

基于石英晶体传感器的凝血酶检测系统的实现

王 青

(陕西国防工业职业技术学院 西安 710300)

摘 要:近些年来,石英晶体为生物传感器领域的重要方向。利用石英晶体对其表面物质变化的特性,构建出具有微小质量检测能力的新型生物传感器。搭建一套硬件系统对 QC 输出的 10 MHz 的基频信号进行分析研究。通过测量与分析输出信号的频率变化规律得到结果。实验结果表明,该测量系统空气中稳定后的频率误差波动小于 10 Hz,在测量结束时频率误差波动小于 30 Hz。

关键词:石英晶体;传感器;频率;测量

中图分类号: TP212 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8010

Development of thrombin detection system based on quartz crystal sensor

Wang Qing

(Shaanxi Institute of Technology, Xi'an 710300, China)

Abstract: In recent years, quartz crystal sensor has become one of the research focus in the field of biosensor. Its principle is the change characteristics between the quartz crystal and the material on its surface. Based on the principle, the piezoelectric biosensor has the feature of the grade detection capability. The paper sets up a hardware system and analyzes the fundamental frequency signal which the frequency is 10 MHz from QC. By measuring the final frequency of difference signal, the experimental results are obtained. The experimental results show that the frequency fluctuation of the measurement system is less than 10 Hz in the air condition and the frequency fluctuation is less than 30 Hz when the measurement is over.

Keywords: QCM; sensor; frequency; measurement

0 引 言

自二十世纪末期以来,我国将传感器技术逐渐列为科学发展之首,传感器产业得到了迅速的发展,派生了许多新的应用领域。石英晶体(quartz crystal, QC)作为一种新的传感器也应运而生,石英晶体可以对产生与质量因素相对应的频率变化也可以产生与被测量物质的粘度、密度、电导率等非质量因素对应的频率变化^[1-2]。目前,这种类型传感器在临床医学领域得到了发展,凝血酶的检测就是其中一个典型的应用。凝血酶是血清的重要组成部分之一,凝血酶的检测是血友病、中风等疾病的重要特征指标之一,通过对凝血酶的检测可以为疾病的分析与诊断提供重要的参考。应用石英晶体及其电路对凝血酶的检测在硬件上相对简单,只需要设计基于石英晶体具有一定频带宽度的、稳定的振荡电路,软件上主要完成频率测量和

频率变化拐点的捕捉功能。整个测量装置可以为血友病、中风等疾病的检测与诊断提供一定的参考^[3]。

1 QCM 振荡理论与方案

1959 年,德国物理学家 Sauerbrey 建立了石英晶体的物理模型并推导出了石英晶体理论方程式,开辟了石英晶体检测的理论先河,从那时起,石英晶体检测理论逐步开始建立。但由于加工技术和实验条件的限制,许多实验无法开展也更无法将实验成果应用到实践当中去。从理论上讲,石英晶体检测技术是一个典型反压电效应原理,在石英晶体的两个电极建立一个交流信号后,石英晶体在交流电场的作用下产生振动。由于测量时石英晶体表面有一定量的被测物质(如凝血酶),石英晶体的谐振频率也会产生一定的变化^[4]。这种频率的变化量与晶体表面的质量增量、石英晶体基准谐振频率和电极被吸附物覆盖面积

收稿日期:2017-04

等影响因素的关系如(1)式^[5]。

$$\Delta F = \frac{-2F_0^2 \Delta M}{A(\mu\rho)^{1/2}} \quad (1)$$

式中: ΔF 为频率的变化量, F_0 为晶体的标称频率, ΔM 为电极表面的质量增量, A 为电极的有效承载面积, ρ 为石英晶体的密度, μ 为压电晶体的剪切模量, t 为从开始到结束的反应时间,为本文所求的物理量。分析可知,上述多种因素都会对频率产生影响,但只要能够分析出第二次频率的拐点值就可以计算出 ΔF ,再通过(1)式计算可以得到待

测物的反应时间^[6-9]。

2 硬件实现

凝血酶的硬件检测装置主要含有石英晶体的核心振荡电路、参考时钟振荡电路、差频电路、专用定时器及频率处理模块、单片机控制电路、数码管显示驱动电路和上位机 PC 机串口通信电路,凝血酶的硬件检测方案如图 1 所示。

