



信号联锁模拟系统设计

杨 城

(南京工业大学浦江学院 机电学院, 江苏 南京 211200)

摘 要:为增强信号教学过程中学生的参与度,研究了一种信号联锁模拟系统,通过单片机来模拟现场计算机联锁功能,接收上位机命令,控制现场设备。上位机软件使用 LabVIEW 设计,展示线路站场图,模拟运营现场控制台操作界面。底层联锁程序模块化编写并封装成库,实现联锁功能并开放给学生,有助于学生理解联锁。实验结果表明,该模拟系统不仅具有良好的演示效果,还能够激发学生的兴趣,提高学生参与程度。

关键词:计算机联锁;单片机;线路站场图

中图分类号: U284.3

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X (2023) 02-0116-05

DOI: 10.19899/j.cnki.42-1669/Z.2023.02.019

一、背景分析

轨道交通信号是轨道交通行业的关键技术之一,涉及列车运营的安全和效率,信号专业对人才培养的质量有一定要求,高校在培养人才方面应当向用人单位,按照“三懂三会”的目标,将学生培养成“懂设备结构,会使用”“懂设备性能,会维修”“懂设备原理,会排除故障”的专业型人才,传统的教学方式通过课堂图片、文字、视频来实现,但是涉及设备的工作原理和故障排除,尤其是涉及信号设备电路知识分析内容时,往往成为学生学习的难点。

肖立明设计的轨道交通继电器逻辑控制仿真实验箱,以 MCU 控制电路为核心,利用小型继电器及其他分立元件,能够对信号点灯电路进行模拟,从而可以通过模拟进站、通过、调车信号机的工作原理,

考核学生对点灯继电器组合电路原理的理解^[1]。

基于以上设计思路,设计一种联锁模拟系统,以单片机仿真联锁机,实现联锁功能,可用于教学演示和实训操作。

二、系统整体设计

模拟系统分为以下几个层次:操作监控层、联锁设备层、采集/驱动电路层、现场设备层。操作监控层为工控机,用来运行站场监控软件,展示线路站场图。联锁设备层采用单片机设计,通过 RS485 总线和上层相连,响应操作监控层发送的命令,反馈现场设备的状态,执行联锁运算。采集/驱动电路是联锁系统和现场设备的接口电路,用于驱动现场继电器吸起/落下,采集继电器接点闭合/断开状态。现场设备则主要包括信号机、转辙机、轨道电路及其继

收稿日期: 2022-05-20

基金项目 2020 年南京工业大学浦江学院校级自然科学研究课题“教学用铁路信号机模拟电路”(项目编号: njpi2020-1-16)。

作者简介: 杨城(1991—),男,江苏徐州人,南京工业大学浦江学院机电学院助教,研究方向:轨道交通计算机联锁系统。

电组合电路。结构图如图 1 所示^[2-4]。

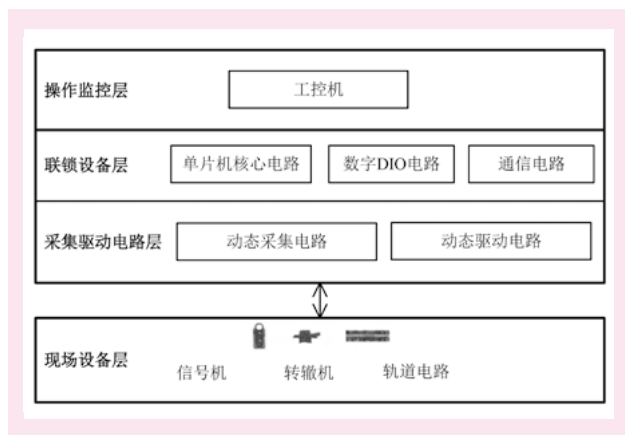


图 1 系统结构图

三、系统硬件设计

为了真实反映设备的工作原理,驱动电路和采集电路都采用动态方式来实现。动态方式采集和驱动更加真实地反映现场联锁机的工作原理,也能够突出“故障—安全”原则。

(一) 继电器动态驱动电路

动态驱动电路无论是用来驱动铁路继电器还是小型的电磁式继电器,其原理都是一致的,通过电容的充放电过程缓慢抬高继电器线圈两端电压,从而使得继电器吸起,单片机死机或者是瞬时的浪涌冲击,都不会干扰继电器,继电器保持原有状态,避免危险状态。图 2 为动态驱动电路的原理图。

