

文章编号: 1671-251X(2010)02-0059-03

# 带载下的电度表电快速瞬变脉冲群的实验研究

张 伟, 韩素敏, 谢东垒, 康润生

(河南理工大学电气工程与自动化学院, 河南 焦作 454000)

**摘要:** 分析了电快速瞬变脉冲群的干扰机理; 以带载下的电度表为对象, 通过不同电压等级、不同极性、不同干扰频率的电快速瞬变脉冲群干扰对电源端口影响的实验研究, 得出了干扰下带载电度表的敏感频率范围; 总结了实验操作的注意事项。所得结论对电度表的设计及其抗干扰设计具有一定的参考价值。

**关键词:** 电度表; 电快速瞬变脉冲群; 干扰; 敏感频率

**中图分类号:** TD611

**文献标识码:** A

Experimental Research of Electrical Fast Transient/Burst of Electric Meter with Load

ZHANG Wei, HAN Su min, XIE Dong-lei, KANG Run sheng

(School of Electrical Engineering and Automation of Henan Polytechnic University,  
Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** The interference mechanism of electrical fast transient/burst (EFT/B) was analyzed. Taking an electric meter with load as research object, sensitive frequency rang of the electric meter with load under conditions of interference was obtained through experimental research of influence of electrical fast transient/burst on input of power supply in different voltage levels, different polarities and different interference frequencies. Finally notices of experimental operation were summarized. The conclusions have a certain reference value to design of electric meter and its anti interference measures.

**Key words:** electric meter, EFT/B, interference, sensitive frequency

## 0 引言

电快速瞬变脉冲群(EFT/B—electrical fast transient/burst)主要是模拟电网中开关、继电器、接触器等切合时对电感性负载进行切换所引起的干扰, 这种干扰具有脉冲成群出现、波形上升时间短、幅值和重复频率高等特点<sup>[1]</sup>; 同时其频谱分布较宽, 数字电路对它较敏感。为此, IEC 专门制订了标准“IEC61000-4-4(GB/T 17626)电快速瞬变脉冲群抗扰度实验”<sup>[2]</sup>模拟电快速脉冲群对电气和电子设备的影响, 以检验产品的抗干扰能力。大量试验表明, EFT 一般不会损坏元器件, 但可能使受试设备工作出现“软”故障, 如程序混乱、数据丢失等。

目前的相关研究多数集中在对电快速瞬变脉冲群干扰如何进行抑制的工程实践上<sup>[3~6]</sup>, 而对其理论研究相对还较少<sup>[7~9]</sup>。在实验方面, 则大多从对产品的抗干扰能力的测定角度开展实验工作, 定量的实验研究开展得较少, 而定量的研究可为产品的设计提供理论基础, 指导、改进产品的设计方案, 避免资源的浪费。电度表是我国电能计量的主要设备, 易受该类电磁干扰, 影响其正常工作和准确计量。本文以电度表为研究对象, 对带载下的电度表在不同幅值电压、不同频率、不同极性下的电快速瞬变脉冲群干扰下电源端口进行实验研究, 其结论对电表的设计及其抗干扰设计有着积极的意义。

## 1 电快速瞬变脉冲群的干扰机理

开关分断操作引起的 EFT/B 骚扰的等效电路模型<sup>[1]</sup>如图 1 所示,  $C_0$  为感性负载两端的寄生电容。在开关断开电感性负载电路的过程中, 由于电

收稿日期: 2009-10-21

作者简介: 张 伟(1978-), 女, 辽宁鞍山人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为电工理论与新技术、智能控制。E-mail: zwei1563@hpu.edu.cn

感中的电流不能突变,该电流流向电容  $C_0$ , 对其反向充电,电感负载两端出现暂态过电压,该过电压与电源电压叠加后加在开关触头两端,当触头两端电压高于介质击穿电压时,触头间形成电弧,开关重燃。开关导通后,  $C_0$  放电,形成高频电流,触头间的重燃电弧熄灭,两端又出现过电压。上述过程重复发生,直至电容上电压不能使开关的动、静触头击穿为止。根据开关切断电感性负载所引起的特快速暂态过电压信号的特征, IEC 61000-4-4 对电快速瞬变脉冲群电压的上升时间、持续时间和脉冲重复频率作了统一描述,给出了该类信号的标准波形<sup>[2]</sup>。

