

# 基于数传电台的靶弹测控系统设计

王 刚<sup>1</sup>, 齐 跃<sup>2</sup>, 吴彦卓<sup>2</sup>

(1. 中国人民解放军 91851 部队, 辽宁 葫芦岛 125001; 2. 中国人民解放军 92941 部队, 辽宁 葫芦岛 125001)

**摘要:** 以数传电台为核心器件设计了一型适用于靶弹的测控系统; 该测控系统由弹载数传设备和数传地面站组成, 可以下传靶弹飞行状态信息同时上传用于控制靶弹自毁的安控指令; 对弹载数传设备结构及采编器软件和硬件, 数传地面站电气结构, 收发控制器软件流程进行了详细设计; 数传地面站采用时分多址的通信模式进行设计, 可以实现 4 台地面站在不同的传输时隙内上传安控指令; 该设计方法用于 4 台数传地面站沿着靶弹飞行航迹接力布站时, 可保证 4 台数传地面站同时发送安控指令而不会相互干扰, 该方法增加了数传地面站测控范围和工作可靠性; 经过对工程样机的实物测试表明, 该型靶弹测控系统实现了 4 台地面站对靶弹进行测控的功能。

**关键词:** 靶弹; 数传电台; 测控系统; 时分多址

## Design of Telemetry and Telecontrol System Based on Data Transceiver for Target Missile

WANG Gang<sup>1</sup>, QI Yue<sup>2</sup>, WU Yanzhuo<sup>2</sup>

(1. Unit 91851 of PLA, Huludao 125001, China; 2. Unit 92941 of PLA, Huludao 125001, China)

**Abstract:** A telemetry and telecontrol system used for target missile was designed, and the data transceiver was used as the main component in the project. The telemetry and telecontrol system, which composed of missile borne data transfer device and data transceiver station, can be used to download the target missile flying state information and upload the safe control order to destruct the target missile. The structure of missile borne data transfer device, software and hardware of sampling encoder, electric structure of data transfer station and program flow of transceiver controller were designed. The TDMA mode was used in the design of data transfer station, and upload safe control order in different time slot was realized in the used of four data transfer stations. This design method confirmed that four data transfer stations upload safe control order in the same time period cannot be disturbed. This design method expanded the telecontrol region and improved the reliability of the data transfer station. In the end, the test of the engineering prototype conformed that, this telemetry and telecontrol system realized telemetry and telecontrol function for the target missile by four data transfer stations.

**Keywords:** target missile; data transceiver; telemetry and telecontrol system; TDMA

## 0 引言

靶弹用于模拟敌方来袭的导弹, 是考核鉴定防空武器防空反导能力的重要靶标<sup>[1]</sup>。利用退役的飞航式反舰导弹改装靶弹既节约了导弹退役报废费用, 又节约了防空导弹用靶费用, 是一种经济而有效的靶标开发模式<sup>[2-3]</sup>。某型靶弹由退役的飞航式反舰导弹改装而成, 该型靶弹在飞行过程中需要将靶弹实时位置信息以及弹载设备工况信息下传到地面指挥控制系统用于防空武器试验或训练过程中的数据判读与决策, 同时需要将地面的安控指令上传至靶弹用于在靶弹飞行异常情况下控制其实施自毁, 因此靶弹改装过程中需要加装弹载测控设备。靶弹作为一种消耗性产品, 其加装的测控设备在保证可靠性的基础上对其低成本、通用化和小型化提出了更高的要求<sup>[4]</sup>。为靶弹研制专用测控设备, 价格昂贵且通用性受到限制<sup>[5]</sup>。数传电台具有技术

成熟、采购渠道通畅、效率比较高、开发难度相对较小等优点<sup>[6-7]</sup>, 以数传电台为核心器件设计通用型测控设备可以有效降低成本<sup>[8-9]</sup>。本文以数传电台为基础设计一型靶弹测控系统, 该测控系统由弹载数传设备和数传地面站组成。该测控系统可以实现靶弹飞行过程中重要数据的实时上传和安控指令上传, 同时可实现 4 台地面站接力布站对一枚靶弹进行测控。

