

基于极端脉冲群骚扰的电能表研究与应用*

吴思聪¹, 彭 可², 罗湘运¹

(1. 湖南大众传媒学院, 湖南 长沙 410100; 2. 湖南师范大学 工学院, 湖南 长沙 410081)

摘要:为排除电快速瞬变脉冲群抗扰试验中的主要故障,如表计复位、计量精度起伏大、个别元件受损等,在样机的改版改进工作中,分别在电压信号回路、电源供电回路、电流信号回路中针对脉冲的干扰方式和路径,增加了一些必要的抗扰措施,修改了一些关键的电路参数,同时也在表计软件设计方面进行了相应改进,实验结果表明,这些改进措施可有效抑制脉冲群对电能表的影响。

关键词:电能表;电快速瞬变脉冲群;干扰

中图分类号:TM933.4

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)05-0635-04

Research and application of energy meter based on electrical fast transient/burst tests

WU Si-cong¹, PENG Ke², LUO Xiang-yun¹

(1. Hunan mass Media College, Changsha 410100, China;

2. College of Engineering, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: In order to exclude main fault of electrical fast transient/burst(EFT/B) tests, including the meter resetting, drastic measuring accuracy, individual components damaged and so on, based on several prototypes experiment in the meter research and development. Aiming at the disturbed mode and path of the pulse in voltage loop, power loop, current loop, the necessary immunity measure was increased, the key circuit parameters was modified, and software design were improved respectively. The test results show that these measures can inhibit the effect of EFT/B on meter effectively.

Key words: energy meter; electrical fast transient/burst(EFT/B); disturbing

0 引 言

由于电子式电能表一般都采用数字电子技术进行计量,随着科学技术的发展,数字电路速度越来越快,功能越来越强,因此电能表对抗干扰的要求越来越高,也使电能表的电磁兼容性实验显得尤为重要。电快速瞬变脉冲群抗扰实验^[1-2]是电能表电磁兼容实验中非常基础而重要的一项。此实验要求在电能表的额定工况下,将 4 kV 的脉冲群干扰电压施加到电压供电回路中,同时考察电能表的计量精度,这对电能表的抗脉冲群要求非常高,不但不能出现明显的性能降低或丧失,而且还要保证电能计量的精准度。

本研究以电能表研发工作中的脉冲群实验为基础,通过观察实验现象,分析电能表在脉冲群干扰实验中的失效机理,总结与提炼了电能表脉冲群实验现象与应对举措。这些措施已经在多个电能表产品中得到了验证和应用。

1 电快速瞬变脉冲群的干扰信号特点

电快速瞬变脉冲群实验中定义的单个脉冲如图 1 所示。

波形的上升时间 t_r 值为 $5(1 \pm 30\%)$ ns,持续时间 $t_d(50\%)$ 值为 $50(1 \pm 30\%)$ ns。该实验中,传统标准实验是采用 5 kHz 的重复频率,即一组 15 ms 的脉

收稿日期:2010-11-30

基金项目:湖南省教育厅科研资助项目(08B050);湖南省科技计划资助项目(2010CK3019);长沙市科技计划资助项目(K0902187-11);湖南师范大学青年优秀人才计划资助项目(ET51007)

作者简介:吴思聪(1980-),男,湖南益阳人,讲师,主要从事 DSP 与嵌入式技术开发方面的研究. E-mail: sc88sc88sc88@163.com

冲群,其中的脉冲重复频率为 5 kHz,每相隔 200 μs 即有一个干扰脉冲。每 15 ms 一组的脉冲群又以 300 ms 的周期重复。电快速瞬变脉冲群实验的干扰波形概略图如图 2 所示。