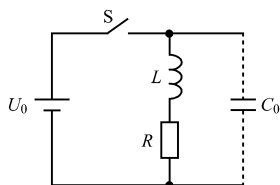


图 1 开关分断操作引起的 EFT/B 骚扰的等效电路模型

## 2 实验装置及试验方法

依据测试标准进行实验仪器布置,对电度表正常工作时的供电电源端口做实验研究。由上海三基公司的 SKS-0404T 型电快速瞬变脉冲群发生器产生干扰信号,但由于电快速脉冲产生的是高电压,不能直接连于示波器,故选用美国 Tektronix 公司的 P6015A 无源高压探头进行电压衰减(衰减比可达 1 000 倍),再通过示波器观察电源端口的电压变化情况。由于 EFT 频谱很宽,用普通示波器不能满足要求,实验中选用日本横河 DL7480 型数字储存示波器,其最高采样速率为 2 GSa/s,模拟带宽为 500 M。电度表选用的是 DDS331 型单相电子式电度表,采用 1 000 W 的白炽灯泡为负载。

## 3 瞬变干扰对电表的影响分析

### 3.1 瞬变干扰分析

快速瞬变脉冲群的单个脉冲波形是双指数衰减脉冲,可以用式(1)表示:

$$u(t) = A_D (e^{-t/\tau_d} - e^{-t/\tau_r}) \quad (1)$$

式中:  $A_D$  为比例常数;  $\tau_r$ 、 $\tau_d$  为与脉冲上升时间和持续时间相关的时间常数。

快速瞬变脉冲群试验装置设计就是模拟式(1)数学表达式。由于脉冲群的单个脉冲波形前沿达到 5 ns,脉宽达到 50 ns,使得脉冲群骚扰具有极其丰富的谐波成分,属于宽频带的骚扰信号<sup>[8]</sup>。

EFT 信号的频谱宽度可由式(2)表示:

$$f = \frac{1}{\pi t_r} \quad (2)$$

将  $t_r = 5 \text{ ns}$  代入式(1),可得出频谱宽度约为 70 MHz。GB/T 17626.1-1998<sup>[2]</sup> 给出了单个脉冲的幅频特性,其中:在 3~13 MHz 频率段内,信号的幅值最大;在 13~400 MHz 频率段内,信号的幅值降低了 1/10;高频部分在达到 400 MHz 以后,幅值衰减比较大;在 1 GHz 以后的干扰基本衰减到零。干扰的主导频率在 40 MHz 以下的频段内,在 40~400 MHz 频段内衰减的幅值不是很大,因此干扰也不能忽视。

### 3.2 采集到的干扰波形

在电度表正常工作的电源端施加 2 kV、2.5 kHz 的正脉冲群干扰,得到电度表两端的电压波形如图 2 所示。从图 2 可看出,波形的上升时间短,为纳秒级,整个作用时间大约为 8 ns,且重复频率较高,波形变化与机理描述基本吻合。

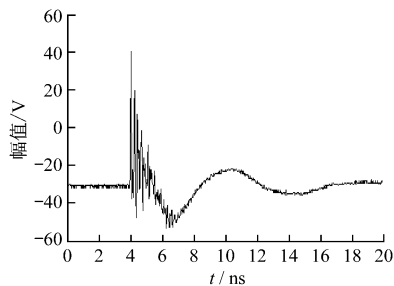


图 2 在电度表正常工作的电源端施加 2 kV、2.5 kHz 正脉冲群干扰得到的电度表两端电压波形

图 3 为电度表在干扰下的频谱特性图。从图 3 可看出,波形包含的频谱范围比较宽;在 100 MHz 以内,干扰的能量比较大,且在 40~50 MHz 处达到最大,可见对于该类电度表主要敏感频率范围在 0~100 MHz;在射频范围内,能量较小,因此瞬变电压主要引起传导骚扰。对 110 V 或 220 V 电源线,电快速脉冲干扰的幅值在 100 V 到数千伏之间(具体大小由开关触点的机电特性决定),量值相差悬殊,所以这里纵坐标选用以分贝为单位,以便于分析。

### 3.3 不同幅值、频率和极性下的干扰影响分析

在 5 kHz 频率下,比较 2 kV、4 kV 不同电压幅值下电度表受到干扰的情况,图 4 为频谱特性图。从图 4 可清楚地看出,电压幅值越大,干扰传导耦合到电度表电源端的能量也越大。其它的分析同上。

