

基于气体传感器的航空液压发电机滑油 泄漏检测

张聖胤¹, 徐 涛¹, 张 明²

¹沈阳航空航天大学, 辽宁 沈阳

²空军装备部驻沈阳地区第三军事代表室, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2022年9月24日; 录用日期: 2022年10月18日; 发布日期: 2022年10月25日

摘 要

针对航空液压发电机地面测试实验中液压油泄漏的问题, 设计了单片机和气体传感器为核心的液压油气体检测装置, 可以检测探测区域内的液压油气体参数, 单片机内部编写标准的Modbus-RTU协议, 支持与上位机软件组态王内置的Modbus驱动进行通信。系统使用组态王设计人机交互界面, 实时显示发电机周围各点位的气体参数、实时趋势曲线和历史趋势曲线, 实现液压油泄露的远程检测。

关键词

气体检测, 单片机, Modbus协议, 组态王

Oil Leakage Detection of Aviation Hydraulic Generator Based on Gas Sensor

Shengyin Zhang¹, Tao Xu¹, Ming Zhang²

¹Shenyang Aerospace University, Shenyang Liaoning

²The Third Military Representative Office of the Air Force Equipment Department in Shenyang, Shenyang Liaoning

Received: Sep. 24th, 2022; accepted: Oct. 18th, 2022; published: Oct. 25th, 2022

Abstract

Aiming at the problem of hydraulic oil leakage in aviation hydraulic generator ground test experiment, a hydraulic oil gas detection device with single chip microcomputer and gas sensor as the core is designed, which can detect the hydraulic oil gas parameters in the detection area. The standard

Modbus-RTU protocol is written in the single chip microcomputer, which supports communication with the Modbus driver built in the upper computer software Kingview. The system uses Kingview to design man-machine interface, real-time display gas parameters, real-time trend curve and historical trend curve around the generator, and realize remote detection of hydraulic oil leakage.

Keywords

Gas Detection, Single Chip Microcomputer, Modbus Protocol, Kingview

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

飞机的供电系统一般由主电源、应急电源和二次电源组成，有些情况下还会使用辅助电源。主电源的组成包括航空发动机传动的发电机、电源控制保护设备等，用于在飞机的飞行过程中作为主要电源。而例如在地面测试时，航空发动机不需要工作，不依靠主电源供电，这时就要靠辅助电源供电。飞机辅助动力装置，例如航空液压驱动组合直流发电机，是飞机供电系统中常用的辅助电源。而且飞机在飞行状态下，一旦飞机主电源发生故障，液压发电机就会作为应急电源短时间内供电，为飞机迫降提供足够的时间。

液压发电机组作为移动电源，在航空领域应用非常广泛。发电机工作时，其负载从零不断增加，发电机液压系统的工作压力也会随之增大，增加液压泵等液压元件液压油泄漏的风险[1]。

航空液压油应用广泛，适用于各类液压系统设备，但由于会出现渗透、泄漏等问题，在实际生产使用过程中跑损会对工作的进行造成非常大的影响[2]。而且液压油泄漏除了会对设备造成损坏、降低设备使用寿命、造成计划外停机外，还会导致更严重问题。

为了提高航空液压发电机测试时的安全性，对发电机周围点位的液压油挥发气体浓度的监控，方便操作人员观察记录数据，设计了航空液压发电机滑油泄漏检测系统，本系统运用单片机的 ADC 采集和串口通信技术，使用上位机软件组态王，实现了航空液压发电机的液压油气体浓度检测和上位机界面的数据实时显示。

2. 系统总体方案

为实时检测航空液压发电机周边液压油气体参数，本文设计了一种气体传感器，由气体传感器探头、主控芯片及通信接口等外设组成。主控芯片选用 STC8A8K64D4，它提供了丰富的数字外设、接口与模拟外设可满足广大用户的设计需求。系统的工作原理图如图 1 所示：

