

高精度、高稳定度微弱信号放大器的设计

任志山, 黄春耀

(龙岩高等师范专科学校 物理系, 福建 龙岩 364000)

摘要: 根据 ICL7650 的特点及仪用放大器的原理设计一种微弱信号放大器, 该电路能将极其微弱信号 (0-5mV), 精确、稳定的放大到能被单片机系统直接处理的信号 (0-5V), 具有一定的实用价值, 并详细探讨了在实际电路设计过程的各注意事项。

关键词: ICL7650; 仪用放大器; 微弱信号放大器

中图分类号: TN722 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-7826 (2003) 03-0042-04

1 前言

由于现今各类传感器输出的信号多为微弱的直流电压信号, 而测量仪表大都使用单片机控制, 这就需要将些微弱的直流电压信号经放大器放大后接入 A/D 转换器供单片机处理, 因此该仪表中微弱信号放大器精度、稳定度的高低直接关系到仪表性能的好坏。笔者所要设计的微弱信号放大器, 系统要求将 0-5mV 的微弱直流信号放大到 0-5V, 供 12 位 A/D 转换器使用, 即转换精度达到 1.2mV, 因此对该放大器的稳定性、线性等技术指标要求很高。笔者选用 ICL7650 集成运算放大器, 采用仪用放大器电路的设计方案, 设计出高精度、高稳定度的微弱信号放大器。

2 集成运算放大器的选择

2.1 ICL7650 的选择

笔者原计划直接选用仪用放大器, 虽然仪用放大器的输入阻抗高, 易于与各种信号源相匹配, 且稳定性也较好, 但由于本系统对微弱信号放大器的精度、稳定度的要求很高, 选用了几种性能较好的仪用放大器皆不能满足要求, 最后选用集成运算放大器 ICL7650。ICL7650 是 Intersil 公司利用动态校零技术和先进的 CMOS 工艺制成的斩波稳零式高精度运算放大器, 具有超低失调和超低漂移、高增益、高输入阻抗的特点, 性能极为优越稳定, 因而在精密仪表及过程控制系统中作为前置放大器应用很广。

2.2 ICL7650 的主要特点

超低失调电压: $5\mu\text{V max}$

超低漂移: $0.02\mu\text{V/}^\circ\text{C}$

超低输入漂移: 20pA max

高增益: 135dB min

高共模抑制比: 120dB min

收稿日期: 2003-05-08

作者简介: 任志山 (1964-), 男, 四川安岳县人, 讲师, 学士。

高输入电阻: $10^{12}\Omega$

尤其是它具有其它高阻运放所没有的自动稳零的优点, 适合作高精度高稳定度的微弱电流信号放大电路。

2.3 ICL7650 的芯片结构

ICL7650 采用 14 脚双列直插式和 8 脚金属壳两种封装形式, 图 1 所示是最常用的 14 脚双列直插式封装的引脚排列图。

各引脚的功能说明如下:

- C_{EXTB}: 外接电容 C_{EXTB};
- C_{EXTA}: 外接电容 C_{EXTA};
- IN: 反相输入端;
- +IN: 同相输入端;
- V-: 负电源端;
- C_{RETN}: C_{EXTA} 和 C_{EXTB} 的公共端;
- OUT CLAMP: 箱位端;
- OUTPUT: 输出端;
- V+: 正电源端;
- INT CLKOUT: 时钟输出端;
- EXT CLKIN: 时钟输入端;

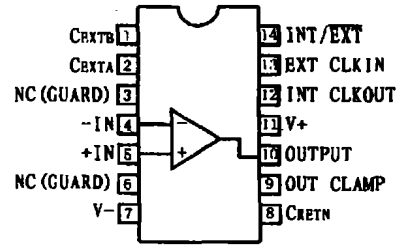


图 1 ICL7650 的引脚排列图

INT/EXT: 时钟控制端, 可通过该端选择使用内部时钟或外部时钟。当选择外部时钟时, 该端接负电源端 (V-), 并在时钟输入端 (EXT CLKIN) 引入外部时钟信号。当该端开路或接 V+ 时, 电路将使用内部时钟去控制其它电路的工作。