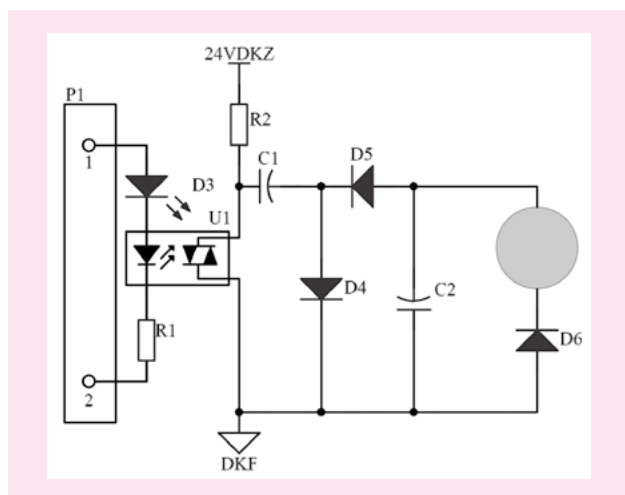


图 2 动态驱动电路原理图

电路以固态继电器作为隔离单片机电路和驱动电路的元件,单片机的输入信号通过接口 P1 输入给驱动电路,为了方便肉眼观察,设置了 LED 作为驱动信号指示灯,当输入方波信号时,指示灯 D3 闪烁,

提示输入有效。

脉冲方波信号控制固态继电器内部晶闸管通断,当晶闸管关断时,24V 驱动电源经过限流电阻 R2、电容 C1、二极管 D4 构成回路,给电容 C1 充电;当晶闸管导通时,电容 C1 利用晶闸管、电容 C3、二极管 D1 构成的回路开始给电容 C3 充电。电容 C3 在经历过多个充电周期之后,其两端电压慢慢抬高至继电器工作的阈值电压,继电器吸起。继电器 Relay 和二极管 D5 串联,利用二极管的单向导通性,模拟偏极型铁路继电器,保证继电器在电容 C1、二极管 D1 击穿的情况下不会错误吸起,从而满足“故障—安全”原则。

(二) 动态采集电路

动态采集电路用来检查继电器接点闭合 / 断开状态,图 3 是动态采集电路的原理图。

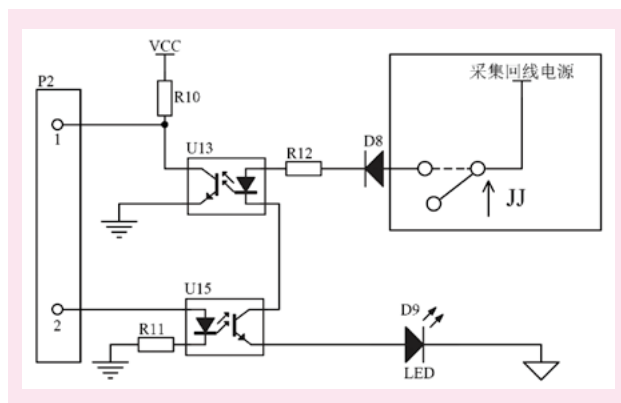


图 3 采集电路原理图

采集电路通过光耦将被采集的继电器接点 JJ 和单片机电路相隔离,电路中包含两个方向相反的光耦,光耦 U13 用于单片机读取采集信号,一端和继电器接点相连接,一端和单片机电路的采集引脚相连;光耦 U15 用于单片机方波的输出,与其相连的指示灯 D9,用来表示采集电路的工作状态。