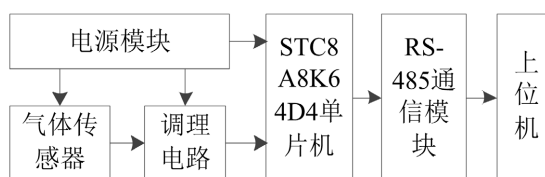


Figure 1. System working principle diagram

图 1. 系统工作原理图

目前市面上常用的上位机组态软件有 MCGS、组态王以及 WinCC 等,其中北京亚控科技发展有限公司的“组态王”就是优秀国产工控组态软件的代表,组态王具备实用、简单、可靠、控制灵活、功能齐全等优点。本文运用组态王和串口通信技术,通过组态王 Modbus-RTU 设备的驱动,以气体传感器阵列作为下位机,实现了液压油泄露的远程检测。

3. 系统硬件设计

本系统是航空液压发电机液压油泄漏检测系统,通过主控单片机的数据处理,完成数据的采集和上位机通信功能。本系统主要以 STC8A8K64D4 单片机作为主控进行设计,利用 MQ-5 气体传感器实现空气中液压油挥发气体的检测,在单片机内部进行 A/D 转换,经过单片机内部的数据处理、软件滤波后,通过 RS-485 接口使用 Modbus-RTU 协议实现与上位机的通信。

3.1. 电源模块

电源模块采用 MP1584EN 稳压芯片,MP1584 是一款高频降压开关稳压器,带有集成的高压侧高压功率 MOSFET。它能够提供 3 A 的输出和电流模式控制,可用于环路的快速响应和补偿宽 4.5 V 至 28 V 输入范围可适应各种降压应用。通过在较低负载条件下降低开关频率的方式来减少开关和栅极驱动损耗,可以在宽负载范围内的高功率转换效率。

本系统使用 24 V 输入电压,通过 MP1584EN 稳压至 5 V 为气体传感器供电,再通过 AMS1117 将 5 V 转为 3.3 V 为单片机供电。电源模块的电路设计如图 2 和图 3 所示:

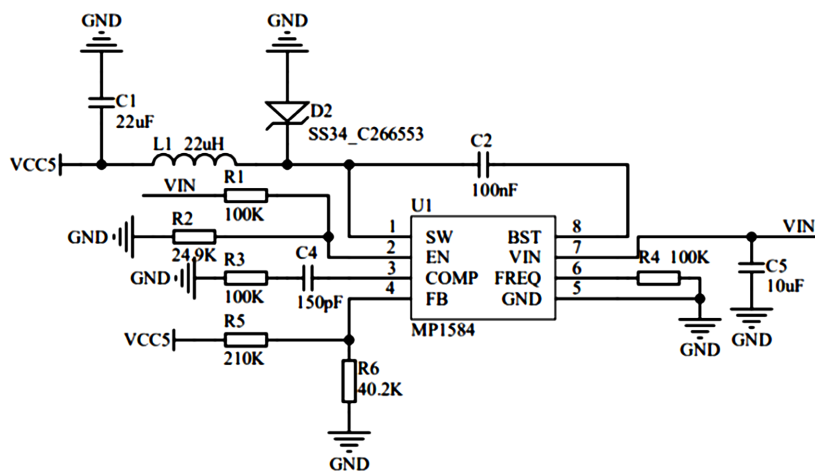


Figure 2. MP1584EN application circuit

图 2. MP1584EN 应用电路

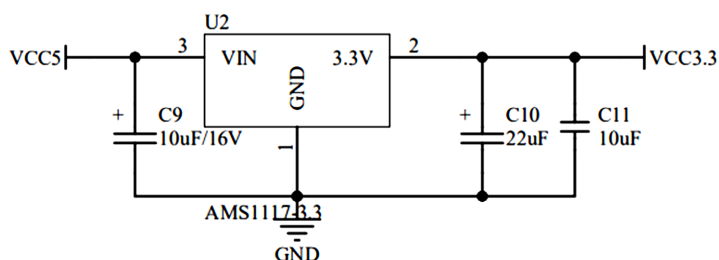


Figure 3. AMS1117 application circuit

图 3. AMS1117 应用电路

使用电阻分压器从输出电压到 FB 引脚设置输出电压。分压器通过 R_5 和 R_6 将输出电压分为反馈电压，因此输出电压为 $V_{FB} = V_{OUT} \frac{R_6}{R_5 + R_6}$ ，也可以写为 $V_{OUT} = V_{FB} \frac{R_5 + R_6}{R_6}$ 。式中， V_{OUT} 是电路最终输出电压， V_{FB} 是芯片 FB 引脚的反馈电压， R_5 、 R_6 是对应电阻阻值。当 MP1584 处于空载状态时，可以在输出端看到来自高压侧 BS 电路的约 $20 \mu\text{A}$ 电流。为了吸收这一小部分电流，将 R_6 保持在 $40 \text{ K}\Omega$ 以下。 R_6 的典型值可以配置为 $40.2 \text{ K}\Omega$ 。 R_1 可通过以下方式确定： $R_5 = 50.25 * (V_{OUT} - 0.8) (\text{K}\Omega)$ 。所以如果需要 5 V 的输出电压， R_5 与 R_6 的阻值可配置为 $210 \text{ K}\Omega$ 和 $40.2 \text{ K}\Omega$ 。

3.2. 气体传感器模块

液压油由矿物基础油和其他添加剂组成，其中矿物基础油主要成分为直链烷烃，液压油泄露后会产生含 C1~C4 烷烃及烯烃、含硫物质和酸类物质等的可燃性气体。经过 MQ-2、MQ-3、MQ-4、MQ-5 等气体传感器对现场液压油样品挥发气体的灵敏度对比测试，本系统选用 MQ-5 型号的气体传感器，MQ-5 气体传感器对丁烷、丙烷和甲烷灵敏度高，可以兼顾检测多种可燃气体，同时它的成本低、应用广泛，适合本系统使用。当传感器处在含有可燃气体的环境中时，传感器内部的气敏材料的电导率会随环境中可燃气体浓度改变。使用下图的调理电路即可将电导率的变化转换为与该气体浓度相对应的输出信号。气体传感器模拟输出的调理电路图如图 4 所示，AO 为模拟量输出，实测为 $0\sim 4.5\text{VDC}$ 左右，这里使用的是 MCP6002，不能用 LM258 或者 LM358，因为 5 V 供电的情况下，LM358/LM258 输出的最大电压为 3.5 V 左右。

