

一种新型数字式金属探测仪的研制

Study on a new metal detector

黄 健

HUANG Jian

(西京学院, 陕西 西安 710123)

(XiJing University, Xi'an, Shaanxi 710123, China)

摘要:设计了一款金属探测仪器。采用新型数字电感传感器 LDC1000 和自制线圈作探头,基于电涡流原理,当有金属物靠近线圈时,由于互感,将会使得自制线圈与匹配电容构成的 LC 振荡电路的振荡频率发生变化,LDC1000 会将振荡频率转换为数字量输出,通过 SPI 接口送给 STM32 进行处理显示。当测量值超过阈值时,将会发出声光报警。自制线圈能够探测到直径为 0.6 mm 的细小金属物。可用于食品加工、安检等领域。引入蓝牙或无线通信,可用于物联网方面的安检工作。

关键词:金属探测;LDC1000;STM32;振荡电路

Abstract: A new metal detector was designed, using LDC1000 digital inductance sensor and self-made coil as the metal detection sensor, based on eddy current principle. When the metal near the coil, caused by the mutual inductance, the LC oscillation circuit's frequency changed, and the changed frequency could be converted to the digital output data. Furthermore, the data could be sent to STM32 for process and display, through the SPI interface. When the test value exceed threshold value, it could cause sound and light alarm. The test metal could detect 0.6 mm diameter of thin wire, and it might be used to food processing, security check and other fields. If equipped with Bluetooth and wireless communication, it might be used for the web of things security work.

Keywords: metal detection; LDC1000; STM32; oscillating circuit

在食品加工过程中,经常会有金属物混入原料中,影响产品的质量或者损坏设备,带来生产安全和食品安全隐患。为解决此类问题,需要引入金属探测仪器和设备。目前常用的金属检测方法有频率检测法和阻抗检测法,这 2 种方法均

以单线圈作为探头,还有基于平衡线圈的差分电压检测法。频率检测法通过检测频率的变化以达到检测金属的目的,阻抗检测法则是通过检测阻抗的变化来检测金属,差分电压检测法通过电压差来检测金属。文献[1~2]介绍了金属探测的基本原理及其在食品检测中的应用。文献[3]提出了基于跨导测量的金属探测方法。文献[4]提出了基于自适应直耦降噪的金属探测方法。以上检测金属的方法,大多数采用模拟电路,输出的是模拟信号。因此存在误差大、精度低等缺点。

为提高精度和可靠性,本试验提出一种数字式金属探测方法,采用 LDC1000 作为传感器,通过自制电感线圈实现对金属物的检测。基于电涡流原理,当有金属物体时,产生互感,引起频率的变化,将变化的频率通过计算,转换为数字量,高达 28 位。通过 SPI 总线送出,可方便地与微处理器连接进行处理。高达 28 位的数字量可实现对金属物的高分辨率、高精度检测,可广泛应用于食品加工、工业生产、安检等领域^[5]。

1 系统设计框图

系统设计框图见图 1。主控采用 STM32F103RBT6,该处理器共有 3 个硬件 SPI 接口、8 个定时器、3 个串口、144 个引脚,是基于 Cortex M3 的 32 位微处理器,功能强大,资源丰富。LDC1000 作为金属检测传感器,前端安装有自制线

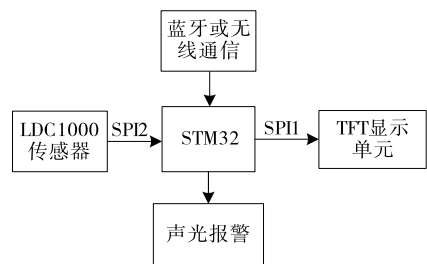


图 1 系统框图

Figure 1 System Diagram

基金项目:陕西省教育厅 2016 年度科学研究计划(编号:16JK2239);
西京学院教学改革研究项目(编号:JGYB1718)

