

有源电子式电流互感器中高压侧电路的供能方法

钱 政

(北京航空航天大学自动化学院, 北京 100083)

Power Supply for High Voltage Circuit of Active Electronic Current Transformer

QIAN Zheng

(School of Automation, Beihang University, Beijing 100083, China)

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。

关键词: 电子式电流互感器; 有源式; 供能方法

中图分类号: TM452.93 **文献标识码:** A

Abstract: Electronic current transformer is highlighted in the research of current measurement at electric power system. How to energize the active electronic current transformer at high potential side is the key problem to investigate. In this paper, the situation of electronic current transformer is summarized, and the power-supply problem of it is discussed. Then some useful conclusions are gained according to the results of discussion.

Key words: electronic current transformer; active; power supply method

1 引言

随着电力工业的不断发展及电网电压等级的不断提高,对高电压、大电流的测量要求也在不断提高,互感器的绝缘问题日益突出。对于传统的电磁式电压、电流互感器来说,由于绝缘成本随着绝缘等级的升高呈指数增长,因此原有的空气绝缘、油纸绝缘、气体绝缘和串级绝缘已经不能满足超高压设备的绝缘要求,而且传统的电压、电流互感器存在磁饱和、铁磁谐振、易燃易爆及动态范围小等问题。于是,各种旨在解决超高压绝缘问题的测量方法应运而生,国际电工委员会通过对这些方法的统计分析,提出了电子式电压、电流互感器的概念^[1,2]。

依据国际电工委员会的标准,电子式互感器可以分为有源式和无源式两种。具体来讲,无源式是指传感头部分采用先进的光学传感原理,并通过光纤将信号传送到低电位侧的电子式互感器。由于传感

器输出信号本身就是随着被测量变化的光信号,因此不存在设计高压侧电子电路的问题,相应的也不会有电路的供能问题。而有源式则是指传感头部分采用传统的传感原理,仅利用光纤传输数据的电子式互感器,由于光纤只能够传输数字信号,所以必须在高压侧对传感头的输出信号进行模拟量与数字量的转换,这就势必要设计相应的电子电路,因而也就带来了电路的供能问题,这是有源式互感器研究中的难点和关键技术。已有多种方法被研究人员提出,而且有些已经有了商业化的产品,但这并不能说明该问题已经得到解决,因为即使已经商业化的产品也仍然存在不足。

2 有源电子式电流互感器的基本原理

典型的有源电子式电流互感器的基本原理见图1,它分为高压侧电路、低压侧电路以及光纤传输3个模块。其中,高压侧电路的作用是将传感元件的输出信号进行模拟量与数字量的转换,以方便利用光纤进行信号的传输,而低压侧电路的作用则是将光纤传送下来的信号进行处理,并将结果送入相应的测量与继电保护设备。可见,为了确保高压侧电子电路的正常工作,必须提供稳定、可靠的工作电源。图中的虚线给出了几种可能的供电方式,这里采用虚线的目的是说明可能的供电方式有很多种,而在实际应用当中通常是在众多方式中选取某一种。

3 几种供能方法的分析比较

目前常用的供能方式主要有利用电流互感器(CT)或电容分压器从母线上取电能、激光供能、太阳能供电及蓄电池供电等,下面就对这些方法的优缺点进行详细的分析比较。

3.1 利用CT从母线上取电能

利用CT从母线上取电能的典型电路见图2。其

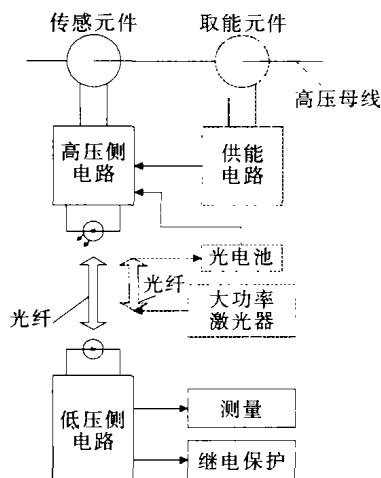


图1 有源电子式电流互感器的原理图

基本工作原理是利用特制 CT 从母线上感应电压，通过整流、滤波、稳压等后续电路处理后，提供给高压侧电子电路所必需的电源^[3]。采用这种方法面临两个困难：当母线电流处于空载等小电流状态时，如何保证电源的正常供应；而当母线处于超过额定电流的大电流状态，甚至是短路故障电流时，又要给予电源板足够的保护。

