DOI:10.19789/j.1004-9398.2018.06.007

基于STM32的油液颗粒污染度检测系统设计*

韩瑞欣[1] 姜泽坤[1] 魏 坤[2] 尹文杰[1] 张传昊[1] 魏冬梅[1]**
(1. 山东师范大学物理与电子科学学院,山东 济南 250014; 2. 河南省方城县机电信息中等职业学校,河南 南阳 473200)

摘 要

合格的润滑油对机械的正常运转非常重要,但润滑油中杂质颗粒含量的增加使机械设备面间的摩擦加剧,损坏机械. 润滑油的质量检测对于安全生产非常重要. 本文以STM32为核心控制器,利用颗粒传感器Pamas S4031和颗粒计数法,搭建一套在线检测油液颗粒污染度系统. 该系统具有可触屏、友好、简捷的人机交互界面,能够实时测量直径为4、6、14、21 μm的颗粒含量、含水率、油液温度和油液质量.

关键词: 油液检测,颗粒计数法,嵌入式,电源模块,串口通信.
中图分类号: TP391.4

0 引 言

机械化成为当今社会发展主流,机械磨损是产生机械故障和减少使用寿命的主要原因. 润滑油素有机械设备的"血液"之称,具有密封、防腐、润滑、减震和减磨作用[1-2]. 随着润滑油的使用,其质量会大大下降[3],因此,针对润滑油质量的检测越来越重要.

目前油液检测的方法主要有理化指标分析法与磨损颗粒分析法[4]. 理化指标分析法通过对油液化学性质的变化分析判断油的质量. 在油液使用过程中,由于自身衰变和外界氧化,其理化指标会发生变化[5]. 此外还存在众多不确定的环境因素导致油液中颗粒增多,理化指标分析法无法得到油液中颗粒杂质数量,而颗粒数量是影响油液质量的主要因素. 磨损颗粒分析法通过分析油液中颗粒大小、数量等信息判断油液的污染状况,是目前油液检测中的主要方法.

常用的磨损颗粒检测法有铁谱分析法、磁塞检测法、红外光谱法、颗粒消光计数法[6]. 颗粒消光法利用含有颗粒的介质对激光的反射和吸收特征判断颗粒的大小和数量[7-10],该方法测量精度高,可同时获得颗粒的尺寸和数量信息,且实现方法简单,便于便携设计,达到"在线"测试目的.

1 油液颗粒污染度检测系统结构和原理分析

1.1 系统的整体构架

本系统主要包括主控模块、显示模块、检测模块、电源模块等四大部分,整体结构图如图1所示. 其中主控模块可以实时控制电源模块为各个模块供电. 检测模块负责检测油液获取数据信息,并与主控模块进行通信[11]. 图2概括了本系统硬件操作流程. 对于系统的整体性操作步骤见表1.

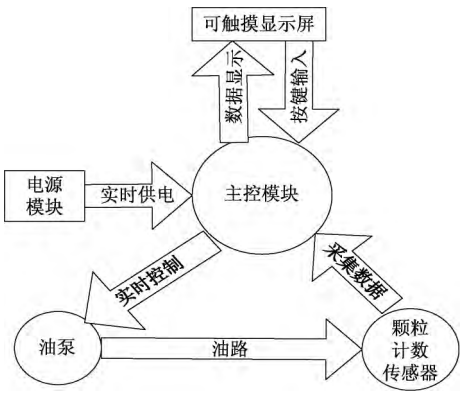


图1 系统整体结构图

收稿日期: 2017-10-29
* 山东省重点研发计划项目: 基于高光谱成像的血液无损检测方法的应用研究(2016GGX101016); 山东师范大学教学改革立项项目(2016JG34); 山东师范大学混合式课程建设项目(2016KG65).
**通信作者