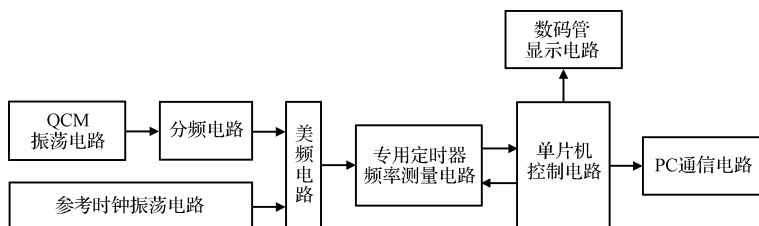


图1 方案总体方案

稳定可靠的石英晶体振荡电路是保证凝血酶检测准确的重要前提条件之一,因此采用 MAXIM 公司推出的超高速、TTL 比较器构成精密的石英晶体振荡电路,原理如图 2 所示。

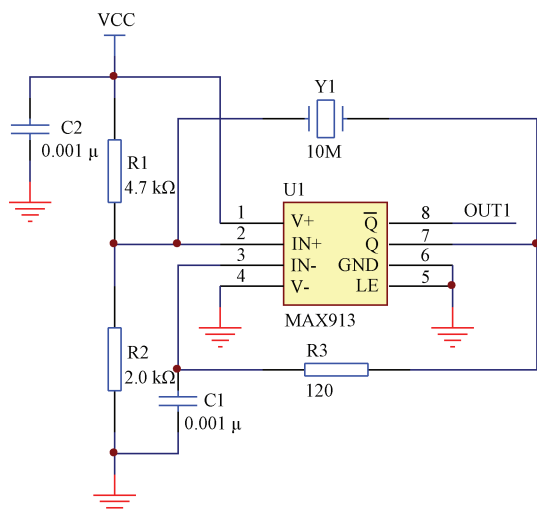


图2 MAX913 振荡电路

图 2 中的石英晶体 Y1 跨接在比较器 MAX913 的同向和反向输入端构成了振荡电路,其电阻、电容尽量选择精度比较高的原件以保证电路稳定、可靠工作^[10-12]。

本文中的核心模块专用定时器及频率处理模块主要通过 FPGA 实现。其主要功能是实现定时和频率的记数功能,记数的结果传送给 ARM 单片机,在 ARM 单片机的控制下实现频率的显示和数据的上传功能。

3 软件设计

系统软件部分由以下 4 个模块构成:以 ARM 芯片

STM32F103 为主控单元的初始化程序,FPGA 芯片 EP2C5T144 作为外部计数器模块记数程序,MAX7219 作为驱动的数码管显示程序和使用 MAX3232 实现电平转换将频率数据上传至 PC 机的程序,软件主程序流程如图 3 所示^[13-14]。

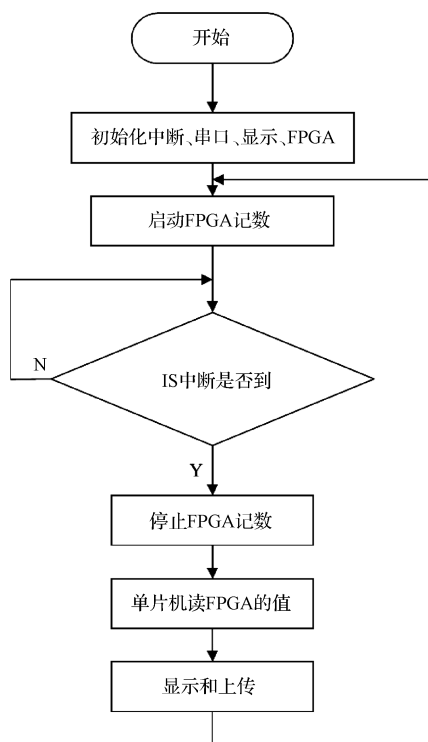


图3 软件流程

设计的实验主板如图 4 所示,抽取频率为 10 MHz 的石英晶体,将凝血酶在恒温器预热至 37℃,然后取一定量试剂滴在石英晶体的晶片上,待频率稳定后,再加入凝血