当单片机开始采集该接点状态时,首先通过光耦 U15 输出一个固定周期的脉冲信号,方波脉冲控制光耦 U15 的光敏三极管的开通 / 截止,从而控制光耦 U13 的输入端电路的开通 / 截止。当继电器接点闭合,采集回线上的电源利用两个光耦芯片、限流电阻 R12、二极管 D8 和指示灯 D9 构成一个完整回路,从而在光耦 U13 的输出端上输出一个稳定的方波信号,供单片机采集,单片机对信号的相位、频率、持续时间进行检查,方可判断相应接点闭合。当继电器接点断开时,由于采集回线电源无法构成闭合回路,光耦 U13 输出端电平被拉高,单片机可判定继

电器接点断开。

(三) 联锁结合电路

结合电路是采集 / 驱动电路和现场设备之间的接口电路,具体包括转辙机的结合电路、信号机的结合电路及轨道电路的结合电路。电动转辙机采用的型号是 S700K,室内设备主要包括表示继电器 FBJ

和 DBJ,动作电路 DCJ、FCJ、1DQJ、2DQJ 等继电器。通过驱动继电器 DCJ/FCJ,即可控制道岔定操 / 反操,采集 FBJ/DBJ 状态即可得到道岔的位置信息。

信号点灯电路以三灯位信号机点灯电路为例,能够用来演示信号机关闭信号、开放信号、开放引导信号等功能,图 4 为信号机点灯电路原理图。

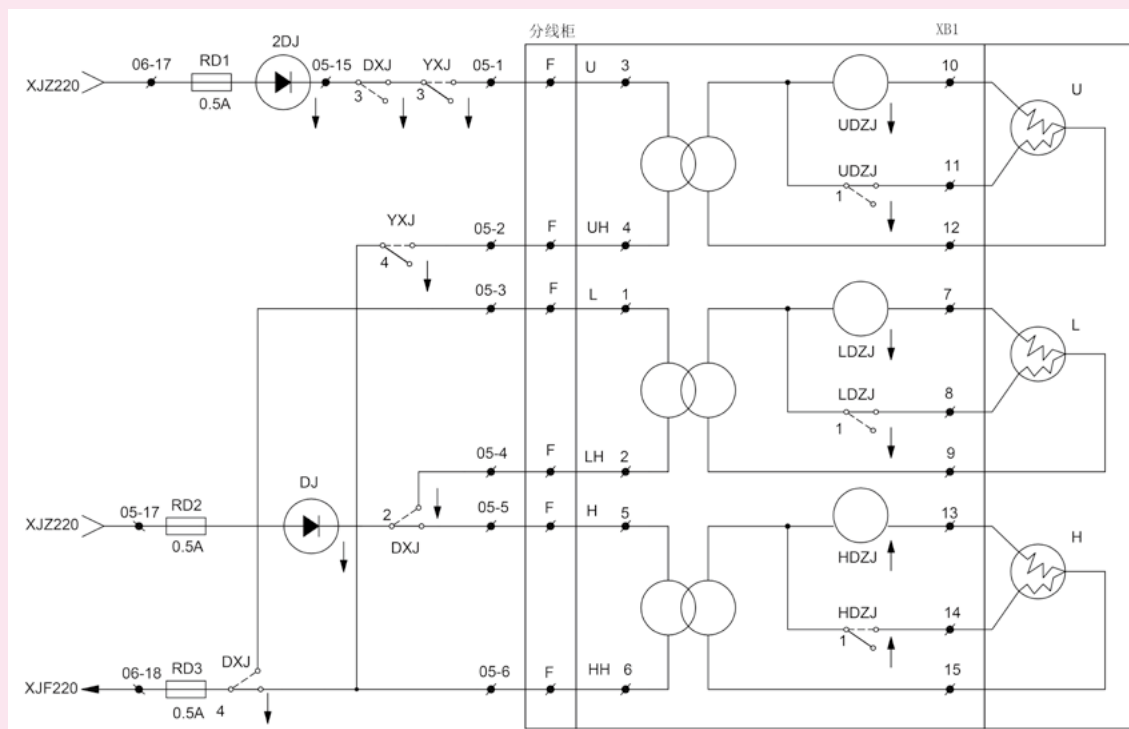


图 4 信号机点灯电路原理图

驱动调车信号继电器 DXJ,可控制信号机开放 / 关闭信号,通过驱动引导信号继电器 YXJ,可开放引导信号,通过采集灯丝继电器 DJ、2DJ 状态,即可检查信号机显示状态,控制其他类型信号电路的原理与之类似。