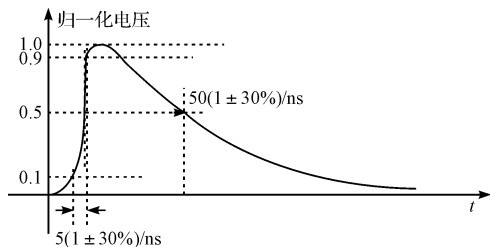


图 1 单个脉冲波形

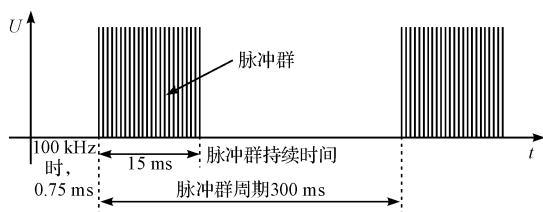


图 2 快速瞬变脉冲群概略图

电快速瞬变脉冲群实验的实验电压按实验对象要求不同,可分为多个等级,其输出电压等级与对应的实验阻抗关系如表 1 所示。

表 1 输出电压峰值和重复频率

设定电压 /kV	V_p (开路 电压)/kV	V_p (1 000 Ω) /kV	V_p (50 Ω) /kV	重复频率 /kHz
0.25	0.25	0.24	0.125	5 或 100
0.5	0.5	0.48	0.25	5 或 100
1	1	0.95	0.5	5 或 100
2	2	1.9	1	5 或 100
4	4	3.8	2	5 或 100

2 电能表在脉冲群实验中的典型故障及应对举措

关于电子式电能表的电快速瞬变脉冲群抗扰实验的实验要求、配置及实验方法,详见参考文献[3-5]。

2.1 电能表在脉冲群实验中的典型故障分析

笔者在多年的电能表研发工作中,从设计的 10 款以上三相电子式多功能电能表,20 款以上的电能表样机中,对其中进行的电快速瞬变脉冲群抗扰实验^[6-9]遇到的各种故障现象可归纳如下:

(1) 对电能表不加电流进行脉冲群实验时,电能表上显示有电流值,故障可重现;此现象说明脉冲群干扰信号串扰到了电流采样回路,引起了电流计量,从而可能产生电能值,如果严重将会产生超过标准要求的电能值改变量,造成实验检验不合格,属于严重的否决

项性能问题。

(2) 对电能表加电流进行脉冲群实验时,电能表精度超差,误差具有累积性和重复性,功率示值跳变起伏较大,并且在校准值附近跳变,故障可重现;此现象原因基本上与上述相似,也属于严重的否决项性能问题。

(3) 对电能表加电流进行脉冲群实验时,电能表的检验精度超差很大,电能表精度具有突发性、偶然性,但是功率示值跳变起伏不大,这种现象常见于用脉冲法检测电能表计量精度的脉冲群实验中,故障可重现;这种现象的产生原因极可能是干扰信号串进了电能脉冲信号中,特别是对于采用计量芯片加管理 CPU 的电能表设计方案中,因为此方案多数采用主从方式进行电能累加,即利用了计量芯片的功率脉冲作为管理 CPU 的中断输入来触发电能累加,中断信号很容易受脉冲群干扰。

(4) 元器件损伤,如电压采样电阻开路、爆裂等,故障可重现;这种现象大多由于器件选型有待商榷或 PCB 布局、布线欠妥。

另外,还有在试验中使电能表复位甚至死机的现象,发生这种现象时,如果将干扰撤除,表计能马上恢复,那么极可能就是表计的复位电路或者时钟电路受到了脉冲群的干扰;如果将干扰撤除,电能表还不能自动恢复,不但说明电能表硬件电路可能受到了干扰甚至损坏,也说明电能表的软件设计可能存在缺陷。

2.2 电能表中增强脉冲群抗扰能力的应对举措

2.2.1 电压回路的抗扰设计

三相电子式电能表的电压回路不但是电压采样的输入通道,同时也是电能表的供电电源输入路径。其电压采样通道原理框图可设计如图 3 所示。图中如 A 相电压信号经过压敏电阻 VAR1 保护后,再通过一个串接的小磁珠 L_{11} 将部分高频干扰抑制掉。对于电阻分压形式的电压采样,在模拟电压采样信号输入之前,再串接一贴片的小磁珠,参数选直流阻抗较低的、高频阻抗高的,1 MHz 以上高频阻抗越高越好。采样输入在 ADC 的抗混叠电容之前还可以增加一只高频小电容到地,这对抑制高频信号对电压采样信号的干扰十分有利,但这电容容值不宜超过抗混叠电容容值的 1/2,容值太大将影响电压信号的相位,特别是小信号时的相位。

