

# 万箱船柴油发电机模拟控制面板智能化设计

刘泊江, 张均东, 李燕彪, 黄晓松, 吴冬

(大连海事大学, 轮机工程学院, 辽宁 大连 116026)

**摘要:** 针对目前轮机模拟器使用的万箱船柴油发电机控制系统的仿真设计落后于当前先进控制系统的问题, 提出了一种以 H32/40 系列柴油发电机的 YECS-1000 控制系统为母型的柴油发电机模拟控制系统; 介绍了柴油发电机模拟器的整体结构, 设计了以 ARM 为主控元件的仿真控制箱, 实现了网络通信、LED 灯和 LED 数码管显示、按键扫描等功能; 采用 Visual C# 编程语言在 PC 机上设计出仿真控制界面; 实验结果表明: 基于 YECS-1000 为母型控制系统的柴油发电机模拟器具有参数显示直观准确、功能全、运行稳定、和实物相似度高的优点, 能够实现轮机教学实验和船员培训的功能。

**关键词:** 柴油发电机; 仿真; 嵌入式; 以太网

## Diesel Generator Engine Simulator Control Panel Design for Ten Thousands Containers Ship

Liu Bojiang, Zhang Jundong, Li Yanbiao, Huang Xiaosong, Wu Dong

(College of Marine Engineering, Dalian Maritime University, Dalian Liaoning 116026, China)

**Abstract:** In order to solve the problem that the marine simulators design of diesel generator simulator control system is behind the current advanced control system, put forward a kind of diesel generator simulator control system simulation design which based on YECS-1000 of H32/40 series control system. Introduced the overall structure of the diesel generator simulator, designed a simulation control box with ARM as the master components, realized the network communication, LED display, button scanning, etc. Using Visual C# programming language designed an interface on PC. The experimental results show that the oil purifier simulator based on YECS-1000 has the advantages of full-featured, stable operation and exactly similar with prototype. It can be achieved turbines teaching experiments and training of seafarers function.

**Keywords:** diesel generator simulator; simulation; embedded; ethernet

### 0 引言

随着越来越多的嵌入式技术在船舶中应用, 船舶自动化的程度得到了极大的提高。有数据表明在船舶事故发生的各因素中, 人为因素占 80% 以上, 船舶航行安全很大程度上依赖于轮机管理人员的经验和能力<sup>[1]</sup>。因此, 对船员进行岗前培训, 提高轮机管理人员的能力对于船舶安全航行有着重要的意义。由于船舶的特殊性, 在实船上培训具有风险高, 培训费用高, 花费时间长的缺点。实物仿真的船舶轮机模拟器可以提供给学员良好的学习环境和较高的机舱环境沉浸感, 使用轮机模拟器进行船员的培训已经成为一种趋势。我国轮机模拟器研制以大连海事大学的 DMS 系列最具有代表性, 然而 DMS-2016 系列的柴油发电机模拟器依然是以早期柴油发电机的控制系统为母型控制系统, 这已经落后于实船上先进的控制系统。因此设计了以 H32/40 柴油发电机 YECS-1000 为母型控制系统的柴油发电机模拟控制器, 该控制箱由运行单元、温度压力监视单元和废气温度监视单元。

当前柴油发电机模拟器的控制面板设计大多采用 PLC 或

者 51 单片机, 前者虽然可靠性高, 但是价格高、体积大; 后者价格便宜、可靠性也高, 但是片上资源有限, 不能完成较复杂的处理任务, 处理速度也比较慢。STM32 控制器具有 256 K 的片上 Flash 和 56 K 的片内 RAM 空间, 并且当外部晶振为 8 M 的情况下就可以达到 72 M 的运行速度, 运行速度快, 处理任务多。因此本设计以稳定性高、价格便宜的 STM32 芯片为 MCU, 配合键盘扫描芯片, 网络通信芯片、LED 数码管以及 EEPROM 存储芯片完成硬件设计。

