

doi: 10.7690/bgzdh.2018.12.003

一种筒弹状态下电动舵机自检方法

张爱军

(中国空空导弹研究院第十一研究所, 河南 洛阳 471009)

摘要: 舵机是导弹制导与控制系统的的重要组成部分。针对导弹在发射筒内时, 舵面受发射筒限制, 舵面基本不能转动, 传统方法不能实现舵机自检的问题, 设计一种新型的舵机自检方法。通过检测并判断无刷直流电机霍尔信号的相序, 舵机控制器控制舵面微动, 舵机 DSP 内置自检算法, 对舵机进行功能检查。笔者选用了霍尔传感器式无刷直流电机, 设计了自检电路和控制算法, 通过实验证明可实现舵机在筒内的自检。验证结果表明: 该方法可靠、有效, 具有良好的可推广性。

关键词: 舵机自检; 无刷直流电机; 霍尔传感器

中图分类号: TP36 **文献标志码:** A

A Self-checking Method of Electric Steering Engine When Missile is in Launcher

Zhang Aijun

(No. 11 Research Institute, China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

Abstract: Steering engine is an important part of missile guidance and control system. When the missile is in the launcher, rudder is limited by launcher, so rudder can't rotate. The traditional method cannot realize the steering engine self-checking. Therefore, design a new steering engine self-checking method. The function detection of electric steering engine was achieved by detection and judgment of brushless DC motor's Hall signal's phase sequence. The controller of electric steering engine controlled the rudder surface to rotate slightly. The self-checking arithmetic was realized by program in DSP. In the text, Hall sensor brushless DC motor's style was selected. The self checking circuit and control algorithm were designed. The examples proved that steering engine could be self-checked in the launcher. The method was effective and reliable. The method has good applicability.

Keywords: self-checking of electric steering engine; brushless DC motor; Hall sensor

0 引言

舵机是导弹制导与控制系统的的重要组成部分, 也是导弹制导与控制系统的执行机构, 用来改变飞行器空中的飞行姿态, 其性能的好坏决定着导弹飞行过程的动态品质^[1]。基于无刷直流电机 (brushless DC motor, BLDCM) 直接驱动的电动舵机以其体积小、控制精度高等特点, 近年来被广泛用于无人机和小型导弹等飞行器上^[2]。

如果舵机发生故障, 会使导弹不能按照制导指令飞向目标, 严重时会使控制系统失控, 所以对舵机的可靠性要求极高, 要求舵机自检深度高^[3]。传统战术导弹电动舵机自检方法是通过舵机控制器控制舵面转动一定的角度实现。导弹在发射筒内时, 舵面受发射筒限制, 舵面基本不能转动, 不能采用传统的通过舵面转动实现舵机自检的方法。笔者设计了一种新型的舵机自检方法, 通过检测无刷

直流电机霍尔信号, 控制舵面进行微动, 实现舵机自检。

1 系统组成与原理

1.1 系统组成

舵机系统由控制器、传动机构、位置反馈装置和舵面等共同组成。控制器由通信电路、A/D 转换电路、信号处理电路、自检电路、微处理器及驱动放大电路等组成。飞控系统通过通信电路和舵机微处理器进行 RS422 通信和信息交换。自检电路对电机霍尔信号进行采集处理, 并送入微处理器。位置反馈装置输出位置反馈信号给信号处理电路, 经 A/D 转换, 输入微处理器, 微处理器综合控制指令和位置反馈信号, 通过一定的控制算法, 输出电机控制信号, 经驱动放大, 驱动无刷直流电机旋转, 带动减速机构运动, 实现舵面转动, 完成导弹伺服控制。舵机系统组成如图 1 所示。

收稿日期: 2018-09-29; 修回日期: 2018-10-20

作者简介: 张爱军(1979—), 男, 河南人, 工程师, 从事电机控制技术研究。

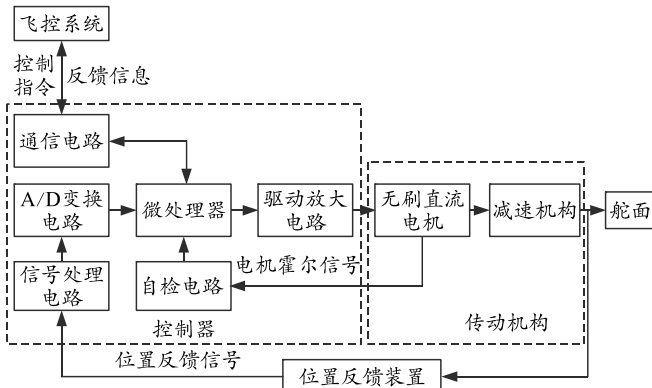


图 1 舵机系统组成

1.2 系统原理

舵机自检能对控制器、无刷直流电机、减速机构和位置反馈装置等部分是否有故障进行判定。根据舵机工作原理，如果舵机能根据控制指令要求在工作舵偏角范围内完成正确跟踪，则可判舵机各环节工作正常，无故障。

