

民用客机货舱门电作动器设计研究

The Electrical Motor Actuation System Design of Cargo Door

莫平华/ Mo Pinghua

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘要:

首先介绍了货舱门电作动控制系统的技术发展趋势, 然后对民用客机货舱门电作动控制系统进行了深入研究, 最后探讨了系统设计的关键技术。

关键词: 大型客机; 电作动器; 关键技术

[Abstract] Firstly introduces the technology development trend of electrical motor actuation system of cargo door, then deeply researches the control system. Finally the key technology of system design is discussed.

[Key words] Civil Aircraft; Electrical Motor Actuation; Key Technology

0 引言

随着民用飞机的飞行品质、安全性、舒适性和经济性要求的不断提高, 飞机制造商应用了大量的先进控制技术, 飞机也越来越向着多电化方向发展。这种先进性和多电化在舱门系统控制技术上的体现的尤为明显, 舱门采用了更多的传感探测与指示, 货舱门控制也从电控、液压作动向着全电动的方向发展。

1 技术发展趋势

随着大规模集成电路技术的发展, 数字化的电子自动化设计(EDA)工具给电子设计带来了巨大变革, 尤其是硬件描述语言(HDL)的出现, 解决了传统电路原理图设计系统工程的诸多不便, 现场可编程逻辑门阵列(FPGA)器件在电机控制领域的应用也越来越广泛。用FPGA控制直流无刷电机, 能够将大量逻辑功能集成于一个单片IC中, 节省资源, 实现在线编程, 使设计更灵活, 可靠性更高, 且电路结构更为紧凑。虽然FPGA在逻辑实现上具有无与伦比的优势, 但在数据运算方面却逊于数字信号处理器(DSP), 直到新款的软核处理器(NIOS)的出现, 这种高性能芯片使复杂的电机控制算法的实时执行成为现实, 例如空间矢量控制和卡尔曼滤波等。

直流无刷电机的基本工作原理是借助反映转子位置的位置信号, 通过驱动电路, 驱动逆变电路的功率开关元件, 使电枢绕组按照一定顺序馈电, 从而在气隙中产生步进式旋转磁场, 拖动永磁转子转动。随着转子位置信号按照一定规律变化, 从而改变电枢绕组的通电状态, 实现直流无刷电机的机电能量转换。采用NIOS软核处理器为核心, 结合其他功能模块, 充分利用高性能FPGA实现所需的控制逻辑, 通过软核处理器完成软件控制算法, 能够设计完成结构简单灵活和高性能的直流无刷电机控制系统, 这已经成为现代直流无刷电机控制系统的发展趋势。

目前民用飞机上并无采用直流无刷电机来驱动货舱门的应用经验, 货舱门采用电动方案的机型一般采用115V/200V三相交流电来驱动。直流无刷电机主要被应用于支线飞机CRJ200/700/900的旅客登机门驱动和ERJ170/190的登机梯驱动, 最新的应用是在A380的发动机反推装置。

2 货舱门作动器控制系统

大型客机货舱门电作动控制系统以28V直流无刷电机为基础, 运用FPGA芯片来完成电机控制核心算法, 采用速度环、电流环双闭环控制方式, 实现对无刷直流电机的高精度控制, FPGA内部功能框图如图1所示。

