

研
究
开
发

内燃机车新型辅机控制装置设计

李 化¹, 刘智聪², 刘松柏²(1. 南车戚墅堰机车有限公司 产品设计部, 江苏 常州 213011;
2. 株洲南车时代电气股份有限公司 技术中心, 湖南 株洲 412001)

作者简介: 李 化 (1971-) 男, 硕士, 高级工程师, 现从事内燃机车电传动系统的研究设计工作。

摘 要: 详细介绍了基于单片机的内燃机车新型辅机控制装置的设计, 采用数字PID控制方法调节辅助直流发电机励磁绕组的电流, 实现恒压限流控制, 结构设计方面强化了MOS管散热与电磁兼容性能, 具有输出电压稳定、各种保护功能全面、调试与扩充升级方便等优点。**关键词:** Atmega128 单片机; 数字PID控制; PWM驱动; 辅机控制; 蓄电池保护

中图分类号: U262.7*2; U262.7*3 文献标识码: A 文章编号: 1000-128X(2012)5-039-04

New Design of Auxiliary Generator Controller for Diesel Locomotive

LI Hua¹, LIU Zhi-cong², LIU Song-bai²

(1. Product Design Department, CSR Qishuyan Locomotive Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu 213011, China;

2. Technology Center, Zhuzhou CSR Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: New design of auxiliary generator controller based on single-chip microcomputer for diesel locomotive was introduced in detail. Constant voltage and current limit of auxiliary generator exciter winding was realized by mathematical PID control, and heat dissipation of MOSFET and electromagnetic compatibility were considered through shape designed. The new controller has the advantages of voltage stabilization, full protect function and easy debugging and easy upgrading.**Key words:** Atmega128 single chip; mathematical PID control; PWM drive; auxiliary generator control; storage battery protect

0 引言

长期以来, 国产内燃机车辅助直流发电机(下文简称辅发电机)的输出电压一直采用模拟电路进行控制, 通过采用运算放大器等模拟电路器件来完成辅发电机输出的恒压控制。这种模拟控制方法有诸多不足, 电阻、电容、运算放大器等模拟器件随着温度变化和工作时间增加, 参数会产生漂移, 从而导致控制性能降低。并且原有的模拟控制电路采用了继电器等体积较大、寿命较短的器件, 带来了维护工作量较大等不足。而且原有的模拟控制电路很难升级换代, 难以实现先进的控制算法及各种完善的保护功能, 一旦出现新的功能需求, 往往需要对硬件做大幅更改, 甚至重新设计, 因而成本较高, 竞争力不强。为了解决模拟控制方式的不足, 全新研发设计了基于单片机的内燃机车辅发电机控制装置(下文简称辅机控制装置), 具

有控制稳定、保护功能全面、调试与扩充升级方便等优点。

1 辅机控制装置原理与参数

内燃机车柴油机通过主从齿轮装置带动辅发电机发电。辅机控制装置检测辅发电机输出电压、电流等参数, 并与电压给定值进行比较, 根据比较得出的差值采用PID控制方法通过PWM波对辅发电机的励磁电流进行控制。辅机控制装置通过调节PWM波的占空比来调节辅发电机的输出电压, 使之稳定在规定范围内[通常为DC (110 ± 2 V)]。当辅助设备负载或柴油机转速发生变化时, 辅机控制装置通过动态调节PWM波占空比来稳定辅发电机的输出电压。而当辅发电机输出电流或蓄电池充电电流超过限制值时, 辅机控制装置将相应地减小励磁电流以防止损坏。对于不同类型的辅发电机和蓄电池, 输出电压、限制电流值等参数均可以在辅机控制装置的软件中进行灵活配置。辅发电机励磁控制原理框图参见图1。

