

文章编号: 1001-1609(2007)01-0021-04

一种高压侧自具电源的设计

沙玉洲^{1,2}, 邱红辉¹, 段雄英¹, 范兴明¹, 董华军¹

(1. 大连理工大学电气工程与应用电子技术系, 辽宁 大连 116024; 2. 大连第一互感器有限责任公司, 辽宁 大连 116200)

Design of Self-supplying Power Source Applied in High Voltage Electronic System

SHA Yu-zhou^{1,2}, QIU Hong-hui¹, DUAN Xiong-ying¹, FAN Xing-ming¹, DONG Hua-jun¹

(1. Department of Electrical and Electronic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;
2. Dalian NO.1 Instrument Transformer Co. Ltd., Dalian 116200, China)

摘要: 介绍了一种应用于高压侧电子装置中的电源方案: 通过一个特制的电流互感器(CT), 直接从高压侧一次母线电流获取电能, 凭借在 CT 和整流桥之间串联的一个电感, 大大降低了施加在整流桥上的感应电压并限制了 CT 的输出电流, 起到了稳定电压和保护后续电路的作用, 成功地解决了高压侧有源电子设备的电源问题。

关键词: 自具电源; 特制 CT 供电; 高压侧供电; 电感限流
中图分类号: TM83 文献标识码: A

Abstract: This paper introduces a design of power supply source applied in high voltage electronic system. The energy is obtained directly from the power line by some tailor-made current transformer (CT). By setting an inductance in series with the CT and the rectifier bridge, the voltage on the rectifier is reduced to the acceptable level and the output current from the CT is also limited to very small. Thus, the inductance helps steady the voltage and protects the follow circuit. It can resolve the problem of power supply in high voltage electronic instrument.

Key words: self-supplying power source; power supplies on tailor-made CT; power supply in high voltage; current limiting by inductance

0 引言

目前, 国内许多单位都对高压侧电子装置, 如电子式电流传感器(光电互感器)^[1-2], 断路器操动机构^[3]、温升监测装置^[4-5]等的电源供给问题进行了研究, 并取得了一定的成果, 比较成熟、可靠的方案是蓄电池、激光供电和特制电源 CT 供电。笔者研究了在成本方面有较大优势的电源 CT 供电方案。系统设计中, 电源取自特制的穿心式电流互感器(电源 CT), 由于能量完全由高压侧一次母线电流通过电

源 CT 的电磁感应产生, 故可称之为高压自具电源。自具电源能够在给高压侧电子装置可靠供电的同时, 保证对地的可靠绝缘。

1 电源工作原理

高压侧一次母线电流的情况非常复杂, 电流最低可能只有几安, 而发生短路故障时暂态电流可能达到数十千安。该电源设计的难点主要在于: 母线电流处于接近空载的小电流状态时, 要尽量保证电源的供应; 而当母线电流处于超过额定电流很多的大电流状态, 如短路故障状态时, 要给予电源足够的保护, 并能保证电源供应。因此, 设计工作主要集中在将一个较大范围内变化的电流转化为一个恒压源。

为了限制电源 CT 在大电流状态下的电压和电流输出, 可采用反馈控制方式^[6]或直接限制方式^[7]。笔者提出了一种更简单、更可靠的直接限制方式-平波电抗限制方式, 它利用电源 CT 的饱和特性, 把母线上几安到十几千安的电流转换为 7~60 V 的电压能量。

自具电源原理见图 1, 其中: I_p 为母线电流; CT 为特制电流互感器; N_2 为 CT 二次匝数; L 为平波电抗; C 为稳压电容。

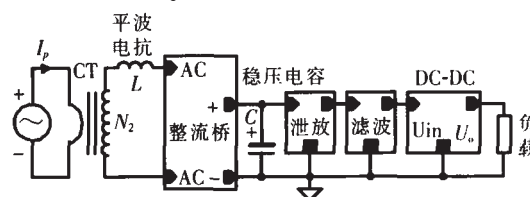


图 1 自具电源工作原理图

电源 CT 直接从一次电流中感应出交流电压, 通过平波电抗、全波整流转换后, 在稳压电容 C 上得到较稳定的直流电压 U_c , 再通过 LC 滤波和

收稿日期: 2006-04-27; 修回日期: 2006-05-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(50447006)

