

基于 UC3875 控制的电机车充电电源设计

朱慧博, 秦玉龙

(宿迁学院计算机科学系, 江苏 宿迁 223800)

摘要: 文中设计了一种矿用电机车的高效自动充电电源, 阐述了 ZVZCS PWM 全桥变换电路的工作过程。以 UC3875 为控制芯片, 设计了电源的控制和保护电路, 并分析了控制和保护电路的工作原理。最后给出了基于 Saber 软件的电源仿真波形, 验证了该充电电源具有恒流-恒压输出特性, 是一种比较理想的蓄电池充电电源。

关键词: ZVZCS; 开关电源; UC3875; 蓄电池

中图分类号: TN86

文献标识码: A

Design of Motor Vehicle Charging Power Supply Based on the UC3875

ZHU Hui-bo, QIN Yu-long

(Computer Science Department, Suqian College, Suqian 223800, China)

Abstract: A high performance auto-charging power supply on mine locomotive is designed in this paper. The working process of ZVZCS PWM full-bridge conversion is also analyzed. The control and protection circuit is designed based on the UC3875 control chip and the working principle of the control systems and protection circuit is analyzed in this paper. Finally, the power waveform was given based on the Saber simulation software, all of this verified that the power supply with the output characteristics of constant current-constant voltage and the design is an ideal battery charging power supply.

Key words: ZVZCS; switching mode power supply; UC3875; storage battery

以动力蓄电池为能源的矿用电机车是煤矿主要机电设备之一, 担负着矿井人员、设备、材料等运输任务, 尤其是采区至掘进工作面的运输任务, 将直接影响煤矿的安全生产和企业的经济效益。目前电机车的电池充电技术不完善, 使用传统的恒压或恒流充电方法一般需要大约 20 个小时才能充满, 严重影响蓄电池的寿命; 电池的充电装置大多采用可控硅 SCR 及小容量的 GTR, IGBT 等开关功率器件, 效率低、能耗大, 存在严重的过充电和析气等现象。本文设计了一种新型的高效充电电源, 该电源在充电过程中实现了 DC/DC 转换电路的 ZVZCS PWM 控制, 能自动完成恒流-恒压充电控制的转换, 具有输出过流、过压以及功率管的过热保护功能。

1 充电电源总体设计方案

充电电源总体设计框图如图 1 所示。市电 220 V 交流电经整流滤波, 再经高频逆变电路和高频变压器变压后, 整流输出直流电压用于蓄电池充电。检测信号和保护控制信号均送给由 UC3875 构成的控制电路, 控制电路产生 PWM 控制信号来控制开关管的导

通和截止, 从而控制输出电压。

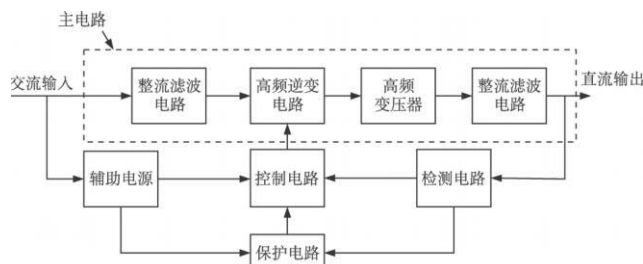


图 1 充电电源总体设计方案

2 主电路设计

该电源主电路如图 2 所示, 图中以直流电 U_{in} 代替市电 220 V 经过整流滤波后的直流电。Q₁~Q₄ 为开关管, 构成桥式电路。C_b 为隔直电容, L_{lk} 为变压器漏感。变压器 TR 和二极管 DR₁、DR₂ 构成全波整流。电感 L_r、电容 C_r 构成输出高频滤波器。图中 Q₁~Q₄ 均采用 IGBT, IGBT 兼有功率 MOSFET 和功率 GTR 的优点, 是比较理想的开关器件, 为了减少 IGBT 在关断时电流拖尾现象而产生的较大关断损耗, 主电路采用了 ZVZCS 移相全桥软开关变换器。其中最核心的高频变压器的设计采用了 K_g (铁心几何参数) 法, 并选取原边绕组 N_p = 42 匝, 实际取 N_s = 23 匝。IGBT 采用了 Eupec 公司的 BSM 50GB60DLC 型号的 IGBT 模块。

