

传导性电磁干扰信号模态识别网络特性研究

赵阳¹, See Kye Yak²

(1. 南京师范大学电气与电子工程学院, 210042, 南京)

(2. 新加坡国立南洋理工大学电气与电子工程学院, 639798, Singapore)

【摘要】 分析了传导性电磁干扰信号的测量方法, 提出基于共模/差模(CM / DM)信号的识别网络设计, 进一步研究了模态识别网络的插入损耗(IL)及共模抑制比(CMR)等重要性能, 并给出模态识别网络的性能实验设计与分析方法。

【关键词】 电磁兼容, 传导发射, 共模/差模干扰信号, 模态识别网络

【中图分类号】TM937.3, 【文献标识码】B, 【文章编号】1672-1292(2002)04-0026-04

0 引言

随着开关电源的大量使用以及工作频率的不断提高, 其产生的大量谐波干扰信号对线路和电网的干扰愈来愈大, 甚至造成线路的严重“污染”。因此必须采取相应控制措施, 如使用功率滤波器(power line filter)^[1]。高质量功率滤波器设计的前提来自有效的传导性电磁干扰信号测试, 即传导发射测量。

1 研究问题的提出

目前国际上规定的传导性电磁干扰测量设备是线阻抗稳定网络 LISN(line impedance stabilization network, 简称 LISN)^[2], 原理如图 1。其核心是通过电感、电容和标准 $50\ \Omega$ 阻抗构成的测试网络, 作为获得被测设备 EUT(equipment under test, 简称 EUT)所产生的传导干扰信号的接受器。由于该网络可以有效屏蔽来自外部电网的高频干扰或阻止负载产生的高频干扰通过电源插座传入外部电网, 同时又不影响负载正常工作下所需的工频电流(power line frequency, 如国内 50 Hz 电流), 所以理论上可以有效获得噪声源产生的传导干扰信号。

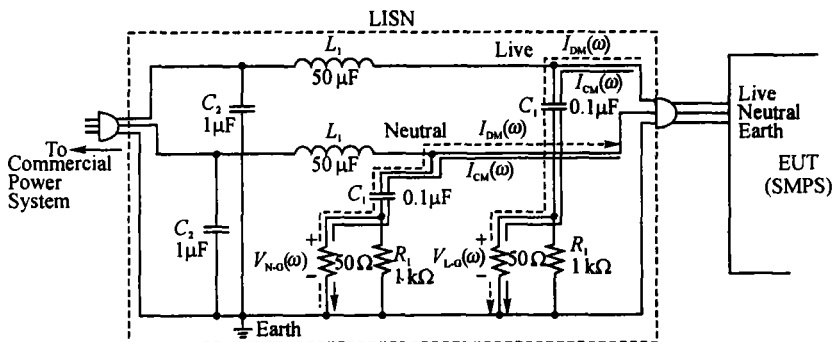


图 1 传导性电磁干扰测量设备 LISN 原理

收稿日期: 2002-12-20.

基金项目: 新加坡政府教育部博士后研究基金资助和南京师范大学高层次人才研究启动基金资助项目(2002DQYXGQ2B13).

作者简介: 赵阳, 1966-, 博士, 南京师范大学电气与电子工程学院教授, 主要从事计算电磁学与电磁兼容等的研究。

在图1中,噪声源即被测设备EUT为一个典型单相开关电源(SMPS),LISN中的 50Ω 表示测试仪器如频谱分析仪的标准阻抗,所有噪声分量由 50Ω 电阻上得到.另外“L”、“N”、“E”分别表示相线、中线和地线, I_{CM} 和 I_{DM} 则表示共模电流和差模电流,可见共模电流是由“线”对“地”产生的共模电位引起,其幅值相同且方向相同;而差模电流是由“线”与“线”之间的电位差引起,其幅值相同但方向相反.由此得到“相线-地”(V_{L-G})和“中线-地”(V_{N-G})测量电阻上的噪声电压分别是

$$V_{L-G}(\omega) = 50[I_{CM}(\omega) + I_{DM}(\omega)] = V_{CM}(\omega) + V_{DM}(\omega) \quad (1)$$

$$V_{N-G}(\omega) = 50[I_{CM}(\omega) - I_{DM}(\omega)] = V_{CM}(\omega) - V_{DM}(\omega) \quad (2)$$

由(1)(2)式发现,LISN只能测量到总体传导性EMI信号,而不能直接检测共模(CM)和差模(DM)信号.由于CM和DM模态信号决定不同的滤波器设计方法,如CM干扰信号通常决定共模扼流圈(common-mode choke)的设计,DM干扰信号通常决定L-C或R-C滤波器的设计,因此CM/DM分量是设计功率滤波器抑制电磁干扰的必要参数,显然常规测试设备LISN无法满足这种要求.