### 1 模拟控制系统的总体设计

船舶柴油发电机模拟控制器是将实船上的柴油发电机系统通过实物仿真的方法设计出来的一套船员训练学习系统。整个控制系统的结构图如图 1 所示。

柴油发电机模拟控制面板就相当于船舶上的 YECS-1000 控制箱, MINIC 屏上画出了柴油发电机油、水、汽的管路图, PC 机上运行的柴油发电机模拟控制系统的软件模型。PC 机、模拟控制面板和 MINIC 屏三者通过交换机和以太网连接起来。模拟控制面板与实物的外形相似, 按键和仪表都与实物一一对应, 学员操作这样的模拟器就像是在操作实物一般。MINIC 屏上依据通用的柴油发电机燃油、滑油、水和蒸汽系统构建了控制柴油发电机油水汽通断的阀件以及设备, 比如加热器, 燃油供给泵。各个管路在 MINIC 屏上一目了然, 让学员很清楚的了解当前柴油发电机所处的状态。PC 机上用 C# 语言编写

收稿日期: 2016-07-02; 修回日期: 2016-07-28。

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(3132016316)。

作者简介: 刘泊江(1991-), 男, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要从事于轮机自动化方向研究。

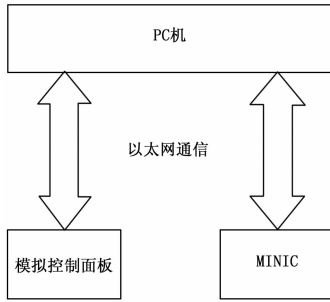


图 1 仿真系统结构图

了和实物相同的控制面板界面以及和 MINIC 屏相同的柴油发电机系统管路图界面。PC 机软件可以独立运行, 也可以和 MINIC 屏, 控制面板联合运行。

## 2 控制面板的硬件设计

柴油发电机模拟控制面板的硬件电路包括电源电路、网络通信电路、数码管显示电路、数据存储电路和键盘扫描电路。在硬件设计中选用 Cortex-M3 内核的 STM32F103RCT6 作为整个模拟面板的主控制器, 该芯片具有高性能、低成本、低功耗的特点, 他依托于 cortex-M3 内核, 有 256 Kb 的片上 Flash 和 48 Kb 的内部 RAM, 这极大地方便了嵌入式操作系统的移植, 使控制系统具有实时性。包含有 16 路 ADC 和两路 DAC, 三路 SPI 和两路 IIC 等丰富的外设, 驱动程序的编写非常方便。以太网通信芯片采用具有固化 TCP/IP 协议的 W5100 芯片, 键盘扫描芯片采用 ZLG7290, 存储器芯片选用 Atmel 公司的 AT24C02。

### 2.1 电源模块

为了和整个 DMS 系列轮机模拟器外接电源相统一, 本设计供电电源为 24 V 直流电, 24 V 直流电通过防反接二极管 M7 引入到 TI 公司的 LM2575-5.0 开关电源芯片上, 输出 5 V 直流电。在输入端选用一个 47  $\mu$ F 大电容滤出低频噪声, 选用 0.1  $\mu$ F 的陶瓷电容滤除高频噪声, 选择电容时要注意引脚一定要短; 在输出端接 5V 的稳压二极管, 和 330  $\mu$ H 的功率电感使电压稳定在 5 V, 输出端同样接一个大的电解电容和一个 0.1  $\mu$ F 的陶瓷电容滤出纹波, 使输出电源稳定。5 V 直流电可供 LCD2004 使用, 然而主控芯片 STM32 和网卡芯片工作电压都是 3.3 V, 因此将得到的 5 V 直流电通过 AMS1117-3.3 转换得到稳定的 3.3 V 直流电。电路连接如图 2 所示。

