

基于 DSP 的飞机全电刹车数字防滑刹车控制器设计

Digital Anti-Skid Braking Controller Design for Aircraft Electric Braking Based on DSP

西北工业大学自动化学院 刘 博 李玉忍 梁 波

[摘要] 分析了飞机全电刹车系统的基本结构及其工作原理,在此基础上,提出了以先进的数字信号处理器(DSP)为核心的数字防滑刹车控制器,采用速度差加压力偏调(PD+PBM)控制算法,使用 ARINC429 总线通信方式进行通信,完成了数字防滑刹车控制器的软硬件设计及系统调试等。试验结果表明,该数字防滑刹车控制器工作稳定可靠,与系统联试刹车效率高,能够满足全电刹车系统飞机防滑刹车的要求。

关键词: 全电刹车 防滑刹车控制器 数字信号处理器 速度差加偏压控制

[ABSTRACT] Based on the analysis of the basic structure and working principles of aircraft electric braking system, the advanced digital signal processor (DSP) is applied to configure the digital anti-skid braking controller, velocity error plus pressure-bias-modulated(PD+PBM) method is adopted as the control algorithm, ARINC429 bus technology is used as communication mode, and the software and hardware design and system debugging are completed. The test result shows that the controller designed works stably, reliably and efficiently, and meets the requirement of aircraft electric anti-skid braking.

Keywords: Electric braking Anti-skid braking controller Digital signal processor Velocity error plus pressure-bias-modulated control

进入 21 世纪,随着航空技术、电子技术和控制技术的飞速发展,飞机的多电化已成为必然趋势,许多发达国家的多电飞机技术已取得初步成果。全电刹车系统就是多电飞机中的一个重要的子系统,研究全电刹车系统的关键技术对我国多电飞机的发展具有重大的现实意义。全电刹车系统采用数字式防滑刹车控制器代替模拟式或半数字式防滑刹车控制器、电作动机构代替液压作动机构等。

在传统的液压刹车系统中,一般采用模拟式或半数字式防滑刹车控制器,其元器件众多、电路较复杂、实时性较差并且难以实现较复杂的控制算法,而且会出现故障难以定位、维护复杂等问题,导致整个刹车系统效率较低。本课题设计了一种基于 DSP 的飞机全电刹车数字防滑刹车控制器,该控制器以高性能的数字信号处理

器为核心,外围电路简单,实时性高且较易实现复杂的控制算法,极大地提高了全电刹车系统的整体性能^[1-3]。

1 全电刹车系统的组成及其原理

全电刹车系统主要由数字防滑刹车控制器、机电作动控制器、刹车装置、机轮速度传感器、刹车指令传感器等组件组成,此外还应包括电源、主起落架上开关、起飞线刹车开关及轮载开关等。其中,刹车装置由机电作动器、刹车盘及其机架组成,机电作动器由电机、滚珠丝杠、力传感器及减速齿轮等组成。全电刹车系统的基本结构图如图 1 所示。

在刹车时,驾驶员脚踩刹车指令传感器,将刹车指令传感器输出的电压信号送入数字防滑刹车控制器,经过运算处理后,输出相应的刹车控制信号给机电作动控制器,机电作动控制器驱动控制刹车装置中的机电作动器实施刹车。同时数字防滑刹车控制器接收机轮速度传感器的频率信号,根据打滑状态按预定的控制规律实施防滑控制,分析计算出相应的防滑控制信号,再将刹车控制信号和防滑控制信号综合后给机电作动控制器,再由其控制机电作动器从而调节刹车力,实现全电刹车系统的防滑刹车功能。

2 数字防滑刹车控制器的硬件设计

本课题设计的数字防滑刹车控制器以高性能数字信号处理器 TMS320F240 为核心,外围扩展了电源模块、指令信号调理电路、机轮速度信号调理电路、开关量调理电路、控制电流输出电路及 ANIRC429 通信电路等,完成了相关的控制功能。下面主要介绍硬件设计中的 3 个关键部分。

2.1 机轮速度信号转换电路

飞机机轮速度信号为近似正弦波,实际机轮速度大小与正弦波频率成正比关系。机轮速度信号转换电路是先将飞机速度传感器输出的峰值约为 2V、频率为(0~5000)Hz 的正弦信号转换为与频率成正比的电压信号,再由 DSP 的 AD 单元采集计算机轮速度。机轮速度信号转换电路如图 2 所示。