作者简介:黄健(1973—),男,西京学院副教授,硕士。

E-mail:565200245@qq.com

收稿日期:2017-02-23

圈,检测到金属时,会输出一个 28 位二进制式数字量。通过硬件 SPI2 接口传递给 STM32 去处理,STM32 将处理后的数据通过硬件 SPI1 送给 TFT 真彩屏显示。可通过蓝牙或者无线模块将数据进行远距离传输,送给控制中心。当检测到的数值超过设定阈值时,发出声光报警。

2 硬件电路设计

2.1 LDC1000 传感器设计

LDC1000 原理图见图 2。为了提高数据采集和传输的速度,采用硬件 SPI 接口。图中 PB12、PB13、PB14、PB15 是 STM32F103RBT6 硬件 SPI2 接口。PB12 产生 SPI2 的片选信号 SPI2_NSS, PB13 产生 SPI2 的时钟信号 SPI2_SCK, PB14 产生 SPI2 的主入从出的数据传送信号 SPI2_MISO, PB15 产生 SPI2 的主出从入数据传送信号 SPI2_MOSI。以上 4 条信号线构成硬件 SPI2 的连接线,完成数据的读写操作。图 2 中 PC6 通过 STM32F103RBT6 的定时器产生 6 MHz 的方波,输入给 LDC1000 作为时钟信号,可使硬件 SPI2 的读写速率达到 4.5 MB/s;LDC1 为插座接口,连接自制电感线圈。

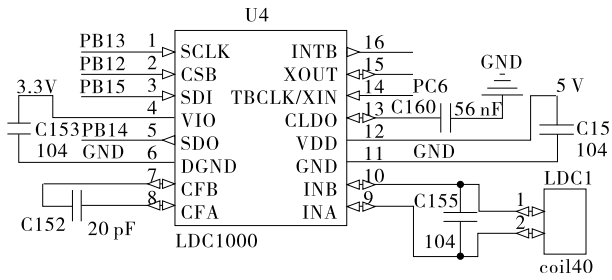


图 2 STM32 与 LDC1000 连接图

Figure 2 STM32 and LDC1000 connection diagram

自制线圈见图 3,此线圈是用 0.15 mm 的细铜丝绕制而成,直径达到了 4 cm。用万用表测量线圈的电感量,达到了 0.18 μH。给该电感配置一个 1.8 nF 的电容。当有金属物体靠近时,就会产生 LC 谐振。LC 的谐振频率通过式(1)计算。

$$F_{sen} = \frac{1}{3} \times \frac{F_{ex}}{F_{cnt}} \times RT, \quad (1)$$

式中:

F_{sen} ——LC 谐振频率,Hz;

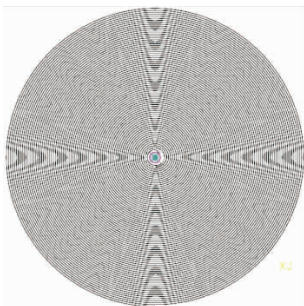


图 3 自制电感线圈

Figure 3 Self inductance coil

F_{ex} ——外部时钟基准频率,6 MHz;

F_{cnt} ——LDC1000 内部计数器值,Hz;

RT ——LDC1000 内部寄存器设置的响应时间,s。

对式(1)两边分别求倒数,并做适当变化,可得到式(2)。

$$\frac{RT}{F_{sen}} = \frac{3 \times F_{cnt}}{F_{ex}}, \quad (2)$$

式中:

$1/F_{sen}$ ——LC 谐振周期,s;

$1/F_{ex}$ ——基准时钟周期,s。

式(2)表明在 RT 个 LC 谐振周期内,使用 LDC1000 的 F_{cnt} 计数器记录基准时钟的个数来推算 LC 的谐振频率。

根据电涡流原理,要检测细小的金属,必须要产生足够大的涡流,就必须增大电感量 L 。在试验中,还可以将绕制线圈的直径加大,为了能够检测细小的金属,将线圈的直径绕制到 10 cm,电感量为 0.270 mH,与其匹配的电容的大小为 2.7 nF。