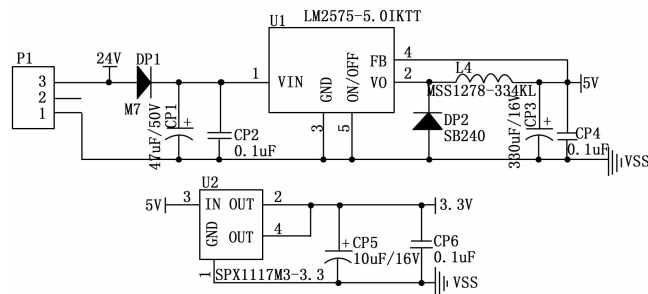


图 2 电源电路图

## 2.2 以太网通信设计

### 2.2.1 W5100 模块的设计

在线实时仿真系统必须满足控制作用对实时性的要求, 即信号传输足够快且满足信号的确定性, 对某些变量的数据要求准确及时刷新。工业以太网可以满足轮机系统仿真中的大量数据交互需求, 保证通信的确定性和实时性<sup>[2]</sup>。因此本设计中主控制器通过以太网和上位机进行数据交换, 将学员在硬件实物模拟器上的操作和在上位机软件上的操作结合起来。以太网通信芯片采用的是 WIZnet 公司生产的 W5100, 该集成电路内部集成有 10/100 M 以太网控制器, 并且集成了全硬件的、经过多年市场验证的 TCP/IP 协议栈、以太网介质传输层和物理层。使用 W5100 不需要考虑以太网的控制, 只需要进行简单的端口 (Socket) 编程<sup>[3]</sup>。W5100 提供 3 种与单片机的接口: 直接并行总线、间接并行总线和 SPI 总线。直接总线和间接总线借口都需要 8 位数据线和若干个地址线, 占用的 MCU IO 引脚较多, 本设计的主控制器需要驱动的外设较多, IO 资源紧张, 因此选用 SPI 总线接口。此种连接方法只需要 4 个引脚进行数据通信。这 4 个引脚分别定义为串行时钟 SCLK、从设备选择 SS、主设备输出从设备输入 MOSI、主设备输入从设备输出 MISO。此外还需一个 GPIO 作为 W5100 的硬件复位引脚, 配置一个外部中断来响应 W5100 的中断。使用 SPI 模式时需要在 W5100 的 SPI\_EN 管脚上接一个 10K 的电阻上拉至高电平。W5100 与主控 MCU 的连接如图 3 所示。

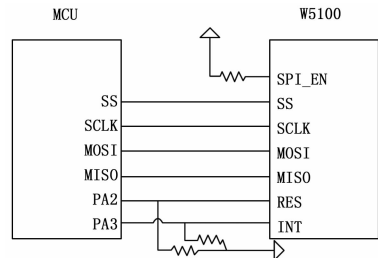


图 3 W5100 SPI 连接模式图

### 2.2.2 W5100 的软件程序设计

在 SPI 模式下, W5100 使用“完整 32 位数据流”。完整的 32 位数据流包括一个字节的操作码、2 个字节的地址码和 1 个字节的数据。W5100 使用两种操作代码——读代码 (0xf0) 和写代码 (0xf), 其他的操作都不响应。下面是读写 W5100 的程序。

```

向 W5100 指定地址写数据
void WRITE_W5100(u16 Addr,u8 Dat)
{
SPI_CS_L;//拉低片选电平选中 W5100。
SPI_ReadWriteByte(0xf0);
//向 W5100 发送写数据功能码。
SPI_ReadWriteByte(Addr/256);
//向 W5100 发送写入数据地址的高字节。
SPI_ReadWriteByte(Addr);
//向 W5100 发送写入数据地址的低字节。
SPI_ReadWriteByte(Dat);
//向 W5100 发送要写入的数据。
SPI_CS_H;