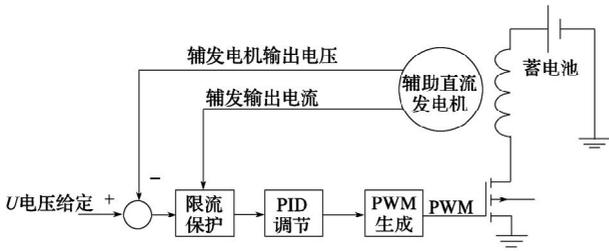


图 1 辅发电机励磁控制原理框图

基于上述辅发电机励磁控制原理,新型辅机控制装置以单片机 Atmega128 为控制核心,通过软件算法实现数字PID(比例积分微分)调节辅发电机励磁绕组的励磁电流,从而实现对输出电压的闭环控制,完成恒压控制功能。新型辅机控制装置保护功能齐全,具有输出过压保护、限流保护、蓄电池充放电电流监测、蓄电池表面温度监测等多项保护功能。新型辅机控制装置还具有软启动功能,可以减小负载冲击。

新型辅机控制装置的主要技术参数如下:

工作电源	DC 77~144 V
电压	DC(110 ± 2)V
输出电流	0~10 A
PWM输出频率	0~1 000 Hz
PWM输出占空比	0~100 %
过压保护值	DC(125 ± 2)V

2 硬件设计

2.1 控制与保护电路设计

新型辅机控制装置通过调节辅发电机的励磁电流使输出电压稳定在目标值DC(110 ± 2)V,当辅发电机输出电压大于设定过压值DC 125 V时,比较电路直接断开励磁回路,实现过压保护。整个电路框图见图2。

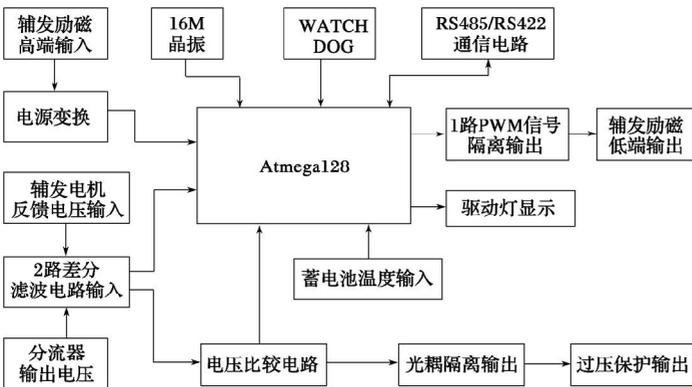


图 2 新型辅机控制装置系统框图

整个控制电路主要包括如下几个部分:

电源变换:采用模块电源,将供电电压110 V转换成控制电源需要的5 V、+15 V/-15 V和+12 V隔离电源,提供给控制器和信号处理电路使用。

主控制电路:由单片机Atmega128、晶振电路、看门狗电路、驱动灯显示电路以及下载调试电路组成。

信号处理电路:由差分滤波电路、分流器检测电压信号(直流0~75 mV)输入电路、0~20 mA电流信号电路、温度采集电路组成。

PWM输出电路:由光耦、隔离电源、MOS驱动电路和吸收保护电路组成。

通信调试电路:由RS422/485串口通信电路组成。

硬件过压保护电路:由基准电压、比较器、保护MOS管组成。

2.1.1 电源变换电路和主控制电路

电源变换电路给控制装置各部分提供工作电源,见图3。DC 110 V输入后,由开关电源P1通过DC/DC隔离变换为直流5 V(典型值),供整个装置的模拟电路和部分数字电路使用。经DC/DC开关电源P3再把直流5 V变成直流12 V(典型值),供给PWM隔离输出驱动电路使用。开关电源P2则负责把直流5 V变换成直流±15 V供给运算放大器和外部传感器使用。开关电源芯片P4实现直流5 V的隔离变换,变换出一路单独的直流5 V隔离电源,作为串口通信电路的隔离电源。

