

基于差动式电容传感器的金属板材厚度 在线检测系统设计

孙恒群, 何艳, 张晓燕

盐城市计量测试所, 江苏 盐城

收稿日期: 2021年8月23日; 录用日期: 2021年9月21日; 发布日期: 2021年9月28日

摘要

为实现金属板厚度的实时检测以期及时修正避免误差积累, 本文以STC89C52单片机为控制核心, 研制基于差动式电容传感器的金属板厚度在线检测系统。该系统通过差动式变极距电容式传感器, 实现金属板厚度信号的采集; 进而用定时器产生矩形波, 单片机在一定时间内计数, 最后得出频率, 计算出金属板厚度; 为了达到随时观察的目的, 在系统中辅以显示模块, 便于在生产过程中出现特殊情况时, 可以被用户发现并及时纠错。该系统能迅速的进行响应, 以达到生产要求中的实时性, 且成本较低, 具有一定的应用价值。

关键词

金属板厚度, 单片机, 差动式电容传感器, 矩形波

Design of On-Line Metal Plate Thickness Detection System Based on Differential Capacitance Sensor

Hengqun Sun, Yan He, Xiaoyan Zhang

Yancheng Institute of Measurement and Testing, Yancheng Jiangsu

Received: Aug. 23rd, 2021; accepted: Sep. 21st, 2021; published: Sep. 28th, 2021

Abstract

In order to realize the real-time detection of metal plate thickness in order to correct it in time

文章引用: 孙恒群, 何艳, 张晓燕. 基于差动式电容传感器的金属板材厚度在线检测系统设计[J]. 传感器技术与应用, 2021, 9(4): 226-233. DOI: 10.12677/jsta.2021.94027

and avoid error accumulation, this paper develops an on-line metal plate thickness detection system based on differential capacitance sensor with STC89C52 single chip microcomputer as the control core. The system realizes the acquisition of metal plate thickness signal through differential variable pole distance capacitive sensor; then the rectangular wave is generated by the timer, and the single chip microcomputer counts in a certain time. Finally, the frequency is obtained and the thickness of the metal plate is calculated; in order to achieve the purpose of observation at any time, the display module is supplemented in the system, so that in case of special circumstances in the production process, it can be found by the user and corrected in time. The system can respond quickly to meet the real-time production requirements, and the cost is low, so it has a certain application value.

Keywords

Thickness of Metal Plate, Single Chip, Differential Capacitance Sensor, Rectangular Wave

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

科学技术的不断发展, 新型制造方法的出现, 金属板材正越来越多地应用于汽车、机械、冶金、建材、电力等民用领域, 将在各个领域发挥广阔的应用前景[1]。正是因为金属板的使用领域不断扩大, 板材生产线也不断增多。此外, 伴随我国的高速发展以及经济全球化的发展, 金属板材的进出口也日益频繁, 使得人们对于产品质量提出了高标准、高要求。因此, 在金属板材的生产过程对板材质量的严格把关是必须的[2]。金属板材的质量很大程度上取决于板材的厚度, 那么就需要实时检测金属板材的厚度, 好进行及时的纠正。

基于上述金属板材的发展趋势及技术需求现状, 本文以 STC89C52 单片机为控制核心, 通过变极距式电容式传感器分析其频率信号研制金属板厚度在线检测系统。系统通过变极距式电容式传感器, 实时检测金属板厚度, 并采用差动式结构以提高电容式传感器的灵敏度和减小非线性误差; 用定时器产生矩形波, 单片机在一定时间内计数, 最后得出频率, 利用公式算出金属板厚度; 辅以显示模块以达到随时观察的目的, 便于在生产过程中出现特殊情况时时, 可以被用户发现并及时纠错, 具有成本低、响应速度快等特点, 具有一定的实际生产应用价值。

2. 总体方案设计

金属板材加工过程较为复杂, 在金属板生产过程中进行实时检测, 就可以及时反馈金属板厚度情况, 以达到实时记录、分析、调整板材厚度的目的。由于金属板轧制基本都是工业生产, 不能在金属板上留下划痕等痕迹, 且工艺要求较高, 所以选择非接触式测量方法。为提高系统检测精度及减小非线性测量误差, 本系统采用差动型变极距式电容传感器, 其检测原理如下所述[3] [4]:

(a) 单一型电容传感器:

灵敏度

$$k_d : k_d = \Delta C / \Delta d = C_0 / d_0 (1 - \Delta d / d_0) \quad (1)$$

相对非线性误差

$$\delta_L : \delta_L = |\Delta d / d_0| \times 100\% \quad (2)$$

式中, C 、 C_0 、 d 及 d_0 分别代表电容传感器的电容值, 初始电容值, 板间距及初始板间距。

(b) 差动型电容传感器:

灵敏度

$$k_d : k_d = \Delta C / \Delta d = 2C_0 / d_0 \left(1 - (\Delta d / d_0)^2 \right) \quad (3)$$

相对非线性误差

$$\delta_L : \delta_L = |\Delta d / d_0| \times 100\% \quad (4)$$

由公式(1)和(2)的比较, 可得出, 差动型比单一型灵敏度高近一倍, 由公式(3)和(4)可看出, 相对非线性误差减小一个数量级。

3. 系统硬件设计与实现

硬件设计是实现整个板材厚度检测系统设计的最基本的部分, 它设计的好与坏将直接影响到检测结果的好坏。为达到系统测量目的, 该系统硬件设计主要包括五个模块: CPU 控制模块, 555 定时器电路, LED 显示电路, 存储器电路等。

3.1. CPU 控制模块

本系统采用的是 STC89C52 单片机作为 CPU 控制模块[5], 其内部具有 8 k 字节的可反复擦写的 Flash 存储器和 256 字节的数据存储器。此器件采用高密度的指令系统, 内部有八位 CPU 与 Flash 存储器, 并且可以反复擦写使用降低生产成本, 性价比很高, 片内自带 EEPROM、片机自带看门狗、双数据指针等。STC89C52 单片机引脚图如图 1 所示。

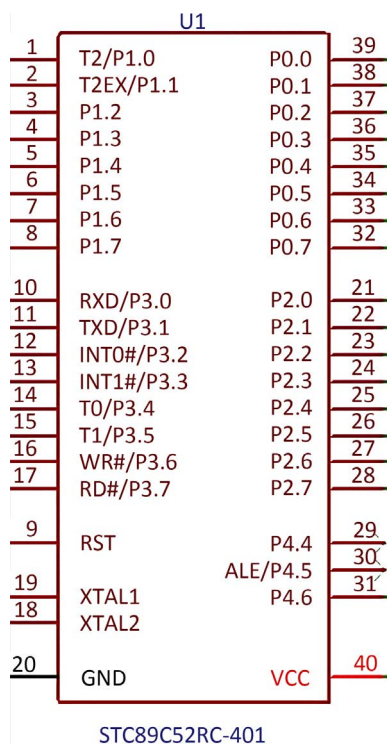


Figure 1. Single chip microcomputer pin diagram

图 1. 单片机引脚图

3.2. 555 定时器电路

555 定时器有三种电路：无稳类电路，单稳类电路和双稳类电路[6] [7]。按照检测需求，本系统采用多谐振荡电路，采用间接反馈型无稳电路，将 RES1 与电源直连，二极管与 RES2 并联。如图 2 所示。

