

FBAR 传感器信号检测与处理电路研究

印显方

(重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400044)

摘要: 设计并制作了薄膜体声波谐振器(FBAR)的生化传感器信号检测与处理电路,该电路采用混频器,把高频信号混频到低频信号,降低了信号的处理难度,并以 Cyclone FPGA 为核心控制器,完成对采样数据的处理和存储,并实现了实时传输等功能。利用该电路对双工器进行了初步测试,结果表明,谐振频率与网络分析仪所测结果一致。

关键词: FBAR 生化传感器; Cyclone FPGA; 混频器

中图分类号: TN919

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)11-0062-03

Research on a signal detecting and processing circuit for FBAR sensors

Yin Xianfang

(Key Laboratory of Optoelectronic Technology and System, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: This paper designs and fabricates a signal detecting and processing circuit for FBAR biochemistry sensor. The circuit applies mixer which converts high frequency signal to low frequency signal so as to ease the processing of signal. In addition, the circuit is controlled by Cyclone FPGA to complete the processing, storage and timely transmission of data. The circuit is used for the measurement of the duplexer. The result shows that the resonance frequency is equal to the result of network analyzer.

Key words: FBAR biochemistry sensor; Cyclone FPGA; mixer

FBAR 生化传感器可以用于对 DNA、蛋白质、细胞组织和病毒等^[1]微小质量进行测量,它具有操作简便、速度快及非标记等优点。近几年其取得了突破性进展,并显示出良好的应用前景。

2004 年,西门子公司 GABL R 等人^[2]利用 ZnO 薄膜体声波谐振器制作了一种用于非标记检测 DNA 和蛋白质的生化传感器。2008 年,美国乔治亚理工大学的 ANTHONY D^[3]制作了致癌物质检测用的 FBAR 生化传感器。不过它们对传感器的检测几乎都是基于网络分析仪,其不但价格昂贵,也不利于传感器的集成化和推广。针对以上问题,本文研制出了传感器的检测和处理电路,初步实现了对传感器的测试。

1 测试原理

FBAR 生化传感器的结构图如图 1 所示,主要包括压电薄膜、淀积在压电薄膜上下表面的电极、淀积在电极上的生化粘附层、结构层和衬底。

当一交变电压加在电极上时,压电薄膜由于逆压电效应,产生机械形变,使压电薄膜随着电场的变化而产

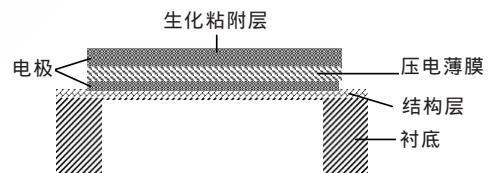


图 1 FBAR 生化传感器的结构图

生伸缩,从而形成振动,该声波传播至上下电极与空气的交界面处时将反射回来,进而在压电薄膜内来回反射。当声波在压电薄膜中的传播正好是半波长或半波长的奇数倍时,传感器处于谐振状态^[4]。当生化粘附层未粘附质量时和粘附了质量时,FBAR 的谐振频率将发生变化,可以通过测得这个频率偏移,从而测得粘附质量的大小。

可以通过检测 S11 参数来测得 FBAR 的谐振频率。S11 参数为输入端反射信号与输入信号的比值,当传感器谐振时,其反射信号最小,由于输入信号大小相同,因此,传感器谐振时,对应的 S11 参数也最小,其工作原理如图 2 所示。检测系统包括扫频激励源和信号检测与处

网络与通信 Network and Communication

理电路两个模块,扫频激励源加在敏感压电层的上下电极上,由于传感器是单端口器件,则可以从敏感压电层提取反射信号,将该信号作为信号检测与处理电路的输入信号,输入端反射信号与输入信号的比值即为 S11 参数。因此,可以检测 S11 参数的最小值,它所对应的频率即为 FBAR 器件的谐振频率。