移相 PWM 控制的基本工作原理为: 每个桥臂的两个开关管(斜对角的两开关管) 180° 互补导通, 两个

收稿日期: 2010-02-01

基金项目: 江苏省宿迁学院科研基金项目(编号: 2010KY11)

作者简介: 朱慧博(1979-), 女, 江苏省宿迁市人, 讲师, 硕士, 研究方向为高频功率电子变换技术。

秦玉龙(1982-), 男, 江苏省宿迁市人, 讲师, 研究生在读, 主要研究方向为嵌入式系统研究。

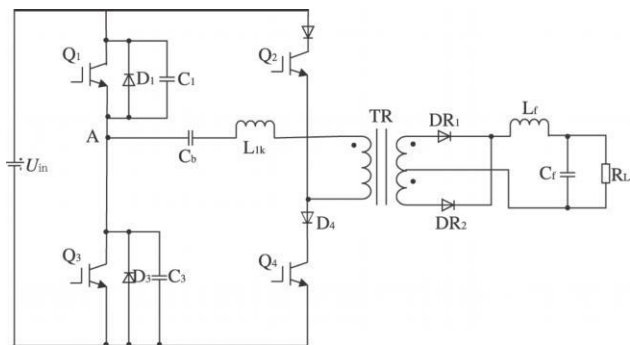


图2 主电路拓扑

桥臂的导通之间相差一个移相角。通过调节此移相角的大小,来调节输出电压脉冲宽度,从而达到调节相应的输出电压的目的。这种控制方式实际上是谐振变换技术与常规PWM变换技术的结合,该技术使开关器件在较低的电压、电流应力下实现软开关。软开关ZVZCS,指的是开关管在开通或关断前管压降或管中电流已经为零,从而实现导通损耗和关断损耗为零,达到高效的目的。ZVZCS的实现可以简单描述为:在 Q_1 和 Q_3 导通前,利用 C_1 和 C_3 的充放电特性,使 Q_1 和 Q_3 的反并二极管 D_1 、 D_3 自然导通,进而实现 Q_1 和 Q_3 的零电压关断和零电压导通。隔直电容 C_b 在 Q_1 和 Q_4 导通时充电,当 Q_1 (或 Q_3)关断, Q_3 (或 Q_1)的反并二极管 D_3 (或 D_1)导通后,变换器工作在原边复位状态, C_b 运放构成的电流环组成。

恒压电路由U1A、U2A以及UC3875内部运放电路构成。假定输出电流不变,恒压过程如下:若某种原因引起输出电压升高,则图3中U1A的同相输入端电压升高,U2A的输出电压降低,即UC3875内部的误差放大器的同相输入端的电压升高,UC3875输出相移角变小,输出电压降低。

为了防止输出电流超过限定电流,控制电路中设置了输出限流电路,图3中的 i_r 是由磁环构成的电流互感器检测的输出电流,假定输出电压不变,输出电流限制过程如下:若输出电流增加,UC3875内部的误差放大器的反相输入端的电压升高,UC3875输出相移角变小,输出电压降低,

上的电压使变压器原边电流 i_p 减小到零,利用二极管反向截止的作用,实现 Q_2 和 Q_4 的零电流开关。

3 控制电路设计

电源采用Unitrode公司的移相控制芯片UC3875,UC3875是专门为全桥移相电路而开发的,既可工作在电压模式,也可工作在电流模式;能输出驱动能力为2A的四个图腾柱式的驱动波形,带有软启动功能;配有5V的基准电压;内部带有10MHz的误差放大器。

