

文章编号:1000-582X(2006)06-0051-03

新型脑电信号前置级放大电路设计

王三强,何 为,石 坚

(重庆大学 电气工程学院 高电压与电工新技术教育部重点实验室,重庆 400030)

摘 要:脑电信号检测中前置级放大电路是信号预处理中最关键的环节,其设计优劣直接关系到脑电数据采集系统的精度,在现有生物电放大器研究的基础上,改进并设计了一种符合脑电信号特征的新型高性能前置级放大电路,该电路避免了传统生物电放大电路冗繁的模拟滤波环节,结构简单,调试方便.文中对该电路作了详细的理论分析和实验论证,实验结果证明,该电路达到了设计要求,为脑电放大器及其它微弱生物电放大器的研制及发展提供了一个新思路.

关键词:脑电信号;前置放大;极化电压;共模抑制比

中图分类号:TM935.2

文献标识码:A

脑电信号检测应视为微弱信号检测的一种,脑电信号的输入信噪比可达 $1:10^5$,而脑电信号的幅值属于微伏级.因此,只有抑制噪声,才能检测出信号.脑电图机是伴随着现代电子技术的发展而不断完善的,但其基本测量原理没变:通过专用的电极提取脑电信号,经过差分放大电路进行前置放大、必要的信号处理以及后级放大.在这样的多级放大电路中,前置级放大电路设计的优劣直接关系着整个脑电数据采集系统的精度,必须充分重视^[1].

在研究脑电信号的放大过程中,笔者把心电信号作为参照.脑电信号和心电信号都具有不稳定性、非线性和随机性的基本特征,都属于微弱的生物电信号,具有强干扰的背景,检测放大的工作原理基本相同.但由于脑电信号的幅值范围为 $10\ \mu\text{V}$ 到 $100\ \mu\text{V}$,比标准心电信号微弱得多,因此脑电图机的放大增益比心电图机的放大增益也要高得多,心电图机一般放大1 000倍左右,而脑电图机则需要放大20 000倍以上.其次由于信号太微弱,相对于心电信号检测,同样大小的共模干扰对脑电信号检测将会造成更严重的影响,因此要求脑电图机具有比心电图机更高的共模抑制比,心电图机的共模抑制比一般为80 dB,而脑电图机的共模抑制比应在120 dB以上.再次,脑电电极比心电电极要小得多,所以它具有较高的信号源阻抗,要求在前置级放大电路的设计中,脑电图机应该比心电图机具有更高的输入阻抗,其值至少应大于 $10\ \text{M}\Omega$,而心电图机前置放大器的输入阻抗一般要求大于 $2\ \text{M}\Omega$ 即可^[2].

心电图机和脑电图机的前置级放大电路通常采用差动电路结构.为最大限度地提高输入阻抗及共模抑制比,目前生物电放大器前置级电路普遍采用的是由O'Brien提出的非常经典的同相并联结构的前置级放大电路^[3].这种结构的电路由3个基本运算放大器构成,其中2个组成同相并联输入第一级放大,以提高放大器的输入阻抗,另一个为差动放大,作为放大器的第二级,其共模抑制比取决于第一级放大电路中2个运放共模抑制比的对称程度、第二级放大电路运放的共模抑制比、差动放大级的闭环增益以及电阻的匹配精度等.早期生物电信号尤其是脑电信号的采集往往因为器件的因素而无法取得很好的效果.

近年来,微电子技术得到迅猛的发展,出现了许多高性能的由同相并联结构的三运放电路集成的仪表放大器,如美国TI公司、BB公司和Linear公司等生产了很多不同档次的集成化仪表放大器,为设计生物电放大器提供了充分的选择,为在集成化的仪表放大器的基础上设计生物电信号前置级电路提供了较为便利的条件.

1 生物电前置级电路分析

以BB公司的仪表放大器INA128为例,其内部电路如图1所示.

当由该电路构成生物电信号前置级放大电路,只要将第5脚接地,3脚和2脚接差动输入,8脚和1脚接调节增益的电阻,INA128最大增益可达到10 000倍,经过激光调节,器件内部电阻精度很高,运放对称度高.

• 收稿日期:2006-01-20

作者简介:王三强(1975-),男,黑龙江齐齐哈尔人,重庆大学硕士研究生,主要从事生物电测量及电子检测方面的研究.

