

电源线传导噪声诊断与抑制的 EMI 智能测试系统研究

李世锦¹, 赵 阳^{1,2,3}, 沈雪梅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 毫米波重点实验室, 江苏 南京 210096)

[摘要] 现阶段针对传导性 EMI 的模态干扰信号分离及其抑制技术还不完善, 很多问题尚未彻底解决, 尤其是面向广大电器与电子制造企业的智能化处理技术和综合解决方案还未完全实现. 介绍了包括基于硬件的噪声模态分离和基于软件的噪声诊断功能的全智能 EMI 测量系统的研究, 进而在研究中提出一种实现标准化一体化滤波器设计方案的新思路. 同时给出了测试装置和相关实例, 并对实际测量的数据进行了实验对比. 结果表明该系统能有效解决电源线上的 EMI 噪声诊断与抑制问题.

[关键词] 传导性电磁干扰, 噪声诊断, 噪声抑制, 噪声分离, 电磁兼容, 智能系统

[中图分类号] TN43 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2005)02-0005-05

An Intellectual Electromagnetic Interference Measurement System on Power-line with Noise Diagnosis and Mitigation

LISHIJIN¹, ZHAO Yang^{1,2}, SHEN Xuemei¹, CHEN Hao²

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

2 School of Information and Electrical Engineering China University of Mining and Technology Jiangsu Xuzhou 221008, China

3 State Key Lab of Millimeter Waves Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096 China)

Abstract As the diagnosis and suppression techniques of conducted EMI noise are not so perfect there are still many problems especially the intellectual solution schemes providing for many electric & electronic production manufacturers. The paper presents an intellectual measurement system including noise mode-decomposition with hardware and noise diagnosis with software, proposes a new idea of generalizing and unifying filter designing scheme, and gives the test setup and an example to show that this intellectual system is efficient in solving electromagnetic noise on the power-line.

Key words conductive electromagnetic interference, noise diagnosis, noise mitigation, noise separation, electromagnetic compatibility (EMC), intellectual system

0 引言

电磁干扰 (EMI) 噪声发射的测量和抑制一直是电气与电子设备设计和制造过程中必需考虑的一个重要问题. 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), 其测量到的是包含共模 (CM) 和差模 (DM) 信号的混合噪声信号. 然而, 在

设备中共模和差模噪声源具备不同的特性, 滤波器的设计方法也由此各不相同, 因此必须考虑将这两种模态进行分离. 虽然以往对这个问题已经做了相关的研究^[1-4], 但显然关于包括噪声诊断软件的全智能测试系统的探讨依然是不充分的. 在作者前期对噪声分离网络^[3,4]研究的基础上, 本文介绍了包括基于硬件的噪声模态分离和基于软件的噪声诊断功能的全智能 EMI 测量系统的研究, 同时给出

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项目.

作者简介: 李世锦 (1976-), 助教, 主要从事电磁兼容及电磁场计算等方面的教学与研究. E-mail: lishijin@njjnu.edu.cn

通讯联系人: 赵阳 (1966-), 博士, 教授, 主要从事电磁兼容的教学与研究. E-mail: zhaoyang2@njjnu.edu.cn

了测试装置和相关实例, 结果表明该系统能有效解决电源线上的 EM I 噪声诊断与抑制问题.

1 EM I 测试系统的构成与实现

1.1 传导性 EM I 噪声定义及数据获取

通常利用 LISN^[1] 来描述和获取传导性 EM I 噪声. 在单相三线(火线、中线和地线)系统中, 噪声电流共包括两部分: 其中差模电流从火线流出到中线, 共模电流经火线和中线回到地线.

1.2 噪声分离网络

如前所述, LISN 只能测量到传导性 EM I 噪声的混合信号而不能从中检测出 CM 和 DM 分量, 但同时滤波器设计却可分为共模滤波器和差模滤波器两种. 由此在 EM I 解决方案中噪声分离网络就变得极为必要, 其中分离网络又分为基于硬件(如射频变压器或功率合成器)和基于软件两种.