作者简介: 沙玉洲(1969-), 男, 辽宁省大连人, 工程师, 主要从事互感器设计工作。

DC-DC 模块转换成 5 V 的电源, 供设备中电子电路使用。在 CT 深度饱和状态下, 感应电压和感应电流都大幅度上升, 在图 1 中 CT 和整流桥之间的位置加入平波电抗 L, 可以分担绝大部分 CT 感应的高电压, 并限制 CT 的电流输出。

2 电源参数设计

2.1 电源 CT 铁心材料的选择

对于给定的负载, 保证电源工作的最小母线电流称为电源的启动电流 I_s 。在 CT 铁心材料的选择过程中, 首先要考虑使自具电源的启动电流尽可能小, 例如, 在电子式电流互感器的应用中, 要求电源的启动电流为几安。因此要求选用高磁导率磁性材料, 有利于提高启动电流状态下的功率输出。

同时, 母线电流在大到数十千安的状态下, 铁心要在尽可能小的电流下达到饱和, 进而抑制电源 CT 的功率输出, 因此要选用饱和磁感应强度较低的铁心材料。

根据以上原则, 可选择磁导率高, 饱和磁感应强度低的坡莫合金 1J85 作为 CT 铁心。

2.2 线圈匝数

从电磁感应原理可以得出, 铁心体积越大, 启动电流越小。但是, 单纯增大铁心体积会带来成本和重量的增加, 因此要选择最佳的线圈匝数 N_2 使电源的启动电流最小。以电阻作为负载, 测得不同匝数、负载下的启动电流, 并对结果进行分析来确定线圈的最佳匝数。

图 2 为以 40 Ω 电阻作为负载, 在 DC-DC 降压模块输出 5 V 电压条件下的实验结果。从结果可以看到: 在给定的负载和铁心尺寸条件下, 电源的启动电流与二次匝数有关, 在该负载下, 最佳匝数在 45~50 之间; 匝数太少, 会使启动电流急剧增加, 这主要是启动状态下铁心已经饱和的缘故。

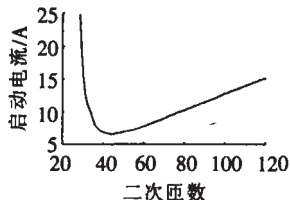


图 2 启动电流与二次匝数的关系曲线

在给定的匝数条件下, 电源的启动电流与负载有关。图 3 为二次匝数为 50 匝和 90 匝时的启动电流-负载关系曲线, 两条曲线交点的左面部分表示: 在负载较小、要求输出功率较大的场合, 较高的匝数有较低的启动电流。

2.3 能量泄放电路

整流电压 U_c 随着母线电流升高而升高, 而整流电压的升高, 使 DC-DC 模块的等效阻抗增大, 进而稳压电容 C 的放电电流减小, 最终使得整流电压上

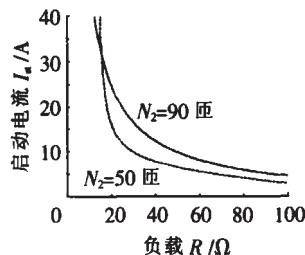


图 3 启动电流与负载的关系曲线

升得更快。为了保护 DC-DC 模块, 必须把整流电压限制在模块技术要求的范围内。采用图 4 所示的泄放能量电路, 当整流桥输出电压较高时, MOSFET 导通, 电路进入工作状态, 多余能量通过大功率电阻 R 泄放掉; 当整流桥输出电压较低时, 电路不工作, 因此不会影响电源启动电流。

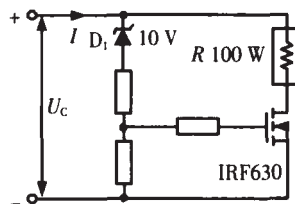


图 4 泄放电路原理图

2.4 平波电抗

平波电抗主要起限流和分压的作用, 保证电源在大电流状态下的正常工作。首先分析电源 CT 可能发生的深度饱和状态^[8]。

为了简化分析, 假设 CT 具有理想的励磁特性: 铁心饱和前, 励磁电流的磁化分量为零; 达到饱和后, 磁通不再增加; 铁心的功率损耗可以忽略不计。通常, 铁心处于未饱和状态, 二次电流的整个半波能正确传变; 如果电流增大, 铁心处于饱和状态, 则二次电流半波只有部分能够被正确传变, 饱和越深, 能被正确传变的部分越短。图 5 为自具电源中 CT 进入深度饱和状态下的波形图, 其中包括母线电流 I_p ,

