

一种应用于心脏起搏器的心电处理电路的设计

熊显名, 周光达

桂林电子科技大学电子工程与自动化学院, 广西 桂林 541004

【摘要】目的:为了有效治疗慢性心律失常等疾病, 心脏起搏器被广泛应用于病人治疗方案当中。心脏起搏器的心电处理电路能否安全有效地采集到病人心电信息, 决定着心脏起搏器的性能。针对其功耗低、体积小等要求, 设计一种应用于心脏起搏器的心电处理电路。**方法:**根据心电信号的特点, 以MCP6042为核心设计出由带通滤波放大电路和比较电路组成的心电处理电路。带通滤波放大电路可对心电信号进行放大并滤除干扰信号而获得可用信号, 然后将可用信号送给比较电路进行处理, 输出单片机能够识别的信号。**结果:**以模拟心脏仪提供实验条件, 该电路能够从淹没在噪声中的微弱心电信号里提取出供心脏起搏器应用的心律信号, 最微弱的心电信号幅值仅为0.5 mV, 且电路工作电流小于1 μA 。**结论:**该心电处理电路结构较为简单, 具有体积小、功耗低的突出优点, 性能也十分稳定, 具有实用价值。

【关键词】心脏起搏器; 心电处理; 滤波; 低功耗; MCP6042

【中图分类号】TN710

【文献标识码】A

【文章编号】1005-202X(2015)03-0384-03

Design of ECG processing circuit for cardiac pacemaker

XIONG Xian-ming, ZHOU Guang-da

College of Electronic Engineering and Automation, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China

Abstract: Objective To design an ECG processing circuit for cardiac pacemaker, with a low power consumption, small size and other advantages. Cardiac pacemaker is widely applied in therapy to effectively treat diseases, such as chronic arrhythmia, and whether ECG processing circuit can safely and effectively collect patient's ECG information decides the performance of cardiac pacemaker. **Methods** Based on the characteristics of the ECG, the circuit was designed by taking MCP6042 as the core, which consisted of a band-pass filter circuit and a comparison circuit. The band-pass filter circuit amplified ECG and obtained available signals by filtering the interfering signals. And then the comparison circuit processed the available signal and outputted another available signal which could be recognized by the microcontroller. **Results** In the experimental condition provided by simulate cardiac analyzer, experiments showed that the circuit could extract the rhythm signal for cardiac pacemaker from weak ECG drowned in noise. The weakest amplitude of ECG was only 0.5 mV and the working current of this circuit was less than 1 μA . **Conclusion** The ECG processing circuit has practical value for it has a relatively simple structure and the outstanding advantages of small size and low power consumption, and quite stable performance.

Key words: cardiac pacemaker; ECG; filter; low power consumption; MCP6042

前言

为病人植入心脏起搏器是治疗慢性心律失常等疾病的有效手段, 随着我国人民生活水平的逐步提高和社会老龄化问题的加剧, 其需求量会进一步扩大, 然而外国该类产品却长期占领我国的绝大部分市场份额, 所以性能可靠、工作持久的国产心脏起搏器有待开

发。采用电极导线从心脏采集到的富含干扰且十分微弱的心电信号如何处理, 决定着心脏起搏器的性能。

由于心脏起搏器埋藏在体内, 这就对采集心电信号的传感器有很高的要求。电极导线具有较低的起搏阈值和良好的感知功能^[1-2], 是采集心电的理想传感器, 同时其心电处理电路要有极低的功耗并且电路要简单。心脏起搏器要在病人心律失常的情况下能够产生相应的脉冲刺激心脏, 因此, 心电处理电路只需能够有效地从富含噪声的心电信号中提取出可供起搏器判别的心律信号即可, 无需处理出完整的心电信号。

