

微伏信号放大系统设计

侯俊钦^{1,2}, 吴小培¹, 杨一军²

(1. 安徽大学 教育部计算智能与信号处理实验室, 安徽 合肥 230039;

2. 淮北煤炭师范学院 物理系, 安徽 淮北 235000)

摘要:介绍一种微伏信号放大系统设计方法,该系统主要由放大、滤波以及隔离输出三部分组成。输入部分采用共模抑制比很高小信号放大器;滤波电路由一个四阶低通滤波和一个二阶高通滤波组成的带通滤波器以及陷波器组成,可有效滤除噪声及干扰;中间和末级放大采用常见的同相比例放大器进行信号的进一步放大;隔离输出部分采用线性度很高的光电隔离电路。总体电路放大增益高,对10 μ V以上信号放大效果良好,可很好地满足后级采集电路的信号输入要求。

关键词:微伏信号;放大器;滤波器;光电隔离

中图分类号:TP34

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2007)10-0198-04

Design of Microvolt Signal Amplifier

HOU Jun-qin^{1,2}, WU Xiao-pei¹, YANG Yi-jun²

(1. Ministry of Education Key Laboratory of Intelligent Computing & Signal

Processing, Anhui University, Hefei 230039, China;

2. Physics Dept., Huaibei Coal Industry Teachers' College, Huaibei 235000, China)

Abstract: Introduced a design of microvolt signal amplifier, which consists of amplifiers, filters and isolation. The part of input is a weak signal amplifier, the CMR is very high. A band pass filter and a trap filter made up of the filter circuit which filtrate the noise and interference effectively. The signal is enlarged by the amplifiers in the middle and the end class. It is the output which applied the optical electrical isolation circuit. The gain of the whole circuit is very high, and the output signal is clear and stable. It is satisfied with the signal collection circuit.

Key words: microvolt signal; amplifier; filter; optical electrical isolation

0 引言

在工程实践中有时需要处理一些微弱信号,例如各种生物电信号。为了处理这些微弱信号,首先必须能够有效取得这些信号。通常这些微弱信号都含有各种噪声和干扰,为了提取有用信号和便于后级处理,通常要对该微弱信号进行放大和滤波。文中介绍一种微伏信号放大系统,它可以将微伏级的生物电信号放大为伏特级信号。该信号放大系统的方框图如图1所示。

该系统中输入信号为微伏级信号,经过输入放大级将其初步放大,对放大后的信号进行带通滤波器滤除噪声后送入中间放大级作进一步放大,然后通过陷

波器滤除50Hz工频干扰,经过末级放大进一步提高增益,最后经过光电隔离将前后级信号隔离,以免相互干扰。

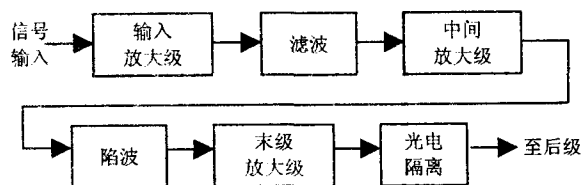


图1 信号放大系统方框图

下面对设计的电路作详细的说明。

1 硬件设计

1.1 输入放大级

微伏信号先进入输入放大级,输入放大级采用微弱信号采集系统广泛使用的仪表放大器。仪表放大器为差分信号输入,具有很高的共模抑制比。而对于微伏级信号其信噪比都很低,输入级选择不当会使噪声将信号完全湮没,因此要求输入放大器具有高的共模

收稿日期:2006-12-31

基金项目:国家自然科学基金(60271024);安徽省人才资助基金(200402028);安徽省教育厅项目(2007jyxm308)

作者简介:侯俊钦(1973-),男,山西沁池人,硕士,讲师,研究方向为计算机应用。

抑制比,所选仪表放大器必须满足这个要求。设计时采用 BB 公司的 INA118、121 或 128/129^[1],均具有很高的共模抑制比,其典型电路如图 2 所示。

