

光电电流互感器高压端供能电源的设计

唐旭晖, 完保娟, 张景超, 王玉田

(燕山大学测试计量技术及仪器河北省重点实验室, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 光电电流互感器(简称 OECT)在电力系统中具有广泛的应用前景,但为其高压端供能的电源是研究的难点,一直制约着有源电流互感器(CT)的应用。在此,设计了一种改进的供电方案——交直流结合供电方案,即小 CT 母线电流取能和储能电池相结合供电。介绍了该方案的供能原理,并进行了具体的设计和实验。实验证明,该电源方案能在母线电流很小或断电的情况下为高压端提供不小于 540 mW 的功率,而且能在大电流情况下,提供稳定电压,保护后续变换电路,有效解决了母线取能供电存在的技术难点。

关键词: 电流互感器; 电源; 变换器; 电池

中图分类号: TM452

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)04-0123-03

Design of Power Supply for Optical Current Transformer in High Voltage Side

TANG Xu-hui, WAN Bao-juan, ZHANG Jing-chao, WANG Yu-tian

(Measurement Technology and Instrumentation Key Lab of Hebei Province, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: The optical current transformer has the widespread application prospect in the electric power system, its power source in high-voltage side is difficult in the research, which has been restricting the application of the active current transformer. In this design, an improved power supply method is proposed, which adopts the power supply mode of the combination of the line with the battery stored energy. The principle for this supply power is introduced. The idiographic design and experiment are carried out. The experimental results show that the circuit of power can supply about 540 mW for high voltage side, when the current is small or zero. It can also provide the stabile voltage and protect the circuit at the back, when the current in line is large. The difficulties are solved in the power induced from line by CT.

Key words: current transformer; power supply; converter; batter

0 引言

有源型光电电流互感器(OECT)采用先进的光电子技术和现代集成电子技术,易于实现产品的高可靠性、高精度和高稳定性,便于零部件的标准化和产业化,所以受到许多研究者的关注^[1]。但因采用光纤传输,使高低压绝缘隔离,在高低压之间没有任何电磁联系,因此如何向高压侧电路供电就成为一项关键技术^[2],也是研制中的技术难点。虽然已有有源 ECT 的商业化产品,但供电中的死区问题并未完全解决,仍然存在小电流或欠压时高压电子线路无供电的问题。目前常用的供能方式主要有母线电流取能供电、电容电流取能供电、激光供电。从产品结构的安全、可靠性、成本出发,采用母线取能供电方式

较理想,为解决母线供电方式的死区问题,提出了交直流结合供电方案,该方案为母线取能和储能电池供能相结合的供电方案,其中母线取能的来源为交流电,而储能电池直接提供直流电。

1 交直流结合供能原理

在交直流结合供电,即小电流互感器(CT)母线电流取能和储能电池相结合的供电方案中,小 CT 母线电流的取能来源为交流电,而储能电池直接提供直流电。该供电方案主要通过磁场取能,即母线,也即初级侧从一个磁感应线圈中心穿过,通过磁场产生的能量在磁感应线圈的次级侧产生感应电压,再经过整流、滤波和电源变换转换成所需的电压;但因外磁场的有效值随母线电流变化,当母线电流正

收稿日期:2009-03-16; 修回日期:2009-09-02

基金项目:国家自然科学基金资助(60977061)。

作者简介:唐旭晖(1963),男,副教授,博士研究生,主要研究方向为传感器网络及信号处理、电力故障诊断技术。

常或出现大电流时,对后续电路进行稳态保护,以提供稳定电源,满足高压侧电路的需要,一方面向高压端电路提供电源,一方面向锂离子电池充电;当母线电流很小或断电时,磁场取能小,无法满足高压端电路的需要,这时会转向锂离子电池,即储能电源供电。图1示出系统框图。

