

有源电子式电流互感器的关键技术

刘建华¹, 陈庆², 张明明², 李红斌²

(1. 湖北省电力试验研究院, 湖北 武汉 430077; 2. 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 现阶段实用化的有源电子式电流互感器主要由 3 部分构成: 基于空芯线圈的高压传感部分、处于低压侧的信号调理部分、高低压侧之间的能量和信号传输部分。本文就相关的关键技术进行了研究: 高准确度空芯线圈的制备方法、系统暂态性能研究、高压侧供能方法、可靠性分析, 为有源电子式电流互感器的实用化作了有益的探索。

关键词: 电子式电流互感器; 空芯线圈; 可靠性

中图分类号: TM452+93

文献标志码: B

文章编号: 1001-1609(2009)04-0116-03

Key Technologies of Active Electronic Current Transformer

LIU Jiang-hua¹, CHEN Qing², ZHANG Ming-ming², LI Hong-bin²

(1. Hubei Electric Power Testing & Research Institute, Wuhan 430077, China;

2. CEEE of Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: There are three parts in practical active electronic current transformers of nowadays: sensing unit based on Rogowski Coil at high voltage level, signal processing unit at ground level, and laser power and signal transmission system. This paper is focused on the research of manufacture of Rogowski Coil with high accuracy, transient performances and system reliability, which brings helpful suggestions for the practical application of active electronic current transformers.

Key words: electronic current transformer; rogowski coil; reliability

0 引言

目前电力系统使用的电磁感应式电流互感器(简称 CT)用于测量电流已有一百多年的历史了。但是,随着电力系统电压等级的不断升高,传输的电力容量越来越大,传统的 CT 因其传感机理呈现出自身不可克服的问题。更重要的是,目前用于变电站的监视、控制、保护包括故障录波、安全控制装置等,虽然已实现了微机数字化,但由于提供一次部分信息的互感器输出为大电流(1 A 或 5 A),不能提供与数字系统相匹配的数字信号输出,使得站内二次连线复杂,微机装置固有的高可靠性被错综复杂的二次连线所抵消^[1]。而电子式互感器能够直接提供数字信号给计量、保护装置,简化二次设备,提高整个系统的准确度和可靠性。这一技术上的创新将有助于二次设备的系统集成,加速整个变电站的数字化和信息化进程,并引发电力系统自动化装置和保护方式的重大变革。

根据 IEC 60044-8,从测量原理分类,电子式电流互感器包含了光学电流互感器、空芯电流互感器(又称为 Rogowski 线圈)及低功率型电流互感器 3 种。从应用的电压等级分类,可分成中压(10~35 kV)、高压(110 kV 及以上)、超高压(500 kV 及以上)等。

现阶段实用化的高压电子式电流互感器,又称为有源电子式电流互感器,主要是以空芯线圈为保护通道传感单元,低功率铁芯线圈为测量通道传感单元。高压侧的供能方法一般采取复合供能的方式:一次被测电流较大时,采用高压侧辅助 CT 给高压侧的调制电路供电,一次电流较小时,CT 供能切换成激光供能,即低压侧的半导体激光器通过供能光纤给高压侧的调制电路供电。调制电路将高压侧的含有被测电流信息的电压信号转换成数字信号,并将测量和保护通道的信号复合成一路后,驱动发光二极管,通过信号传输光纤以光脉冲的形式传输至低压侧的合并单元。

主要介绍有源电子式电流互感器涉及到的关键技术:空芯线圈、暂态特性、高压侧供能及可靠性设

收稿日期:2009-06-05; 修回日期:2008-08-07

作者简介:刘建华(1965),男,高级工程师,现主要从事电力计量及科技信息管理。

计等。

1 空芯线圈的结构及制造工艺

和传统互感器的绕制方法不同,为了获得高测量准确度,空芯线圈绕制时必须遵循以下原则:二次绕组在一定大小的截面均匀的非铁磁材料骨架上均匀分布;每一匝绕组的形状完全相同;每一匝绕组所在平面垂直于线圈包络线在该点的切线方向。否则将引入较大的测量误差。实际制作时,由于是半手工绕制,往往不能完全满足上述要求,使得空芯电流互感器批量生产时的性能分散性较大,一般空芯线圈的设计精度最高可达到0.1%,实际应用时通常为1%~3%^[2]。且容易受到温度的影响而产生漂移。由于IEC标准中对传感单元在额定电流时的二次输出是有明确数值要求的,所有输出偏离值都被计入测量误差,为了解决空芯电流互感器实际生产时的分散性,以至于在IEC 60044-8中不得不特别允许采用一个标记为 R_a 的电阻来调整二次输出的大小。生产工艺是阻碍空芯电流互感器产业化的一个关键问题,必须探索新的空芯线圈传感头结构,从原理上发掘解决这一问题的根本方法。