心电信号是一种低频率的微弱的信号, 它的随机性较强, 无法用确定的函数表达, 只能通过统计的

【收稿日期】2014-12-28

【基金项目】桂林电子科技大学创新团队基金

【作者简介】熊显名(1964-), 男, 广西桂林人, 研究员, 主要从事人体信号检测方面研究, E-mail: xmxiong@guet.edu.cn。

【通信作者】周光达, Tel: 15577328103, E-mail: gdazhou@163.com。

方法找其规律;同时,其噪声背景较强,要测量的有用信号往往淹没在许多无用信号中。对于心电检测,国际标准测试波为0.5 mV~10 mV,常见心电频谱范围在0.05 Hz~100 Hz,而90%的频谱能量集中在0.25 Hz~35 Hz之间^[3]。心电信号的测量条件是比较复杂的,除了受脑电信号、呼吸波信号、肌电信号等体内信号干扰外,还受基线漂移、电极接触、50 Hz工频干扰和其他电磁设备的体外信号干扰^[4-8]。如果要把伴随心电信号的所有噪声滤除,那将需要一个庞大的滤波电路。所以,既要兼顾心脏起搏器体积小、功耗低的特点,又要能够从噪声中提取出可用心电信号是一个值得人们深思的问题。本文即介绍了一种验证过且两者兼顾的心电信号处理电路。

1 心电信号处理电路

心电信号处理的框图如图1所示,由专用电极导线采集到的心电信号先经过有源带通滤波放大电路,获得仍带有部分噪声的放大心电信号,但该信号已足够供比较电路从中提取出心律信号,心脏起搏器的MCU通过读取该心律信号即可获知病人的心律状况,从而采取相应措施。

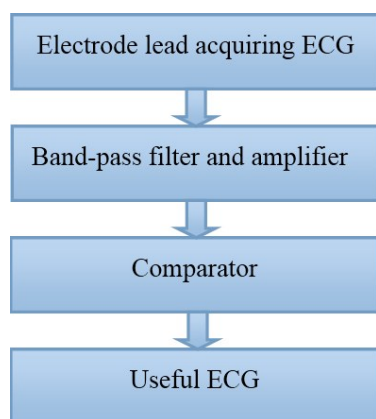


图1 心电处理框图

Fig.1 ECG processing block

1.1 带通滤波电路

由于心电信号比较微弱,加之背景噪声较强,滤波电路应选用高输入阻抗、低漂移并具有高共模抑制比的集成运算放大器^[9],同时该放大器为满足起搏器要求,还应具有低功耗特点。

MCP6042共模输入阻抗高达 $10^{13} \Omega$,输入失调电压偏移为 $1.5 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$,共模抑制比高达80 dB,以其为核心设计的带通滤波器如图2所示。

滤波电路对心电信号进行差分放大,能够有效地抑制干扰信号^[10];电路中电容 $C_{4,5}$ 能够有效地阻断

直流通路,消除主要由呼吸引起的基线漂移。带通有源滤波器的同相输入端串联了 C_5 、 R_{10} 组成的无源高通滤波网络,其决定该带通滤波器的起始频点:

$$f_L = \frac{1}{2\pi R_{10} C_5} \quad (1)$$

有源带通滤波器的输出端串联了由 R_7 、 C_2 组成的无源低通滤波网络,其决定该带通滤波器的截止频点:

$$f_H = \frac{1}{2\pi R_7 C_2} \quad (2)$$

为方便计算,令所有电容值为C,电阻值为R,结合Matlab软件计算出该带通滤波器的传递函数为:

$$A(S) = \frac{RCs}{R^3 C^3 s^3 + 3R^2 C^2 s^2 + 3RCs + 1} \quad (3)$$

通过设置合适的电阻电容值即可滤出需要的信号,由Tina软件仿真出图2所示电路的幅频特性曲线如图3所示。

实验过程中的心电信号由Metron公司的PS-320模拟心脏仪提供,其能够提供0.5 mV、1 mV、2 mV三个幅值的心电信号,该三档信号的频率均可设置在60 ppm~160 ppm之间,步进值为20 ppm;测量过程中波形的显示由Tektronix公司生产的MSO 2012示波器完成;电路工作电流由UNI-T公司生产的UT805A进行测量。