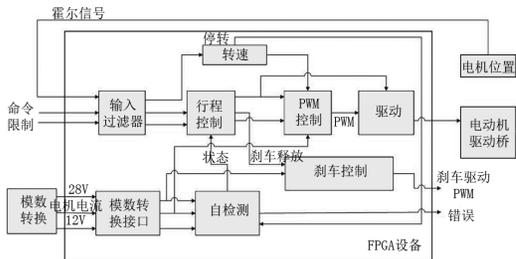


图1 FPGA功能框图

从图1中可以看出,FPGA集成了A/D接口、驱动器接口、通信接口、BIT和滤波等功能,同时在算法上采用速度和电流算法,从而实现真正的片上可编程系统(SoPC)。

直流无刷电机驱动电路主要由以下几个部分组成:隔离电路、驱动电路、三相全桥逆变电路和电流检测电路,其组成框图如图2所示。

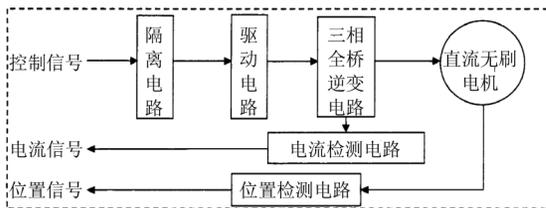


图2 直流无刷电机驱动电路

货舱门电作动控制系统采用霍尔转子位置传感器来测定转子磁极的位置,一方面为实现电子换向来提供信息,另一方面用来检测电机转速,为闭环速度反馈提供电机的实时转速;采用串入母线的霍尔电流传感器来实现电流反馈;采用锁相环技术(PLL)使反馈信号与给定的基准信号同步,实现稳态精度很高的速度控制;采用线性位置传感器实现螺杆位置的检测,约束螺杆的最大和最小行程。

图3是无刷直流电机控制系统功能详图。从图3中可以看出,整个控制电路包括电源电路部分和控制电流部分,即模拟电路部分和数字电路部分。数字电路部分主要完成速度环和电流环的增益/比较,生成PWM波形,完成霍尔传感器脉冲的集成和相关的编码器逻辑处理等功能。模拟电路部分主要实现上下H桥的驱动控制、过流过压等错误检测、刹车控制、电源转换和限位等控制。从电机霍尔传感器出来的转子位置信号分为两路,一路提供霍尔编码器逻辑,一路经处理后提供速度反馈。类似的,从图3中也可以很容易得到电流反馈和螺杆位置反馈的相关逻辑数据流。

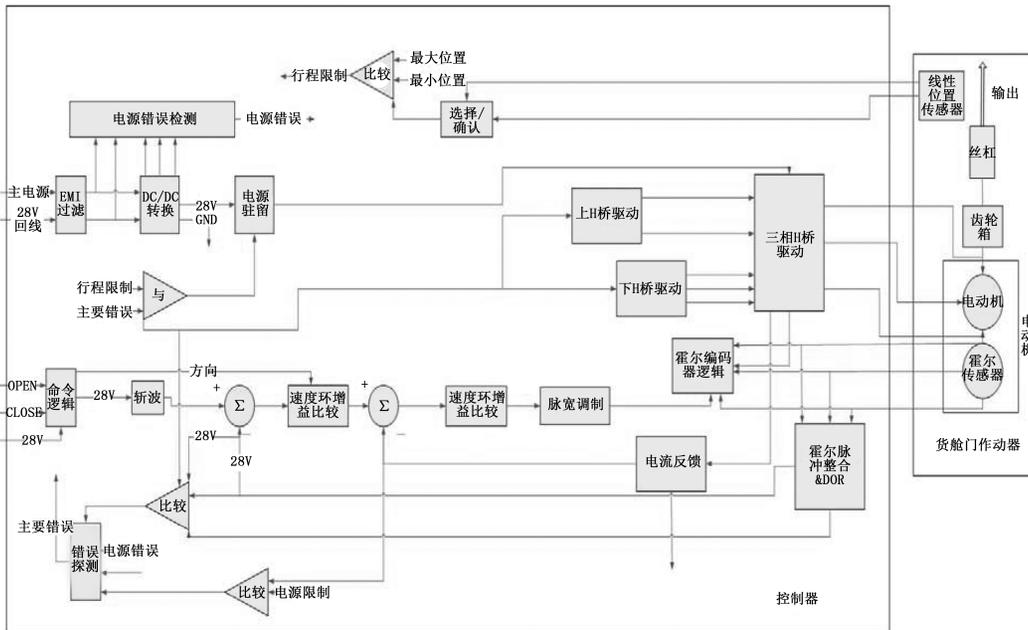


图3 电作动系统控制框图

货舱门电作动器控制系统与其他系统接口关联不多,主要包括:

- (1) 28V 电源接口。此接口的特殊要求是,当货舱门关闭到位后,能够切断货舱门作动器的供电。
- (2) 控制面板接口。此接口主要是关于门的打开和关闭,并且需要相关的指示灯来提供信号给地

勤人员用以操作提示。

- (3) 起落架系统轮载信号。

3 关键技术

3.1 设计目标

电气系统工程师不但需要选择正确的电机来

完成机械动作,还必须选择适当的控制环路来满足系统的机械和电子时变响应的要求。控制环的调节通常在电子驱动装置的设计阶段进行。由于不同的电机对电子驱动装置有一系列不同的设计要求,开发人员可能需要处理大量的设计变量。此外,由于电动机的感性特点,容易造成电磁干扰(EMI)、射频干扰(RFI)和具有破坏性的瞬间高能量。因此,电机本身也使电子驱动装置的设计变得更为复杂。这类电子驱动设备的设计不但要避免电磁干扰(EMI)和射频干扰(RFI),还必须能够承受瞬间过载电压和电流。此外,直流无刷电机存在转矩脉动大的缺点,因此需要专门的功率电路抑制转矩脉动,同时还需要进行铁损抑制。

