

Margin Throttle Drive Controller Hardware Design

Chang Liu

Beijing Qingyun Aviation Instrument Co., Ltd., Beijing, 101300, China

Abstract

In order to improve the reliability and safety of the product. This paper proposes a design for the clearance throttle drive control hardware of the drone, it mainly completes the design of the overall, control module, drive module and power supply module. The control object is a double-redundancy throttle electric actuator.

Keywords

drone; margin management; margin throttle drive controller

余度油门驱动控制器硬件设计

刘畅

北京青云航空仪表有限公司, 中国·北京 101300

摘要

为了提高系统可靠性和安全性,提出了一种用于无人机的余度油门驱动控制器硬件的设计,主要完成了总体、控制模块、驱动模块、电源模块的设计。控制对象为一种双余度油门电动执行机构。

关键词

无人机; 余度管理; 余度油门驱动控制器

1 引言

油门控制是飞行控制的关键功能之一,目前有人机普遍通过机械杆系传递飞行员对油门的操纵,无人机则必须通过电传实现飞行员对油门的操纵。随着飞机研制的发展,无人机的任务变得越来越复杂,造价越来越昂贵,对电传油门操纵系统的可靠性安全性要求也越来越高。目前普遍使用的单通道油门伺服控制系统无法满足新型飞机的要求,因此需要设计高可靠性、安全性的余度电传油门伺服控制系统。

2 控制器总体设计

2.1 功能概述

油门驱动控制器(以下简称ATC)的主要功能是接收飞行器管理计算机(以下简称“VMC”)发出的指令和油门执行机构(以下简称ATU)反馈的信息,通过信号处理、伺服计算和驱动放大输出电机驱动信号至ATU,控制ATU输出摇臂运动到指定位置,从而控制发动机燃调机构阀门角度,调整发动机转速,实现速度控制功能。同时ATC将ATM的故障状态上报给VMC,实现VMC对ATM的监控^[1]。

【作者简介】刘畅(1986-),女,满族,中国天津人,本科,工程师,从事复杂机电系统控制与仿真研究。

2.2 总体设计

油门驱动控制器的控制对象为双通道电机,对应的驱动部分也必须为双通道设计。油门驱动控制器需要接收三余度VMC的数据为满足高安全性、可靠性要求需要对三余度数据进行表决、监控,因此控制部分设计成三余度结构。为提高系统的维护性并尽量减小体积,根据硬件功能划分将尺寸进行优化布局后,将每个控制通道设计成一个模块,将两个驱动通道布局成一个模块^[2]。每个控制通道根据接收自VMC的位置指令计算得到A、B驱动通道所需的PWM驱动指令,控制通道同时输出各自的通道有效信号给A、B驱动通道。每个驱动通道根据控制部分输出的通道有效信号,选用其中一个控制通道的指令作为输入驱动指令,并以此驱动对应的电机运行。

2.3 余度管理设计

2.3.1 同步设计

余度硬件系统设计需要保证3个控制通道的同步性,为了消除3个控制通道之间的累计时钟误差,保证3通道之间在同一时刻进行采样、运算、表决和输出。三个控制通道之间分别设置同步指示电路,如图1所示,每个控制通道有一个同步发送器,三个同步接收指示器,其中一个同步接收指示器D0位用于本地控制通道的同步回绕测试,另两个同步指示器D1、D2位接收对方控制通道发出的同步信号。

