

电子式电流互感器高压侧电路的分析

李炎艳

华电莱州发电有限公司 山东莱州 261441

摘要: 电子式电流互感器已经成了国内外研究的热点, 其中有源电子式互感器高压侧电路的供能问题则是研究工作中的关键技术。笔者首先简要地综述了电子式电流互感器的发展, 然后重点介绍有源电子式电流互感器中高压侧电路的供电问题, 对国内外的研究现状进行了探讨, 得到了一些有益的结论。

电子式电流互感器一直成为了中国国内研发的重点, 而这些有源电子设备式相互感器高压侧回路的供能问题, 也是研发工作中的关键。本文先简要地回顾了电子式电流互感器的发展历史, 继而着重阐述了有源电子式电流互感器的高压侧回路的电源技术, 并结合中国国内的实际研究情况进行了研究, 得出了若干有用的研究成果。

关键词: 电子式电流互感器; 有源式; 供能方法

Analysis of high voltage side circuit of electronic current transformer

Yanyan Li

Huadian Laizhou Power Generation Co., LTD., Laizhou 261441, Shandong, China

Abstract: Electronic current transformer has become a hot research topic at home and abroad, among which the power supply of high voltage side circuit of active electronic transformer is the key technology in the research work. Firstly, the development of electronic current transformer is briefly reviewed, and then the power supply of high voltage side circuit of active electronic current transformer is introduced. The research status at home and abroad is discussed, and some useful conclusions are obtained.

Electronic current transformers have always been the focus of domestic research and development in China, and the power supply of the high-voltage side circuit of these active electronic mutual sensors is also the key to research and development. In this paper, the development history of the electronic current transformer is briefly reviewed, and then the power supply technology of the high voltage side circuit of the active electronic current transformer is emphatically expounded. Combined with the actual research situation in China, some useful research results are obtained.

Keywords: Electronic current transformer; Active type; Energy method

引言:

随着中国电力工业的日趋发达和电网电压等级的日趋增加, 对高电压、大电流的检测需求也在日趋增加, 电流互感器饱和的绝缘问题也日益突出。而且原有的电压、电流互感器还面临着磁饱和和铁磁谐振易燃易爆性和动态覆盖范围小等实际存在问题。于是, 各种用以处理超高压技术绝缘问题的新测定方法便应运而生, 国际电工委员会经过对上述方案的综合分析, 给出了电子式电压电流互感器的新定义^[1]。

而有源式则是指在传感器头部门运用常规的电子传

感工作原理, 仅使用光纤传输数据信息的电子型互感器, 但因为光缆只可以传送数字信息, 从而需要在高压侧对传感器头部的输出信息实现模拟量和数字量之间的切换, 这就势必要设计相应的电气控制器, 所以它就带动了电网的供能问题, 这也是有源式互感器研发中的难题和核心技术。有许多方法被研发人员所提到, 甚至一些方法已经有了商业化的产品, 但这并没有表示该难题就得以解决, 因为即便已经商业化的产品也还是存在缺陷^[2]。

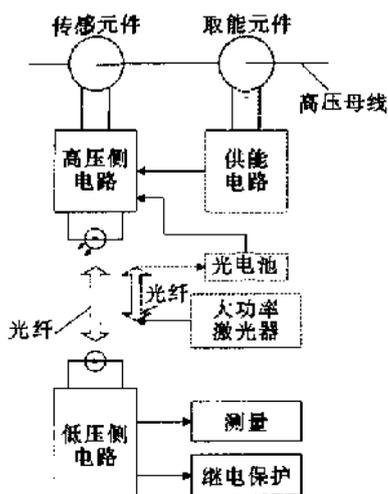
一、电子式电流传感器的特点

1. 抗电磁干扰性能好 低压侧无开路高压危险

因为电子式电流互感器的高压侧和低温侧中间只存在光缆的联系,而光缆形成了很好的热绝缘隔离特性,因此可以确保高压集成电路和二次回路在电力上的彻底分离,从而使得低温侧不会因为开路而出现过高压的危害,同时减少了对电磁辐射的危害等。①尺寸较小、材质轻便。电子式电流互感器为搬运和安装设备提供了很大的便利,还可以检测供电系统中各个位置的电压。②不会由于充油时所形成的可燃、易爆等危害,而且电子式电流互感器使用光缆绝缘而不使用石油绝缘,从架构设计上也能够减少这方面的危害^[3]。

