# 十九 放大器深入

## 一、低噪声/微弱信号放大器

**NE5534运放**

NE5532或NE5534是音响专用低噪声集成运算放大器，NE5534最大特点是较宽的单位增益宽带，典型值为10MHz。增益为60dB（1000倍），输入信号幅值一般不超过10mV。

在低闭环增益条件下，为防止NE5534电路自激振荡，需要添加外部补偿电路，见图1；较高闭环增益时无需外部补偿。

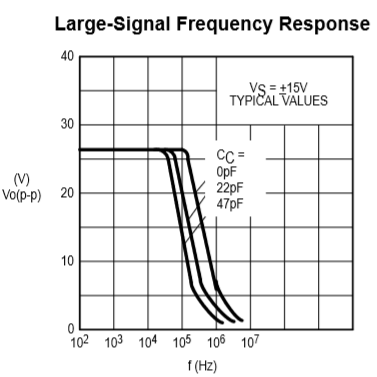


图1（a） NE5534调零补偿电路 图1（b）NE5534频率响应

从图1（b）中可见，当不接补偿电路的电容C1时，满幅度输出可以超过100kHz；当有补偿电容时，满幅输出也可以超过50kHz。

**电路设计**

增益为60dB，通频带为100Hz~100kHz放大电路的设计。

1. **两级放大**

若采用一级放大，增益带宽积为1000\*100k=100MHz，没有满足要求的运放。采用两级运放，每一级分别为31.7倍和32倍的闭环增益，每一级的增益带宽积为3.2MHz，选取NE5534可满足要求。

1. **交流耦合**

交流耦合可以消除前级放大器的失调电压对后级的影响。

1. **同向输入放大电路**

同向放大器的输入阻抗极高，可视为开路。为确立放大器的直流工作点，各放大器的同相输入端各接一只100k的电阻接地，可获得100k的输入电阻。



图2 低噪声/微弱信号放大原理图



图3 NE5534供电电路图

1. 低截止频率设计

相同通频带的放大器构成的多级放大电路中，低频截止频率和高频截止频率分别为 和 [[1]](#footnote-1)。要求的低频截止频率和高频截止频率分别为100Hz和100kHz，因此单极放大的截至频率分别为64.3Hz和156kHz。根据截至频率的计算式



可得，当输入偏置电阻为100k时，对应的输入耦合电容器的电容量为



为保险起见，选择12nF的电容。此电容直接影响运放的低截止频率，应选用薄膜电容器或C0G介质陶瓷电容器，以避免温度变化对电容特性的影响。

1. **反馈网络参数设计**

第一级采用同向放大，以尽可能提高输入阻抗。为尽可能减小电阻带来的噪声以及过小的反馈电流造成的失调电压，反向端选用100R的接地电阻，反馈电阻也仅选择3k，放大倍数为30。

第二级放大电路反向端选择1k，同样为了减少噪声的影响。为满足增益要求，第二级电路增益要大于30倍，选择30k的电阻与5.6k的可变电阻串联，可精确调节电压放大倍数至1000倍。

1. **高频截至频率设计**

根据NE5534的增益频率特性可以推导出NE5534等效反馈电容器的电容量。在闭环增益为31.6倍（30dB）时，NE5534的闭环截止频率约为316kHz，第一级放大电路3k反馈电阻和第二级放大电路33k反馈电阻对应的等效反馈电容量分别为168pF和10.8pF；当NE5534的闭环截止频率为156kHz时，两级的反馈电容量分别为340pF和21.8pF。

根据上述结果，为了满足100kHz高截止频率的要求，两级放大器的外接电容分别为172pF和11pF。考虑到单位增益带宽的典型值与最小值的偏差及其他因素影响，外接反馈电容应首先选用小容量，然后逐渐增大，直至满足高频截至要求。因此，第一级反馈电阻两端先并接22pF的电容器；第二级反馈电阻两端先并接5pF电容器，调试时逐渐加大，直至满足要求。

1. **消除电源噪声影响**

为了消除电源噪声引起的有害耦合，每一个NE5534的电源正、负输入端均接有旁路电容器，这个旁路电容应尽量靠近NE5534，电容量在0.1~2.2uF之间。电路的电源正、负输入端对地应接100uF铝电解电容器，以消除低频段电源的噪声对放大器电路的影响。