3 放大电路设计

一些文章中介绍的用 ICL7650 设计的测量微弱信号的前置放大电路如图 2 所示:

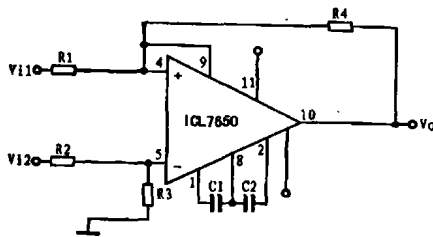


图 2

图 2 前置放大电路图

该电路为差分式放大电路, 输入电阻不高 ($R_i=R_1, R_2$), 会使输入的微弱信号产生衰减, 在 V_i 为 0~5mV 范围, 放大器放大倍数线性较差 ($\Delta A_v \approx 40\%$), 而且稳定度也不高 (约有 $\pm 10\text{mV}$ 波动), 完全达不到高精度、高稳定度测量微弱信号的要求。现根据仪用放大器原理设计成高精度、高稳定度的直流微弱信号放大电路。

3.1 仪用放大器的原理

仪用放大器的原理电路如图3所示,

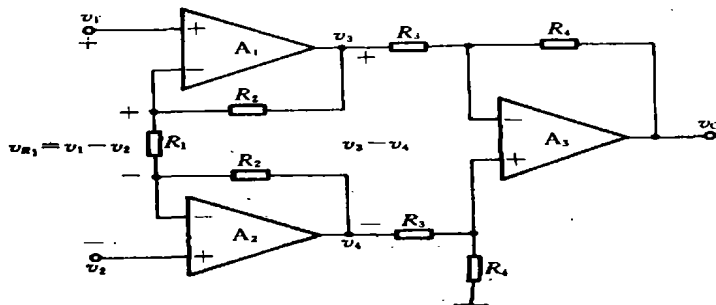


图3 仪用放大器的原理电路

运放 A1、A2 组成第一级差分电路, A3 组成第二级差分式电路。在第一级电路中, v_1 、 v_2 分别加到 A1 和 A2 的同相端, R_1 和两个 R_2 组成的反馈网络, 引入了深度的电压串联负反馈, 两运放 A1、A2 的两输入端形成虚短和虚断, 因而有 $v_{R1} = v_1 - v_2$ 和 $v_{R1} / R_1 = (v_3 - v_4) / (2R_2 + R_1)$, 故得

$$v_3 - v_4 = \frac{2R_2 + R_1}{R_1} v_{R1} = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right) (v_1 - v_2)$$

根据差分放大器的原理, 可得:

$$v_0 = -\frac{R_4}{R_3} (v_3 - v_4) = -\frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right) (v_1 - v_2)$$

该放大器第一级是具有深度电压串联负反馈的电路, 所以它的输入电阻很高。若 A1、A2 选用相同特性的运放, 则它们的共模输出电压和漂移电压也都相等, 再通过 A3 组成的差分式电路, 可以互相抵消, 故它有很强的共模抑制能力和较小的输出漂移电压, 同时该电路有较高的差模电压增益。因为后一级是差分式电路。输出阻抗也很低。

