

高精度、高稳定度极微弱信号放大器的设计

1、摘要

当代,由于各类传感器输出的信号多为微弱的电压信号,而测量仪器需要将这些微弱的电压信号经放大器放大后接入 A/D 转换器供计算机处理。因此该仪器中微弱信号放大器的精度、稳定度的高低直接关系到仪器性能的好坏。而笔者所设计的电路是对极微弱的交流电压进行放大,系统要求将 $0\text{--}50\mu\text{V}$ 的极微弱交流信号放大到 $0\text{--}2.5\text{V}$, 供 24 位 A/D 转换器使用。因此对该放大电路的稳定性、线形等指标要求很高。在所设计的放大电路中,采用了 INA118 高精度、低噪声仪表放大器,在电路的各个功能模块中,分别采用了虚地、分级滤波等各种去除噪声的措施。使电路的各项性能指标都达到要求。

关键词: 微弱信号, 仪表放大器, 分级滤波。

2、放大电路设计

图 1 为一般集成运算放大器构成的具有抑制共模干扰的典型电路。由于该电路采用

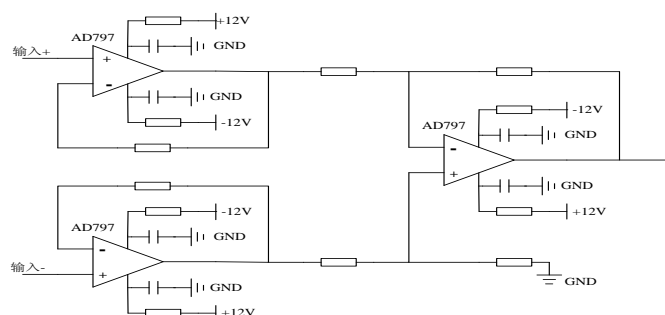


图 1 放大电路

分立元件构成,噪声进入系统的渠道很多,对系统的精度影响较大,对一般放大器来讲是可以满足要求的,但对输入为微伏级的微弱信号来说,噪声已完全淹没了信号,在输出端无法鉴别出来。由于电源与信号共地,共地串入的干扰对系统的精度也有较大的影响。

实验证明,该系统无法对微弱信号进行有效的抑制噪声,而且噪声的源头较多,输入电压 $0\text{--}50\mu\text{V}$ 内,放大器的放大倍数线性较差 ($\Delta A_v = 5\%$)。达不到高精度、高稳定度测量极微弱信号的要求。

仪表放大器经过快速的发展,现已出现了很多型号的集成仪表放大器,如 AD625、AD620、AD624、AD522 等。也出现了一些高精度,高稳定度的集成仪表放大器,如 INA118、INA112、INA2118 等。该电路采用的 INA118 集成仪表放大器,它是一种精密、低功耗集成仪表放大器,其主要参数为: 供电电压范围: $1.35\text{V}\text{--}\pm 18\text{V}$; 增益范围为: $1\text{--}1000$; 最大增益误差($G=1000, 25^\circ\text{C}$): 0.5% ; 共模抑制比为: 110dB ; 失调电压漂移: $\pm 0.5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$;

噪声为: $9\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。实际电路如图 2。

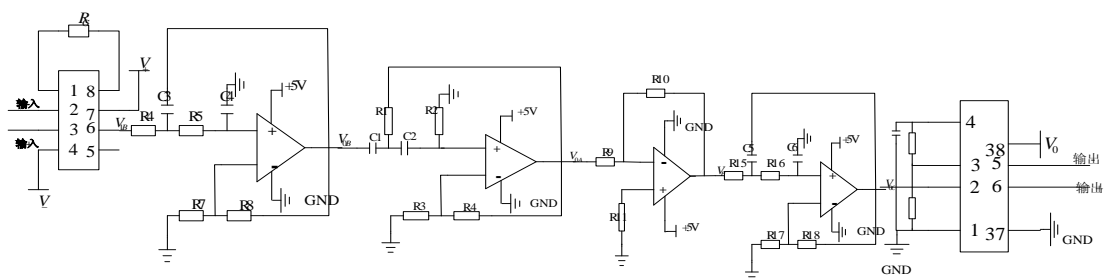


图 2 放大电路图

对于放大器而言，特别是微弱输入信号和高增益的放大器，在输入端的任何微小的干扰信号都可能导致工作异常，因此采用放大器的虚地技术，可以阻断干扰信号的进入，提高放大器的电磁兼容能力。将输入信号定为 $V=40\mu V$ 、 $f=3Hz$ ，其各阶段波形经过计算机处理。信号首先经过仪表放大器 INA118 的放大。