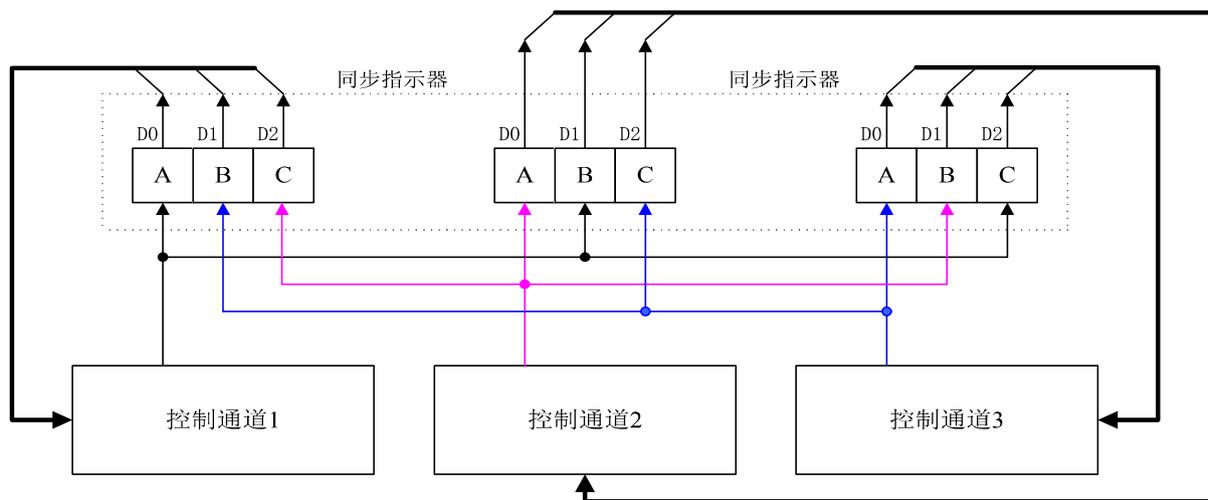


图1 同步指示电路工作原理

2.3.2 数据交叉链路 CCDL

为满足冗余硬件系统处理器间的数据表决、监控需求，控制部分3个通道间采用抗干扰性强的串行总线RS-422总线实现数据交叉链路CCDL。在每一任务周期内各通道将各自需要表决的信息封装在CCDL数据包中，然后向其他两个通道发送，同时接收另外两个通道的CCDL数据包并进行表决^[3]。CCDL布局如图2所示。

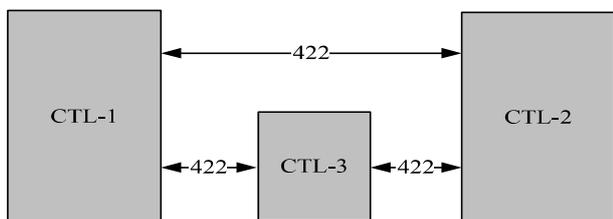


图2 数据交叉链路 CCDL

2.4 通道故障逻辑

2.4.1 通道有效判定

通道有效信号是冗余控制的重要信号，通过通道有效信号可以控制冗余算法的执行分支，可以控制有效良好的控制通道用于驱动机构。通道有效信号通过软硬件方式确定，通道有效故障逻辑中的信号定义见表1。

表1 通道有效逻辑中的信号定义

序号	名称	描述	备注
a	PS_V	电源有效	
b	WDT_V	看门狗有效	
c	CPU_V	处理器有效	
d	VM_X_V	Y_X通道监控结果	
e	VM_Z_V	Y_Z通道监控结果	
f	Local_CH_V	本控制通道有效	
g	CH_V_From_X	X通道认为本通道有效	
h	CH_V_From_Z	Z通道认为本通道有效	
i	CH_V_To_X	本通道认为X通道有效	
j	CH_V_To_Z	本通道认为Z通道有效	
k	CH_V	综合通道有效	

根据表1通道有效逻辑中的信号定义，可确定本控制通道有效、X通道有效、Z通道有效和综合通道有效的逻辑，具体如下：

$$Local_CH_V = PS_V \& WDT_V \& CPU_V;$$

$$CH_V_to_X = Local_CH_V \& VM_X_V;$$

$$CH_V_to_Z = Local_CH_V \& VM_Z_V;$$

$$CH_V = Local_CH_V \& (CH_V_From_X \parallel CH_V_From_Z) \& (VM_X_V \parallel VM_Z_V).$$

综合通道有效信号可用于冗余算法分支决策、驱动通道故障切换和故障上报。

2.4.2 综合切换逻辑

ATC有两个驱动通道，每个驱动通道的输入端有综合切换逻辑，接收通道控制有效及PWM信号，通过通道有效决定选通哪个控制通道PWM信号输出控制电机运行。

综合切换逻辑依据通道有效和选择控制通道号小的控制通道原则选通PWM信号输出。当出现三通道均无效时，依据本地通道有效和选择控制通道号小的控制通道原则选通PWM信号输出^[4]。

2.4.3 故障状态综合

每个ATC通道接收另两通道的CH-V信号，进行综合后生成“一次故障”和“二次故障”离散量信号供软件采集。综合逻辑：有一个控制通道出现故障时，则给出ATM一次故障，有两个控制通道出现故障时，则给出ATM二次故障。

3 控制器硬件设计

3.1 控制模块设计

ATC内配置有3余度的CTL模块，每个模块硬件电路完全相同，灌装相同的软件配置项。

CTL模块主要功能：二次电源转换、输入输出管理、电机控制运算、BIT及监控电路、电机电流采样、旋变信号解调。

模块包括如下 8 个功能电路：电源转换电路、电源监控电路、DSP 控制器及其最小系统、数据通信电路、串口扩展电路、离散量处理电路、旋变解调电路、信号调理电路和数据记录电路。