3.1 控制电路

控制电路如图3所示,它主要包含两个部分:(1)脉冲产生电路设置;(2)平均电流模式闭环控制设置。其中,恒流充电时采用电流闭环控制,恒压充电时采用电压电流双闭环控制。电压闭环由运算放大器U2A、 R_1 、 R_2 、 R_3 和 C_2 构成,它是一个PI调节器。反馈信号 u_r 经电压跟随器U1A输出,再经PI调节和后续的限幅滤波电路(由 R_{w1} 、 R_{w2} 、 DR_1 、 DR_2 、 R_4 、 R_5 、 C_2 构成),其最终输出接内部运放的同相输入端,作为电流闭环的电流给定信号。电流闭环由UC3875内部的运算放大器和 R_7 、 R_8 、 R_9 和 C_5 构成,它也是一个PI调节器,其给定是电压闭环的输出。

3.2 恒流-恒压充电转换过程

恒流电路由15V电源、 R_{10} 、 R_{w3} 及UC3875内部

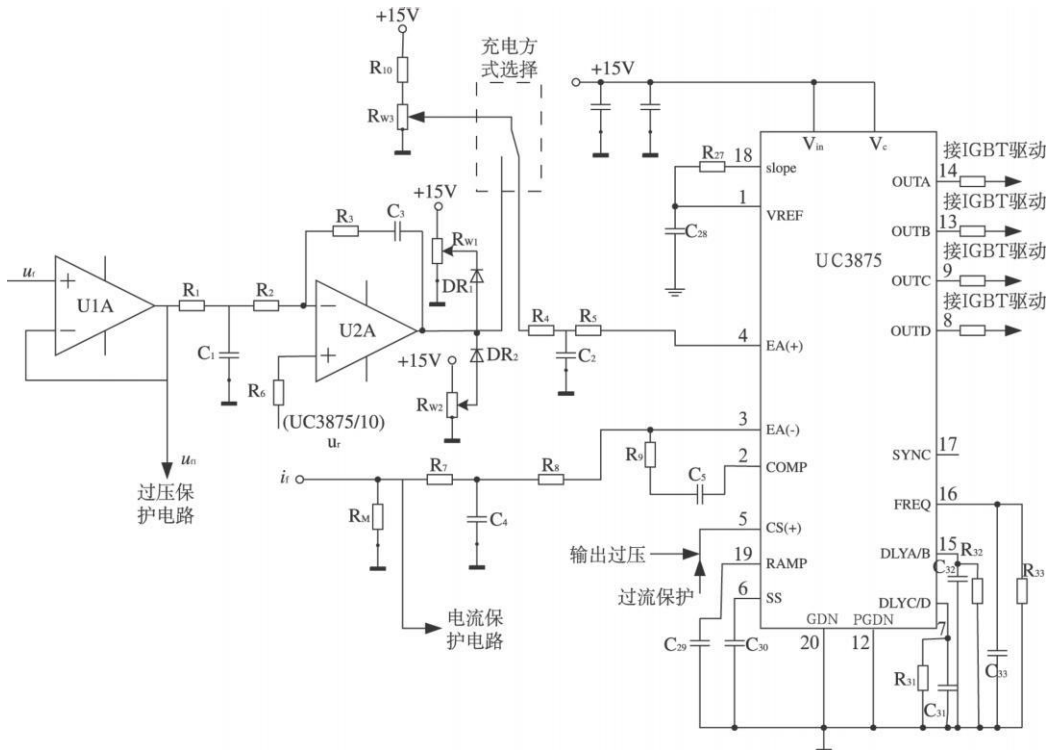


图3 UC3875控制电路

减小电流,从而稳定电流。

恒流-恒压转换过程为:刚开始充电的时候,充电电压达不到电压限定值,充电电流比较大,以防止损坏

电池,此时充电方式选择开关连接于上方电路,即在初期选择恒流充电,此时只有电流环起作用。充电电源在电流环的作用下恒流充电,达到恒流的输出控制效果。随着充电进行,充电电压逐渐上升,而充电电流逐渐回落减小,采用时间控制的充电方式开关此时自动连接于下方电路,此时控制电路主要由电压电流双闭环反馈调节,输出由恒流控制方式自动转变为恒压限流控制方式,直到充电电压达到设定的极限值,此时电压限定在极限值,不再升高,充电电流将急剧降低。