(I) 前置放大电路

主要由仪表放大器 INA118 构成。图 3 是 INA118 的内部结构图，该仪表放大器的放大倍数由 R_G 决定。

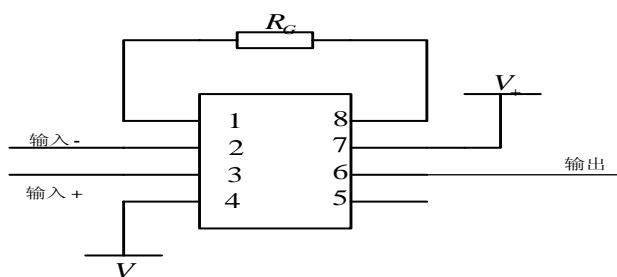


图 3 INA118 放大电路图

由于我们需要放大的是极其微弱的电压信号，噪声的幅度远远大于信号的幅度，如果将 INA118 的倍数调的过大，就会导致后续放大电路的饱和，设计的仪表放大器放大倍数为

$$A_{V1} = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G} = 6\text{倍}$$

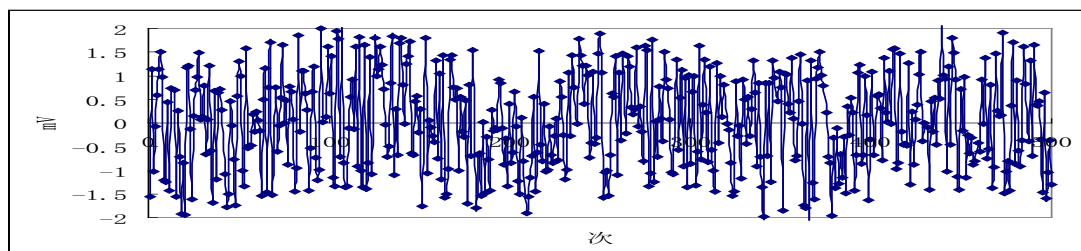


图 4 INA118 的输出信号

由于噪声与信号同时放大，不利于后续放大电路的工作，所以，信号经仪表放大器放大后需要进行滤波，而普通的一阶高通、低通滤波电路，由于滤波陡度较为平缓，滤波效果较差，不能有效地达到我们的要求，在本系统中采用二阶压控高通、低通滤波电路。有效地滤出了噪声。

(II) 二阶压控低通、高通电路

其二阶低通滤波电路如图 5。

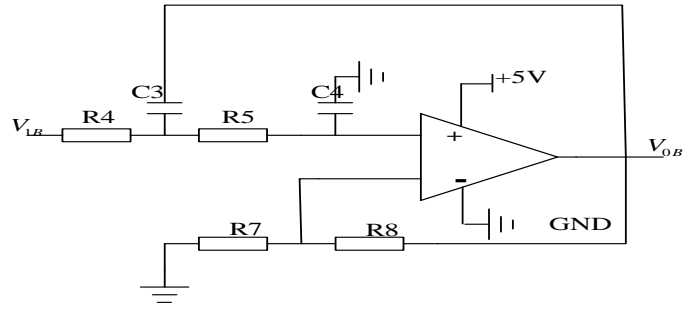


图 5 二阶低通滤波电路

其传递函数为：

$$A(s) = \frac{V_{OB}}{V_{IB}} = \frac{A_{VF1}}{1 + (3 - A_{VF1})sC_3R_4 + (sC_3R_4)^2}$$

其中： $A_{VF1} = 1 + \frac{R_4}{R_3} = 2$

低通滤波截至频率为： $f_L = \frac{1}{2\pi R_4 C_3} = 15.3Hz$

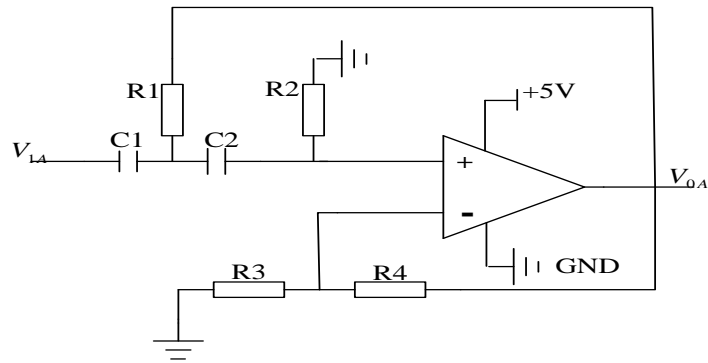


图 6 二阶高通滤波电路

在图 6 中其电路的传递函数为：

$$A(s) = \frac{V_{OA}}{V_{IA}} = \frac{A_{VF2}}{1 + (3 - A_{VF2})\frac{1}{sC_1R_1} + (\frac{1}{sC_1R_1})^2}$$