2.2 TFT 显示单元电路设计

TFT 显示单元采用 SPI 接口真彩屏,显示电路设计见图 4。

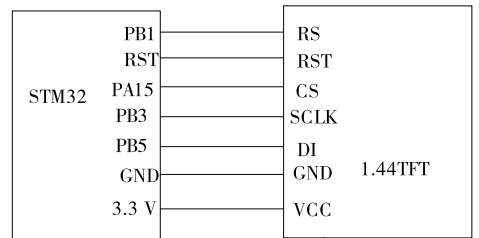


图 4 TFT 显示电路设计原理图

Figure 4 Schematic diagram of TFT display circuit

图 4 中采用硬件 SPI1 接口与 TFT 真彩屏相连。PA15、PB3、PB5 是 STM32F103RBT6 的硬件 SPI1 接口,对液晶屏的操作,只有写屏操作,没有读操作,所以只需要 3 根线。液晶屏的 SCLK 连接到 PB3(SPI1_SCLK),液晶屏的 DI 连接到 PB5(SPI2_MOSI),液晶屏的 CS 连接到 PB12(SPI2_NSS)。RST 为复位信号,GND 要共地,VCC 接 3.3 V^[6-8]。

2.3 蓝牙模块电路设计

为了能够实现数据的远距离传输,采用串口蓝牙模块进行无线通信,电路设计见图 5。采用 STM32F103RBT6 的串口 3,PC10 是串口的 TXD,即数据发送线;PC11 是串口的 RXD,即数据收线;多个蓝牙模块适合无线组网,通信的距离可以达到 10 m。

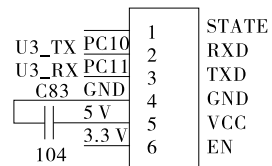


图 5 蓝牙通信电路设计

Figure 5 Bluetooth communication circuit design

3 软件设计

3.1 软件设计流程图

软件设计流程图见图 6。首先对 STM32 中的定时器、硬件 SPI 接口进行初始化。通过 SPI 总线,若读到 LDC1000 的 ID 号是 0X80,则说明 SPI 读写时序初始化成功。然后通过硬件 SPI2 接口循环采集 LDC1000 的金属探测值。为了使检测值稳定、可靠。共循环采集 100 次,进行冒泡排序,去掉最大值和最小值各 20 个,用剩下的 60 求均值,并将结果送给 TFT 屏显示。如果均值大于设定的阈值,则发出声光报警,说明已经检测到金属物;否则,继续采集。采集值还可通过蓝牙模块进行无线传输。

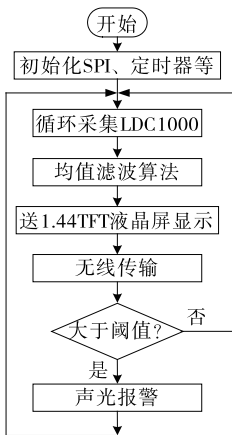


图 6 软件流程图

Figure 6 Software flow chart

3.2 SPI 读写时序

为了提高速度,对 SPI 的读写操作采用硬件方式。设计中 LDC1000 和液晶屏的读写均用到了 SPI 时序,以 LDC1000 为例,图 7 中给出了其读写时序^[9-11]。

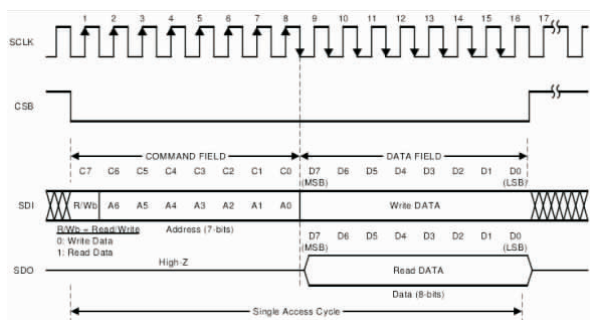


图 7 SPI 读写时序

Figure 7 SPI read and write timing

图 7 中,给出了 SPI 读写 1 个字节的时序图,LDC1000 进行读写操作时,首先发送读写地址,然后是数据。通过对 LDC1000 多个地址进行读操作,然后将数据组合而成 28 位数字量。