研究人员通过采用印刷电路板技术设计了多种空芯线圈的新结构^[2,3],见图1和图2。该新结构大大提高了测量准确度,已报道的最高准确度可以达到0.2S级,使得空芯线圈可以用于计量,同时测量的稳定性也大为提高。



图1 平板型空芯线圈

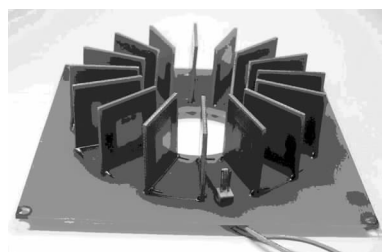


图2 组合型空芯线圈

2 暂态特性

在电压等级高(220 kV以上)的电网中,由于系统容量大,一次回路时间常数 T_1 较大(如60~100 ms),短路电流暂态过程较长,如 $4\sim 5T_1$,继电保护装置启动将发生在短路电流的暂态过程中,为了保证保护装置的正确动作,要求互感器以较小的失真将一次故障电流变换为二次暂态输出信号,互感器在规定的时间内暂态误差不能超过规定限值。

基于空芯线圈的电子式电流互感器的暂态特性一直是该类互感器最突出的优点。但是,由空芯线圈的传感原理决定,必须采用积分器还原被测电流信号,而积分器的时间常数有限,以至于系统短路存在非周期分量的时候,其暂态误差特性取决于测量的下限频率,而不是上限频率。下限频率越低,则跟踪得越好,误差越小。例如,如果系统短路时的非周期分量在0.5 s内能衰减完毕,设计的电流互感器的下限频率必须到2 Hz甚至更低,才能更好地跟踪衰减周期长达0.5 s的非周期分量,暂态误差特性将得到保证。所以,测量的下限频率越低,暂态特性越好。但分闸后,一次电流为零时,暂态特性越好的空芯电流互感器,其积分器输出信号衰减得越慢,如果输出没有完全到零时系统重合闸,则不可避免地带来测量误差。因此积分器性能的综合设计和优化是直接关系到空芯电流互感器暂态特性的关键技术。西安高压电器研究所可以进行互感器暂态特性的实验。

3 高压侧供能

最初在高压下,空芯电流互感器采用悬浮式电源变换器的供电方式(简称小CT方式)从一次导线上取能量^[4]。一般情况下,对一次侧的电子电路单元能提供足够的电能。但当一次电流很小,如低至额定电流的5%甚至1%以下时,电源变换器则不足以维持正常的激励状态,无法供出能量,存在着小电流供电死区,可能使电子式互感器无法正常工作。后来发展为采用低压侧的半导体激光器通过供能光纤给高压侧的调制电路供电,但存在的关键问题是高压侧工作的电路功耗过大,60 mW左右。当然功耗可能进一步降低,但功耗的降低意味着互感器的性能将会随之降低,在功耗和性能之间必须寻求一个最佳的平衡点。

一般光电转换的效率较高时为30%,这就要求光源(半导体激光器)的出纤功率至少达到180 mW以上,而出纤功率在这种数量级的光源,一般寿命较短,远远不能满足电力系统对互感器的寿命要求