```

```
// 拉高片选电平,释放 W5100。
}
从 W5100 寄存器读取数据
u8 READ_W5100(u16 Addr)
{u8 dat;
SPI_CS_L;
// 拉低片选电平,选中 W5100。
SPI1_ReadWriteByte(0x0f);
// 向 W5100 发送读数据功能码。
SPI1_ReadWriteByte(Addr/256);
// 向 W5100 发送读取数据地址的高字节。
SPI1_ReadWriteByte(Addr);
// 向 W5100 发送读取数据地址的低字节。
dat = SPI1_ReadWriteByte(0x00);
// 发送哑读信号,读取值存放到 dat 中
SPI_CS_H;
// 拉高片选电平,释放 W5100。
return dat;
}
```

### 2.2.3 UDP 通信控制流程

在程序中,正常情况下只需执行一次 UDP 端口打开命令即可,然后通过中断通知处理器去执行网络数据的读取等工作,当需要发送数据时,处理器首先向 W5100 的发送缓冲区写入将要发送的数据,然后写入开始发送指令,W5100 即可自动的将数据发送到以太网上。

### 2.3 键盘扫描电路

因为控制面板的按键较多,因此设计时采用矩阵键盘模式,键盘扫描芯片采用周立功公司的 ZLG7290。该键盘扫描芯片可以外接 64 个按键,并有 8 个复用功能按键。当有按键按下时,ZLG7290 的中断引脚会拉低电平,将此引脚和 MCU 的中断引脚相连,配置 MCU 中断为低电平有效,ZLG7290 引脚拉低电平时,MCU 就会产生中断,捕获到按键动作。MCU 和 ZLG7290 通过 IIC 总线通信,当有按键按下时,键值将存在 ZLG7290 的一个寄存器中,MCU 通过 IIC 从 ZLG7290 读取键值来判断是哪个按键被按下。使用 ZLG7290 作为按键扫描芯片,MCU 不再需要循环检测按键状态,增强了控制系统实时性、可靠性,并节约了 CPU 资源。

## 3 面板功能展示

柴油发电机仿真模拟器的控制面板中, YECS-1000 是一个对于 H17/28, H21/32, H25/33, H32/40 柴油发电机集控制、监控的系统。它由监控箱和端子箱组成。监控箱由运行单元、温度和压力监控单元以及废气温度监控单元三部分组成。控制面板上包括 12 个按键、63 个指示灯、4 个四位红色数码管、4 个三位红色数码管和 12 个三位红色数码管组成。

面板左上边的按钮包括启动按钮和停止按钮,用于启动和停止柴油发电机。REMOTE、LOCAL、BLOCKING/RESET、LAMP TEST 用于集控室遥控启动和本地控制箱启动、机器的重启以及控制面板上面所有 LED 灯的检测。启动后对应的指示灯会亮,停止后对应指示灯熄灭。控制面板上面黄色的数码管表示的是各种参数的正常运行范围,红色数码管显示各种参数的实时状态值。当红色数码管中的值超过黄色数码管中的范

围时,就会有报警产生,报警按钮右上方的红灯会不停的闪烁,按下一次报警按钮确认报警,指示灯停止闪烁,当报警复位时,指示灯熄灭。右边的向上向下键用于数码管屏显示的翻页功能,返回键用于返回到上一层菜单。

## 4 系统软件设计

### 4.1 上位机软件设计

上位机软件采用 C# 编写,主要作用是柴油发电机的界面展示和模型的建立。船舶柴油发电机仿真设备设计的主要目的是为了让学员在一个舒适的环境中熟悉并掌握柴油发电机工作的原理和过程。这就要求要给学员提供友好的人机交互界面平台。上位机软件以育鲲轮柴油发电机系统和 YECS-1000 控制系统为母型进行仿真建模。界面包括控制箱、管路、阀件、泵、加热器、柴油发电机等设备。用不同颜色的线表示不同的管道,仿真界面直观、逼真。除了要设计友好的人机交互界面,还要对柴油发电机系统进行精准的数学建模。建立的数学模型要严格按照实际柴油发电机的工作情况进行,才能全面逼真地反应真实柴油发电机的工作原理<sup>[4]</sup>。柴油发电机系统模型的建立包括管道模型、加热器模型、水箱模型、柴油发电机本体模型、柴油发电机时序控制模型和故障监测报警模型<sup>[5]</sup>。