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

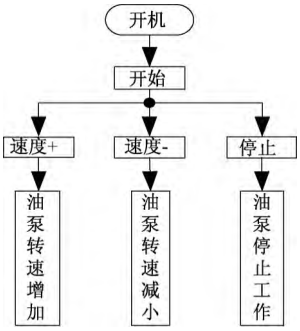


图2 系统的硬件操作流程图

表1 系统的整体操作步骤

I	打开面板电源开关,除油泵外所有部件(包括传感器、显示屏等)和电路上电工作.
II	点击显示屏上“开始”按钮,油泵上电,开始工作,将油液从油瓶抽取到系统管路中,先后流经颗粒度传感器和湿度传感器进行检测,油液最后再流回油瓶.
III	根据实际需要或油液粘度及环境因素,在第 II 中,可点击显示屏上“速度+”和“速度-”按钮改变齿轮泵的转速,控制管路中油液的流量.
IV	点击显示屏上“停止”按钮,齿轮泵(泵)断电,结束工作.
V	单片机实时接收颗粒度传感器和湿度传感器的输出信号. 根据颗粒度传感器的输出信号可以获取瞬时速度(即流量)和不同尺寸分段的颗粒度数量信息. 根据湿度传感器的输出信号获取油液温度、相对含水率.
VI	显示屏上电后,将单片机处理的结果(检测结果)进行实时显示.

1.2 颗粒计数传感器原理分析

该传感器有三个通道,一个进油口,一个出油口,一个电源及串口通道. 包含一个测量单元、激光源和一个光敏二极管,如图3所示.

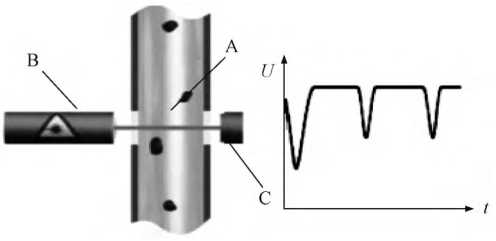


图3 颗粒传感器检测原理图

当激光束通过测量单元到达光敏二极管,如果有粒子经过测量单元,则会挡住部分激光,到达光敏二极管的光强度减小,颗粒越大,强度降低的越大,通过光强度的强弱转化为粒子的颗粒大小,进而测算出粒子数量. 此外,根据不同颗粒的尺寸及数量,根据国际污染度等级标准,测算出 ISO4406、GJB420B、SAEAS4059 等级标准.

2 系统硬件设计

2.1 主控模块

本文采用 STM32F103RCT6 单片机作为油液颗粒污染度检测系统的主控芯片[12-14]. STM32 是一种嵌入式微控制芯片,外接晶振,经倍频后,最高运行速度可达 72 MHz. STM32 有 64 个可任意控制的I/O接口,丰富的串口资源. STM32 的 103 系列支持 5 路串口,均可实现单工通信和半双工通信. 此外,STM32 内部具有两路 12 位高精度 DAC,可以方便实现开关调控.

2.2 串口通信硬件设计

目前串口通信标准主要有 RS-232C 和 TTL 电平标准. RS-232C 标准以电压正负来表示逻辑状态,逻辑 1(MARK)范围是 -3 ~ -15 V,逻辑 2(SPACE)范围是 +3 ~ +15 V,PC 机中串口多采用 RS-232 标准. TTL 电平标准是一种以二进制形式进行数据传输通信的标准协议,通常,+5 V 代表逻辑“1”,0 V 代表逻辑“0”,多用于单片机. 所以在进行单片机与 PC 机通信之前,需要进行电平转换. 考虑到转换速率以及数据的可靠性,采用 MAX3232 进行电平转换.

MAX3232 是 Maxim 公司推出的一款低功耗、高速率的电平转换芯片,工作电压范围为 3 ~ 5.5 V. 外部仅需两个 0.1 μF、两个 1 μF 的小尺寸电荷泵电容,即可实现 TTL 与 RS-232 之间的转换. 此外,MAX3232 具有高速率的数据传输,在 120 Kbps 的速率下,依然可以保证电平转换的可靠性、稳定性. MAX3232 外设图如图4所示,它可以同时完成两个串口的电平转换.

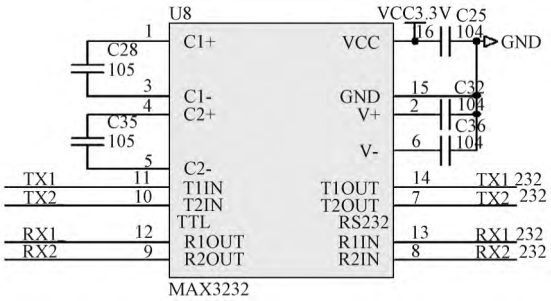


图4 MAX3232 外设图

2.3 油泵调速硬件设计

为了将调节电压的范围放大到 0 ~ 5 V,系统采用 TI 公司的轨对轨放大芯片 TLV2772. 该芯片供电范围为 2.7 ~ 5 V,为了实现 0 ~ 5 V 放大要求,采用 5 V 供电,设计原理图如图5所示.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