4 检测电路设计

为了保证电源主电路和控制电路的电气隔离,设计采用了 LEM 传感器检测电压电流。充电控制电路的电流电压检测位置如图 4 所示。设计采用了平均电流取样,这是考虑平均电流控制模式抗干扰性好,电流控制精度高,锯齿波电感电流本身提供了较合适的斜率,不用进行斜率补偿就能保证工作稳定。而对电压控制取样点设在蓄电池端(即 DR₃ 后)。根据铅酸蓄电池特性,在充电开始时,充电电流大,蓄电池端电压升高速度较快,约在整个充电时间的 1/4 时即可达到蓄电池的额定电压,但此时电压不能保持,一旦停充会自行回落,在此状态下应继续保持恒压充电,直到最后电池端电压升高到接近单节铅酸蓄电池的极限值约 2.36 V。如果此时将充电电压限定在此极限值,不再升高,充电电流将急剧降低,甚至为 0。

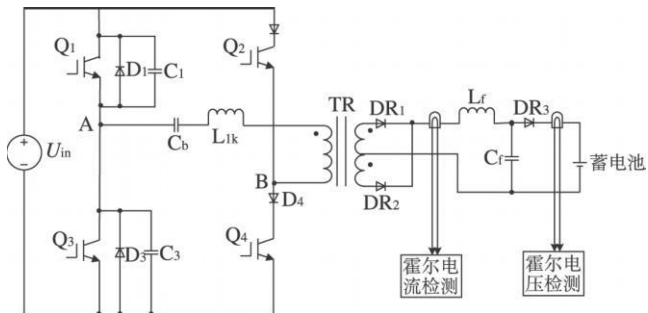


图 4 电流电压检测位置显示图

5 驱动和保护电路设计

根据所用 IGBT 驱动电路的要求,本系统选用 IGBT 的三菱混合 IC 专用驱动模块 M57962L。电源设计了输出过压、过流以及开关管的过热保护电路,其设计过程类似,在此仅以输出过压保护为例。过压保护电路如图 5 所示。根据电源的设计指标,额定输出电压为 110 V,现设定当输出电压达到额定电压值的 110 % 时过压保护。此时由运放构成的比较器的反相端为给定 2.75 V,电压反馈信号经滤波后,送入运放的同相端。运放正常处于低电平状态,二极管导通,将 UC3875 的 5 脚钳位于低电平。当输出电压达到保护电压值时,运放输出高电平,二极管截止。R₇, R₈, R₉,

构成分压电路,并将分压所得 2.5 V 电压送给 UC3875 的 5 脚, UC3875 内部电流比较器输出高电平,使输出驱动脉冲关断,同时将软启动端 6 脚的电平拉到 0。当过流故障消除后,软启动电路重新工作,输出级的相移角从 0 开始慢慢增大。

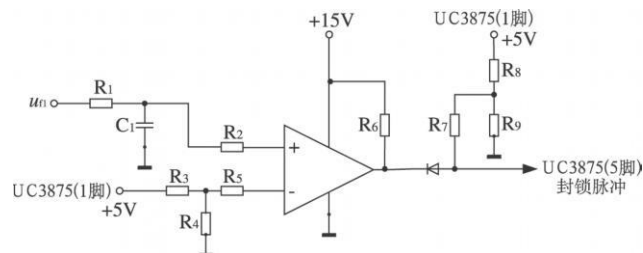


图 5 输出过压保护电路

6 仿真结果

设计中,基于 Saber 软件搭建了仿真模型,并给出了仿真结果。由于两桥臂是对称的,现仅以超前臂开关管 Q₃ 和滞后臂开关管 Q₄ 上的波形为例。

为了描述 Q₃ 实现 ZVS 的情形,图 6 中共给出了 3 个波形(将图中从上至下 3 个波形依次命名为波形 1、2、3,下同),分别为 Q₃ 的 C、E 极间电压波形(波形 1)和 Q₃ 的驱动波形(波形 2)以及两者的比较图(波形 3)。可以看出当 C、E 极间电压为零时,发出关断信号,实现了零电压关断。当 C、E 极间电压近似为零时,发出导通脉冲,基本实现零电压开通。