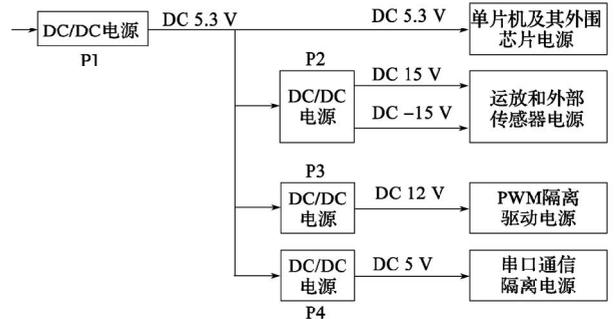


图 3 电源变换电路框图

主控制电路核心控制芯片为Atmega128^[2], Atmega128 为基于 AVR RISC结构的8位低功耗CMOS微处理器。Atmega128的数据吞吐率高达1 MIPS/MHz,并提供6种可以通过软件选择的省电模式,从而可以缓减系统在处理速度和节能降耗之间的矛盾。Atmega128内置8通道10位ADC,并具有可选的可编程增益。Atmega128还具有片内振荡器的可编程看门狗定时器、SPI串行端口、异步串行口与JTAG测试接口(此接口同时还可以用于片上调试)等接口。GPIO口也可配置成PWM输出口。通过外围配置基本的晶振电路、复位电路和驱动灯显示电路即可构成基本的主控制电路。同时在面板上设计了8路LED指示灯,可以通过软件编程来灵活地定义指示灯状态,以方便用户和技术支持人员在现场第一时间了解装置的工作状况并快速定位故障。

2.1.2 信号处理电路

外部蓄电池充放电电流传感器输出的0~20 mA电流信号、蓄电池温度传感器输出的0~20 mA电流信号分

别经采样电阻和滤波放大电路处理后送入 Atmega128 的 AD 通道管脚。外部辅发电机输出电压信号则直接通过差分滤波电路处理后送入 Atmega128 的 AD 通道, 再由内部模数转换器进行 AD 转换和滤波处理。信号处理电路见图 4 所示。

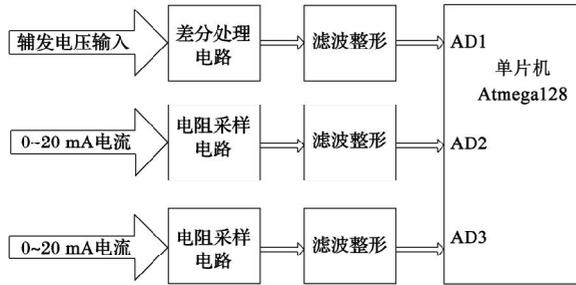


图 4 信号处理电路

2.1.3 PWM 输出电路

Atmega128 单片机接收各种指令和传感器反馈信号, 通过软件 PID(比例积分微分控制)算法调节内部定时器 1 的 PWM 占空比(脉冲宽度调制), 输出的 PWM 信号通过光耦隔离、MOS 管驱动电路后驱动 MOS 管(场效应管), 控制辅发电机的励磁电流大小, 实现对辅发电机输出电压的闭环动态调节。MOS 管并联的阻容吸收保护电路可以避免 MOS 管两端过压击穿, 起到保护 MOS 管的作用。



图 5 PWM 输出电路

2.1.4 保护电路设计

过压保护采用了硬件保护和软件保护双重保护的措 施, 提高了安全性和可靠性。

辅发电机的软件过压保护设计为, 当单片机检测到辅发电机输出电压大于 125 V 的时候, 单片机会立即产生一个外部中断, 会立即封锁单片机输出的 PWM 信号, 即 PWM 信号的占空比封锁为 0, 从而起到软件过压保护的作用。直到辅发电机输出电压低于 125 V 之后, 单片机立即依据检测到的输出电压反馈值, 通过 PID 动态调节输出电压的大小直至输出电压稳定在 (110 ± 2) V 的正常范围内。

