

APU 控制系统的设计与实现

顾 洲^{1,2}

(1. 南京航空航天大学自动化学院, 南京 210016; 2. 南京师范大学动力工程学院, 南京 210042)

摘 要: 介绍了飞机辅助动力装置控制系统的硬件设计与实现, 该控制系统包含速度控制回路、压力控制回路、温度控制回路, 具有体积小可靠性高的特点. 经过长时间的实验证明, 该系统能安全、可靠运行, 能满足飞机对发动机起动、空中应急、电、液或其它辅助能源的不同需要。

关键词: 辅助动力装置; 数字电子控制; 调理电路

中图分类号: TP391.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-0134(2007)10-0050-04

Design and implementation of APU control system

GU Zhou^{1,2}

(1. School of Automation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. School of Power engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract: Hardware of APU (Auxiliary Power Unit) control system is introduced. Speed loop, pressure loop and temperature loop are included, it has high reliability and small volume feature. The result of long times operation shows that it can satisfy the needs of start, emergency, and other power source of engine safely and reliably.

Key words: auxiliary power unit; digital electronic controller; conditional circuit

0 引言

飞机辅助动力装置(以下简称APU)为独立于飞机主发动机的辅助动力装置, 它可提供气、电、液及轴功率, 来满足现代飞机对发动机起动、空中应急、电、液或其它辅助能源的不同需要^[1]。飞机高可靠性的要求和辅助动力装置技术的逐步成熟, 使得辅助动力装置已经成为现代军用飞机不可缺少的关键设备。未来高性能的战斗机将需求结构更紧凑、重量更轻的APU, 且能在更宽的飞行包线范围内快速起动和响应。本文将根据辅助动力装置的设计原则, 提出全权限数字电子控制^[2](FADEDC)方案。

1 APU系统的组成

APU是一种能输出增压气源和轴功率的小型发动机, 主要性能是: 可以起动主发动机, 驱动发电机和液压泵为飞机提供备份电源和液压源, 向座舱空调系统提供气源。APU是一种小型燃气涡轮发动机, 由压气机、燃烧室、涡轮和其它辅助系统组成, 其动力涡轮(TPU-Turbine Power Unit)由高压燃气驱动, 通过涡轮轴可以输出轴功率, 在动力轴上

可连接发电机输出电功率, 涡轮经减速齿轮箱输出轴驱动液压泵, 同时通过压气机可输送一部分空气用于APU的燃烧过程, 其余的压缩空气通过引气阀提供给空气管理系统, 用于座舱的环境控制和起动主发动机。

APU系统由六个主要部件组成, 即起动发电机、燃油供应装置、涡轮动力装置、液压负载装置、各类传感器、数字电子控制器等。

(1) 起动发电机 起动发电机负责在APU起动时提供初始的转动转矩, 同时产生电功率来给飞机供电, 该起动发电机由起动控制柜控制, 如图1所示, 当控制器发出起动指令后, 计算机向DO1和DO3端口发送高电平, 使得继电器触点KJ1、KJ3动作, 起动发电机激磁和励磁上电, 通过给定激磁调节电机转动, 完成起动机工作。当APU达到50%额定转速后, 计算机向DO1、DO3端口发出低电平, 起动发电机激磁和励磁都断电, 不再输出轴功率带动APU转动。当APU达到95%额定转速后计算机向DO2、DO3端口同时发出高电平, 起动发电机励磁上电, 负载供电输出, 此时为发电机工作状态。当APU控

收稿日期: 2007-05-10

作者简介: 顾洲(1973-), 男, 南京航空航天大学博士研究生, 南京师范大学讲师, 研究方向为控制理论与控制工程。

制造业自动化

制器发出停止命令后, 起动发电机激磁、励磁和负载回路全部断开。

(2) 燃油供应装置 APU 以油为燃料, 通过供油系统为 APU 提供适当的油压和油量, 燃油控制系统是 APU 控制系统的重要组成部分, 其控制品质的好坏将直接影响到 APU 的整体性能。APU 燃油供应通过电动油泵供油, 主要由油箱、油泵、油滤、燃油喷嘴和燃油电磁阀等部件组成。

