

# 航空高速电磁阀驱动器的设计

## Design for Aviation High-Speed Solenoid Valve Driver

四川成发航空科技股份有限公司 周 飞

**[摘要]** 对航空发动机的高速电磁阀维修后,需要进行测试试验。根据电磁阀的特性,需要驱动脉冲具有特殊的波形。设计采用单片机和高速开关电路产生所需要的波形,利用场效应管栅级驱动、电压比较器与PWM实现了电磁阀的快开、快关及电流平稳控制。该驱动电路具有开关效果好、功耗低、适应范围广的优点。电磁阀的开启电流、保持电流的大小、叠加高频颤振波的峰峰值、PWM信号频率和占空比均可调节。

**关键词:** 单片机 电磁阀 PWM 驱动 场效应管

**[ABSTRACT]** After maintenance, aircraft engine of high-speed solenoid valve needs testing. According to the characteristics of the solenoid valve, it is necessary to make drive pulse have special waveform, which is generated by single chip microcomputer and high-speed switching circuit. Using field effect tube grid drive, voltage comparator and PWM, quickly opening and closing the solenoid, and stable current control have been realized. The driver circuit has switch with good results, the advantages of low power consumption, wide adaptation. Opening and dosing of solenoid valve, maintaining the current size, and the value of high frequency flutter wave superposition peak-to-peak value, PWM signal frequency and duty ratio are adjustable.

**Keywords:** Single chip microcomputer Solenoid valve PWM drive Field effect tube

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.23/24.106

现代先进航空发动机几乎全部采用数字电子控制技术系统,高速数字开关阀(HSV,即高速电磁阀)是该技术液压系统中重要元件。以HSV为核心的执行器具有响应快、成本低、抗污染等特性,因而在航空发动机控制系统中得以广泛使用。

在航空发动机维修、维护过程中,如果对高速电磁阀进行维修、维护,需要对电磁阀进行离机测试试验,以保证电磁阀性能满足技术要求。这种离机测试试验是保证发动机整机试车顺利进行的一项重要工作。高速电磁阀具有快开、快闭的特点,其开关频率能达到毫秒

级,为满足测试需要,设计了高速电磁阀驱动控制器。

## 1 驱动控制器技术要求

### 1.1 控制器输出的驱动波形

驱动高速电磁阀的波形是频率可变的PWM波形,为使电磁阀快速打开,则开启电流较大;电磁阀打开后,应使驱动电流减小,维持阀打开即可,在维持电流阶段应叠加高频颤振信号,以防阀芯卡滞。控制器输出的驱动信号如图1所示。图中 $I_n$ 表示阀开启的电流峰值; $I_q$ 电磁阀打开过程中完全闭合点电流; $I_y$ 表示维持阀打开的平均电流; $\Delta I_y$ 表示在维持电流上叠加高频颤振电流的峰峰值; $T$ 是驱动波形的周期, $T_1$ 是一个驱动周期的导通时间,因此驱动波形占空比为 $S=T_1/T$ (%)。

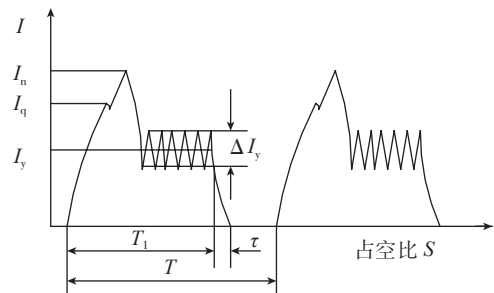


图1 控制器输出的驱动信号波形  
Fig.1 Output driving signal waveform of controller

### 1.2 控制器的技术指标

电源:( $27 \pm 3$ )V DC,1.5A; 输出脉冲占空比 $S:0 \sim 100\%$ ,分辨率1%; 输出脉冲频率: $F=160 \times S \times (1-S) \pm 5\%$ (Hz); 模拟信号:0~10V DC,对应占空比0~100%; 工作环境:试验室,室温; PWM输出最大峰值电流:6A;最大平均电流:3A;输出电流精度:0.5%。

