

# 智能电表 的电磁兼容测试

封志明, 陈道升, 赵 波, 邓凌翔, 赵品彰

(江苏省计量科学研究院, 江苏 南京 210007)

[摘要] 为了保证智能电表的稳定工作, 优化系统的电磁兼容设计是整个系统设计的关键. 介绍了多种关于智能电表的电磁兼容测试方法, 即利用电快速瞬变脉冲群抗扰度测试方法对智能电表进行电磁抗扰度测试, 利用线性阻抗稳定网络对智能电表进行传导电磁干扰测试和利用 GTEM 小室对智能电表进行辐射电磁干扰测试, 从而评价整个智能电表的电磁兼容性能.

[关键词] 智能电表, 电磁干扰, 电磁兼容, 测试方法

[中图分类号] TN06 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2010) 03-0011-05

## Electromagnetic Compatibility Tests of Smart Meters

Feng Zhiming Chen Daosheng Zhao Bo Deng Lingxiang Zhao Pinzhang

( Jiangsu Institute of Metrology, Nanjing 210007, China)

**Abstract** Smartmeters are the applications of smart grid which integrate microelectronics, computer chips, wireless communication network technology, and many other cutting-edge technology. Therefore, in order to ensure the stability of smartmeters, optimize system EMC design is the key to the whole system design. This article describes a variety of electromagnetic compatibility testing methods for smartmeters: using the electrical fast transient burst immunity test methods for electromagnetic immunity testing of smartmeters, the linear impedance stabilization network for Conducted EMI testing and the GTEM cell on the radiation of electromagnetic interference testing to evaluate the electromagnetic compatibility of smartmeters.

**Key words** smartmeters, electromagnetic interference, electromagnetic compatibility, test methods

### 1 问题的提出

随着各种电子设备的日益广泛应用, 电磁兼容控制技术的研究已经成为一门新兴研究课题. 移动通信<sup>[1]</sup>近十年的迅速发展, 各种无线新设备的不断采用, 使电磁干扰发生的频率与危害亦随之加大. 而由于集中式智能电表<sup>[2]</sup>工作于居民住宅区内, 很容易受到系统内、外部各种电磁干扰, 因此电磁兼容性设计是整个系统设计的重要环节. 本文提出了 3 种测试智能电表的电磁兼容性能的方法, 即电快速瞬变脉冲群 (EFT) 抗扰度测试、线性阻抗稳定网络的传导 EMI 测试和 GTEM 小室的辐射 EMI 测试<sup>[3]</sup>, 分别用来测试智能电表的抗扰度 (EMS)、传导电磁干扰 (Conducted EMI)、辐射电磁干扰 (Radiated EMI). 这 3 种测试方法的运用, 可以很好地用来衡量整个智能电表的电磁兼容性能, 从而保证智能电表质量的稳定性和可靠性.

### 2 智能电表的电快速瞬变脉冲群抗扰度测试方法

在同一供电回路中, 多种用电器 (或设备) 在工作过程中 (如开关、继电器等在使用时) 会产生瞬态脉冲, 对智能电表产生骚扰. 为了测试其抗干扰能力, 我们采用电快速瞬变脉冲群 (EFT) 发生器<sup>[2]</sup>来模拟这种干扰并进行抗扰度实验 (EMS).

电快速瞬变脉冲群 (EFT) 发生器原理如图 1 所示, 其中  $U$  为高压电源;  $R_c$  为充电电阻;  $C_c$  为储能电

收稿日期: 2010-06-10  
基金项目: 国家质监总局项目 (T2009-TSQTS-0061)、江苏省地方标准项目 (苏质监发 [2010] 137号-8).  
通讯联系人: 封志明, 高级工程师, 研究方向: 计量标准. E-mail: fengzm@188.com

容;  $R_s$  为脉冲持续时间形成电阻;  $R_m$  为阻抗匹配电阻;  $L_r$  为脉冲上升时间形成电感。

电快速瞬变脉冲电磁兼容试验和测量技术满足 GB/T 17626.4—1998 标准, 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验满足 IEC 61000-4-4 1995 标准。

对于智能电表的 EMS 测试, 我们采用非固定/台式设备的测试方法。首先, 按产品技术条件规定检查智能电表功能性能是否正常; 接着, 按图 2 布置和连接设备; 若群脉冲发生器不工作, 智能电表施加标称额定电压, 检查智能电表功能应正常; 其次, 按产品技术条件规定, 确定试验类别和试验等级, 设置试验脉冲参数包括发生器内阻、脉冲电压幅度、脉冲频率、脉冲极性、脉冲前沿(上升/下降)时间  $t_r$ 、脉冲宽度  $t_w$ 、脉冲串长度、脉冲串周期等。