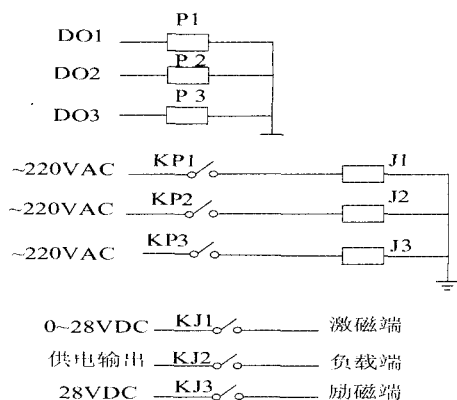


图1 起动发电机控制原理图

(3) 涡轮动力装置 涡轮动力装置 (TPU) 是 APU 最重要的装置之一, 它可转换为轴动力, 驱动起动发电机和液压泵, 同时 TPU 附有压气机, 产生增压空气一部分送入燃烧室参与燃烧, 另外大部分通过引气阀供应飞机用气, 它包括: 进气道、压气机、燃烧室和涡轮。

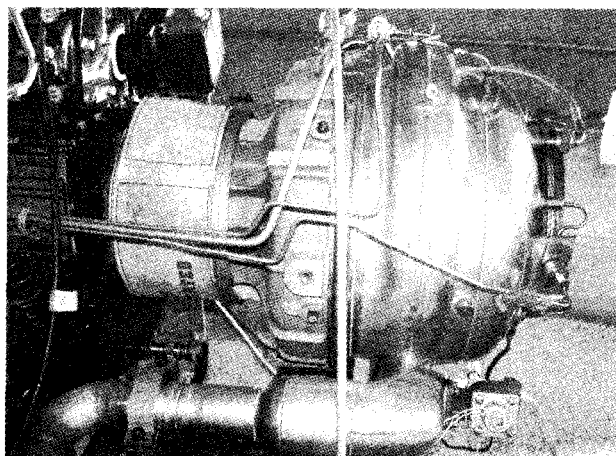


图2 TPU 实物图

(4) 液压负载装置 液压负载装置主要由液压负载台、液压泵组成。APU 的转轴带动工业齿轮箱转动, 通过减速器带动液压泵。可以手动进行负载调节, 加载或减载, 在试验中可以检验 APU 转轴带载

功率。

(5) 传感器 APU 电子控制系统的部分控置信号通过各类传感器测量所得, APU 数字电子控制器需要采集的模拟量信号有: 排气温度、燃烧室气压、转速等。

(6) 数字电子控制器 图3 为本文设计的数字控制器的外观图, 机箱为一种符合国军标的专用航空电子设备机箱, 面板上共装有4个电连接器, 以便实现与计算机、各传感器信号、控制信号等的通信和提供电源等。

