

传导性电磁干扰噪声分离网络识别特性的实验与仿真研究

沈雪梅¹, 赵阳^{1, 2, 3}, 李世锦¹, 陈昊²

(1 南京师范大学电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042
2 中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221008
3 东南大学毫米波国家重点实验室, 江苏 南京, 210096)

[摘要] 介绍了传导性电磁干扰噪声分离的目的及意义, 并对传导性电磁干扰噪声的分离技术作了讨论, 论述了EMI测试中所用的线性阻抗稳定网络(LISN)以及4种分离网络. 以实验和仿真的方式重点对其中的两种分离网络的性能进行了研究. 通过对比和分析, 得出实验和仿真的结果具有良好的一致性, 在某些情况下, 仿真可以代替实验进行一些研究. 通过仿真, 进一步探讨了分布电容和元件精度对分离网络性能的影响, 结果表明, 分布电容对网络的性能有一定影响, Guo网络的分离特性受分布参数的影响较小; 而元件精度对分离网络的性能几乎不造成影响.

[关键词] 电磁干扰, 共模噪声, 差模噪声, 插入损耗, 抑制比

[中图分类号] TM 154.2 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2005)03-0016-04

Experiment and Simulation Investigation on Performance of Discrimination Networks for Conductive Electromagnetic Noise

SHEN Xuemei¹, ZHAO Yang^{1, 2, 3}, LI Shijin¹, CHEN Hao²

(1. School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Jiangsu Nanjing 210042, China
2. College of Information and Electrical Engineering, China University of Mining Technology, Jiangsu Xuzhou 221008, China
3. State Key Lab of Millimeter Waves, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China)

Abstract This paper gives an introduction of the purpose and meaning of discrimination of Conductive Electromagnetic Noise, discusses about discrimination techniques of Conductive Electromagnetic Noise, introduces line impedance stabilization network (LISN) and four different discriminating networks are also introduced, and does an investigation on performance of discrimination networks by means of experiment and simulation, especially on two of them. Comparisons between experiment and simulation results show their good agreement. In some cases, simulation can do some researches instead of experiment. The paper also presents a further investigation on capacitive coupling influence and parameter errors influence on performance. The results indicate that capacitive coupling has a certain influence on the discriminating networks, that Guo's network is less sensitive to the distribution parameter influence, and that circuit element parameter error has little influence on discrimination networks.

Key words electromagnetic interference (EMI), common mode (CM) noise, differential mode (DM) noise, insertion loss, rejection ratio

0 引言

电磁干扰(EMI)噪声分为两大类: 一类是辐射性噪声, 另一类是传导性噪声. 虽然场的分析对于解决EMI问题更为精确, 它主要通过低频或高频的电磁方程进行分析; 但是传导性的EMI噪声可以用网络理论来解决, 主要是将场的模型转化为电

收稿日期: 2005-04-04
基金项目: 中国博士后基金资助项目(2004036147)、江苏省博士后资助计划基金资助项目(苏人通[2004]300号)、南京师范大学“211”学科建设经费资助项目(1843202529)和南京师范大学优秀青年教师教学科研奖励计划资助.
作者简介: 沈雪梅(1981-), 女, 硕士研究生, 主要从事电磁兼容方面的学习与研究. E-mail: gracy_0127@126.com
通讯联系人: 赵阳(1966-), 博士, 教授, 主要从事电磁兼容方面的教学与研究. E-mail: zhaoyang2@njnu.edu.cn

路模型. 因此, 传导性 EMC 测试是电力系统中在线电路的一种实时性能测试. 当前, 传导性 EMI 的测试主要是通过线性阻抗稳定网络 (LISN) 进行的, 但测得的结果是共模 (CM) 噪声和差模 (DM) 噪声的混合信号. 由于 CM 噪声和 DM 噪声源的性质是不同的, 滤波器的设计就分为共模滤波器和差模滤波器两个部分. 至今为止, 人们已经对传导性 EMI 以及噪声分离技术做了一些研究, 但是并没有清楚地表明研究的结果, 同时也缺乏理论分析^[1-6].