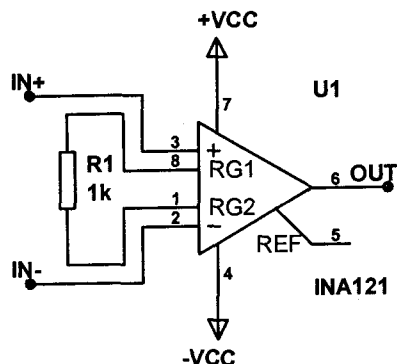


图 2 INA121 仪表放大器典型电路

INA121 的增益由外接电阻 R_1 决定,电路增益:

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G} \quad (1)$$

电路增益设置范围可以由 1 到 10000,即外接不同的 R_G 可以设置不同的电路增益,因此在实际电路中可以根据需要外接相应的 R_G 。设计时外接电阻 $R_1 = R_G = 1k\Omega$ 时,电路增益为 51。电路增益选择这么大,是考虑输入级中,信号和噪声同时输入,若这级放大倍数较大,则噪声也被同样放大,如果噪声幅度较大,将降低信噪比,不利于后级信号处理。

1.2 滤波

信号经过输入放大级以后,信号的幅度已有一定的增加,而且信噪比有所提高,该信号被送入滤波电路。滤波电路是为了取出有用信号,滤除噪声和干扰。滤波电路有多种形式,设计时采用 Sallen - Key 滤波器。Sallen - Key 滤波器又称双极点电压控制电压源^[2]。其电路形式如图 3 上图所示。

这种滤波器具有电路形式简单、增益调节方便、低输出阻抗等特点。本设计中信号频率范围在 0.15 ~ 130Hz,采用两个二阶低通滤波器和一个高通滤波器构成的带通滤波器,其组成是低通滤波器在前,高通滤波器在后。这样组织电路有其优点,低通滤波器可以先滤除大部分噪声和干扰,再经过高通滤波器时,可以减小高通滤波器的工作频带,提高电路的工作质量;为了防止产生振荡,滤波器的增益均为 1。利用由二个 Sallen - Key 滤波器级联组成四阶低通滤波器,这是为了使滤波特性曲线具有很好的截止特性。设计中两个 Sallen - Key 滤波器的截止频率也不一样,第一个低通滤波器的截止频率为 246Hz,选择参数使其下降沿有上翘,如图 3 中 VOL(1);第二个低通滤波器的截止频率为 130Hz,其衰减较缓慢,如图 3 中 VOL(3),两者合成后如图 3 中 VOL(2)。设计中没有采用两个一样的

二阶低通滤波器来构成四阶低通,是因为这种带上翘沿的电路可以防止频率高端增益下降。

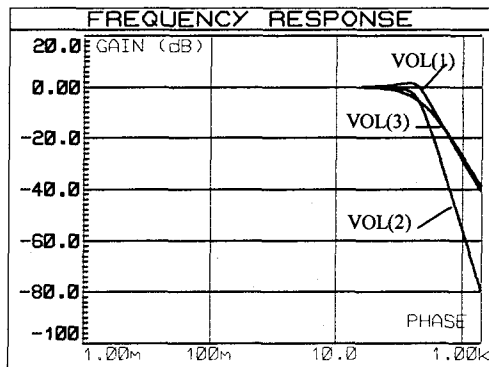
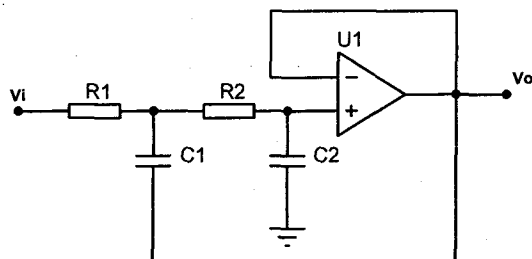


图 3 Sallen - Key 低通滤波器及幅频仿真结果

实际设计滤波器时,可以根据预先确定的截止频率及增益通过查表法确定电路中的电容及电阻的值,并尽量选取标准电容和电阻,通过电桥或万用表挑选各元件使之接近理论值。此外在设计第二个低通滤波器时为保证合成后频率高端增益不跌落,两个电容选取的容量是不同的,可以通过仿真软件调整电容容量保证频率高端增益平坦。