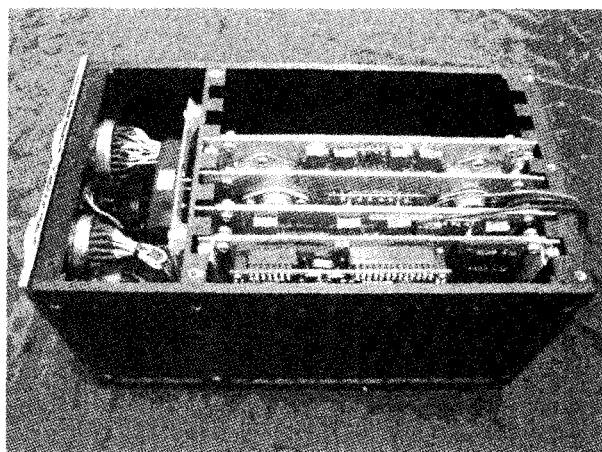


图3 APU 控制器的外观

2 控制系统的硬件设计

2.1 控制系统的总体设计方案

APU 数控系统总体框架如图4所示, 控制系统以 APU 转速、排气温度、燃气压力等为被控参数, 通过传感器测量单元和信号调理单元, 由 A/D 转换器送入处理器; 处理器发出实时控制信号, 经 D/A 送入到功放, 驱动电动油泵; 从而得到合适的 APU 的燃油量, 以达到控制 APU 转速和温度的目的。另外, 数字电子控制器可与监控计算机 (上位机) 实现实时通讯。

从图4中可以看出, APU 控制系统包含 APU 转速控制、温度控制与压力控制回路。其中核心处理器模块是数字电子控制器的关键部分, 经调理后的输入信号按照一定的控制算法, 从中计算出 APU 的各个输出控制量。在选型时, 考虑到高速性和可靠性, 采用以嵌入式微机模板为核心的结构, 其中 CPU 模板为基于 X86 嵌入式微控制模块板, 能够满足 APU 控制的各种需求^[3-4]。CPU 模板如图5所示。

制造业自动化

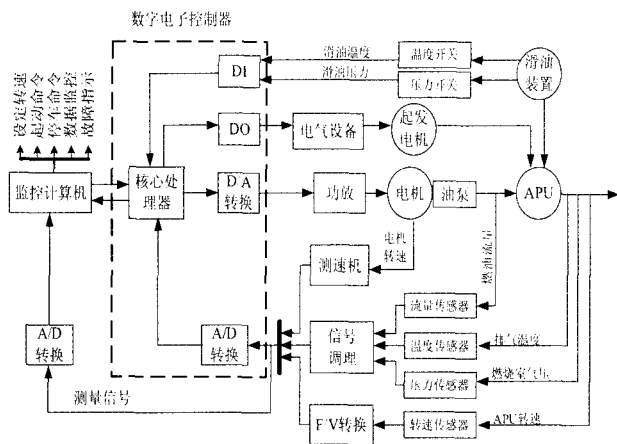


图4 APU 控制系统图

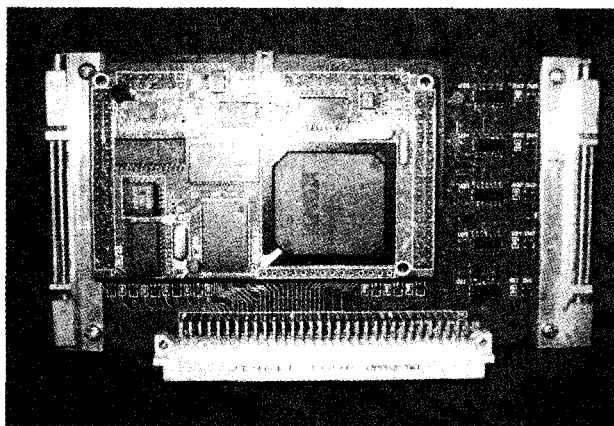


图5 核心处理器模块实物图

2.2 模拟信号的调理电路

如图4所示,模拟信号的调理包括输入输出两部分,输入有:APU转速信号、排气温度信号、燃气压力信号;输出有:伺服放大的调理电路等。

(1) APU 转速调理电路

本系统采用电磁式转速传感器,其输出为与待测的转速成正比的脉冲电势,因此在送入A/D之前必须进行调理,其电路如图6示,U1为运算放大器,构成一个迟滞比较器,C17保证输入脉冲经微分后有足够的幅度来出发LM331内部比较器,LM331为美国NS公司生产的频率-压力转换芯片,R32和C19构成一个低通滤波,U4为运算放大器OP07,与外围电路构成比例运算,调整适当的比例送入A/D。