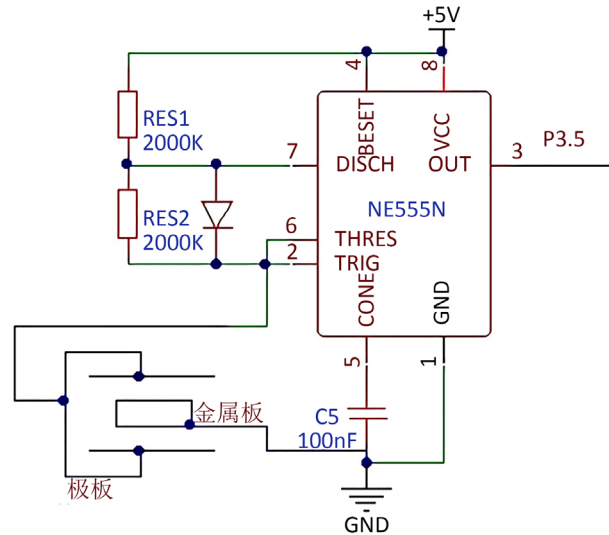


Figure 2. 555 timer circuit
图 2. 555 定时器电路

555 定时器电路可以产生方波，进而通过矩形波测出频率，再根据频率，得出金属板厚度。

3.3. LED 显示电路

系统 LED 显示模块如图 3 所示，LCD1602 将通过单片机上的 P3 口与单片机进行数据通信，将要显示的数据在液晶显示屏上显示。

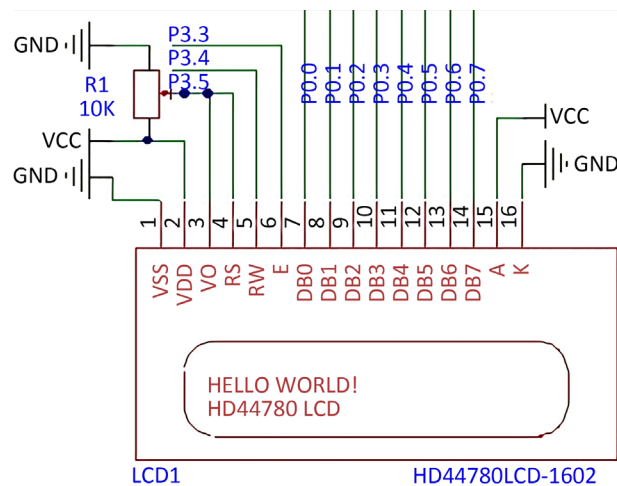


Figure 3. LCD1602 circuit
图 3. LCD1602 电路

3.4. 存储器电路

存储器 EEPROM 电路图如图 4 所示。

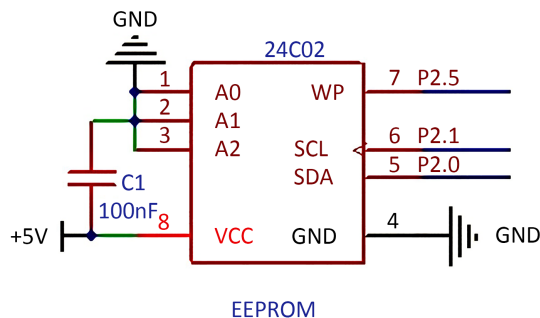


Figure 4. EEPROM circuit diagram
图 4. EEPROM 电路图

EEPROM 是可编程可擦除 ROM 芯片，可以重复的擦除和写入，单片机的存储空间很小。为满足工业生产数据存储需求，本设计采用的是 24C02 存储芯片，24C02 是一个 2Kbit 的串行 EEPROM 存储芯片，可存储 256 个字节数据。

4. 频率厚度计算

4.1. 555 定时器与电容的关系

NE555 定时器可以产生矩形波，直接被单片机采集，矩形波的频率受到电容传感器的容值影响，而容值又由金属板厚度决定，三者直接存在一定的数学关系[3] [8]。图 2 NE555 定时器电路中 $R_1 = R_2 = 2000 \text{ k}\Omega$ ，其计算公式为：

上升沿

$$T_1 = 0.693((R_1 + 2R_2) \times C) \tag{5}$$

下降沿

$$T_2 = 0.693 \times R_2 \times C \tag{6}$$

频率

$$f = 1/T_1 = 1.44/((R_1 + 2R_2) \times C) \tag{7}$$

4.2. 金属板厚度与电容的关系

$$C = \epsilon_0 S / (a - d + d/\epsilon_r) \tag{8}$$

式(8)中 S 为测量电容的极板面积($S = 4.9 \times 10^{-3} \text{ m}^2$)， a 为上下极板间距离($a = 1.5 \times 10^{-2} \text{ m}$)， d 为被测金属板厚度， ϵ_0 为真空介电常数($\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$)， ϵ_r 为铝板的相对介电常数($\epsilon_r = 81$)。

5. 系统软件设计

系统的软件设计包括一个主程序和几个子程序。其中主程序主要就是以单片机为核心的程序编写，控制系统的整个过程[9] [10]。单片机发出控制信号，再通过调用子程序来实现所需要功能的实现。各子程序则实现了通信模块、定时器中断和显示模块的功能。系统流程序框图如图 5 所示。

