

基于串联谐振的智能吊篮安全绳锁扣检测系统设计

罗东岳, 李艳萍, 朱家君, 雒志恒
(山东建筑大学 信息与电气工程学院, 济南 250101)

摘要: 为了提高高处作业吊篮工作人员的施工安全性, 研究了一种智能吊篮的安全绳锁扣检测系统, 该系统能够精确测量锁扣是否处于闭合的状态; 系统采用了谐振电路和信号处理链的组合, 实现了对锁扣状态的高度监测和识别; 主控芯片产生的方波信号经过谐振电路谐振后, 最终输出目标正弦波; 经过滤波整流和电压放大电路对信号处理后, 信号被输送给比较器电路进行进一步分析, 比较器电路用于与预设的阈值进行比较, 以判断锁扣状态; 系统成功判断锁扣闭合状态并显示给施工人员, 准确实验结果对于提升高空作业领域的安全性和可控性具有深远的意义, 通过集成了多个关键模块的系统设计, 降低了锁扣未闭合造成的事故风险, 同时及时警示操作人员, 使工作场所更加安全可靠, 强调了电子信息技术在工程安全中的关键作用。

关键词: 串联谐振; 信号调制; 比较器; 安全绳锁扣; 智能吊篮; 整流滤波

Design of an Intelligent Hoist Safety Buckle Detection System Based on Series Resonance

LUO Dongyue, LI Yanping, ZHU Jiajun, LUO Zhiheng

(College of Information and Electrical Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

Abstract: In order to enhance the construction safety of hoist operators at heights, an intelligent safety rope lock detection system is studied. This system can accurately measure whether the lock is in a closed state. The system utilizes the combination of the resonant circuit and signal processing chain to achieve the precise monitoring and identification of the lock's status. The square wave signal generated by the main control chip is resonated through the resonant circuit, ultimately producing the desired sinusoidal wave output. After the signal is processed through the filtering, rectification, and voltage amplification circuits, the signal is transmitted to a comparative circuit for further analysis. The comparative circuit is used to compare the signal with a preset threshold in order to determine the lock's status. The system successfully detects the closed state of the lock and displays it to the construction personnel. It is of great significance for the accurate experimental results to improve the safety and control ability of high-altitude operations. By integrating multiple key modules in the system, it reduces the risk of accidents caused by unlocked locks, provides timely warnings to operators, makes the workplace more safer and reliable, and emphasizes the key role of electronic information technology in engineering safety.

Keywords: series resonance; signal modulation; comparator; safety buckle; intelligent hoist; rectification and filtering

0 引言

安全绳锁扣检测系统的研究背景主要源于对高空作业安全的关注和需求。高空作业涉及各种行业, 如建筑、维修、清洁和安装等, 工人在这些作业中面临着高风险和潜在的危险^[1]。

过去, 传统的吊篮安全装置主要依赖于人工操作和固定, 存在一定的安全隐患。因此, 研究人员和工程师开始着眼于开发更可靠、更安全的解决方案, 其中包括智能吊篮和相关的智能绳锁扣。通过对吊篮安全绳锁扣的设计和和功能进行改进和创新, 旨在提高工人在高空作业中的安全性^[2]。

安全绳锁扣研究在多个层面具有重要意义: 首先, 它

保障了高空作业中工人的生命安全, 减少了事故和伤害风险, 提高了工作效率。其次, 这一研究领域促进了技术的创新和应用, 不仅有助于高空作业的安全性和效率提升, 还有潜力在其他领域的安全设备中得到应用。另外, 安全绳锁扣研究为相关法规和标准的制定提供了科学依据, 有助于建立统一的行业标准, 进一步提升了整个高空作业行业的安全水平。综上所述, 安全绳锁扣研究对于高空作业的安全性、效率和技术水平提升具有关键性意义^[3-5]。

智能化锁扣的研究正在不断发展, 旨在通过融合传感器、控制系统和数据分析等技术, 使锁扣具备更智能、更自动化的功能和性能。以下是智能化锁扣研究的一些现状

收稿日期: 2023-09-06; 修回日期: 2023-10-07。

基金项目: 山东省科技型中小企业创新能力提升工程项目(2022TSGC1356)。

作者简介: 罗东岳(1998-), 男, 硕士研究生。

通讯作者: 李艳萍(1967-), 女, 硕士, 教授。

引用格式: 罗东岳, 李艳萍, 朱家君, 等. 基于串联谐振的智能吊篮安全绳锁扣检测系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(10): 32-38.