硬件过压保护如图 6 所示。电压反馈通过信号调理电路滤波整形后送入电压比较电路, 当电压反馈值大于用户设定的保护值时, 电压比较电路输出一个高电

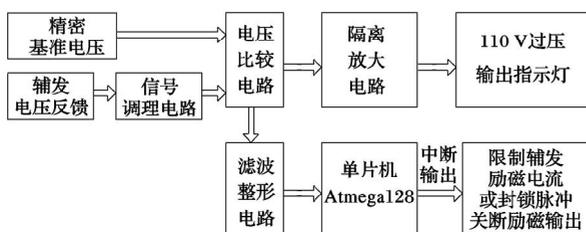


图 6 过压保护电路框图

平。该高电平分为 2 路信号: 一路经过滤波整形电路后送给 Atmega128, Atmega128 会立即产生一个外部中断来限制励磁电流输出或立即封锁脉冲, 关断励磁输出, 直至电压反馈值回到正常范围; 另一路信号经隔离放大电路后送给外部 110 V 过压指示灯, 这样用户可以很直观地了解到辅机控制装置的工作情况。

2.1.5 通信与调试接口电路

新型辅机控制装置采用了 RS422/RS485 串口通信电路, 如图 7 所示。通过串口调试下载电路可以很方便地实现现场程序下载与调试修改参数等功能, 不需要拆卸装置就可以完成在线故障诊断和程序下载升级功能。同时通过串口电路可以很方便地与机车上其他控制装置(如机车微机系统)实现信息共享和故障保护, 便于功能扩展。

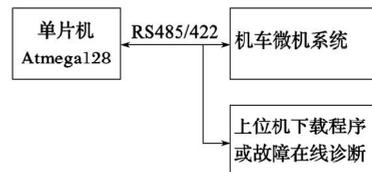


图 7 串口通信电路框图

2.2 壳体结构设计

新型辅机控制装置充分利用有限的空间, 结构设计紧凑, 大量采用了表面贴元器件, 体积较原来显著减小, 节省了安装空间。装置还留有升级余地, 可以针对不同工作环境进行改型。

MOS 管采用紧贴外壳的方式散热, 而且采用一整块金属压条紧压在外壳上, 如图 8 所示。MOS 管垫上绝缘膜后用压条紧压在铸铝盖精抛光侧壁, 通过铝盖散热, 这样的设计安装牢固, 散热面积大, 散热效果好。这种结构设计对 MOS 管的外形尺寸要求不高, 安装容易, 接触也较为可靠。

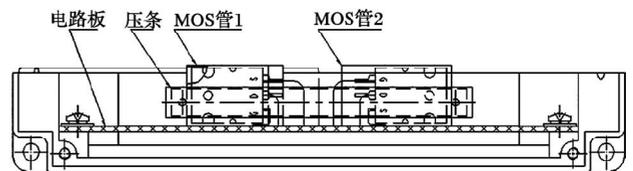


图 8 MOS 管安装示意图

新型辅机控制装置采用了铸铝全金属密闭外壳, 电磁屏蔽性能良好, 机械强度大, 可靠性好, 防尘性能好。铸铝盖的外表面采用鳍状设计, 增大了铝盖和空气接触的表面积, 充分增大了装置内部电子元器件的散热面积, 有效降低了密闭模块内部电子元器件的表面温度和结温, 这样的设计极大地提高了系统的可靠性。铝盖侧壁设有接地柱, 能够保证装置可靠地接地, 提高本装置的 EMC(电磁兼容性)性能。

