

实验研究

文章编号: 1671- 251X( 2010) 10- 0021- 04

# 一种新型矿用本质安全型电源的设计

朱前伟

( 煤炭科学研究总院常州自动化研究院, 江苏 常州 213015)

**摘要:** 针对目前煤矿井下多输入电压等级本质安全型电源的笨重和单输入电压等级本质安全型电源的局限性问题, 提出了一种新型本质安全型电源的设计方案。该新型本质安全型电源采用 R 型隔离变压器, 体积小; 采用高性能的 DC/DC 开关转换电源, 提高了本质安全型电源的转换效率, 且减小了输出纹波噪声; 同时采用由过流检测芯片、单稳态触发芯片、大功率三极管等组成的双重化过流和过压保护电路, 提高了本质安全型电源的可靠性。

**关键词:** 矿井; 电源; 本质安全; 交直流转换; 过电流保护; 过电压保护; 双重化保护电路

**中图分类号:** TD611. 3      **文献标识码:** B

## Design of a New Type of Mine-used Intrinsic Safety Power Supply

ZHU Qian wei

( Changzhou Automation Research Institute of CCRI , Changzhou 213015, China)

**Abstract:** In order to solve problems of bulkiness of intrinsic safety power supply with multi-level input voltage and limitation of the one with single-level input voltage in coal mine underground at present, the paper proposed a design scheme of a new type of intrinsic safety power supply. The intrinsic safety power supply uses R isolation transformer with small volume and DC/DC switching converter which improves the intrinsic safety power supply's converting efficiency and decreases the power supply's output ripple. Meanwhile, the intrinsic safety power supply uses dual-protection circuit of over-current and over voltage composed of over-current detection chip, one-shot trigger chip, high-power transistors, etc, and the protection circuit improves the reliability of the intrinsic safety power supply.

**Key words:** mine, power supply, intrinsic safety, AC/DC conversion, over current protection, over-voltage protection, dual-protection circuit

收稿日期: 2010- 06- 08

作者简介: 朱前伟 (1979- ), 男, 江苏徐州人, 工程师, 现主要从事煤矿监测系统、矿用传感器、电源的开发应用工作。E-mail: zhuqianwei@126.com

## 0 引言

在煤矿井下各种监测和控制系统中使用的电气设备都要依靠本质安全型 (简称本安) 电源来供电,

[16] EMRE U, HAVA A M. A High Performance PWM Algorithm for Common Mode Voltage Reduction in Three-phase Voltage Source Inverters [C]//IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2008, Rhodes: 1528-1534.

[17] 郑宗校, 伦利. 多电平逆变器的简化 SVPWM 方法 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2008, 20(6): 124

[18] 钟玉林, 赵争鸣, 袁立强. 逆变器驱动电机的共模电压和轴电压的抑制 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2009, 49(1): 25-28.

[19] GUPTA A K, KHAMBADKONE A M. A Space Vector Modulation Scheme to Reduce Common Mode Voltage for Cascaded Multilevel Inverters [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2007, 22(5):

1672-1681.

因此,本安电源的使用方便性和高可靠性显得尤为重要<sup>[1]</sup>。目前煤矿使用的本安电源基本上可分为两类:一类是可以输入多种电压等级的本安电源,但其体积笨重,有时还需要经常更换安装位置,导致安装和维护较繁琐;另一类是可以输入单一电压等级的本安电源,其使用范围受限。针对上述问题,笔者设计了一种新型本安电源,既解决了上述矛盾,又提高了本安电源的可靠性。

## 1 新型本安电源的总体设计

新型本安电源的原理框图如图 1 所示。不同电压等级的交流电输入隔离变压器 T1, T1 的输出首先经过整流桥 BD1, BD1 输出的直流电再输入 DC/DC 开关电源 N1, N1 输出稳定的 12 V DC, 该电压经过两级过流和过压保护电路输出可靠的本安 12 V/800 mA。

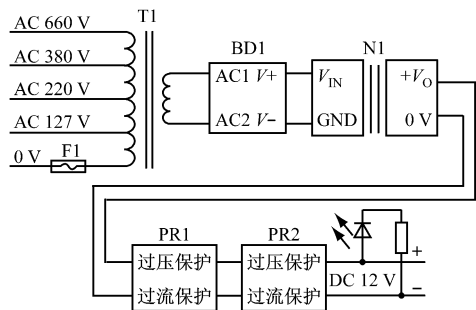


图 1 新型本安电源的原理框图

## 2 交直流转换电路的设计

该新型本安电源交直流转换电路的设计原理:输入的各种电压等级的交流电首先经过隔离变压器转换成低压交流电,然后通过整流桥将低压交流电转换成脉动的直流电,最后通过电容滤波电路将脉动的直流电转换成稳定的直流电,来供给下一级的 DC/DC 开关转换器。