转换电路先通过电压比较电路将正弦波转换为同频率的方波信号,再由频压转换电路转换为与频率成正比的电压信号。图中 C35、R33 组成高通滤波器,由

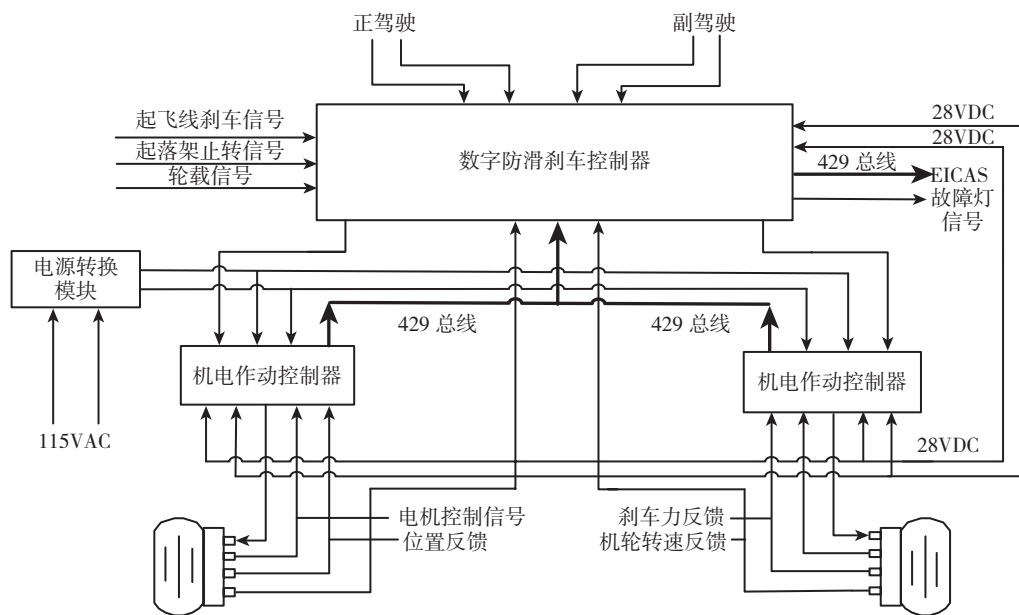


图1 全电刹车系统基本结构

Fig.1 Basic structure of electric braking system

器,可以对输入的数字量进行锁存;输出端带有输出缓冲放大器。AD7226 有一条写入控制线 WR,2 条地址线 A0、A1,通过地址线可以选择不同的 D/A 转换通道。系统将经过分析计算得到的数字信号输入到 AD7226,然后经过 AD7226 转换后输出的电压信号再通过传统的压流转换电路得到相应的控制电流信号。压流转换电路中的 R18、R26 为电流采样反馈电阻, R17 为限流电阻,

