

光电经纬仪伺服控制系统主电源设计

李欢利^{1*}, 张兴亮²

(1. 洛阳理工学院 计算机与信息工程学院, 河南 洛阳 471023;

2. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘要: 为满足车载光电经纬仪对伺服控制系统控制精度、稳定性以及质量体积等方面的要求, 针对伺服控制系统主电源开展了相关研究。主电源作为伺服控制系统的能量供给单元, 其稳定性决定了伺服控制系统的稳定性, 继而影响伺服控制系统的跟踪精度以及跟踪频率等指标。文章从电源设计要求、主电路、最大脉宽限制电路、PWM 控制电路、电压电流检测电路以及电压反馈控制电路 6 个方面进行了研究, 同时依据此方法设计电源。测试结果表明, 电源输出为 48 V DC, 输出功率为 2 400 W, 峰峰值为 310 mV, 重量为 13.8 kg, 体积为 350 mm×200 mm×110 mm。

关键词: 光电经纬仪; 伺服控制; 电源; 电路设计

中图分类号: TN702; TH761.1 **文章编号:** 1001-5868(2023)04-0616-05

The Main Power Supply Design of Photoelectric Theodolite Servo Control System

LI Huanli¹, ZHANG Xingliang²

(1. Department of Computer and Information Engineering, Luo Yang Institute of Science and Technology, Luo Yang 471023, CHN;

2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, CHN)

Abstract: In order to meet the requirements of vehicle photoelectric theodolite on the control precision, stability, weight and volume of the servo control system, relevant research was firstly carried out on the main power supply of the servo control system. As the energy supply unit of the servo control system, the stability of the main power supply determined the stability of the servo control system. Then the tracking precision and tracking frequency of the servo control system were affected. In this paper, the design requirements of the power supply, the main circuit, the maximum pulse width limiting circuit, PWM control circuit, voltage and current detection circuit and voltage feedback control circuit were described. At the same time, the power supply was designed according to this method, and the test results were obtained: the power output is 48 V DC; the output power is 2 400 W; the peak-to-peak value is 310 mV; the weight is 13.8 kg; the volume is 350 mm×200 mm×110 mm.

Key words: photoelectric theodolite; servo control; power supply; circuit design

0 引言

国防建设的迫切需求, 使得导弹、火箭、飞机等飞行器试验的光学测量任务飞速增长^[1-5], 这些测量任务主要依靠光电经纬仪来完成, 光电经纬仪所承担的任务量与日俱增。

光电经纬仪主要包括四个部分, 第一部分是光学系统, 主要由望远镜组成; 第二部分是测角系统, 主要由方位电机、俯仰电机及相关编码器组成; 第三部分是伺服控制系统, 主要由跟踪处理器、电控、跟踪架和跟踪电视等组成; 第四部分是记录系统。光电经纬仪属于多学科融合的一种先进技术设

收稿日期: 2023-03-24.

* 通信作者: 李欢利 E-mail: lih1483@sina.com

备^[4,6],主要设计光学、机械、电子、计算机、软件等学科。

光电经纬仪发现被测目标后,伺服控制系统首先对被测目标进行捕获和锁定,然后还需要对目标进行跟踪,以保证目标一直在视场之中;同时,记录系统开始记录脱靶量(实际弹道相对于理论弹道的偏差),测角系统测量方位角和俯仰角,实现目标角度位置测量的功能。

由上可知,伺服控制系统的目标捕获能力决定运动目标的测量能力。

1 伺服控制系统组成

光电经纬仪伺服控制系统主要包括以下模块:主电源模块、二次电源模块、总线模块、控制模块、脉冲宽度生成模块、功率放大模块、电流采集模块、测角模块等。

其中,主电源模块将外部输入的三相 380 V AC 电源转换成伺服控制系统主电源,本文依托装备设计电源输出为+48 V/50 A DC。

二次电源模块将主电源进行二次转换,生成跟踪控制所需的所有电源,包括控制+5 V,模拟±12 V,3.3 V 等。

控制模块通常采用 DSP+FPGA 的构架,DSP 主要根据位置指令数据完成运动曲线的生成;同时,接收角度信息和电机相电流信号,依据一定的控制算法生成俯仰驱动信号和方位驱动信号,构成速度内环与位置外环的双闭环控制系统,控制算法主要包括电流环、速度环、位置环、超前调制或滞后调制等^[7-11];同时,该模块接收总线信息。

主电源模块作为伺服控制系统的能量供给单

元,其稳定性决定了伺服控制系统的稳定性,继而影响伺服控制系统的跟踪精度以及跟踪频率等指标;同时,车载光电经纬仪设备空间有限,对电源的体积和重量都提出了严格的要求。为满足依托装备的主电源设计要求,开展了相关研究。本文设计电源的几个具体指标如下:

- 1) 电源输入:380(1±15%) V AC;
- 2) 电源输出:48(1±10%) V DC;
- 3) 输出功率:≥2 200 W;
- 4) 峰峰值:≤2 V;
- 5) 重量:≤15 kg;
- 6) 体积:≤370 mm×240 mm×120 mm。

2 主电源设计

2.1 主电路设计

主电路如图 1 所示。该电源采用双管正激式变换结构,相对于单管正激式变换结构,双管正激变换结构开关管电压应力更低,利于开关管安全工作。逆变器 VD_1 将输入电源(380×(1±15%) V AC)转换为直流电压(460~620 V)。 R_1, N_4, VR_1 构成电源接通瞬间防冲击电流电路;逆变器启动后, VR_1 导通并将限流电阻 R_1 旁路;因 C_1 已充电, VR_1 不会出现冲击电流。

输出为半波整流模式、LC 滤波,在二次侧极性反相时, L_1 的储能经续流二极管 VD_9 续流,以保证负载电流及电感电流的连续性。 VD_6, VD_7 构成去磁电路,在开关管截止时,将变压器的储能返回电源,避免磁积累而出现变压器饱和。 C_2 与 R_2, C_3 及 R_3 均为缓冲吸收电路,避免过电压尖峰而损坏开关管。

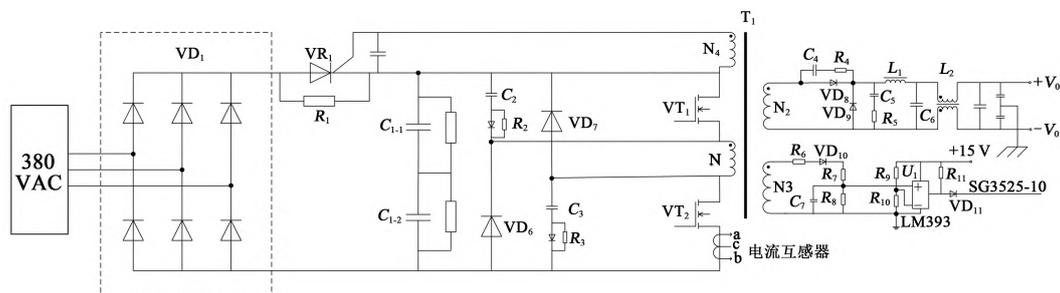


图 1 电源主电路

2.2 脉宽最大限制电路

N_3 和 LM393 等元器件组成最大脉冲限制电路,为变压器 T_1 伏秒乘积限制电路。最大脉宽随

输入电压变化而变化。输入电压越高,允许最大脉冲宽度越小,即控制导通时间,防止变压器出现磁饱和。 C_7 充电到基准电压所需时间,即为实时输入电

压下元件的最大脉冲宽度,该时间与输入电压成反比。当输入电压,即加到变压器的一次电压超过预定的阈值时,LM393 输出高电平,加至脉冲宽度调制(Pulse Width Modulation, PWM)控制 SG3525 的 10 端去封锁驱动脉冲。调整 R_7 可以调整 C_7 在限定电压下充电到基准电压的时间。

2.3 PWM 控制电路

PWM 控制电路如图 2 所示,采用 SG3525 芯片,通过 R_{14} 调节开关频率,大约在 25 kHz;11 脚输出经驱动电路放大后用于驱动主电路开关管 VT_1 和 VT_2 ;当 10 脚为高电平状态,关断脉冲输出;通过控制 1 脚的输入电压,调节脉冲宽度。

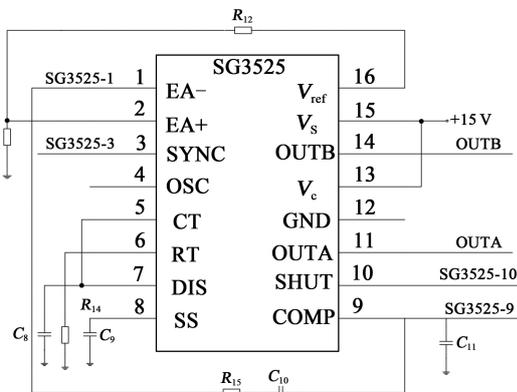


图 2 PWM 控制电路

2.4 检测控制电路

采用电压、电流双闭环检测控制模式,检测控制电路如图 3 所示。

应用双通道多功能故障检测集成芯片 MC3424 作为控制芯片,MC3424 内部具有 2.5, 2.25, 1.4 V 三个基准电压,4脚和13脚为可编程延迟信号控制