CTL 模块功能框图如图 3 所示。

3.1.1 电源转换电路

CTL 模块需要使用的电源有 $\pm 15V$ 、 $\pm 12V$ 、 $+5V$ 、 $+3.3V$ 、 $+1.8V$ 。其中 $\pm 15V$ 、 $+5V$ 来自对应支路的电源模块，其余电源由 $\pm 15V$ 、 $+5V$ 转换得到。

3.1.2 电源监控

对模块内的二次转换电源提供电源监控保护，采用四电压比较器 GF139 实现。比较后输出一个 PS-MON_VLD 信号，此信号上报核心控制器用于故障监控。

3.1.3 DSP 最小系统

DSP 最小系统主要实现 DSP 控制器的各项配置以及基本外围电路，包括时钟电路、复位电路、看门狗电路、调试维护电路。DSP 选用 SM320F2812PGFMPEP，具有强大的控制和信号处理能力，能够实现复杂的控制算法，

时钟电路使用 GJA143-30-C12 晶振配合 DSP 内部 PLL 实现，晶振频率为 30MHz，内部 PLL 应配置为 4 倍频，最终系统频率为 120MHz。

DSP 芯片的复位功能和看门狗功能都通过外部微处理器监控芯片 (μP) 实现。芯片选用 MAX791MJE。复位电路实现系统上电后的 200ms 复位时间。看门狗电路配置喂狗时间为 30~50ms。

调试维护电路实现 JTAG 接口电路和串行烧写电路功能^[9]。

3.1.4 数据通信电路

数据通信电路用于完成控制模块与 VMC、驱动模块

和控制板之间的数据传输。为了保证控制模块与外部设备的有效交联，选用 MAXIM 公司的 RS422 总线驱动芯片 MAX488MJA。其中与 VMC 通讯、与驱动板通讯通过 DSP 自带的 SCI 串口完成，三块控制板之间的数据通讯使用外扩接口完成。

3.1.5 串口扩展电路

由于控制板上共需 5 个外设串口，而 DSP 自带串口只有两个，为了保证数据的正常通讯，所以需要采用串口扩展。控制板上的串口扩展采用的是总线扩展方式。串口扩展采用 TI 公司推出的通用异步串行通讯协议芯片 TL16C752B。

3.1.6 离散量处理电路

离散量处理主要实现 $+5V$ 到 $+3.3V$ 、 $+3.3V$ 到 $+5V$ 的电平转换功能。电平转换芯片采用 6 个 SNJ54AHCT244W、6 个 SNJ54LVCH244AW。其中 SNJ54AHCT244W 用于 $+3.3V$ 到 $+5V$ 的电平转换功能，SNJ54LVCH244AW 用于 $+5V$ 到 $+3.3V$ 的电平转换功能。

3.1.7 旋变解调电路

旋变变压器转换电路主要实现：输出电机转子位置信号、输出电机转向和零点位置脉冲、输出器件自身的 BIT 信号等功能。

旋转变压器转换器件选用 AD 公司的 AD2S80 ATD/883B 器件，器件的输入信号是一组正 / 余弦反馈信号和激励信号，通过转换，可以输出数字位置信号、转向信号和零点位置脉冲信号。

3.1.8 信号调理电路

信号调理电路主要完成模拟信号的电压缩放、信号缓冲滤波、信号形式转换、隔离去干扰和电平移位。信号调理电路采用 GF412 双运算放大器对电机电流，位置反馈信号及 BIT 信号进行调理。模拟信号输入调理电路采用差