在靶弹飞行过程中, 由于靶弹飞行距离较远, 受地球曲率的影响, 靶弹数传地面站的测控范围有限<sup>[10-11]</sup>。为增加测控范围, 需要在靶弹飞行航迹沿线采用接力布站的方式完成靶弹飞行过程的测控<sup>[12]</sup>, 即采用多台地面站对同一枚靶弹进行测控<sup>[13-14]</sup>。以往采用多台地面站测控时为避免地面站上行数据冲突, 只有一台地面站用于发送上行数据<sup>[15-16]</sup>, 其他地面站只接收靶弹的下行数据, 这限制了靶弹测控系统上行数据的发送能力<sup>[17-18]</sup>, 靶弹只能在特定区

收稿日期: 2020-11-04; 修回日期: 2020-12-28。

作者简介: 王 刚(1984-), 男, 辽宁宽甸人, 硕士, 工程师, 主要从事靶弹系统方向的研究。

引用格式: 王 刚, 齐 跃, 吴彦卓. 基于数传电台的靶弹测控系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(8): 152-157.

域内接收地面站的控制指令, 无法在全航程内接收地面站安控指令的控制<sup>[19-20]</sup>。本文采用时分多址的传输模式, 可使4台地面站在4个不同的传输时隙内上传安控指令, 使靶弹在飞行全航程都能接收地面站的安控指令控制, 提高了靶弹测控可靠性和供靶安全性。

### 1 靶弹测控系统总体设计

靶弹测控系统由弹载数传设备和数传地面站组成。弹载数传设备由数传天线、高频馈线、数传电台、采编器、电源模块构成, 弹载数传设备组成框图见图1。数传电台、采编器和电源模块采用分层式结构集成为一个整体, 层间用连接器传输电信号。电源模块分别输出+5 V和+24 V直流电, +5 V为采编器供电, +24 V为数传电台供电。弹载数传设备壳体上用航空接插件与靶弹电缆网连接, 用于传输电气信号。弹载数传设备天线采用倒F型天线, 安装在靶弹设备舱段上侧。该天线尺寸较小, 对靶弹的气动性能无影响。弹载数传设备通过减振器安装到靶弹设备舱段内, 以减小靶弹飞行过程中振动对弹载数传设备的影响。弹载数传设备具有数据采集、数据传输和安控功能。数据采集功能包括采集弹上32路模拟量、16路开关量、3路数字量信号并将采样数据按约定的数据帧格式通过RS422串口发送给数传电台; 数据传输功能包括通过数传电台将数据发送到地面站, 接收地面站发送的安控指令; 安控功能包括接收地面站的安控指令后, 对安控指令进行判断并向靶弹飞控系统输出+27 V安控信号。

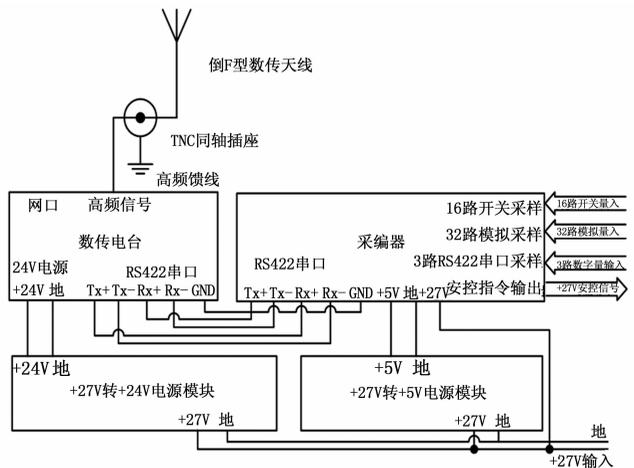


图1 弹载数传设备组成框图

数传地面站集成在一台便携式加固计算机内。数传地面站由数传天线、高频馈线、数传电台、收发控制器、电源模块、数据处理计算机, 设备机壳及操控面板组成。天线采用鞭状天线, 数传电台与弹载数传设备所选用的电台型号相同。数传地面站具有数据接收、发送安控指令、数据处理、存储与显示功能, 主要完成接收弹载数传设备的数据并进行数据处理和图形化显示, 采样操控面板上安控指令按钮状态并通过数传电台将安控指令发送给弹载数传设备。