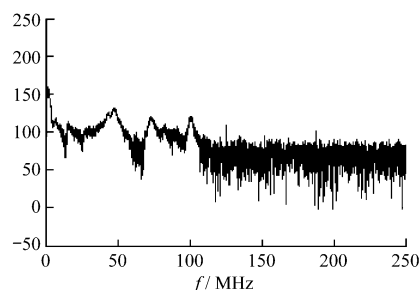


图 3 在电度表电源端施加 2 kV、2.5 kHz 正脉冲群干扰得到的频谱特性图

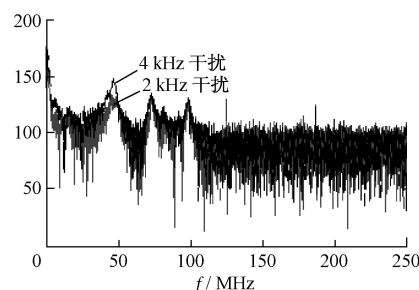


图 4 不同电压幅值下电度表受到干扰的频谱特性图

在 2 kV 电压幅值下, 比较 2.5 kHz 和 5 kHz 两种不同频率干扰下的电度表频谱特性, 如图 5 所示。从图 5 可看出, 频率越高, 其幅值相对来说越大, 即干扰的能量也越大。

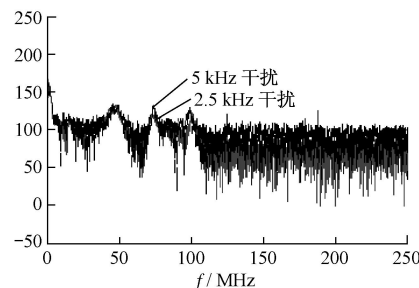


图 5 不同频率干扰下电度表的频谱特性图

在 2 kV、2.5 kHz 下, 分别加上正、负不同的干扰信号, 电度表频谱特性如图 6 所示。从图 6 可看出, 对该种电度表在正负极性下的干扰区别不大, 说明该类电度表对正、负极性下电快速脉冲骚扰的敏感度差不多。

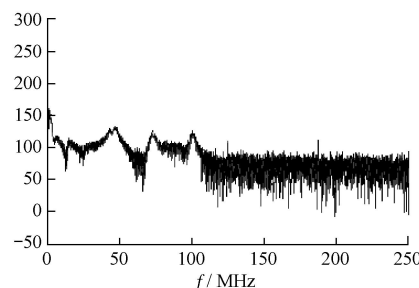


图 6 不同极性下电度表的频谱特性图

## 4 实验操作注意事项

在实验中要注意实验布置和实验条件要满足标准规定, 保证实验的重复性和可比性。为了保证试验的重复性, 要求试验的配置(布置)要固定, 尽可能少作变动; 被试设备电源线与发生器之间的连接要尽可能地固定, 以使结果具有较高的重复性。且受试设备和 EFT 源之间的电缆(电源线)长度要短于 1 m。同时在实验中, 接地也是一个影响实验结果非常重要的方面。还要注意在实际中, 对这类频带宽、幅值大的骚扰应采用几种方法, 如滤波、接地、PCB 板布线等相配合的方式进行抑制, 才能取得较好的效果。

## 5 结语

本文以电子式电度表为对象, 通过不同情况下电快速瞬变脉冲群干扰对电源端口影响的实验研究, 得出了其正常工作情况下的敏感频率范围及干扰信号幅值、频率和极性对电表的具体影响关系。所做研究工作对电表的抗干扰设计及计量设计具有一定的参考价值。本实验的后续研究工作还包括对电度表通信线上的瞬变干扰的研究, 及同类电子式电度表的实验结果总结。

## 参考文献:

- [1] 白同云. 电磁兼容设计实践[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [2] 全国无线电干扰标准化技术委员会 E 分会. 电磁兼容国家标准汇编[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [3] 曹 恒. 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.
- [4] 丁 丁. 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验[J]. 上海计量测试, 2004, 184(6): 43-45.
- [5] 陈世钢. 电快速瞬变脉冲群的抑制[J]. 安全与电磁兼容, 1997, 8(4): 7-13.
- [6] 赵亚君. 电子式电能表电快速瞬变脉冲群抗扰性试验[J]. 西北电力技术, 2001(3): 27-28, 31.
- [7] 王剑乔. 微机保护抗电快速瞬变脉冲群干扰的研究[J]. 高压技术, 2005, 31(10): 36-38.
- [8] 牛 博. 智能电器监控单元的电快速瞬变脉冲群抗扰度研究[J]. 高压电器, 2007, 43(1): 14-17.
- [9] 王玉峰. 二次回路中电快速瞬变脉冲群骚扰的研究[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(6): 79-82.