其中： $A_{VF2} = 1 + \frac{R_8}{R_7} = 2$

高通滤波截至频率为： $f_H = \frac{1}{2\pi R_1 C_2} = 0.338Hz$

其波形如图 7：

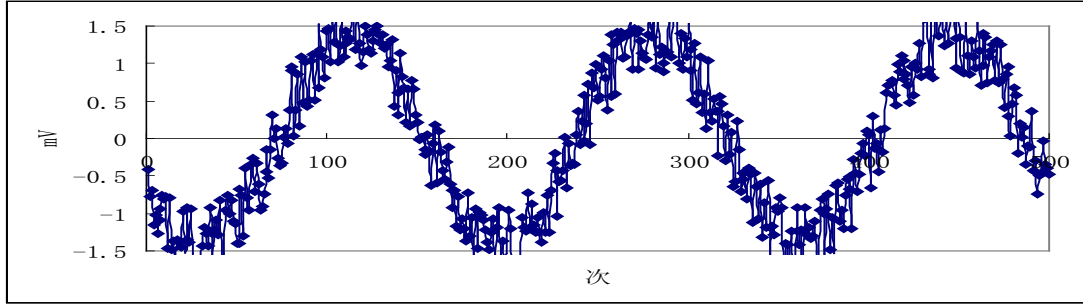


图 7 滤波电路的输出信号

可见，经过滤波电路，噪声分量被有效的去除，需要放大的信号基本看见轮廓。但信号的幅度较小，信噪比较低，不利于计算机的处理。故需继续放大。

(III) 中间级放大电路

中间级放大电路，采用反向比例放大电路，按照前置放大电路的设计思想，由于噪声与信号同步被放大，而噪声的幅度较大，所以在每级放大电路的后端接滤波电路。在中间级放大电路中，噪声主要来源于相对于有用信号的高频成分，所以在放大电路的输出端接低通滤波电路。这样有利于后续放大电路的工作，有效地提高了信噪比。其中中间级放大电路 I 如图 4。

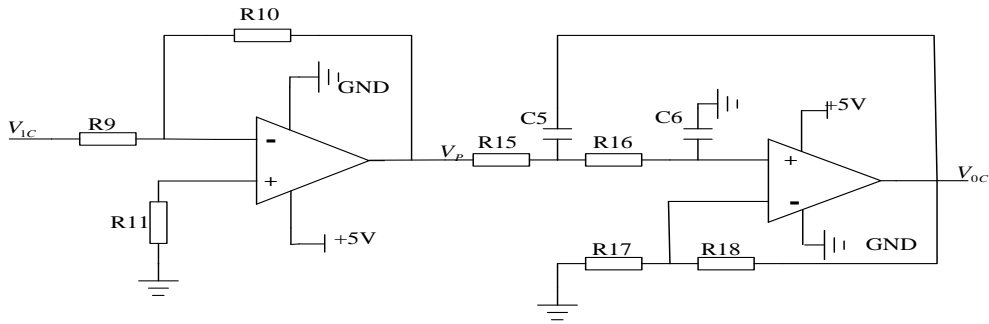


图 8 中间级放大电路 I

其反向比例放大电路的放大倍数由 R9、R10 控制： $A_{VF1} = \frac{V_P}{V_{IC}} = \frac{R10}{R9} = 15$

二阶压控低通滤波电路的传递函数为：

$$A(s) = \frac{V_{0C}}{V_P} = \frac{A_{VF3}}{1 + (3 - A_{VF3})sC_5R_{15} + (sC_5R_{15})^2}$$

之中： $A_{VF3} = 1 + \frac{R_{18}}{R_{17}} = 2$

低通截至频率为： $f_L = \frac{1}{2\pi R_{15}C_5} = 15.3Hz$

中间级放大电路 II 如图 9 所示，其反向放大电路电路与 I 相同，由于每级放大电路输出后都经过了二阶滤波，经过中间级放大电路 I 输出的电压信号已经大于噪声的幅度，在中间级放大电路 II 中的反向放大电路输出后接一阶低通电路即可满足滤波要求。在一阶低通滤波电路的输出端接跟随电路，有效地提高了系统的带载能力。