## 2 控制器硬件电路设计

### 2.1 控制器系统方框图

根据设计技术要求,控制器可输出脉宽可调的PWM驱动信号,占空比可手动设置或由输入的电压信号控制。这些功能由单片机较容易实现。驱动波形由硬件开关电路设计实现<sup>[1]</sup>,系统方框图如图2所示。

### 2.2 单片机系统

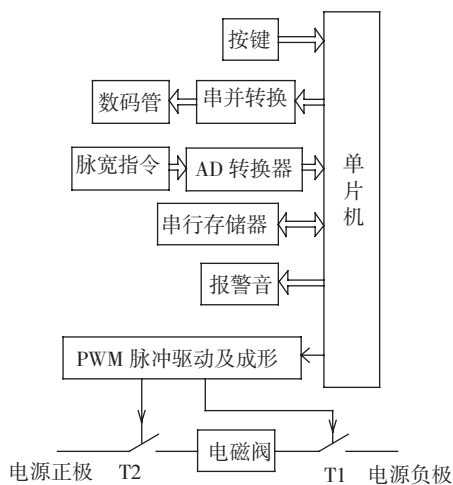


图2 控制器系统方框图

Fig.2 Block diagram of controller system

本设计使用 AT89C2051 组成一个精简的单片机系统<sup>[2]</sup>,主要完成以下功能。(1)按钮信号的输入。直接使用单片机的 I/O 接口输入按钮信号,实现手动设置脉宽占空比的设置和自动、手动转换。(2)利用单片机的串行接口,输出显示信号,经串并转换电路用数码管显示脉冲占空比的数值。(3)利用单片机的 I/O 接口,通过软件编程与一个串行输入的 A/D 转换电路接口<sup>[2]</sup>,输入自动状态下脉宽占空比电压设置值。(4)利用单片机的 I/O 接口,通过软件编程与一个串行输入输出的存储器接口,用于存储脉宽占空比的设定值。(5)输出报警音驱动信号。(6)输出电磁阀加载的 PWM 驱动信号,经硬件成形电路,产生要求的电磁阀驱动脉冲。图 2 中 T1、T2 选用的是场效应管,以增加电路的开关速度。

### 2.3 PWM 脉冲驱动及成形电路原理分析

单片机输出 PWM 方波脉冲,由硬件开关电路对方波脉冲进行修形以满足驱动电磁阀要求。成形电路原理见图 3。其中, T2 为 P 沟道增强型绝缘栅场效应管,其栅极高电平时截止,低电平时导通。T1 为 N 沟道增强型绝缘栅场效应管,其栅极低电平时截止,高电平时导通。VT 为电磁阀线圈, U5~U8 为集成运算电压比较器。此外, D1 是电源反接保护二极管; RB1 是自恢复保险管,限制电磁阀的最大电流; R1 是示波器采样电阻,电路调整时,外接示波器,观察电磁阀电流波形和数值。

(1)当单片机输出低电平时, U1 输出高电平<sup>[3]</sup>, U5 输出低电平,使 T1 截止,同时 U6 输出高电平,使 T2 截止,电磁阀线圈无电流通过。(2)当单片机输出高电平时, U5 输出高电平,使 T1 导通。U2 输出低电平,同时向电容 C1 充电, U6 输出低电平使 T2 导通。电磁阀电流迅速上升,电磁阀快速打开。当电流较小时,通过反馈电阻 R2,使 U8 输出低电平, U7 输出高电平, U3 输出低电平,同样使 U6 输出低电平。随着电流增大,通过反