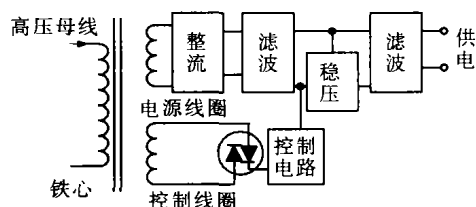


图2 利用 CT 供电的典型电路示意图

文[3]为了解决这些问题，采取了多种措施：一是对 CT 铁心材料进行筛选，选择坡莫合金构造特制 CT；二是设计了相应的控制方案，确保在母线电流变化比较大，尤其是出现大电流的情况下，能够有稳定可靠的电源输出。采取这些措施后，在 3~1 000 A 的电流变化范围内，取得了 5 V 的稳定电压输出。文[4]则选取铁基纳米晶材料构造 CT 铁心，并在过电压防护、能量泄放电路、电磁兼容设计等方面进行了深入研究，能够提供两路 5 V 和一路±12 V 电源，各路电源的纹波均小于 20 mV，提供的总功率为 200 mW，确保了高压侧电路的正常工作。文[5,6]也是基于这种供能方式设计出了相应的电子式互感器样机，取得的效果还是令人满意的。

3.2 利用电容分压器从母线上取电能

利用高压电容分压器取电能的思想类似于 CT 取电能，都是就近取材的想法。其基本电路见图 3。高压电容分压器从母线上取得电能后，也要经整流、滤波、稳压等处理措施，然后才能够给高压侧电路供能。文[7]在这方面进行了细致的研究，通过调整电容 C 的大小来获取不同的电流输出，从而达到设计的功率要求。

采用该方法面临着比 CT 取电能更大的困难，

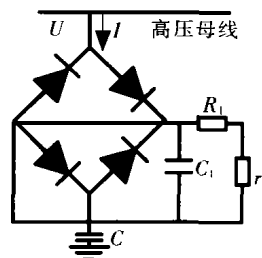


图3 电容分压取电能电路示意图

首先是如何保证取能电路和后续工作电路之间的电气隔离问题，这要求更为严格的过电压防护和电磁兼容设计；其次就是这种方法有着更多的误差来源，温度、杂散电容等多种因素都将影响该方法的性能。因此获取电源的稳定性和可靠性较 CT 取电能方法为差；另外就是采用这种方法得到的功率有限，虽然可以通过改变电容 C 的大小来调整功率输出，但过大的电容将会带来更多的问題。

3.3 激光供能

激光供能的基本原理见图 4，该方法采用激光或其他光源从低电位侧通过光纤将光能量传送到高电位侧，再由光电转换器件（光电池）将光能量转换为电能，经过 DC-DC 变换后提供稳定的电源输出。由于激光二极管的工作原理可以确保光供率在一定的温度条件下的稳定，所以通过光电池转换后得到的电源也相对比较稳定，且电源的纹波也比较小，噪声低，不易受到外界其他因素的干扰。当然，这种方法也存在不足，由于受激光输出功率的限制，特别是光电池转换效率的影响，该方法提供的能量有限，因此对高压侧电路提出了低功耗设计的要求，加大了电路设计的难度。

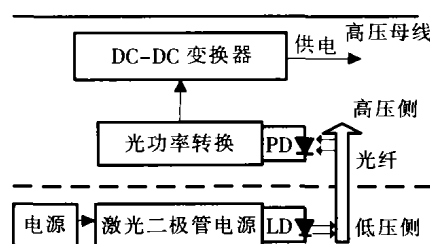


图4 激光供能方法的基本原理

由于该方法的优点突出，因此在诸多供能方法中得到了最为广泛的重视。ABB 公司研制的激光供能电子式电流互感器从 350 kV 到 500 kV 乃至直流都已经在现场运行，激光管的输出功率 1.5 W，寿命 10 万小时^[8]。而在我国则只有西门子公司生产的激光供能式的电子式互感器得到了成功的现场应用，在广州某变流站里已经安全可靠地运行了几年。美国 Photonic Power Systems 公司研制成功的激光供能电子式电流传感器，激光管输出功率为 250 mW，光电池光电转换效率高于 40%。而在激光供能结构的设计上，文[9]进行了细致深入的研究，提出了 3 种设计方案，目前普遍采用的是利用不同的光纤分别传

输数据和能量,而传送能量的光纤数目则可根据要求灵活选取。

3.4 太阳能供电

太阳能电池的多年研究与发展积累下来的经验使得其在有源电子式互感器中的应用成为可能。图5就是其应用示意图,由于太阳能电池 SB 的输出易受光强、外界环境温度变化、季节变化等因素的影响,所以为了获得稳定的电源输出,必须与二次电池 B 构成组合电源系统,防反二极管 D 的作用是防止二次电池对太阳能电池的反向充电。文[10]基于这样的设计实现了对电力系统中大电流的测量,被测电流在 227~500 A 之间时,测量结果的准确度为 1.5%。