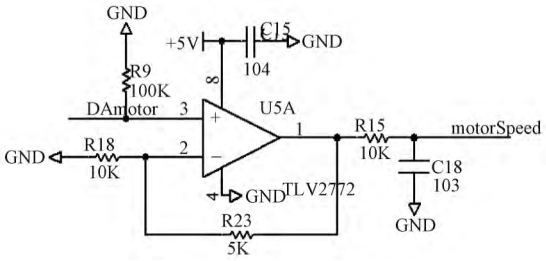


图 5　DA 电压放大电路图

图 5 中 3 脚为放大输入端. 将 DA 转换后的输出电压直接接到 3 脚，经过放大后，电压从 1 脚输出，滤除高频噪声后接入油泵控制端. 为了实现单片机的 I/O 口实时控制 24 V 供电的油泵工作，系统采用 DSP2a-DC5V 继电器，设计原理图如图 6 所示.

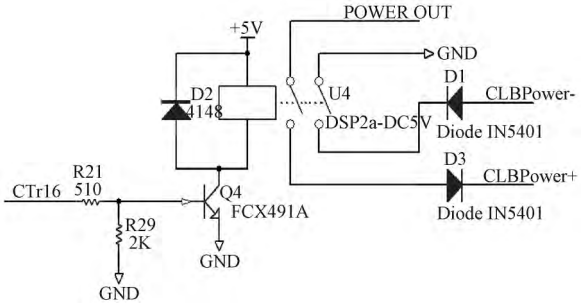


图 6　油泵继电器电路图

DSP2a-DC5V 内部利用电磁继电器的原理，当单片机的 CTrl6 引脚输出高电平时 FCX191 A 导通，DSP2a-DC5V 内部左半部分回路导通，形成一个电磁铁吸引右半部分开关闭合，则连接油泵的整个电源回路导通，油泵上电工作. 当单片机的 CTrl6 引脚输出低电平时 FCX191 A 断开，DSP2a-DC5V 内部左半部分回路断开，右半部分的开关因为失去了磁性吸引而断开，则油泵的电源回路断开，进而使油泵停止工作.

2.4　系统电源方案设计

2.4.1　系统总电源模块设计

为了实现电源自动切换，采用 Linear Technology Corporation 公司的低损耗高效能双路快速电源切换芯片 LTC4416[15]. 当一路电源出现故障时，迅速切换到另一路备用电源，不会产生设备断电的情况，且两路输出电压波动都很小，不会对设备造成影响. 本文利用 LTC4416 与 SI7461DP 配合实现电源切换，其压降仅为 25 mV，远远低于二极管的导通电压，为了达到芯片主动关断一路电源的目的，采用两个 MOSFET “背靠背”的方案，设计原理图如图 7 所示.

图 7 中 E_1 和 E_2 分别为主电源与电池供电的使能控制端，直接控制 G_1 与 G_2 输出高低电平，进而控制 PMOS 的管截止还是导通状态. LTC4416 电压切换的标准值由外设电路设计给定. 定义 V_{FAIL} 为主电源供电的最低电压，$V_{RESTORE}$ 为适配器开始工作的最低电压.