2.2.2 电源电路的抗扰设计

电能表的电源类型大体可分为两种:一种是采用传统变压器降压,然后通过整流滤波,经过稳压后,供电能表使用,结构图如图 4 所示;另一种是输入后直接

整流滤波,再采用开关电源稳压输出,结构图如图5所示。

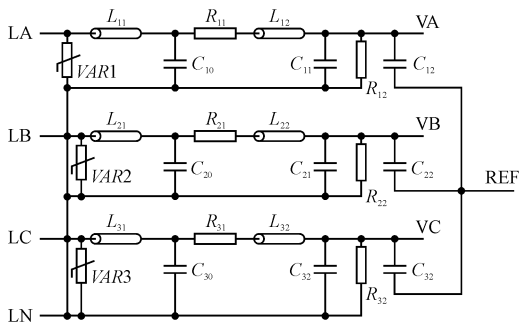


图3 电压回路信号处理电路结构图

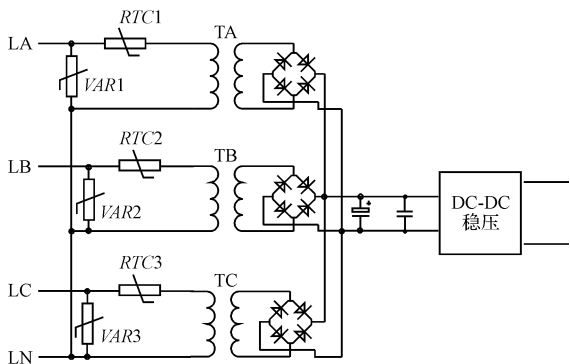


图4 采用变压器降压的电源电路结构图

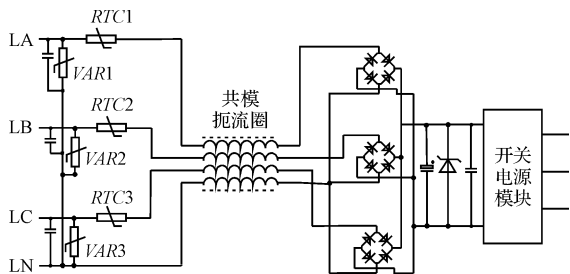


图5 采用开关电源的电源电路结构图

如图4所示电路结构中,脉冲群形成的电快速瞬变干扰对电源的影响主要通过LA、LB、LC和LN这4条电压回路引线,以传导形式进入,干扰被电压回路中的压敏、热敏等部分吸收后,还有一部分仍然会通过变压器的分布参数耦合到次级,次级中的滤波电容再将干扰抑制一部分。这样经过几次吸收与抑制,到稳压电路输出级的电压可以基本满足数字电路的电源要求,但是数字电源各个供电入口仍然需要精心设计,滤波去耦措施是必需的^[10]。

开关电源电路结构如图5所示,电源经安规电容、压敏热敏后,经过共模扼流圈进行整流滤波,再在进入开关电源模前加入一只过压保护管,电压再经开关电源模块稳压后输出。

2.2.3 电流信号回路的抗扰设计

电子式电能表的电流信号回路一般要求量程范围

宽,从防潜阈值的0.06%左右,一直到6倍甚至10倍以上基本电流的测量能力,这就导致电流信号变化区间很大,最小电流信号与最大值可能达到10 000倍以上,如此大的动态区间必然导致小电流信号容易受干扰。