1.3 放大电路

放大电路采用三级放大形式,第一级为输入放大级,接到信号输入端,已在前面讲过;第二级为中间放大级,放在带通滤波之后;最后一级为末级放大级,放在光电隔离之前,50Hz 陷波之后。这样做的优点是:输入的信号很弱,和噪声是叠加在一起的,若输入级放大倍数太大,噪声和信号就会一起被放大,则噪声被加强,不利于后级去除噪声;初步放大的信号经过带通滤波器后噪声和干扰得到有效抑制,再将该信号送到中间放大级做进一步放大,这一级是主要放大级,末级只是一种补充放大,以补偿信号在传输中的损耗。后两级放大器采用典型的同相比例放大器。整个放大电路的增益等于各级增益的乘积,各级增益分别设置为:输入级为 51,中间级为 101,末级为 4,电路的总增益为 20604。运放使用 LMC6484^[3],LMC6484 也是常用的医用小信号放大器,其共模抑制比高。

1.4 陷波电路

陷波电路主要是滤除工频干扰。我们使用的各种仪器的电源均为市电或由市电通过一定的转换得到

的,而市电的频率为 50Hz(我国的市电频率)。这样工频就会串入电路中,这时工频干扰成为电路的主要干扰源,严重时将导致无法接收信号。这里陷波电路使用双 T 陷波电路^[4],其电路形式如图 4 上图所示:经计算 $R = R_1 = R_2 = 2R_3 = 31.8k\Omega$, $C = C_1 = C_2 = 0.5C_3 = 0.1\mu F$; R_5 为增益带宽调节电位器。

在双 T 陷波电路中,对于电路的电阻和电容有很高要求,为了使电路的中心频率正好在 50Hz 处,电阻和电容必须严格挑选。最后应调节电路中的电位器 R_5 , 使其对 50Hz 衰减最大,理论上可以达到只对 50Hz 起陷波作用。Protues 仿真软件对 50Hz 陷波电路仿真,仿真结果如图 4 所示。

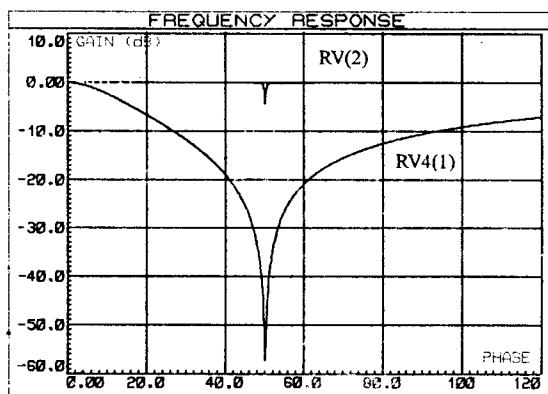
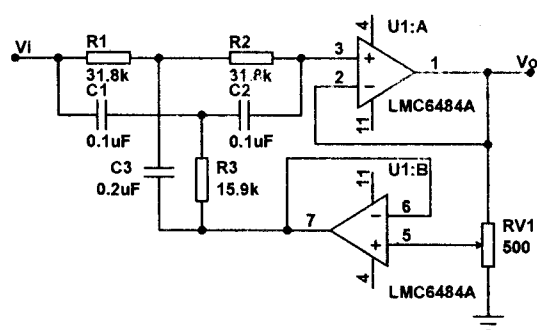


图 4 双 T 50Hz 陷波电路及其幅频特性

其中 RV(2)是使电位器位于 0% 时的结果, RV4 为(1)位于 100% 时的结果。

1.5 光电隔离电路

为了防止前面的干扰进入后面电路,采用光电隔离电路,将模拟部分和后面的数字部分隔开,这样也可以避免干扰信号通过地窜入后级以及前后电路地电位不相等带来的影响。

光电隔离的典型电路如图 5 所示,设计使用光电耦合器 TLP521-2,该电路的线性度很好,是典型的光电隔离电路。电路中 G_1 用来对输入端进行线性补偿, G_2 为光电输出管。图中电阻 R_1 是为了调整反馈系数,通过调整 R_1 使输入与输出保持线性关系,电容 C_1 提供一个快速反馈环节,它们可同时改善电路的稳定