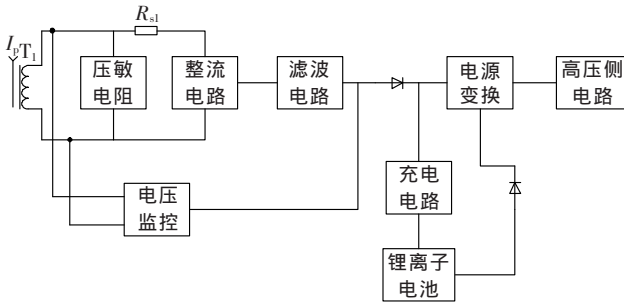


图1 母线取能和锂离子电池相结合的供电方案原理图

2 交直流结合供电方案

2.1 小 CT 母线电流取能部分设计

2.1.1 磁感应线圈设计

由于铁心处于非饱和段,即处于磁化曲线的线性段时,次级电压 u_1 随初级电流 i_p 变化比较明显。当 i_p 较大时,铁心处于饱和状态,此时 e 畸变成脉冲波,但其在半周内的伏秒值基本保持不变。从而使 u_1 的平均值变化较小。经整流滤波后直流电压的变化也较小,通过稳压后即可为后端电路供能。在系统短路时,暂态短路电流可能会远远超过额定电流 i_e ,但暂态电流中含有很大的直流分量,引起铁心饱和,铁心中的磁通量变化并不大。故次级感应的电动势不会太高。鉴于此,设计磁感应线圈工作于饱和区以限制大电流^[3]。

恒流源作为母线取能装置需兼顾最小启动电流和饱和大电流两方面来设计。为了减小最小启动电流 i_s ,可通过提高恒流源的小电流灵敏度。随着磁材料的进一步改进,目前新纳米晶磁材料比传统磁导材料的初始磁导率提高了约40倍,使减小启动电流 i_s 成为可能。采用铁基纳米晶铁心(相对磁导率 $\mu=4 \times 10^4 \sim 8 \times 10^4$),可进一步调整导磁面积,选择合适匝数,改变 i_p ^[4]。如何选择匝数是供能部分所需解决的重要问题,须通过供能部分带负载实验来选择,负载为高压侧测量电路板,表1示出磁感应线圈次级主绕组匝数与母线最小 i_s 和输出电压 u_0 的关系。可见增加磁感应线圈次级主绕组的匝数,可减小电源的最小 i_s 。当磁感应线圈匝数为60时,最小 i_s 可达5.5 A。

表1 磁感应线圈次级主绕组匝数与最小 i_s 的关系

次级绕组匝数	i_s/A	变化单元为5V时的 U_0/V
54	12.5	4.855
55	9.0	4.857
56	7.6	4.857
57	6.4	4.858
58	5.8	4.860
59	5.5	4.861
60	5.5	4.862

2.1.2 整流滤波电路

整流桥器件的反相耐压要大于特制线圈最大输出电压的峰值,同时选用正向压降比较小的肖特基二极管,以保证在母线小电流情况下,因整流桥正向导通压降而损失掉的电压尽量小。经过器件选择,最终采用 MBR20200 构成整流桥。滤波部分比较了电容滤波,LC 滤波,pi 型滤波三种电路,通过实验得出:电容滤波的能量损耗最小,并且当电容容量足够大时,三种滤波电路滤波后所得电压的纹波相差不多。因此最终设计方案中采用了大电容滤波的方案。

整流、滤波、保护及能量泄放电路的整体设计见图2。

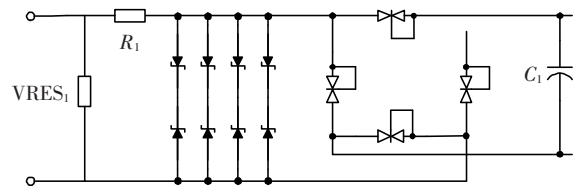


图2 整流、滤波、保护及能量泄放电路

2.1.3 电压监控保护电路

当铁心进入饱和状态后,主磁通仍会随 i_0 的增加而小幅增大,经整流后的电压以较慢的速度上升,为满足后续 DC/DC 变换电路输入端的需要,特设计了一个补偿线圈,以抵消部分 i_p ,降低铁心的磁通量。进而降低在大电流情况下的次级感应电压。该电路的核心器件是继电器,线路过流时,铁心饱和,感应出来的电压也比较高。当滤波电压为40V时,继电器输入电压为5V,继电器闭合,补偿线圈投入,反向励磁,降低铁心中的磁通量,限制电压的进一步上升,进而保护 DC/DC 模块。