(2) 排气温度测量调理电路

排气温度的测量采用K分度热电偶作为传感器,为了保证精度和线性度,信号调理采用美国模拟器件公司生产的带冷端补偿的单片热电偶放大芯

片AD595,如图7与AD595芯片引脚3、5相连的电阻网络向片内放大器 A_2 提供偏置电压实现零点调整的功能,引脚5向 A_2 反相端提供固定的正电压,引脚3向正相端提供一可调电压,通过调节改变 A_2 同相端的输入电压,使芯片输出为零。为了提高AD595的抗干扰能力和使其能可靠地工作,在引脚9、10之间接300uf电容(C7),在引脚10、11之间接0.01uf电容(C8),由此降低对高频噪音干扰的响应,同时在芯片电源的正电源引脚对地接0.1uf陶瓷电容,进一步减少纹波和尖峰地干扰,经测试该电路具有良好的线性度。

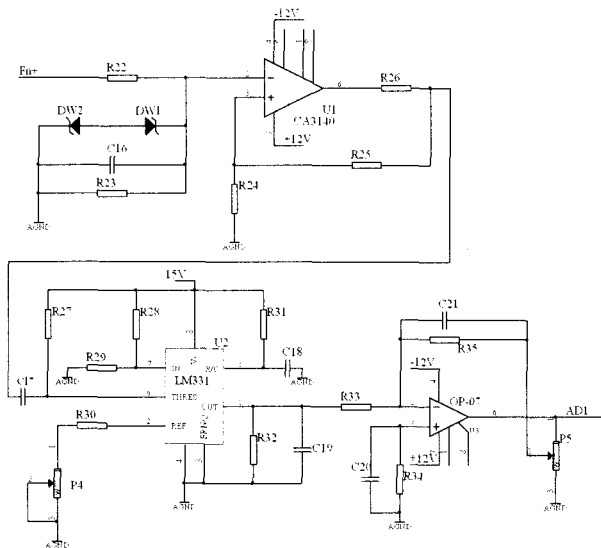


图6 转速信号调理电路

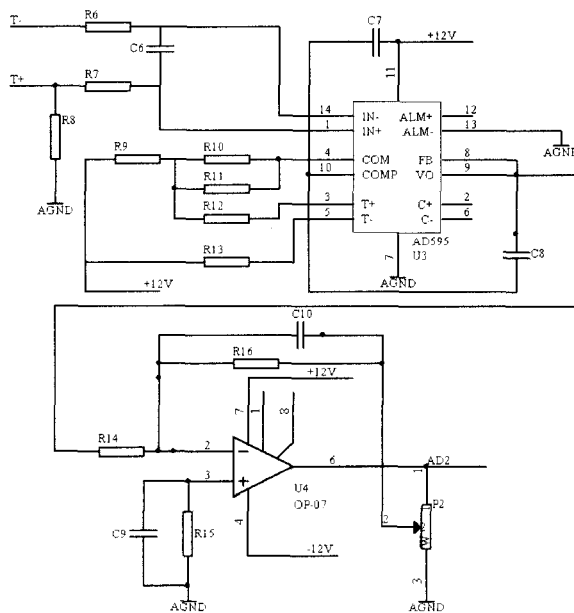


图7 排气温度调理信号

制造业自动化

(3) 燃气压力调理电路

为防止喘振,需对燃烧室气压进行监控,压力传感器的测量范围为0~5Mpa,其信号调理电路如图8示。图中U7为仪表放大器AD620,4脚和7脚接正负工作电压,2、3脚接输入信号,6脚为输出,5脚为参考基准需接地,则6脚的输出即为与地之间的相对电压,可以通过1、8脚之间的电位器P4来调整放大的增益值G为: $G = \frac{49.4K\Omega}{P4} + 1$,最大可达到100,调理好的电压信号直接送入A/D转换器。