性和频率特性^[5]。

在光电隔离电路中,一定要注意两个光电耦合器不能使用同一个电源,必须使前后级电源独立。若使用同一电源,因为直流电源在交流分析时是相当于接地的,这样前级信号可能通过地串入后级,对后级产生干扰。因此必须使前后级电源独立,这样前后级只能通过光电耦合器产生联系,使前级与后级真正隔离。

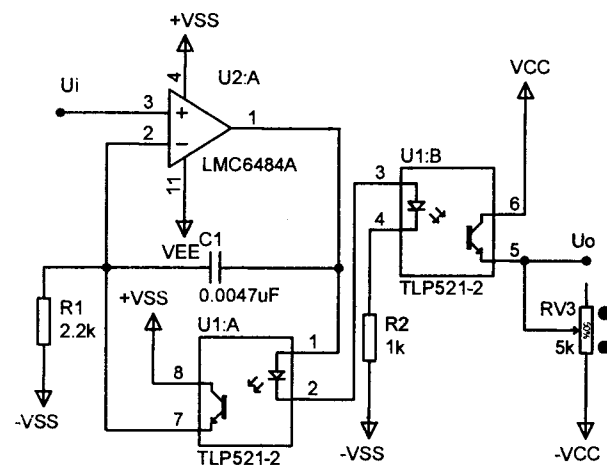


图 5 光电隔离电路

2 电路调试

微伏信号是将 1~10 毫伏信号通过 1:100 的电阻分压得到的,微伏信号范围为 10~100 μV 。实测结果如图 6 所示。

图 6 左上为输入信号为 100 μV 时的整体电路波特图,在 130Hz 之前电路放大效果较好,陷波中心对准 50Hz 处,且在 48 到 52Hz 之间衰减较大。图 6 左下为输入 70Hz、20 μV 的信号,图中幅值最高处为 70Hz 输入信号,由于陷波中心偏离 50Hz,因此工频影响严重,除输入信号外,输出还有 50Hz 及其各奇次谐波存在;但在输入信号强时影响较小,如图 6 右下输入 100 μV 信号时,波形清晰稳定,否则信号输入很弱时会产生调制,使输出信号幅值上下跳动,如图 6 右上输入 20 μV 信号时所示。为使陷波准确,实际调试可以先按理论值挑选各电容,然后以精密可调电阻代替各电阻,调整使其对准陷波中心频率,实测其 $R = 30.43k\Omega$, $C = 0.1\mu F$ 。

3 结论

从以上理论分析和实测结果可以得到,该电路对 10 μV 以上信号放大效果很好,对于输入 10 到 100 μV 之间的信号输出约在 200mV 到 2V 之间,可以满足一般采集电路的要求,电路中合理调整陷波电路中各元件参数,将使电路效果更理想。