### 2.1 隔离变压器转换电路

煤矿井下常用的基本电压等级是 AC 127 V、AC 220 V、AC 380 V 和 AC 660 V。该新型本安电源采用 R 型隔离变压器<sup>[2]</sup>,其输入侧采用变压器抽头方式,输出额定电压为 AC 22 V。R 型隔离变压器与 E 型变压器、环形变压器相比,其漏磁小,体积小,产生的热量最少,不会产生噪声,工作性能更强,可靠性更高,绝缘性能强,安装简便<sup>[3]</sup>。依据 MT/T408—1995《煤矿用直流稳压电源》中第 4.3.1 条的规定,考虑其最恶劣的使用条件,输入电压的波动范围按标称值的 75%~110%来考虑<sup>[4]</sup>,所以隔离

变压器输出电压的最小值为  $22\text{ V} \times 75\% = 16.5\text{ V}$ ,最大值为  $22\text{ V} \times 110\% = 24.2\text{ V}$ 。由于新型本安电源的输出功率为  $12\text{ V} \times 0.8\text{ A} = 9.6\text{ W}$ ,隔离变压器、整流桥和 DC/DC 开关转换器的效率都按 75%来计算,同时考虑现场使用时留有 20%的余量,所以隔离变压器的最大功率为  $9.6\text{ W} / (75\% \times 75\% \times 75\%) \times 1.2 = 27.3\text{ W}$ 。因此,采用铁芯为 R26 的变压器,其最大功率为 35 W,完全可以满足设计要求。

### 2.2 整流桥转换电路

隔离变压器输出的交流电压为 AC 22 V,其波动范围为 AC 16.5~24.2 V。该电压经过整流桥 GBPC2508 进行全波桥式整流后转换为脉动的直流电压,如图 2 所示。上海旭特电子科技有限公司生产的 GBPC2508 配有 4 个玻璃钝化的硅芯片、铜引线结构、密封四管脚封装,比传统整流芯片具备更佳的高温反向偏压特性和低导通内阻特性等。经过全波桥式整流后的电压仍然是脉动的电压,不能直接输入 DC/DC 开关转换器,因此,必须经过滤波以后才能输入 DC/DC 开关转换器,常用的滤波电路有电容滤波电路和电感滤波电路等,这里采用电容滤波电路。试验证明,采用 2 只 1 000  $\mu\text{F}$ /63 V 电解电容的滤波效果优于采用 1 只 2 200  $\mu\text{F}$  电解电容的滤波效果,因此,采用并联 2 只 1 000  $\mu\text{F}$ /63 V 电解电容的滤波电路。电容滤波的原理是利用电容的充电和放电来使脉动的直流电转换成平稳的直流电,理论上经过电容滤波以后的电压应该是整流桥输入电压的  $\sqrt{2}$  倍。但经过实际测试,其输出电压大约是输入电压的 1.3 倍,这是由于整流器本身二极管的内阻和滤波电容消耗掉一部分能量造成的,因此,其输出直流电压的额定值为 DC 28.6 V,其波动范围为 DC 21.45~31.46 V。

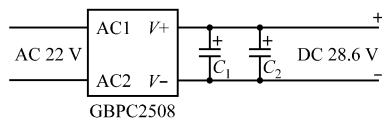


图 2 整流桥转换电路

### 2.3 DC/DC 开关转换器

整流桥转换电路输出的直流电压直接输入 DC/DC 开关转换器,如图 3 所示。DC/DC 开关转换器采用广州金升阳科技有限公司生产的型号为 VRB2412LD-15W 的电源模块,其输入电压范围为 DC 18~36 V,效率高达 87%,具有良好的高低温特性和短路保护,可隔离电压 1 500 V DC,工作温度范围为 -40~+85  $^{\circ}\text{C}$ ,内部采用贴片化设计,

金属六面屏蔽封装,具有良好的抗干扰特性;其输出电压精度为 $\pm 1\%$ ,负载调整率为 $\pm 0.5\%$ ,电压调整率为 $\pm 0.2\%$ ,输出电压噪声纹波为 $75\text{ mV}$ ,温漂系数为 $\pm 0.01\%/^{\circ}\text{C}$ ,同时具有过压保护和过流保护功能,另外,输出电压可调范围为 $\pm 10\%$ ,通过外部连接的 $R_2(10\text{ k}\Omega/0.25\text{ W})$ 来调节,这样为新型本安电源调试过压保护提供了方便。为进一步提高DC/DC开关转换器的性能(减小输入浪涌电流、减小输出纹波电压等),在其输入侧采用LC滤波电路,输出侧采用电容滤波电路,经试验证明效果明显。