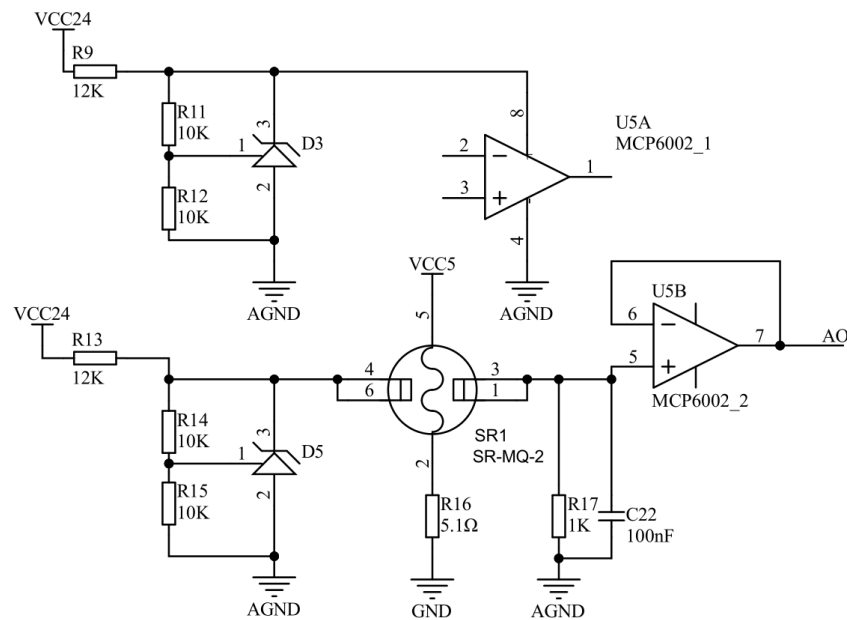


Figure 4. Gas sensor conditioning circuit

图 4. 气体传感器调理电路

3.3. 系统主电路

本系统主电路选用 STC8A8K64S4A12 单片机。STC8 系列单片机是不需要外部晶振和外部复位的单片机，是以低功耗、高速、强抗干扰为目标的 51 单片机。MQ-5 气体传感器的检测信号经过调理电路经 P0.6/ADC14 口接入单片机进行处理。STC8A8K64D4 单片机主电路如图 5 所示。

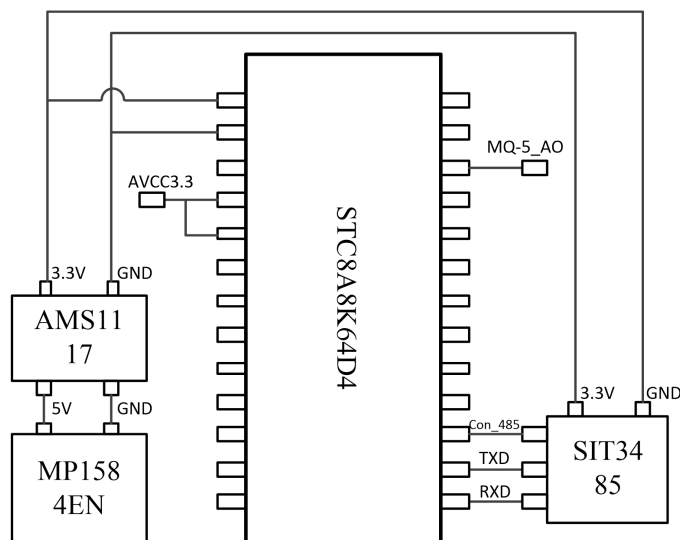


Figure 5. Main control circuit of STC8A8K64S4A12 MCU

图 5. STC8A8K64S4A12 单片机主控电路

4. 软件设计

本系统的软件开发包括两部分：一部分是气体传感器 MCU 的软件设计，另一部分是上位机交互界面的设计。气体传感器软件流程图如图所示，首先要对系统进行初始化设置，包括 I/O 口输入输出状态的设定、寄存器、定时器、串口通信、ADC、Modbus 协议、RS485 等模块的初始化。气体传感器采集到的 AD 值采用去除最大和最小值再取平均的滤波方法提高测量精度。最终通过 RS485 总线使用标准 Modbus-RTU 协议实现传感器气体参数的读取。系统软件总流程图如图 6 所示：



Figure 6. General flow chart of software

图 6. 软件总流程图

Modbus-RTU 协议是一种基于异步串行总线的串行链路规范[3]。Modbus 协议作为一种世界通用的工业标准通信协议，是不同设备组成工业网络的总线协议[4]。通过此协议，控制器相互之间、控制器经由网络和其他设备之间也可以通信。Modbus 协议包括 ASCII、RTU、TCP 三种报文类型，其中，Modbus-RTU，也就是远程终端设备模式下的控制命令数据帧格式为：寄存器地址 + 功能码 + 数据信息 + CRC 校验码，其中 CRC 指的是循环冗余校验，在 Modbus 通信协议的数据格式中，为了保证数据通信过程的稳定高效、可靠，使用了两种对数据帧差错校验的方法，分别为循环冗余校验 CRC 和纵向冗余校验 LRC。

在实际的使用过程中，CRC 校验方法的校验有更高的准确率，所以应用也更加广泛[5]。

以单片机作为从机，编写接收主机命令，执行命令，并发送响应指令给主机的通信程序[6]。本设计中的 Modbus 子程序主要分为 modbus 初始化程序、modbus 功能码处理程序、485 动作函数、CRC 校验程序和串口监控程序。单片机会根据接收到的 modbus 指令判断从机地址和功能码，执行功能码应答函数，将 ADC 采集到的气体参数值转换为浮点型送入发送缓冲区，经 CRC 校验后串口发送回报文，即可获得传感器气体参数。Modbus 程序流程图如图 7 所示。