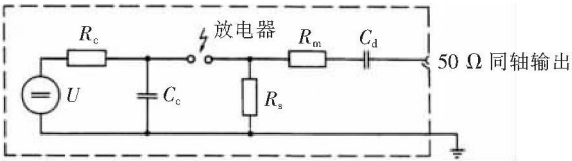


图 1 电快速瞬变脉冲发生器电路原理图  
Fig.1 The principle electrical fast transient generator

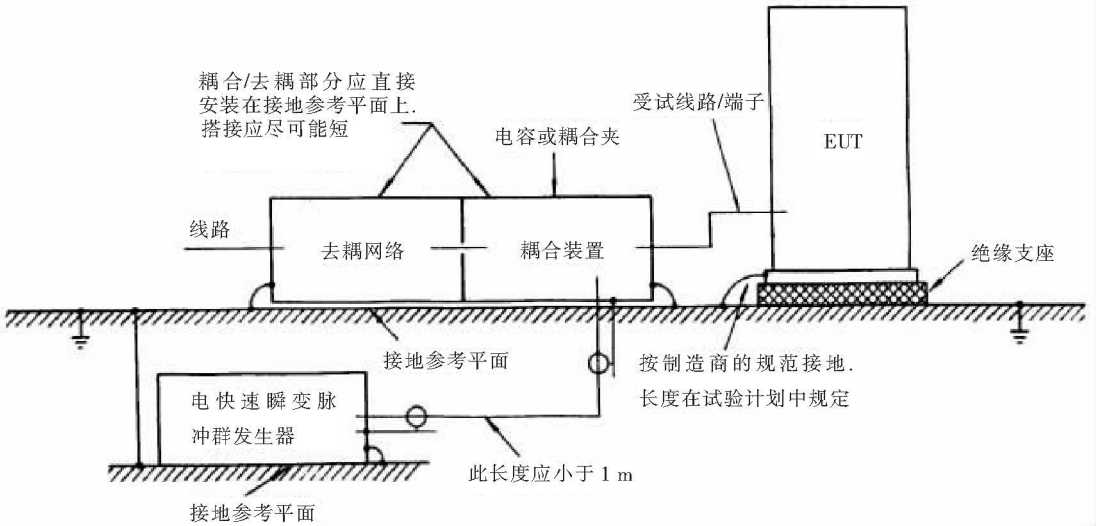
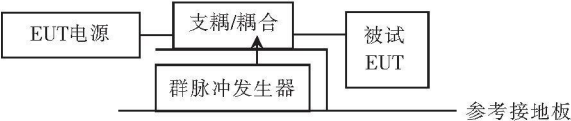
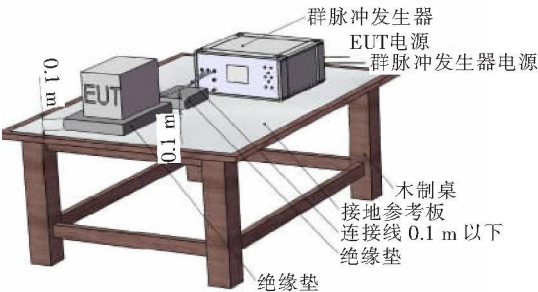


图 2 台式设备 EFT 试验设备布置和连接示意图  
Fig.2 Experimental setup of desktop equipment EFT test

接着, 让群脉冲发生器输出开路, 经同轴衰减器 40/60 dB 接示波器, “运行”群脉冲发生器, 并验证已设置的脉冲参数; 然后, 将群脉冲发生器输出接去耦/耦合网络, 对智能电表施加群脉冲, 持续 1 min<sup>[4]</sup>, 同时观察检查智能电表功能是否正常。试验次数应按技术条件规定。