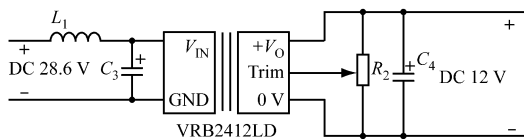


图3 DC/DC 开关转换器电路

### 3 双重过压和过流保护电路

依据 GB3836. 4—2000《爆炸性气体环境用电气设备 第4部分: 本质安全型“i”》中第5.3条的规定, 新型本安电源必须具有双重化保护功能<sup>[5]</sup>。同时, 考虑到其危险的使用环境, 为保证安全性, 必须做到当其中一级保护失效时, 另外一级保护仍然在继续工作, 保证电源的本安特性。图1中的PR1和PR2是两级过压和过流保护电路, 其中PR1中既有过压保护又有过流保护; PR2是PR1电路的重复。具体的电路如图4所示。

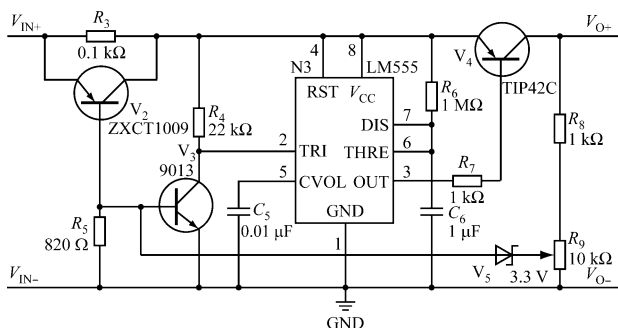


图 4 过压和过流保护电路

### 3.1 过压保护电路

过压保护电路主要由 LM555 集成电路 N3、三极管  $V_3$  和稳压管  $V_5$  组成。LM555 集成电路<sup>[6]</sup>、电阻  $R_6$  和电容  $C_6$  等组成单稳态电路, 暂稳态时间  $T_d$  的长短与  $R_6$  和  $C_6$  的数值成正比, 即  $T_d|_{s=1} = 1.1R_6C_6 = 1.1s$ 。

(1) 稳态。当正常工作时, 由于  $V_3$  处于截止状态, 所以 N3 的 2 脚接高电平, 在该情况下, N3 的

3 脚一定是输出低电平的, 从而使  $V_4$  导通, 电路得以正常工作。

(2) 暂稳态。新型本安电源的额定电压值为 DC 12 V, 过压保护动作值设置为 DC 13 V, 可通过调节  $R_9$  来实现。当输出电压大于 13 V 时,  $V_5$  的正端电压大于 4 V, 因而  $V_3$  的基极电压大于 0.7 V ( $0.7 \text{ V} = 4 \text{ V} - 3.3 \text{ V}$ ), 导致  $V_3$  导通,  $N_3$  的 2 脚跳变为低电平, 电路翻转,  $N_3$  输出端 3 脚由低电平变为高电平,  $V_4$  截止, 电源对外没有输出, 同时电容  $C_6$  进入充电状态。随着时间的推移, 电容  $C_6$  上的电压逐渐上升, 当电压上升到  $(2/3) V_{\text{IN}}$  时, 电路翻转,  $N_3$  的输出端 3 脚由高电平变为低电平, 电路恢复到稳态。

暂稳态过后, 如果电路仍处于过压状态, 则上述过程将周而复始地进行下去, 直到解除过压故障。

### 3.2 过流保护电路

过流保护电路与过压保护电路有许多相似之处,区别在于两者的采样点有所不同。在过流保护电路中,采用高端电流检测芯片  $V_2$  (ZXCT1009) 和采样电阻  $R_3$ 。新型本安电源的额定电流值为 800 mA, 设定的过流保护动作值为不大于 854 mA, 取  $R_3 = 0.1 \Omega$ ,  $R_5 = 820 \Omega$ 。当有电流  $I_{LOAD}$  流过  $R_3$  时, 在  $V_2$  的两端产生一个电压  $V_{SENSE} = I_{LOAD} R_3$ , 同时  $V_2$  另外一只管脚输出正比于该电压的电流信号。该电流信号通过  $R_5$  转换成电压  $V_{OUT}$ , 所以  $V_{OUT} = R_5 (V_{SENSE} \times 0.01)$ , 即  $V_{OUT} = R_5 \times (I_{LOAD} R_3 \times 0.01)$ 。当  $V_{OUT} = 0.7 \text{ V}$ , 则  $I_{LOAD} = 854 \text{ mA}$ 。