3 软件设计

软件主要由硬件初始化、AD 采集滤波、串口通信,

PID 算法、故障处理等程序组成。串口通信与上位机连接,可以实时监视数据和波形,进行在线PID参数修改和调节。软件流程图和PID控制原理框图分别见图9和图10。

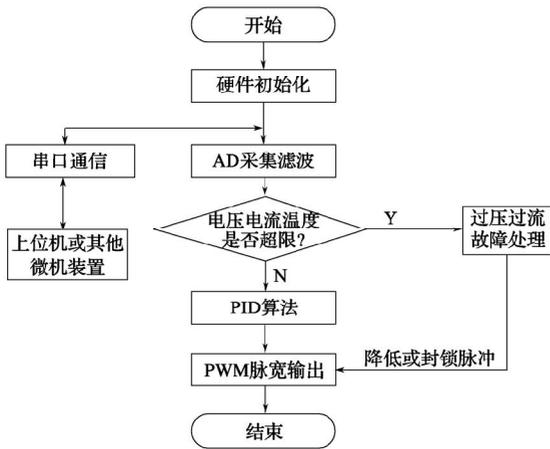


图 9 软件流程控制图

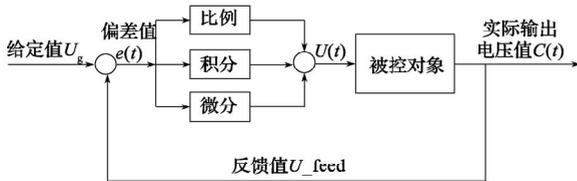


图 10 软件PID(比例微分积分控制器)控制原理框图

4 试验

对新型辅机控制装置进行了实验室模拟测试,通过监视辅发电机输出电压反馈参数和PWM脉冲宽度之间的关系,来验证恒压控制功能。试验先设定110 V时脉冲宽度为50%,同时设定电压上升率为20 V/s。当辅发电机输出电压由低往高变化时,脉冲宽度由0变至90%,然后慢慢降低。当电压调至109 V时,PWM输出占空比约为50%(见图11)。反馈电压继续升高,PWM输出脉宽逐渐减少,当反馈电压为113 V时,脉冲占空比变为25%(见图12),随着反馈电压幅值继续增加,脉冲占空比逐渐下降直至为0。修改PID参数,可以明显观察到PWM脉宽调节速度的变化。试验波形图等数据表明,该装置控制稳定精确,完全满足技术要求。

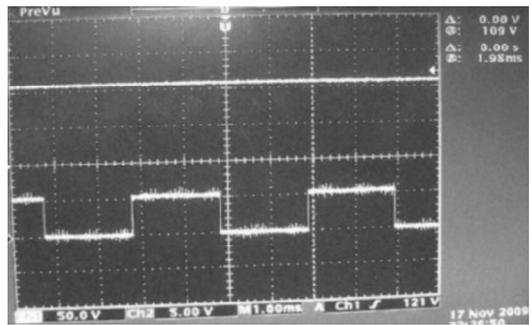


图 11 反馈电压为110 V时的PWM输出波形图

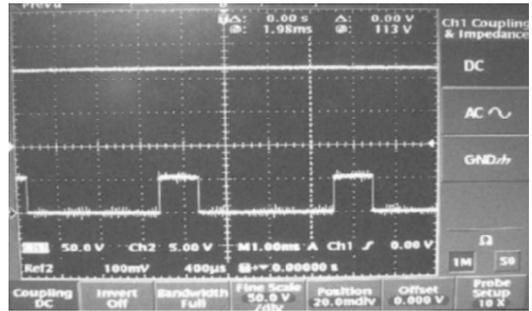


图 12 反馈电压为113 V时的PWM输出波形图

5 结语

新型辅机控制装置的设计采用以单片机为核心的数字控制电路取代了传统的模拟控制电路,在不增加成本的前提下研发出了体积更小、可靠性更高、寿命更长的新型产品。该装置调试方便,关键器件没有继电器等寿命敏感型器件,因而延长了使用寿命,减小了维护工作量。新设计充分体现了数字电路设计灵活、扩展性好、功能升级容易等诸多优点,易于实现软启动和蓄电池智能充电等控制功能,有利于提高机车电器和蓄电池寿命,从而提高了经济效益。经过软硬件联调与功率负载试验、温升试验等一系列调试试验与验证,新型辅机控制装置已成功通过了公司内部首件鉴定评审,完全具备装车技术性能,后续将进一步推广应用。

参考文献:

[1] 戚墅堰机车车辆厂. 东风₁₁型内燃机车电传动系统[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.
 [2] 沈建良. Atmega128单片机入门与提高[M]. 北京: 北京航空航天大学工业出版社, 2009.