2.1.4 稳压 DC-DC 转换电路

第1级 DC-DC 用 Lm2585T-5.0 及外围电路把滤波后的电压转换为共地的+5V、±12V 三路电压;第2级 DC-DC 通过 5S5-100 把第1级的+5V 转换为与它不共地的另一路+5V,见图3。

2.1.5 保护和能量泄放电路

当发生雷击或线路出现短路大电流的瞬间,铁

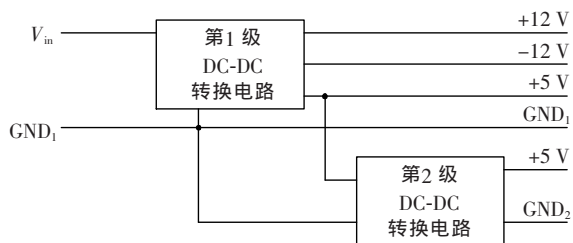


图3 DC-DC电路

心会感应一个很高的冲击电压,这对后端电路极为不利,为了保护后端线路,在线圈两端接一个瞬变抑制二极管(TVS),以限制感应线圈输出的冲击电压。瞬变抑制二极管(TVS)具有响应速度快、瞬态功率大、漏电流小的特点,它能够在雷电冲击时以 10^{-12} s量级的速度将两极的高阻抗转变为低阻抗,使两极电压钳位在选择值上,吸收掉浪涌功率,避免因雷电冲击造成电源电路损坏。

2.2 储能电池部分的设计

对密封铅酸蓄电池、镍铬碱性蓄电池、镍氢电池、锂离子电池等不同类型免维护的充电电池特性进行研究对比后,考虑到锂离子电池的寿命长,充放电次数达500~1000次。即使在大功率下高频度地使用,其循环寿命亦大大高于镍镉、镍氢电池,而且没有记忆效应,可随时补充,能充分发挥电池的效

能。比容量和体密度都高,工作环境温度 $-30\sim 75\text{ }^{\circ}\text{C}$,自放电小。但它不适合持续大电流的放电使用,而适合在持续供电电流小的互感器高压端电路中应用^[5]。为满足高压电路的需要,选用两节额定电压为3.7V,容量为2100mA·h的锂离子电池作为辅助储能电池^[6],其放电速率为0.0238C,一次可连续工作176h,寿命长达10a,充电速率为0.31C。

鉴于对锂离子电池的维护,利用TI公司的BQ24008芯片设计组成电池自动管理电路,见图4。它是一种新型锂聚合物电池充电控制器。特别适合于集成度高、电路板空间有限的场合。由充电控制单元、充电时间控制和显示逻辑单元、振荡器、电压调节器、温度开关等功能电路构成。分3个阶段给电池充电:首先是预充电阶段,如果电池电压低于内部电压阈值,采用涓流充电方式对电池进行充电。其次是恒流充电阶段,在预充电结束后,进入恒流充电阶段。充电电流值由一个外部分流电阻给定,恒流充电阶段一直持续到电压达到充电稳压电压为止。第3阶段是恒压充电阶段,在恒流充电阶段结束后,进入恒压充电状态,直至充电结束。当电压小于6.18V时,预充电电流为充电电流的10%;当电压达到6.18V后,开始0.65A恒流充电直至电压达到7.6V进入恒压充电;当电压低于7.4V时,自动投入充电。