馈电阻 R2,使 U8 正输入端电位大于负输入端电位, U8 输出高电平, U3 输出高电平。(3)随着电容 C1 充电的进行, U2 的下输入端电位下降, U2 输出高电平,翻转时间由充电时间常数决定,可由 RW1 调节。此时 U3 已输出高电平,因此 U4 输出低电平, U6 输出高电平,使 T2 截止。电磁阀通过 R1-T1-R2-地 -D2 回路导通,电流下降。因此电磁阀达到的最大电流  $I_n$  由电容 C1 的充电时间决定,可由电位器 RW1 调节。(4)U8 通过反馈电阻组成上行迟滞电压比较器。当电磁阀电流下降时,通过反馈电阻 R2,使 U8 的正输入端电位下降,当电位小于负输入端时, U8 输出翻转,输出低电平。U8 负端的电位由电位器 RW3 调节,因此可以调节电磁阀保持导通的平均电流  $I_y$  的大小。U8 输出低电平, U7 输出高电平, U3 输出低电平,使 U6 输出低电平, T2 又重新导通,电磁阀电流又开始上升。(5)上升电流通过 R2、RW2 使 U8 正端电位上升,当大于负端电位时, U8 翻转为高电平。调节 RW2,可调节翻转时刻,即调节了电磁阀叠加的高频振荡电流的峰峰值  $\Delta I_y$ 。U8 输出高电平, U7 输出低电平, U4 输出低电平,使 U6 输出高电平, T2 截止,电磁阀电流又开始下降。(6)上述(4)、(5)过程循环进行,使得电磁阀保持导通电流为高频振荡电流,详见图 1。(7)当单片机输出低电平时,如(1)过程所述, T1、T2 截止,电磁阀通过 R1-D4-电阻-地 -D2 回路迅速泄放电流,使电磁阀迅速关闭。通过单片机输出的 PWM 驱动波形,配合硬件开关电路,便可得到电磁阀所需的如图 1 所示的驱动波形。

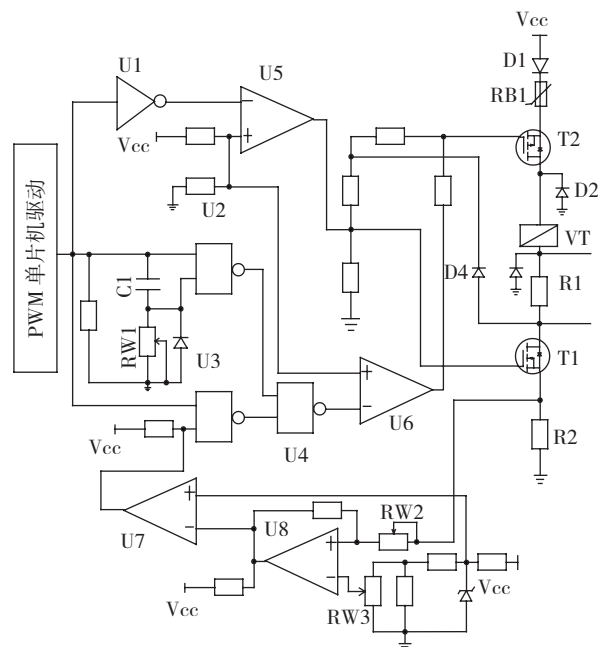


图3 PWM脉冲驱动及成形原理图

Fig.3 Principle diagram of PWM pulse drive and forming

(下转第 119 页)

合表贴电源产品中应用混合厚膜技术,实现局部或部分电路功能,促进产品小型化。

## 2 生产组织模式变革

### 2.1 体制变革

借助咨询公司的专业力量,协助实施二次电源事业部改制,促进研制生产模式变革,优化设计开发流程,着力解决现阶段发展模式与发展速度不匹配的矛盾。

组建星用二次电源事业部,整合二次电源产品研制必需的研发、设计、生产、试验和保障资源,构建完整的产品研制和生产链条。健全管理职能,对事业部进行组织架构设计,划清管理界面,提升和培育自主运营能力。重构岗位体系,建立以岗位价值和专业能力为导向的薪酬、绩效体系,激发队伍活力。

### 2.2 专业分工

解决主管设计师对产品的设计、生产、试验以及质量复查等工作全面负责的现状,按照专业化思路调整设计师队伍,提高内部运营效率,培育专业化人才队伍。设置总体方案设计师,负责型谱规划、方案制定及重大、共性问题攻关,并加强与用户对接。设置厚膜产品、通用产品线路、专用产品线路、结构、可靠性、工艺等专业设计师进行设计,按照专业分工开展工作,提升专业化水平。组建二次电源产品的生产、产保、物资管理等队伍,加强生产组织管理。