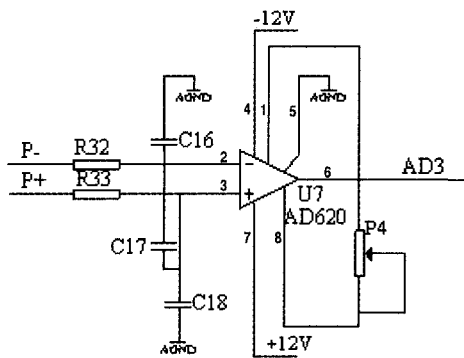


图8 气压调理电路

(4) 电机伺服驱动电路

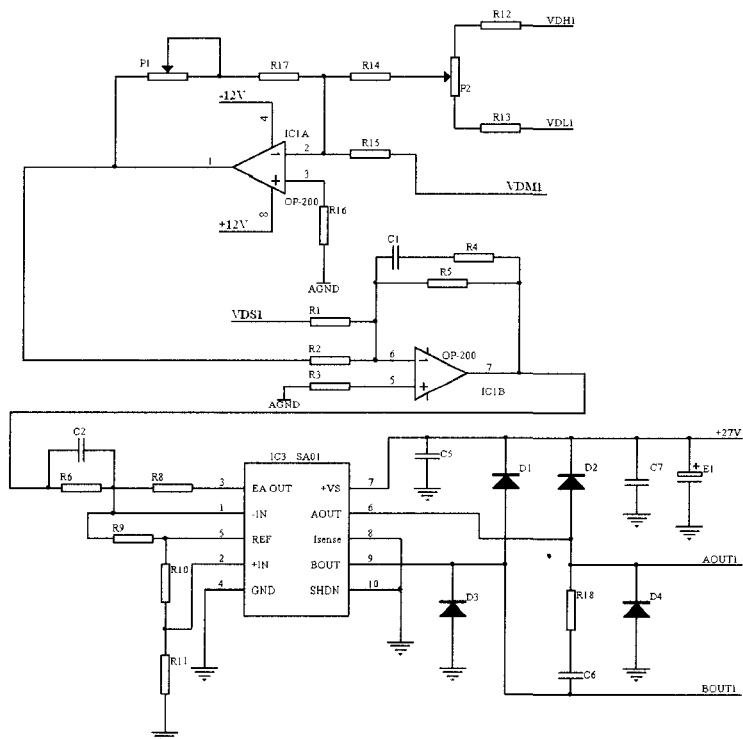


图9 电动油泵伺服控制电路

电机伺服控制电路的采用PWM直流脉宽调制技术,其基本原理是通过晶体管开关时间的控制,将直流电压转换成频率较高的方波信号,直接加在直流电动机的电枢两端,通过对方波信号占空比的调节,达到改变电枢平均电压的目的^[5]。电机驱动电路如图9示,图中反馈信号与计算机给定比较,经过运算与外围电路组成的电流环PI控制,以增强电流环的快速响应,控制器输出由SA01实现对控制信号的功率放大,输出足够的功率驱动执行电机。



图10 APU监控系统界面

3 结束语

本文对APU控制系统的硬件设计作了详细地介绍,由于篇幅所限,软件设计并未涉及,图10给出了通过VC++6.0设计的APU监控系统界面。另外,本设计已在实验室成功运行,从控制效果看,完全能够满足APU控制系统的要求。

参考文献:

- [1] 胡恒章,傅丽.分散递阶控制[M].宇航出版社,1991,6.
- [2] 姚华.航空发动机全权限数控系统研究和试飞验证[J].航空动力学报,2004,3(2):13-16.
- [3] 蒋智勇.一种新型的数字化控制保护器的研制[D].西北工业大学,2001.
- [4] 屈霖云.某型航空发动机数字控制系统分析研究[D].西北工业大学,2004.
- [5] 顾洲.基于小波神经网络PID的直流电机伺服控制[J].南京师范大学学报(工程技术版),2006,6(4):25-29.