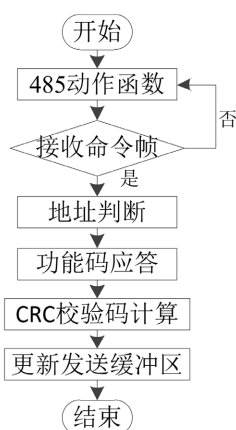


Figure 7. Modbus program flow chart
图 7. Modbus 程序流程图

通过开发组态软件设计出上位机人机界面，取代传统的控制操作面板和显示仪表，人机界面采用北京亚控公司的组态王 KingView6.50SP3 进行设计。传感器与上位机通过 RS485 接口连接，由于传感器支持标准的 Modbus-RTU 协议，所以组态王与传感器的通信采用添加 Modbus-RTU 串口设备的方式，组态王定义设备时应选择：[PLC]→[莫迪康]→[Modbus-RTU]→[COM]，根据传感器程序中配置的波特率和设备地址配置好组态王设备的通信参数即可，通信参数必须一致。

为了在人机界面中读取传感器数据，需要在数据词典中定义传感器气体传感器变量。Modbus-RTU 的功能码与组态王内置驱动支持的寄存器之间的关系见表 1。

Table 1. Corresponding table of Kingview driver and Modbus function code
表 1. 组态王驱动与 Modbus 功能码对应表

功能码	名称	作用	寄存器
01	读取线圈状态	获得一组逻辑线圈的当前状态	0
02	读取输入状态	获得一组开关输入的当前状态	1
03	读保持寄存器	在保持寄存器中取得二进制值	4
04	读输入寄存器	在输入寄存器中取得二进制值	3
05	强置单线圈	强置一个逻辑线圈的通断状态	0
06	预置单寄存器	把二进制装入一个保持寄存器	4
15	强置多线圈	强置一串连续逻辑线圈的通断	FMC

根据组态王中 Modbus-RTU 驱动的寄存器定义，可选择 40002 寄存器实现传感器数据的读取，数据类型选择 SHORT 型。

5. 实验结果

在组态王中完成画面绘制、变量创建与定义、通信参数配置和测试、脚本程序编写后，对传感器与组态王的通信进行了测试和运行，在组态王中对设备的通信测试如图 8 所示。可以使用组态王 Modbus-RTU 驱动读取气体传感器数值，数据类型为 SHORT 型。