靶弹测控系统所用数传电台选用工业级商用数传电台, 通过环境筛选试验使数传电台可靠性满足靶弹测控系统的使用要求。该型数传电台为半双工工作模式, 同一时刻只能选择接收或发送一种工作模式。数传电台通过RS422串口与采编器或收发控制器进行通信, 数传电台数据传输率设置为38 400 bps。为满足弹载数传设备与数传地面站之间数据传输的实时性要求, 靶弹测控系统按周期进行上行和下行数据传输, 每个传输周期为100 ms, 一个周期内可以完成一次下行数据传输和4次上行数据传输。数传地面站布站如图2所示。在靶弹飞行航迹附近可用4台地面站进行接力测控。弹载数传设备与4台数传地面站之间的数据传输时隙如图3所示。弹载数传设备每100 ms的循环周期内向下发送数据135字节, 通信协议采用串口通信协议, 数据格式为8数据位、1起始位、1停止位, 数据传输率为38 400 bps。135字节需要的传送时间为:  $135 \times (1+8+1) / 38\ 400 = 0.035\ 2\ s = 35.2\ ms$ 。该数传电台接收数据与发送数据模式转换时间小于20 ms, 35.2~59 ms之间有23.8 ms用于数传地面站由数据接收模式转换为数据发送模式, 同时弹载数传设备由数据发送模式转换为数据接收模式。59 ms时数传地面站A可以发送安控指令, 安控指令帧长度为5个字节, 每次发送安控指令需要  $5 \times (1+8+1) / 38\ 400 = 0.001\ 3\ s = 1.3\ ms$ , 4台地面站发安控指令上行数据的时隙分配如图3所示, 每台地面站安控指令发送时间间隔为5 ms。75.3 ms时地面站D安控指令发送完毕, 75.3~100 ms之间有24.7 ms, 该时间段用于数传地面站和弹载数传设备收发模式转换。

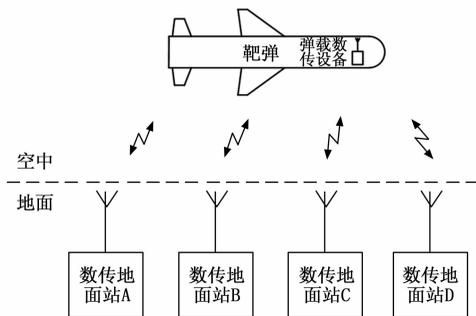


图2 数传地面站布站示意图

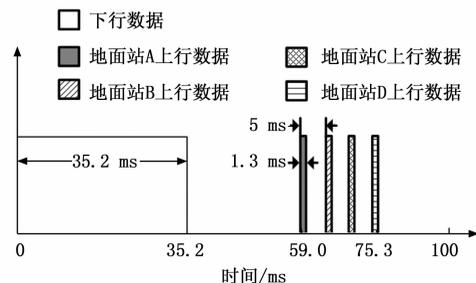


图3 数据传输时隙分配图

### 2 弹载数传设备采编器硬件及软件设计

弹载数传设备采编器由 DSP、FPGA、A/D 采样芯片、串口缓存芯片，光 MOS 型继电器输出电路、光耦采样电路、外部 ROM 存储芯片组成。采编器组成框图见图 4。DSP 用于运行采编器程序，外部 ROM 存储采编器程序以及安控指令码。4 片 8 路 A/D 采样芯片可完成 32 路模拟量采样。4 路 64 位串口缓存芯片用作 3 路数字量采样缓存，同时作为与数传电台 RS422 串口通信的缓存。FPGA 芯片实现对 DSP 与各外围芯片间通信的总线控制。8 路光 MOS 型继电器输出电路可以输出自检、解锁、复位、自毁 4 路 +27 V 安控信号，16 路光耦采样电路用于靶弹的 16 路开关量采样。