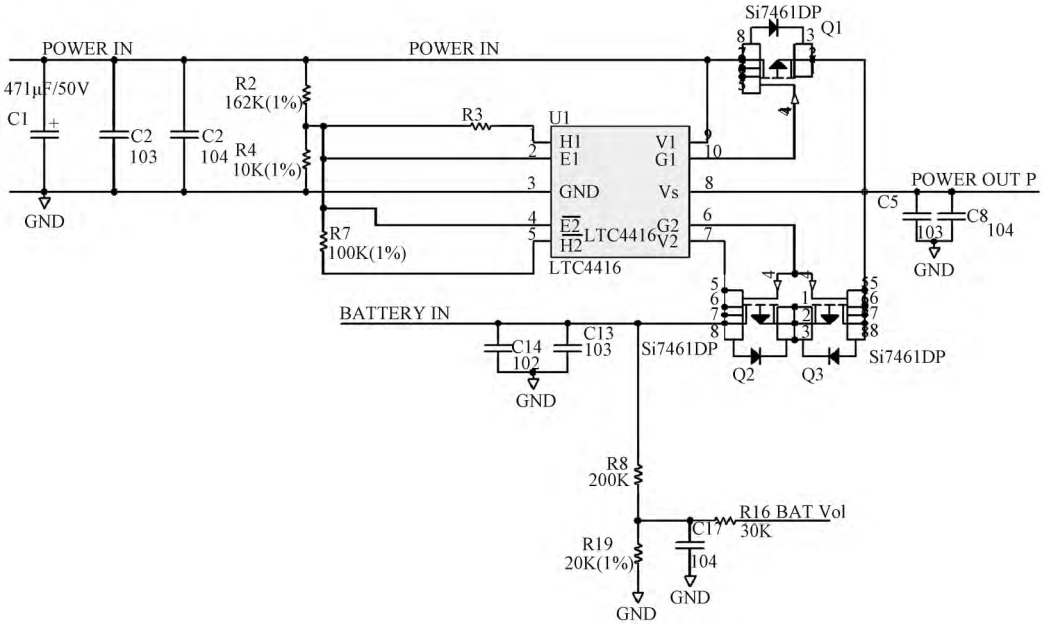


图 7　系统总电源原理图

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$V_{FAIL} = V_{ETH} \times \frac{R_2 + R_4}{R_4}, \quad (1)$$

$$V_{FAIL} = V_{ETH} \times \frac{[R_2 + (R_4//R_7)]}{R_4//R_7}, \quad (2)$$

其中 $V_{ETH} = 1.222$ V,$R_4//R_7$ 为两电阻并联. 取 $R_2 = 162$ kΩ,$R_4 = 10$ kΩ,$R_7 = 100$ kΩ,则 $V_{FAIL} = 1.222 \times (162 + 10)/10 = 21.08$ V,$V_{RESTORE} = 1.222 \times 18.2 = 22.998$ V.

当主电源接入 24 V 时,高于 23 V 的标准工作电压,此时 E_1 使能,控制 G_1 产生下拉电流,Q_1 导通,此时 $V_1 = V_s > V_2$,G_2 产生上拉电流,Q_2、Q_3 截止,避免产生逆向电流;当主电源接入电压低于 21 V 时,E_2 使能,控制 G_2 产生下拉电流,Q_2、Q_3 导通,此时 $V_2 = V_s > V_1$,G_1 产生上拉电流,Q_1 截止,避免产生逆向电流.

2.4.2 显示屏电源模块设计

显示屏电源采用可调降压稳压芯片 TPS54340 来实现. 设计原理图如图 8 所示.

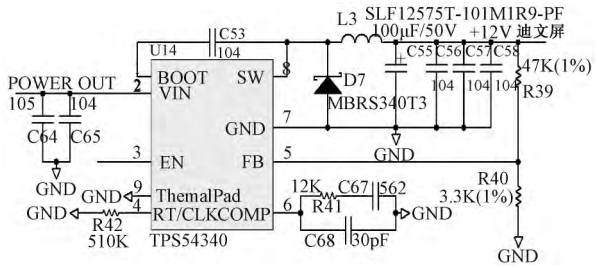


图 8 显示屏驱动电路图

24 V 电压经过两个电容滤除高频成分后接入 2 脚,EN 使能后芯片开始工作,BOOT 口输出电压经电感电容滤除纹波之后脚到达输出端,此时 FB 通过外设电路中的 R_{39}、R_{40} 分得一个输入电压,反馈给芯片. FB 脚内部是一个误差运放其参考电压为 0.8 V. 如果 FB 获得的反馈电压低于 0.8 V 时,芯片提高输出电压,FB 获得的反馈电压也随之升高,直至达到 0.8 V 时,整个芯片开始稳定工作,保持输出电压稳定. 如果 FB 获得的反馈电压高于 0.8 V,芯片降低输出电压,FB 获得的反馈电压也随之降低,直到 0.8 V 时,整个芯片开始稳定工作,输出电压稳定. 根据公式:

$$R_{HS} = R_{LS} \times \left(\frac{V_{OUT} - 0.8\text{V}}{0.8\text{V}}\right) \quad (3)$$

确定电阻 R_{39}、R_{40} 的数值,其中 0.8 V 为内部参考电压,V_{OUT} 为输出电压,此处为 12 V. 选 $R_{LS} = R_{40} = 3.3$ kΩ,则 $R_{HS} = R_{39} = 46.2$ kΩ. 因为实际情况下没有 46.2 kΩ 电阻,故选择 47 kΩ 电阻. 经过外部电阻选择之后,芯片便可以稳定的输出 12 V 电压,进而驱动迪文屏显示达到设计要求.