2. 有源电子式电流互感器的基本原理

经典的有源电子式电流互感器的基本原则见图一,其包括了高温侧集成电路、低温侧集成电路和光缆传输三个产品模块。其中,高温侧集成电路的主要功能是使传感器件的输入与输出信息实现了模拟量和数值量之间的变换,以便于使用光缆实现信息的传送,而低温侧集成电路的主要功能则是将通过光缆传输下来的信息加以处理,并将结果输入相关的电子产品检测设备和继电保护装置。由此可见,为保证高温侧电子电路的工作,就需要一个平稳、安全的工作供电方式。图中的虚网就提出了多种可能的工作供电方案,其中选择虚网的主要目的就是表示可能的工作供电方案有很多种,但在实际使用中却往往从很多方法中选择了某一个^[4]。



图一 有源电子式电流互感器原理图

二、电子式电流互感器的应用前景

(1) 全球配电委会有关ECT国际标准的制定,包括目前开始酝酿制定的ECT国标,预示着ECT的生产化使用已最终形成了产业标准,为ECT的行业市场化奠定了基本网络平台。(2) 通过多年的国家电网改革,中国电网的整体智能化程度早已获得了极大提升,对相应的网

络距离瞬态防护技术提供了更为快速的需求。同时由于国家电网的规模扩大,交流输电线路也愈来愈长。而常规的电流互感器科技已不能适应距离保护的暂态特性需求,据估计在未来5~10年中,ECT会在中国不同电力级别的国家电网中大规模安装与使用。(3) 国内外研究单元对ECT的技术进行了近二零年的探讨,无论是在试验室或是在现场上挂网试验,都已累积了相当的成功经验,尤其是由于采样线圈配光纤型的ECT早已具有了产品化的要求。(4) 中国国内许多公司积极投入ECT生产领域,也促进了ECT的产品市场化应用进程^[5]。

三、高压侧电路的研究

1. Rogowski线圈

使用Rogowski线圈的电子式电流互感器通过Rogowski线圈成为主要传感器部件,并使用光纤把电流信息由高电位传送到低电势。该种结构既具备光纤传导的优势,也避免了光学传感器头高温和震动问题。目前已经进行较为深入的研发。

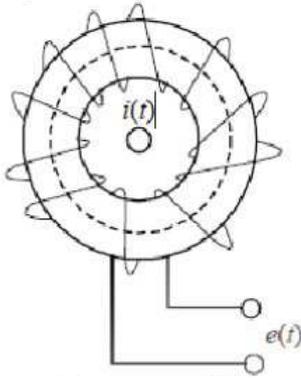
Rogowski线圈是根据电磁感应原理将漆包线缠绕在一个非磁性骨架上,让母线电流从骨架中心穿过,这样导线就会感应出与母线电流微分成比例的电压芯片^[6]。与传统铁芯式电流互感器相比,其主要区别在于二者所用的材料和阻抗特性不同。Rogowski线圈实质上是将一组导体线圈缠绕在一个非磁性芯上,它的二次侧负载一般是大电阻;而铁芯式电流互感器是将一组导体线圈绕在一个磁性芯上,它的二次侧负载是一个很小的采样电阻。除结构与材料上的不同外,与传统的电流互感器相比,Rogowski线圈还有以下优点:

(1) 测量精度高精度可设计到0.1%,一般为1%~3%。(2) 测量范围宽由于没有铁芯饱和的问题,同样的绕组可用来测量的电流范围可从几安培到几千安培。(3) 频率范围宽可设计到0.1Hz到1MHz,特殊的可设计到200MHz的带宽。(4) 可以测量用其它技术不能测量的受限制领域的小电流。(5) 生产制造成本低^[7]。

随着对电子式电流互感器研究的不断深入,Rogowski线圈以其优良的特性被广泛应用于电子式电流互感器的研究24~26。如图2-2为Rogowski线圈,在通常情况下,线圈骨架通常为矩形或者圆形,下面分别给出在这两种情况下Rogowski线圈输出的感应电动势表达式。