考虑舵面受发射筒限制，几乎不能偏转的情况，舵机自检通过检测无刷电机霍尔信号，并利用舵机内部间隙及舵面与发射筒之间的间隙进行微动来实现。无刷电机转动时，电机的三路霍尔传感器会输出如图 2 的霍尔信号 H_a 、 H_b 、 H_c 。

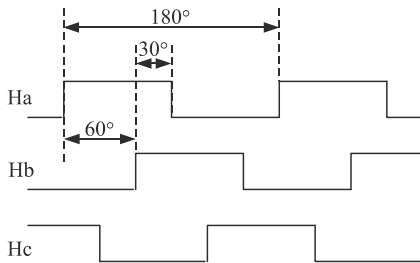


图 2 某无刷直流电机三相霍尔信号

当电机正常旋转时，电机内部 3 个霍尔传感器会按照一定的相序输出高低变化的霍尔信号波形^[4]。某型两对极无刷电机顺时针旋转 1 周(即机械角度 360°)出现的霍尔信号跳变时序如图 3 所示，如“110”代表 3 个霍尔信号传感器 H_a 、 H_b 、 H_c 的状态分别为 1、1、0。

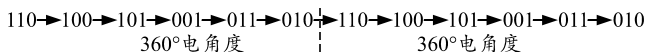


图 3 某无刷直流电机霍尔信号跳变时序

舵机出现故障时通常表现为舵面不能转动或打偏，此时电机不受控，霍尔信号不会按照固定的序列改变状态，可以采集无刷电机的霍尔信号并按照特定的霍尔相序要求分别控制电机顺时针和逆时针方向偏转到指定的状态。在此过程中，舵机的各环节均参与工作，只有舵机各部分均正常，电机霍尔

信号才能按固有的状态进行跳变，通过检测电机霍尔信号并控制舵面微小幅度转动完成舵机自检。

2 系统硬件设计

与舵机自检相关的硬件电路主要包括微处理器和自检电路等。其他部分如信号放大电路、驱动放大电路、位置反馈装置等用于完成整个伺服系统的闭环控制^[5]，在文中不做详细阐述。

本系统选用的无刷直流电机的主要参数为：额定工作电压为 100 V，额定工作转速为 15 000 r/min，额定工作转矩为 0.2 N·m，额定电压下堵转力矩为 2 N·m。

系统选用 TI 公司生产的 C2000 系列 DSP TMS320F2812 为硬件系统的核心处理芯片。TMS320F2812 是一款用于控制的高性能、高性价比的 32 位定点 DSP 芯片。面向电机控制、工业自动化方向的应用，它采用经典哈佛总线结构和指令流水线技术，保证信号处理的快速性和实时性，工作频率达到 150 MHz^[6]。系统使用了 SCI 串行通信接口，用于上位机与 DSP 处理器之间的通信。采用 MAX3490 驱动芯片将 SCI 异步串口转换扩展为 RS-422 接口，采用差分电平方式传输。

自检电路主要完成无刷直流电机霍尔信号的采集、隔离、电平变换，最终送至信号处理器，自检电路原理见图 4。

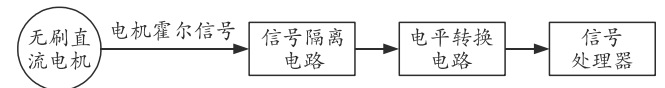


图 4 自检电路原理

自检电路构成如图 5 所示。该自检电路适用于采用霍尔传感器的三相无刷直流电机，要求电机霍尔输出电平为 10~15 V，具体过程为：

1) 三路电机霍尔信号 H_a 、 H_b 、 H_c 送至缓冲器 CD4010。CD4010 用于隔离、增加驱动能力，其接收端为高阻抗，不影响霍尔信号在电机和驱动及功率电路之间传输，其输出端驱动能力较强，能够驱动光耦运行。

2) 信号从缓冲器 CD4010 输出后经过光耦 HCPL6251 隔离，输出为高电平+5 V 的数字信号。HCPL6251 为多路高速光耦，可实现霍尔信号无失真的传输。光耦隔离用于将电机驱动功率地和数字地实现隔离，防止电机运转时在驱动功率地上的波动对数字信号产生干扰。