4 测试结果

测试时,装配调试好硬件电路,并编写和下载程序,测试

1 角、5 角、1 元硬币、细铁丝(直径 $d=0.6\text{ mm}$),得到数据见表 1。

由表 1 可知,随着距离的增大,STM32F103RBT6 读到的频率值明显增大。但是因材质和面积的不同,得到的值不同。当面积减小时,变化非常小,比如细铁丝,当超过 5 mm 时,基本上没有变化。

根据此规律,增大金属的面积或者体积,有效检测距离将会达到提升。当将金属物品换成铝块或者铁块时,有效检

表 1 不同金属与频率值之间对应关系

Table 1 Relation between different metals and frequency values

距离	硬币 1 元	硬币 0.1 元	硬币 0.5 元	细铁丝直径 0.6 mm
1	2 940	3 238	3 317	3 100
2	3 309	3 240	3 328	3 101
3	3 320	3 245	3 360	3 102
4	3 338	3 250	3 410	3 103
5	3 350	3 260	3 438	3 104
6	3 360	3 265	3 448	3 105
7	3 363	3 274	3 458	3 106
8	3 365	3 278	3 465	
9	3 367	3 280	3 470	
10	3 368	3 282	3 473	

测距离可达到 10 cm。此外,根据前面所述原理,增大电感量,即将线圈绕制的更大,检测的效果和距离也会进一步提高。

从测试数据中可以看到,该检测装置不仅能够检测较大的金属物体,而且可以检测到直径 $<1\text{ mm}$ 的金属物体。为了保证检测的准确性,在软件处理中采用了均值滤波算法,共采集 100 次,去除干扰较大的最大、最小值各 20 个,用剩余的 60 个取平均值。用软件滤波的方法保证采集的准确性。

另外,若检测到很小的金属物体参杂在食品中后,可控制电机驱动载有磁铁的机械臂移动到金属的附近进行吸附,以去除微小的金属物质。

5 总结

本研究采用 LDC1000 数字电感传感器设计的金属检测装置,可实现对金属物体的探测。采用自制线圈,绕制的线圈越大,电感量越大,金属检测的距离就越远。在实验室测试时,采用绕制的直径为 10 cm 的线圈,可将金属的有效探测距离提高到 10 cm,能够探测直径为 0.6 mm 的细小金属。可用于食品加工、工业生产、安检等领域,具有一定的实用价值。

(下转第 113 页)



图6 有女若兰包装

Figure 6 The package of "a graceful lady"

郁的吉祥文化的物化形态^[9]。这些有着“朴拙之美”的经济实惠的包装,在今天仍然有着旺盛的生命力。因为当前严重的环境问题使人们不得不重新审视人与自然的关系,重视生态和生态审美的问题,包装行业也不例外。包装设计开始流行自然本色,彰显生态、天然、健康、环保的理念,追求天人合一、自然天成的“朴拙之美”。真正融汇传统文化元素的现代包装设计作品“在选材、色彩、质感、外观、功能等方面既有鲜明的自然生态特点,又益于使用者在欣赏自然美的同时获得人文关怀”^[10]。当前仍然在使用的传统包装材料有荷叶包装、箬叶包裹粽子,竹木包装等,这些包装材料天然,既有人文内涵又有手工艺性;既有较强的自然生态属性又有生态审美的价值,从自然中来又用得自然,朴实的材质与简洁的设计手法,所呈现出的“朴拙之美”,在某种程度上极大地满足了现代人对自然的向往,对生态健康生活的需求。