酶标本,继续检测频率^[15-17]。至频率再次稳定后,记录整个频率变化如图5、图6所示。

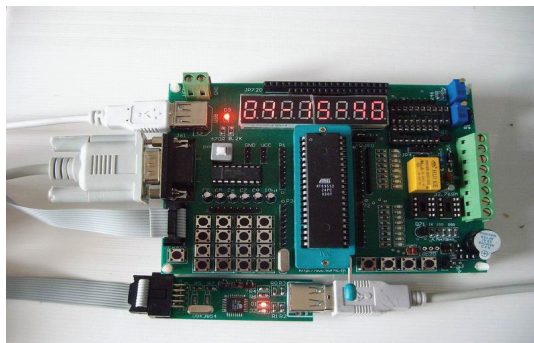


图4 硬件实验板

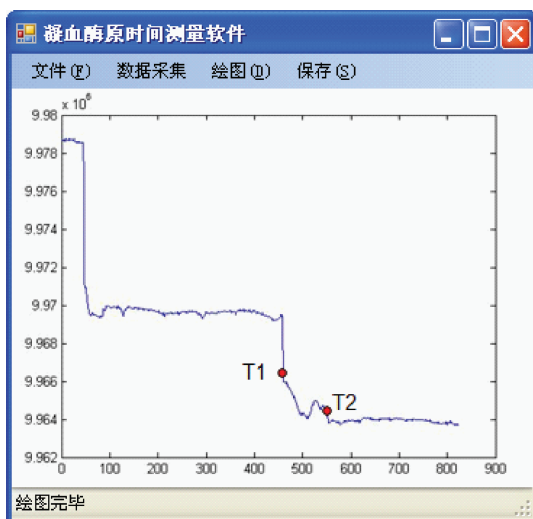


图5 理想凝血酶实验结果

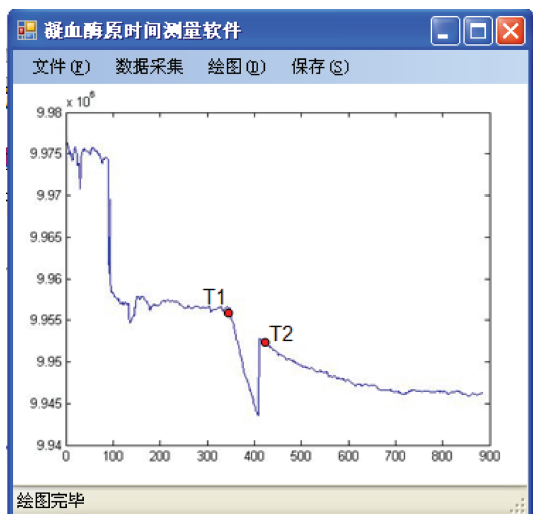


图6 一般凝血酶实验结果

图5、图6是根据记录的频率绘制的曲线,图中T2-T1的绝对值就是要得到的凝血酶检测时间。图5虽然与理

论曲线存在一定的差异,但基本的变化趋势还是一致的。在图6中,由于两个拐点频率的差异不大,在实际检测中容易造成误判,因此,该反映曲线相对于图5来说,就不够理想了。造成这种差异的原因主要与实验条件相关,特别是检测时凝血酶试样温度的影响。通过实验和分析,验证了方案的可行性,基本达到了达到预期目的。

4 结论

为了应用石英晶体对凝血酶的检测,简要对检测原理进行了分析,设计了相关的硬件检测电路。通过对凝血酶的实验可知,测量装置在没有加载凝血酶之前,石英晶体振荡电路的频率波动小于10 Hz,加载凝血酶并经过一定的反应时间后,石英晶体振荡电路的频率波动小于30 Hz。另外,生化试剂、凝血酶的使用规则和实验环境温度对实验的正常进行至关重要,如果在这些方面要求不够严格的话,将很难找到凝血酶反应的终止点。

参考文献

- [1] 丁雷,袁昊,李炜. 基于MCM-41的高灵敏度和高稳定性的QCM湿度传感器研制[J]. 上海第二工业大学学报,2016,33(4): 289-294.
- [2] 姬君旺,鲁卫平,徐欢,等. 液相QCM生物传感器电路系统设计[J]. 传感器与微系统,2016,35(10): 70-72.
- [3] 唐珂,谢源,曾明杰. Cascode结构微波混沌振荡器的设计[J]. 国外电子测量技术,2016,35(8): 86-89.
- [4] 孙娜娜. 基于QCM传感器的凝血酶原时间检测系统的研制[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.
- [5] 李东,王艳林. 分布电感对石英晶体测试精度的影响及补偿[J]. 电子测量与仪器学报,2017,31(3): 487-491.
- [6] 王娇杨. QCM传感器和FBAR传感器原理与性能的有限元仿真分析与比较[D]. 长春:东北师范大学,2016.
- [7] 陈杨,李志鑫,段智明,等. 基于聚酰胺树枝状分子的QCM甲醛传感器研究[J]. 郑州大学学报:工学版,2016,37(4): 36-39.
- [8] 白鹏利,陈名利,常智敏,等. 基于QCM技术的甲醛传感器研究进展[J]. 材料导报,2015,29(增刊2): 110-112.
- [9] 张嘉琪,胡馨升,陈培飞,等. 纳米TiO₂敏感膜修饰的QCM气体传感器检测氨气的研究[J]. 仪表技术与传感器,2015(2): 5-7,50.
- [10] 王青. 基于石英晶体传感器的凝血酶原时间检测系统的研制[J]. 河南科学,2014,32(7): 1244-1246.
- [11] 李平,刘双建,文玉梅,等. 电场能量采集器的最大输出功率追踪电路设计[J]. 仪器仪表学报,2016,37(2): 301-307.