2 CM/DM 模态识别网络

为了给功率滤波器设计提供共模/差模干扰信号分量,基于LISN的CM/DM识别网络研究十分重要.Paul^[3]首先提出了一种简单识别网络,即采用一个简单的、带中心抽头且变比为1:1的射频变压器作为识别网络的核心,但该网络只能测量单模态信号如CM信号.此外,Paul网络引入了机械式开关(switch)来选择CM/DM的模态输出信号,从而带来网络的不平衡性并最终影响网络的高频CM/DM识别性能.

本文作者之一See在Paul网络基础上提出一种改进的识别网络^[4],既可以同时提供具有CM/DM抑制能力的信号分离网络,同时在电路中也避免了采用开关所带来的不利影响.See网络的设计思想是,根据(1)、(2)式有,

$$V_{CM}(\omega) = \frac{1}{2}[V_{L-G}(\omega) + V_{N-G}(\omega)] \quad (3)$$

$$V_{DM}(\omega) = \frac{1}{2}[V_{L-G}(\omega) - V_{N-G}(\omega)] \quad (4)$$

因此实际CM和DM信号可以分别通过“矢量加”和“矢量减”两种运算获得.See网络原理是,两个宽带射频变压器连接如图2所示,且副边线圈带中心抽头,两个输出端与EMI干扰接收机输入端相连,分别满足方程(3)和(4)的“加”、“减”功能,于是共模和差模传导发射信号彼此分离并可以直接在EMI接收机上测量得到.

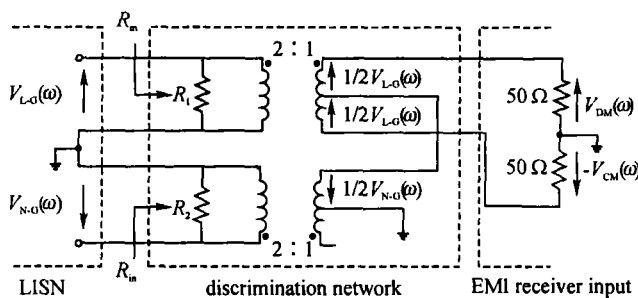


图2 See的CM/DM模态识别网络

3 模态识别网络性能研究

See网络理论上解决了CM/DM的信号分离和直接测量问题,接着我们又进一步研究了模态识别网络的插入损耗(IL)和共模抑制比(common-mode rejection,简称CMR)等重要性能,得到网络的整个宽频响应特性,从而验证了网络的有效性并为实际测量提供了误差校准依据.

模态识别网络性能研究方法如下.由于必须提供单模态信号源以检测其IL和CMR(或DMR)等特性,所以首先需要设计一个人工模拟CM/DM信号源.根据LISN原理,共模信号指幅值相同且方向相

同的两路信号,而差模信号指幅值相同但方向相反的两路信号.基于这个思想,我们分别采用 0° splitter 和 180° splitter 作为人工模拟共模和差模信号源.因为 Splitter 的原理是将一路信号同时分解成两路幅值相同、相位相同(0° splitter)或相反(180° splitter)的信号,且

在宽频下具有较好的特性.实验中我们采用美国 Mini Circuit 公司提供的 0° splitter(Model No: PSC-2-1)和 180° splitter(Model No: PSCJ-2-2),其最高工作频率可以达到 20 MHz~40 MHz.整个信号输入由 HP8753C 分析仪通过人工模拟信号源产生,再通过 See 模态识别网络,最后接 HP S-Parameter(散射参数)分析仪输出.模态识别网络系统实验装置如图 3 所示.

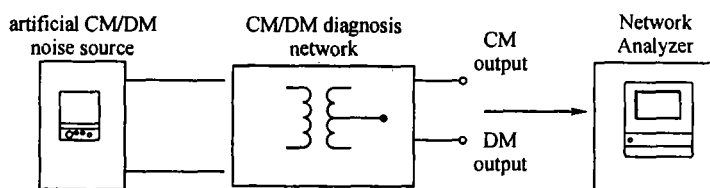


图3 CM/DM 模态识别网络性能实验系统

4 实验结果与分析

基于前面提出的模态识别网络性能测试系统,我们着重对 See 网络进行了研究.由于通常在传导发射干扰中,共模信号因其频率较低且“地电位差”产生的信号幅值相对较大,在整个干扰信号频谱中居主导地位,因此我们只研究网络的共模信号特性.根据美国联邦通信委员会 FCC 制定的有关电磁兼容标准(FCC Part 15),传导发射测量的上限频率在 30 MHz,因此本文测量频带在 0.3 MHz~30 MHz.