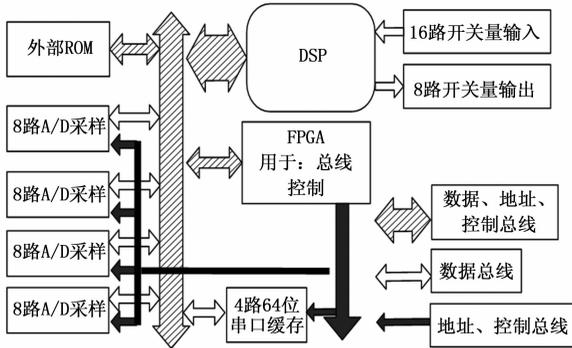


图 4 采编器组成框图

采编器软件在 DSP 内运行用于完成采编器上电后初始化，采集 32 路模拟量和 16 路开关量数据，通过串口查询接收弹载卫星定位设备定位信息和数传电台收到的安控指令，根据安控指令通过固态继电器输出相应的安控指令控制信号。安控指令包括：自检、解锁、复位、自毁共 4 条指令。自检指令用于检查传输信道是否通畅；解锁指令是自毁指令的保险，在没发出解锁指令时，自毁指令即使发出也不起作用；复位指令是对解锁指令的恢复；自毁指令在输出 27 V 后必须进行自保。弹载数传设备采编器软件按 100 ms 的周期循环运行，软件流程如图 5 所示。采编器供电后首先进行硬件初始化，将自检、解锁、自毁状态字和自毁指令计数器  $i$  置 0，查询接收数传电台串口缓存计数器  $j$  置 0，而后启动 100 ms 定时器并进入 100 ms 循环程序；进入循环程序后首先进行 16 路开关量和 32 路模拟量采样，而后用查询的方式接收卫星定位设备和数传电台的串口数据。接收完数传电台的串口数据后即对接收的安控指令数据帧进行解析校验。程序流程中②到③完成查询接收数传电台串口缓存并对安控指令数据帧进行判断，若安控指令为自检指令则将自检状态字置 1，自毁状态字不等于 1 的条件下判断安控指令是解锁指令还是复位指令同时根据判断结果将解锁状态字置 1 或 0。程序流程中③到④完成自毁指令计数，在解锁状态字为 1 的条件下若接收的安控指令为自毁指令则自毁指令计数器  $i$  自加 1；当连续 3 次收到自毁指令时，将自毁状态字置 1 同时输出 27 V 的自毁控制信号。连续收

到 3 次安控指令后实施自毁可以降低因数据传输错误而造成误自毁的概率。程序流程中④到⑤完成查询接收数传电台串口缓存次数的判断，每 100 ms 的循环周期内需查询数传电台串口缓存 4 次。程序流程中⑤到①完成 100 ms 计时并发送 135 字节的下行数据帧而后进入节点①开始下一个循环周期。

