

传导性电磁干扰 EMI 噪声测试实验台设计

孙 焱, 赵 阳, 李世锦, 姜宁秋, 尹海平

(南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 准确测量传导性电磁干扰(EMI)噪声, 是解决电力电子产品电磁干扰问题的重要依据. 简述电磁兼容 EMC 传导性电磁干扰标准测试环境, 提出引出地线得到真正的“单相三线”系统, 解决了传统实验室测量的干扰噪声信号缺少共模噪声问题, 建立符合标准的测试实验台, 并阐述了实验台的设计原理和具体设计过程. 通过实验证明该实验台地线的设计有效地保证了传导性 EMI 共模(CM)/差模(DM)噪声的测量, 效果良好.

[关键词] 传导电磁干扰, 共模/差模噪声, 地线, 实验台

[中图分类号] TN 305 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2008)02-0019-04

Test Setup Design for Conducted EMI Noise Measurement

Sun Yan Zhao Yang Li Shijin Jiang Ningqiu Yin Haping

(School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract Accurate diagnosis of conducted electromagnetic interference (EMI) noise is an important basis of solving the power electronic products electromagnetic interference problem. This paper introduces the standard testing environment of electromagnetically interfering the electromagnetic compatible EMC conductivity, proposes drawing out the ground line to obtain a real “single-phase three-line” system, solves the problem of noise signal lacking of common mode noise in the measurement of traditional labs, and establishes test setup in accordance with the norm. The paper also describes the principle of test setup design and the concrete design process. The experiment proves that this test setup with the design of ground line effectively guarantees common mode (CM)/differential mode (DM) noise measurement, and that the results are very good.

Key words conducted EMI common mode/differential mode noise, ground line, test setup

传导干扰主要是电子设备产生的干扰信号通过导电介质或公共电源线互相产生的干扰, 按传输方式分为共模干扰和差模干扰. 电磁兼容 EMC 标准对传导性电磁干扰 EMI 噪声测试的测试仪器、测试方法以及测试场地布置做了严格规定. 其中, 线阻抗稳定网络 LISN 与被测设备 EUT 之间需要 3 根线 (火线 L、中线 N、地线 E) 相连, 使共模干扰信号在火线对地线 (L-E)、中线对地线 (N-E) 流通, 差模干扰信号在火线和中线 (L-N) 之间传输, 从而保证被测设备 EUT 产生的传导性电磁干扰全部耦合到噪声接收端 LISN. 然而, 目前实验室的商用电源只能提供火线和中线 (两根线系统), 不能提供地线, 所以测量不到共模信号, 影响了噪声信号测量的准确性, 此外也没有完善的安全接地系统. 为满足电磁兼容标准测试环境要求, 本文针对实验室电源系统不足, 提出在 LISN 与 EUT 之间引出“人工模拟”地线, 得到真正的“单相三线”系统, 并在电源端增加安全接地, 建立测试实验台. 基于该实验台的实验测试结果表明, 此实验台跟标准的测试环境 (GB/CISPR22 美国 FCC 标准) 一致, 即保证共模 (CM)、差模 (DM) 噪声的测量, 又满足了安全接地要求.

1 设计原理

传导干扰指噪声信号通过导线直接传输到受扰设备, 为方便分析, 通常把传导干扰分为差模干扰

收稿日期: 2007-10-17

基金项目: 江苏省教育厅科技成果产业化推进 (JH2007-006) 资助项目.

通讯联系人: 赵 阳, 教授, 博士, 研究方向: 电磁兼容. E-mail: zhaoyang2@njnu.edu.cn

(Differential-Mode EMI)和共模干扰 (Common-Mode EMI), 其中, 差模干扰信号是通过电子设备两根电源输送线传输的, 而共模干扰信号是通过电子设备电源线对大地传输的。

EMC 标准对测试仪器、测试方法以及测试场地布置做了严格的规定. 标准传导性 EMI 测试系统^[1], 如图 1 所示, 从图中可以看出, 线阻抗稳定网络 (LISN)与被测设备 (EUT)之间需要 3 根线相连, 火线 L、中线 N 及共同的地线 E“3 根线系统”, 共模噪声干扰信号在火线对地线 (L-E)、中线对地线 (N-E) 流通 (图中点划线表示共模噪声传播路径); 差模噪声干扰信号在火线和中线 (L-N) 之间传输 (图中虚线表示差模噪声传播路径), 最终由噪声接收端 LISN 测量到被测设备 EUT 产生的传导性电磁干扰 EMI 噪声的混合信号, 包括共模噪声信号 V_{cm} 和差模噪声信号 V_{dm} .