本文将对传导性电磁噪声分离网络的特性以

实验和仿真的形式进行研究. 通过对比可以得到实验和仿真的结果具有良好的一致性. 进一步还将研究对网络特性产生影响的其它因素, 得到的结果可以应用在解决 EMI 问题中.

1 传导性电磁噪声分离技术

在传导性 EMI 测试中, 通用的测试设备是线性阻抗稳定网络 (LISN), 原理如图 1, 通过电感、电容和标准 50Ω 阻抗构成测试网络, 作为获得被测设备 EUT 所产生的噪声接收器.

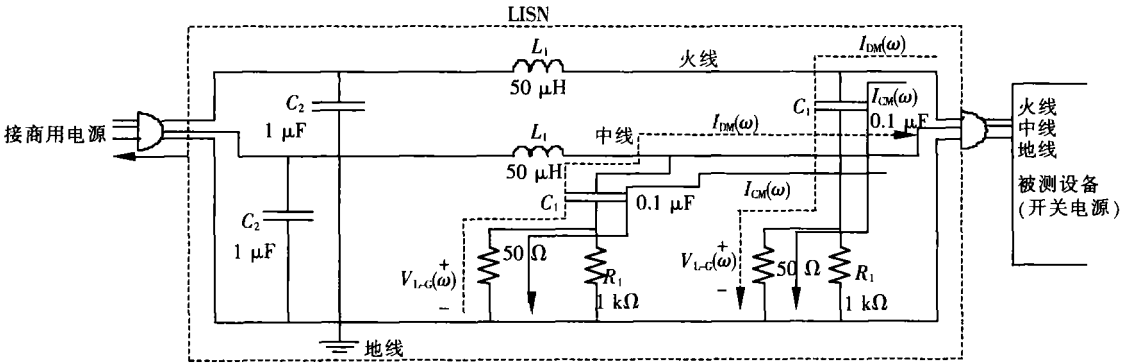


图 1 用于传导性电磁干扰测量设备 LISN 的原理图

如图 1 所示, LISN 的火线和中线端的 50 Ω 匹配阻抗测得噪声电压:

$$V_L = V_{CM} + V_{DM} \tag{1}$$

$$V_N = V_{CM} - V_{DM} \tag{2}$$

因此, LISN 中测得的仅仅是 CM 噪声和 DM 噪声的矢量和及矢量差, 将方程 (1)、(2) 进行变换, 可以得到如下形式:

$$V_{CM} = (V_L + V_N) / 2 \tag{3}$$

$$V_{DM} = (V_L - V_N) / 2 \tag{4}$$

正如方程 (3)、(4) 所描述的, 共模和差模分离网络 (CM /DM DN) 构建的原则是实现火线和中线端电压的加减. 分离网络的输入信号是来自 LISN 的火线和中线端的信号, 分离网络的输出信号则是共模或差模信号.

Paul 提出了一种 CM /DM 分离网络, 使用两个相同的 1:1 的变压器, 通过一个机械开关使其中一个变压器的二次侧线圈反相, 从而实现了加减功能. See 设计了另一种网络, 使用两个 2:1 的二次侧带有中心抽头的变压器实现了这个功能, 但不使用机械开关. Mardiguian 给出了一种形式更为简单的网络, 仅使用一个 2:1 的原边侧带有中心抽头的变压器. Guo 提出了另一种形式的网络, 用两个功率混合器代替变压器实现相同的功能.

2 实验和仿真结果分析

2.1 实验和仿真的介绍

这里以 Paul 和 Guo 的网络作为例子进行分离特性的研究, 实验的装置如图 2 所示. 噪声源是由信号发生器 (SG-4162AD) 和 0°/180°分相器 (Mini Circuit 产品) 组成, 以产生模拟的共模或差模噪声, 作为分离网络的输入信号. 网络输出端分离出来的噪声将输入到 EMI 接收器中 (固纬 GSP-8247 频谱分析仪), 以进行噪声的观测和诊断.