图2 工作原理图

2 硬件电路

本文所测传感器的频率为 2.225 GHz, 所设计电路工作最高频率为 3.5 GHz, 系统框图如图 3 所示。所设计的扫频激励源范围为 0.3 GHz~3.5 GHz, 通过单片机控制频率步进, 实现扫频功能。在扫频激励源的控制下, 双定向耦合器耦合出传感器的反射信号, 经过低噪放大(LNA)后, 利用混频器把高频信号混频到频率为 100 kHz 的信号中。同时, 在 FPGA 的控制下, 读取信号调理电路(滤波放大、A/D 转换)的信号, 等读取完所有数据后, 通过串口(RS232)送入计算机进行后续处理。此外, 由于输入信号大小相同, 可以直接把读出的反射信号代替 S11 参数, 反射信号的最小值所对应的频率即为传感器的谐振频率。



图3 系统测试框图

2.1 双定向耦合器

双定向耦合器可以用于正向功率和反射功率取样, 本文采用 Mini-Circuits 公司的 BDCA1-7-33+ 双定向耦合器, 其耦合度为 7 dB, 工作频率范围为 1.6 GHz~3.3 GHz, 主要用于反射功率取样。其工作原理^[5]如图 4 所示, 输入端接扫频激励源, 输出端接传感器, 正向耦合端接 50 Ω 匹配电阻, 反向耦合端输出的信号即为传感器的反射信号。采用网络分析仪对双定向耦合器进行性能测试, 其型号为安利 MS4624D, 输入频率范围为 10 MHz~9 GHz, 测试结果如图 5 所示。耦合度为 -8.292 dB, 与理论值近似

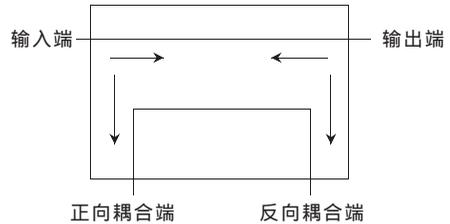


图4 双定向耦合器工作原理图



图5 双定向耦合器的耦合度

吻合, 且耦合系数比较平稳, 满足实验要求。

2.2 LNA

由于传感器的灵敏度较高, 且反射信号比较微弱, 为了减小噪声对信号的干扰, 本文选择了低噪声放大器, 其不但放大了有用信号, 同时也抑制了噪声的干扰。所选芯片的型号为 Avago 公司的 MGA-655T6, 在射频仿真软件 ADS2009 平台下, 通过选定器件的特征参数文件建立了 2 阶低噪声放大模型, 进行 S 参数仿真, 如图 6 所示, 其增益如图 7 所示。在频率为 2.2 GHz~2.4 GHz 时, 增益只变化约 2 dB, 对实验影响不大, 因此能满足实验要求。