图4为网络的共模插入损耗 IL 特性(insertion loss,简称 IL).图中发现,在低频 $f=1$ MHz 时, $IL = -2.93$ dB,具有较低的插入损耗,而在高频 $f=30$ MHz 时, $IL = -5.34$

dB,虽然插入损耗总体绝对值基本小于 5 dB,满足工程应用要求,但说明其网络的高频插入损耗特性并不十分理想,尤其在频率大于 15 MHz 时 IL 绝对值已接近 4 dB,这是由于 See 网络中采用了多个 RF 变压器,在高频时由于变压器内原、副边线圈之间以及变压器之间的杂散电容(stray capacitor)和旁路电容(shunting capacitor)效应,使噪声隔离性能变差,从而影响高频条件下的传输特性.

图5为网络的共模抑制比(CMR)特性(common-mode refection,简称 CMR).图中发现,在低频 $f=1$ MHz 时, $CMR = -42.58$ dB; $f=10$ MHz 时, $CMR = -25$ dB;而在高频条件下 $f=30$ MHz 时, $CMR = -18.26$ dB,说明当频率大于 20 MHz 时,CMR 特性已开始小于绝对值 20 dB.因此, $f \geq 20$ MHz 时,共模干扰抑制能力明显下降,这样在测量差模干扰信号时所带来的共模耦合干扰显著增强,影响测量精度,必须采用相应的误差补偿技术进行校准(硬件或软件校准).需要指出,由于 CM 信号通常集中在低频段^[3],即 $f < 10$ MHz,如大部分开关电源(SMPS)所产生的 CM 干扰都在上述范围内,所以在工程应用中一般可以忽略 CMR 在高频段的误差干扰影响.

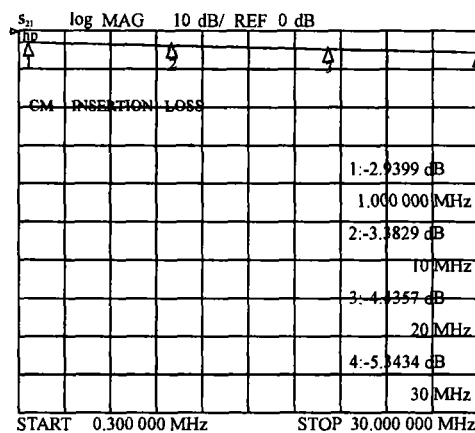


图4 See 模态识别网络的共模插入损耗(IL)特性

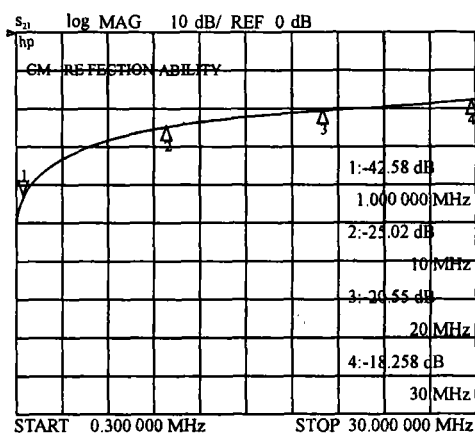


图5 See 模态识别网络的共模抑制比(CMR)特性

5 结论

本文研究了传导发射信号的模态识别网络性能,给出了See网络分析以及基于See网络的性能测试系统设计与实验结果,并对实验数据进行了分析.本文对于传导性电磁干扰识别网络设计,特别是识别网络的性能特性分析具有积极意义,对实际电磁兼容测量及功率滤波器设计有较大帮助.

致谢 本文实验得到了新加坡国立南洋理工大学电气与电子工程学院 IC Design III Laboratory 的 Wee Seng Khoon 先生帮助,在此表示感谢.

[参考文献]

- [1] Mark J Nave. Power line filter design for switched-mode power supplies[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- [2] Henry W Ott. Noise reduction techniques in electronic system[M]. New York: John Wiley & Sons, 1987.
- [3] C R Paul, K B Hardin. Diagnosis and reduction of conducted noise emission[J]. IEEE Trans On EMC, 1988 ,30(4).
- [4] K Y See. Network for conducted EMI diagnosis[J]. Electronic Letter, 1999,35(17) .

Mode Discrimination Network Research for Conductive EMI Emission

Zhao Yang¹, See Kye Yak²

(1. College of Electrical and Electronic Engineering, Nanjing Normal University, 210042, Nanjing, PRC)

(2. School of EEE, Nanyang Technological University, 639798, Republic of Singapore)

Abstract: In this paper the measurement of conductive EMI emission is discussed, and the design of CM/DM discrimination network is also presented. Further, the performance of insertion loss (IL) and common-mode rejection (CMR) is researched, together with the test approach and experiment results.

Key words: electromagnetic compatibility (EMC), conductive emission, CM/DM interference, discrimination network

[责任编辑: 严海琳]