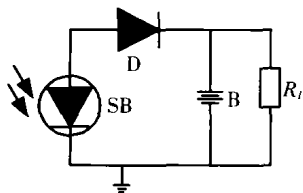


图5 太阳能电池供电电路

采用该方法的不足之处在于电源的不稳定性,这是由太阳能电池固有的缺陷决定的,另外就是太阳能电池的转换效率问题,使得该方法提供的能量有限,从而限制了其应用。

3.5 蓄电池供电

该方法采用蓄电池对高压侧的电子线路进行供电,电池的能量来自高压母线电流,接在母线上的经过特殊设计的电流互感器或电容分压器构成蓄电池的交流充电电源,经过稳压和整流后对电池进行充电。采用这种方法的优点是结构简单、实现起来比较容易,但是蓄电池的寿命比较短,且由于放在高压侧,更换起来比较困难,因此在实际应用当中很少被采用。一般情况下,该供电方式都被用作辅助式电源,文[11]将该方式和 CT 供电相结合对高压侧电路进行供电,在母线电流比较小的情况下启动蓄电池进行供电,两者取长补短,取得了满意的效果。但是采用这样的方法在制造成本及可靠性方面还存在不少问题,因此不应该成为将来的发展方向。

4 几个问题的讨论

4.1 已有供电方法的改进

这里主要讨论有实用化前途方法的改进,也就是说对 CT 供电方法、激光供电以及太阳能供电方法的改进。对于 CT 供电方法来讲,努力的方向是确保该方法有尽可能宽的工作电流变化范围,为此将研究重点放在铁心材料的改进上,坡莫合金、微晶合金等饱和磁感应强度低、导磁率高的材料受到了青睐,取得的成果也令人鼓舞。研究成果表明已经可以在 3 A 以上的电流取得稳定的电压输出,基本上能够满足现场应用要求。而对于激光供电方法,一方面

是大功率激光器的研究,另外就是光电池转换效率的研究,这两方面取得的研究成果是可喜的,且已经基本达到商业化的程度,但是有一个问题也还要引起注意——连接两者的光纤材料性能问题,如果其性能得不到提高,则只能通过增加光纤的数目来传输更多的能量,但这样做的成本将有所增加,因此也有研究人员在这方面做了工作^[12]。对太阳能供电方法,虽然目前应用还比较少,但是随着太阳能电池性能的大幅提高,其应用前景也会越来越广阔。目前,普遍使用的太阳能电池的光电转换效率最高为 20%,但是美国的研究人员已经利用太空太阳能电池的研究成果将这个指标提高到了 32.3%,成果喜人^[13]。如果能在太阳能电池输出的稳定性方面有更大的进步,该方法在实际应用当中将会更有吸引力。

4.2 组合供电方式的探讨

鉴于目前所有的供电方法在应用中均存在一些不足,因此组合供电的方法得到了人们的关注。前面已经提到了一些组合供电的方法,如太阳能电池和可充电电池的组、CT 供电和蓄电池的组合等。文[14]采用的是 CT 供电和激光供电的组合。应当说,组合供电方法的初衷是好的,取长补短以提高性能,但是采用这种方法有可能提高制造成本,且在结构的复杂性方面及两种供电方法的可靠切换方面都存在问题,因此只能作为一种过渡方案。随着科学技术的发展以及一些供电手段的日益成熟,这种方案终将遭到淘汰。

4.3 新技术应用的可能

近年来,一些新的供电手段在某些领域得到了成功的应用,从而提供了将其应用于有源电子式互感器的可能。

超声波供电的原理就是利用地面上的超声波振荡器驱动一个与玻璃纤维棒相连的石英传感器,纤维棒的另一端延伸到需要供电的电子线路部分,用一个相同的石英传感器将超声波转换为电能。国外研究人员主要将其应用到微操作机器人领域^[15],已经取得了一些成功的经验。但是应用这种方法存在的主要问题是:超声波设备的造价以及转换器的转换效率,所以这种方法还没有达到真正实用化的程度,仍然需要进一步的研究。

微波输能的研究最早可以追溯到 20 世纪 50 年代,美国空军于 1964 年研制成功 S 波段微波功率驱动的直升机。该飞机通过安装在机身上的整流天线直接从微波波束中提取高频能量,已经可以获得 200 W 的功率^[16]。典型的微波输电系统的结构见图 6。可以看出,微波输能是一种无线输能的方式,由于微波在空气中传输的过程中损耗极小,且无线供电的方式实现简单、方便,因此微波输能的发展得到广泛的重视,其在军事领域的应用已经取得了很有价值的成果,在其他领域的应用也正在进行中。若将其