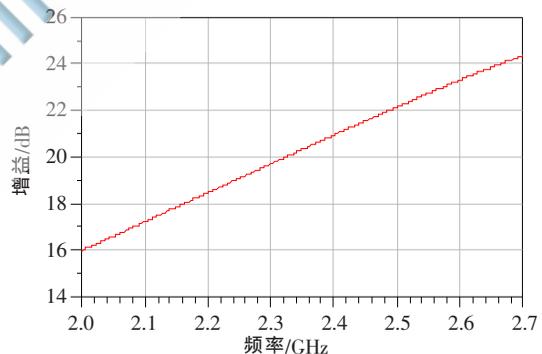


图7 LNA 增益

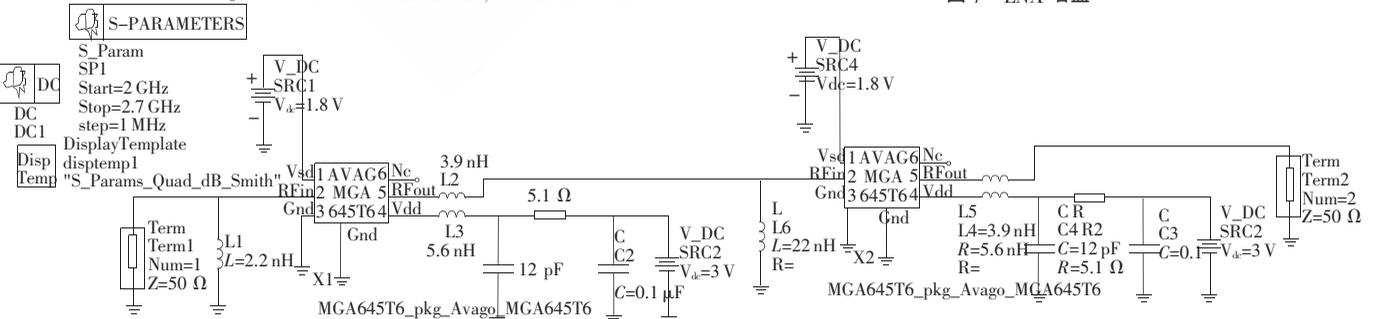


图6 LNA 仿真原理图

网络与通信 Network and Communication

2.3 混频器

本文采用 PULSAR Microwave 公司的 High Intercept Point (IP3) 混频器, 其输入射频信号频率范围为 1 GHz~3.5 GHz, 本振信号的频率范围为 1 GHz~3.5 GHz, 输出中频信号的频率范围为 0~2 GHz, 转换损耗为 8.5 dBm, 输入输出频率都满足实验要求。

2.4 信号调理电路

信号调理电路包括带通滤波放大电路, 滤除掉混频器从高频混频到 100 kHz 后所引入的噪声和谐波, 并进行放大, 得到高质量、稳定的信号, 以便送入 A/D 转换电路。

带通滤波电路采用低灵敏度三放大器带通结构^[6], 该电路结构需采用同一封装的三运算放大器, 适合频率在 1 MHz~2 MHz 范围内的电路。本文选择 ADI 公司的 AD813 芯片, 其把 3 个相同封装的放大器封装在一起, 满足电路结构要求。设计时以 100 kHz 为中心频率, 2 kHz 处衰减 3 dB, 8 kHz 处衰减 20 dB, 采用 NI 公司的 Multisim 仿真软件进行仿真, 原理图如图 8 所示, 波特图如图 9。可见, 中心频率为 100 kHz, 通频带比较窄, 能实现混频器各阶谐波的滤除。

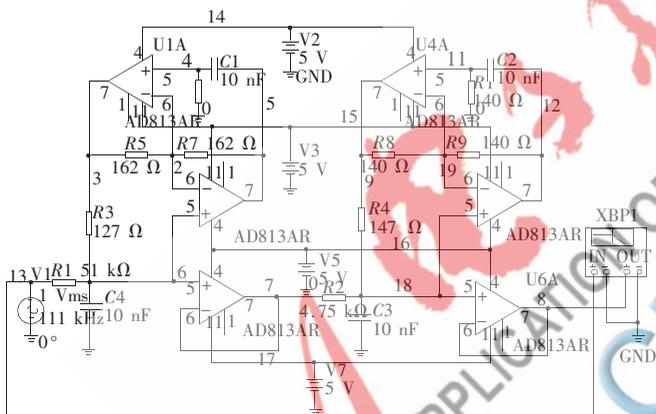


图 8 滤波器原理图

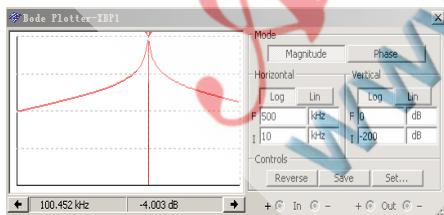


图 9 滤波器波特图

放大电路采用 TI 公司的 OPA380 运算放大器, 其放大倍数由 $R1/R2$ 决定, 同样采用 NI 公司的 Multisim 仿真软件进行仿真, 原理图如图 10 所示, 波特图如图 11 所示。由图可知, 在 100 kHz 左右能实现信号放大, 大于 100 kHz 时, 信号开始衰减, 能再次滤除噪声等的干扰。

