

电子式电流互感器高压侧自励源供能方法研究

刘忠战

(西安华伟光电技术有限公司, 陕西 西安 710118)

Research on Self-excitation Power Supply from High Voltage side of Electronic Current Transformers

LIU Zhong-zhan

(Xi'an Huawei Optic Electric Technology Co. Ltd., Xi'an 710118, China)

摘要:介绍了一种直接从高压母线获取工作电源的电子式电流互感器结构方案,讨论了‘自励源’设计中的若干问题及应对策略,提出磁场取能方案中的限流‘漏斗结构’,给出了整机实验结果。

关键词:自励源; 磁场取能; 电子式电流互感器

中图分类号: TM452.93 **文献标识码:** A

Abstract: In this paper, the electronic current transformer structure with getting power supply directly from high-voltage-line is introduced. Several problems and countermeasures about the design of ‘self-excitation power supply’ are discussed. The ‘funnel structure’ (limit current) in taking energy from magnetic field scheme is put forward, and the experimental results of the system are provided.

Keys words: self-excitation power supply; energization from magnetic field; electric current transformer

1 引言

采用光纤传输作为一、二次绝缘隔离的电子式电流互感器,除以法拉第磁-光效应为基础的无源光学传感器外,以霍尔器件、罗柯夫斯基线圈及低功耗CT等作为一次传感器的ECT均属有源式结构,所谓有源,是指处于高电位的传感电路必须有稳定的直流电源支持才能正常工作。

国内外大量研制实践证明:与无源式结构相比,有源式结构易于实现产品的高精度和高稳定,便于零部件的标准化和产业化,所以是目前业界普遍认同的一种结构方案。但是一次侧电源的获取方法却是研制中最大的技术难题。为此,曾设想了很多种取能或送能方案,但大多数方案目前只能是一种试验装置,有的甚至增加了使用和维护的难度,不可能最

终成为一种可靠的工业产品^[1-2]。依靠电磁感应直接从待测高压母线获取能源的方法是最早出现在教科书上的‘就近取能’方法,由于取自测量对象,用于测量对象,因此称为“自励源”。由于在高压侧就近取能,电位悬浮于高压侧,所以该方式曾被认为是最简单可靠的方法。近10年的实践表明,由于材料、技术等条件的制约,此简单方案也要面对诸多技术难题,以至于人们不得不采用激光、微波等更为复杂昂贵的‘隔离送能’方案。近年来,随着特种导磁材料的出现,从电磁场截取能量变得更加容易,低功耗器件的不断出现也使得传感电路功耗越来越小(现已降至数毫瓦级),这为实现真正意义上的自励源结构铺平了道路。由某公司研制的一种完全依靠“自励源”工作的光隔离电子式电流互感器(以下称:ZLY_ECT),其自励源技术及整机性能指标已经达到了实用要求。笔者将讨论自励源方案中面临的几个问题及解决方案,辅以部分实验结论。

2 电磁场取能方式比较

电磁场储能规律可由式(1)、式(2)表述如下。从高压母线直接获取能量的途径有两种,即:电场取能和磁场取能。

$$W_e = 1/2(D \times E \times V) = 1/2(C \times U^2) \quad (\text{MKSA制}) \quad (1)$$

$$W_m = 1/2(B \times H \times V) = 1/2(L \times I^2) \quad (\text{MKSA制}) \quad (2)$$

其中: W_e 为电场储能; W_m 为磁场储能; D 为电位移矢量; B 为磁感应强度; E 为电场强度; H 为磁场强度; V 为包容的内场体积; L 为电感量; C 为电容量; I 为电流; U 为电压。

上两式表明,母线环周围存在的电磁场能分别由电压、电流以及包容区域内的介质特性所确定,在输电线路,电压是相对稳定的,而电流是大范围变

收稿日期:2005-10-10; 修回日期:2005-11-02

作者简介:刘忠战(1947-),男,高级工程师,长期从事光电测控技术研究。

化的,所以相对于 W_e, W_m 是不稳定量,这就决定了两种不同特点的取能方式。

(1) 电场激励型

在高压母线环周围存在径向分布的交变电场,依靠环周空间分布电容或对地电容,可以截获一定的电场能量,见图 1。该能量可按电场储能公式(1)的后项 $1/2(U^2C)$ 进行估算。在交变电场中,若 U 取有效值,可估算出 W_e 有效值,输出一般小于储能容量的 1/2,与电路阻抗匹配设计有关。

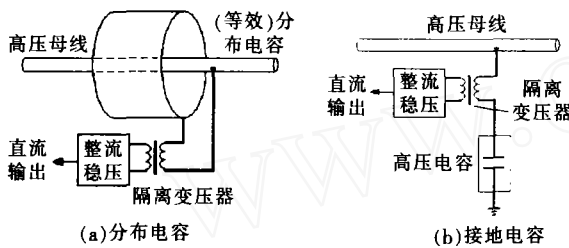


图 1 电场取能示意图

在额定条件下,能量主要取决于电容 C 的大小,一次电压是相对稳定的,所以电场激励电源的输出也是稳定的,这是该方案的优点。其制作难点在于:①接地电容必须考虑爬、漏电,应妥善解决均压、密封、绝缘等问题^[2];②用空间分布电容取能效果微弱,易受周边物体及大气环境的影响,必须有足够大的极板尺寸才能满足取能要求,因而外形大,不易安装;③一次短路瞬间,电压大幅度降低,电场激励取能效果随之降低,甚至不能工作。

