

# 一种 PWM 开关稳压电源的设计

廖昌明

(南京电子技术研究所, 江苏省南京市 210039)

**摘要:**文中介绍了一种基于 PWM 的开关稳压电源的设计与实现方法。给出了该电源的主要技术指标、系统组成和总框图。对电源中的反馈控制回路的工作原理和技术特点进行了详细分析。同时给出了整流滤波电路、辅助源电路、过压保护电路、蓄电池的充放电控制电路的电原理图及其工作原理。文中所介绍的设计方法已用于某通讯行业用电源的设计, 其稳定性和可靠性得到了验证。

**关键词:**脉宽调制; 过压保护; 过流保护; 充电控制

**中图分类号:** TN 710

## 0 引言

随着高反压 VMOS 大功率管的迅速发展, 开关稳压电源的工作频率从 20 kHz 提高到 150~ 500 kHz 其结果是整个开关电源的体积更小、重量更轻、效率更高。开关稳压电源的性能价格比达到了前所未有的水平, 使其在线性电源的竞争中具有先导优势。本文要介绍的是一种适用于通讯行业的开关稳压电源的设计。该电源的特点是体积小、重量轻、频率高、功率大, 具有对蓄电池充电功能。此外, 它还具有输入过压保护、过流保护、蓄电池欠压、过放电等报警功能。若负载过重, 本电源具有对负载电流和充电电流进行自动分配的功能, 解决了 2 块功率模块并行工作的问题。

## 1 主要技术指标及特点

- a) 工作模式: 脉宽调制 (PWM)。
- b) 工作频率: 150 kHz。
- c) 2 块 500W 功率模块并行工作, 总输出功率为 1 000 W。
- d) 能对 DC 48 V 蓄电池充电。具有欠压、过放电报警功能。过放电时自动切断放电回路。
- e) 当负载电流过大时, 内置的电流分配系统将自动降低充电电流来保证负载的供电。
- f) 具有过压保护功能, 当电网电压高于 AC 265 V 时, 自动切断输入电源。
- g) 具有过流保护功能, 当负载电流过大甚至完全短路时, 电源由恒压状态转为恒流状态, 恒流工作点连续可调。
- h) 充电电流限流点和输出电压在一定范围内均连续可调。

i) 当电网掉电、过压、电池放电至 43 V 时, 发出声光报警。

j) 人机界面: 用三位半 LCD 及 MODE 键可选择地显示输出电压、负载电流、充电电流值。用 LED 显示包括蓄电池在内的各种工作状态。用 RESET 键消除报警状态, 用 POWER 键软关断和接通电源输出。

## 2 系统设计

本电源由整流滤波电路、功率模块 (2 块)、检流电路、主控板、显示电路、声光报警电路等组成, 面板由三位半 LCD、LED 指示灯、电源开关 (POWER)、复位键 (RESET)、显示模式选择键 (MODE) 等组成。其系统框图如图 1 所示。

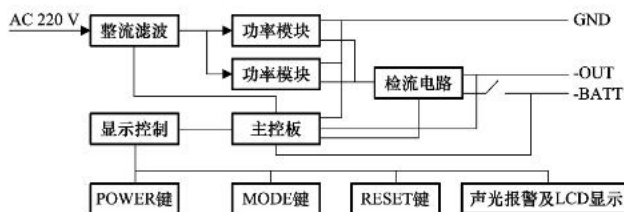


图 1 系统框图

### 2.1 整流滤波电路

为了防止工频电网上高频干扰进入稳压电源, 也为了阻止稳压电源本身产生的高频干扰反串入电网中, 输入电路采用低通滤波器。整流电路采用全桥整流模式。其电原理图如图 2 所示。