3 结论

“朴拙之美”蕴含着中国传统哲学思想,是传统文化元素的审美形式和文化内容的关键点,也与西方现代设计提倡的“少即是多”的设计思想相一致。“朴拙之美”是与过去、现在、

未来都极为提倡的与自然和谐统一“天人合一”“道法自然”的设计思想相一致的审美标准。在现代包装设计过程中引入传统文化元素,应在传承中创新,并与时代前沿的文化成果相结合。不能停留在表面的借用上,而是让传统的审美文化通过创新的方式在新时代背景下呈现活力;不是回顾停留在过去,而是让传统的审美文化在设计应用中更好地融入现代生活。具有文化前瞻性和渊源的设计作品,将赋予传统文化元素以新的生命,使设计更具有“中国”特色。

参考文献

- [1] 王向峰. 老庄的美的形态论[J]. 社会科学辑刊, 2000(2): 126-132.
- [2] 李欣, 伊延波. 传统图案与创意图形的融合[J]. 艺术教育, 2010(3): 20, 22.
- [3] 左汉中. 中国民间美术造型[M]. 长沙: 湖南美术出版社, 2006: 151.
- [4] 吴卫. “器以象制”与“形式追随功能”的辩证关系[J]. 装饰, 2004(5): 22-24.
- [5] 陈秋伟, 文波. 美术出版家——郭天民[J]. 湖南包装, 2017(1): 7-14.
- [6] 王丹妮. 花瑶挑花图形创意设计及其丝巾产品应用[J]. 湖南包装, 2016(4): 105.
- [7] 故宫御酒坊. 新店特惠 花鸟图御酒 52度 500 mL 浓香型白酒 故宫博物院监制[EB/OL]. [2017-05-26]. https://item.taobao.com/item.htm?spm=2013.1.0.0.4b556901YnOV84&id=558499452970&scm=1007.12144.81309.42296_42296&pvid=ac418245-1556-45d2-8f14-bc723d52c90a.
- [8] 孙超. 食品包装设计中的返朴归真[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 152-154.
- [9] 朱和平. 试论中国古代包装的特征[J]. 湖南社会科学, 2003(1): 155-156.
- [10] 刘晓陶. 生态设计[M]. 济南: 山东美术出版社, 2006: 36.

(上接第100页)

参考文献

- [1] 王玉琦, 韩海燕, 郝智慧. 金属检测器在食品工业中的应用[J]. 长春大学学报: 自然科学版, 2007, 17(2): 71-73.
- [2] 金江涛, 张文文. 金属检测器在速冻禽肉制品中的应用[J]. 肉类研究, 2011, 25(3): 46-48.
- [3] 彭建学, 叶银忠, 侍尉, 等. 基于跨导测量的金属探测方法[J]. 电测与仪表, 2013, 50(4): 82-85.
- [4] 唐敏丽, 彭天昊. 基于自适应直耦降噪的金属探测信号处理方法[J]. 科技通报, 2014, 30(6): 73-75.
- [5] 郭培源, 徐盼, 董小栋, 等. 基于嵌入式的腊肉检测手持终端系统的研制[J]. 食品与机械, 2016, 32(8): 38-41.
- [6] 贺桂芳. 一种新型智能金属探测仪的设计[J]. 仪表技术与传感器, 2006(1): 13-15.
- [7] 严培培. 基于网络环境的食品分拣视觉检测系统设计[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 108-110.
- [8] 王茹茹, 宋开宏, 明军, 等. 基于开放线圈系统金属探测仪传感器的特性分析[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2015, 38(3): 354-357.
- [9] 宋永献, 马娟丽, 贺乃宝, 等. 基于 TMS320F2812 的智能循迹小车控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(9): 2 128-2 130.
- [10] 李艳红, 李自成, 孙仕琪. 基于 STM32 单片机的金属物体探测定位器系统的设计与实现[J]. 仪表技术与传感器, 2016(4): 63-66.
- [11] 王丽君, 马龙升, 钟皇平, 等. 可自主移动的金属物体探测定位仪设计及开发[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(5): 107-110.