(2) 磁场激励型:磁场储能规律见式(2)。为了在小电流下尽可能提高取能效率,须在母线外套放环形导磁体以增大电感 L 值,见图 2。磁场取能的优点是:不存在一次短路时取不到能量的问题、体积小、结构紧凑、绝缘封装简单、使用安全。设计难点在于母线电流不是稳定值,且变化范围非常大(数万安培),因而外磁场有效值也随时在改变,取能装置必须同时兼顾最小、最大两种极限条件,后续处理电路应有保护功能^[3],以保证自励源有相对稳定的输出,不出现过压、过热现象。

综上所述,两种取能方法各有其优缺点,从产品结构的安全、可靠性观点出发,采用磁场取能方案比较理想,这也得益于材料、元件、工艺的不断改进,磁场取能设计上的技术难点已被逐一克服。

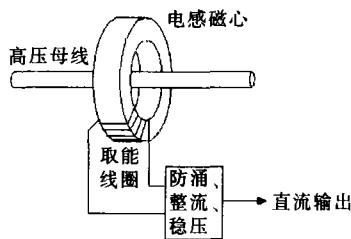


图 2 电感取能示意图

3 磁场取能的若干技术措施

磁场激励自励源设计要解决以下各点:

3.1 激发电流

针对自励源式结构,IEC60044-8 标准^[4]规定了激发电流为:使采样变送电路进入工作状态的最小一次电流,也标志着仪表测量所能达到的下限值。尽量减小激发电流是设计者追求的目标,可以从两方面着手,①提高取能装置的小电流灵敏度;②减小采样变送电路的启动功耗。由式(2)可见,在一次电流、匝数、磁通面积不变的条件下,提高初始磁导率 μ_0 是唯一有效的方法。由磁体磁化曲线(图 3)可见,在弱磁场(图中 $0 \sim H'$ 段)作用下,磁感应强度 B 增量主要取决于磁材料的初始磁导率 μ_0 ,由图 3 可以看出:传统导磁材料(如硅钢片/功率铁氧体)的饱和磁通密度虽较高,但初始磁导率 μ_0 值比较低,而现代新纳米晶磁材料的初始磁导率提高了约 40 倍(铁基微晶: $4 \sim 8 \times 10^4$,硅钢片约 10^3)。实验表明:一个优化设计的微晶材料自励源(导磁截面: 4 cm^2),取能效果可以达到 0.6 A 电流条件下获得 30 mW 以上取能效果。增大导磁面积,取能效果会有相应的增加,但在大电流时高压冲击会更强烈,所以导磁面积应选择适度。激发电流降至几百毫安,已经满足了实用要求。据统计,大多数线路即使在空载状态也约有 1 A 的(容性或感性)电流,这就是说,当激发电流降至 1 A 以下,ECT 即使在空载线路上也能正常测试并发送测量信号,无需其他辅助供能措施。ZLY_ECT 样机采用上述取能方案,实测激发电流仅为 0.588 A,而采用 6 cm^2 截面微晶环,激发电流甚至小于 0.4 A。

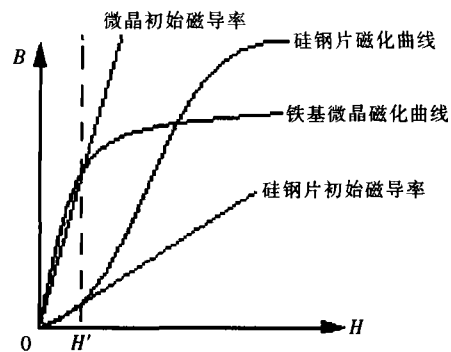


图 3 磁化曲线比较

3.2 饱和大电流

随着一次电流的增大,取能线圈电流相应增大(类似电磁式 CT),多余的电流(能量),可采用“放”和“限”两种对策,文[1-3,5]论及“放”的诸多方法,但实验范围仅限于一次电流 1 000 A 以内;且大电流需配合强制散热措施;低端仍有 3 A 以下的测量死角;采用可控硅、IGBT 等功率器件会增加电源的自耗;不利于降低激发电流。泄放或斩波稳压都将产