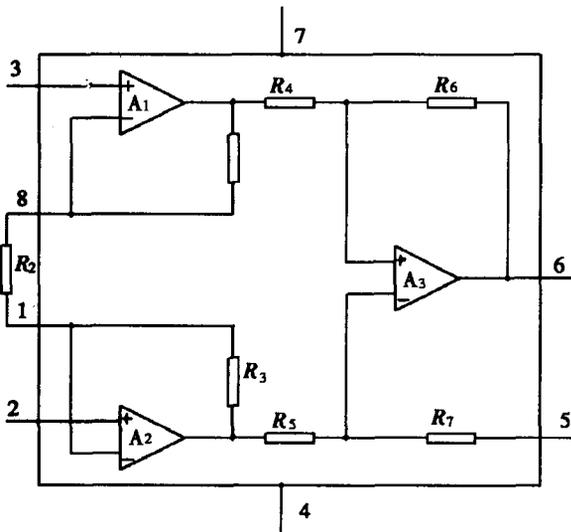


图1 INA128集成的三运放电路内部结构图

但在实际的脑电信号提取中,由于与电极接触的是电解质溶液,如导电膏、人体汗液或组织液,因而会形成一个金属电解质溶液界面。由电化学知识可知,在金属和电解液之间会形成电荷分布,产生一定的电位差,称为电极极化电压。极化电压的幅值一般较高,在几毫伏到几百毫伏之间。理想情况下,在用双电极提取人体两点间电位差时,两电极保持对称就可使极化电压互相抵消,但实际上,由于极化电压与通过电极电流大小、电极和皮肤接触阻抗不对称等很多因素有关,所以不可避免造成干扰,尤其当电极和皮肤接触不良,干扰将更严重。如果在仪表放大器的前端不做处理,毫伏级的极化电压经过放大倍数设置过高的仪表放大器,势必造成信号的饱和^[4-6]。

极化电压的存在给生物电信号前置级电路的设计增加了较大的难度,为避免信号在进入滤波处理的过程中出现大的失真,希望前置级电路尽可能大地提高放大倍数。

有一种解决方案是在仪表放大器的前端加上高通RC电路,滤除低于0.5 Hz以下的低频干扰,由于极化电压是直流成分,自然可以去除掉。但这个电路的缺点其一是降低了放大器的输入阻抗,其二是由于脑电信号的信号源的内阻高,且两输入端不平衡,隔直电容(高通网络)使共模干扰转变为差模干扰,电磁干扰尤其是50 Hz工频干扰窜入电路,极大地影响了电路性能。

2 新型高性能的脑电前置级电路设计

图2是笔者在实验中用到的新型高性能的脑电前置级电路。这个电路采用了2个仪表放大器共同构成脑电前置放大电路,实际上就是2个同相并联结构的前置放大电路的级联,由于隔直电容与 R_{g1} 串联,前置

级第一级电路的放大增益不可能设置得很高,采用INA121作为第一级放大电路主要是从成本上考虑,INA121可调放大增益和共模抑制比要低于INA128,所以图中采用了浮地跟踪电路进一步提高第一级电路的共模抑制比。

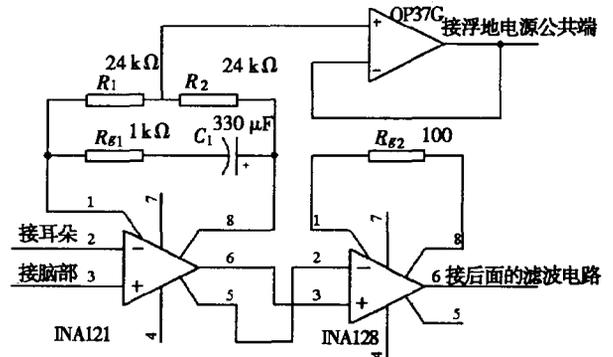


图2 新型高性能脑电前置级电路

从理论上计算整个电路的共模抑制比为:

$$CMRR = CMRR_1 \times CMRR_2 = \frac{A_{1d}}{A_{1c}} \times \frac{A_{2d}}{A_{2c}}$$

而整个电路的放大倍数为:

$$A_d = A_{1d} \times A_{2d} = \left(1 + \frac{50}{R_{g1}}\right) \times \left(1 + \frac{50}{R_{g2}}\right)$$

式中CMRR为电路总的共模抑制比;CMRR₁为第一级电路的共模抑制比;CMRR₂为第二级电路的共模抑制比;A_{1d}、A_{1c}、A_{2d}、A_{2c}分别为第一级电路和第二级电路的差模增益和共模增益。