3.2 实际电路的设计

由于整个电路的失调电压及漂移与第一级有密切关系, 因此 A1、A2 选用了具有超低失调电压和超低漂移的 ICL7650 集成运放, 而且第一级承担仪用放大器的全部放大作用, 则取 $R_2=1\text{M}$, $R_1=2\text{K}$, $R_3/R_4=1$ 。因为第二级的漂移和失调电压对整个电路的作用大大降低, 但其共模抑制比 CMRR 对整个电路的 CMRR 影响很大, 因此第二级选用价格更为低廉性能也较优越的低漂移集成运放 OP07。OP07 的失调电压为 $45\ \mu\text{V}$, 温漂为 $0.3\ \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, 增益为 $450\ \text{V/mV}$, 共模抑制比为 $123\ \text{dB}$, 是一种应用很广泛, 性价比很高的集成运放, 其 CMRR 基本能满足本系统的要求。本电路因第一级增益较大, 易引起自激振荡, 因此在 2 个 1M 的电阻两端加上 150pF 的电容。ICL7650 是一种斩波稳零的运放, 斩波频率低 (200Hz), 其输出信号中含有斩波尖峰噪声, 因此第二级差分运放电路同时又做为低通滤波器, 该低通滤波器要有较大的时间常数, 这里选用 $C=1.0\ \mu\text{F}$, $R=10\text{K}\ \Omega$ 的二级有源滤波器电路, 其特征频率 $f_n=1/2\pi RC=15.9\text{Hz}$, 因此对斩波噪声及其它干扰信号抑制效果较好。具体电路参见图 4。

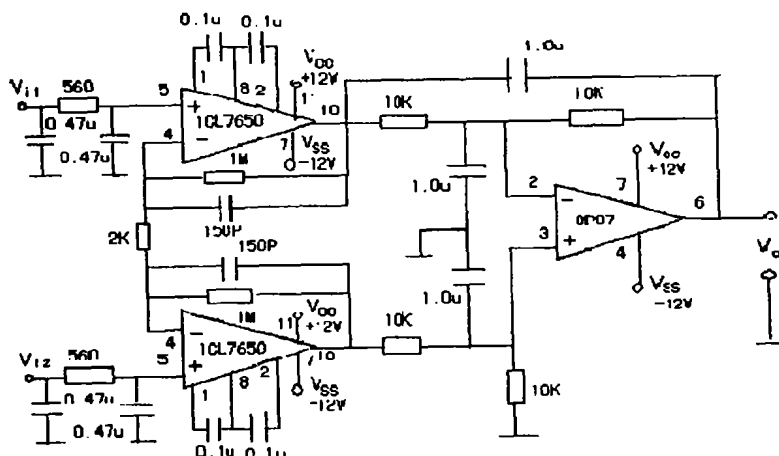


图4 微弱信号放大器原理图

3.3 电路制作工艺

要精确、稳定地测量微弱信号,电路工艺也是成败关键,在电路和制作时应注意以下事项:

工作电源必须稳定、噪声低,电阻选用高精度、低噪声的金属膜电阻,电容选用低噪声瓷介、云母或钽电容,信号输入线采用尽量短的屏蔽电缆;电路板选用漏电流远小于 μA 级的高绝缘电路板;并且线路采用一点接地,整个放大器采用金属屏蔽。

4 测试结果与结论

4.1 测试结果

笔者设计的微弱信号放大电路,经过长时间通电测试,输出电压漂移仅为 $\pm 1\text{mV}$,稳定度较高。放大倍数测量数据表1,从表1中可以看出 $\Delta A_v=9.7$, $\Delta A_v\%=0.97\%<1\%$,线性度良好,能满足高精度测量的要求。

表1 微弱信号放大器线性

$V_i(\text{mV})$	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00
$V_o(\text{mV})$	99.31	198.64	397.60	597.40	798.70	998.80	1501.20	2002.00	3006.00	4009.00	5014.00
A_v	993.1	993.2	994.0	995.7	998.4	998.8	1000.8	1001.0	1002.0	1002.5	1002.8

4.2 结论

从测试结果可以看出,该微弱信号放大器具备高稳定度,高精度的特点。并可通过改变图3中 R_1 、 R_2 的阻值,改变整个放大电路的放大倍数,调节较方便。本电路可适用于各类需要精确测量微弱信号的电子仪表中作为稳定、精确的前置放大电路,有一定的实用价值。

参考文献:

- [1] ICL7650 datasheet From [Http://www.intersil.com](http://www.intersil.com).
- [2] 吴祖国. ICL7650 斩波稳零运算放大器的原理及应用[J]. 国外电子元件, 2003,(4): 41-42.
- [3] 康华光. 电子技术基—模拟部分(第四版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999. 331-333.