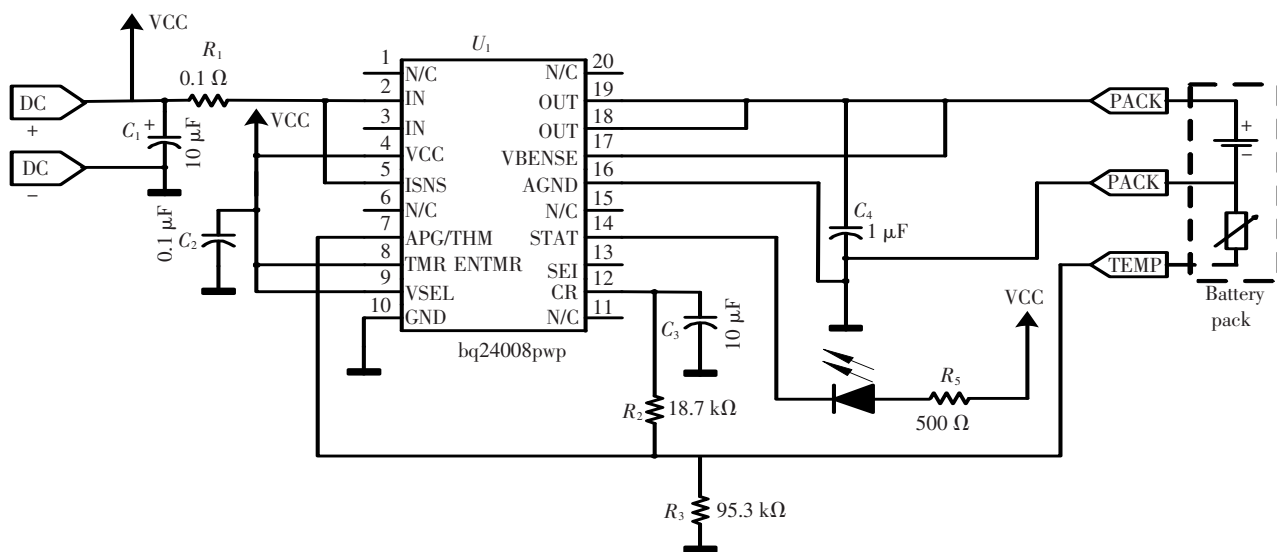


图4 电池自动管理电路

3 整体实验结果

在带负载(高压侧测量电路板)情况下,当母线电流在0~1120A范围时,锂离子电池与CT结合供电,解决了CT取能供电存在的死区问题,供电电路能提供稳定的输出,具体数据见表2。

4 结论

提出了小CT从母线上取能和锂离子电池结合供电方案。采用补偿绕组,有效降低了初级大电流时对电源的影响;利用锂离子电池,解决了母线电流

(下转第129页)

在电力系统中,各次谐波成分并不是固定不变的,各次谐波的幅值和初相位是不确定的,国标规定电网中的谐波电压幅值必须控制在5%以内,但对各次谐波电压的初相位没有具体的规定^[10],由表1和表2可以看出,当三次谐波电压初相位在0~180°之间变化时,修正后的改进补偿法与修正前相比, i_r 的误差变化不大,而 i_{3r} 的误差减小了一半。比如,当 $U_3=5\%U_1$,初相位为180°时,修正前 i_r 的误差为6.96%, i_{3r} 的误差为55.56%,修正后 i_r 的误差为6.96%, i_{3r} 的误差为28.28%。由此可见,修正后的改进补偿法有效降低了三次谐波阻性电流的误差,主要原因是修正法补偿的是部分谐波电压引起的谐波阻性电流。因此,改进容性电流补偿法的修正方法具有明显的有效性。