生较强的纹波,所以作为一种实用方案仍有欠缺。ZLY_ECT采用了“限”方案,即采用一种特殊设计的限流组件 DLT-15,接在线圈输入端,其原理及配置见图4,该组件具有‘漏斗’效应,其功能是:①取能线圈电流较小时,DLT-15 组件呈零阻抗通道,即所谓低通。②取能电流大于取能上限时,阻抗按指数规律急剧上升,即所谓高限;③限流必然引起磁饱和而产生高压尖脉冲,前端组件有快速吸收尖脉冲功能,使输入端电压峰值限定在 100 V 以内,‘漏斗’的输出保持小于 10 V/15 mA,后续采样、变送电路可以在一个净化的电源环境下工作,以利于保证测量准确度;⑤当输出电压高于 10 V,则旁路溢出开关自动打开,向蓄能电池充电,在欠压和短期断电情况下,蓄能电池自动投入供电。

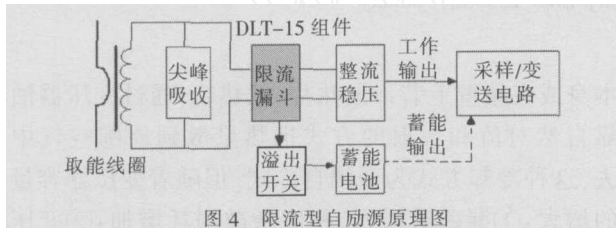


图4 限流型自励源原理图

取能电感的体积应当适当减小(该例用 3.5 cm² 截面微晶环),这样即使饱和,冲击电压能量小,易于吸收或耗散。图5为限流漏斗对能量的分配关系。“限”的方法实际上使取能电感大多数时间处于饱和状态,不能通过漏斗的多余能量最终以铁损的形式耗散,由于低频条件下微晶材料铁损极小,所以由无源器件构成的限流漏斗效应可保证在数万安电流范围,自励源装置无发热器件,可以常年安全稳定运行。

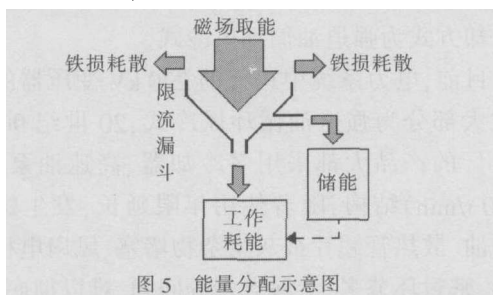


图5 能量分配示意图

DLT-15 组件所呈现的低通、高阻效应是由较为复杂的非线性无源器件组合实现的,此处不再详述。需要说明,在试验室条件下,当取能装置是一次回路的主要负载时(一般用升流器作为实验电源),这种非线性取能会引起一次电流的波形畸变,有文献称这一现象是测量误差,实乃误解。波形出现非线性失真真是非线性取能的真实反映,但这一现象并不影响

互感器在真实电网上的使用,因为真实电网的电流是由用户负载决定的,数十毫瓦的取能对整个回路的影响可以忽略。

3.3 激发时间

所谓激发时间被《IEC60044-8》^[4]定义为:一次回路带电后,ECT 进入工作状态需要的时间。要求这个时间越短越好,对于长期不带电的线路,首次带电后自励源整流稳压过程一般会有 20 ms 以上的延迟,这对于一般的测量和稳态保护并无影响。对于要求激发时间极短的某些应用,由于自励源有自动储电功能(电容、电池充电),可以保障 ECT 在线路开断、重合闸期间处在工作状态,(根据需要可维持几十秒至几十小时)故无延迟问题。对于断电长达数月情况,可采用掉电/休眠技术,用微型蓄能电池维持电路在节电休眠态,大多数低功耗芯片具有此功能,ZLY_ECT 样机采用了休眠管理功能,用 60 mAH 容量微型蓄能电池可维持主控芯片守候时间长达 1 年以上(总体休眠电流:5 μA),这样做的好处是由休眠态进入工作状态仅需几十微秒。从根本上解决自励源激发延迟的缺陷。

4 实测效果

ZLY_ECT 样机采用完全自励源供电系统,已于 2004 年 8 月通过了国家高压电器质量监督检验中心依据 IEC 标准所作的型式试验,其测量准确度达到 0.1 级,保护达 5P20,尤其是自励源供电系统在测量、保护全量程范围性能稳定可靠,自动适应“取、用、储、放”不同工作模式,激发电流为 0.588 A,动、热稳定电流 63 kA/25 kA,大电流条件下,自励源电路连续温升不超过 5℃(无散热器)。

由此可见:随着自励源供电方案的不断完善,将为光隔离、电子式电流互感器最终进入实用奠定技术基础。

参考文献:

- [1] 王海明, 郑绳植. 电子电流互感器高压侧电源方案研究[J]. 电力电子技术, 2004(7): 72-74.
- [2] 钱政. 有源电子式电流互感器中高压侧电路的供电方法[J]. 高压电器, 2004, 40(2): 135-138.
- [3] 王政平, 康崇. 有源型光学电流互感器研究进展[J]. 激光与光电子学进展, 2004(10): 34-38.
- [4] IEC60044-8. Electronic Current Transformers[S]. 2002.
- [5] 李英, 朱小梅, 纪昆, 等. 一种应用于高压侧测量系统中电源[J]. 高电压技术, 2002(3): 46-47.

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎评刊! 欢迎刊登广告!