Figure 8. Kingview read sensor test interface
图 8. 组态王读取传感器测试界面

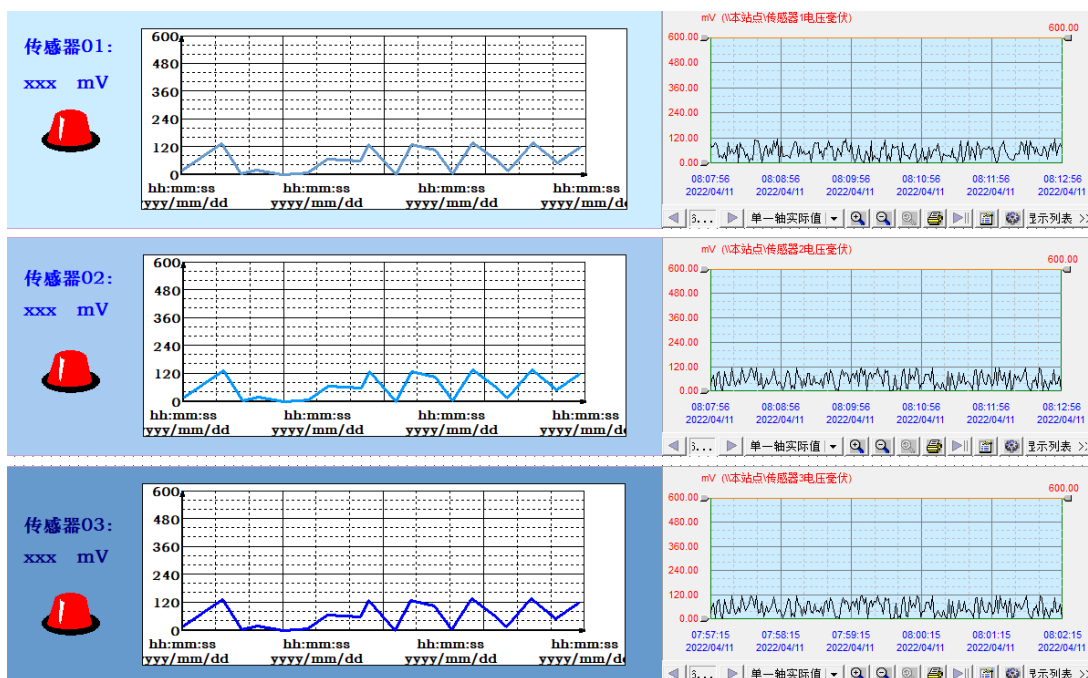


Figure 9. Kingview man-machine interface
图 9. 组态王人机交互界面

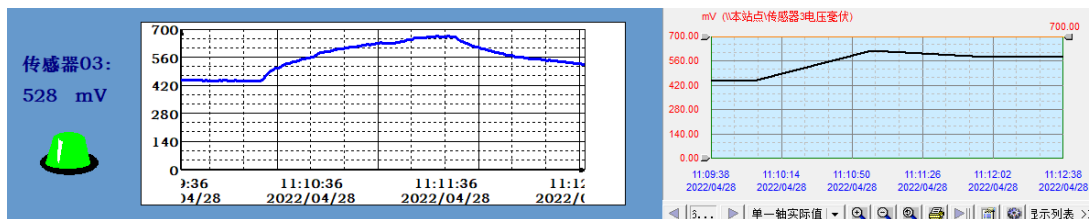


Figure 10. Detection leakage curve

图 10. 检测泄露曲线

上位机人机交互界面如图 9 所示。通过组态王界面能实时监测航空液压发电机周围传感器点位的气体参数，并且可以记录实时曲线和历史趋势曲线，根据操作人员设置的阈值实现报警动作，可以根据用户需求实现查找历史数据、报警记录、报表打印等功能。使用少量航空液压油模拟泄露时，组态王界面的气体曲线如图 10 所示。

6. 结束语

液压油气体检测装置利用 STC8A8K64D4 单片机、MQ-5 型气体传感器和上位机软件组态王实现了航空液压发电机液压油的泄漏检测，气体传感器支持 Modbus-RTU 协议，可以使用组态王 Modbus 驱动进行读取。操作人员可以通过人机界面实时监控发电机周围各个点位的气体参数，方便操作人员设置报警界限、查看实时曲线和历史数据，可以满足航空液压发电机测试现场的需求。

参考文献

- [1] 李进, 李建秋, 周明, 等. 电源车动力系统控制策略研究[J]. 内燃机学报, 2003(5): 365-368.
- [2] 吴根茂, 等. 新编实用电液比例液压技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2006.
- [3] 廉永乐, 王明. 基于 VC++ 的 Modbus 协议串口通信设计与实现[J]. 数字技术与应用, 2017(9): 158-160.
- [4] 王佩, 陈金鹰, 童焦龙. 面向物联网应用的嵌入式 ModBus 协议分析与实现[J]. 仪表技术与传感器, 2018(7): 102-106.
- [5] 田甜. Modbus 通信协议中基于 C 语言算法的 CRC 快速校验方法[J]. 信息与电脑(理论版), 2020, 32(9): 57-58.
- [6] 马亚玲. 基于 RS-485 总线的 MODBUS 通信协议在单片机上的实现[J]. 通信电源技术, 2019, 36(7): 60-62.
<https://doi.org/10.19399/j.cnki.tpt.2019.07.020>