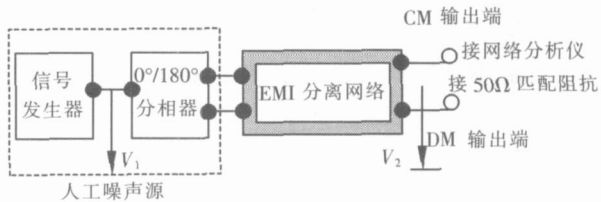


图 2 EMI 噪声分离网络特性测试的原理

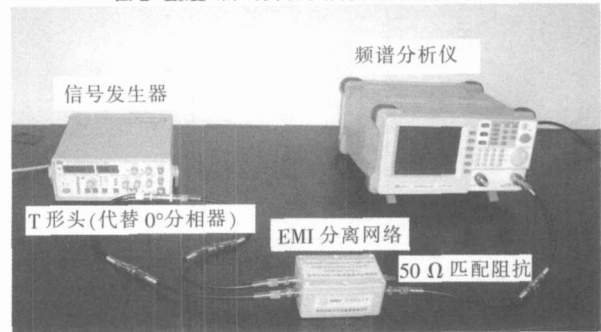


图 3 系统测试照片

同样以 Paul和 Guo的网络作为例子, 用电路仿真进行理论分析, 并用 Spice 软件进行仿真. 两个网络的电路图如图 4所示.