1. **电路板接地技术**

小信号高增益放大电路中，如果接地不当，会引起很大的噪声。此时，可采用风险最小的大平面接地技术。

为保证大平面地的质量，要尽可能减少插接元件，而采用贴片元件。

## 二、高速、宽带放大器

宽带5MHz，增益1000的电路设计

**1、原理分析**

高速、宽带放大器的设计可以通过单运放实现，也可以通过多级运放级联实现。多级运放级联时，运放的宽带会变窄，具体为[[2]](#footnote-2)

 （2.1）

由此可得，如果有n级运放级联，每一级的宽带要求至少为

 （2.2）

若每一级的放大倍数为Au，那么选择运放的单位增益带宽至少为

 （2.3）

**2、级联数目**

若通过两级运放实现，每一级的带宽不低于



每一级的增益为32倍。每一级的单位增益带宽为



因此，至少需要250MHz单位增益带宽的运放。

同理，可得两级、三级、五级的各参数如下表

表1 多级电路参数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 级联数目 | 单级宽带/MHz | 单级放大倍数 | 单位增益带宽/MHz |
| 两级 | 7.778 | 32 | 248.9 |
| 三级 | 9.526 | 10 | 95.26 |
| 五级 | 12.298 | 4 | 49.19 |

**3、同向输入**

在对地参数不变时，同向输入和反向输入运放带宽相同。但是同向输入的增益会大1，电路能获得更大增益。例如，3级级联，若每一级反向放大倍数为2，同向放大倍数为3，则最终反向放大的放大倍数为8，同向放大的放大倍数为27，优势不言而喻。

**4、运放选择**

可以选择性能温和的THS4001宽带集成运放，其单位增益带宽达到270MHz。性能温和使布线相对简单一点，因为宽带放大器对电路参数和电路板图的要求是很严格的，稍有差异，就会很大影响电路的实际性能。

**5、级电路如下图**



图4 高速、宽带放大器原理图

## 三、小信号高共模抑制比放大器

**1、差动放大电路**

由于差动放大器具有良好的共模抑制能力，因此，高共模抑制电路的实现往往采用差动放大器。



图5 差动放大电路 图6 跟随器电路

由于差动放大器在完全对称的条件下才能很高的共模抑制比，因此，通常差动放大器的各个电阻选择相同阻值。电阻的精度要求使用0.1%精度的电阻。

图5所示电路采用差动输入，但是放大倍数不足，仅为1；电路的输入阻抗也很低；同向输入阻抗和反向输入阻抗也不同，若电源内阻较大，不同的输入阻抗将降低共模抑制比。

**2、跟随器**

为了获得高输入阻抗，以尽可能减小输入电阻差异，提高共模抑制比，在差动放大器的前面接入跟随器，如图6所示。

跟随器的输入阻抗为



式中， ——跟随器的输入阻抗

 ——集成运放的输入阻抗

 ——集成运放开环增益

 ——反馈系数

即使最差的运放也能满足，而跟随器的反馈系数F=1，故输入阻抗Ri可达10kM。

跟随器的输出电阻为



由于运放输出电阻的数量级为数十到数百欧，设，A=10000倍，F=1，则输出阻抗仅为0.01欧姆。

**3、同向并联输入**

由于差动放大电路差模增益仅为1，为了提高差模增益，引入同向放大器并联。



图7 同向并联输入

如图6，电路的差模放大倍数为



但是，此电路对共模信号没有抑制能力，共模放大倍数也为



究其原因，是由于两个电阻R一端接地引起的。将接地两端悬空，并且短接，可以解决共模信号放大问题。

如图7，共模信号的放大倍数为1，差模信号的放大倍数为，共模抑制比



1. **调零与供电电路**

为了改善运放的电源阻抗，在每个运放的正、负电源端对地连接2.2uF的陶瓷贴片电容器；调零与供电电路如图7所示。

图8 实用的测量放大电路



1. 《电子技术基础 模拟部分（第三版）》——童诗白主编 [↑](#footnote-ref-1)
2. 《模拟电子技术基础（第四版）》——童诗白主编 [↑](#footnote-ref-2)