2. 积分电路

根据对Rogowski线圈的分析可以得知,在对交流电压的计算中,其两次的电压信息即为对上一个电压信息的微分。若要还原为与下一次电流成比例的频率,就需



图二 Rogowski线圈

要增加一定的微分环节。而对使用电子式电流互感器的Rogowski线圈来说, 因为其所测电压处于较低频、小流量的范围, 因此积分器也会由于其低频噪音、弱电量偏移和相位响应, 而造成计算精度降低, 以至于影响电子式电流互感器的检测准确度, 所以对积分电路的控制也十分重要。扰通信, 并且设计上需要通过13次谐波, 从而在整个芯片处理流程中需要加入过滤环节以消除干扰芯片, 以达到芯片处理的最优化输出^[8]。

不过, 巴特沃斯过滤的相位特征也较同阶的切比雪夫过滤好。在电流互感器的产品设计中, 除对信息的噪声水平有规定之外, 也同样规定了整套控制系统的电流相位都要很准确, 综合以上各种因素我们可以选用巴特沃斯低通滤波器对所输出的电压信息滤波过滤。

3. 移相电路

移相电路一般用全通滤波器和恒时延滤波来完成, 全通滤波器可以产生恒定的幅频特征, 而相频特征则无法达到恒端至端时延的条件; 贝塞尔滤波器尽管有着类似恒时延特点, 但由于其幅频特性会随着输入芯片速率的变化而调整, 因此使用它来进行电子式互感器中芯片相位的校正效果均不理想。在此, 设想了一个全通恒端到端时延过滤器, 它同样具备了全通滤波器和贝塞尔滤波器的优势, 即有着相对稳定的幅频特性和很好的时间延迟特征, 而且其延迟时间处于稳定值的频率范围, 是贝塞尔滤波器的二倍以上^[9]。

4. A/D转换及时序电路

A/D变换电路是整个传感器部分的核心技术, 根据对于电子式电流互感器传感头的特殊要求, A/D变换存储器需要具备如下的基本特征: (1) 功耗小; (2) 取样频率必须适当高; (3) 串行A/D芯片; (4) 电流输入工作区域应是双极性; (5) 为提高控制系统的辨识力, 将使用更高位数的A/D切换芯片。

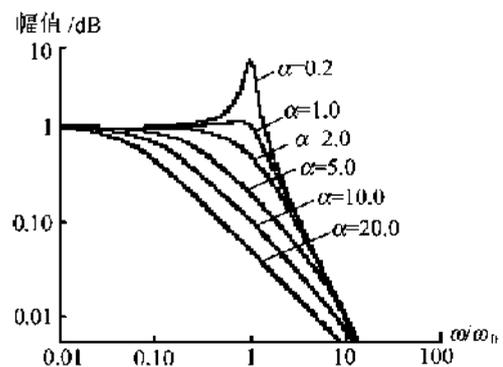
而且您可以选择由AnalogDevice提供的AD7894-10

为本系列的A/D切换器。该A/D转换器为8脚SOIC技术, 单五V电源, 为串行工作模式, 高输入阻抗, 14位物理分辨率, 变换效率最高为二MHz, 最大输入工作电流范围为±峰峰值, 正常的最大工作时间约为二十mW, 内部集成了采样保护电路。上述技术指标均非常适合于用作电子式电流互感器测量的A/D变换芯片, 可实现低效率、高可靠性和管理方便的特点^[10]。

四、高压侧电路的硬件设计

1. 改进的积分电路

新式分数集成电路经过归一化后的幅频特征和相频特性曲线, 如图三所给出的。假定 $\omega_0=100\pi$, 新式分数集成电路就可以进行对低频运行讯号特征的微分, 从图4、5可以看出, 新分数集成电路的低频芯片特征有了比较显著的提高。通过调节 ω_0 的大小(改变R2、R1、C1、C), 积分电路中就能很简单地变化工频下进入信息和出口信息之间的角度, 即实现积分再移相的功用。另外, 在调整电路元件参数的同时还必须充分考虑其对 ω_0 和 α 的影响。