对于采用电流互感器(CT)的电流信号回路,CT的次级信号输出可认为是一组差分信号^[11-13],差分信号线要求双绞,双绞的差分信号线可有效抑制共模干扰,PCB上差分信号线尽量短,两根信号线尽量贴近,差分信号线对地的滤波措施要求对称^[14]。对于利用锰铜采样电流信号的场合,由于锰铜的电阻小,采样信号很弱,这就要求首先选用低噪声的器件,选用高精度的ADC参考电压源;如果选用了运放进行信号放大,运放的温漂与失调等都会影响计量精度。

另外,为了有效抑制在电流信号线上传输的高频干扰,可在电流的两信号线上各串接一只低频阻抗很小而高频阻抗较高的磁珠。ADC之前的抗混叠电容可以采用两只以上的不同特性高频电容并联组成,因为单只电容的高频特性可能并不理想,可以利用并联电容的方法来进行补偿。

2.2.4 软件抗扰设计

软件抗扰设计主要体现在三方面:

(1) 喂狗与复位之间的程序设计,当程序因干扰或其他意外跑飞时,喂狗信号将发生异常,这种情况下看门狗将溢出产生复位信号让电能表自动完成复位。不管是任务式还是主循环式的主程序,都应该避免除了主循环之外的其他循环里面喂狗。

(2) 可靠的数据交换程序设计,所谓数据交换都应该采用校验,特别对于使用地址指针的数据结构体,应该具备完整的数据校验协议。

(3) 中断程序入口及入口条件设计,电能表要记录各种事件,其中多种事件都是利用中断触发的,如上电、掉电、失压等。为了提高电能表可靠性,在使用中断时,本研究尽量少采用中断嵌套及单一的边沿触发的中断,如果资源允许,最好采用边沿触发与电平判断相结合的中断输入方式,这样既可以满足中断的实时性,又能提高中断的准确性。

2.3 改进设计前后的实验数据对比

3款电能表在脉冲群实验中不同的故障现象及原因分析如表2所示,其中第1款表在实验中表现为计量复位,原因是计量的32.768 kHz小信号晶振与电源共地,干扰脉冲导致晶振波形畸变,从而导致计量复位;2号表与3号表都是因为采样信号受到了干扰脉冲的影响,从而影响了计量精度。

表 2 实验对比

	脉冲加入方式	改进前现象	原因分析与查证	改进措施	结论
第 1 款表 3 台	LA	计量复位	晶振受干扰	孤立晶振,加粗电源线回路	复位消失
	LA、LN	计量复位	晶振受干扰	孤立晶振,加粗电源线回路	复位消失
	LA、LB、LC、LN	频繁复位	晶振受干扰	孤立晶振,加粗电源线回路	复位消失
第 2 款表 3 台	LB	精度超差	B 相电压起伏	电压回路并联 100 pF 抗混叠电容	精度合格
	LB、LN	精度超差	B 相电压起伏	电压回路并联 100 pF 抗混叠电容	精度合格
	LA、LB、LC、LN	精度超差	电压起伏	电压回路并联 100 pF 抗混叠电容	精度合格
第 3 款表 3 台	LC	精度超差	电流不稳	电流回路并联 100 pF 抗混叠电容	精度合格
	LC、LN	精度超差	电流不稳	电流回路并联 100 pF 抗混叠电容	精度合格
	LA、LB、LC、LN	精度超差	电流不稳	电流回路并联 100 pF 抗混叠电容	精度合格

3 结束语

通过大量电磁兼容实验证明,上述应对电快速瞬变脉冲群干扰的改进措施具有可操作性,对克服极端脉冲对电能表所造成的复位、精度变化大等故障现象,具有明显的效果。这些措施是对电能表研发工作中从样机到产品定型所进行的电快速瞬变脉冲群实验的经验总结,对电子式电能表的设计与实验具有一定的实践指导意义。

参考文献 (References) :

[1] 王 英,杨 彦,陈 楠,等. GB/T 17626. 4 - 2008 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验 [S]. 北京:中国标准出版社,2008.