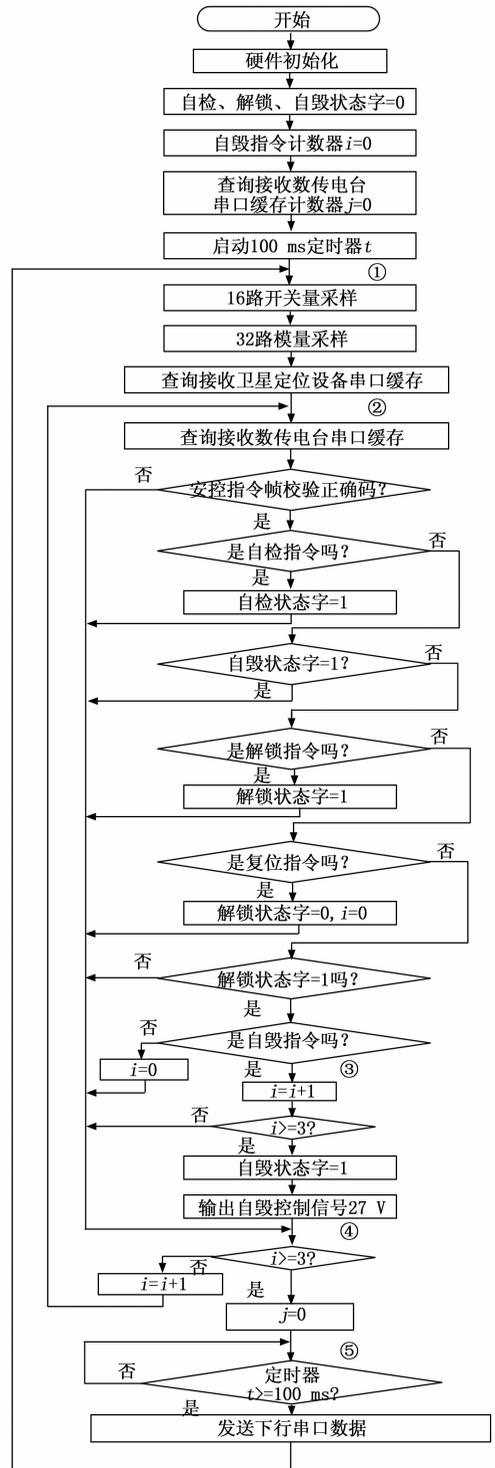


图 5 弹载数传设备采编器软件流程图



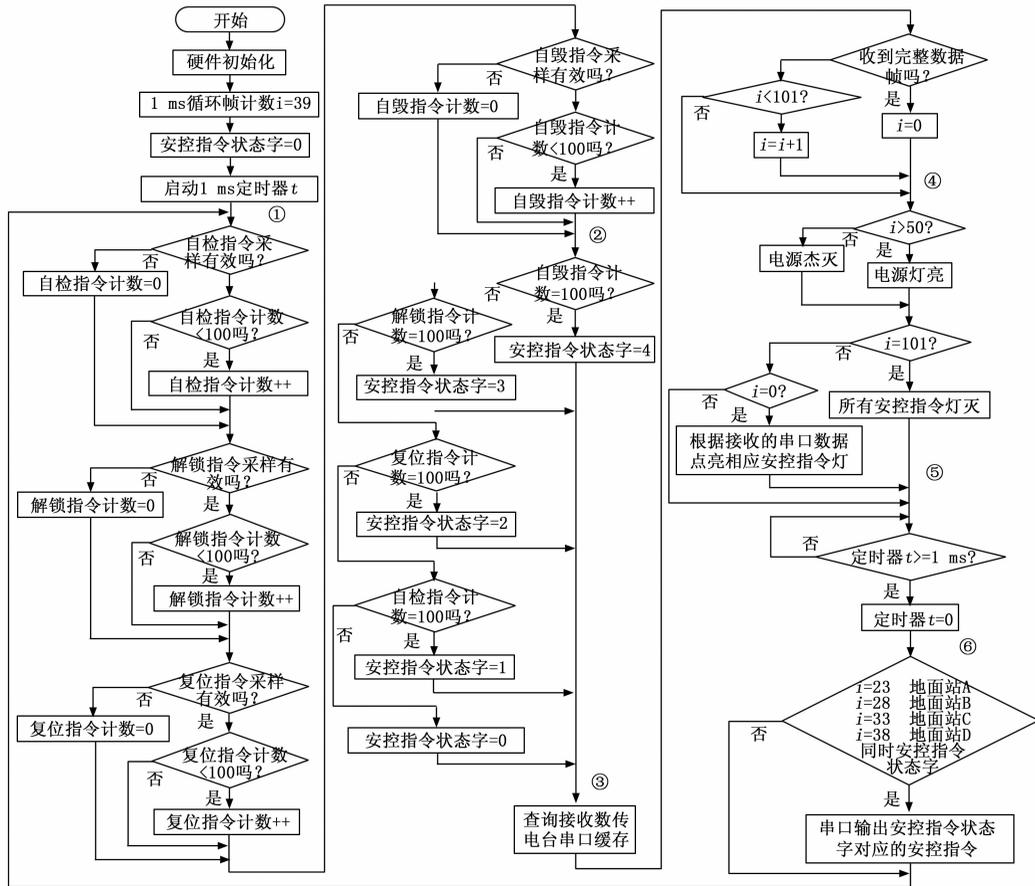


图 7 收发控制器软件流程图

场远距测试。实验室测试主要检验安控指令发送时间是否满足要求，硬件是否工作正常，软件流程是否达到设计要求。实验室测试时四台地面站同时持续发自检安控指令，用示波器监测地面站收发控制器 RS422 串口收到安控指令的结束时间以及发送安控指令的起始和结束时间，试验结果见表 1。经过多次重启测试，四台数传地面站发送安控指令的起始时间均有 1 ms 的动态误差，这是因为数传地面站收发控制器计时精度为 1 ms，因此其发送安控指令的起始时间存在动态误差。四台地面站之间发送安控指令的时间间隔有 4~5 ms，该时间差可以保证各地面站上行数据不发生干扰。用四台地面站依次序同时发送自检、解锁、复位、解锁、炸毁安控指令，弹载数传设备能正常接收指令，未发生指令接收异常的现象。