和趋势:

1) 传感器技术: 研究人员正在探索使用各种传感器技术来监测工人和吊篮的状态。例如, 加速度计和陀螺仪可以检测工人的姿势和动作, 压力传感器可以感知锁扣的受力情况, 距离传感器可以检测工人与吊篮的距离等。这些传感器可以提供实时数据, 为锁扣的安全控制和警报系统提供依据^[6]。

2) 控制系统和算法: 研究人员致力于开发智能的控制系统和算法, 用于对传感器数据进行实时分析和处理。通过智能控制系统, 锁扣可以实现自动化的安全控制, 例如检测工人异常状态并采取相应的措施, 自动调整锁扣的紧固力度等^[7]。

3) 无线通信和联网: 随着物联网技术的发展, 智能化锁扣可以与其他设备和系统进行无线通信和联网。这使得监控、管理和远程控制锁扣变得更加便捷。例如, 可以将锁扣的状态数据传输到云端进行分析和存储, 同时可以通过移动设备或电脑进行远程监控和操作。

4) 数据分析和预测: 研究人员还在探索如何利用大数据分析和机器学习技术来处理智能化锁扣收集的数据。通过分析大量数据, 可以识别出潜在的安全风险和异常情况, 并预测可能发生的问题。这有助于提前采取措施, 预防事故的发生。

总体而言, 智能化锁扣的研究目标是提高吊篮工人在高空作业中的安全性和工作效率。当前的研究侧重于传感器技术、控制系统、通信和数据分析等方面的创新, 以实现更智能、更可靠的锁扣系统。随着技术的不断进步和应用, 智能化锁扣有望在高空作业领域得到更广泛的应用和推广。

1 系统原理与机械结构建模

1.1 串联谐振

串联谐振回路是一种由电感器 (Inductor) 和电容器 (Capacitor) 串联连接而形成的电路。在该电路中, 电感器和电容器的电感和电容性质相互影响, 形成了特定的频率响应^[8]。其原理如下:

1) 电感性质: 电感器是一种储存电能的元件, 其特点是当电流通过电感器时, 产生磁场, 磁场变化又会产生感应电动势抵抗电流的变化。因此, 电感器对于频率较低的电流具有较低的阻抗 (阻碍电流通过)。

2) 电容性质: 电容器是一种储存电能的元件, 其特点是可以储存电荷。当电压施加在电容器上时, 电容器会存储电荷, 导致电容器两端产生电场。因此, 电容器对于频率较高的电流具有较低的阻抗 (允许电流通过)。

3) 谐振频率: 当电感器和电容器的阻抗大小相等时, 称为谐振频率。在串联谐振回路中, 谐振频率由以下公式给出:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

其中: f 是谐振频率, L 是电感器的电感值, C 是电容器的电容值, π 是圆周率 (约等于 3.141 59)。

4) 谐振现象: 当输入信号的频率等于谐振频率时, 电

感器和电容器的阻抗相等, 此时串联谐振回路的总阻抗最小。这种状态下, 电流最大, 电压相位与电流相位完全相同, 形成谐振现象。

5) 频率选择性: 串联谐振回路对谐振频率附近的信号有较强的频率选择性。谐振频率附近的信号通过回路时, 其电流会得到增强, 而其他频率的信号则会被回路阻碍。

串联谐振回路在电子电路设计中有广泛的应用, 包括滤波器、振荡器和天线等^[9]。它的谐振特性使得它对特定频率的信号有很好的响应, 因此在许多电路中起到重要的作用。

1.2 串联谐振应用

电感线圈在谐振状态下时, 其工作原理表现出一些特殊的电学性质。谐振是指线圈的电感和电容性质形成的振荡电路中的频率匹配, 这时电压输出最小, 电流达到最大值。这是因为线圈的电感和电容相互协同作用, 使电能在线圈内无损地来回振荡, 从而最大化了电流的流动。这种状态在某些应用中非常有用, 比如无线通信和射频电路中常用的天线设计^[10]。

然而, 当金属锁扣穿过线圈时, 线圈的电感量增大, 从而改变了振荡电路的频率特性, 使其不再处于谐振状态。这种情况下, 电压值减少, 因为电感和电容之间的协同作用不再优化。实际上, 金属锁扣的介入引起了电感线圈振荡电路的失谐, 导致了电压的下降。

这个现象在许多应用中都有重要意义, 例如金属检测器和无线充电设备中。通过控制金属物体与电感线圈之间的距离或位置, 可以有效地调整电感线圈的电感量, 从而实现对电路性能的精确控制^[11]。

本设计中电感线圈选用空心自粘线圈, 内径 20 mm, 外径 24 mm, 线径 0.2 mm, 厚度 10 mm, 480 圈, 电阻 16.8 Ω , 电感 4.1 mH。电容选用 2.2 μ F 独石电容, 代入串联谐振频率计算公式得 $f=1.67$ kHz 时的谐振频率。

1.3 安全绳锁扣机械结构建模

机械结构建模是研究中的关键步骤, 它在理解、分析和优化各种机械系统方面起着关键作用。通过明确定义问题、采用适当的建模方法、收集和处理数据、建立准确的机械结构模型, 并验证这些模型, 机械结构的性能可以得到全面评估。此外, 模型的分析结果不仅有助于解决问题, 还为未来工程设计和改进提供了有力支持。因此, 机械结构建模是推动工程学和科学研究不断前进的不可或缺的工具。