3.2 软硬件设计

货舱门电作动控制系统的关键技术在于高精度的电机控制算法及其实现,即需要设计出高可靠性的硬件电路来实现精确的软件算法,并且要抑制转矩脉动和铁损。图4给出了硬件控制框图,具体的电路由电源模块、电压转化模块、FPGA模块、驱动电路模块、斩波电流模块、电压检测模块、绕组电流检测模块、A/D模块、通信模块和外扩存储器模块组成。

FPGA产生5路PWM波,其中3路用于永磁无刷直流电机换相,1路用于斩波,另一路用于再生能耗调节制动电流。三相换相PWM波经驱动电路控制电机的换相,这三路PWM只能用于换相不进行调制,而由斩波环节进行调制。电流绕组电流经过求偏、放大、滤波通过A/D转换进入FPGA,经PID调节器控制电流环;同样,斩波电压电流经滤波通过A/D转换也进入FPGA。

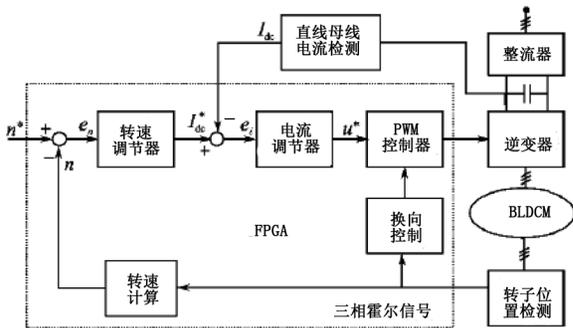


图4 硬件控制框图

直流无刷电机的软件流程图如图5所示,主程序应该至少包括6个子程序功能模块:

- (1) 永磁无刷电机换相 VHDL 程序代码;
- (2) PWM 调制 VHDL 程序代码;

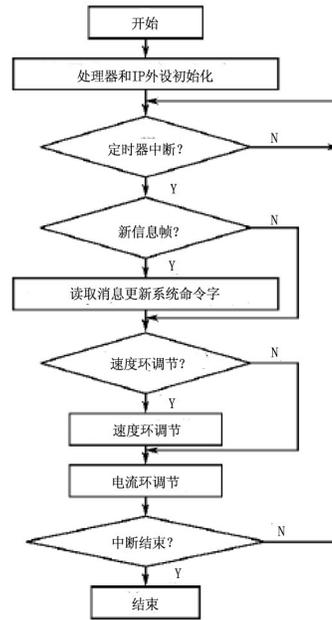


图5 软件流程图

(3) 四象限运行(正向电动、反向电动、回馈制动、反接制动);

(4) 转速检测 VHDL 程序代码;

(5) 绕组电流、PARK 变换器输出电压检测 VHDL 程序代码;

(6) PID 的 VHDL 的程序代码。

以永磁无刷电机换相 VHDL 程序代码为例,对 VHDL 硬件描述语言进行简单介绍。

--Coder:

--Description:

--Date:

LIBRARY IEEE;

USE IEEE.std_logic_1164.all

ENTITY comutator is

Port(

Hall1, hall2, hall3, hall4, hall5, hall6, hall7, hall8, hall9; in std_logic;

H9_out, pwm1z, pwm3z, pwm5z, pwm1f, pwm3f, pwm5f; out std_logic;

Positive; inout std_logic

);

END ENTITY comutaor;

Architecture rt1 of comutator is

Begin

Com1: process (Hall1, hall2, hall3, hall4, hall5, hall6, hall7, hall8, hall9)

Begin

If rising_edge (hall) then

Positive<=hall4;

End if;

```

H9_out<= hall1 xor hall2 xor hall3 xor hall4 xor
hall5 xor hall6 xor hall7 xor hall8 xor hall9;
End process com1;
Com2: process (hall, hall4, hall7, positive)
Begin
Pwm1z <= not ( not hall1 and ( hall1 xor
hall7));
Pwm3<= not ( not hall4 and ( hall1 xor hall4));
Pwm1z <= not ( not hall7 and ( hall4 xor
hall7));
Pwm1z <= not ( not hall7 and ( hall1 xor
hall7));
Pwm1z <= not ( not hall1 and ( hall1 xor
hall4));
Pwm1z <= not ( not hall4 and ( hall1 xor
hall7));
End process com2;