表 1 数传地面站收发数据时间监测结果 ms

	地面站 A	地面站 B	地面站 C	地面站 D
接收下行数据起始时间	0	0	0	0
接收下行数据结束时间	35.2	35.2	35.2	35.2
发送安控指令起始时间	59~60	64~65	69~70	74~75
发送安控指令持续时间	1.3	1.3	1.3	1.3

距 20 m，数传地面站 C、D 与弹载数传设备相距 21 km。每台地面站单独发送安控指令时，弹载数传设备接收安控指令正常；4 台地面站依次序同时发送自检、解锁、复位、解锁、炸毁安控指令时，弹载数传设备均能正常接收安控指令。

## 6 结束语

本文以数传电台为核心器件设计了一型靶弹测控系统，该测控系统由弹载数传设备和数传地面站组成。该型测控系统在靶弹上使用可以实现在靶弹飞行过程中接收并显示实时位置和弹载设备工作信息，同时可实现用发送安控指令的方式控制靶弹自毁。数传地面站采用时分多址的传输模式发送安控指令，可以实现 4 台地面站同时向一枚靶弹发送安控指令，可使地面站沿靶弹飞行航迹接力布站时各地面站发送安控指令不会相互干扰，该设计方法增加了地面站测控范围，提高了靶弹测控系统工作可靠性。最后通过对工程样机的实物测试，该测控系统工作正常，可以实现 4 台地面站对靶弹同时进行测控的功能。

### 参考文献：

[1] 周旦辉. 靶弹系统发展的某些新特点 [J]. 现代防御技术, 2007, 35 (2): 27-30.

外场远距测试时，数传地面站 A、B 与弹载数传设备相

[2] 张 团, 张国伟, 徐立新. 低成本中高空超音速靶弹弹道优化设计 [J]. 弹箭与制导学报, 2010 (2): 198-200.

[3] 张邦楚, 韩子鹏. 巡航导弹模拟靶平飞弹道设计 [J]. 弹道学报, 2003, 15 (2): 28-34.

[4] 陈 涛, 杜 江. 一种靶弹微波辐射源辅助控制系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (5): 66-68.

[5] 马培圣, 杨柳庆, 肖前贵, 等. 基于数传电台的靶用型无人机测控系统 [J]. 测控技术, 2016, 35 (12): 75-78.

[6] FIROUZEH Z H, MORADIAN M, Safari-Hajat-Aghaei A, et al. Design and implementation of ground station antennas for UAV data radio link in UHF band [C] //2006 2nd International Conference on Information & Communication Technologies, 2006: 2195-2200.

[7] 姚奇松. 遥控遥测系统 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.

[8] 张锡宪. 无人机测控中数据传输系统设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2009.

[9] 淳于江. 无人机的发展现状与展望 [J]. 飞航导弹, 2005, 2: 3-7.

[10] 雷 历, 胡建平, 朱勤专. 未来飞行器测控通信体系结构及关键技术 [J]. 电讯技术, 2011, 51 (7): 1-6.

[11] 韦乃棋, 陈自力, 朱安石, 等. 基于 TDC 的无人机数据链抗

干扰技术研究 [J]. 测控技术, 2013, 32 (3): 124-126.

[12] 颜 俊. 无人机遥控遥测系统作用距离的计算 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2007.

[13] 闻映红. 天线与电波传输理论 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 150-180.

[14] 周 严. 测控系统电子技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.

[15] 李兴岷, 邓红德, 门雅彬, 等. 某型无人机地面站导航台的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 22 (2): 563-565.

[16] 郭荣祥, 陈显术. 采用中继方式的无线遥控系统的设计与实现 [J]. 测控技术, 2012, 31 (12): 124-126.

[17] 湛国森, 梁 彦, 张 明. 靶弹安全控地面站的全双工改进方法 [J]. 无线电工程, 2015, 45 (4): 70-73.