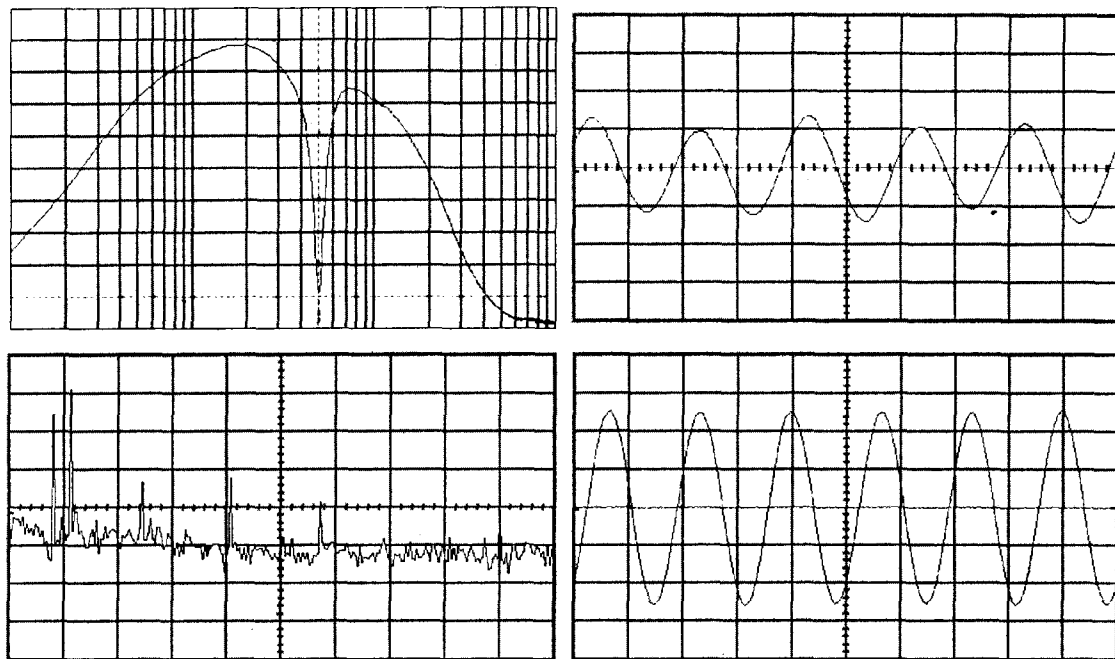


图 6 整体电路实测波特图、频谱图及输出波形

参考文献:

- [1] 田建君. 基于 USB 接口的心电信号数据采集系统[J]. 国外电子元器件, 2004(1): 22-24.
- [2] Baker B. 嵌入式系统中的模拟设计[M]. 李喻奎译. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.
- [3] 李树靖. 线性光耦合器 LOC110 的原理与应用[J]. 世界电子元器件, 2002, 12: 44-46.
- [4] 谈文心, 钱 聪, 宋云娟. 模拟集成电路——原理及应用[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1997.
- [5] 曾小青, 李旭光, 熊政纲, 等. 光电耦合器在医疗仪器中的线性应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2002, 19(3): 179-183.

(上接第 197 页)

两级知识库中。由知识发现子单元预生成的知识则只在二级知识库中体现出来, 一级知识库只在通过向下查找时才更新。两级知识库都满时要对知识进行替换, 这时可以根据企业实际情况来采取合适的算法, 比如先进先出, 最近最久未使用, 采用优先级等。笔者认为在多数情况下可以采用 LRU 算法。知识发现子单元可以采用现有的 DBMS 来实现, 当然也可以通过其它的中间件、组件等来实现。

3 结束语

传统的企业信息门户和和企业管理决策系统是分离的两大系统, 相互之间没有必然的联系, 各有优点也各有缺点。文中引入的智能管理决策门户将两者有机地结合起来, 采用企业信息门户技术来实现传统的企业管理决策系统, 充分利用 Web 表现形式多样化的特点和 BI 强大的知识发现能力来满足用户的需求。通过引入两级知识库、知识预生成、知识替换机制来解决网络传输瓶颈问题。在系统的实现方面采用分层结构, 由于系统各部分的功能脱离, 不相互依赖, 体现了

可维护性、可拓展性设计目标, 整个系统的运行效率也得到大幅度提高, 从而给出了一种较好的解决方案。

参考文献:

- [1] 熊忠阳. 面向商业智能的并行数据挖掘技术及应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2004.
- [2] 郑 炜, 韩 毅, 宋绍成. 商业智能门户应用策略研究[J]. 现代情报, 2006(5): 183-186.
- [3] 冯 博, 朱穗晖. J2EE1.4 程序设计教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [4] 夏国恩, 金炜东, 张葛祥. 商务智能在中国的现状和发展研究[J]. 科技进步与对策, 2006(1): 173-176.
- [5] Athey D E, Albrecht J R, Tosten R S. Caching Techniques for Dynamic Personalized Content in an Enterprise Knowledge Portal[C] // International Conference on Internet Computing (IC'03). [s.l.]: [s.n.], 2003: 31-36.
- [6] Watson H J, Wixom B H, Hoffer J A, et al. Real-time business intelligence: Best practices at Continental Airlines[J]. Information Systems Management, 2006, 23(1): 7-18.
- [7] McADAMS J. WHAT'S NEXT: BUSINESS INTELLIGENCE[J]. Computerworld, 2006, 40(1): 24-26.