3) 信号从光耦 HCPL6251 输出后经过电平变

换器 SM164245, 将信号幅度由+5 V 转换成+3.3 V。SM164245 采用双电源供电, 可实现多路信号的电平转换。

4) 信号从电平变换器 SM164245 输出后送至 DSP 的 I/O 口, 在 DSP 中进行处理。

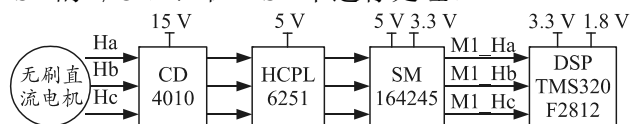


图 5 自检电路构成

3 系统软件设计

DSP 用于进行霍尔信号的采集与处理, 并输出电机控制信号, 系统软件在 DSP 中实现。系统软件时序如图 6 所示, 软件工作原理与时序为: DSP 首先控制无刷直流电机顺时针偏转, 并实时记录电机霍尔信号状态; 根据图 3 所示的电机霍尔信号跳变时序图进行判断, 如果霍尔跳变按时序进行, 则控制电机逆时针方向旋转, 否则直接上报舵机异常, 并结束程序运行。同理, 控制电机逆时针方向旋转, 检测霍尔信号状态并上报舵机自检结果。

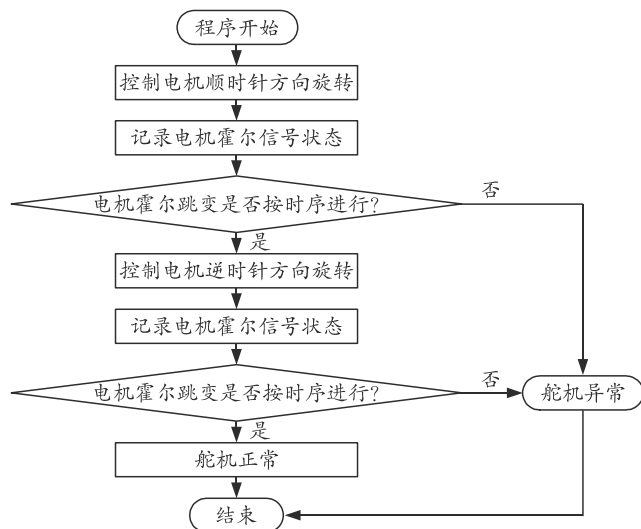


图 6 系统软件时序

4 试验结果

按笔者介绍的硬件系统和软件系统搭建检测平台, 发射筒与舵面间的间隙大于 0.3° , 根据舵机系统减速比计算, 当电机转动一圈时, 舵面转动角度小于 0.3° , 可以保证电机转一圈发射筒和舵面间不会发生碰撞。舵机自检时舵控指令与舵反馈结果见图 7 所示。

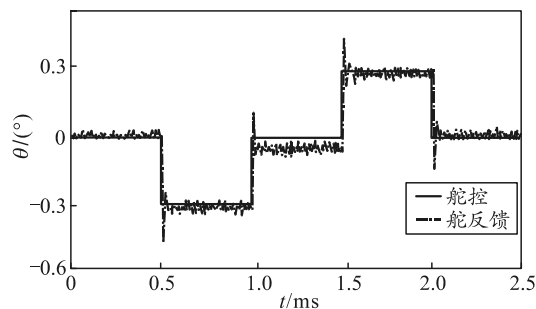


图 7 舵机自检时阶跃响应曲线

当舵机异常时, 舵机不动作或打偏, 舵机 DSP 不能检测到预定的电机霍尔跳变状态, 舵机报故, 达到舵机自检的目的。例如, 当 DSP 检测到霍尔信号为“000”或“111”时, 证明有至少有一路霍尔错误, 则舵机自检报故。当 DSP 检测到霍尔信号始终为一个固定状态时, 证明电机无动作, 则舵机自检报故。

5 结论

笔者介绍了一种新型的舵机自检方法, 通过检测无刷直流电机霍尔信号, 舵机控制器进行回路控制, 舵机 DSP 内置自检算法, 实现舵机在发射筒内舵面无法自由转动时舵机的自检。实例结果证明: 该方法可靠、有效, 具有良好的可推广性, 在实际应用及理论研究方面均具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 毕晔, 李辉, 吴瀛喆. 基于数字控制技术的高速导弹舵机控制系统设计与研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(5): 1081-1084.
- [2] 董飞, 雷虎民, 徐欣中, 等. 基于无刷直流电机直接驱动的电动舵机控制器设计[J]. 战术导弹技术, 2010(3): 83-86.
- [3] 靳凌, 董继鹏. 考虑舵机故障的空空导弹飞行控制系统主动容错控制[J]. 弹箭与制导学报, 2014, 34(6): 5-8.
- [4] 李自成, 刘新芝, 曾丽, 等. 无刷直流电机转子位置传感器故障诊断及容错策略[J]. 微电机, 2014, 47(4): 59-61.
- [5] 徐雪荣, 吴国东, 田秀, 等. 超声波电动舵机的高过载特性研究[J]. 兵器装备工程学报, 2017(9): 26-30.
- [6] 郑浩鑫, 郑宾, 李建民. 基于 TMS320F2812 无刷直流电机控制系统设计[J]. 国外电子元器件, 2008, 16(11): 17-19.
- [7] 胥青青, 李超, 雷霖霖, 等. 用于像移补偿的扫描电机控制系统研究[J]. 兵工自动化, 2017, 36(6): 49-51.