断开所有连接, 重新检查智能电表功能是否正常; 按图 3 所示布置和连接设备, 并对智能电表各种 I/O 信号、数据、控制线等进行

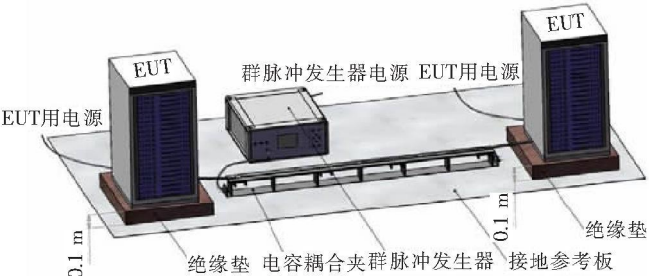


图 3 电容耦合夹试验设备布置和连接示意图  
Fig.3 Experimental setup of capacitive coupling clip

电容耦合夹耦合试验, 具体测试方法与上述方法相似, 待测试完成后断开所有连接, 重新检查智能电表功能性能是否正常, 并记录试验结果, 编制试验报告。

### 3 智能电表的传导电磁干扰测试方法

智能电表的传导电磁干扰主要表现为电压或电流的形式, 它们还可以进一步分为共模或差模传播方式。更为复杂的是, 连接线上有限的阻抗会将电压、电流转化为电流电压传播。由于智能电表连接于电网与家用负载之间, 所以良好的电磁兼容性能对于保证系统正常工作非常重要。

目前国际上规定的传导性电磁干扰测量设备是线性阻抗稳定网络 (LISN), 原理如图 4 所示。由  $50\ \mu\text{H}$  的电感、 $1\ \mu\text{F}$  的电容、 $0.1\ \mu\text{F}$  的电容和  $1\ \text{k}\Omega$  电阻组成。它是一个干净的交流电源, 将电能供应给电源供应器。对于低频信号, LISN 的电感表现为低阻抗, 电容表现为高阻抗, 所以信号经过 LISN 基本不衰减, 电源可以经 LISN 输送到开关型变换器。而对于高频信号, LISN 的电感表现为高阻抗, 电容可以视为短路, 所以 LISN 阻止了高频噪声在待测设备和电网之间的传送。当端接骚扰测量仪时, 仪器内部标准阻抗为  $50\ \Omega$ , 共模和差模干扰电流将从该  $50\ \Omega$  阻抗上流过, 此时, LISN 起到了为共模和差模干扰电流在所需测量的频段提供一个固定阻抗 ( $50\ \Omega$ ) 的作用, 而  $50\ \Omega$  电阻上的电压就是传导干扰电压。

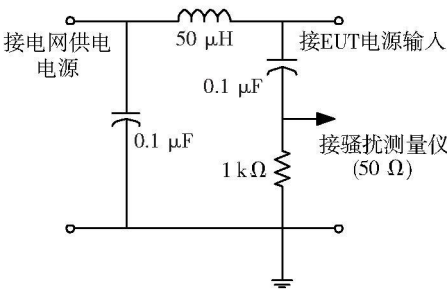


图 4 LISN 示意图

Fig.4 The circuit structure of LISN

如图 5 所示是一个单相三线的线阻抗稳定网络, 核心器件由电感和电容组成, 测试时, 左侧接商用电源, 右侧接被测设备智能电表, LISN 中的  $50\ \Omega$  表示测试仪器频谱分析仪的标准阻抗<sup>[6]</sup>, 所有噪声分量由  $50\ \Omega$  电阻上得到。在线阻抗稳定网络 LISN 的火线端和中线端, 由 EM I 测量接收机得到的噪声电压应分别为: 由公式 (a) (b) 可以得到噪声电压的值, 但是 LISN 所测量到的实际上是共模 (CM) 和差模 (DM) 信号的混合信号, 而无法直接检测 CM 和 DM 信号的具体分量, 而 CM、DM 信号的值是设计功率线滤波器 (power line filter) 抑制电磁干扰的必要参数, 所以需要通过分离网络将不同模态的值分离出来, 一般的噪声分离方法有以射频变压器 (RF transformer) 或功率分配器 (power splitter) 功率合成器 (power combiner) 为核心器件的硬件方法和以数值计算方法来提取独立分量的软件分离方法<sup>[7]</sup>, 在此不再具体介绍。