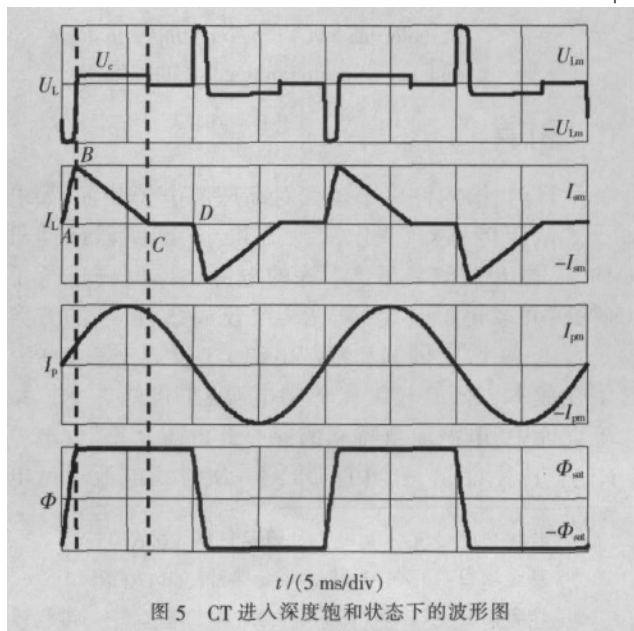


图 5 CT 进入深度饱和状态下的波形图

电抗电流 I_L , 电抗电压 U_L , 铁心磁通量 Φ 。图5中加字母 m 脚标均为所表示物理量的最大值, 波形各段描述如下: ①A-B段: CT 铁心未饱和, 磁通由 $-\Phi_{sat}$ (Φ_{sat} 为 CT 饱和磁通量) 变化到 Φ_{sat} , 一次电流被正确传变; ②B-D段: CT 铁心处于饱和状态, CT 二次电压输出为零; ③B-C段: 电抗 L 上电流在 B 点达到峰值, 而后其中存储的电能通过整流桥释放到稳压电容 C 中, 该段电流曲线斜率不随 CT 饱和深度变化而改变, 电抗上的电压为稳压电容上的电压即整流电压 U_C ; ④C-D段: 电抗中电流在 C 点降为零, 稳压电容提供后端电路能量, CT 一次电流过零后, 磁通开始从 Φ_{sat} 向 $-\Phi_{sat}$ 变化, CT 铁心在 D 点后回到不饱和的状态。

通过以上分析表明: 采用适当的平波电抗可以把二次电流峰值 I_{pm} 限制到几安。理论分析表明, 由于 CT 二次侧整流和稳压电路的反电势的作用, 二次电流 I_{sm} 小于 CT 纯电感负载时的峰值电流, 进而得到: 二次电流 I_{sm} 小于纯电感负载时的峰值电流最大值^[8] $2 \Phi_{sat} N_2/L$, 所以 I_{sm} 满足下式:

$$I_{sm} < 2 \Phi_{sat} N_2/L \quad (1)$$

在图5中, 稳压电容的充电电流平均值与封闭曲线 ABC 的面积成正比。而对于封闭曲线 ABC, 曲线 A 至 B 在深度饱和时接近直线, 所以曲线 ABC 可看作为三角形。其中, AC 长度随母线电流增大而减小, 而三角形的高为二次电流峰值 I_{sm} , 所以封闭曲线 ABC 面积有限。因此, 稳压电容 C 的充电电流平均值不会随一次电流一直增大, 而是趋近于一个最大值。再结合适当的泄放电路消耗掉电容上多余的电荷, 就在稳压电容上获得稳定的整流电压。