例如新加坡的 See^[3] 设计的识别网络, 如图 1 所示. 两个宽带射频变压器相连且副边线圈带中心抽头, 两个输出端与 EM I 干扰接收机输入端相连, 分别满足“相线”和“中线”上的混合模态信号的矢

量“相加”、“相减”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 EM I 接收机上测量得到.

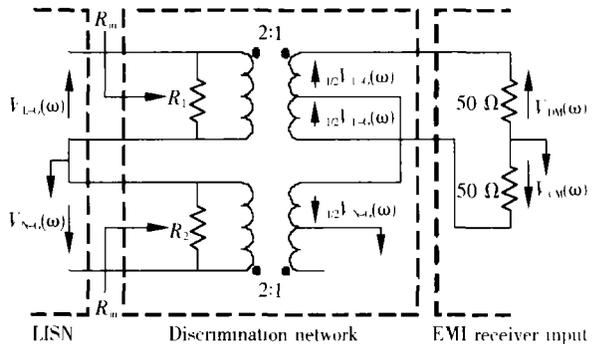


图 1 See 分离网络

而美国的 Guo^[2] 提出的采用 0°/180° combiner 取代变压器作分离网络, 如图 2 所示. 分别用 0°和 180°的 combiner 实现 CM 和 DM 的模态分离和输出. 功率混合器 (power combiner) 在物理结构上同功率分相器 (power splitter) 一样但逆向使用, 功率分相器通常作为射频器件可以将输入信号分解成两个等幅和指定相位的信号输出, 当反向使用时就变成了一个功率混合器.

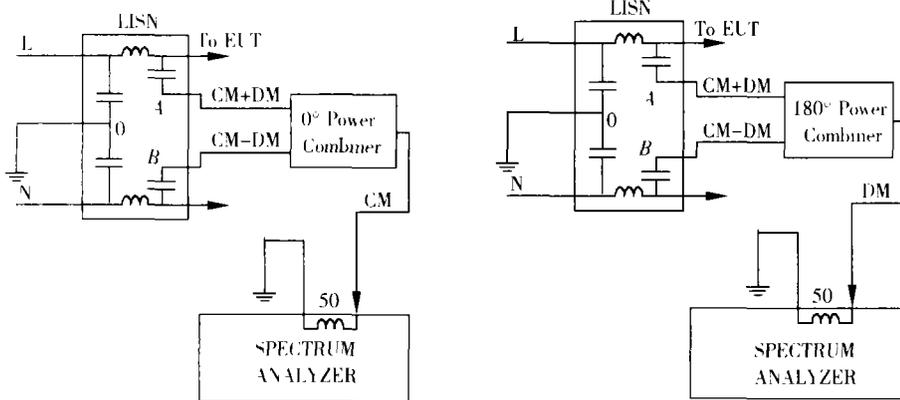


图 2 Guo 分离网络

由公式

$$V_{CM} = \frac{1}{2}(V_{Phase} + V_{Neutral}) \quad (1)$$

$$V_{DM} = \frac{1}{2}(V_{Phase} - V_{Neutral}) \quad (2)$$

可见, 无论分离网络以何种硬件形式实现, 其原理均为实现火线和相线上噪声电压的相加和相减功能.

1.3 传导性 EM I 噪声的智能测试系统

图 3 是系统的示意图; 测试装置如图 4 所示. 在主测量装置的输出端获取被测设备 (EUT) 的 EM I 噪声后, 输入到共模 CM/差模 DM 分离网络进行模态分离. 而后由诊断软件对从频谱分析仪传送

到计算机上的信号进行处理. 该智能系统不仅可利用硬件提供独立的共模及差模分量, 同时也利用软件为滤波器设计提供了有益的诊断信息.

1.4 关于噪声模态分离技术的进展

值得一提的是, 除了基于硬件的分离网络之外, 也可以使用借助数值计算功能来实现的模态信号软分离技术. 现阶段我们的工作任务主要是对基于硬件和基于软件的噪声分离技术的性能改善做进一步的研究, 内容包括: 考虑到分布参数变化的电路仿真、不同网络之间分离性能的比较、采用虚拟仪器进行信号的采集和计算以实现全软件噪声分离、智能诊断系统的一体化设计等.