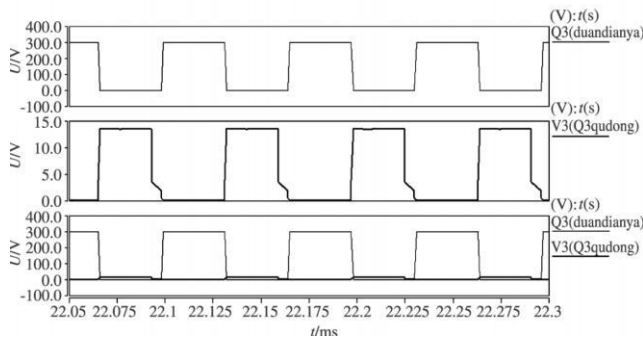


图 6 超前臂 Q₃ 的 ZVS

为了描述 Q₄ 实现 ZCS 的情形,图 7 中给出了变压器原边电流波形(波形 1)和滞后臂开关管 Q₄ 的驱动波形(波形 2)以及两者的比较图(波形 3)。从图中可以清楚看出当变压器一次侧电流为零时, Q₄ 发出导通脉冲,近似为零时,发出关断脉冲。Q₄ 实现了零电流导通和零电流关断。

综上,所设计电路实现了超前臂 ZVS, 滞后臂 ZCS。基本达到 ZV ZCS 的高效电源设计目标。

一般每 100 Ah 的蓄电池可以等效为一个 1.5 F 的电容和小电阻的串联,为了显示充电过程的恒流特性,现设充电电源给 100 Ah 的蓄电池充电,并以 0.1 C 的标准初始充电速率恒流充电,即充电电流为 10 A。