根据图 1 可得 LISN 测得的火线和中线上的干扰电压:

$$V_L = 50I_L = 50(I_{cm} + I_{dm}),$$
$$V_N = -50I_N = 50(I_{cm} - I_{dm}). \tag{1}$$

通过变形分别得到差模干扰电流和共模干扰电流在 50Ω 电阻 (频谱分析仪输入阻抗) 上产生的压降:

$$V_{dm} = 50I_{dm} = (V_L - V_N) / 2$$
$$V_{cm} = 50I_{cm} = (V_L + V_N) / 2 \tag{2}$$

目前, 电磁兼容规范中线阻抗稳定网络 LISN, 广泛指定使用的是 50 μH / 50Ω 型. 其核心是通过电感、电容和标准 50Ω 阻抗构成的测试网络. 该网络中电感 L_1 、电容 C_2 , 相当于一个低通滤波器, 只允许工频 (50 Hz) 的电流传送到被测设备, 给被测设备供电, 而使电网的高频噪声信号不能影响被测设备. 同时, 该网络电容 C_1 、电阻 R_1 , 相当于一个高通滤波器, 对低频噪声信号显示高阻抗, 对高频噪声信号显示低阻抗, 只允许被测设备产生的高频噪声通过, 保证被测量的干扰信号仅来自被测设备。

虽然 LISN 左面电源端, 也需要 3 根线供电, 但是由于 LISN 对电源起“低通高阻”的作用, 阻止了电网的高频信号流过, 只给被测设备提供工频电流; 对被测设备产生的噪声起“高通低阻”的作用, 使被测设备与电网之间实现射频隔离, 保证频谱分析仪接收到的干扰信号仅为来自被测设备的高频噪声信号. 由此分析, 被测设备噪声信号测量与 LISN 左面电源端, 是否有地线无关, 只要有火线和中线保证供电即可。

我们利用传统实验室测试台, 测量设备传导噪声时, 通过频谱分析仪观察到噪声模态分离结果存在问题, 在 10 kHz~ 30 MHz 的测试频段, 总噪声跟差模噪声相似, 共模噪声几乎观察不到。

因为, 实验室传统噪声测试系统, 如图 2 所示, 存在如下问题: 商用电源单相三线系统只能提供火线和中线 (两根线系统), 没有真正的地线, 使 LISN 与被测设备 EUT 之间也没有公共地, 共模信号无法在火线与地线 (L-E)、中线与地线 (N-E) 流通, 形成不了回路, 使 LISN 端测到的噪声信号只能包括差模噪声, 没有共模噪声, 影响了电磁干扰噪声的准确测量, 由此发现了“公共地”的重要性, 此外系统也没有完善的安全接地系统。

依上分析, 只要在 LISN 与 EUT 之间构造 3 根线系统 (火线、中线、地线), 就能达到标准测试环境, 给出传导性电磁干扰 (EMI) 噪声测试实验台设计原理图如图 3 所示. 在线阻抗稳定网络 LISN 与被测设备 EUT 之间增加“第 3 条路”——地线, 同时两者的地线都接公共地, 如图粗线所示, 提供了一条外加“模拟地线”, 使共模信号在火线与地线 (L-E)、中线与地线 (N-E) 之间流通形成回路. 从图中可以看出

清楚地看出共模噪声干扰、差模噪声干扰的耦合路径。

LISN 的电源侧与真正的大地连接, 如图红

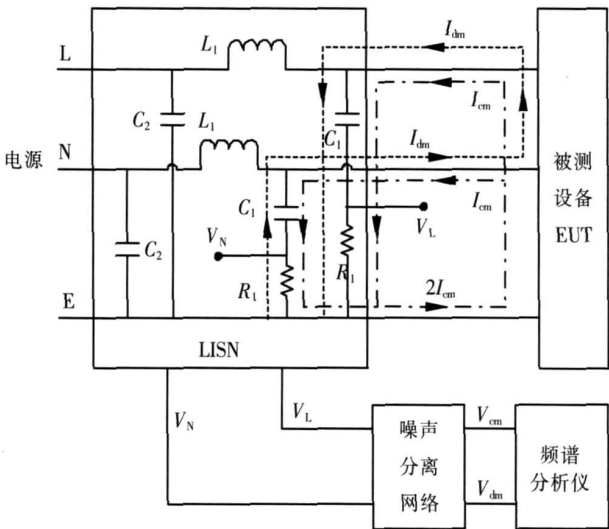


图 1 标准传导性 EMI 测试系统示意图
Fig.1 Scheme of standard conducted EMI testing system

表 1 实验台与标准实验环境对比

Table 1 Comparison among test setup and standard testing environment				
性能类别	LISN	LISN 与 EUT	LISN 电源	LISN 测到
	电源侧	之间	测噪声	EUT 噪声
标准环境	三根线	三根线	无	全部高频
实验台	两根线	三根线	无	全部高频