由图2所示电阻参数可以计算出电路的放大倍数为25 000倍,理论上其共模抑制比可达到200 dB。

由于脑电信号源的高阻抗,干扰极易通过脑电极进入两输入端,由于两输入端阻抗总是不平衡的,共模干扰转化为差模干扰,把输入端的接地端浮置并跟踪共模电压,即相当于器件的偏置电压都跟踪共模输入电压。这样,共模电压不能随着信号一起被放大,从而放大器输出端产生的共模误差电压便被大大削弱,这就相当于提高了放大器的共模抑制能力。第二级电路放大增益可设置到10 000,但实际应用中如果放大增益设置过高,可能影响信号的线性度,一般将增益设定为几百倍。

为了消除极化电压,本电路巧妙地把隔直电容与可调增益电阻串联,从而避免了在输入端接入阻容元件而降低放大器的输入阻抗。因为脑电信号的下限频率为0.5 Hz,根据 $f = \frac{1}{2\pi RC}$, $R = 1 \text{ k}\Omega$ 时, $C = 330 \text{ }\mu\text{F}$ 。

利用该电路提取脑电信号,可得到如图3所示波形。

由图3可看出,脑电波仍然淹没在50 Hz工频干扰中,但已经能看出脑电波的变化趋势。而传统的脑电

前置级电路由于电路放大倍数过低,必须经过繁琐的模拟滤波环节在后级放大方可检测到脑电波形.为获得清晰、干净的脑电波,只需要在前置级放大电路后面加上简单的滤波电路.如图4所示即为加上陷波深度为40 dB的50 Hz陷波器后在输出端测试到的脑电波形.

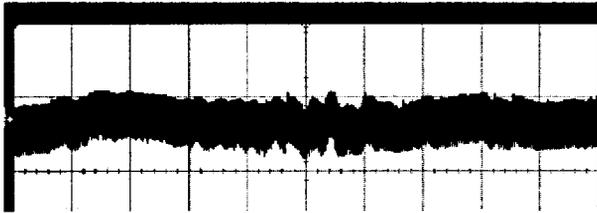


图3 利用图2电路所采集到的脑电波

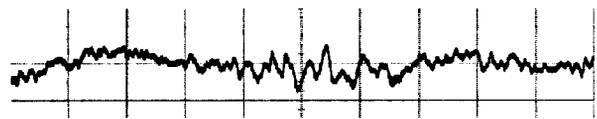


图4 前置级电路得到的脑电波形

3 结论

实验中笔者试用这个电路进行脑电信号的前置级放大,效果较为理想,虽然仍然需要滤波电路去除工

频干扰,但相对于传统的脑电检测电路,这个电路已经简化很多了,这对于设计小巧的多通道脑电图机具有实际的借鉴意义.同时,因为电路在前置级即放大几万倍,可使脑电波形最大程度地不失真.当然,从图4中可以看到,这种方式得到的脑电波形基线漂移还比较大,还需要在后面的电路中进行抑制.笔者提出的脑电信号前置级放大电路结构简单,调试方便,效果良好,为脑电放大器及其它生物电放大器的研制提供了一个新思路.

参考文献:

- [1] 李刚,林凌. 新型的高性能生物电放大器[J]. 天津大学学报(自然科学版),2002,32(5):52-57.
- [2] 黄远桂,吴声伶. 临床脑电图学[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1984.
- [3] 余学飞. 医学电子仪器原理与设计[M]. 广州:华南理工大学出版社,2000.
- [4] 冯应琨. 临床脑电图学[M]. 北京:人民卫生出版社,1979.
- [5] 肖忠祥. 数据采集原理[M]. 西安:西北工业大学出版社,2001.
- [6] 曾庆勇. 微弱信号检测[M]. 杭州:浙江大学出版社,1986.

New Design of Pre-amplification Circuit for EEG Signals

WANG San-qiang, HE Wei, SHI Jian

(Key laboratory of High Voltage Engineering and Electrical New Technology, Ministry of Education, Electrical Engineering College of Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: In the measurement of EEG signals, the pre-amplification electrical signal of brain is the most important and key link. Whether the design is excellent or inferior is related to the electrical signal detection system of brain directly. The design of this circuit has been paid attention to by domestic and international expert all the time. On the basis of existing biological electricity amplifier which is studied, the authors consult the electric amplifier circuit of living beings designed, such as reference, improve and design a new-type and high performance electrical signal characteristic of brain in. The circuit has prevented the traditional design from enlarging the miscellaneous simulation of the circuit and straining the wave link, otherwise, this circuit is of simple structure, low cost, and convenient debugging. The paper has detailed theoretic analysis and experimental results to prove this circuit, which offered a new train of thought for research and development of brain electrical amplifier and other faint biological electricity amplifiers. This circuit has been expected to win extensive application.

Key words: electric signal of brain; enlarge leadingly; polarise the voltage; altogether mould restrain than

(编辑 李胜春)