

电子式互感器电磁干扰问题分析及抑制方法

分析研究了智能变电站现场电子式互感器受到电磁干扰影响的原因，通过限幅、削峰和泄流等措施，把浪涌干扰泄放入大地，从而最大限度地降低被波及设备各端口的电位差和承受时间，同时采取滤波措施，减弱电磁扰动中高频分量对变电站智能二次设备的影响。

陶骞¹ 吴迪² 游力¹ 沈骏杰³/1.国网湖北省电力公司电力科学研究院
2.国网湖北省电力公司调控中心 3.湖北方源电力科学研究所有限公司



陶骞/高级工程师

关键词/Keywords
智能变电站 ·
电磁干扰 ·
电子式互感器 ·

0 引言

随着网络通信技术的快速发展和应用，电网正在向数字化、智能化方向发展。在智能电网框架下的智能变电站与传统变电站相比有了很大变化。光纤代替了电缆传输，大量的数据采集和保护、控制设备由控制室移到了户外变电站开关场内，二次设备面临的电磁干扰（Electromagnetic Interference, EMI）问题变得日益严峻^[1]。传统的二次保护设备抗电磁干扰、抗过电压和过电流的能力十分脆弱，使得智能变电站内监控、通信和保护装置在运行操作过程中，经常出现异常信号告警，造成通信中断、保护闭锁和远动拒动等问题，甚至会造成变电站二次控制部分瘫痪，严重威胁电网的安全运行。因此，如何有效地控制智能变电站二次系统的电磁干扰成为目前亟待解决的问题。

1 电子式互感器工作原理

目前智能变电站通常采用电子式互感器取代传统的互感器，或者采用

传统互感器加合并单元。与传统变电站相比主要区别是增加了数据采集的A-D转换环节，将二次模拟信号转换为需要的数字信号，再由光纤传输给相关设备。而恰恰是这个数据采集及A-D转换环节最容易受到电磁干扰，造成信号异常。

以电子式电流互感器为例，结构按照功能大致可分为传感头、数据采集系统、光纤传输与接口以及电源供能装置，如图1所示^[2]。其工作原理为通过高压侧传感头（罗氏线圈或精密电容分压器等）从一次侧采集电流/电压信息，经过A-D采样将模拟信号转化为数字信号，再经过电/光转换，通过光纤将光信号传输至合并单元，在合并单元内经过光电转换，恢复为数字电信号，在合并单元内进行信号处理，最后按规定帧格式输出，供测量、保护等智能二次设备使用。供能装置主要以激光供能方式给高压侧传感头供电^[3]。

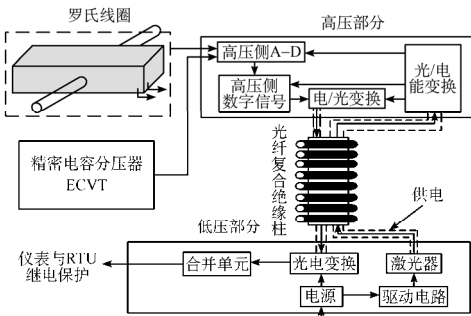


图1 电子式电流互感器的工作原理图

2 智能变电站的电磁干扰

一般来说，电磁干扰传播的形式有传导和辐射两种。而其形成需有3个因素：电磁干扰源、敏感设备和耦合

路径。传导干扰是通过导线进行传播的，辐射干扰是通过“场”进行传播的^[1]。变电站处在一个强电和弱电系统形成的错综复杂的电磁环境中，电磁感应和辐射等产生的干扰通过各种耦合进入二次系统，形成浪涌电流和过电压，就会引起控制系统出错、传输信号异常，甚至造成设备损坏^[4-5]。

变电站一次系统和二次系统是一个相辅相承的整体，其相互关联。如果二次系统的防电磁干扰和浪涌设施不完善，极易由于一次系统对二次系统造成反击，将干扰引入二次系统。高压隔离开关或断路器分合时，在触头间产生电弧，将引起一系列高频电流波和电压波。这一暂态过程不仅可以通过线路上连接的电流互感器、电压互感器等直接传入二次系统，引起数据采集、控制和传输等环境工作异常。同时，在快速暂态过程中线路还表现为一个复杂结构的天线以暂态电磁场的形式向周围空间辐射能量，通过各种耦合进入二次系统。