平波电抗 L 除了限流作用外, 还起到保护后续电子电路的作用。从图5中与 AB 段同时间的 U_L 波形段可以看到, 较高的二次感应电压绝大部分降落在平波电抗上, 而稳压电容上的电压低得多, 如 BC 段。平波电抗两端的理论最高电压为^[8]:

$$U_{Lm} = I_{pm} L_s/N_2 \quad (2)$$

可以估算, 在电源 CT 深度饱和状态下, 电抗要承受高达数千伏的脉冲电压。由于电压上升速度非常快, 杂散电容的存在使匝间电压分布十分不均匀, 边缘匝分布的电压比匝平均值高许多。在普通的工艺条件下, 电抗匝间仅可耐受几千伏的电压, 为了能承受更高的感应电压, 需要加强匝间及匝与磁心的绝缘, 例如采取对边缘匝加缠绝缘层和整体绝缘漆浸泡等措施。平波电抗的使用使整流桥及其后续电路只需要承受几十伏的电压, 降低了全波整流等后续电路的耐压要求。也正是由于平波电抗的这个作用, 笔者选择了反向耐压能力较低但正向导通压降很小的肖特基整流二极管进行整流, 这使得在整流桥上消耗的功率更小, 有利于进一步降低启动电流。

2.5 高效率、宽范围 DC-DC 模块

电源 CT 从一次电流感应出交流电压并经过全波整流及滤波后, 将得到的宽范围直流电压, 通过一个 DC-DC 模块处理后得到一个高质量的 5 V 直流电压。这里要求 DC-DC 模块具有高转换效率和宽输入范围, 高转换效率有利于进一步降低启动电流, 宽的输入范围使电源可以工作的一次电流范围更大。

为此, 选用一种高效、高压、降压型 DC-DC 转换器件, 其最大输出电流可达 1 A, 能够承受高达 80 V 的输入电压。器件采用脉宽调制 (PWM) 的转换方式, 内部包括低导通电阻、N 沟道 MOSFET, 省去了外部元件, 既简化了电源设计又可获得较高的转换效率 (90% 以上)。该器件内部包括欠压锁存、短路保护及热关断功能, 简化了外部电路设计。

在 DC-DC 模块设计中, 适当的 PCB 板布局是提高电源输出质量、降低电压纹波的基本保障。将 DC 模块本身的公共接地脚, 输入旁路电容接地端和输出滤波电容的接地点连接到一个独立的节点 (星型接地配置), 以降低地噪声。同时, 还需要一个接地层, 保持尽可能短的引线以减小寄生电容、引线电阻和辐射噪声。用 PCB 板覆铜层作为模块输入输出的连接线, 有利于散热。

3 实验结果

设计的自具电源样机中, 几个关键参数的选择如下: 二次匝数为 50; 平波电抗为 50 mH; 稳压电容为 2 200 μ F; 泄放电阻为 50 Ω 。

样机实验中以 40 Ω 的电阻作为负载, 实验结果如下: 样机的启动电流约为 7 A; 在母线电流 7 A ~ 10 kA 的范围内, DC-DC 降压模块能输出稳定的 5 V 直流电压, 纹波不超过 25 mV。

稳压电容上的整流电压曲线见图6。由于受实验条件的限制, 只对 100 A ~ 10 kA 的一次电流进行了测试。由该图可以看到, 即使一次电流高达 10 kA, 整流电压依然维持在较低的水平, 而且增长缓慢。从该趋势来看, 电源可以工作在更大的母线电流下; 常温下, CT 的温升在 20 $^{\circ}$ C 以内, 不会对电源电路的实际运行造成影响。

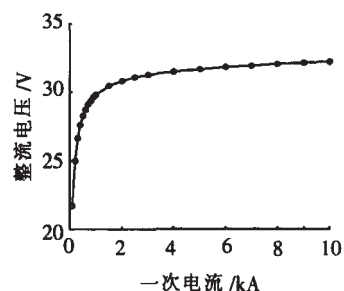


图6 一次电流与整流电压 U_C 的关系实验曲线

4 结语

为解决高压侧电子装置的电源供给,必须为其提供稳定、可靠、高质量的电源。特制电源 CT 是一个低成本的实用方案。平波电抗的采用,使该电源可以工作在更宽的一次电流范围内,结构更简单、工作更可靠。如果增大 CT 铁心体积可以获得更低的启动电流或更大的功率输出。

该方案仅与一次电流大小有关,与电压等级无关,可应用在 10 kV 以上所有电压等级的设备中。高压自具电源可以满足大多数高压侧电子系统的供能要求,具有很高的性价比,在电流、温升的测量系统和高压开关的操动机构中有广泛的应用前景。