安全绳锁扣制作时应选用金属材料, 这使得它们具有坚固和耐用的特性, 能够承受重量和恶劣环境条件^[12]。锁扣环通常具备可靠的锁定机制, 确保一旦锁定, 绳子将牢固地保持在位, 防止意外松开或解锁。此外, 安全锁扣在符合国际与地区标准的同时还需要轻便和便携, 且易于维护。用 solid works 对锁扣机械结构建模分别如图 1 和图 2 所示, 将电感线圈缠绕在线圈架上, 电容与电阻焊接在下方托盘。上下板材料选用钢材, 以保证其坚固与耐用性^[13]。线圈架要满足电感线圈的电磁感应特性, 不能使用金属材料制作, 所以选用尼龙材料 3D 打印制作。尼龙耐高温、韧

性好、强度高。相比其他材料，尼龙具有高流动性、低静电、低吸水性、熔点适中及制品的高尺寸精度等优异的特性，耐疲劳性和韧性也可满足需要较高机械性能的工件，是工程塑料 3D 打印的理想材料。



图 1 安全锁扣上下板

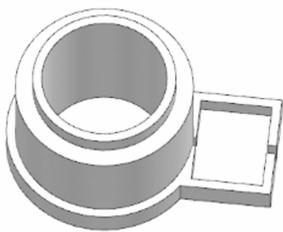


图 2 电感线圈架

2 系统硬件设计

2.1 主控芯片选择

STM32F103C8T6 是一款基于 ARM Cortex-M3 内核的微控制器芯片，具有强大的处理性能和丰富的外设接口。其低功耗设计延长了电池寿命，而大容量的 Flash 存储器和 RAM 满足了复杂应用的需求。STMicroelectronics 提供了丰富的开发工具和支持，使开发人员能够快速上手并进行开发。此外，STM32F103C8T6 在 STMicroelectronics STM32 系列中，拥有强大的生态系统和社区支持。综上所述，STM32F103C8T6 可以完美地解决本设计中的需求问题。

2.2 谐振电路设计

谐振电路是一种特殊的电路，用于增强电路对特定频率的响应。它基于共振现象，当外部信号的频率与电路的固有频率相匹配时，电路会表现出较大的振幅，而在其他频率下的响应相对较弱。串联谐振电路由电感器和电容器串联而成。在谐振频率下，电感器和电容器的阻抗相等，电路的总阻抗最小。这种电路在谐振频率附近具有较低的阻抗，对输入信号有较强的响应^[14-16]。串联谐振电路可以选择性地通过或拒绝特定频率的信号。串联谐振电路设计如图 3 所示。

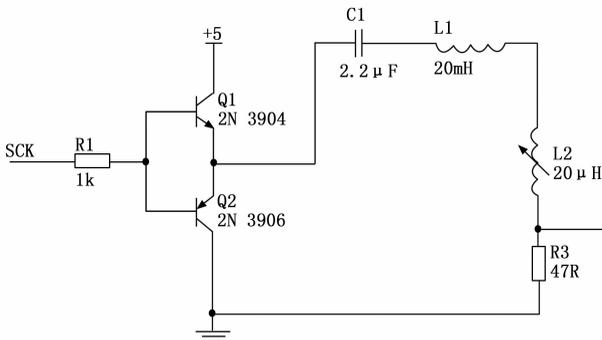


图 3 串联谐振电路

2.3 放大电路设计

LM324 作为一款经济实惠、低功耗、性能稳定的运算放大器，其具有广泛应用的优点^[17]。其低成本和良好的温

度稳定性使其适用于成本敏感的应用，并能在宽电压范围内工作，无论是单电源还是双电源供电均可胜任。LM324 常见于众多放大电路中，包括但不限于滤波器、比较器、振荡器和信号调理电路^[18]，这使得它适用于多种电子设备和系统。放大电路设计如图 4 所示。

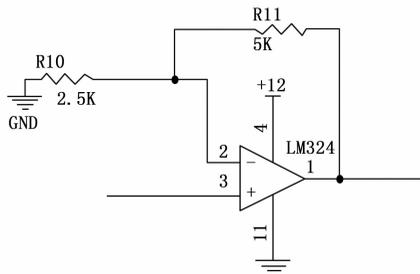


图 4 放大电路

2.4 比较器电路设计

使用 LM324 芯片搭建比较器电路，将放大器输出端信号送入比较器电路与所设阈值进行比较，当输入电压值大于阈值时，系统输出高电平信号，当输入电压值小于阈值时，系统输出低电平信号。比较器电路设计如图 5 所示。