测定的输出电流仿真结果如图 8 所示。可以看出, 在电流环的作用下, 输出电流最终可以稳定在 10 A, 达到恒流的效果。

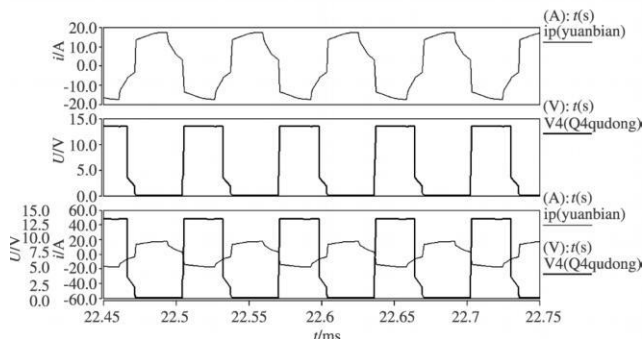


图 7 滞后臂 Q_4 的 ZCS

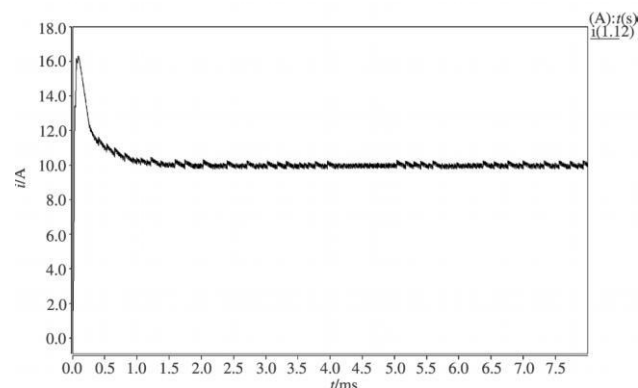


图 8 恒流充电输出电流

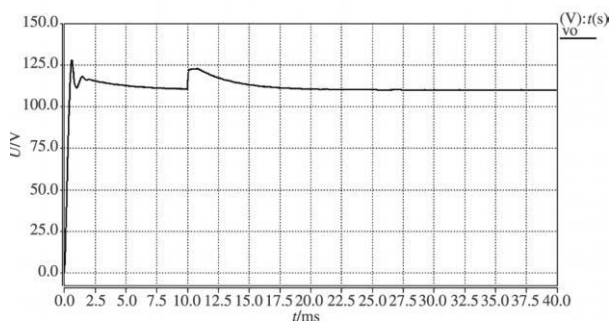


图 9 突减负载时输出电压

为了显示恒压控制电路的特性并同时验证控制电路的动态性能, 现于 10 ms 时突减负载, 输出电压波形如图 9 所示。可以看出, 输出电压波形在 10 ms 时有明显的波动, 但在控制电路的调控下, 很快就趋于平稳, 达到 110 V 恒压的效果。

图 10 给出了突减负载时的各个控制取样波形: UC3875 内部运放输出的电压波形(波形 1), 电流采样波形(波形 2)和电压采样波形(波形 3)。取样波形的跟随性和快速性都较好, 由此可见控制电路设置合理。

图 11 显示了突加负载直至稳态时的 UC3875 输出脉冲的移相角, 在此只以 Q_1 和 Q_4 的驱动脉冲为

例, 可以看出对应着输出电压变大, 移相角变小, 进而控制输出电压减小, 达到稳定输出电压的目的。它反映了 UC3875 移相控制的原理。

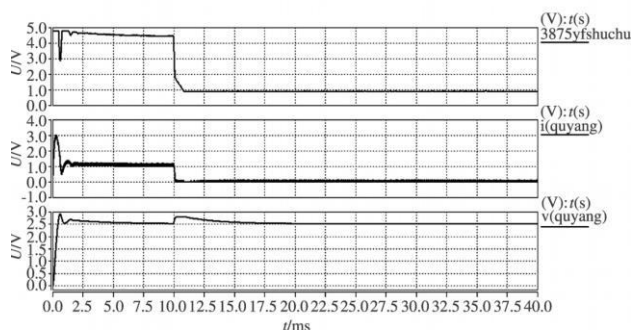


图 10 突减负载时控制取样信号

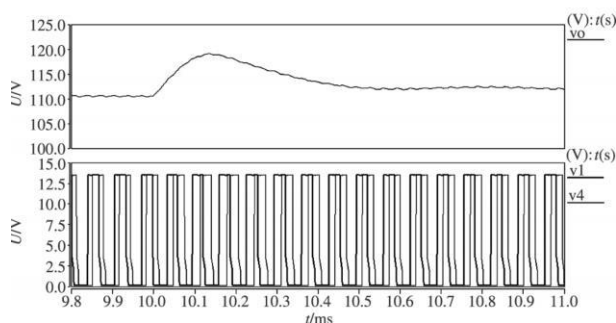


图 11 UC3875 输出脉冲移相角

7 结束语

本文所设计电源输入为单相交流电 220 V $\pm 10\%$, 50 Hz, 充电对象为容量为 100 Ah~200 Ah 的蓄电池, 输出直流充电电压为 110 V, 输出直流电流 0~20 A 连续可调。电源输出稳定, 调节方便, 控制简单可靠, 是一种比较理想的高效蓄电池充电电源。

参考文献:

- [1] 杨 涛. 矿用蓄电池充电技术[J]. 水力采煤与管道运输, 2007, (1): 14~16.
- [2] 周志敏. 阀控式密封铅蓄电池实用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [3] 李定宣. 开关稳压电源设计与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [4] 倪海东, 蒋玉萍. 高频开关电源集成控制器[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [5] 王水平, 周培志, 张耀进, 宣宗强, 于建国, 王战国. PWM 控制与驱动器使用指南及应用电路[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005.
- [6] 李 升. 基于软开关全桥变换器的电动汽车充电电源设计[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.