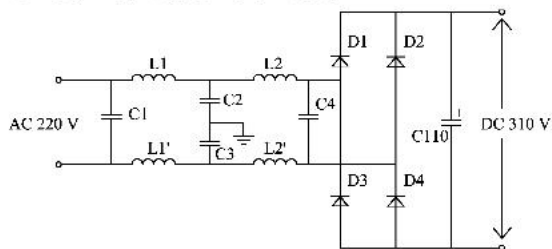


图 2 整流滤波电原理图

收稿日期: 2010-04-29。

在图 2 中, C2、C3 用于滤除共模干扰, C1、C4 用于滤除常态干扰。L1、L2、L1'、L2' 用于滤除共模干扰。

## 2.2 辅助源电路

辅助源电压按 DC 12 V 设计, 所需电流约 600 mA, 故采用三端稳压器 LM7812 提供辅助电源。考虑到反馈回路信号较弱(毫伏级), 反馈回路电源精度和稳定性要求较高, 故将 LM7812 输出的 DC 12 V 电压经过 2 次稳压调整后供电。这就保证了误差放大环节基准电压精度的要求。其电原理图如图 3 所示。

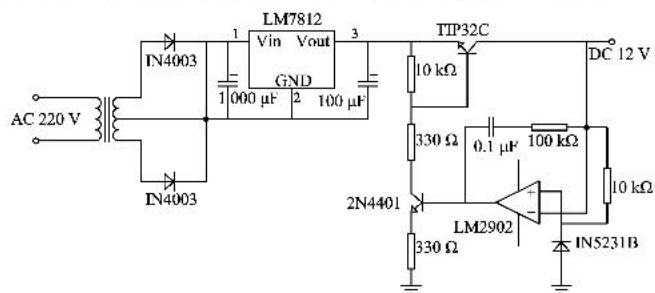


图 3 辅助电源电原理图

可以看出, 整流方式为全波整流。2 次调整中误差放大器采用单电源供电的通用运算放大器 LM 2902。基准电压 DC 5.1 V 由稳压二极管 IN5231B 提供。2N 4401 起放大驱动作用, 驱动大功率调整管 TIP32C。

## 2.3 反馈控制回路

### 2.3.1 反馈控制回路的工作原理

输出信号反馈回路的电原理框图如图 4 所示。

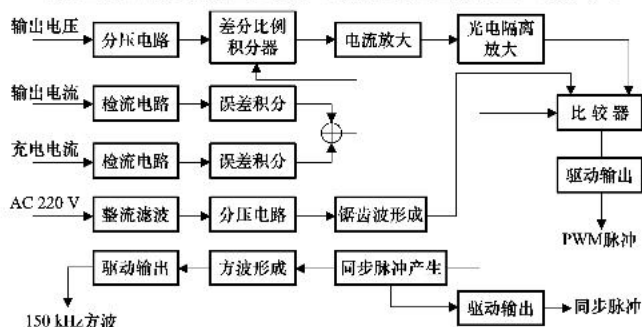


图 4 反馈回路电原理框图

从图 4 可以看出, 开关电源工作模式为 PWM。PWM 是输出电压、输出电流、充电电流、电网电压共同调制的结果。输出电流、充电电流经检流电路检出的毫伏级信号经过误差积分放大器、加法器送入差分比例积分器的同相端, 输出电压取样值送入差分比例积分器的反相端。差分比例积分器的输出信号经电流放大、光电隔离放大后送入比较器的同相端, 输入的 AC 220 V 电网电压经整流、滤波、分压、RC 电路形成锯齿波送入比较器的反相端。比较器输出就是反映了 3 个输出反馈信号及电网变化的 PWM 脉冲。

由于本开关电源采用 2 块 500 W 的功率模块并行工作, 共同输出 1 000 W 的功率。这就必须解决 2 块功率模块的并机问题。我们采用了一只专用集成电

路, 由它产生振荡频率为 300 kHz 的同步脉冲, 使 2 块功率模块同步工作。其原理框图如图 5 所示。在功率模块中, 由大功率场效应管形成全桥整流电路, 在同步脉冲和 PWM 脉冲的作用下, 将直流电压转换成交流高频脉冲电压, 经主脉冲功率变压器耦合到次级。次级输出经全波整流、电感和电容滤波后形成最终的直流稳压电源。