轨道电路使用的是 50Hz 相敏轨道电路,用来演示轨道电路检测列车占用的功能,构成联锁关系,联锁系统检查轨道继电器 GJ 接点状态,检查轨道电路的占用 / 空闲状态。

总结以上结合电路,联锁系统的结合电路可以归结为图 5 所示电路。驱动组匣用来驱动相关继电器,继电器选型为 JPXC-1000。分线柜用来连接采集接点,方便统一配线^[5]。

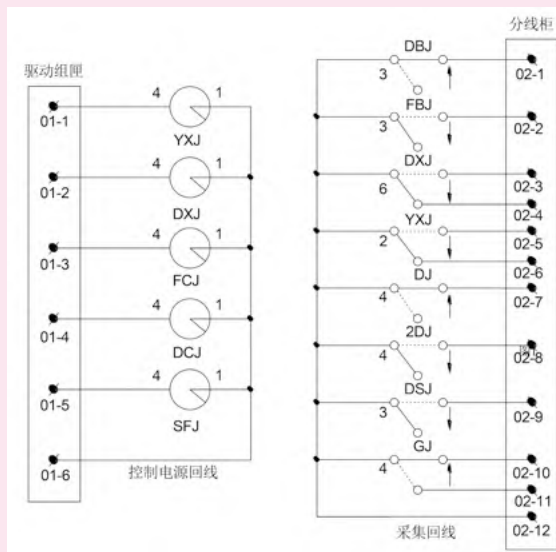


图 5 联锁系统结合电路

四、软件设计

软件设计一方面要满足系统演示的功能,另一方面,为满足实训要求,底层驱动程序以及一些关系安全的关键联锁程序封装成库,可供学生调用,实现联锁机功能,所以软件分层设计,图6为系统软件结构图。

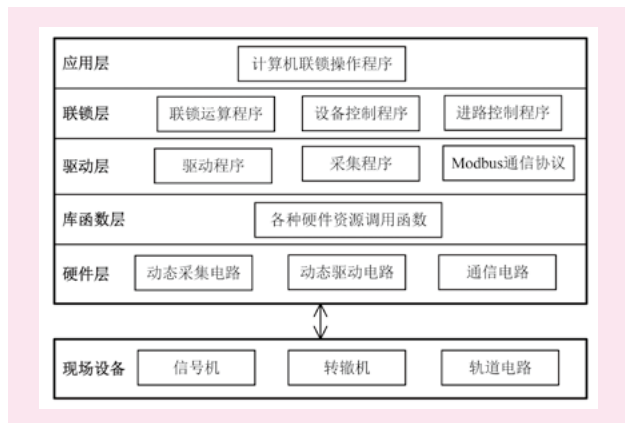


图6 联锁系统软件结构图

最顶层为应用层,运行在工控机上,其余层运行在单片机上。计算机和单片机之间通过带隔离的RS485连接,两层硬件之间的通信基于Modbus标准协议。应用层计算机联锁操作程序是整个系统的人机对话接口,模拟联锁系统操作控制台,可用来显示线路图、信号设备,下达操作人员命令给单片机。上位机采用LabVIEW软件设计,方便二次开发。图7为上位机操作软件界面使用的站场图。通过以下示例站场,可以演示以下功能:排列进路、操作信号机、道岔等功能^[6-8]。站场图内的设备可设置实物一一对应,考虑到成本,系统也允许部分设备虚拟存在,以结构体的形式存储在下位机的RAM上。