图 9 中反向比例放大电路的放大倍数由 R12、R13 控制：

$$A_{VF4} = \frac{V_{P1}}{V_{1D}} = \frac{R13}{R12} = 15$$

其一阶低通滤波的截至频率为： $f_L = \frac{1}{2\pi R_{LA} C_{013}} = 15.3Hz$

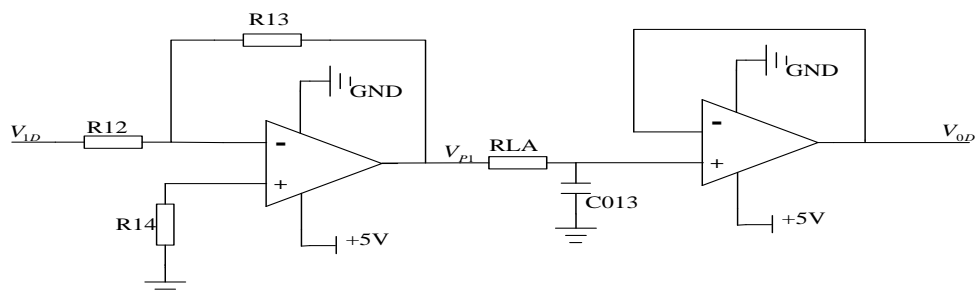


图 9 中间级放大电路 II

其波形如图：可见现在的波形很好，电路的信噪比高，非常有利于计算机处理。

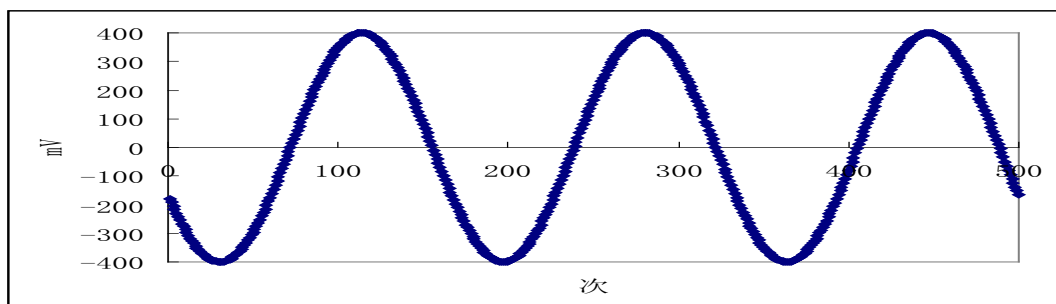


图 10 中间级放大电路输出信号

3. 放大器的线性及重复性

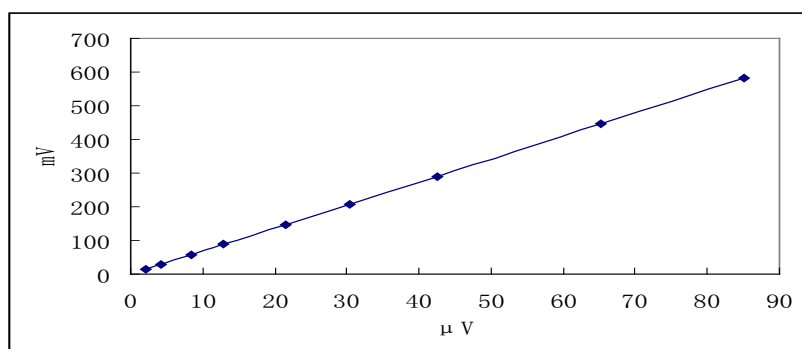


图 11 放大器线性图

其中实测幅度数据均为经过 10 次累加平均，排除了系统误差的干扰。分析数据可以发现，放大器是线形工作的，实验数据满足 24 位 A/D 要求。经分析放大电路的误差为 0.5%。

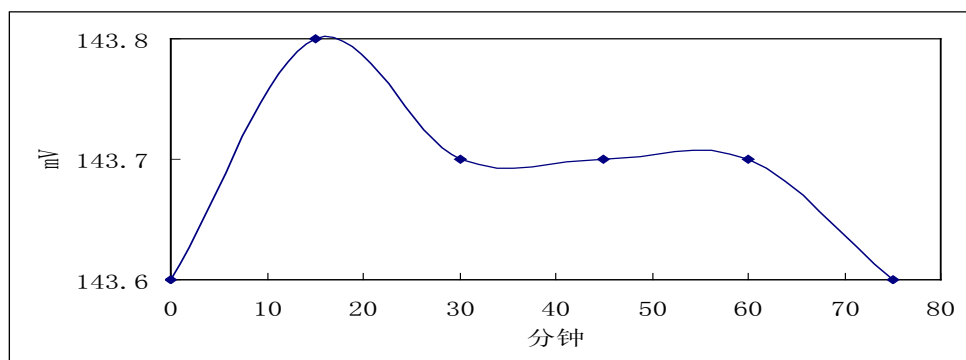


图 12 放大器的重复性图

如图 12 可以看出，放大器的重复性很好，完全可以满足要求。其误差小于 0.07%。

综上所述，放大器的各项性能指标均能满足设计要求，电路的设计采用逐级放大、逐级滤波的设计思路，在每次放大之后紧接着进行滤波处理，起作用是有有效的去除掉噪声，便于后续放大电路的工作。有大量的实验结果得出：该电路其线性、重复性很好，精度能满足要求。是一种可靠高精度、高稳定度极微弱信号放大电路。