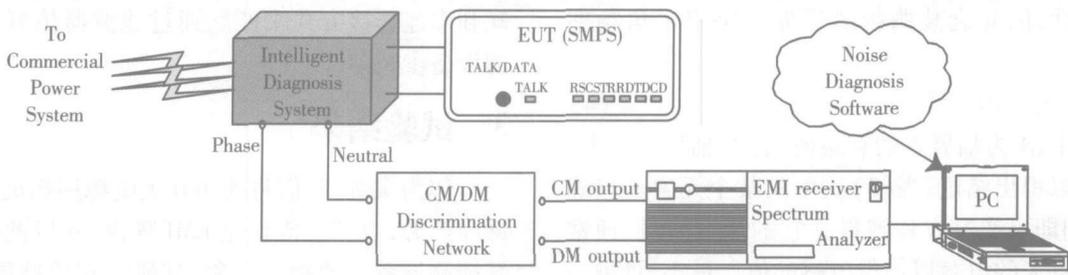


图 3 传导性 EMI 智能测试系统示意图



图 4 智能测试系统装置图

2 智能测试系统噪声诊断软件

全智能系统中包含的噪声诊断与抑制软件 (如图 5 所示) 在传导性电磁干扰 (EMI) 测试中扮演着及其重要的角色. 软件功能介绍如下:

2.1 总噪声测量 (Total Noise measurement)

该功能用来测量电磁兼容 (EMC) 标准 (如美国 FCC 标准) 所要求的混合噪声总量.

2.2 来自分离网络的共模 / 差模噪声分量 (CM / DM Noise From Discrimination Network)

该功能用来显示经过分离网络模态分离之后的噪声分量并且为进一步的噪声抑制分析提供有益的诊断信息.

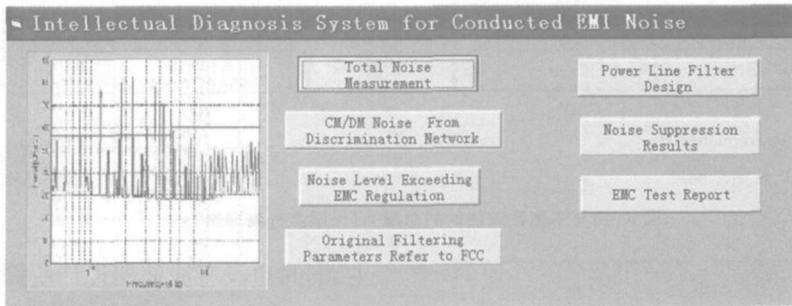


图 5 EMI 测试系统中的诊断与抑制软件界面图

2.3 比对 EMC 标准的噪声超调量 (Noise Level Exceeding EMC Regulation)

该功能用以提取 EMC 标准限制线上的噪声超调水平, 同时该信息为共模 / 差模滤波器设计中所必须的模态噪声分量的频率响应建立了原始数据.

2.4 原始滤波参数 (Original Filtering Parameter)

该参数由上面获取到的数据转化而成, 包括将决定滤波性能的带通、带阻、低通、高通等滤波器性能.

2.5 功率线滤波器设计 (Power Line Filter Design)

在该步骤中由计算机根据原始滤波参数中的信息对共模和差模滤波器进行设计, 整个过程由一体化的标准程序实现.

2.6 噪声抑制结果 (Noise Suppression Results)

该功能用来显示经过噪声诊断和滤波器抑制后的测量结果, 以及诸如共模、差模分量各降低了多少个分贝的噪声和经过处理的系统是否已满足了 EMC 标准等细节.

2.7 电磁兼容测试报告 (EMC Test Report)

利用该选项创建测试报告, 内容包括: 导致原系统没有通过电磁兼容标准的主要原因及滤波器设计中的相关信息.