5 结语

由于电网中的谐波分量并不是固定不变的,当其幅值和初相位发生变化时,用改进的容性电流补偿法计算出来的三次谐波阻性电流 i_{3r} 存在较大的误差,有可能引起错误的判断。提出的改进补偿法的修正方法将MOA的非线性电阻等效为一线性电阻 R_1 和非线性电阻 R_2 并联的模型,借助于 R_1 ,补偿了部分谐波电压产生的阻性电流,虽然在求 R_1 时存在

近似,并且谐波电压作用在 R_2 上的阻性电流没有去除,但计算出的三次谐波阻性电流的误差就减小了一半。因此,随着对MOA非线性电阻模型的不断改进, i_r 和 i_{3r} 的误差将会不断减小。

参考文献:

- [1] 赵智大.高电压技术[M].北京:中国电力出版社,2006.
- [2] 陈继东,周龙.MOV老化与受潮特性的实验研究[J].电瓷避雷器,1999(6):30-32.
- [3] 杨培功.ZnO避雷器发生故障的判断方法[J].山西电力,2006(1):61-62.
- [4] 王秉钧.金属氧化物避雷器[M].北京:水利水电出版社,1992.
- [5] 汲胜昌,杨兰均,李彦明,等.在线监测氧化锌避雷器的容性电流补偿法[J].高电压技术,2000,26(4):16-18.
- [6] 王永强,律方成,张柯,等.考虑电网谐波影响的MOA在线检测方法[J].高电压技术,2003,29(9):24-25.
- [7] 谢武超,贾涛.电网谐波对金属氧化物避雷器阻性电流影响的分析[J].广东电力,2007,20(4):43-45.
- [8] ZHU Hanxin,RAGHUVVEER MR.Influence of Harmonics in System Voltage on Metal Oxide Surge Arrester Diagnostics[C]//Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Tokyo,1999:542-545.
- [9] 王雪,莫娟,张冠军,等.MOA新在线检测系统及其仿真[J].高电压技术,2003,29(7):37-39.
- [10] 王文利,李燕青,律方成.金属氧化物避雷器在线检测的改进补偿法研究[J].高压电器,2005,41(3):192-194.

(上接第125页)

表2 实验数据

母线电流	滤波电压/V	输出电压+12/V	输出电压-12/V	输出电压 5/V	输出电压数字 5/V	供电部分
3.5	4.45	11.89	-11.97	5.000	5.002	锂电
4.5	4.62	11.90	-11.98	5.020	5.000	锂电
5.5	5.30	11.93	-11.95	4.862	4.978	母线
6.0	6.00	11.94	-11.94	4.878	4.976	母线
10	7.80	11.96	-11.98	4.878	4.978	母线
100	26.10	12.03	-12.02	5.020	4.976	母线
276	27.80	12.06	-12.07	5.030	4.981	母线
610	37.30	12.14	-12.11	5.062	4.979	母线
1120	40.12	12.19	-2.17	5.060	4.990	母线

很小或断电时死区的问题。实验结果证明了该方案的可行性,采用该方案设计的电源能够在母线断电情况下,为高压侧提供不小于540 mW的额定功率,可以满足传感器电子电路的功耗要求。在线路为1120 A时,供能电源也能正常工作,基本满足了设计要求。该方案可进一步用于OECT中,随着供电方案的不断完善,有源OECT最终会成为实用化产品。

参考文献:

- [1] 廖京生,郭晓华,朱明均,等.用于小电流测量的Rogowski线圈

电流互感器[J].电力系统自动化,2003,27(2):56-59.

- [2] 钱政.有源电子式电流互感器中高压侧电路的供能方法[J].高压电器,2004,40(2):135-138.
- [3] 李鹏.光电电流互感器供能电路的研究[D].北京:清华大学,2003.
- [4] 李芙蓉,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):51,52.
- [5] 王海明,郑绳植.锂离子电池在有源型光纤电流传感器中的应用[J].电工技术,2004(3):66,67.
- [6] 王海明,郑绳植,刘兴顺.锂离子电池的特点及应用[J].电气时代,2004,(3):132-134.