6. 系统测试

为测试本文所提系统的检测性能，在上述系统硬件及软件设计完成的基础上对其实物进行性能测试，其实物如图 6 所示。

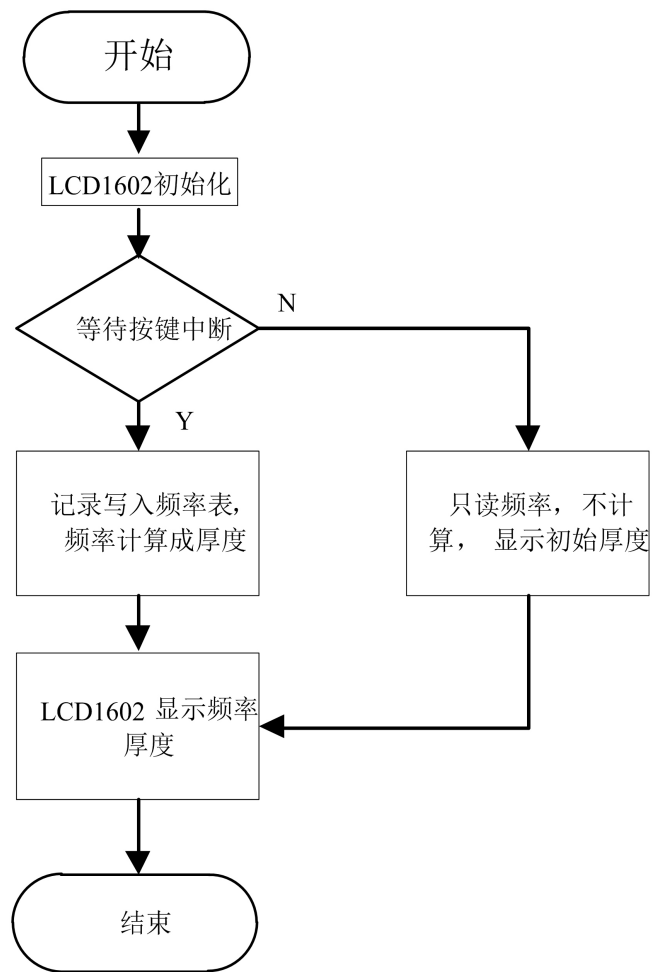


Figure 5. System program flow chart

图 5. 系统程序流程图



Figure 6. System physical map

图 6. 系统实物图

选取两块金属板的实际厚度为 5.01 mm 和 4.96 mm 对系统进行测试，测试结果如图 7 所示。



(a) 5.01 mm



(b) 4.96 mm

Figure 7. Effect chart of metal plate
图 7. 金属板实测效果图

由图 7 可得，本系统可及时精确的实现 0.01 mm 级别的金属板材厚度测量，具有精度高、响应速度快等优点，具备一定的应用前景。

7. 结束语

本文以 STC89C52 单片机为控制核心，研制基于差动式电容传感器的金属板厚度在线检测系统。系统通过差动式变极距式电容式传感器，实时检测金属板厚度，提高电容式传感器的灵敏度和减小非线性误差；采用 555 定时器产生矩形波，单片机在一定时间内计数，得出频率，进而通过频率计算得出金属板厚度；辅以 LCD 模块实现随时观察测量结果的目的。通过系统实物试制及测试后，结果显示本系统可及时精确的实现 0.01 mm 级别的金属板材厚度测量，具有精度高、响应速度快等优点，具备一定的应用前景。

参考文献

- [1] 刘帅. 基于单线圈涡流的金属厚度及电导率测量方法的研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2020.

-
- [2] 李文涛, 刘志伟, 王志春. 基于涡流传感器的非接触式金属板厚度测量系统[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(15): 223-227.
- [3] 尹晓鹏. 基于电容传感器的板厚板速动态检测系统的研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 长春工业大学, 2016.
- [4] 罗鑫锦. 电涡流式传感器的突出应用功能[J]. 中国新通信, 2019, 21(6): 221.
- [5] 周航, 陈艳玲, 龚浩, 等. 基于 8051 单片机的电子抢答器硬件电路设计研究[J]. 电子制作, 2021(7): 85-86+6.
- [6] 李战胜. 数字电子技术中 555 定时器的应用研究[J]. 电子测试, 2020(22): 14-15+81.
- [7] 梁子卫. 基于 555 定时器的多波形信号发生器设计与实现[J]. 仪表技术, 2019(10): 38-39+47.
- [8] 王磊, 夏立明. 超声波测厚时管件夹层缺陷的判定[J]. 物理测试, 2021, 39(1): 47-49.
- [9] 李泉溪. 单片机原理与应用实例仿真[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009.
- [10] 王瑞东, 齐婷婷. 浅析基于 MCS-51 单片机的振荡电路[J]. 现代经济信息, 2016(24): 368.