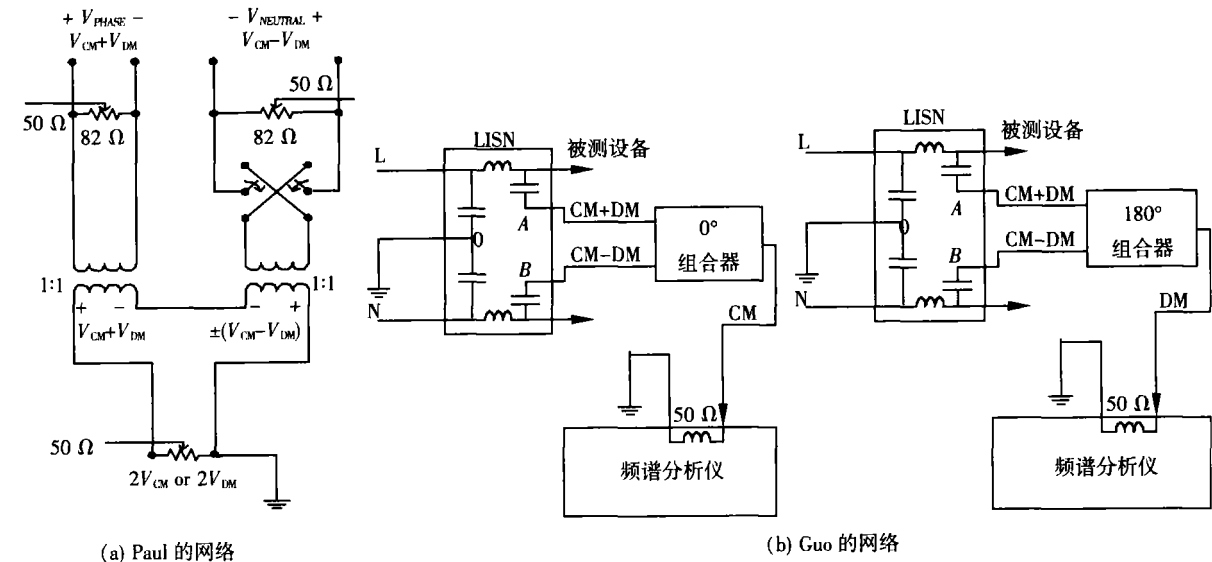


图 4 基于 EMI 噪声的 Paul 和 Guo 分离网络的电路图

2.2 结果和分析

2.2.1 网络基本性能对比

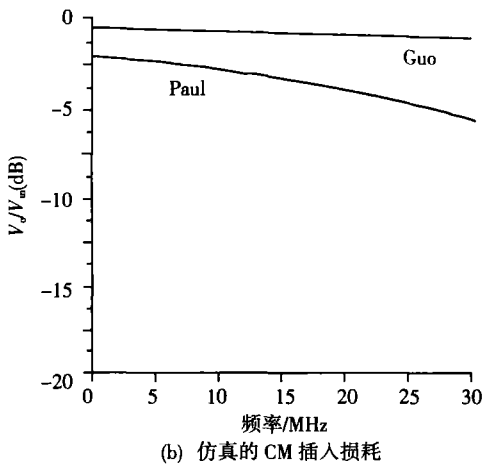
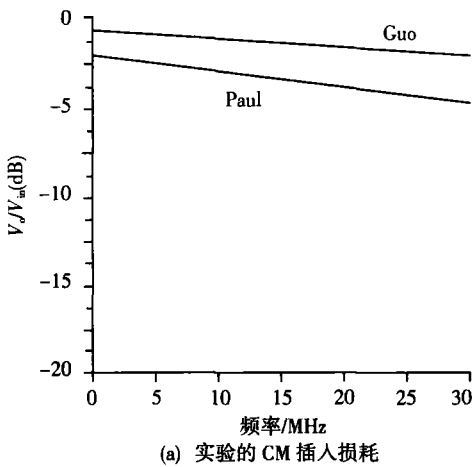
为了对分离网络的特性进行研究, 分别定义共模插损 (CM IL)、差模插损 (DM IL)、共模抑制比 (CMRR) 和差模抑制比 (DMRR) 如下:

定义函数: $S_{21} = 20 \log(V_2/V_1)$ (dB)

CM /DM IL: 当 V_2 与 V_1 为同一模态的电压时, S_{21} 的值就为插入损耗. 当输入电压 V_1 和输出电压 V_2 同为共模电压时, S_{21} 为共模插损; 当输入电压 V_1 和输出电压 V_2 同为差模电压时, S_{21} 为差模插损.

CMRR /DMRR: 当 V_2 与 V_1 为不同模态的电压时, S_{21} 的值就为抑制比. 当 V_1 为共模电压, V_2 为差模电压时, S_{21} 为共模抑制比; 当 V_1 为差模电压, V_2 为共模电压时, S_{21} 为差模抑制比.

Paul网络和 Guo 网络的 CM /DM 插入损耗



(IL)和 CM /DM 抑制比 (CMRR /DMRR)结果如图 5所示.

从测试的性能曲线可以看出, 随着频率的增加, 插入损耗和噪声抑制比都呈现下降的趋势, 特别是抑制比. 插入损耗的变化通常不是很大, 最好的插损小于 1.5 dB 插损最大可达 5.2 dB 然而, 从低频段到高频段, CMRR 特性下降非常快, 并且不同网络间的特性也有很大差别. Guo 的网络 CMRR 特性最好, 在 $f = 1 \text{ MHz}$ 时最大可达 65 dB, 并且最小仍保持在 30 dB 左右. 但对于其它网络来说, CMRR 特性在 30 MHz 时会低于 30 dB. 可以得到这样的结论, 由功率混合器组成的分离网络比基于变压器的分离网络特性要好些, 因为它的杂散参数效应比较小, 阻抗匹配特性比较好, 这同样也与电路的分布有关. 对于差模插入损耗和抑制比也可以得到同样的实验结果.