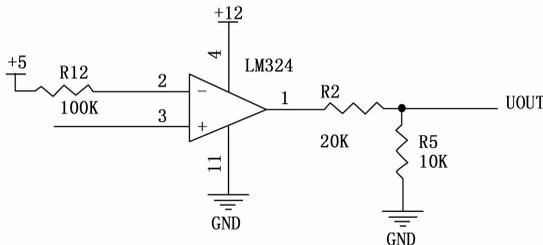


图 5 比较器电路

2.5 电源电路设计

LM117-5 电压稳压器凭借其卓越性能在电子领域备受青睐。其最大的优点之一是其出色的稳定性和精度，无论在何种温度和负载条件下，都能提供可靠的输出电压。此外，该电压稳压器具备可调性，通过外部电阻分压网络，可以轻松调整输出电压以满足各种电源需求。它还拥有低压差，这意味着即使输入电压略高于所需的输出电压，仍能正常工作，从而减少了功耗和热量产生。此外，LM117-5 还集成了过流和过热保护功能，能够在负载过大或工作温度超出安全范围时切断输出，确保电路不受损害^[19]。因此，LM117-5 电压稳压器被广泛应用于电子设备、通信系统、工业控制和实验室设备等多个领域，其出色的性能和可靠性使其成为众多电子设计中的首选解决方案。无论是在要求高稳定性的专业应用还是在广泛电源管理领域，LM117-5 都展现出卓越的性能和灵活性。电源电路设计如图 6 所示。

2.6 报警显示电路设计

TFT LCD 以其高分辨率、色彩鲜艳、广视角、快速响应时间、薄型设计和低功耗等特点，在电子设备领域得到广泛应用。其能够提供高质量的图像和视频显示，适用于手机、平板电脑、电视、监视器和各种便携式设备。此外，

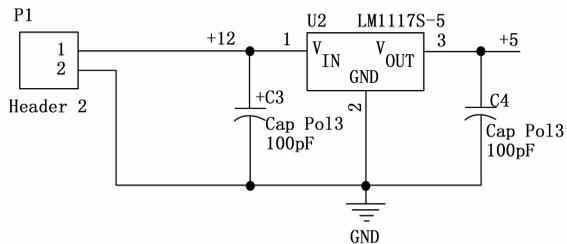


图 6 电源电路

TFT LCD 还具有可定制性, 可以适应各种应用需求, 包括触摸屏技术的整合, 提供更多的交互性和用户体验。通过深入分析 TFT LCD 技术的优势, 选用 TFT LCD 显示屏做显示电路。

将比较器电路输出信号输送给主控芯片, 当芯片判断出锁扣未闭合时, 发送报警指令给报警显示电路, 显示报警信息, 蜂鸣器发出警报声, 禁止工作进行。

3 系统软件设计

3.1 系统软件设计总体思路

智能吊篮安全绳锁扣检测系统的设计涵盖了多个关键程序, 其中包括系统初始化、方波信号发生、高电平信号接收、安全锁扣状态判断以及报警显示。这一智能系统的开发通过 Keil5 编程工具的应用, 旨在确保吊篮在工业作业中能够始终维持安全状态。在系统初始化阶段, 进行了硬件的初始化配置, 以确保各个组件能够正常协同工作。方波信号发生程序的作用在于生成一个特定频率和幅度的方波信号, 这一信号将用于后续的锁扣状态检测。高电平信号接收程序则负责监测吊篮的电气信号状态, 一旦检测到高电平信号, 系统将触发相应的中断或标志位, 为进一步的处理做好准备。随后, 安全锁扣状态判断程序介入, 通过监测锁扣的状态 (闭合或打开), 确定吊篮是否处于安全状态。若发现锁扣未闭合或出现其他异常情况, 系统将立即设置报警标志位。最后, 报警显示程序根据报警标志位的状态采取相应的行动, 可以点亮 LED 指示灯、发出声音警报或在 LCD 屏幕上显示警告信息, 以提醒操作人员采取必要的安全措施。这个系统不仅有助于确保吊篮在操作中保持安全, 还提高了工业作业的可控性和安全性, 为现代工程领域带来了重要的安全保障。软件结构原理如图 7 所示。

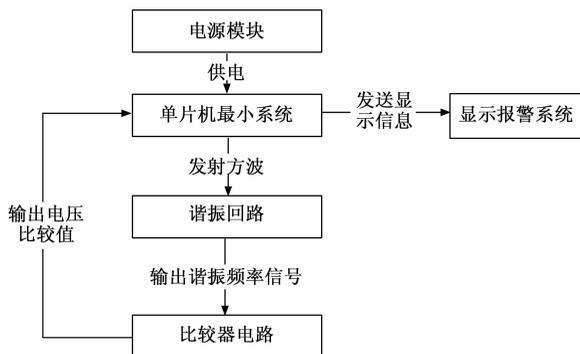


图 7 软件模块结构原理图

3.1.1 系统初始化

首先要系统初始化, 程序代码中的初始化过程是关键的, 因为它确保了变量和数据结构处于可控制的状态, 避免了未定义行为, 设置默认值, 提高了程序的稳定性和可维护性。此外, 初始化还有助于防止潜在的安全问题和数据泄露, 使代码更易于理解和维护, 是良好的编程实践。因此, 在编写程序时, 初始化是一个重要的步骤。

3.1.2 方波发生程序

使用 STM32 微控制器发射任意频率的 PWM 波形是一项常见任务, 通过初始化定时器、配置 PWM 参数、启动定时器以及生成 PWM 波形, 可以实现这一目标^[20]。这种功能广泛应用于嵌入式系统, 包括电机控制、LED 亮度调节、声音合成等多种应用。确保根据特定的 STM32 型号和开发环境来实现相应的配置和编程, 以满足特定应用的需求^[21]。