3 电磁干扰对互感器的影响

目前智能变电站会采用紧凑型的设计，电子式互感器（ECVT）与隔离开关组合安装。隔离开关分合过程的电弧使互感器处于电磁干扰异常复杂的环境中。统计已投运的 220 kV 智能变电站，在送电操作过程中大都频繁出现“采样无效”、“SV 数据通道无效”和“SV 通信中断”等异常报文，造成相关保护功能闭锁，严重时造成全站停运。通过现场测试发现，在 220 kV 开关和隔离开关分合时产生的操作过电压和电磁干扰是导致采集器模块工作异常的根本原因。

将现场 ECVT 设备整体移到试验室进行电磁干扰试验，结果如表 1~表 3 所示。

从结果来看，对于采集板信号端口，浪涌抗扰度试验（见表 1）、阻尼振荡波抗扰度试验（见表 2）均通过测试。另外，射频电磁场辐射抗扰度测试也符合标准要求。但电快速瞬变脉冲群抗扰度试验未达到标准（GB/T 20840.8）的 4 级要求。也就是说，对于现场操作过程中出现的暂态过渡过程时产生的高次谐波会对互感器的采集器产生干扰，造成通信异常。

对于采集板电源端口，在采集板直流电源输

入耦合干扰信号，电快速瞬变脉冲群抗扰度试验未达到标准（GB/T 20840.8）的 4 级要求。也就是说，其直流电源的抗干扰能力不够，对于现场操作过程会对互感器的采集器产生严重干扰，造成通信异常。

表 1 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

试验端口	电流互感器 试验现象	电压互感器 试验现象
取能端口	施加 4 kV、5 kHz 骚扰信号出现采样无效	施加 -2.6 kV、5 kHz 骚扰信号出现采样无效
	施加 4 kV、100 kHz 骚扰信号出现采样无效	施加 +2.5 kV、5 kHz 骚扰信号出现采样无效
信号端口	施加 2.3 kV、5 kHz 骚扰信号出现采样无效	施加 1.4 kV、5 kHz 骚扰信号出现采样无效
	施加 1.9 kV、100 kHz 骚扰信号出现采样无效	施加 -1.5 kV、5 kHz 骚扰信号出现采样无效

说明：在每个试验端口施加脉冲波形为 5/50 ns，持续时间为 15 ms，重复频率 5 kHz 和 100 kHz 的正负极性试验电压各 1 min。

表 2 浪涌抗扰度试验

试验端口	现象现象说明
母线—地	正常

说明：试验波形为 1.2/50 μs 电压波和 8/20 μs 电流波构成的组合波，在每个试验端口施加正负极性脉冲各 5 次，每次间隔 60 s。

表 3 阻尼振荡波抗扰度试验

试验端口	现象现象说明
母线—地	正常

说明：在每个试验端口施加上升时间为 75 ns，振荡频率为 0.1 MHz 和 1 MHz 的阻尼振荡波各 1 min。

4 干扰抑制措施

从电磁干扰源、敏感设备和耦合路径 3 方面考虑。首先通过有效接地和屏蔽减小电磁脉冲辐射干扰。同时，通过多级钳位使残压逐步降低，以有效地抑制外来电磁干扰入侵和电磁脉冲的影响，尽量降低进入二次系统的感应过电压，把能量逐级泄放掉，将侵入电源回路的浪涌过电压限制在一个安全合理的水平。由于浪涌信号中含有较多的高频分量，必须采取滤波措施将此范围内的高频分量有效滤除，减少干扰。具体措施如下。

1) 增加采集卡的抗干扰隔离措施部分, 包括电源部分的电压隔离、电子回路的抗干扰和 A-D 转换到 CPU 之间的隔离, 针对电压互感器信号回路直接接地没有悬浮的情况, 增加信号隔离模块, 抑制操作过电压及电磁场的干扰, 如图 2 所示。