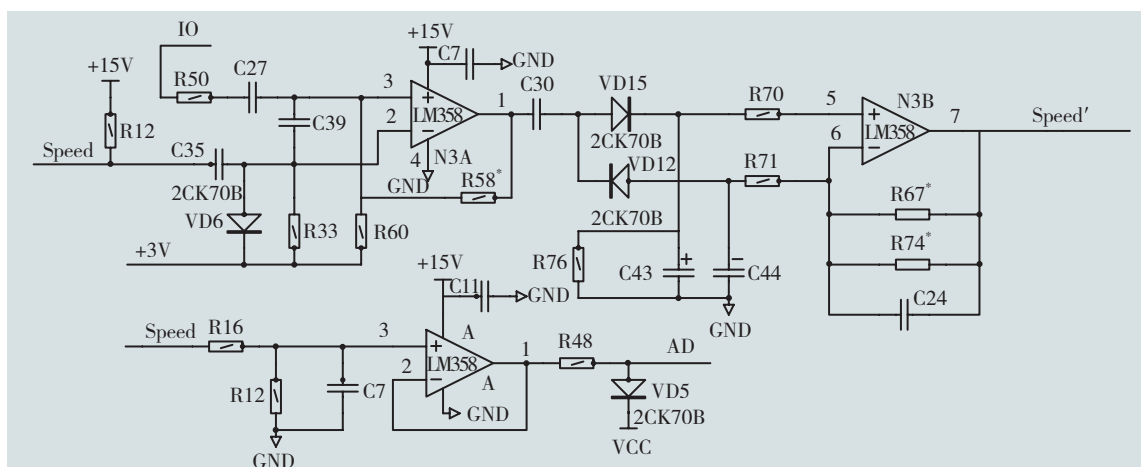


图2 机轮速度信号转换电路示意图

Fig.2 Diagram of wheel speed conversion circuit

Speed 端输入的正弦波信号与 +3V 信号叠加后再与之比较,最后得到同频率方波信号。C24 与 R67*、R74* 并联再与前级电路构成压频转换电路,将方波转换为电压信号 Speed',再经过跟随限幅电路输出给 DSP 的 AD 口采集。

2.2 控制电流输出电路

控制电流信号传输给下级的机电作动控制器,并由其优化后再输出驱动机电作动器。控制电流输出电路主要由 DA 器件 AD7226 以及运放等器件组成,具体电路如图 3 所示。

D/A 转换器的最小分辨电压约为 4mV,可以满足设计的精度要求。它的每个通道都有一个输入锁存

VD10 为续流二极管, C33 用于消除 D/A 转换输出的干扰信号。其电路中各电阻应选择精密电阻,以保证转换的精度。

2.3 ANIRC429 通信电路

数字防滑刹车控制器采用先进的 ANIRC429 总线通信技术与机载计算机进行通信。ANIRC429 总线是美国无线电联盟提出的一种通信协议,目前广泛应用于飞机通信,具有数据传输格式简单、传输速度快、可靠性高等优点。DEI1016 是 Device Engineering Incorporated 公司生产的一种可支持 ANIRC429 航空总线协议的串行接收、发送器件, BD429 是其配套使用的输出信号电平驱动器件,实现输出信号的差分驱动功能。具体连接电路如图 4 所示。DEI1016 中数据总线直接挂载在 DSP