3.1.3 高电平信号接收程序

使用串口检测高低电平信号是一种常见的嵌入式系统任务, 通过初始化串口模块、配置 GPIO 引脚、接收数据以及处理和分析数据, 可以实现对电平信号的监测和相应操作。这种方法适用于数据通信、信号检测和自动化控制等多种应用场景, 确保根据具体的 MCU 型号和应用需求来进行相应的配置和编程。这样的实现提供了对电平信号的实时监测和处理, 有助于控制系统的运行和响应。

3.1.4 安全锁扣闭合判断程序

通过条件编译代码来实现锁扣闭合的判断, 条件编译是一种重要的编程技术, 它通过预处理器指令和条件定义允许程序员在不同的编译环境或情况下有选择地包含或排除代码块。这一技术可用于实现多平台支持、功能开关、调试和发布版本的生成, 从而增加了代码的灵活性和适应性。然而, 在使用条件编译时应谨慎, 以避免使代码复杂和难以维护。清晰的注释和良好的文档对于确保代码的可读性和可维护性至关重要。

3.1.5 报警显示程序

显示程序和报警程序是嵌入式系统中的两个核心任务。显示程序负责初始化和管理显示设备, 绘制用户界面, 处理用户输入, 以及不断更新显示内容, 提供可视化信息和交互性。报警程序则监测特定条件或事件, 检查触发条件, 触发报警操作, 记录事件, 并在需要时采取自动响应。这两个任务在嵌入式系统中平行运行, 确保系统在同时提供信息可视化和安全性方面达到最佳效果。

3.2 软件实现流程

吊篮安全绳锁扣检测系统软件实现流程如图 8 所示, 系统上电后, 首先进行系统初始化, 包括各个模块的硬件初始化和状态设置。接着, 单片机启动并发送设置好的固定谐振频率方波信号。这个谐振频率方波信号进入谐振电路, 触发了谐振现象, 其中电感和电容之间的相互作用使得电路在特定频率下振荡。在谐振状态下, 检测电路会检测系统输出电压的变化。在此刻, 主要的安全检测过程开始。如果安全绳锁扣未闭合, 检测电路将感知到电压的高

峰值,从而导致系统输出高电平信号。相反,如果锁扣闭合,电压值将稳定在较低水平,系统则输出低电平信号。主控芯片接收这一信号,通过 IO 口检测信号的高低电平状态,以判断锁扣是否闭合。根据这一判断结果,主控芯片会相应地触发报警显示电路,执行指示操作,比如点亮 LED、发出声音警报或者显示警告信息。这一流程图概括了整个吊篮安全绳锁扣检测系统的软件实现过程,确保在吊篮操作中持续监测锁扣状态,以提供必要的安全保障。

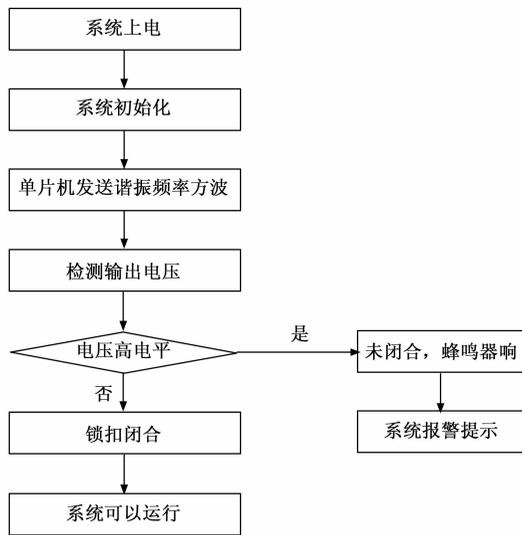


图 8 软件程序流程图

4 实验结果与分析

4.1 实验步骤和方法

在这项实验验证中,构建了一个如图 9 所示的实物电路,左侧是安全绳索挂钩,右侧则展示了组装电路的内部结构。实验的目的是通过模拟工人的操作过程来检测安全锁扣状态的变化,以此来提高工作场所的安全性。

在实验中,将挂钩从线圈架的中心穿过,这个过程模拟了实际工作中的动作。关键的安全性检测发生在锁扣闭合的瞬间,当安全锁扣通过线圈架时,线圈的电感量会显著增加。这个电感量的变化导致谐振回路输出电压信号发生变化,通过设计的放大电路放大后送给比较器,最终转换成高低电平信号输送给主控芯片,它们紧密连接到锁扣上,以实时监测电感的变化。

为了验证系统是否能够完成既定目标任务,采用了一种有效的方法,即将各回路节点的输出信号接入示波器,以显示波形和电压峰峰值等必要信息。这个过程包括以下要点:首先,将主控芯片输出的 PWM 波形输入示波器,这允许观察和分析主控芯片生成的脉冲宽度调制信号。这个信号通常在系统控制中起到关键作用,通过示波器的显示,可以确认其频率、占空比以及与其他信号的关联。其次,方波信号通过谐振回路后将生成正弦波。通过将这个正弦波输入示波器,可以观察到谐振现象的产生以及与输入方波的关系。这允许验证电路中的谐振是否按预期发生,以及相应的