3 软件设计

系统上电开机后,自动进行硬件初始化设置,配置相关寄存器、传感器数据稳定等. 初始化大约 5 s,之后进行软件初始化,配置 DA、串口、中断等. 准备工作做好之后,主程序进入显示程序,后面所有功能都围绕显示程序展开,执行完之后都要回到显示程序. 紧接着进入按键扫描,当有按键按下时,判断哪个按键被按下,当按下“开始”键之后,DA 开始工作输出模拟电压;当按下“速度 +”键之后,DA 输出量增加;当按下“速度 -”键之后,DA 输出量减少;当按下“停止”键之后,DA 输出量为 0,并且程序返回到显示程序. 处理完按键之后开始通过串口向颗粒传感器、湿度传感器发送指令,当收到回复后进入串口中断,接收数据后送到显示. 如果没有收到回复则直接回到显示程序. 当没有按键按下的时候也要回到显示程序.

3.1 油泵驱动部分设计

对于油泵速度调节,系统采用 STM32 内部自带的 DA 模块. STM32 内置 DAC 是 12 位数字输入,转化为模拟电压量输出,为了达到更高的精度,选取配置 DAC 为 12 位模式. 通过 DAC 输出 0 ~ 3.3 V 之间任意电压值,经过放大到 0 ~ 5 V 后进行输入到油泵的速度控制端,通过控制电压的不同来实现转速分档.

3.2 串口通信部分设计

STM32 有 USART_CR1 ~ 3 三个串口控制寄存器,USART_CR1 是最常用的,其中 RXNEIE 为接受缓冲区非空中断使能. 系统采用串口中断法进行串口通信. 首先在程序中启用 USART 中断功能,当数据接收完之后,USART_CR1 寄存器中的 RXNEIE 置为 ‘1’,然后产生中断,可以在中断函数中将数据读出,然后清除中断标志. 串口中断法的优点在于摆脱了对 CPU 的实时依赖,当数据接收完毕之后,自动进入中断函数,然后 CPU 去执行数据处理,通过中断法,大大提高了 CPU 的执行速率. 同时串口中断法大大降低了 CPU 的占用率,各个串口按照中断优先级协调工作,数据有条不紊地进行接收处理显示.

传感器接收到一次指令后都会输出一串数据量很大的数据,如何快速接收并且不遗漏数据是一个

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

需要解决的关键问题,针对数据量大的问题,选择在内存中开辟两块容量为 300 的临时缓存区,当有数据传来时,先进行存储,当存储完了之后再进行数据处理,这样便避免了数据丢失的问题.

本系统可以显示的最大颗粒数为 8 000 000 个/100 ml,然而常用的数据类型无符号整型一个变量为 16 位,数值范围只是 0 ~ 65 536,根本不可能满足本设计的数据处理及显示要求,鉴于数据量之大,固选用无符号长整型变量,其数值范围是 0 ~ 2^32,完全可以满足设计的需求. 在传送 32 位数据的问题上,采用先传送高位数据的原则,先传送最高的 8 位数据,然后传送次高位的 8 位数据,然后传送再次高位的 8 位数据,最后传送剩余 8 位数据. 为了方便数据移位处理,先建立 4 个临时缓存区,分别存储这 32 位数据. 这样便实现了一个 32 位数据通过串口传输的目的.

4　实验测量

应用本系统对实际生活中的多个油液环境进行了测量,获取了多组实验数据,表 2 列出了其中两组实验数据.

通过比对,实验结果均与实际情况相吻合. 在实验测量中,通过系统内部计算,可在显示屏上直接获取有用信息,更加明确地展示出本系统的优越性和方法的应用价值.