### 4.2 通信协议的设计

由于板卡需要通过网络与上位机或者其他节点通信,为准确实现功能,必要的通信协议是必不可少的<sup>[6]</sup>。本次设计以太网通信采用 UDP 通信协议,UDP 通信协议格式如图 4 所示。

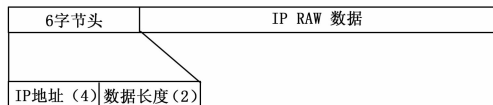


图 4 UDP 通信协议格式

在每个 UDP 数据报中,都包含 6 个字节的头部:4 字节的源 IP 地址和 2 字节的 IP RAW 数据的长度。用户真正发送或者需要的数据就在 IP RAW 数据中,为提高通信的可靠性,也为实现数据的功能,还要对 IP RAW 数据中的数据自定义具体的协议,设计的协议格式如下。

“帧起始 (0xFE) + 帧长度 + 功能码 + 数据 (N 个) + 抑或校验 (去除帧起始) + 帧结束 (0xFF)”

例如,要控制电路板上所有的 LED 灯全亮,则需要发送以下数据帧:

```
“0xFE 0x07 0x06 0xFF 0x01 0xFF 0xFF”
```

其中“0x07”表示该数据帧中有 7 个字节,“0x06”表示 LED 控制的功能码,“0xFF 0x01”表示 LED 全亮,倒数第二个“0xFF”表示“0x07 0x06 0xFF 0x01”的抑或校验值,最后一个“0xFF”表示帧结束。为了保证通信的可靠性,板卡在接收到数据后向发送方回传应答确认数据帧,

```
“fe 08 16 aa ff 01 4a ff”
```

## 5 实验结果与分析

### 5.1 实验结果

通过对整个装置的软硬件进行设计,程序编写完成编译通 (下转第 135 页)

选择软件载入方式和确定时间同步的时间间隔; 该软件还提供了显示方式设置, 偏差超限提示设定, 可以显示同步历史记录和错误信息。Dimension4 软件在使用中具有良好的稳定性。

## 5 B 装置 SIS 系统时钟同步设置

由于 DNTS-74 时间服务器仅提供了 4 个以太网口, 故并未对 B 装置 SIS 系统进行 GPS 网络授时设计, 采用其与 B 装置 DCS 系统 MODBUS 通讯完成系统间的时钟同步, 间接得到 DNTS-74 的 GPS 时间, 其方法如下:

在 CS3000 中可以通过 SFCSW 功能块取得系统时间, 其程序如下:

```
integer tmp
integer HH, MM, SS, YYYY, MMM, DD
tmp=1
repeat
getdate(YYYY, MMM, DD)
%. Y=YYYY
%. MM=MMM
%. D=DD
gettime(HH, MM, SS)
%. H=HH
%. M=MM
%. S=SS
%. set6=2000+%. Y
%. set7=%. MM*100+%. D
%. set8=%. H*100+%. M
%. set9=%. S*100
until (tmp==0)
```

通过 CALCU 功能块把 SFCSW 所取得的 4 个时间数据送

(上接第 132 页)

过后, 即可通过 J-LINK 工具将可执行文件下载到硬件板卡中调试运行。在 PC 上借助于 TCP&UDP 测试工具, 通过网线与板卡相连, 即可测试板卡的网络通信、按键检测、LED 显示等软硬件的正确性。通过长时间强度测试和大数据强度测试, 系统表现良好。

### 5.2 实验分析

在硬件方面, 本系统是在一般环境下测试的, 没有在极其恶劣的环境下检测。如果应用到实船上, 机舱周围高温、高噪声以及电磁环境较强的情况下工作, 势必会受到较大干扰。

在软件方面, 部分程序的设计较困难, 例如在对板卡接收的数据进行处理时, 使用了巧妙的算法对程序进行了优化。

在可靠性方面, 以太网采用超时重发机制, 单点的故障容易扩散<sup>[7]</sup>, 从而会造成整个测试系统的瘫痪, 所以在长时间运行后, 系统的稳定性还有待提高。