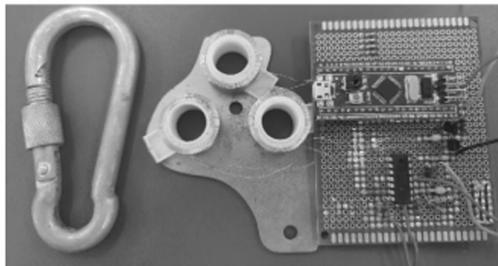


图 9 实物电路内部结构

频率和幅度特性。最重要的是,将锁扣闭合和未闭合状态下的不同波形进行对比。当锁扣未闭合时,期望看到特定的信号特征,而当锁扣闭合时,这些特征可能会发生显著变化。通过对这两种情况的波形进行分析,可以验证系统的功能是否正常,特别是在检测锁扣状态时是否准确。

通过示波器的帮助,操作人员能够可视化地分析各种信号,包括它们的波形、频率和幅度等参数。这不仅有助于验证实验结果的准确性,还能帮助发现潜在问题并进行必要的调整和改进。因此,示波器在验证吊篮安全绳锁扣检测系统性能方面发挥着关键作用。

4.2 实验数据

当单片机上电时,主控芯片的启动过程非常关键。根据要求,主控芯片会发出一个频率为 1.7 kHz、占空比为 50% 的 PWM 波形。示波器对这个波形进行检测。这个方波波形的特点是脉冲的高电平和低电平时间相等,占据了总周期的 50%。

主控芯片所产生的方波信号输入到谐振电路后,谐振电路的各个节点波形经过一系列变化,最终实现了目标正弦波的输出。这个过程在图 10 中得到了清晰的展示。方波信号进入谐振电路后,谐振电路开始产生振荡。在振荡过程中,电压信号的波形发生了变化,逐渐从方波过渡到正弦波。这个转变可以在谐振电路的不同节点上观察到,波形逐渐变得更加平滑和周期性。在谐振电路的输出节点,可以看到目标正弦波的波形。这个正弦波信号的频率、幅度和相位与输入的方波信号以及谐振电路的特性密切相关。通过合理设计谐振电路的参数,可以实现所需频率和幅度的正弦波输出。这个过程展示了谐振电路在将方波信号转化为正弦波信号方面的重要作用。

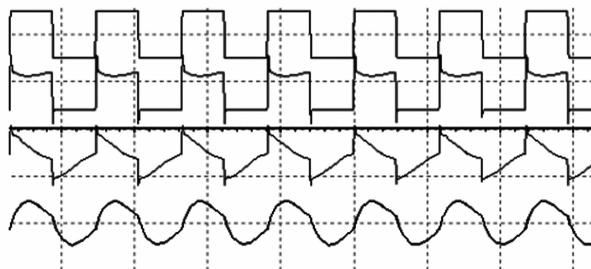
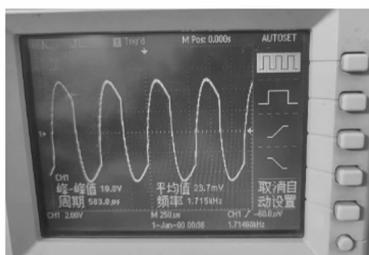


图 10 方波转正弦波

图 11 可以清晰地观察到锁扣未闭合时和锁扣闭合时谐振回路输出的波形。这些波形具有重要的特征, 有助于判断锁扣状态。当锁扣未闭合时如图 (a) 所示, 谐振回路输出波形显示峰峰值为 15 V 的振幅。这个峰峰值提供了明确的信息, 表明锁扣未完全闭合时, 电路的振幅较大。而当锁扣闭合时波形如图 (b) 所示, 谐振回路输出波形显示出峰峰值为 10 V 的振幅。与图 (a) 波形相对比, 图 (b) 波形峰峰值较小, 表明锁扣已经闭合, 导致电路的振幅减小。



(a) 锁扣未闭合



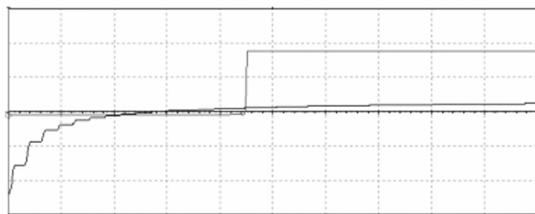
(b) 锁扣闭合

图 11 谐振回路输出波形

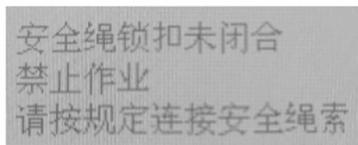
通过示波器检测这些波形, 可以明确判断锁扣状态, 峰峰值的变化是一个很好的指示标志。这种设计在吊篮安全绳锁扣检测系统中具有重要作用, 能够可靠地检测和识别锁扣状态, 从而确保吊篮操作的安全性。这些波形数据不仅有助于监测锁扣的状态, 还提供了可视化的信息, 可以帮助我对实验结果进行有效地判断。