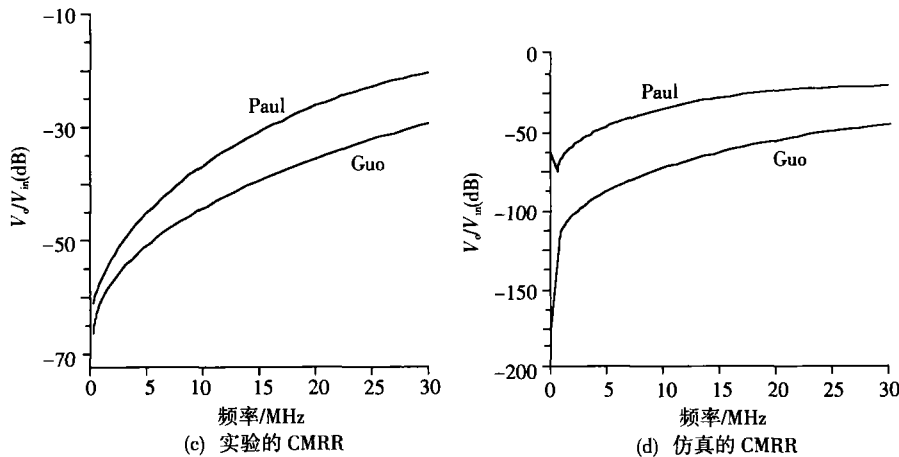


图 5 实验和仿真的共模、差模插入损耗和抑制比结果

同时发现, 对于插入损耗, 从图 5 (a) 和 (b) 可以看出实验和仿真的结果具有良好的一致性. 对于抑制比, 从图 5 (c) 和 (d) 可以看出, 虽然实验和仿真的结果在数值上有一定差距, 但两者性能曲线的趋势保持一致. 仿真得出的网络抑制比之所以较实验得出的结果好些, 是因为仿真忽略了外部效应 (包括外部的电磁场、导线的分布参数等) 对网络性能的影响. 所以, 实验与仿真的结果是保持一致的. 这就意味着, 在测试条件不便的情况下, 仿真可以代替实验对网络的性能进行分析.

2.2.2 分布参数 (电容耦合) 对网络性能的影响

为考虑分布电容对分离网络性能的影响, 用仿真对 Guo 和 Paul 的网络作进一步研究. 在仿真中, 不管是 Guo 还是 Paul 的网络, 电容的模型都是加在变压器的初级和次级线圈之间的, 分布电容值设定为 10 pF. 两个网络的差模抑制比 (DMRR, 以 DM 作为输入信号, CM 作为输出信号) 仿真结果如图 6 所示. 可以看出, Guo 的网络在 EMC 规定的整个频段, 在加入分布电容后, DMRR 特性几乎无任何变化. 而 Paul 的网络在该频段则发生了很大的变化. 这种现象表明, 由变压器组成的 Paul 的分离网络

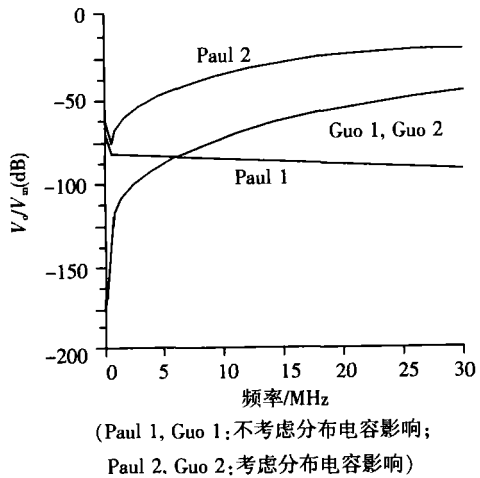


图 6 考虑分布电容后, 网络 DMRR 特性的仿真结果

对于分布参数的影响比较敏感, 而由功率混合器组成的 Guo 的分离网络对分布参数的变化不太敏感. 这说明 Guo 的网络具有较好的抗干扰性能, 这与实验结果也一致.

2.2.3 电路中元件精度对网络性能的影响

基于电路中元件精度对网络性能的影响, 进行了另一种研究. 假设 Guo 和 Paul 的分离网络各自的输入电阻分别有 5%、10% 和 15% 的误差, 仿真的 DMRR 特性如图 7 所示. 可以看出, 无论是 Guo 或是 Paul 的分离网络, 当输入电阻的精度假定为 5% 时, 网络的特性都没有发生变化. 当输入电阻的精度假定为 10% 和 15% 时, 可以得到相同的结果. 因此, 可见, 元件的精度问题对分离网络的特性影响很小.

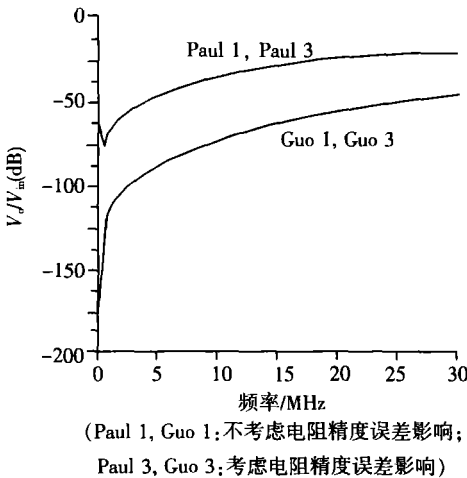


图 7 考虑电阻精度后, 网络 DMRR 特性的仿真结果

3 结论

现在为止, 已对传导性电磁噪声分离网络完成了实验和理论的研究, 通过对比和分析得到了一些结果, 并且进一步得到了分布电容及元件精度对网络特性的影响, 这对于今后的研究有积极意义.