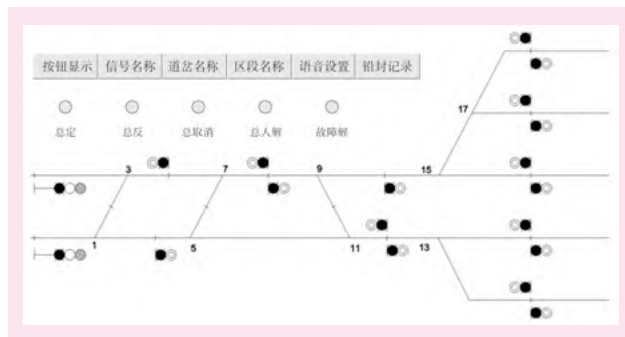


图7 上位机站场图

下位机使用的是STM32F103系列单片机,由于ST提供了库函数,所以在编程时,可直接调用相应硬件库函数来实现各个硬件子系统的驱动程序。图8a、b分别为继电器动态驱动和采集程序的流程图。

驱动和采集程序都利用基本定时器来产生动态方波,图8a为驱动函数,当上位机下达继电器驱动命令以后,单片机串口中断响应,并根据Modbus报文获取继电器的编号,置位驱动标志位。单片机开始输出方波驱动对应编号的继电器,5~8个周期之后,继电器稳定吸起,程序开始调用采集程序,利用继电器空闲接点,检查继电器此时状态,如果发现驱动命令和采集状态不一致则返回错误代码,如果一致,则继续检查驱动标志位,循环执行以上程序,保持继电器的稳定吸起,直到驱动标志位无效。

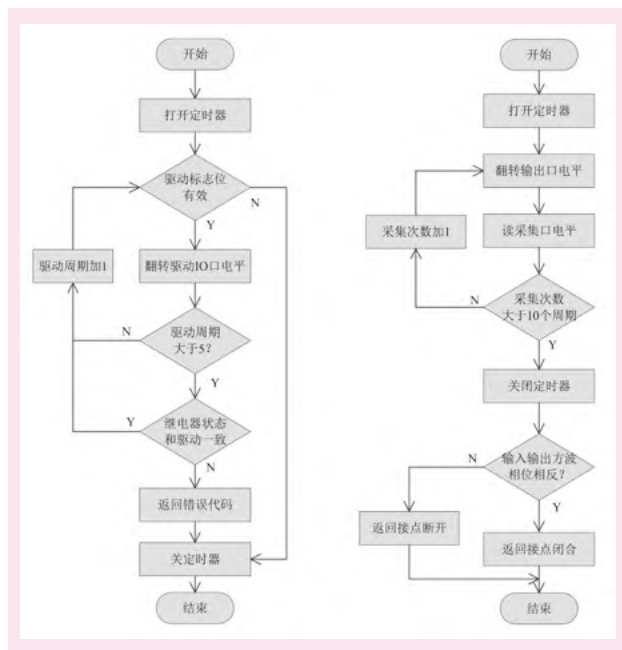


图8a 驱动程序流程图

图8b 采集程序流程图

图8b为采集函数,每个采集电路占用两个GPIO,一个用来输出方波,调理采集回线电源,另外一个采样继电器接点上反馈回来的方波信号。采集程序保存10个采集周期的方波状态,并和输出波形的相位做对比,相位相反则认定所采集继电器接点闭合,否则认为接点断开。

五、实物及演示

图9为系统外观图。联锁系统的上位机和下位机硬件安装在标准机柜当中,操作监控层工控机显示屏和主机安装在机柜的最上两层,方便人员操作,下面几层分别安装的是联锁系统电源、联锁机单片机及外围电路、采集电路和驱动电路。联锁系统硬件分层设计一方面是为了符合计算机系统故障分散原则,另一方面还原了现场设备的真实外观。图中除了联锁系统以外,还展示了转辙机、信号机及其继