应当指出, 噪声诊断与抑制软件中的核心是共模 / 差模噪声分析以及功率线滤波器的设计. 标准的共模和差模滤波器固有频率可以表示为,

$$\begin{cases} f_{r, CM} = 1 / [2\pi \cdot (L_{CM} C_{CM})^{1/2}] \\ f_{r, DM} = 1 / [2\pi \cdot (L_{DM} C_{DM})^{1/2}] \end{cases} \quad (3)$$

既然二阶滤波器应当具备 40 dB 斜率的频率

衰减特性, 因此衰减曲线的临界点决定了角频率为:

$$f_r = f_o \cdot 10^{-A/40} \quad (4)$$

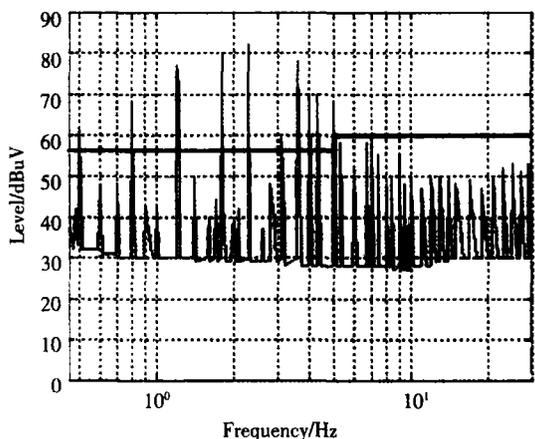
式中, A 为临界点的衰减值, f_o 为临界点频率.

由此可以得出结论: 当 (3) 式中的某个元素一旦确定, 我们即可通过方程解得其它的参数变量. 通常选择尽量大的电容以使得电感的值尽量小. 更进一步, 我们还在研究中提出一种新的思路, 即研究既能同时适合共模和差模噪声滤波, 又能从经济角度出发使用尽可能少的电路元件并易于在系统中电路自动实现的滤波器拓扑结构, 以实现标准化一体化的滤波器设计方案. 此外, 在全智能测试系统中, 滤波器硬件结构的自动实现同样也是值得关注的, 我们可考虑将电路中的每一个基本滤波元件以并

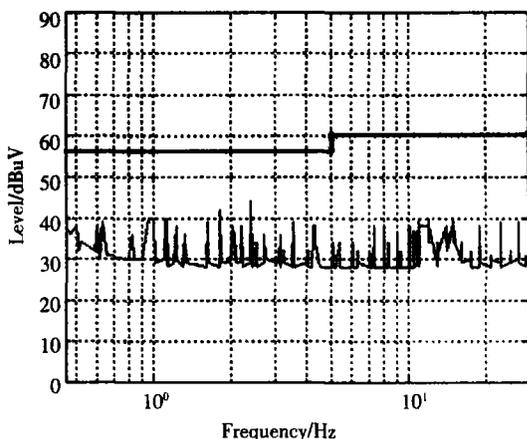
联和串连接方式来匹配通过滤波器仿真计算出的设备参数值.

3 试验结果

作为实例, 我们将商用开关电源用作被测设备即噪声源, 以产生传导性 EM I 噪声, 并以此作为全智能测试系统的检测对象, 其研究实验结果如下. 在无噪声分离网络条件下, 加与不加滤波器时总噪声的情况对比如图 6 所示, 其中 (a) 图为初始混合噪声; (b) 图为经过滤波之后的总噪声. 图 7 为由诊断软件设计的共模滤波器滤波特性. 图 8 为在有噪声分离网络的条件下, 加与不加滤波器时共模噪声的情况对比, 其中 (a) 图为初始共模噪声分量; (b) 图为经过共模滤波器抑制之后的共模噪声.



(a) 初始总噪声



(b) 滤波之后的总噪声

图 6 加与不加滤波器时的总噪声(无噪声分离网络)