在谐振回路输出波形经过滤波和整流处理后, 通常会得到一个更为稳定和纯净的信号。这个处理过程有助于去除可能存在的噪音和不必要的波动, 从而提高信号的可靠性和准确性。整流后的信号经放大电路放大后被输送给比较器电路进行进一步处理和分析。

如图 12 所示, 当锁扣未闭合时, 比较器的输入电压小于阈值, 因此比较器的输出信号为 -200 mV 的低电平信号。在系统上电的瞬间, 电压信号开始攀升, 当它超过阈值时, 比较器的输出信号迅速变为 3.7 V 的高电平信号。这个高电平信号被传送到连接的单片机最小系统, 单片机通过 I/O 口检测到高电平信号, 从而判断出安全绳锁扣未闭合。一旦检测到未闭合状态, 单片机将发送相应的命令给报警显示电路, 指示安全绳锁扣未正确闭合。报警显示电路根据接收到的命令, LCD 显示器显示锁扣未闭合状态, 如图 15 (b) 所示。此外, 蜂鸣器也会被触发, 发出报警声音, 以提醒操作人员及时采取必要的安全措施, 确保工作



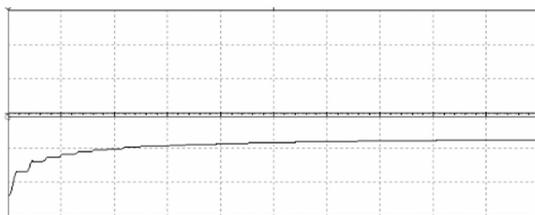
(a) 比较器输出波形



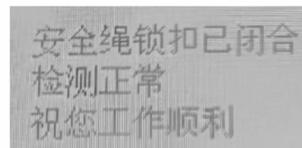
(b) 报警显示电路输出

图 12 锁扣未闭合时系统输出

场所的安全性和可控性。



(a) 比较器输出波形



(b) 报警显示电路输出

图 13 锁扣闭合时系统输出

如图 13 所示, 锁扣闭合时, 比较器输入电压攀升至最大, 仍未超过比较器所设阈值, 输出信号为 -200 mV 低电平不变, 将输出信号发送给单片机最小系统, 单片机通过 I/O 口低电平从而识别安全绳锁扣已经闭合。然后发送命令给报警显示电路, 显示锁扣闭合, 蜂鸣器不会发出报警声音。

4.3 结果分析

通过对实验波形数据的仔细分析, 可以清晰而确切地了解到, 这个系统在锁扣状态监测和报警方面表现出了出色的性能。当锁扣未闭合时, 系统能够敏锐地检测到这一状态, 并立即显示相应的未闭合状态信息, 并发出明显的警报, 以引起操作人员的警觉。与此同时, 当锁扣完全闭合时, 系统也做出了正确的判断, 不触发不必要的报警, 因为它精确地识别了锁扣已经安全闭合, 不需要额外的提醒。这个系统的设计实际上构建了一个智能化的监测和反馈机制, 通过整合了比较器、单片机以及报警显示电路的功能, 为吊篮安全绳锁扣提供了全方位的安全保障。其重要性不仅在于检测锁扣状态的准确性, 还在于其能够在发

生问题时快速做出反应, 确保操作人员的生命安全。

5 结束语

智能吊篮的安全绳锁扣检测系统无疑是一项具有巨大潜力的创新技术, 它实现了对锁扣闭合状态的高精度测量, 然而, 正如任何复杂系统一样, 仍有一些方面可以进一步改进。在系统上电初始化后, 需要经过四秒的时间, 电压从零电位逐渐攀升至稳定电位状态。如果初始状态下锁扣未闭合, 那么需要再等待四秒才能开始触发报警。这些延迟时间只在系统初始状态存在, 不会对系统安全性造成影响, 但未来的实验和改进工作还是可以考虑通过更改电阻和电容的值来缩短系统的响应时间, 以提高系统的实时性和响应速度。

这个系统的成功实验结果对于工业作业领域的安全性和可控性的提升具有深远的意义。它不仅有助于降低因安全绳锁扣未闭合而造成事故风险, 还在关键时刻发挥了及时警示的作用, 强调了技术在工程安全方面的关键作用。这种集成了多个关键模块的系统设计展示了先进技术的应用, 使工作场所变得更加安全可靠。随着不断地改进和创新, 这个系统有望成为工业安全领域的典范, 为各类作业提供更高水平的安全性和控制性。

参考文献:

- [1] 陈莹. 高空作业安全要求 [J]. 吉林劳动保护, 2016 (7): 42.
- [2] 邵明仕. 建筑施工现场高空作业安全防护方法 [J]. 新材料新装饰, 2022, 4 (17): 169-171.
- [3] 张硕. 基于物联网的智能吊篮综合监控系统 [D]. 济南: 山东建筑大学, 2023.
- [4] 王乐平. 高处作业吊篮安全智能监控系统关键技术研究 [J]. 河南城建学院学报, 2018, 27 (6): 45-49.
- [5] 杨屹. 高处作业吊篮安全锁智能测控系统的研制 [D]. 天津: 河北工业大学, 2011.
- [6] 王涛, 王铤. 基于数字传感器的高处作业吊篮安全测控系统的设计 [J]. 机械与电子, 2018, 36 (3): 45-48.
- [7] 孙佳, 金晓龙, 蔡亚洲, 等. 基于 HTTP 协议的建筑吊篮
- [8] 颜文旭, 沈锦飞, 惠晶, 等. 脉冲均匀调制功率控制串联谐振式逆变器 [J]. 电力电子技术, 2004, 38 (4): 43-45.
- [9] 郑文学, 杨理践, 李佳音, 等. 管道平衡电磁内检测技术串联谐振激励电路研究 [J]. 仪表技术与传感器, 2022 (1): 33-37.
- [10] 张海军, 邓斯达, 陈湛, 等. RLC 串联谐振电路的幅频特性研究 [J]. 物理实验, 2020, 40 (10): 17-21.
- [11] 殷建国. 单片机金属检测器系统研究 [J]. 现代电子技术, 2010, 33 (4): 183-186.
- [12] 朱建伦. 基于工业安全标准化控制技术研究 [J]. 中国化工贸易, 2018, 10 (23): 89.
- [13] 钱浩媛, 王楠, 闫凤, 等. 损耗电阻对 RLC 串联谐振电路品质因数的修正 [J]. 物理通报, 2022 (1): 95-97.
- [14] 丁可柯, 林宏, 陈蓉, 等. 基于柔性线圈的串联谐振电路实验设计 [J]. 物理实验, 2022, 42 (12): 22-27.
- [15] 饶俊峰, 汤鹏, 王永刚, 等. 基于谐振电路与脉冲变压器的高压脉冲源设计 [J]. 强激光与粒子束, 2022, 34 (4): 139-145.
- [16] 王玉清. 信号发生器输出幅度对 RLC 串联谐振电路特性的影响 [J]. 延安大学学报: 自然科学版, 2022, 41 (4): 108-111.
- [17] 张耀友, 陈亚林, 张奎, 等. 功率放大电路储能电容参数优化分析 [J]. 鱼雷技术, 2022, 30 (1): 109-114.
- [18] 刘保通, 赵庆平, 杨一军. 共射复合管放大电路高频响应的分析和仿真 [J]. 高师理科学刊, 2015 (10): 36-40.
- [19] 刘明鑫. 高效率开关电源的电路分析和设计 [D]. 广州: 华南理工大学, 2021.
- [20] ZHANG Y, MIN Z. Model-free predictive current control of a PWM rectifier based on space vector modulation under unbalanced and distorted grid conditions [J]. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 2022, 10 (2): 2319-2329.
- [21] HWANG D H, KIM Y J, BAE S W, et al. A study on voltage distribution in stator winding of low-voltage induction motor driven by IGBT PWM inverter [J]. Proceedings of the IEEE, 2022 (3): 3-9.
- [22] 马庆禄, 鲁佳萍, 唐小垚, 等. 改进 YOLOv5s 的公路隧道烟火检测方法 [J]. 浙江大学学报 (工学版), 2023, 57 (4): 784-794.
- [23] 陈小毛, 王立成, 张健, 等. 融合 YOLOv5 与 ASFF 算法的海产品目标检测算法研究 [J]. 无线电工程, 2023, 53 (4): 824-830.
- [24] 张银环. 基于 IA-Net 的人体行为识别方法 [J]. 国外电子测量技术, 2022, 41 (6): 52-59.
- [25] 聂茜茜, 肖斌, 毕秀丽, 等. 基于超像素级卷积神经网络的多聚焦图像融合算法 [J]. 电子与信息学报, 2021, 43 (4): 965-973.
- [26] 相晓嘉, 兰珍, 闫超, 等. 基于图表征和双重注意力机制的跨被试 ERP 检测 [J]. 计算机工程与应用, 2023, 59 (11): 160-167.
- [27] 孙红, 张玉香. 基于多特征门控反馈残差网络的超分辨率图像重建算法 [J]. 电子科技, 2023, 36 (4): 65-70.
- [28] 孙福临, 李振轩, 梁允泉, 等. 基于改进 YOLOv5 算法和边缘设备的电动车违规载人检测 [J]. 现代计算机, 2023, 29 (8): 1-11.
- [29] 蔡静, 张讚, 冉光金, 等. 基于改进 YOLOv5s 的火灾烟雾检测算法研究 [J]. 智能计算机与应用, 2023, 13 (5): 75-81.
- [30] 周彤彤, 彭月平, 郑璐, 等. 基于 YOLOv5s 的跌倒行为检测算法 [J]. 中国科技论文, 2023, 18 (7): 786-792.
- [31] 何明艳. 基于改进 YOLOv5 的跌倒行为检测研究及应用 [J]. 安徽建筑大学, 2023, 68 (3): 149-151.