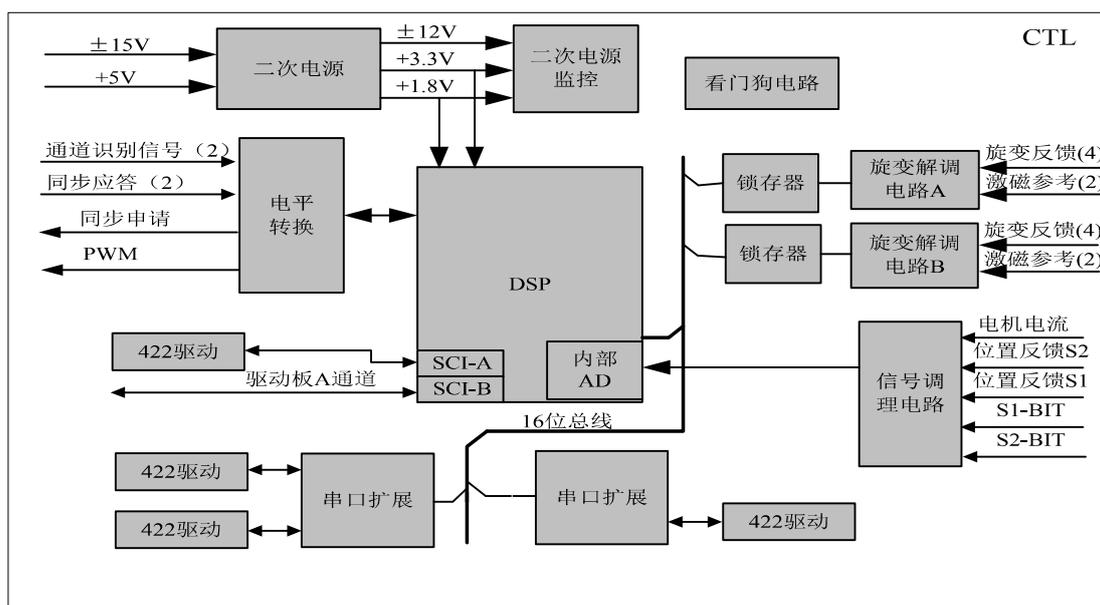


图 3 CTL 模块功能组成

分运算放大电路,将输入的八路模拟量信号调理后控制在0~3.3V。

3.1.9 数据记录电路

数据记录电路主要选用EEPROM记录ATM的标定数据、故障和维护等信息。选用芯片为国微电子型号为SM9977(8Bit×32K)的EEPROM。

3.2 驱动模块设计

驱动模块分为单板上完全电气隔离的A、B两个通道,两个通道独立工作。每个通道的信号通过板卡上的插针同母板信号相连。A通道或B通道是两个几乎完全相同的电路设计,每个通道电路主要由电机电源模块设计、综合逻辑切换电路、电机驱动电路、旋变激磁电路组成。A通道相比B通道多出一个UART的收发和RS422驱动电路。

3.2.1 综合逻辑切换电路

综合逻辑电路由一片CPLD构成,CPLD接收3个控制模块的通道良好信号。CPLD依据通道良好信号和预设优先顺序选通有效的控制模块输出的PWM信号。同时选通通道信号将反馈给余度控制模块用于故障监控。CPLD芯片选用国微电子的JSM1032B1GC-60。

3.2.2 电机驱动电路

电机驱动电路主要由MSK4300HD桥驱动芯片以及电流监控电路构成。MSK4300是集成电机三相桥驱动芯片,相比分立电路具有更高的可靠性,同时芯片内置死区保护电路和上下桥臂开通互斥逻辑可以有效地防止芯片被误操作导致的损坏。桥驱芯片的母线端串入了过流切断MOS管,当发生过电流故障时可以及时切断电源保护电路安全。同时母线端还并接了300uF的电容以有效减缓电机电流突变的冲击。电流检测电路采用小电阻测量(6个0.1Ω电阻并联)

以减轻功率消耗,采集到的母线电流通过运放放大(20倍)输出,并通过电压比较电路判断电机电流是否超限,进而决定电机是否采取关断行为。

3.2.3 旋变激磁电路

旋变激磁电路用于给旋变提供激励电源,旋变的正弦激励电源通过一个AD598器件产生,其中AD598芯片产生SIN和COS激磁信号,激磁信号频率为10KHZ,有效值为3.5V。激磁信号经功率运算放大器(7JHG0041TSC)电路后输出,增加激磁信号的驱动能力,且使得输入和输出同相同幅值。

3.3 电源模块设计

机上两路汇流条输入,经二极管“或”综合后,经电源EMI滤波器和浪涌抑制器后,进入两个电源模块。

伺服电源模块分为两个通道,两通道完全隔离,每个通道包括1个DC-DC转换器将+28V转换成+36V,并输出到驱动板上对应的通道。

控制电源模块分为3个通道,通道间完全隔离,每个通道包括1个DC-DC转换器将+28V转换成±15V和+5V,并输出到对应的控制板。

经过反复试验论证,控制器各项原理设计均能满足技术要求。

参考文献

- [1] 童试白,华成英.模拟电子技术基础[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [2] 阎石.数字电子技术基础[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [3] 姜付鹏.电磁兼容的电路板设计[M].北京:机械工业出版社,2011.
- [4] 苏奎峰,吕强,常天庆.DSP原理及C程序开发[D].北京:北京航空航天大学,2019.
- [5] 谭建成.永磁无刷直流电机技术[M].北京:机械工业出版社,2012.