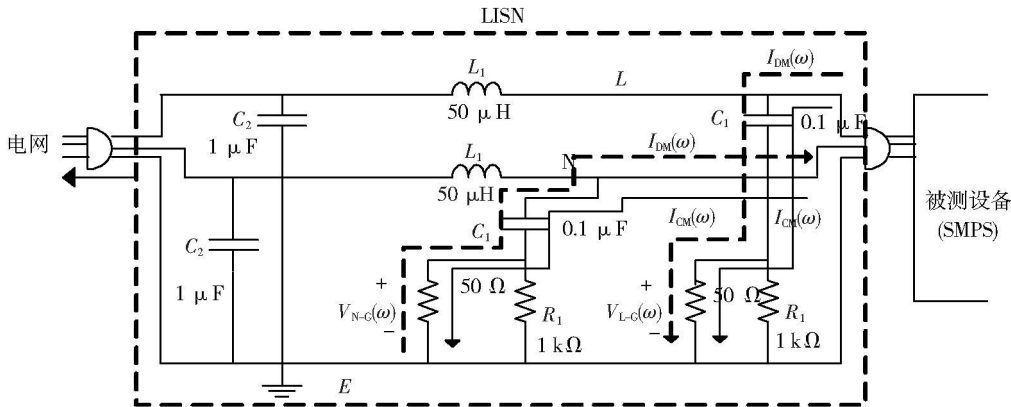


图 5 单相三线的线阻抗稳定网络

Fig.5 Single phase three-wire LISN

### 4 智能电表辐射 EM I 测试方法

为了测量智能电表的辐射干扰, 我们可以运用 GTEM 小室、电波暗室、电场/磁场探头等方法对智能电表的辐射 EM I 进行测试, 考虑到测量方法的简便性和精确性, 我们采用 GTEM 小室<sup>[8]</sup>进行辐射 EM I 测

量. 如图 6 为 GTEM 小室自动测试系统框图.

测试时, 将智能电表在 GTEM 小室里分别按图 7 所示的 3 个位置放置, 用接收机测出智能电表辐射发射耦合到小室端口的电压值  $V_{p1}$ 、 $V_{p2}$ 、 $V_{p3}$ . 图 7 中  $(x, y, z)$  为 GTEM 小室的坐标系,  $z$  轴方向为 GTEM 小室中电磁波的传播方向,  $y$  轴方向平行于电场方向,  $x$  轴方向平行于磁场方向, 而  $(x', y', z')$  为被测物 (EUT) 的坐标系. 则 EUT 的总辐射功率为:

$$p_0 = \frac{\eta_0}{3\pi} \cdot \frac{k_0^2}{e_0^2} \cdot \sqrt{V_{p1}^2 + V_{p2}^2 + V_{p3}^2},$$

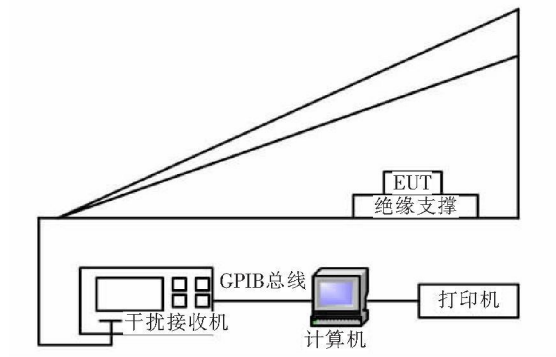


图 6 GTEM 小室自动测试系统  
Fig.6 GTEM cell automation test system

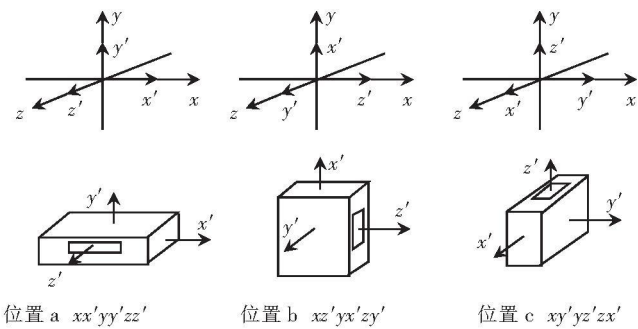


图 7 智能电表在 GTEM 小室中的位置示意图  
Fig.7 The position of samart neter in GTEM cell

式中:  $V_{p1}$ 、 $V_{p2}$ 、 $V_{p3}$  为接收机在 3 个正交位置上测得的电压;  $k$  为波数, 即电磁波传播单位长度所引起的相位变化;  $\eta_0$  为自由空间波阻抗;  $Z_c$  为 TEM 波导特征阻抗;  $e_0$  为场强因子, 即 EUT 位置上 TEM 模的归一化电场分量. 由此可以推算出智能电表在开阔场的等效最大辐射场强:

$$E_{max} = g_{max} \sqrt{\frac{3\eta}{4\pi} P_0},$$

式中,  $g_{max}$  为几何因子;  $\eta_0$  为自由空间波阻抗. 其中, 对于垂直极化:

$$g_{max} = \left| \frac{e^{-jk_0r_1}}{r_1} - \frac{e^{-jk_0r_2}}{r_2} \right|,$$

对于水平极化:

$$g_{max} = \left| \frac{\frac{s}{r_1^2} \frac{e^{-jk_0r_1}}{r_1} - \frac{s}{r_2^2} \frac{e^{-jk_0r_2}}{r_2} \right|_{max},$$

上两式中:  $r_1$  为 EUT 到接收天线的直线距离;  $r_2$  为 EUT 的镜像到接收天线的直线距离;  $s$  为 EUT 到接收天线的水平距离, 如图 8 所示.