(30年),同时其成本非常昂贵,这是阻碍电子式电流互感器产业化的另外一个关键因素。所以,目前高压侧的供能方法一般是采取复合供能的方式:一次电流较大时,采用CT供电方式;一次电流较小时,采用激光供能方式。这种方法可以尽量降低大功率激光器工作的时间,延长其寿命。但是,也存在两个问题:线路检修后合闸时,CT供能需要有一个较长的建立时间,此时只能依靠激光供能,但如果此时激光器失效,将直接导致互感器不能正常工作,所以,一般要求采用两个激光器:一用一备,但这进一步加大了成本。CT和激光器的切换控制,必须有一个合理的控制策略,不能出现供能的“真空”,即一个切换了,另外一个还没有开始供能,所以需要实现两种方式切换的预判。并且,CT供能方式还需要考虑系统短路时,一次短路电流的冲击可能造成CT的损坏。这些因素的存在将直接导致供能系统比较复杂,可靠性降低。

4 可靠性设计

如前所述,电子式互感器具有明显优于传统互感器的诸多特点,但由于电子式互感器包含了传感技术、电子技术、高电压技术、光电子技术、计算机网络技术等多学科交叉领域的知识体系,其整体技术难度较大。电子式互感器最终能否全面替代传统互感器,取决于其长期运行的可靠性。电子式互感器可靠性设计包含以下主要内容。

4.1 冗余设计

冗余设计是提高设备可靠性的常用方法。在电子式电流互感器中,构成保护通道的空芯线圈、A/D转换器都必须采用双重化的冗余设计。

4.2 自检功能设计

对于关键器件,例如:电源模块、A/D变换器等

必须具有基本的自检功能。

4.3 电磁兼容设计

采用CT供电或CT复合型供电的电子式互感器,需要采取保护措施,使得一次短路时的大电流冲击不会对供能CT构成损坏。同时,还必须考虑一次短路电流对低功率铁芯线圈后续取样电路的冲击及较大的 di/dt 对空芯线圈后续保护通道电子电路的冲击。

4.4 安全性设计

由于采用了大功率激光器供能,必须采取保护措施,以防大功率激光在运行维护中可能对运行维护人员造成的伤害。推荐的方法:在大功率激光器正常工作时,一旦检测到电源模块掉电,立刻停止激光器的工作,以防供能光纤回路出现问题危及人员安全。

5 结论

电子式互感器是目前被广泛关注的新型电力设备,而其中关键技术的精细研究是直接关系到电子式互感器最终能否达到电力系统高安全性、稳定性、可靠性要求的重要因素。

参考文献:

- [1] 曾庆禹.电力系统数字光电量测系统的应用及效益分析[J].电网技术,2001,25(5):6-9.
- [2] KOJOVIC LJUBOMIR.Rogowski Coils Suit Relay Protection and Measurement of Power Systems[J].IEEE Computer Applications in Power,1997,10(3):47-52.
- [3] CHEN Qing,LI Hong-bin,ZHANG Ming-ming,et al.Design and Characteristics of Two Rogowski Coils Based on Printed Circuit Board [J].IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement,2006,55(3):939-943.
- [4] 张明明,刘延冰.一种新型的有源光纤电流互感器[J].中国仪器仪表,1998(2):15-16.

(上接第115页)

CVT剩余绕组上,并耦合到CVT二次绕组上与原有的电压叠加。电压最高的一相CVT二次绕组电压将达到正常值的1.17倍,加之是手动分级操作时间比较长,达到了主变过励磁保护的動作门坎值,保护发生误动作。

为了避免此类事故的发生操作人员应严格按照操作次序操作CVT一次隔离开关。相关单位也可以对有关设备进行改进。如:改变主变过励磁保护的動作判据,当母线CVT和线路CVT的二次电压同时升高时,再判定主变过励磁,启动主变过励磁保护动作。如果只有线路或母线CVT二次电压升高,则不

认为主变过励磁,闭锁主变过励磁保护。

参考文献:

- [1] 陈乔夫,李湘生.互感器电抗器的理论与计算[M].武汉:华中理工大学出版社,1992.
- [2] 穆淑云.电容式电压互感器暂态性能的仿真计算[J].电力电容器,2001(1):8-13.
- [3] 王德忠,王季梅.电容式电压互感器速饱和阻尼器的研究[J].电工技术学报,2000,15(1):41-46.
- [4] 刘爱民.CVT中阻尼器的研究[J].电力电容器,2006(5):39,40.
- [5] 郭晓东.电力互感器产品选型、设计、技术参数与设备运行检修及事故防范处理技术手册[M].北京:中国知识出版社,2005.