这种高压侧的供电方式,与光纤通信技术和微处理器技术相结合,可简化高压设备的绝缘设计,降低生产成本。

参考文献:

- [1] 段雄英, 邹积岩. 数字调制式一体化光纤电力传感器的研究 [J]. 高压电器, 2002, 38(2): 29-31, 34.
- [2] Donaldson E F, Gibson J R, Jones G R, et al. Hybrid Optical Current Transformer with Optical and Power-line Energisation [J]. IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution, 2002, 147(5), 304-309.
- [3] 廖敏夫, 邹积岩, 段雄英. 基于永磁操动机构的光控模块式多断口真空断路器技术 [J]. 高压电器, 2004, 40(1): 40-42.
- [4] 费万民, 吕征宇, 耿福江, 等. 高压开关触点和母线温度在线检测与监视系统 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(3): 86-89.
- [5] 许一声, 顾霓鸿. 高压开关柜触头温度在线检测仪 [J]. 高压电器, 2005, 41(2): 139-140.
- [6] 李芙蓉, 陈永亭. 应用于光电式电流互感器的悬浮式电源的设计 [J]. 继电器, 1999, 27(1): 40-42.
- [7] 李 澎, 蔡志斌, 罗承沐. 光电电流互感器的供能电路的研究 [J]. 电工电能新技术, 2003, 22(4): 44-47, 72.
- [8] 袁季修, 盛和乐, 吴聚业. 保护用电流互感器应用指南 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.

(上接第 20 页)

(3) SF₆ 和真空间隙击穿时所产生的干扰信号成分很丰富,影响频带可延伸至 2.5 GHz 以上。

(4) 采用 FHSS 技术的蓝牙和采用 DSSS 技术的 802.11b 无线通信方式都会受到 SF₆ 和真空间隙击穿的干扰,通信速率会产生不同程度的跌落;同样干扰环境下,蓝牙相对于 802.11b 受到的影响更为显著。

(5) 由于所用间隙设备的击穿电压无法任意调节,且蓝牙发射信号功率比 802.11b 小很多,因而尚不能对比解析两种无线通信方式受干扰的机理。因此,今后还将进一步深入开展实验和研究分析工作。

参考文献:

- [1] IEEE 802.11g. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 4:

- Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band[S].
- [2] IEEE 802.11b. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher-speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band[S].
- [3] BT Spec v1.2. Bluetooth SIG Specification of the Bluetooth System Core[S].
- [4] IEEE 802.15.1. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for WPANs[S].
- [5] 郭 雄, 张文亮. 电力系统电磁环境问题 [J]. 高电压技术, 1997, 23(4): 33-35.
- [6] IEC 61000-4-8. Basic Immunity Standard for Power Frequency Magnetic Field Tests[S].
- [7] IEC 61000-4-9. Basic Immunity Standard for Pulse Magnetic Tests[S].
- [8] 陈巨兴. 变电所电磁环境测量与分析 [J]. 农村电气化, 2003 (4): 31-32.

简 讯

2006 年高压开关行业 10 件大事评选揭晓

由中国高压电器网和中国电器工业协会高压开关分会共同举办的 2006 年高压开关行业重大事件评选活动于 2007 年 1 月 20 日结束。评委会对从行业内征集到的 33 项事件经过严格筛选,从中初选出了 15 件候选事件在中国高压电器网(www.chinahva.com)上进行投票评选。通过近 20 天的网上投票,最终依据票数的多少确定入选的 2006 年高压开关行业 10 件大事为:①国务院出台《关于加快振兴装备制造业若干意见》;②西安高压电器研究所 800 kV 断路器大容量试验系统技术改造项通过国家验收;③GB 3906-2006《3.6~40.5 kV 交流金属封闭开关设备和控制设备》国家标准发布;④“中国名牌产品”评比涉及高压开关行业评比活动开始启动;⑤国家高压电器质量监督检验中心对 5 个特高压产品实施了型式试验;⑥首台 800 kV 罐式断路器通过鉴定;⑦“750 kV 交流输变电成套设备及电网互联成套设备研制”通过验收;⑧外资收购我国高压开关企业愈演愈烈;⑨我国又一人被任命为 IEC 分技术委员会主席席位;⑩高压开关行业大会召开,科技交流活动蓬勃开展。

关于以上事件的详细解释请浏览中国高压电器网(www.chinahva.com)。