```

(上接第 40 页)

接口的设计,襟缝翼倾斜传感器在连接上利用了 LVDT 信号变换的逆向性原理,接口如图 6 所示。

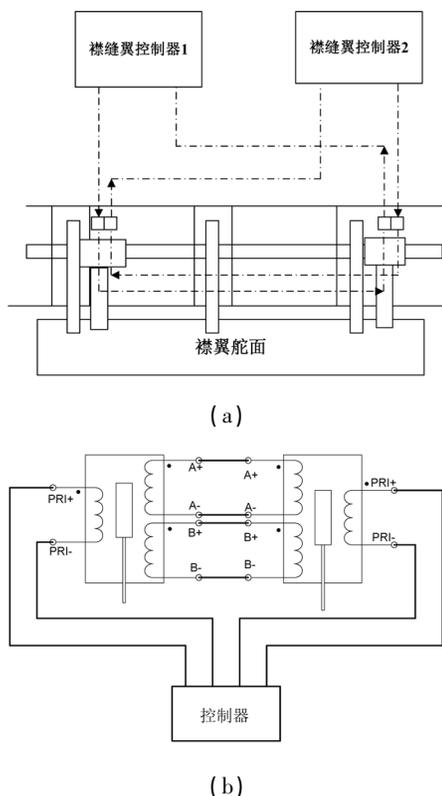


图 6 襟翼倾斜传感器连接示意图

当襟翼舵面伸出或收回时,滚珠丝杠带动倾斜传感器的伸缩。两个滚珠丝杠即刻的角度偏差位置产生一个正比的线位移传感器电压。如果差异超过了预先设定好的襟翼断开倾斜门限,襟缝翼控制器将切断它的襟翼通道并将 PDU 制动。

End rtl

4 结论

从本文我们可以看出,多电化已经成为民用飞机的发展趋势,舱门系统的多电化也越来越明显,必将对未来民用飞机发展产生深远影响。

参考文献:

- [1] 刘刚,王志强,房建成. 永磁无刷直流电机控制技术及应用(第一版)[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- [2] 吴建民,吴铭望,李国经. 大型客机航空电子系统研发关键技术分析及建议[R]. 中国航空学会 2007 年学术年会, 2007.
- [3] 熊华钢,王中华. 先进航空电子综合技术(第一版)[M]. 北京:国防工业出版社,2009.
- [4] Lan Moir, allan seabridge. Aircraft systems[M]. Third edition. England: John Wiley& Sons Ltd, 2008.

3.3 输出信号的表决

3.3.1 输出信号的监控

襟缝翼控制器所有离散量输出、HB6096 输出信号以及模拟量输入信号均采用回绕策略,当回绕值与输出值不同时便认为输出故障。

3.3.2 输出信号的余度表决

在传送到 ARINC429 总线前,襟翼和缝翼位置数据由控制支路产生并由监控支路校验。

4 结论

襟缝翼控制器采用了自监控策略进行设计,对于系统余度配置来说,襟缝翼控制器每个通道独立并且不在电子上分享任何传感器,因此单个传感器电子故障只会导致失去单个控制通道。在余度管理策略上采用了监控技术,减少了通道间软件的耦合;襟缝翼传感器逆向性变换原理的应用大大简化了襟缝翼控制器的电子接口。

参考文献:

- [1] 陈宗基,秦旭东,高金源. 非相似余度飞控计算机[J]. 航空学报, 2005, 26(3): 320-327.
- [2] R. Hallouzi and M. Verhaegen. Reconfigurable Fault Tolerant Control of a Boeing 747 using Subspace Predictive Control. AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit, Hilton Head, South Carolina USA, 2007.
- [3] 吴成富,王睿,陈怀民,段晓军. 基于 SCADE 实现的三余度飞控计算机系统任务同步[J]. 航空计算技术, 2009, 39(1): 107-110.
- [4] 飞机设计手册第 12 册[M]. 北京:航空工业出版社, 2003.
- [5] Jon Rea, PE. Boeing 777 high Lift Control System[C]. Aerospace and Electronics Conference, 1993: 476-483.