- [12] 冉青,陈向东,陈欣鹏. 基于 Nafion 的石英晶体微天平低湿传感器[J]. 仪表技术与传感器, 2017(1): 1-3,7.
- [13] 袁宇,陈杨,徐甲强,等. 磺胺功能化 SBA-15 修饰的 QCM 气体传感器检测甲醛的研究[J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2016,33(6): 783-788,853.
- [14] 邱桢毅,王莹. 耗散型石英晶体微天平处理膜污染研究进展[J]. 水处理技术, 2016,42(12): 19-23.
- [15] 姬君旺,鲁卫平,徐欢,等. 液相 QCM 生物传感器电路系统设计[J]. 传感器与微系统, 2016, 35(10): 70-72.
- [16] 张天伟,胡凤丽,张国梁. 高分子在固-液界面上的石英晶体微天平的频率响应[J]. 计量与测试技术, 2016,43(9):26-28.
- [17] 朱政豪,郝艳飞,孙明营,等. 基于石英晶体天平 and 微纳光纤的有机污染物在线监测[J]. 光子学报, 2016, 45(9):135-140.

作者简介

王青,1982 年出生,硕士,主要研究方向为机械电子。
E-mail:510132156@qq.com

是德科技发布新版 89600 VSA 软件,助力元器件、模块、系统设计人员实现 5G 产品率先面市目标

软件通过为设计人员提供强大的 5G 分析能力,帮助其测量当今的 Verizon 5G 信号质量,同时还将支持 5G NR 标准信号,让设计人员可以快速启动 5G 开发

2017 年 9 月 29 日,是德科技公司(NYSE:KEYS)今日宣布推出准 5G 调制分析选件。该选件在最新 89600 VSA 软件版本中提供,并随标准的冻结,将会提供符合 3GPP 5G 新空口(NR)标准的 5G NR 测量功能。凭借这项功能,是德科技的 89600 VSA 软件可支持元器件、模块和系统设计人员依据即将发布的 3GPP 5G NR 标准执行产品测试,从而率先将产品推向市场。

准 5G 是由 Verizon Wireless(www.5gtf.org)组织与合作企业联合发布的 5G 无线规范。该规范主要针对 28 GHz 频率的固定无线接入进行初步试用和部署。

是德科技的新 89600 VSA 能够根据 Verizon 5G 开放试用规范对准 5G 信号进行时域、频域和调制域综合分析。该软件允许设计人员配置结果迹线(例如采集时间和频谱)和针对准 5G 的特定调制质量指标和迹线,以便快速、轻松地识别信号特征。该软件还可帮助设计人员对间歇性误差峰值和重复的同步故障进行诊断。

支持 3GPP 5G NR

3GPP 5G NR 是新兴的全球 5G 标准。该规范预计将包含在计划于 2018 年颁布的 3GPP 标准第 15 版中。借助是德科技的新 89600 VSA 软件版本,使用者可以在规范发布之前根据其草案进行设计和性能验证,为正式标准发布充分做好准备,一旦正式标准发布使用者即可将产品立即推向

市场。

使用 89600 VSA,设计人员可以对 3GPP 5G NR 的候选信号进行 EVM 和其他信号质量测量。使用可定制化 OFDM 调制分析应用软件可以进行 DFT-OFDM(SC-FDMA)和 CP-OFDM 测量。该软件与 Keysight EEsof EDA SystemVue 仿真环境之间的密切联系,为使用规范草案的设计人员提供了更大的灵活性。

是德科技设计工程师软件部门的营销和计划经理 Charles Plott 表示:“3GPP 5G NR 是 5G 演进道路上的另一个技术丰碑。是德科技致力于在整个过程中支持标准化工作和客户的需求。通过我们最新的软件版本,我们已经实现了这一目标,为设计人员提供了他们所需的功能,帮助其更好地利用现今的规范草案进行测试,从而率先将 5G 产品推向市场。”

一旦 3GPP 第 15 版正式发布,是德科技将通过符合标准的 5G NR 测量来增强 89600 VSA 软件及其准 5G 功能。这将进一步简化 5G NR 信号分析,进而加速 5G NR 的开发。

有关是德科技 89600 VSA 软件和准 5G 调制分析的更多信息,请访问 www.keysight.com/find/89600_5g。该软件的图片请见:www.keysight.com/find/89600vsa-pre5g-images。