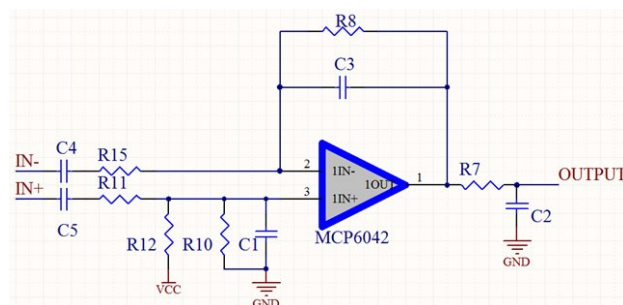


图2 带通滤波电路图

Fig.2 Circuit diagram of band-pass filter

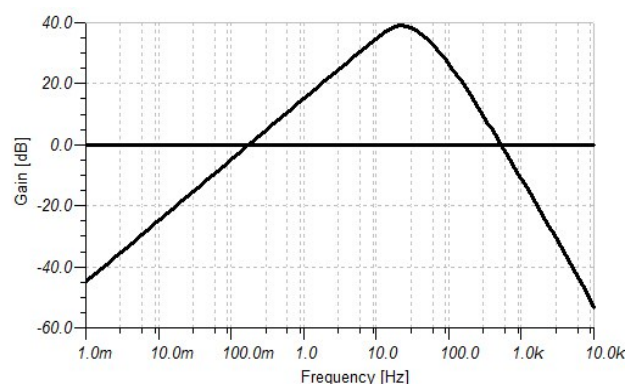


图3 带通滤波器幅频特性图

Fig.3 Amplitude-frequency characteristic diagram of band-pass filter

该带通滤波器能够从模拟心脏仪提供的各种心电信号中提取出供下级比较电路可用的信号。限于篇幅要求, 本文只展示 0.5 mV/60 ppm 的心电信号经过滤波器前后的波形, 输入带通滤波器的心电信号的波形如图 4 所示。

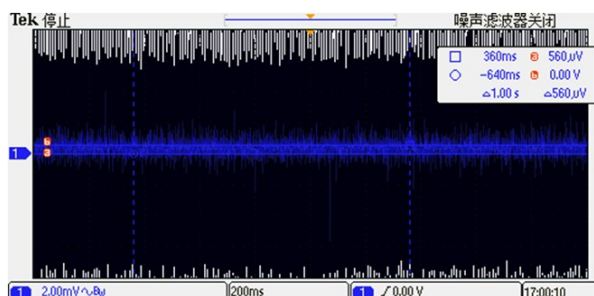


图 4 输入带通滤波器的心电信号波形

Fig.4 Input ECG waveform of band-pass filter

电极导线采集的心电信号会含有多种干扰信号, 由图 4 可知心电信号已经完全淹没在噪声当中, 用示波器无法看到其波形。经过该滤波器后可将伴随心电信号的各种干扰滤除, 而获得幅值为 136 mV 的纯净心电信号, 频率仍为 60 ppm, 但电路会引入 50 Hz 的工频干扰信号, 不过其幅值仅有 28 mV, 工频干扰信号明显弱于心电信号的强度, 已经可供下级比较器进行有效提取心律信号, 输出波形如图 5 所示。

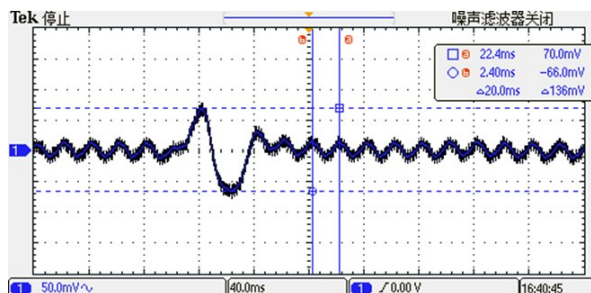


图 5 带通滤波器输出的心电信号波形

Fig.5 Output ECG waveform of band-pass filter

1.2 比较电路

比较电路由 MCP6042 的另一路运放搭建而成, 其参考电压由电源经过串联电阻分压所得, 只要使参考电压高于噪声电压且低于心电电压即可获取心律信号, 图 5 信号经过比较器后输出 60 ppm 的脉冲信号, 其脉宽 20 ms, 幅值为 2.8 V, 波形如图 6 所示。