端;外接电容 C_1 和 C_2 可改变延迟时间 t_d ,延迟时间公式如式(1)所示:

$$t_d = 10 \times 10^{-3} \times C \quad (1)$$

式中, C 的单位为 μF 。设置延迟电路,可以有效地滤除脉宽小于 t_d 的干扰脉冲,提高系统抗干扰性。

3 脚和 14 脚分别接一个上拉电阻至 1 脚(基准电压端),用于输入比较器动作滞后的可编程,保持 2 脚和 3 脚、14 脚和 15 脚两组比较器输入电压在可控制范围。 R_5 和 R_{15} 的阻值越大,比较器两输入端之差越大,使电路在临界故障仍然能稳定工作,避免输入比较器因输入信号很小的起伏而反复转换。

16 脚外接 R_7 和 C_2 构成延迟电路,以保证两个通道均能正常工作。16 脚电压小于 1.4 V,通道 2 被阻塞(电路刚接通),当 16 脚电压大于 1.4 V 时,通道 1 和通道 2 均能正常工作。

5 脚和 12 脚为遥控信号接口,当输入电平低于 1.4 V 时,输出驱动和指示信号;5 脚和 6 脚短接或 11 脚和 12 脚短接可实现故障状态自锁,故障指示一直维持到外界复位为止。

图 3 中的第一通道用于输出电压 V_o 的过电压、欠电压故障检测。

过电压采样信号输入 MC3424 的 2 脚,当输出电压 $V_o > 53 V$ 时,MC3424 的 2 脚的输入电压大于 2.5 V,指示端 6 脚为低电平,发光二极管 HL_1 导通,指示过电压。

欠电压采样信号输入 MC3424 的 5 脚,当输出电压 $V_o < 44 V$ 时,MC3424 的 5 脚的输入电压小于 1.4 V,指示端 6 脚为低电平,发光二极管 HL_1 导通,指示欠电压。

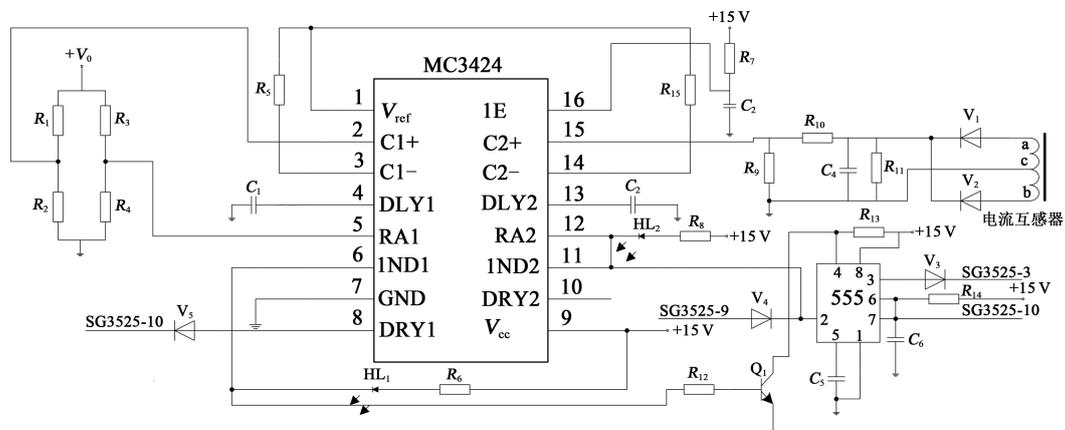


图 3 检测控制电路

无论是输出过电压或者欠电压,MC3424 的 8 脚均为高电平,经二极管 V_5 输出到 SG3525 的 10

脚,关断驱动脉冲,电源无输出。

图3中的第二通道用于输出电流检测,电流取样由电流互感器完成,电流互感器如图中a/b/c三个端口,c端口作为基准端,a端口和b端口采样的电流信号经电路转化成电压信号,输入到MC3424的15脚,与14脚的2.5V基准电压进行比较,过电流是11脚输出低电平,发光二极管HL2导通,指示过电流故障。

一般情况下,过电流时,输出电压并非处于欠电压故障状态,6脚输出为高电平,Q₁导通使得555时基电路的4脚为低于0.6V的电平,555时基电路的输出状态受其2脚的输入信号控制。由于此时MC3424的11脚为低电平,555的10脚输出高电平到SG3525的10脚,脉冲关断。高电平的持续时间由R₁₄和C₆决定。

由于单稳电路设置恢复到低电平的时间比较长,变换器停止工作的时间也长,处于断续工作状态,平均电流比较小,即使长时间短路也能保证安全。过电流时,MC3424的11脚输出低电平信号至SG3525的9脚,进行逐个脉宽限制的限流保护。