表 2　两组实验数据

实验数据	I(某废弃油液)	II(某原油)
温度(℃)	25	25
含水率(%)	2	0. 5
4 μm 颗粒含量(个/100 ml)	756 550	3 121
6 μm 颗粒含量(个/100 ml)	311 201	1 122
14 μm 颗粒含量(个/100 ml)	45 120	200
21 μm 颗粒含量(个/100 ml)	8 454	33
SAE 等级	10	2

5　结束语

本文设计的油液颗粒污染度检测系统可实现对直径为 4、6、14、21 μm 的颗粒含量测量,同时可以实时显示 ISO、GJB、SAE 等三个国际统一标准等级. 此外本系统实现了便携式的在线检测,打破了传统离线测量的拘束,易于推广. 在实际测试中本系统具有良好的数据稳定性,传感器与单片机的通信稳定可靠,最终经过处理分析后的数据与实际值相差不大. 本系统的不足在于对油泵流量的控制上不够精确,只是通过 DA 粗略地控制油泵的转速,而没有具体的计量,对传感器数据的测量造成一些影响. 当测试完成后,只能粗略地通过油泵进行排油,缺少清洗管道,对于排油问题有待继续改造.

参　考　文　献

[1] 向亚玲. 润滑油中抗氧剂含量检测的伏安法及其应用研究 [D]. 武汉: 武汉材料保护研究所, 2016.

[2] 雷宏伟, 李淼鑫. 护"心"甘油 多款高性能润滑油推荐 [J]. 汽车之友, 2017(8) : 102 – 107.

[3] 张国维. 润滑油油质变化的危害及预防措施 [J]. 科技创新与应用, 2017(12) : 158.

[4] 曾安, 贺石中. 油液监测工作中取样技术的概述 [J]. 润滑与密封(增刊) ,2006: 35 – 38.

[5] 粟斌, 苏海丁. 两种在用发动机油氧化衰变情况监控方法对比分析 [J]. 润滑油, 2007, 22(3) : 52 – 55.

[6] 王华, 石山. 航空发动机磨损故障检测技术 [J]. 中国机械, 2015(3) : 13 – 14.

[7] 黄廷磊, 李敏, 郑刚,等. 光学式颗粒计数传感器的理论研究 [J]. 桂林电子工业学院学报, 2003, 23(1) : 14 – 16.

[8] Vargas L F, Mansfield M L, Douglas J F. Universal interrelation between measures of particle and polymer size [J]. Journal of Chemical Physics, 2017, 147(1) : 014903.

[9] Peuchot C. 关于自动消光颗粒计数器的校准 [C] // 上海: 中美国际过滤与分离技术研讨会,2009.

[10] 龚小龙, 田洪祥, 孙云岭,等. 遮光法颗粒计数器测量结果的影响因素研究 [J]. 润滑与密封, 2016, 41(8) : 133 – 135.

[11] 何丽君, 王道波. 转台控制系统中多串口通信的实现 [J]. 计算机仿真, 2005, 22(8) : 230 – 233.

[12] 李晓丹. 基于 STM32 的物联网嵌入式网关的设计 [J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(4) : 61 – 65.

[13] 张旭, 亓学广, 李世光,等. 基于 STM32 电力数据采集系统的设计 [J]. 电子测量技术,2010,33(11) : 90 – 93.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[14] 王铁流,李宗方,陈东升. 基于 STM32 的 USB 数据采集模块的设计与实现[J]. 测控技术,2009,28(8):37-40.
[15] Zhang X J,Li Z X. Low voltage redundant power schemes[J]. Microcontrollers & Embedded Systems,2009(11):8-11.

Design on Oil Contamination Detection System Based on STM32

Han Ruixin[1] Jiang Zekun[1] Wei Kun[2] Yin Wenjie[1] Zhang Chuanhao[1] Wei Dongmei[1]

(1. School of Physics and Electronics, Shandong Normal University, Jinan Shandong 250014;
2. Henan Provincial Fangcheng Electromechanical Information Medium Occupation School, Nanyang Henan 473200)

Abstract

Qualified lubricating oil can maintain the machinery, but the increase of the impurity particles in the lubricating oil aggravated the friction between the mechanical equipment surface and the machine was damaged. Therefore, the lubricating oil quality testing was more and more important to safe production. This paper studied the particle sensor principle and the working principle of STM32. Based on STM32 as the core controller, using particle counting method, this design built a set of oil contamination on-line detecting system. The system had a touch screen, friendly and simple human-computer interaction interface. It can measure the particle content, moisture content, oil temperature and oil quality with a diameter of 4,6,14 and 21 μm.

Key words: oil detection, particle counting method, embedded system, power module, serial communication.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net