3 测试结果

对 Agilent 公司的双工器进行了初步测试, 该双工器由 2 个 FBAR 构成, 型号为 HPMD-7904。双工器与双向

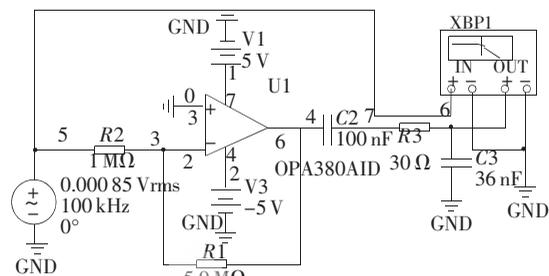


图 10 放大器原理图

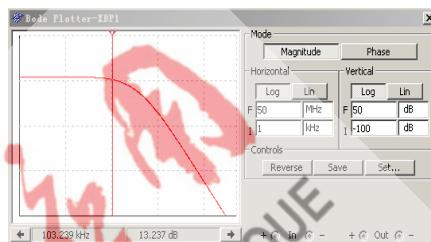


图 11 放大器波特图

向耦合器的反向耦合端相连, 采用 Agilent 公司的 E8257D 信号源作为双向耦合器的射频输入信号, 输入幅度为 0 dBm, 图 12 为通过双向耦合器测得的双工器输入端反射信号频谱图。频率变化范围为 1.77 GHz~1.83 GHz, 步进为 10 MHz 时, 在 1.81 GHz 时, 反射信号最小, 幅度值为 -11.22 dBm, 分别在 1.9 GHz、2 GHz 点测试, 反射信号有逐渐变大的趋势, 可以得出, 在 1.81 GHz 时即为传感器的谐振点。图 13 为网络分析仪对双工器的测试, 所测谐振频率为 1.81 GHz, 与电路所测结果一致。

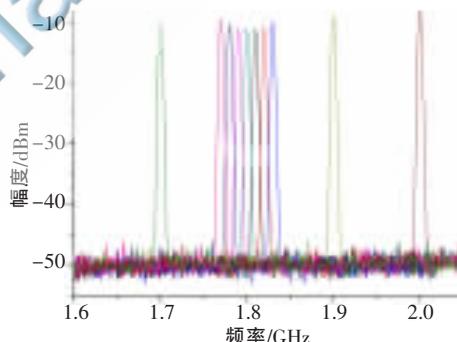


图 12 反射信号频谱图

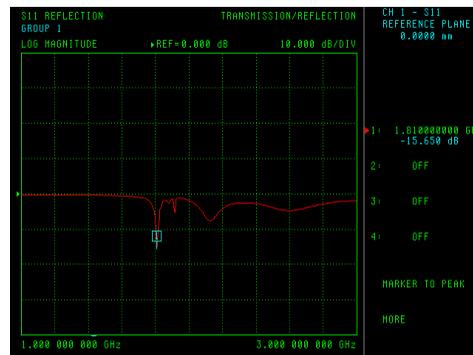


图 13 网络分析仪测试结果

本文详细介绍了信号检测与处理电路设计方案,并对硬件电路功能进行了仿真和功能测试,最后对电路进行了初步测试,给出了双工器反射信号的测试结果,该电路所测得传感器的谐振频率与网络分析仪所测得传感器的谐振频率一致。该电路使得传感器的测试不再依赖网络分析仪,为传感器的推广和集成化奠定了一定的基础。

参考文献

- [1] Zhang Hao, MARMA M S, KIM E S, et al. Mercuric ion sensing by a film bulk acoustic resonator [J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 2007, 54 (9): 1723-1725.
- [2] GABL R, FEUCHT H D, ZEININGER H, et al. First results on label-free detection of DNA and protein molecules using a novel integrated sensor technology based on gravimetric detection principles [J]. Biosensors and Bioelectronics, 2004, 19(7): 615 - 620
- [3] ANTHONY D. Design, fabrication and testing of an acoustic resonator-based biosensor for the detection of cancer biomarkers [D]. Georgia Institute of Technology, 2008.
- [4] 杨志周.具有声能补偿功能的薄膜体声波生化传感器结构设计及加工工艺研究[D].重庆:重庆大学,2010.
- [5] 朱军.定向耦合器在调频广播中的应用[J].电声技术, 2001(5):38-39.
- [6] WILLIAMS A B, TAYLOR F J. 电子滤波器设计[M]. 宁彦卿,姚金科,译.北京:科学出版社,2008.

(收稿日期:2012-01-07)

作者简介:

印显方,女,1985年生,硕士研究生,主要研究方向:传感器。