则根据以上测试方法, 可以利用“总功率法”<sup>[9]</sup> 计算出辐射发射功率, 进而得到智能电表的辐射 EM I 参数.

5 结论

通过本文所述的 3 种测试智能电表的电磁兼容性能的方法: 电快速瞬变脉冲群 (EFT) 抗扰度测试、通过线性阻抗稳定网络的传导 EM I 测试和利用 GTEM 小室的辐射 EM I 测试, 可以有效地衡量智能电表的 EMS 和 EM I

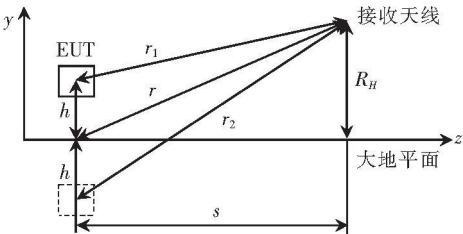


图 8 镜像法示意图  
Fig.8 The principle of image method

## [参考文献] (References)

- [1] 陈昊, 厉虹. 基于粒子群算法的无刷直流电机调速系统应用研究 [J]. 北京机械工业学院学报, 2008, 23(4): 53-57.  
Chen Hao, Li Hong. Research of particle swarm optimization controller in brushless DC motor system [J]. Journal of Beijing Institute of Machinery, 2008, 23(4): 53-57 (in Chinese)
- [2] 卢胜利, 陈昊, 咎小舒. 开关磁阻电机功率变换器的故障诊断与容错策略 [J]. 电工技术学报, 2009, 2(11): 199-206  
Lu Shengli, Chen Hao, Zan Xiaoshu. Fault diagnosis and fault-tolerant control strategy for power converter of switched reluctance motor [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 2(11): 199-206 (in Chinese)
- [3] 赵波, 封志明, 赵敏. 基于虚拟仪器的电能表射频电磁场抗扰度测试系统设计 [J]. 电工电气, 2008, 23(4): 53-57  
Zhao Bo, Feng Zhiming, Zhao Min. LabVIEW based test system design of watt-hour meter radio-frequency electromagnetic field immunity [J]. Electrotechnics Electric, 2008, 23(4): 53-57. (in Chinese)
- [4] 赵波, 封志明. 电磁兼容自动测试系统中的仪器程控方法初探 [J]. 计量与测试技术, 2009, 3(10): 12-13  
Zhao Bo, Feng Zhiming. Research on instrument remote control method in EMC auto test [J]. Metrology and Measurement Technique, 2009, 3(10): 12-13 (in Chinese)
- [5] 丁启胜, 马洪宇, 王晓燕, 等. 集中式智能电表的抗干扰设计 [J]. 中国仪器仪表, 2003(11): 11-13  
Ding Qisheng, Ma Hongyu, Wang Xiaoyan, et al. The anti-jamming design of the centralized intelligent electric meter [J]. China Instrumentation, 2003(11): 11-13 (in Chinese)
- [6] 孙君曼, 孙慧君, 张怀德, 等. 智能预付费电能表设计 [J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2009, 24(1): 91-96  
Sun Junman, Sun Huijun, Zhang Huaide, et al. Design of intelligent pre-payment electronic energy meter [J]. Journal of Zhengzhou University of Light Industry: Natural Science Edition, 2009, 24(1): 91-96 (in Chinese)
- [7] 韩光辉. 住宅电能表的发展浅析 [J]. 洛阳工业高等专科学校学报, 2005, 15(1): 18-20  
Han Guanghui. Brief analysis of housing watt-hour meter [J]. Journal of Luoyang Technology College, 2005, 15(1): 18-20 (in Chinese)
- [8] 范龙章. 电能表的技术发展及其趋势 [J]. 上海计量测试, 2009, 2(1): 45-47.  
Fan Longzhang. The development and the trend of the watt meters technology [J]. Shanghai Measurement and Testing, 2009, 2(1): 45-47. (in Chinese)

[责任编辑: 刘健]