(下转第 49 页)

- [15] Song C K, Kin S W. Reverse engineering autonomous digitization of free-formed surfaces on a CNC coordinate measuring machine[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 1997, 37(7): 1041-1451.
- [16] 王平江, 陈吉红, 李作清, 等. 空间自由曲面数控测量系统中测量路径的优化[J]. 组合机床与自动化加工技术, 1994(10): 30-35.
- [17] 江元龙, 李圣怡. Voronoi图在复杂曲面轮廓自动测量中的应用[J]. 组合机床与自动化加工技术, 1996(3): 11-15.
- [18] 王恒奎. 激光测量曲面数字化基础技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2000.
- [19] 李剑, 陈桦, 陈子辰, 等. 基于扫描优角顶点和单调剖分的测量路径优化算法研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2004(3): 84-87.
- [20] Lin A C, Lin H T. Automatic Generation of NC Cutter Path from Massive Data Points[J]. CAD, 1998, 30(1): 77-90.
- [21] 卢杰持. DIG II-02C 数控仿形系统[J]. 机床, 1991(12): 27-29.
- [22] 王平江. 3M 集成技术的研究与实践[D]. 武汉: 华中理工大学, 1998.
- [23] 唐朝伟, 梁锡昌. 三维曲面激光精密测量技术[J]. 计量学报, 1994, 15(2): 99-103.
- [24] 罗飞路, 陈栢湘, 周继伟, 等. 自由曲面的立体视觉测量与加工一体化研究[J]. 国防科技大学学报, 1995 (17) 2: 12-18.
- [25] Livingstone F R, Rioux M. Development of a large field of view 3-D vision system[J]. SPIE, 1986, 665: 188-194.
- [26] Saito K, Miyoshi T. Non-contact 3-D digitizing and machining system for free-form surface[J]. Annals of CIRP, 1989, 40: 483-486.
- [27] Hosni Yasser. Laser based system for reverse engineering[J]. Computers Industrial Engineering, 1994, 26(2): 387-394.
- [28] Carl Thomas Schneider, Kurt Sinnreich. Concept of an optical coordinate measurement machine[J]. SPIE, 1990, 1395: 816-822.
- [29] Bradley C, Vickers G W. Automated rapid prototyping utilizing laser scanning and free-form machining[J]. Annals of the CIRP, 1992(41): 437-440.
- [30] Huang Chiennan, Motavalli Aaeil. Reverse engineering of planar parts using machine vision[J]. Computers Industrial Engineering, 1994, 26(2): 369-374.
- [31] Bao H P, Soundar P, Yang T. Integrated approach to design and manufacture of shoe last for orthopaedics use[J]. Computers Industrial Engineering, 1994, 26(2): 411-421.

[责任编辑: 刘健]

(上接第 19页)

[参考文献]

- [1] Paul C R, Hardin K B. Diagnosis and reduction of conducted noise emission[J]. IEEE Trans EMC, 1988, 30(4): 553-560.
- [2] See K Y. Network for conducted EM I diagnosis[J]. Electronic Letters, 1999, 35(17): 1446-1447.
- [3] Mardiguian M, Rainbourg J. An alternative method for characterizing EM I filter[J]. Proc of IEEE on EMC, 1999(2): 882-886.
- [4] Ting Guo, Chen D Y, Lee F C. Separation of the common-mode and differential-mode conducted EM I noise[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 1996, 11(3): 480-488.
- [5] Zhao Yang, See Kye Yak. Diagnosis network performance for conducted EM I measurement[R]. Ohio: IEEE AP-S Digest, 2003.
- [6] Zhao Yang, See Kye Yak, Li Shijin. Noise Diagnosis Techniques in Conducted EM I Measurement: Methods analysis and design[R]. CA: IEEE AP-S Digest, 2004.

[责任编辑: 严海琳]