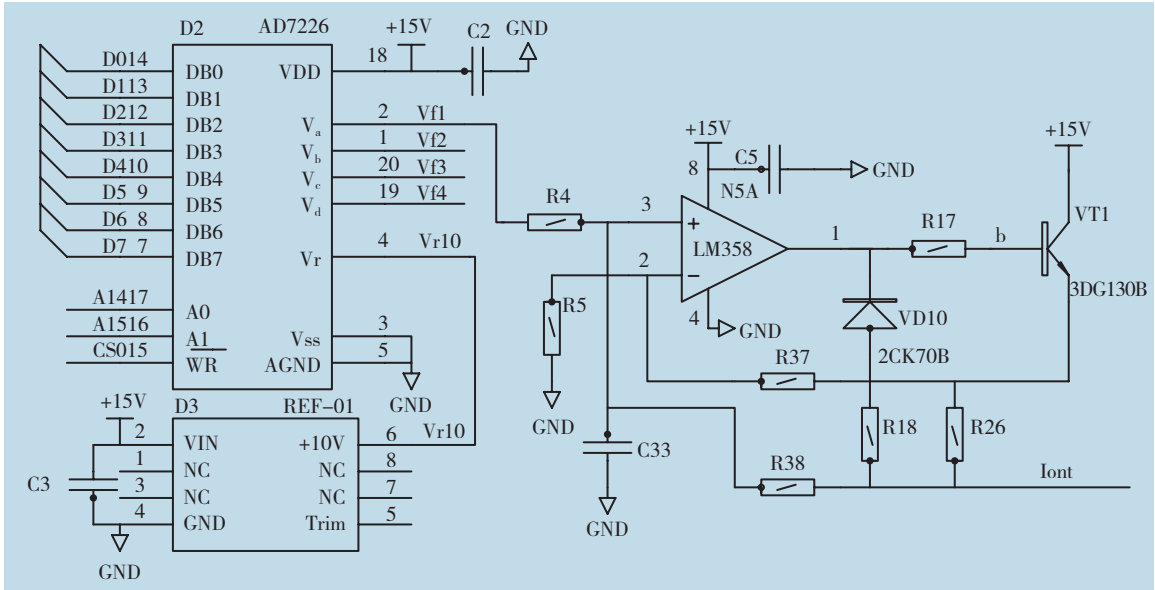


图3 控制电流输出电路示意图

Fig.3 Schematic diagram of control current output circuit

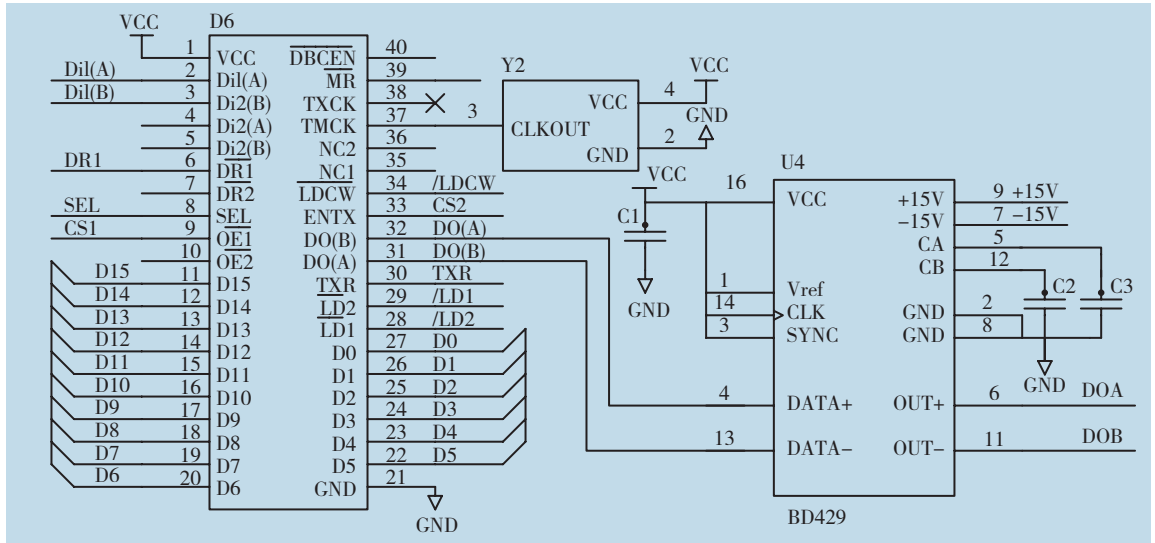


图4 ANIRC429通信电路示意图

Fig.4 Diagram of ANIRC429 communication circuit

数据总线上,数据传输快速,其他各相关控制信号由DSP中的IO口及相关译码电路提供。

3 数字防滑刹车控制器的软件设计

数字防滑刹车控制器的软件设计基于DSP芯片TMS320F240,系统软件采用模块化设计,实现功能细分,一方面可以提高软件的可移植性和可升级性,另一方面增强了软件的易测试性。软件主要采用C语言编程,部分子程序采用与汇编语言混合编程。软件结构采用前后台系统设计,主程序是一个死循环结构,通过函数调用和全局变量与子程序进行参数传递。每一次控制过程的衔接都通过定时器的中断来完成,对实时性要

求较高的任务如系统定时以及与上位机通信均采用中断服务程序的方式处理。系统软件主要模块包括:系统初始化子程序、机轮速度信号和指令信号计算子程序、开关量检测子程序、故障诊断子程序、D/A转换子程序、429通信子程序、A/D转换子程序、防滑控制子程序等。

进入主程序后首先调用初始化子程序,对系统硬件和定义的全局变量进行初始化,当中断时间到来时,进入主循环体,首先对开关量进行采集,再启动A/D转换采集飞行员脚踩刹车压力及机轮速度信号,计算机轮速度信号和指令信号,接着确定刹车状态,以此来实施防滑刹车的具体分支操作,随后调用故障诊断子程序计算故障代码,继而进入防滑控制子程序。防滑控制子

程序是系统最关键的部分,采用了速度差加偏压控制(PD+PBM)的控制策略,计算了应输出的防滑刹车控制电流。由算法得出结果后,系统调用D/A转换,输出这一时刻的防滑刹车控制电流。最后在输出防滑刹车控制电流后,综合故障检测所得的故障代码及部分控制参数,利用ANR1C429总线通信向机载计算机发送故障字。图5为系统软件流程框图。