2 结束语

根据心脏起搏器和心电信号的特点, 有针对性地设计出了心电处理电路。并由模拟心脏仪给处理

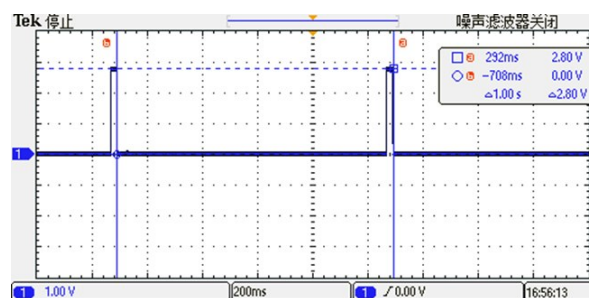


图 6 比较器提取的心律波形

Fig.6 Heart rate waveform extracted by comparator

电路提供心电信号进行了相关的测试实验。结果表明: 该电路能够稳定有效地从各种噪声中提取出幅值在 0.5 mV~2 mV 之间、频率在 60 ppm~160 ppm 之间的心电信号的心律信息供起搏器 MCU 所用, 并且功耗极低, 电路在 2.8 V 供电情况下, 工作电流仅有 0.6 μ A。

【参考文献】

- [1] Ayabakan C, Celiker A, Karagoz T, et al. Active-fixation, steroid-eluting ventricular leads: the medium-term results in children[J]. Anadolu Kardiyol Derg. 2005, 5(4): 278-282.
- [2] Nakazato Y, Nakata Y, Ohno Y, et al. Acute and chronic stability of atrial screw-in leads[J]. Jpn Circ J, 1991, 55(7): 665-668.
- [3] 陈 蓼. 基于 DSP 的心电信号采集和分析系统[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- Chen L. Acquisition and analysis system of ECG based on DSP[D]. Xian: Northwestern Polytechnical University, 2007.
- [4] 刘士游, 肖金球, 陈聪伟. 便携式心电信号检测仪的研究[J]. 苏州科技学院学报(自然科学版), 2014, 31(2): 57-61.
- Liu SY, Xiao JQ, Chen CW. The study on portable ECG tester[J]. Journal of Suzhou University of Science and Technology (Natural Science), 2014, 31(2): 57-61.
- [5] 何循来, 曹旭平, 申 强, 等. 心电测试仪的信号带宽设计研究[J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(4): 206-208.
- He XL, Cao XP, Shen Q, et al. Design and research for signal bandwidth of electrocardiograph testing meter[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2004, 25(4): 206-208.
- [6] 聂 能, 尧德中, 谢正祥. 生物医学信号数字处理技术及运用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- Nie N, Yao DZ, Xie ZX. Biomedical signal digital processing techniques and its application[M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [7] 黄进文. 一种心电信号采集放大电路的简单设计方法[J]. 现代电子技术, 2009, 32(7): 104-106.
- Huang JW. Simple method of ECG acquisition amplifier design[J]. Modern Electronics Technique, 2009, 32(7): 104-106.
- [8] 朱大缓, 郭育华, 汪公社. 便携式心电检测放大电路设计[J]. 医疗卫生装备, 2008, 29(5): 21-23.
- Zhu DH, Guo YH, Wang GS. Design of amplifier circuit for portable electrocardiogram monitoring system[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2008, 29(5): 21-23.
- [9] 王 威. 心电信号提取及处理电路的设计[D]. 长春: 吉林大学, 2006.
- Wang W. Design of ECG extraction and processing circuits[D]. Changchun: Jilin University, 2006.
- [10] 郑家龙, 王小海, 章安元. 集成电子技术基础教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- Zheng JL, Wang XH, Zhang AY. Based course of integrated electronic technology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.