

某涡轮发动机用磁电式转速传感器研制

安璟月

中国航天科工集团第三研究院第三十一研究所, 北京丰台, 100074

安璟月, 大学本科/工程师, 发动机结构, 联系方式: 13641285596, e-mail: anjingyue7058@sina.com

摘要: 某型磁电式转速传感器是某系列弹用涡轮发动机主要控制参数之一——转速信号的测量装置。转速信号参与发动机电子燃油控制系统工作, 实现对发动机工作状态的控制。该传感器结构设计简洁、产品性能优、工作可靠性高, 是一款非常成熟的产品。本文主要介绍了转速传感器的工作原理、设计特点及主要研制难点。

关键词: 涡轮发动机; 磁电式转速传感器; 研制

1 引言

磁电式转速传感器利用电磁感应原理实现转速测量, 它可以非接触面的测量表面为金属导体的物体的转速, 具有测量范围大、抗干扰能力强、输出阻抗小、灵敏度高等特点, 能够在高转速下可靠工作, 实现对发动机转速的实时测量, 适用于小型航空发动机。

某型磁电式转速传感器是某系列弹用涡轮发动机主要控制参数之一——转速信号的测量装置。转速信号参与发动机电子燃油控制系统工作, 实现对发动机工作状态的控制。

下面介绍转速传感器的工作原理、设计特点及主要研制难点。

2 主要技术指标

磁电式转速传感器工作环境温度 $-55\sim+150^{\circ}\text{C}$, 贮存环境温度 $-55\sim+60^{\circ}\text{C}$ 。测速范围 $300\text{r/min}\sim 30000\text{r/min}$, 输出频率信号 $45\text{Hz}\sim 4500\text{Hz}$, 输出脉冲 $n = \frac{1}{0.15} f$, 贮存寿命 10 年。

3 工作原理

3.1 电子燃油控制器工作原理

电子燃油控制器是某涡轮发动机供油及控制系统的电子设备, 用于实现对发动机的无极调速控制。其工作原理为, 控制 A/D 转换器采集发动机折合转速指令 N_c 或接收弹上综控机发来的折合转速指令 N_c , 同时控制 A/D 转换器采集进气道总温信号 T_1 、发动机物理转速信号 N_e , 根据采集到的信号进行运算, 计算出发动机所需燃油流量对应的电流值, 通过 D/A 转换器将电流值输出给燃油伺服阀, 燃油伺服阀根据电流值控制其开度来控制发动机的燃油流量, 实现对发动机转速的控制。

3.2 转速传感器参与电子燃油控制器控制的基本原理

发动机电子燃油控制器采用折合转速控制方式, 转速传感器输出的参数反映发动机工作的物理转速, 通过感受 T_1 计算得到折合转速。

图 1 为磁电式转速传感器信号整形电路。转速传感器频率输出信号进入电子燃油控制器后, 经过控制器内部的整形电路进行波形变换后分为两路: 一路提供给控制器内部的 F/V 转换电路, 供控制器控制发动机状态使用; 另一路提供给弹上遥测系统。

图 1 中, R_1 为限流电阻, C_1 为隔直电容, V_1 、 V_2 为限幅二极管, C_2 为滤杂波电容, $N1A$ 及 R_2 、 R_3 构成带滞环过零比较器。整形电路的有效工作范围为输入信号的交流分量的峰—峰值不小于 $600\text{mV}\sim 800\text{mV}$ 。在大于 800mV 时, 电路经过整形滤波后输出恒定 12V 电压。

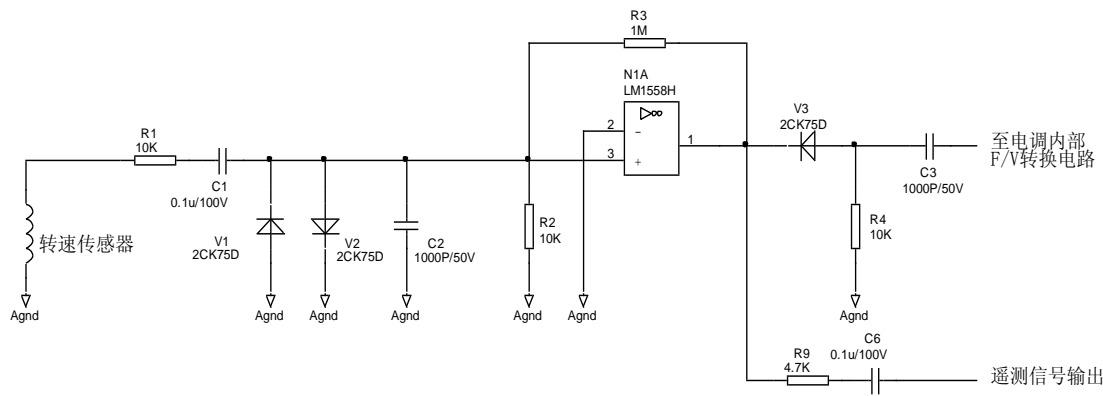


图 1 磁电式转速传感器信号整形电路

4 设计原理

磁电式转速传感器是变磁阻形传感器，根据电磁感应原理设计，如图 2 所示。通过安装在发动机主轴上的音轮切割转速传感器上的永磁体产生的磁力线，音轮齿与传感器之间的气隙 δ 周期性的变化，造成磁路磁阻改变，使穿过传感器线圈的磁通量发生周期性的变化，在线圈中感生出交变电压，通过线圈引出线输出交变的、近似正弦波的脉冲电压信号。将此信号放大整形后由计数器读出，换算出转速 ($n = \frac{1}{0.15} f$) 或用计算机处理后直接读出发动机转速。