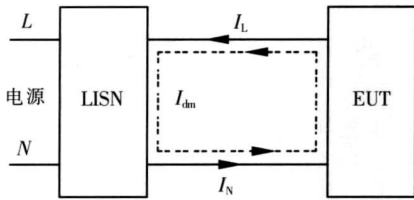


图2 噪声测试传统测试系统
Fig.2 Conventional noise testing system

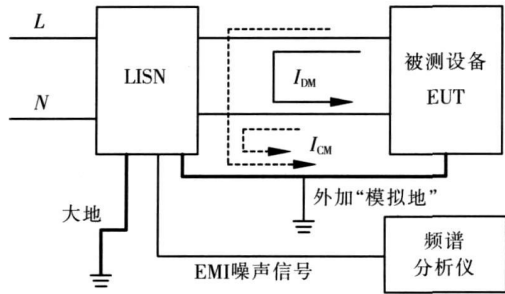


图3 实验台设计原理图
Fig.3 Scheme of test setup design

线所示,为系统提供了安全接地,以防止雷击时危及设备和人身安全.该实验台设计为传导性 EM I测试提供了标准测试环境.如表 1,实验台测试环境与标准实验环境对比.

结果证明:两者测试环境一致,说明该传导性噪声测试实验台满足测试标准要求.

2 实验台研制

依据上面所给出的实验台设计原理,给出具体的实验台设计指标,其设计参数为:

(1) 规格: 20A, 3 kW; (2) 进线方式为单相三线 (L, N, E); (3) 测量标准美国 FCC, 欧洲 C SP, 中国 GB; (4) 接地规范 GB50169—92

EMC 标准对测试设备的布局有严格的规定,由于开关电源等电子器件的体积不大,可采用桌上型摆设测试,依据测量标准中所规定的桌上型传导性干扰测试实验场地,如图 4 所示,

在测试场地的水平地面及垂直墙面上,须铺上面积大于 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ 的接地金属板,提供屏蔽效果以降低电磁干扰.在水平金属板上放置一高 $80\sim 90\text{ cm}$ 的非导电材质桌子 ($2\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 0.8\text{ m}$),再将被测设备 EUT 及其负载置于桌上,两者相距 10 cm 且距离垂直金属板 40 cm ,电源经由 LISN 供给被测设备,被测设备操作所产生的传导性高频噪声 (10

$\text{kHz} \sim 30\text{ MHz}$) 由 LISN 经噪声分离网络耦合至频谱分析仪测量,被测设备的电缆可按所依据标准的要求摆放,以上为最低测试环境要求.

实验室传导性电磁干扰 (EM I) 噪声测试实验台,如图 5 所示.通过金属板使电网地线与大地相连,LISN 与被测设备 EUT 同时接地,构成“单相三线系统”.

实验台电源端要安全接地.因为雷击、闪电会在输入/输出电源线上产生瞬间高压、大电流,影响用户设备稳定运行,严重时会造成设备损坏,危机人身安全.该实验台满足接地规范 GB50169—92^[3],防雷标准: IEC 1312—3《雷电电磁脉冲的防护 第 3 部分:浪涌保护器的要求》,IEC 1000—4《电磁兼容性实验和测量技术》.为降低接地连线的阻抗,地线应当短而宽,并直接与接地面可靠地焊接.地面上外露的铜接地线的最小截面,明敷的裸导体为 $20\text{ mm} \times 2\text{ mm}$;接地体顶面埋设深度应不宜小于 0.6 m ;角钢及钢管接地体应垂直配置;接地体引出线的垂直部分和接地装置焊接部位应作防腐处理.图 5 右下角所示,实验台接地面通过铜线与大地直接相连.

3 实验台应用

基于该实验台,以开关电源为被测设备,选用 Guo^[4] 的噪声分离网络,结合传导性噪声智能处理系统(如图 1 传导性 EM I测试系统示意图),搭建测试电路,进行实验噪声测试.

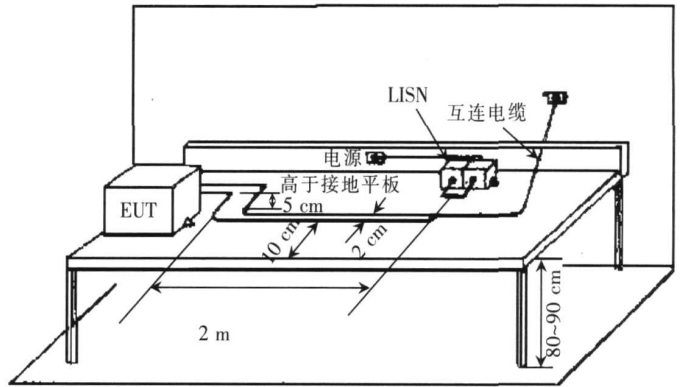


图4 传导性 EMI 测试设备布局示意图
Fig.4 Device layout of conducted EMI testing

通过频谱分析仪读取噪声实验结果,如图 6 所示,从总噪声、共模 (CM) 和差模 (DM) 噪声的对比可见,在 10 kHz~ 10MHz 测试频段,总噪声中共模 CM 噪声占主导地位,CM 和 DM 噪声已得到明显分离.表明该实验台测试环境满足标准传导性电磁干扰测试环境 (GB C ISPR22 美国 FCC 标准),地线的设计有效地保证了 CM /DM 噪声的测量.