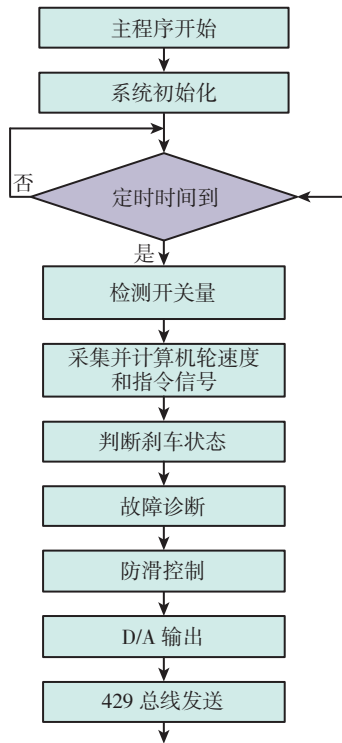


图5 数字防滑刹车控制器软件流程图

Fig.5 Software flow chart of digital anti-skid braking controller

4 结论

本课题分析了飞机全电刹车系统的基本组成及工作原理,详细描述了其核心部分数字防滑刹车控制器的软硬件设计等。目前该原理样机已研制成功,并与刹车系统部件进行了联试。试验结果表明,该数字防滑刹车控制器工作稳定可靠,与系统联试时刹车系统刹车效率高,能够满足全电刹车系统飞机防滑刹车的要求。

飞机全电刹车系统在国内尚处于起步阶段,本课题的研究对我国飞机机轮刹车系统及多电机技术的发展都具有重要的意义。

参考文献

- [1] 高蕾. 飞机全电刹车系统的研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2004.
- [2] 蔡文举. 飞机全电防滑刹车控制器设计[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.

[3] 张秋红. 飞机电刹车系统的发展与展望. 工程与技术, 2002,9:38-39. (责编 泰山)

(上接第75页)

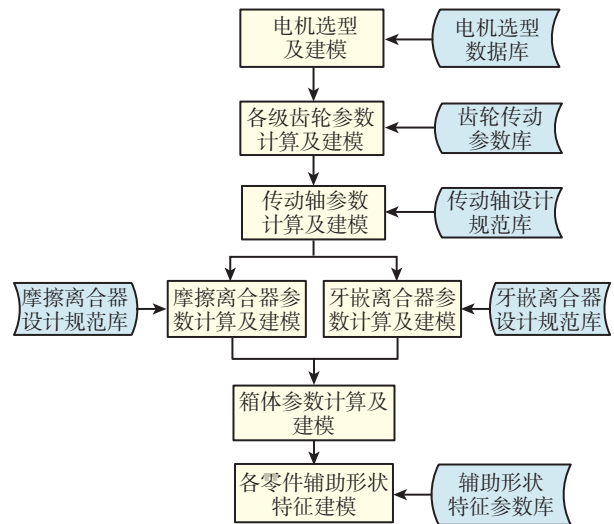


图8 电动舵机快速设计建模流程

Fig.8 Modeling chart for rapid design system of electromechanical actuator

征建模;再结合齿轮传动数据库,对齿轮的基本形状参数进行计算和建模;然后进行摩擦离合器、牙嵌离合器和箱体的基本形状参数计算和建模;最后结合辅助形状特征参数库完成各个零件的辅助形状特征设计。

5 结论

(1)通过对电动舵机各个零件尺寸特征的研究,分析了电动舵机各个零件的主要几何特征,并结合设计流程得到了电动舵机各个零件的主要几何参数;

(2)通过分析电动舵机详细设计流程,得到电动舵机各个零件参数设计关联关系;

(3)建立了电动舵机快速设计系统。

参考文献

- [1] 唐军,胡小兵. 减速器的优化设计. 重型机械科技, 2005(4): 15-17.
- [2] 王峰,俞新陆. 产品级三位参数化设计系统的研究与开发. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001(11): 1012-1018.
- [3] Ramamurti V, Gautam P, Kothari A. Computer-aided design of a two-stage gearbox. Advances in Engineering Software, 1997(28): 73-82.
- [4] 张明廉. 飞行自动控制系统. 北京: 国防工业出版社, 1992.
- [5] 杨平,廖宁波,丁建宁,等. 数字化设计制造技术概论. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [6] 濮良贵,纪名刚. 机械设计(第七版). 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [7] 胡挺,吴立军. CATIA二次开发技术基础. 北京: 电子工业出版社, 2006. (责编 良辰)