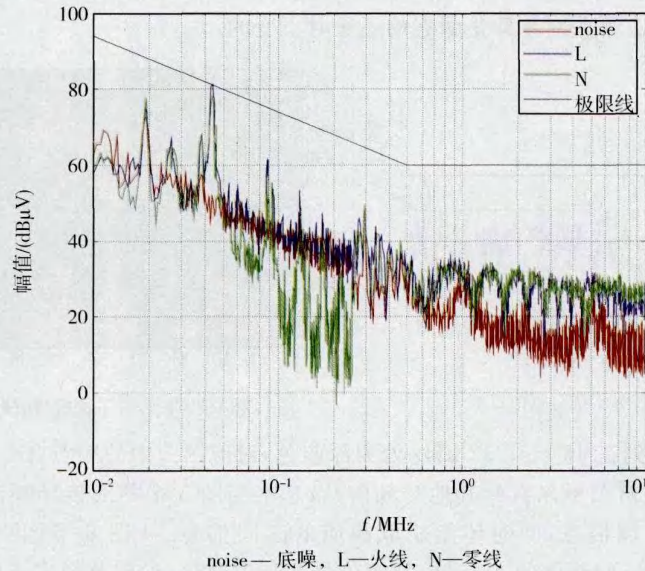


图3 某型车载北斗导航仪电源线传导发射测试结果10 kHz~10 MHz

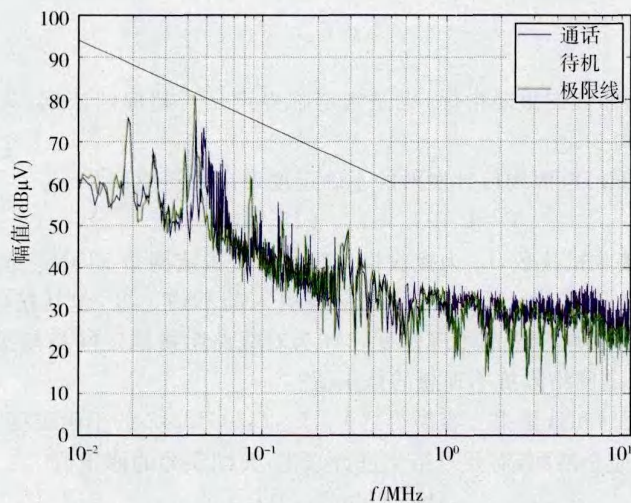


图4 某型车载北斗导航仪在通话和待机状态下火线传导发射测试曲线

从图4中可以看出,通话时的火线传导发射水平在30 kHz~70 kHz频段以及在500 kHz~10 MHz宽频带内明显高出待机状态.在45 kHz处,待机状态的发射值要比通话状态下高,可以看出通话时的频谱在45 kHz处发生了一定的频率偏移,可能原因是通话时刚好在该频率点产生和频与差频,致使幅值减小.

#### 4 传导干扰信号的时频分析

STFFT(短时傅里叶变换)是一种研究非平稳信号常用的时频域分析方法,它克服了传统傅里叶变换在时频分析中没有时间分辨率的缺点.其基本思想是用一个足够窄的窗函数乘时间信号,取出的信号可看成是平稳的,对其进行傅里叶变换就可得到该时窗中的频谱信息.将窗函数随时间轴移动,就可得到整个时间信号的时频信息<sup>[5]</sup>.为了获得导航仪电源线传导干扰的时频信息,下面用STFFT方法分析由示波器采集的导航仪待机状态下的零线传导干扰.

数据采集实验布置按照图2所示,只是将通过LISN耦合的输出信号不送至接收机而是连接到示波器,

设置采样频率为 1.25 MHz, 得到导航仪零线传导发射的时域曲线(图 5), 对其进行 STFFT, 结果如 6 所示. 从时频图中可以看到每个时刻信号中所包含的频率成分, 由颜色及颜色的深浅可判断其幅值相对大小, 同时也可以知晓某个频率出现在哪些时刻即是瞬态的还是时不变的.

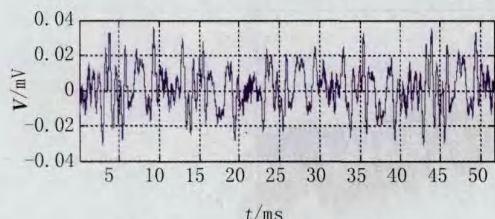


图5 导航仪零线传导干扰时域信号

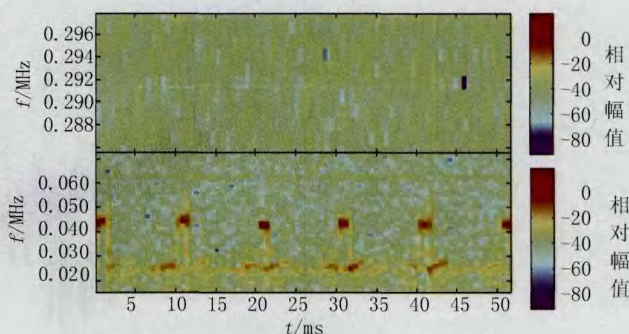


图6 导航仪零线传导干扰时域信号的STFFT变换结果

从图 6 上图中可以看到在 46 ms、292 kHz 处为深蓝色, 对应图 3 中的频点 292 kHz(如图 3 中间方框所示); 局部放大 STFT 时频谱图可以看到其他时频信息, 基本与图 3 中零线传导频谱图一致, 说明 STFT 能准确直观的得到信号的频域信息, 同时还能获取相应的时间信息. 从图 6 下图中可以看出, 信号中包含 45 kHz 的频率, 且为时变的; 时频图中 45 kHz 处颜色最深且为红色, 说明此频率点幅值最大, 这与图 3 中零线发射最高点(如图 3 中左侧矩形框所示)相吻合.