电器等实物。

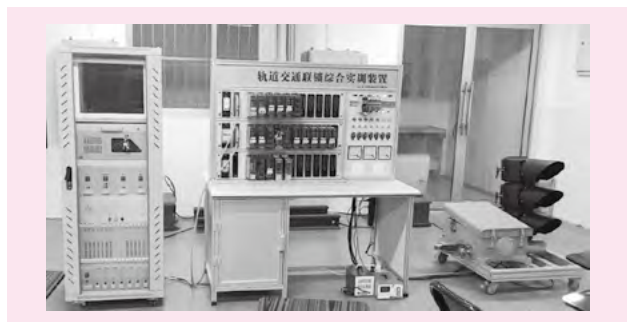


图9 联锁系统外观图

图10为联锁机驱动信号机开放引导信号的演示图,在信号机故障无法开放绿灯接车的情况下,允许开放引导信号接车,图中信号机显示黄绿色即代表引导信号,开放引导信号,联锁机驱动YXJ吸起,并检查YXJ的驱动状态,信号持续稳定开放,说明YXJ的驱动状态和采集状态一致,联锁机持续输出驱动方波,驱动电路和采集电路均可靠有效,能够实现教学演示功能。

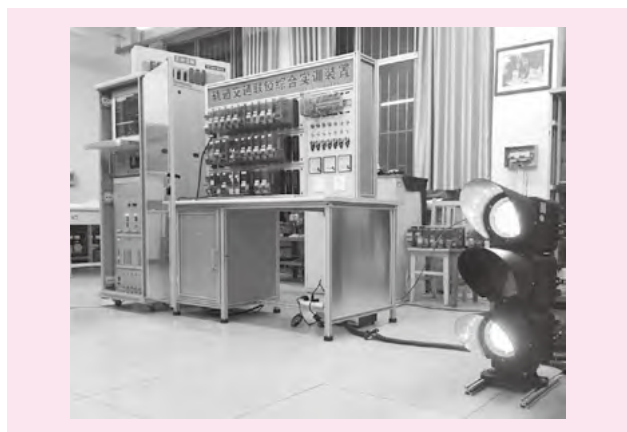


图10 引导信号开放演示图

六、结语

本文给出一种信号联锁教学设备的设计方案,系统分层设计由操作监控层、联锁设备层、采集/驱动电路层以及现场信号设备构成,考虑到成本和实用性问题,站场图上的部分设备可虚拟存在,因此系统的可裁剪性好,成本低。底层关键驱动程序已封装成库,学生可通过预留的编程接口修改非安全方面的功能和参数,以增强他们的参与度,提升课堂的教学效果。

参考文献:

- [1] 肖立明,张雯柏,李恒.轨道交通继电器逻辑控制仿真实验箱设计[J].铁道通信信号,2020(8):16-20.
- [2] 王丽,刘逸明,丁新魁,等.基于全电子联锁的车站现场联锁试验研究[J].中国铁路,2020(2):17-21.
- [3] 张萍,赵阳.TYJL-Ⅲ型计算机联锁系统研究[J].中国铁路,2013(11):21-26.
- [4] 何涛,范多旺,魏宗寿,等.铁路车站信号计算机联锁全电子执行单元研究[J].铁道学报,2007(2):118-121.
- [5] 赵颖,付伟,曹春雷.TYJL-ADX计算机联锁系统继电结合电路[J].铁道通信信号,2013(S1):85-87.
- [6] 张斌.基于LabVIEW的数据采集系统的设计[J].电气自动化,2020(1):115-118.
- [7] 黄鲁江.基于LabVIEW的计算机联锁仿真系统[J].铁道通信信号,2020(12):19-21.
- [8] 穆中华,李丽兰.客运专线计算机联锁仿真系统的开发[J].城市轨道交通研究,2012(1):75-79.

[责任编辑:刘 骋]

Design of Signal Interlocking Simulation System

Yang Cheng

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Pujiang Institute, Nanjing Tech University, Nanjing Jiangsu 211200 China)

Abstract: In order to enhance students' participation in the process of signal teaching, a signal interlocking simulation system is studied, which simulates the field computer interlocking function through single chip microcomputer, receives the upper computer command and controls the field equipment. The upper computer software is designed with LabVIEW to display the line station and simulate the console operation interface of the operation site. The underlying interlocking program is modularized and packaged into a library, which is open to students to realize the interlocking function, which is helpful for students to understand the interlocking. The practical results show that the simulation system not only has good demonstration effect, but also can stimulate students' interest and improve students' participation.

Key words: Computer interlocking; Single-Chip Microcomputer; Line station diagram