应用到有源电子式电流互感器,还有几个问题需要注意:一是接收天线的设计问题,特别是在天线面积及其放置方式的设计上,应当避免天线放置方式对绝缘设计的影响;另外就是微波输电是否会对变电站其他设备的正常运行带来干扰信号,尤其是数据通信及继电保护设备的动作方面,更应引起注意。不过由于这种方式输送的能量要远比激光供能的大,所以如能在关键技术问题上取得突破,应用前景还是比较明朗的。

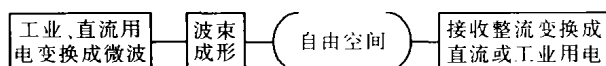


图6 微波输电系统的典型结构示意图

5 结语

(1)电子式互感器是电力系统的发展趋势,经过多年的研究后也取得了丰硕的成果。而随着供能方法的改进,有源电子式互感器的研究得到了更多的重视,实用化前景比较光明。

(2)高压侧电路的供能方式是有源电子式电流互感器研制中的关键技术。通过对已有供能方法的分析比较认为,CT供能、激光供能及太阳能供电方式如能在核心技术上取得突破,将具有更光明的应用前景。而在新型供能方法的研究上,超声波输电与微波输电方法在很多领域都有多年研究经验的积累,如能在某些技术难点上加以提高,有可能应用到有源电子式电流互感器中。

参考文献:

- [1] IEC60044-7. Electronic Voltage Transformers[S]. 1999.
- [2] IEC60044-8. Electronic Current Transformers[S]. 1998.

- [3] 李英英,朱小梅,纪昆,等.一种应用于高电压侧测量系统中电源[J].高电压技术,2002,28(3):46-47.
- [4] 李澎.光电电流互感器供能电路的研究[D].北京:清华大学,2003.
- [5] N A Pilling, R Holmes, G R Jones. Optical Powered Hybrid Current Measurement System[J]. Electronics Letters, 1993, 29(12): 1049-1051.
- [6] 张冈,李少慧,秦忆,等.一种光电混合式电流传感器[J].华中理工大学学报,2000,28(3):90-92.
- [7] 张曦,张庆伟,张源斌.混合式OCT高压侧电路的供电方式[J].高电压技术,2002,28(12):14-15.
- [8] 申焯.电子式电流互感器数据传输链的研究[D].北京:清华大学,2002.
- [9] T C Banwell, R C Estes, L A Reith, et al. Powering the Fiber Loop Optically—A Cost Analysis [J]. Journal of Lightwave Technology, 1993, 11(3): 481-494.
- [10] 张培铭,张泳.太阳能微功耗光纤传感式电流互感器[J].光电工程,1998,25(1):33-38.
- [11] 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.
- [12] 堵久辉,杨义,周桂耀,等.小芯径空芯传能光纤的理论分析[J].光子·激光,2003,14(4):427-429.
- [13] 毛爱华.太阳能电池研究和发展现状[J].包头钢铁学院学报,2002,21(1):94-98.
- [14] E F Donaldson, J R Gibson, G R Jones, et al. Hybrid Optical Current Transformer with Optical and Power-line Energisation[J]. IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., 2000, 147(5): 304-309.
- [15] 朱涛,谈大龙.微操作机器人系统及其关键技术研究[J].组合机床与自动化加工技术,2001(11):33-36.
- [16] 林为干,赵榆深,文舸一,等.微波输电——现代化建设的生力军[J].科技导报,1994(3):31-34.

作者简介:钱政(1973-),男,博士、副教授,主要从事电力设备在线监测、故障诊断、高压测试技术及新型传感器原理方面的研究和应用工作。

会议征文

第12届亚洲放电会议征文通知

第12届亚洲放电会议 ACED'2004(12th Asian Conference on Electrical Discharge)定于2004年11月19~22日在中国深圳召开。会议由清华大学深圳研究生院主办。

ACED'2004会议的工作语言为英语。征文范围如下:

(1)放电、等离子体现象及其应用;(2)输配电线路外绝缘及合成绝缘子技术;(3)电磁场的计算、测量及对环境的影响;(4)空间电荷、介质测量及其在工业上的应用;(5)高电压检测技术及故障诊断和在线监测技术;(6)智能系统在高电压工程中的应用;(7)其它相关问题。

论文作者请于2004年5月30日前向ACED'2004秘书处提交一份300字左右的英文论文摘要,经专家评审后于2004年6月30日前通知作者论文是否被会议录用。录用的论文作者需按会议要求的论文格式于2004年8月31日前提提交论文全文。

有关ACED'2004会议的详细信息可登录会议的网站(<http://aced2004.tsinghua.edu.cn>)查询,也可与会议秘书处联系(邮编:100084;地址:中国北京清华大学电机系ACED'2004秘书处;联系人:时卫东;电话:010-62772122-2;电子信箱:aced2004@mail.tsinghua.edu.cn)。