磁电式转速传感器不需要外部供电电源，输出阻抗小，具有一定的频率响应范围，适合动态测量。

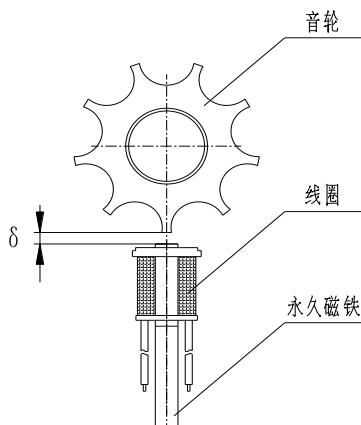


图 2 磁电式转速传感器原理图

5 研制技术难点

5.1 改进线圈结构，解决漏磁问题

音轮（9 齿）在转速传感器磁场中运动，造成磁路磁阻改变，使穿过传感器线圈的磁通发生变化，产生相应的感应电动势 E 。

$$\text{感应电动势 } E = N \frac{d\phi}{dt} = 2 \pi N \phi r / d$$

其中： N 为线圈匝数， ϕ 为磁通， r 为切割磁力线的速度。

感应电动势 E 与线圈匝数、磁通量、音轮切割磁力线的速度有关。 E 越大，其系统的抗干扰能力越强。线圈匝数 N 受结构限制，速度 r 与发动机转速有关，当 N 与 r 确定，磁通量 ϕ 决定 E 的大小。

优化线圈为 T 型结构，设计中充分考虑磁场 N—S 磁路闭合，避免磁路损失，尽可能地减少漏磁。

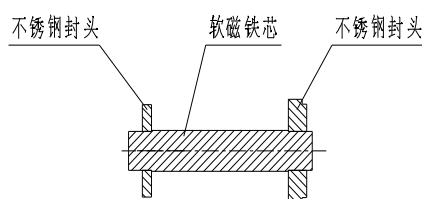


图3 T型线圈结构

结构优化后,单位面积的磁通量增大,产品输出性能大幅提高,带载能力增加,同时减小了产品长期储存后的磁路损失,磁稳定性大幅提高,产品输出的稳定性及贮存能力均大幅增强。

5.2 合理选材,达到低成本高性能

传感器输出信号的大小与材料的选择密切相关。在线圈匝数和线圈截面积一定的情况下,永磁材料的磁场强度越强、铁磁材料的磁导率越高,传感器输出信号的峰—峰值就越大。

对导磁材料本着“高磁导率、低矫顽力”的选材原则,选用电磁性能好、磁稳定性高的电磁纯铁DT4C,其饱和磁感高,且加工性好、价格低;永磁材料经试验对比选则磁能积较高、剩磁高的铸造型铝镍钴永磁合金,其磁场强度高,磁稳定性好,温度系数低,满足传感器在高温环境工作时的磁稳定性。

5.3 优化工艺,提高产品合格率

传感器结构尺寸小,工作范围宽,因其功能特点对测量精度、工作稳定性及贮存寿命都有较高要求,通过工艺摸索最终达到指标要求,满足装备批产需求。

5.3.1 封装

磁芯充磁后吸合在线圈导磁体端面,整体装入圆柱形腔体,灌入填充物用以固定线圈、引出线和磁芯。封装采用导向装配,有效避免了因结构限制导致线圈与壳体内壁摩擦引发的短路;旋压收口,确保线圈可靠固定,解决金属翻边密封导致的介质绝缘能力下降;环氧树脂填充,调整增稠剂的比例,采取分步灌封,可以有效控制气泡,将高温下液态对引线及焊点的影响降到最小。

5.3.2 防退磁处理

永磁体的磁性能受温度、时间、外磁场及内部结构等诸多因素影响,退磁处理以达到磁场稳定的效果,提高产品性能。将磁芯充磁后进行高低温循环稳定处理,传感器信号输出稳定性大幅提高;外磁场作用也会导致磁性能变化,饱和充磁后的磁芯和传感器产品在存放、周转过程中应避免接触强磁物质,远离磁场环境。

经数据积累,传感器在实际使用条件完成了长期贮存考核,满足发动机定期维护转速测量要求,在翻修期满后输出性能变化 $\geq 5\%$,满足长期贮存要求。

5.3.3 筛选

传感器出厂前经环境应力筛选试验剔除工艺缺陷,高温试验考核传感器大工况条件下性能稳定性,最后经功能振动试验,考核产品工作安全及可靠性。筛选项目和筛选条件裕度合理,产品合格率提高,故障率降低。

6 结论

该型转速传感器各项技术指标均达到了任务书要求。性能稳定、工作可靠,随某系列涡轮发动机完成设计定型,已批量生产。

参考文献

- [1] 刘瑞杰. 某小型涡喷发动机慢车转速波动数学仿真. 战术导弹技术, 2012, (4): 68~72
- [2] 肖波平. 姚家骧. 高转速磁电式转速传感器的研制. 一起仪表学报, 2002, 第 23 卷第 2 期
- [3] 安璟月. $\times\times\times\times\times-\times$ 磁电式转速传感器研制大纲. 航天 31 所技术报告, 2004