(1) 稳态。正常工作时, 流过电阻  $R_3$  的电流小于 854 mA, 从而通过  $R_5$  转换成的电压小于 0.7 V, 此时  $V_3$  不导通, N3 的 2 脚为高电平, N3 的输出端 3 脚为低电平,  $V_4$  正常导通, 电路正常工作。

(2) 暂稳态。当负载增大时, 流过  $R_3$  的电流也随之增大, 当大于  $854 \text{ mA}$  时,  $V_3$  的基极电压大于  $0.7 \text{ V}$ , 因而  $V_3$  导通,  $N3$  的 2 脚变为低电平, 电路翻转,  $N3$  的输出端 3 脚变为高电平,  $V_4$  截止, 此时电源对外没有输出, 同时电容  $C_6$  进入充电状态。随着时间的推移, 电容  $C_6$  上的电压逐渐上升, 当电压上升到  $(2/3)V_{IN}$  时, 电路翻转,  $N3$  的输出端 3 脚由高电平变为低电平, 电路恢复到稳态。

暂稳态过后, 如果电路仍处于过流状态, 则上述过程将周而复始地进行下去, 直到过流故障解除。

## 4 结语

介绍的新型本安电源在结构设计时考虑到电源

文章编号: 1671- 251X( 2010) 10- 0024- 05

# 数字控制技术在本质安全型开关电源中的应用

尹相卿, 白林绪, 申利飞, 王聪

(中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 针对部分本质安全型开关电源产品在实际应用中存在输出功率小、工作频率低、输出纹波较大、故障率高等问题, 提出了一种基于数字控制芯片 DSPIC30F1010/ 2020 的本质安全型开关电源的设计方案, 给出了该开关电源的总体结构, 重点介绍了该开关电源的硬件电路及其数字控制器的软件设计。通过理论分析、整体设计、仿真、实际电路的调试及安全火花试验, 验证了数字控制技术在本质安全型开关电源中应用的可行性。

**关键词:** 开关电源; 本质安全; 数字控制; DSP; DC- DC 变换器

**中图分类号:** TD684 **文献标识码:** B

## Application of Digital Control Technology in Intrinsic Safety Switching Power Supply

YIN Xiang-qing, BAI Lin-xu, SHEN Li-fei, WANG Cong

(School of Mechanical Electronic and Information Engineering of CUMT. (Beijing),  
Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to solve problems of small output power, low working frequency, large output ripple and high fault rate, the paper proposed a design scheme of applying DSPIC30F1010/ 2020 digital

收稿日期: 2010- 06- 07

作者简介: 尹相卿(1985- ), 男, 山东日照人, 中国矿业大学(北京)在读硕士研究生, 研究方向为电力电子与电力传动。E-mail: 13811591616@ 139. com

的散热问题, 将发热元件(如隔离变压器和整流桥)紧靠电源的外壳安装, 增加散热面积, 散热效果明显。该新型本安电源的主要创新点如下:

(1) 采用了高效率、低温升、低损耗、无噪音的 R 型隔离变压器, 与同等功率的 E 型或 EI 型变压器相比, 体积减小了很多, 有利于安装。

(2) 采用新型整流桥 GBPC2508, 其配有 4 个玻璃钝化的硅芯片、铜引线结构、密封四管封装, 比传统的整流芯片具备更佳的高温反向偏压特性和低的导通电阻等特性。

(3) 采用高效率、低纹波、高可靠的 DC/DC 开关转换器, 提高了整机的效率, 减少了输出纹波噪声。

(4) 新颖的、双重化的过压和过流保护电路, 增加了电源的可靠性。

(5) 解决了多输入电压等级电源笨重和单输入电压电源局限性的矛盾。

综上所述, 该新型本安电源非常适合为目前煤矿下的各种监测和监控系统的设备提供本安电源, 具有很好的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 王磊, 李振壁. 一种新型的本质安全型电源[J]. 工矿自动化, 2008(2): 82- 84.
- [2] 孟进, 马伟明, 张磊, 等. 带整流桥输入级的开关电源差模干扰特性[J]. 电工技术学报, 2006, 21(8): 14- 18, 24.
- [3] 胡斌. 双色图文详解电感器及应用电路[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [4] 国家安全生产监督管理总局. MT/T408- 1995煤矿用直流稳压电源[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [5] GB3836. 4-2000 爆炸性气体环境用电气设备[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [6] 肖景和. 555 集成电路应用精粹[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.