## 5 不确定度评估

不确定度是评价数据可靠性的重要指标, 也是判定临界点是否超标的依据. 为了更精确的表示测量数据, 进行不确定度分析必不可少.

CE102(10 kHz~10 MHz)电源线传导发射的不确定度评定数学模型<sup>[6]</sup>

$$V = V_r + L_c + L_{lissn} + U_r + \delta M + \delta Z,$$

式中,  $V$  为测试结果,  $V_r$  为接收机读数,  $L_c$  为接收机与线路阻抗稳定网络 LISN 之间的连接网络的衰减,  $L_{lissn}$  为 LISN 的插入损耗(电压分压系数),  $U_r$  为接收机自身引入的不确定度, 包括接收机正弦波电压、脉冲幅度、脉冲重复频率和本底噪声影响带来的不确定度,  $\delta M$  为对线路阻抗稳定网络与接收机端口间失配误差的修正值,  $\delta Z$  为对线路阻抗稳定网络阻抗不理想的修正值.

根据仪器设备的校准证书和计量报告容易得到  $V_r$ 、 $L_c$ 、 $L_{lissn}$ 、 $U_r$ 、 $\delta Z$  的不确定度. 由于接收机—电缆—线性阻抗稳定网络(LISN)不完全匹配, 需要对结果进行修正, 失配误差的修正值<sup>[7]</sup>

$$\delta M = 20 \lg(1 - \Gamma_s \Gamma_r),$$

其中,  $\Gamma_s$  是由接被测设备的 LISN 的输出端口看进去的反射系数,  $\Gamma_r$  是从 EMI 接收机射频输入端口看进去的反射系数.

由 HTLISN8001 型线性阻抗稳定网络的矢量网络分析仪测试结果, 得知在 10 kHz~10 MHz 频段内, 其 EMI 测量端口最大驻波比为 8.8, 则电压反射系数最大值为 0.796. EMI N9038A 接收机实验中使用的射频输入端口 input, 在射频衰减大于 10 dB 情况下, 其驻波比为 1.2, 换算成电压反射系数为 0.091. 因此由失配带来的不确定度贡献量为  $|20 \lg(1 - 0.796 \times 0.091)| = 0.653$  dB, 认为服从 U 型分布, 包含因子为  $\sqrt{2}$ .

由 CE102 测试不确定度各分量的标准不确定度, 可得 CE102 测试的合成标准不确定度为 1.49 dB, 取  $k=2$ (对应 95% 的置信水平), 扩展不确定度为 2.98 dB, 小于 CISPR 标准<sup>[8]</sup> 规定的不确定度  $U_{CISPR} = 3.6$  dB. 本文图 3 中 45 kHz 处火线干扰大小不超过极限线, 可认为测量结果符合标准的要求.

## 6 结束语

实验中的某型车载北斗导航仪在待机状态下火线传导发射最大值在 45 kHz 处为 80.6 dB $\mu$ V, 小于

GJB151 极限线  $0.5 \text{ dB}\mu\text{V}$ , 经过计算, 该测试方法的扩展不确定度为  $2.98 \text{ dB}$ , 小于 CISPR 标准规定的不确定度  $3.6 \text{ dB}$ , 可认为该导航仪的传导发射合格. 采用短时傅里叶变换的时频分析方法, 得到与 EMI 接收机一致的频域信息, 并且获知干扰信号为  $45 \text{ kHz}$  处的瞬时窄带干扰.

### 参 考 文 献

- [1] 薛 玲. 车导航仪质量抽查结果显示辐射超标情况堪忧[EB/OL]. (2013-04-08)[2014-07-21]. <http://www.js.xinhuanet.com/2013-04/08/c115298596.htm>.
- [2] 国防科学技术工业委员会. GJB152A-1997 军用设备和分系统电磁发射和敏感度测量[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997: 11-12.
- [3] 岳玲玲. 用于传导干扰测试的多功能线性阻抗稳定网络(LISN)的研究与设计[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
- [4] 国防科学技术工业委员会. GJB151A-1997 军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997: 15-16.
- [5] 薛雪冬, 程旭德, 徐 兵, 等. 基于 STFT 的高电压电气设备局放信号时频分析[J]. 高电压技术, 2008; 34(1): 70-72.
- [6] 中国合格评定国家认可委员会. CNAS-GL07《电磁干扰中不确定度的评估指南》[EB/OL]. (2006-06-01) [2014-07-21]. <http://www.cnas.org.cn/extra/col23/1153814710.pdf>.
- [7] 刘景莉. 电源端传导骚扰测试不确定度评定[D]. 天津: 天津大学, 2008: 28-31.
- [8] International Electrotechnical Commission. CISPR 16-4-2: 2003, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods-Part4-2: Uncertainties, statistics and limit modeling-Uncertainty in EMC measurements[S]. Geneva: International Special Committee on Radio Interference, 2003: 22-23.

## Conducted Emission Test Research on the Power Cord of a Beidou Vehicle Navigation Equipment

ZHOU Bei, WAN Fayu, GE Junxiang

(Electronics and Information Engineering College, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** To the phenomenon that electromagnetic compatibility test unqualified problems exist in domestic car navigation products. We have carried on the power cord conducted emission test of a beidou vehicle navigation equipment. First, the important role of linear impedance stable network (LISN) in the test is analyzed, then the test platform is set up and respectively, the null line, the live wire conducted emission of the navigator under different states are tested. The uncertainty of measurement is calculated as well. For further analysis the time and frequency characteristics of the interference signal, short time fast Fourier transform(STFFT) method is introduced.

**Keywords:** conducted emission; uncertainty; short time fast Fourier transform