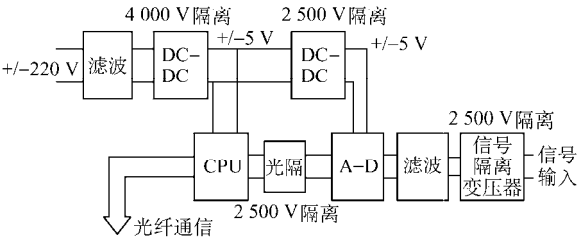


图 2 采集卡原理图

增加干扰释放途径, 减小干扰强度。信号回路中增加 Y 电容, 有效释放干扰, 如图 3 所示。
$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$
使用 1 nF 的 Y 电容后, 对于工频 50 Hz 信号阻抗为 3 MΩ, 1 MHz 的高频信号阻抗为 160 Ω, 电容对于高频形成通路, 工频没有影响。最后通过试验证明, 增强泄放途径后, 即使直接耦合输出干扰, 仍可以通过电快速瞬变脉冲群抗扰度试验。

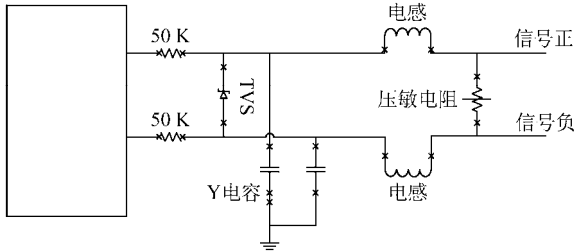


图 3 改进后的采集卡原理图

2) 增加输入回路阻抗, 阻碍干扰进入系统, 如图 3 所示。在模拟量输入端回路增加高频电感。 $X_L = 2\pi fL$, 加入电感量 100 μH 时, 对于工频信号感抗约为 31 mΩ, 对 1 MHz 信号感抗为 628 Ω, 从而可以增加输入回路的高频阻抗, 从而有效降低干扰幅度。

3) 增强差模电压抵抗能力。使用二级吸收回路抵抗高电压干扰, 使用压敏电阻吸收大容量干扰, 如图 3 所示。TVS 管的反应速度为纳秒, 可以作为第二级吸收回路, 抑制干扰脉冲输入。同时串接 50 K 电阻增加 A-D 输入回路的阻抗,

抑制干扰电流。改进后的电子式互感器最终顺利投运。

5 结束语

按国家相关标准要求, 电子式互感器型式试验包括电磁兼容性试验。但实验室无法完全模拟变电站现场的电磁干扰环境, 因此在实际智能变电站投运过程中经常出现互感器输出信号异常造成相关保护装置闭锁的情况。对电流互感器信号输入端口的干扰隔离问题, 不能简单的加装隔离或滤波环节, 应有具体的定量解决方案。可以考虑通过限幅、消峰和泄流措施把陡度大、峰值高的浪涌干扰泄放掉, 从而最大限度地降低被波及设备各端口的电位差和承受时间。同时采取滤波措施, 减弱电磁扰动中高频分量对二次系统中智能设备的影响。并要通过相关的准确度测试和相应暂态特性试验。对采集板直流电源输入的抗干扰措施, 在加装隔离装置后, 应通过相关的抗干扰测试。

参考文献

[1] 吕新良, 卢江平, 宋晓林. 电子式互感器电磁兼容试验研究[J]. 陕西电力, 2010, 12 (11) :80-83.

[2] 牟涛, 周丽娟, 周水斌, 等. 高精度电子式电流互感器采集器的设计[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39 (20) :141- 144.

[3] 刘彬, 叶国雄, 郭克勤, 等. 电子式互感器性能检测及问题分析[J]. 高电压技术, 2012, 38 (11) :2972-2980.

[4] 方春恩, 李伟, 王佳颖, 等. 基于电阻分压的 10 kV 电子式电压互感器[J]. 电工技术学报, 2007, 22 (5) :58-63.

[5] 陈维江, 王浩, 王赞基, 等. 特高压气体绝缘开关设备中电磁式电压互感器耐受特快速暂态过电压的特性分析[J]. 高电压技术, 2013, 39 (6) :1402-1410.

作者简介

陶骞 (1973-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为电能质量、智能电网自动化技术。

(收稿日期: 2015 - 12 - 10) EA
(编辑: 崔岩)