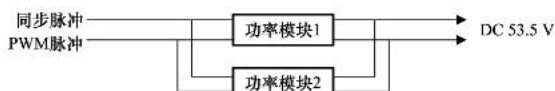


图 5 功率模块并行工作原理框图

### 2.3.2 反馈回路的系统分析

从图 4 不难看出, 控制 PWM 开关电源的参数除输出电压外, 还有输出电流、充电电流。也就是说, 同时还是电流控制 PWM 方式。其反馈回路由电流反馈构成内环路, 由电压反馈构成外环路。该系统具有以下特点。

#### 1) 系统具有快速的瞬态响应及高度的稳定性

当输入电压变化或因负载变化引起输出电压变化时, 都将引起输出电流变化率的改变, 从而使功率开关的转换随时跟着变化, 达到控制功率开关的占空比的目的。这对输入电压而言, 实质上是起了前馈控制作用, 即输入电压变化尚未导致输出电压变化, 就由内环产生了调节作用。由于电流内环具有快速响应的能力, 从分析整个闭环系统的瞬态响应可以看出, 对于电压反馈外环, 电流内环相当于一个受控放大器。外环的瞬态响应速度仅决定于滤波电容和负载性质, 所以整个系统具有快速的瞬态响应。也就是说, 对于整个闭环系统, 除内环外, 只有一个与滤波电容有关的比例积分环节和一个与负载有关的一阶或二阶环节, 这使得整个闭环系统具有高度的稳定性。

#### 2) 很高的输出电压精度

由于系统的快速响应及高稳定性, 反馈回路的增益比一般 PWM 系统的回路增益高很多, 不致于造成稳定性与回路增益之间的矛盾, 从而使输出电压具有较高的精度。

#### 3) 具有内在的对功率开关电流的控制和限流能力

流过功率开关的峰值电流直接受误差放大器输出的电流给定值所控制, 所以在任何输入电压和负载的瞬态条件下, 功率开关的峰值电流被控制在一个给定值。由于误差放大器具有有限幅特性, 所以对功率开关的电流具有有限流能力。最大电流正比于误差放大器的限幅值。改变限幅值可以改变所限制的最大电流, 使功率开关在输出过载甚至短路时得到保护。

#### 4) 2 块功率模块能并联工作, 不需要外加均流措施

由于电流控制的功能使系统的内环如同一个良好的受控电流放大器,可获得电流的比例分配,使用电流控制的功率模块可方便地并联工作。

### 2.4 输入过压保护

当电网电压大于 AC 265 V 时,过压保护电路自动切断功率模块的输入通路;一旦电网电压正常后,又自动接通功率模块的输入通路。其电原理图如图 6 所示。

本电路工作原理:  $U_i$  为电网电压 AC 220 V 经整流、滤波、分压后的电网取样值,它与 +5 V 基准电压比较,当电网电压大于 AC 265 V 时,比较器 A 的输出从高电平变为低电平,经与非门 B 反向后使得三极管 T1 截止,继电器线包 J11 断电,触点 J11' 断开,切断功率模块的输入电压,从而保护了功率模块。当电网电压小于 AC 265 V 时,比较器 A 再次翻转,输出由低电平变为高电平,三极管 T1 导通,继电器线包 J11 通电,

触点 J11' 接通,恢复功率模块的供电。

电阻 R105、电阻 R106、光电耦合器 OPT3 的作用是削减起动时的浪涌电流。其工作过程是:电源起动时比较器 A 输出高电平,三极管 T1 导通,继电器线包 J11 通电,触点 J11' 接通,整流器输出的高直流电压经过继电器触点 J11'、电阻 R105、电阻 R106、光电耦合器 OPT3 的发光二极管给平滑滤波电容 C110 充电。在此期间,光电耦合器 OPT3 导通,三极管 T2 截止,继电器线包 J12 断电,触点 J12' 断开。电阻 R105 和 R106 限制了给电容 C110 充电的浪涌电流。随后,充电电流逐渐减小,电容 C110 上电压逐渐升高,最终达到最大值。同时,光电耦合器 OPT3 截止,三极管 T2 导通,继电器线包 J12 通电,触点 J12' 接通,完成了低浪涌电流的起动过程。