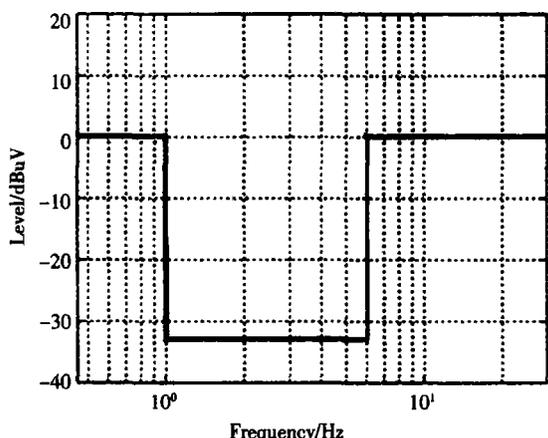
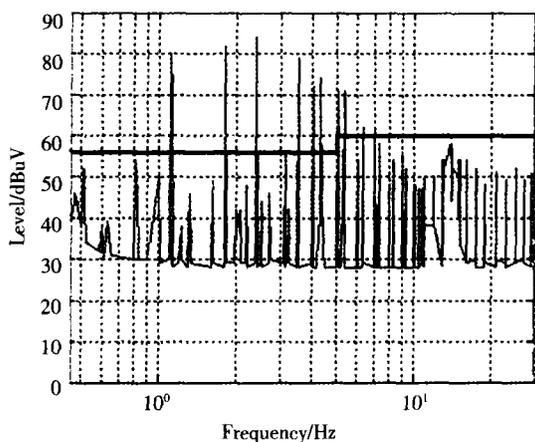


图 7 共模滤波器滤波特性

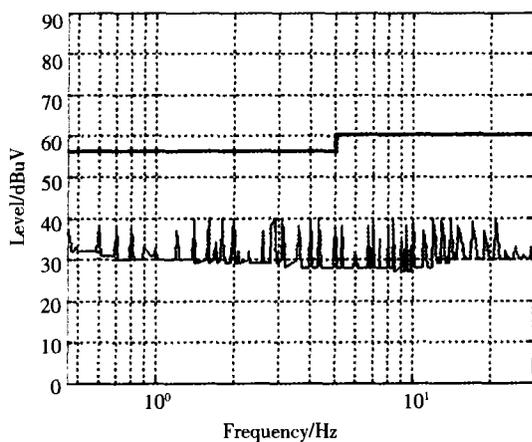
实验结果表明, 在不加噪声分离网络时, 被测设备的初始混合噪声在多个频率点上均出现高于 EMC 标准限制线上的噪声超调, 不符合电磁兼容标准. 且难于区分是以共模噪声还是差模噪声为

主, 同时也没有滤波器设计所需要的过量噪声分贝及滤波器截止频率等重要信息. 但是当加上噪声分离网络后, 对比图 6 (a) 和图 8 (a), 可以清楚地看到 CM 和 DM 噪声特征与总噪声的关系, 共模噪声因其频率较低且“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. 由此, 共模滤波器的滤波特性将直接决定对初始总噪声的抑制效果. 可见, 当采用噪声测量与抑制智能系统后, 可以直接根据测量得到的模态噪声特征加以诊断, 进行滤波器的合理设计, 即可以高效地实现噪声抑制, 使得被测设备的传导性电磁干扰噪声最终满足电磁兼容 (EMC) 标准.

由此可见, 无论是通过硬件还是软件, 在解决传导性电磁干扰 (EM I) 的问题时, 智能测试系统都发挥了重要而高效的作用.



(a) 初始共模噪声分量



(b) 滤波之后的共模噪声分量

图 8 加与不加滤波器时的共模噪声(有噪声分离网络)

[参考文献]

[1] Paul C R, Hardin K B. Diagnosis and reduction of conducted noise emission[J]. IEEE Trans on Electromagnetic Compatibility, 1988 33(4): 553- 560.
 [2] Guo T, Chen D Y. Separation of the common-mode and differential-mode conducted EM I noise[J]. IEEE Trans Power Electronics 1996 11(3): 480- 488.
 [3] Zhao Y, See K Y. Diagnosis Network Performance For Conducted EM I Measurement[R]. Ohio: IEEE AP-S Digest 2003.

[4] Zhao Y, See K Y, Li S J. Noise Diagnosis Techniques in Conducted Electromagnetic Interference (EM I) Measurement Methods Analysis and Design[R]. CA: IEEE AP-S Digest 2004.
 [5] Lo Y K, Chiu H J, Song T H. A software-based CM and DM measurement system for conducted EM I[J]. IEEE Trans on Industrial Electronics 2000 47(4): 977- 978.
 [6] Nave Mark J. Power Line Filter Design for Switched-Mode Power Supplies[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991 1446- 1447.

[责任编辑: 严海琳]