图三 积分电路的幅频特性

2. 光电转换

在光电式电流互感器测试中, 光纤传送控制系统有着二种主要的功能: 一是用作强弱电压中间的电绝缘介质; 二是完成从高压侧电流中采集数据, 向低温侧的电压高速传递。采集数据按相应的时间间隔顺序向低温侧传送, 由低温侧的数据系统对所采集数据加以相互协调和同时管理, 而高压侧87C51单片式微型计算机的主要工作就是利用串行RXD端口接受从低温侧发出的握手信息和采集指令, 这样一来在高低压端模块间就必须利用二根光缆实现双方通讯。在我们设计的集成电路中光发出和光接收机已经使用了法国Agilent有限公司的HFBR1414集成化光发射器和HFBR2412集成化光接收机。

3. 高压侧供电电路

高温侧系统的电源问题, 是有源电子式电流互感器

技术中的一项技术,其中主要采取了经过CT进行在高温侧的接线上取电和向蓄燃料电池提供相结合的技术,而使用CT进行在接线上取电的技术基础,是经过使用特殊CT进行在接线上探测电压,再经过整流、滤波、稳压和后续接线的处理后,供应给电子式电流互感器高温侧电子线路。但使用这个技术时存在着二种难题:当接线上电压处在过空载运行的小电流状态时,怎样保障供电系统的顺利提供;当母线处在过额定容量的大电流时、或者是短接故障电流状态时,怎样给与电源板以相应的保护措施。所以为了保证这种方法具有尽可能大的工作电流密度变化范围,在工程设计中常选用比坡莫合金磁感应强度小、导磁好的金属材料制作铁心材。

五、高压侧电路的软件系统

实际使用中,电网的频率也不一定稳定在50Hz,因此取样中也或多或少地会产生同步偏差现象,即取样间隔并不恰好大于芯片时间的整数倍。为了降低同步偏差和提升精度,可以通过准同步算法实现软件补偿。经理论分析与实践运用证明,在电网频率约为50Hz和误差范围低于0.50%的情形下,准同步算法可以有效降低因非同步采样而产生的偏差。

六、结论

为了进一步提高高压侧集成电路长时间工作的稳定性,笔者在采用单片机的高压侧集成电路产品设计中提出了冗余备用的设计思路,以提供了一个在主单片微型计算机发生故障情形下备用单片微型计算机正常的切换方法,并进行了对主要职能模块的实验室检测试验,该设计思路可以有效提升高压侧集成电路的工作安全性水平。

参考文献:

[1]赵文祥,郝亮,和阳,许德志.双三相永磁同步

发电机直流母线无电流传感器稳压控制(TM351)[J/OL].中国电机工程学报:1-11[2022-05-07].

[2]肖飞,许观达,连传强,刘计龙.永磁同步电机单电流传感器系统的三相电流重构策略[J].电工技术学报,2022,37(07):1609-1617

[3]张嘉伟,叶子帆,王倩,王飞鹏,李程.基于F-P光纤泄漏电流传感器的绝缘子状态监测[J/OL].高电压技术:1-9[2022-05-07].

[4]龙吟江,吴晓东,王锐松.基于EKF的车用永磁同步电机无电流传感器鲁棒控制[J].微特电机,2022,50(03):38-45.

[5]陶涛,赵治华,李阳,郑云波.基于新型PCB罗氏线圈的短时缓变大电流传感器[J].船电技术,2022,42(03):1-4.

[6]纳芯微推出全新高隔离、带过流保护功能芯片级电流传感器——NSM2015/NSM2016系列[J].世界电子元器件,2022(03):32-34.

[7]刘腾飞,田艳军,姜玉霞,王毅,李赢正,张鹏.基于有源阻尼电流观测器的并网逆变器无电流传感器反馈控制[J/OL].中国电机工程学报:1-13[2022-05-07].

[8]郭强,李山,谢诗云,杨奕.多相交错并联DC-DC变换器单电流传感器控制策略[J].电工技术学报,2022,37(04):964-975.

[9]魏彩霞,宋磊,孙业荣,朱培珍,周欣林,郭颖颖.配电变压器低压侧电压不平衡诊断分析[J].变压器,2021,58(08):37-41

[10]李韵豪.铸造工业的感应加热 第十讲 导电坩埚感应熔炼电炉的设计与感应器参数的计算[J].金属加工(热加工),2020(10):101-114.