[2] European Committee for Electrotechnical Standardization. EN61000-4-4/A1 Electro Magnetic Compatibility (EMC)-Part 4-4 Testing and Measurement Techniques-Electrical fast Transient/Burst Immunity Test[S]. European Committee for Electrotechnical Standardization,2010.

[3] 王兆宏,徐人恒,徐 民,等. GB/T 17215. 211-2006 交流电测量设备通用要求、试验和试验条件第 11 部分测量设备[S]. 北京:中国标准出版社,2006.

[4] 毕婕婷. 电子式电能表电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

[J]. 广东科技,2008(18):122-123.

[5] 曹 恒,王 琪,张金锁,等. 电快速瞬变脉冲群试验方法研究[J]. 振动、测试与诊断,2006,26(4):278-281.

[6] 祝贵军. 电快速瞬变脉冲群发生器的校准[J]. 自动化与仪器仪表,2007(3):77.

[7] 蓝润泽,李 伟. 快速瞬变脉冲群干扰的原理及硬件防护[J]. 电测与仪表,2002,39(2):11-14.

[8] 张三庆. 电快速瞬变脉冲群和浪涌干扰机理与抑制技术研究[D]. 保定:华北电力大学电气与电子工程学院,2004.

[9] 杨新培,殷玉鹏. 多功能电能表电快速瞬变脉冲群抗干扰性试验[J]. 山东电力技术,2000(1):15-18.

[10] 龚成龙,韩晓春,陈佳建. 电子仪器 PCB 设计中 EMC 技术的应用[J]. 电测与仪表,2005,42(5):32-36.

[11] WESTON D A. Electromagnetic Compatibility Principles and Applications[M]. CRC Press,1994.

[12] 钱振宇. 3C 认证中的电磁兼容测试与对策[M]. 北京:电子工业出版社,2004.

[13] International Electrotechnical Commission. IEC61000-4-3. Testing and Measurement Techniques Radio-frequency, Electromagnetic Field Immunity Test[S]. International Electrotechnical Commission,2002.

[14] SCHUSTER C, FICHTNER W. Parasitic modes on printed circuit boards and their effects on EMC and signal integrity [J]. **IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility**,43(4):416-425. [编辑:柴福莉]

(上接第 634 页)

[3] 许大中,贺益康. 电机控制[M]. 杭州:浙江大学出版社,2002.

[4] 俞佳琦,叶云岳,范承志. 基于 EKF 的低速永磁电机控制系统建模与分析[J]. 机电工程,2009,26(2):31-33.

[5] BOLOGNANI S, TUBIANA L, ZIGLIOTTO M. Extended Kalman filter tuning in sensorless PMSM drives[J]. **IEEE Transactions on Industry Applications**, 2003, 39(6):1741-1747.

[6] QIU A, WU B. Sensorless Control of Permanent Magnet Synchronous Motor Using Extended Kalman Filter [C]//CCECE 2004-CCGEI 2004. Niagara;2004:1557-1562.

[7] STAINES C S, CILIA J, MICALLED B, et al. Sensorless Vector Control of A Surface Mount PMSM Using High Frequency Injection [C]//Power Electronics, Machines and Drives, Conference Publication No. 487,2002:44-48.

[8] 贾洪平,贺益康. 基于高频注入法的永磁同步电动机转子初始位置检测研究[J]. 中国电机工程学报,2007,27(15):15-20.

[9] LIANG Yan, LI Yong-dong. Sensorless control of PM synchronous motors based on MRAS method and initial position estimation[J]. **IEEE Transactions on Industry Applications**,2004,23(5):96-99.

[10] 齐 放,邓智泉,仇志坚,等. 基于 MRAS 的永磁同步电机无速度传感器[J]. 电工技术学报,2007,22(2):53-58.

[11] 沈凯明,王玉芬,常 兴. 电机测试系统的 PLC 控制[J]. 轻工机械,2010,28(4):70-79.

[12] 颜晓河. 全电动式注塑机计量位置控制电机的选择[J]. 轻工机械,2010,28(4):103-104.

[编辑:柴福莉]