2.5 稳压反馈控制

稳压反馈控制电路如图4所示,采用光耦隔离传输反馈信号可提高控制电路的抗干扰能力,调节电位器,使电压反馈控制电路启动,光耦晶体管的输出电压至SG3525电压误差放大器的反向输入端,即SG3525的1脚,控制脉冲输出。

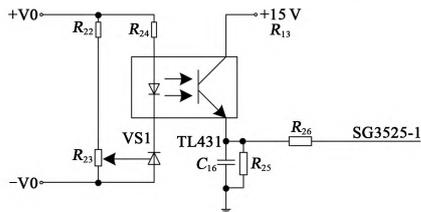


图4 稳压反馈控制电路

3 试验结果

采用RIGOL示波器对设计电源进行了输出测试试验,输出波形如图5和图6所示;图5为电压直流输出波形,图6为带有输出数据的波形。

通过图6可以得到,电源输出电压平均值为48.07V,最大值为48.12V,最小值为48.17V,峰峰值为310mV,满足装备对主电源的设计要求。

电源外形如图7所示,实际尺寸为350mm×200mm×110mm,重量为13.8kg,满足装备对主电源的设计要求。



图5 电压直流输出波形



图6 带有输出数据波形



图7 电源外形图

4 结论

随着科学技术发展,要求光电经纬仪的布站机动性更强。本文开展了车载光电经纬仪的研究。车载光电经纬仪设备空间有限,对光、机、电等系统的小形化和轻量化都提出了更高的要求。

主电源作为伺服系统的能量供给单元,其稳定性决定了伺服控制系统的稳定性,继而影响伺服系统的跟踪精度以及跟踪频率等指标。同时,对电源的体积和重量都提出了严格的要求。

本文介绍了一种电源设计方法,对主电路、脉宽控制电路、PWM控制电路、电压电流检测电路以及反馈控制电路进行了详细的描述。根据此方法设计的电源得到以下结果:电源输出为48V DC,输出功率为2400W,峰峰值为310mV,重量为13.8kg,体积为350mm×200mm×110mm。

参考文献:

[1] Finkelstein E, Weiss S. Microprocessor system buses: A case study[J]. J. of Systems Architecture, 1999, 45(12/13): 1151-1168.

- [2] 李磊. 光电经纬仪电视跟踪测量系统设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
Li Lei. The design of electro-optic theodolite TV tracking measurement system [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.
- [3] 李娜. 基于 ARM9 的 PEMFC 控制系统的设计与研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.
Li Na. Design and study of the fuel cell control system based on ARM9[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2010.
- [4] 赵记彤. 经纬仪光学目标模拟器电控系统的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020.
Zhao Jitong. Study on electronic control system of theodolite optical target simulator [D]. Changchun: Jilin University, 2020.
- [5] 王永涛, 肖俊辰. 基于改进灰色预测单神经元 PID 的 URV 伺服控制系统研究[J]. 兵器装备工程学报, 2021, 42(8): 251-257.
Wang Yongtao, Xiao Junchen. Research on URV servo control system based on improved grey prediction single neuron PID [J]. J. Ordnance Equipment Engineering, 2021, 42(8): 251-257.
- [6] 孙健. 动态高型控制方法在光电经纬仪跟踪伺服系统中的应用研究[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2004.
Sun Jian. Study on application of dynamic high type method in tracking servo system of theodolite[D]. Changchun: University of Chinese Academy of Sciences, 2004.
- [7] El-sousy, Fayed F M. Robust recurrent wavelet interval type-2 fuzzy-network control for DSP-based PMSM servo drive system[J]. J. of Power Electronics, 2013, 13(1): 139-160.
- [8] Wang S. Permanent magnetic synchronous motor control system based on ADRC[J]. TELKOMNIKA Indonesian J. of Electrical Engineering, 2013, 11(6): 3439-3444.
- [9] Hu J, Qiu Y, Lu H. Adaptive robust nonlinear feedback control of chaos in PMSM system with modeling uncertainty [J]. Appl. Mathematical Modelling, 2016, 40(19/20): 8265-8275.
- [10] Pabbewar A S, Kowsalya M. Three level neutral point clamped inverter using space vector modulation with proportional resonant controller[J]. Energy Procedia, 2016, 103: 286-291.
- [11] 陈玉廷. 基于 DSP 的控制器在经纬仪伺服系统中的应用 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2005.
Chen Yuting. The application of controller based on DSP in servo system of theodolite[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2005.

作者简介:

李欢利(1986—),女,河南省洛阳市人,博士,讲师,主要研究方向为图像处理、信号处理、电机控制算法。