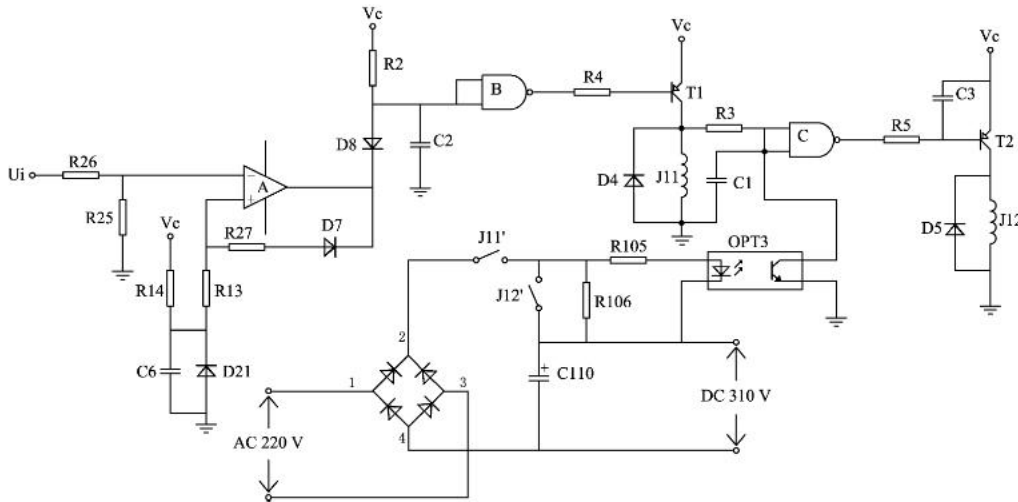


图 6 输入过压保护电原理图

### 2.5 充放电控制

本电源除了给负载供电,还可以同时对 48 V 蓄电池充电。一旦电网掉电,蓄电池可以无断点继续为负载供电。当蓄电池欠压(小于 45 V)时,发出声光报警

信号。当蓄电池过放电(小于 43 V)时,除发出声光报警信号外,5秒钟后自动切断放电回路。其电原理图如图 7 所示。图中  $V_+$  取自于蓄电池端电压。

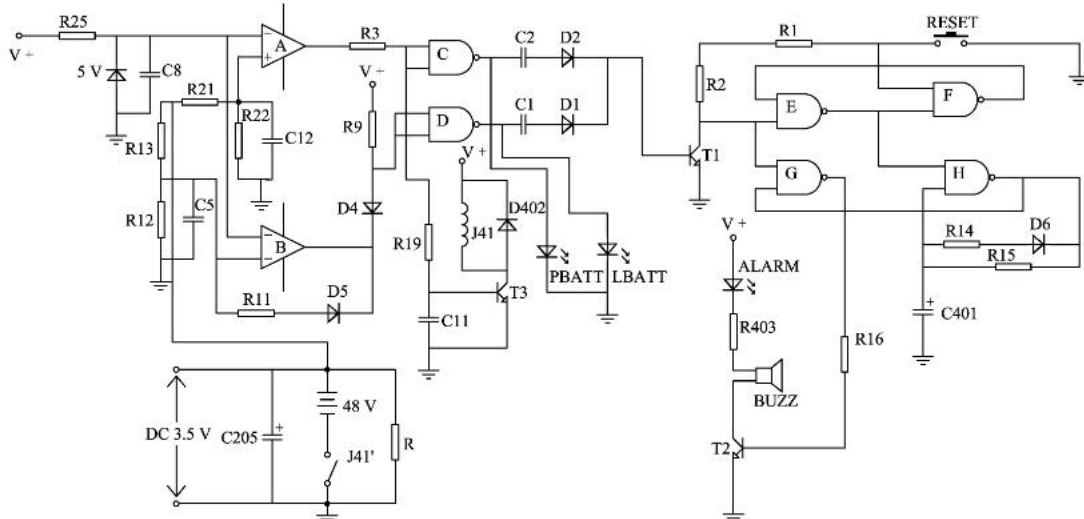


图 7 充电控制电原理图

控制电路的工作原理是: 正常工作状态下, 比较器 A、B 输出高电平, 三极管 T3 导通, 继电器线包 J41 加电, 触点 J41' 接通, 电源输出除了给负载供电, 还为蓄电池充电。电网掉电后, 由蓄电池继续为负载供电。如果蓄电池放电到低于 45 V 时, 比较器 B 输出低电平, 比较器 B 翻转产生的负脉冲通过二极管 D4 与非门 D、电容 C1、二极管 D1、三极管 T1 触发由与非门 E、F、G、H、电阻 R16、三极管 T2、蜂鸣器 BUZZ、电阻 R403、发光二极管 ALARM 等元件组成的报警系统发出声光报警。同时, 与非门 D 的输出点亮蓄电池欠压发光二极管 LBATT, 表明蓄电池处于欠压状态。此时如果按动 RESET 键可消除报警信号; 如果蓄电池过放电到低于 43 V 时, 比较器 A 输出低电平, 比较器 A 翻转产生的负脉冲通过电阻 R3 与非门 C、电容 C2、二极管 D2 耦合到三极管 T1 基极触发报警系统发出声光报警。与此同时, 与非门 C 的输出点亮蓄电池过放电发光二极管 FBATT, 表明蓄电池处于过放电状态。此时如果按动 RESET 键可消除报警信号。5 s 后由于电容 C11 放电完毕, 三极管 T3 截止, 继电器线包 J41 断电, 触点 J41' 断开, 切断放电回路。

电网上电后, 进入正常工作状态, 继电器触点 J41' 接通, 蓄电池自动接入电源系统, 继续为蓄电池充电。

## 2.6 显示系统

显示系统用三位半 LCD、A/D 转换器 TC7106、模拟开关 MC4066、计数器 MC14017、LED 发光二极管、薄膜按键等器件来实现。面板上的 MODE 键是显示

模式选择键, 通过按动 MODE 键在 LCD 上可循环显示输出电压、输出电流、充电电流 3 个参数, 同时 3 只 LED 发光二极管指示出当前显示的参数; RESET 键用于解除报警状态; POWER 键用于关断和接通输出。

## 3 结束语

本文对电源中的反馈控制回路进行了详细的系统分析。同时给出了整流滤波电路、辅助源电路、输入过压保护电路、蓄电池的充放电控制电路的电原理图及其工作原理。本文所介绍的设计思想已用于某通讯行业用电源的设计, 其稳定性和可靠性得到了很好的验证, 可广泛应用于其他电源系统的设计。

## 参 考 文 献

- [1] Analog Devices Inc. A Designer's Guide to Instrumentation Amplifiers[M]. 2005.
- [2] 蔡锦福. 运算放大器的原理与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [3] 王志强. 开关电源设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [4] 高光天. 传感器与信号调理器件应用技术[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [5] 清华大学电子工程系, 工业自动化系. 晶体管电路(第二册)[M]. 北京: 科学出版社, 1975.

廖昌明(1964), 男, 高级工程师, 主要研究方向为相控阵雷达波束控制技术和电源技术。

# A Design of Switch Steady Voltage Power Based on PWM

LIAO Changming

(Nanjing Research Institute of Electronics Technology Nanjing 210039 China)

**Abstract** In this paper, a design and implementation method of switch steady voltage power based on PWM is introduced. The main technical parameters, system constitution and its block diagram of this power supply are presented. We analyze the working principle and technical characteristics of the feedback control loop in this power supply in detail. Schematic circuits of rectifier and filter, assistant power, over voltage protection and charge control for storage battery are suggested, their working principle are also discussed. The design method in this paper has been used in the design of power supply for some communication industry. Its stability and reliability are validated.

**Keywords** PWM; over voltage protection; over current protection; charge control