4 结论

本文所讨论的传导性电磁干扰 (EMI) 噪声测试实验台设计,是进行传导性电磁干扰实验测量和研究的基本平台.实验台搭建的关键是建立单相三线“3 根线系统”——火线、中线及地线,使 LISN 和被测设备 EUT 之间有共同的地线,以及电源进线端满足良好的安全接地,以便测得完整的传导性噪声信



图 5 实际传导性噪声干扰测试实验场地(接地面与大地连接)
Fig.5 The actual test setup of EMI(connection between the ground and the earth)

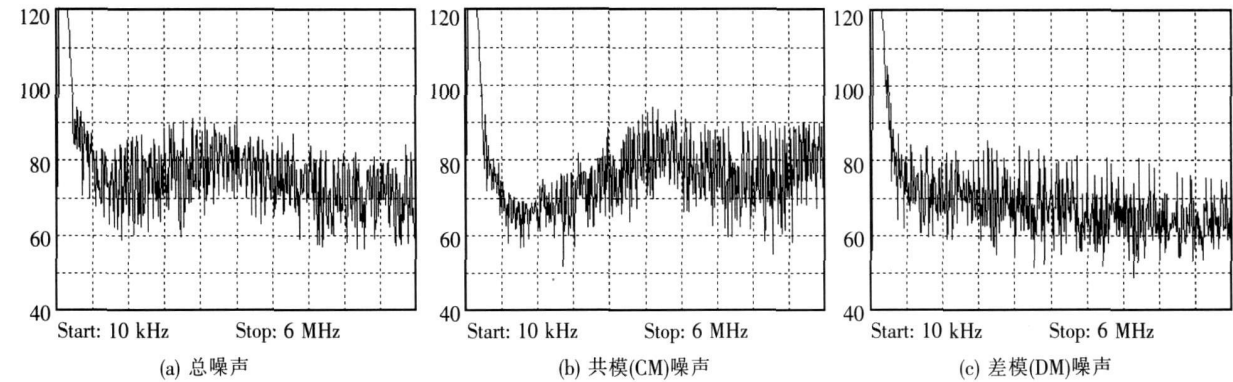


图 6 传导性 EMI 噪声测试结果(纵坐标单位: dBμV)
Fig.6 Results of standard conducted EMI testing

号,包括 CM /DM 噪声信号,达到电磁兼容标准测试要求.

[参考文献] (References)

[1] Zhao Y, See K Y. Performance study of CM /DM discrimination network for conducted EMI diagnosis[J]. Chinese Journal of Electronics 2003(12): 536-539

[2] Zhu H. Modeling-based examination of conducted EMI emissions from hard-and soft-switching PWM inverters[J]. IEEE Transactions on Industry Applications 2001, 37(5): 1 383-1 392

[3] 电气装置安装工程接地装置施工及验收规范 (GB50169— 92) [S]. 北京: 建设部标准定额研究所, 1992
The installation of electrical equipment grounding device construction and inspection standards(GB50169— 92) [S]. Beijing Fixed Institute of the Ministry of Construction Standards, 1992 (in Chinese)

[4] Guo T, Chen D Y. Separation of the common-mode and differential-mode conducted EMI noise[J]. IEEE Trans Power Electronics, 1996, 11(3): 480-488

[5] 杨克俊. 电磁兼容原理与设计技术 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004
Yang Kejun The EMC Principle and Design Technology[M]. Beijing Posts and Telecom Press, 2004 (in Chinese)

[6] 赵阳, 陈昊, 尹海平, 等. 电力电子中的传导性 EMI 噪声源测量与分析 [J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2007, 7(2): 1-5
Zhao Yang Chen Hao Yin Hai ping et al Measurement and analysis of EMI noise sources of power electronic equipments [J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2007 7(2): 1-5 (in Chinese)

[7] 赵阳, 李世锦, 沈雪梅, 等. 传导性 EMI 噪声的模式分离与噪声抑制问题探讨 [J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2004, 4(4): 1-4
Zhao Yang Li Shi jin Shen Xue mei et al Technique of conducted EMI noise separation and noise suppression[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2004 4(4): 1-4 (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]