[18] 郭荣祥, 张继红. 基于微波通信的过程控制系统方案设计 [J]. 测控技术, 2007, 26 (6): 57-59.

[19] 湛国森, 倪春雷, 英华垠. 基于 AT89S52 单片机的靶标安全控制地面站的研制 [J]. 信息技术, 2016: 183-186.

[20] 李润平. 数传电台在计算机监控中的应用 [J]. 电气传动自动化, 2004, 26 (5): 48-50.

~~~~~  
 (上接第 136 页)

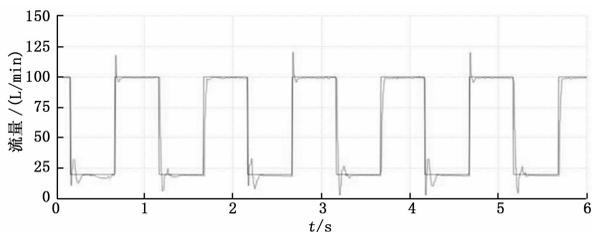


图 18 实验条件下固定参数 PID 控制下的流量跟踪曲线

的关系, 以此作为观测方程, 同时将阀芯的动力学方程作为状态方程, 搭建了比例阀的被控对象模型。后采用 S-函数在 Simulink 中实现, 对该模型进行基本仿真, 发现了比例阀的流量的瞬态特征和稳态特征。之后设计 PID 控制器和模糊 PID 控制器并分别进行 Simulink 仿真和实验, 验证了模糊 PID 控制相对于固定参数的 PID 控制能够有效降低流量的超调量。

此外, 比例阀模型仍需要进一步改进, 以解决图 10 中 DA 值和流量关系在仿真和实验条件下的差异。最大流量输出值差异来源于测量误差, 部分假设条件不成立和参数估计不准确; 上下行曲线之间的差异来源于仿真与实验之间测量方法不同, 未考虑的摩擦力和剩磁性; 死区和饱和区的非线性主要来源于未考虑到橡胶片的弹性形变和阀芯极限位移时的能量损失。这些问题有待于进一步研究。

参考文献:

[1] 李 海, 曾理湛, 周振华, 等. 比例流量阀的特性测试与实验

建模 [J]. 机床与液压, 2014, 42 (17): 1-4.

[2] 袁洪滨, 张民庆, 孙彦堂. 基于 AMESim 的直动式电磁阀动态仿真研究 [J]. 火箭推进, 2011, 37 (5): 30-35.

[3] 钟圣国, 彭光正. 利用电/气比例阀的容腔压力控制系统的建模与仿真 [J]. 机床与液压, 2004 (10): 90-92.

[4] 郑淑娟, 权 龙. 锥台形液压锥阀过流面积 CFD 可视化计算 [J]. 农业机械学报, 2014, 45 (4): 327-333.

[5] 许有熊, 李小宁. 新型压电式气动 PWM 数字比例阀建模及仿真研究 [J]. 系统仿真学报, 2010, 22 (10): 2296-2301.

[6] 刘景康, 龙 飞, 赵 坤, 等. 可编程气动比例控制系统的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (7): 88-92.

[7] 冯小冬. 基于模糊 PID 控制的呼吸机压力控制研究 [D]. 南京: 南京医科大学, 2010.

[8] SHI J Z. A fractional order general type-2 fuzzy PID controller design algorithm [J]. IEEE Access, 2020, 8: 52151-52172.

[9] Al-GREER M, ARMSTRONG M, PICKERT V. Selecting appropriate fuzzy PID control structure for power electronic applications [J]. The Journal of Engineering, 2019 (17): 4457-4460.

[10] SHEN J, XIN B, CUI H, et al. Control of single-axis rotation INS by tracking differentiator based fuzzy PID [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2017, 53 (6): 2976-2986.

[11] 王婷婷, 王宏志, 刘清雪, 等. 遗传算法优化的无刷直流电机模糊 PID 控制器设计 [J]. 吉林大学学报 (理学版), 2020, 58 (6): 1421-1428.

[12] 周 挺, 程 华. 电力伺服系统参数自整定模糊 PID 控制器设计 [J]. 机床与液压, 2020, 48 (17): 135-139.