## 6 结论

柴油发电机模拟器以育鲲轮燃油柴油发电机系统和 H32/40 系列柴油发电机的 YECS-1000 控制系统为母型进行仿真设计。以 ARM 为主控制器对柴油发电机控制箱进行了实物仿真, 采用 C# 语言在 PC 机上对柴油发电机系统进行了精准的数学模型建立。使学员能够对船舶柴油发电机的自动控制系统既有感性的认识, 又能深刻的理解<sup>[8]</sup>。以 YECS-1000 控制系

到通讯地址为 49996—49999 (霍尼韦尔 SM 系统中默认的系统时间通讯地址) 的数据中, 即完成 SIS 时钟源的建立。

## 6 效果

通过项目的实施, 实现了两套化工装置多控制系统的时钟同步, 时间服务器工作稳定, 时间精度满足控制要求。同时, 项目的实施还有以下重要意义:

1) 便于事故原因的查找和分析。通过 SOE 记录可以明确事故发生的时序, 而各控制系统时间的统一, 有利于把 SIS 系统中事故发生的离散点在 DCS 和 CCS 系统中通过历史趋势图连续的展现出来, 从而更加清晰地还原事故发生时相关工艺条件的整体过程, 为事故原因的查找和分析提供可靠的数据支持。

2) 同一时间基准下的公用工程工艺单元的趋势记录、SOE 记录、操作记录等, 为分析工艺操作人员出现不适当的操作问题从而制订正确的操作规程提供有效的数据支持。

3) 采用时间服务器, 控制系统通过 SNTP 协议获得 GPS 时间来实现多控制系统的时钟同步的技术方案简单可靠且易实施。

### 参考文献:

- [1] 张国军, 温春林. 基于 SNTP 的多控制系统时钟同步方案的设计与应用 [J]. 仪器仪表标准化与计量, 2013, 2: 38-41.
- [2] DNTS-7 网络时间服务器说明书 [Z]. 北京: 北京中新创科技有限公司, 2011.
- [3] IM 33Q06H90-31E 4th Edition [M]. Tokyo: Yokogawa Electric Corporation, 2006.

统为母型的柴油发电机模拟器克服了当前柴油发电机模拟控制系统落后于实船的问题, 促进了轮机模拟器的发展。该仿真模拟器不但能够满足国际海事组织对船员培训的要求, 而且贴近实船操作, 培训环境比实船优越。以稳定性高、运行速度快、价格便宜的 ARM 微处理器作为主控元件的仿真控制箱, 与采用价格昂贵的 PLC 相比, 降低了柴油发电机仿真模拟器的成本。该仿真模拟器已经投入实际的生产使用中, 结果表明: 系统运行稳定, 可靠性高, 仿真数据准确。

### 参考文献:

- [1] 贾石柱, 曹 辉, 张均东, 等. 轮机模拟器及其关键技术 [J]. 中国航海, 2012 (1): 35-40.
- [2] 王荣莉, 雷 斌. 工业以太网技术的现状与发展 [J]. 自动化博览, 2004, 22 (4): 64-66.
- [3] 姜 乐. 船舶电站并车与保护单元的设计与实现 [D]. 大连: 大连海事大学, 2013.
- [4] 赵 昭. 基于 LPC2214 的电参数采集系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2008 (5): 58-59.
- [5] 徐华安, 程远楚. 基于 TCP/IP 的发电机运行参数在线监测装置 [J]. 武汉大学学报: 工学版, 2010 (5): 654-657.
- [6] 鲍军晖. 船舶柴油发电机控制的仿真系统设计与实现 [D]. 上海: 华东师范大学, 2010.
- [7] 陈长江, 李世臣. 船舶柴油发电机控制系统的仿真设计与实现 [J]. 船海工程, 2013, 29 (5): 29.