## 3 结束语

通过开展星用二次电源产业化转型研究与实践,完善型谱规划、制定部组件及元器件选用目录、强化模块化及通用化设计,为提升产品成熟度及开展组批生产创造必要条件。

统一试验条件,实现不同型号、不同规格的产品组批试验,试验能力提升约 16% 以上,在提升产能的同时节约成本。实施事业部改制,激发组织及队伍活力,推进能力建设,年度生产能力完全满足型号配套需求。加强技术创新和国内外技术合作交流,提升核心竞争力,拓展应用领域,引领国内宇航二次电源技术发展;构建产业链战略联盟伙伴,提升批量生产能力及成本控制能力;积极开拓武器及国际宇航市场,为单位战略目标实现贡献力量。

### 参考文献

- [1] 袁家军. 航天产品工程. 北京: 中国宇航出版社, 2011.
- [2] 李天盟, 曹宝香, 夏小娜, 等. PDM 产品结构树的一种权限管理办法. 信息技术与信息化, 2005(5):97-99.
- [3] 齐从谦. 制造业信息化导论. 北京: 中国宇航出版社, 2003.

(责编 古京)

(上接第 107 页)

## 3 单片机控制程序

### 3.1 控制软件主要功能

单片机控制程序主要完成以下功能:(1) 按键输入响应处理;(2) PWM 脉冲占空比显示控制;(3) 设置参数存储和读出控制;(4) A/D 转换控制;(5) 根据占空比参数计算输出脉冲频率,并控制输出 PWM 驱动脉冲。

### 3.2 控制软件方框图

控制软件方框图如图 4 所示。

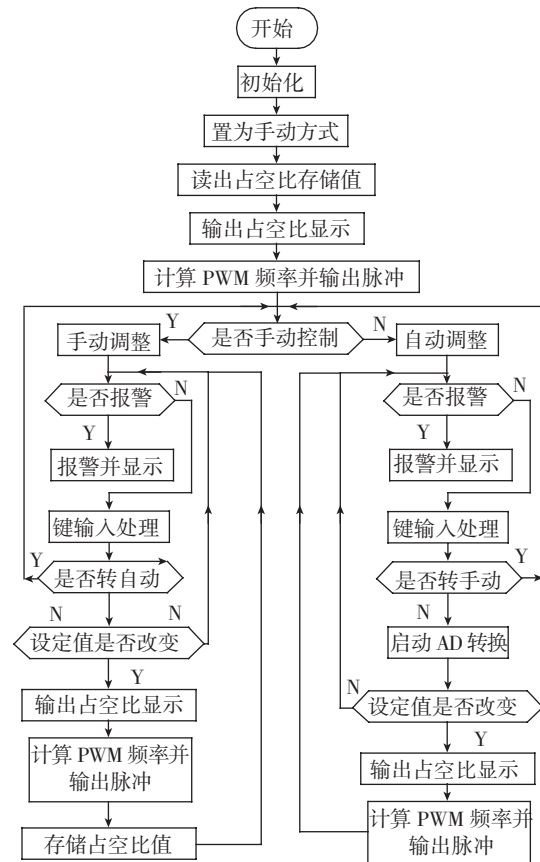


图4 控制软件方框图

Fig.4 Block diagram of control software

## 4 结束语

航空高速电磁阀驱动器已成功应用在某型号航空发动机电磁阀液压测试工作台系统。根据测试试验情况观察,其性能稳定,各项技术指标满足要求。

### 参考文献

- [1] 郑萍, 李广荣, 郑云, 等. 一种新型高速电磁阀驱动电路. 电子产品世界, 2006(4):85-88.
- [2] 高伟. AT89 单片机原理及应用. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [3] 赵文博. 常用集成电路速查手册. 北京: 机械工业出版社, 2010.

(责编 古京)