

单电源运放做有源滤波器

杜书丞 2022 年 9 月 27 日

这次综合测评题¹使用单运放做滤波器电路，将输入方波信号转换成正弦信号。老师提到“使用 $1/2V_{cc}$ 代替原先接地的地方”。我们小组按照该要求更改了，但却观察到了运放的开环输入是正弦信号，而输出负半周被削波的现象。因此仔细讨论了一下单电源运放出现削波的原因。

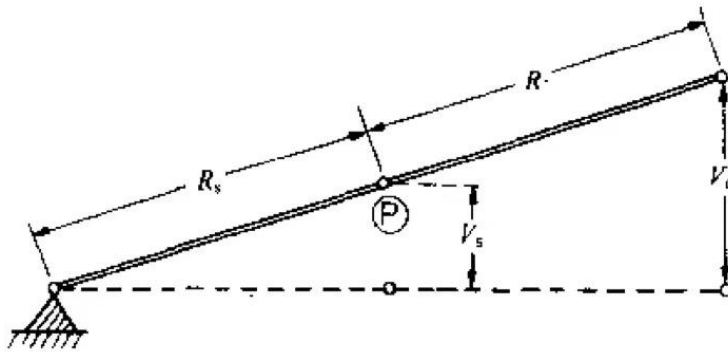
1. 电源轨

运放的输出被限制在电源轨之内，即输出电压被限制在 $[V_{cc-}, V_{cc+}]$ 之内。若使用单电源供电，则输出被限制在 $[0, V_{cc}]$ 之内。实际上运放的输出范围要略微小于该范围，在 $[V_L, V_H]$ 之内 ($V_L > 0, V_H < V_{cc}$)²。

2. 电路原理

无论是压控电压源型还是无限增益反馈型，都可以将电路等效成正相/反相放大电路，只不过增益和频率相关。通过傅里叶变换将输入信号拆分成不同频率的叠加，再分别讨论每种频率，最后考虑输出之和是否位于运放的输出范围内。

正相反相放大器原理可以看成是一个杠杆^[1]。这里选取正相放大器进行讨论。

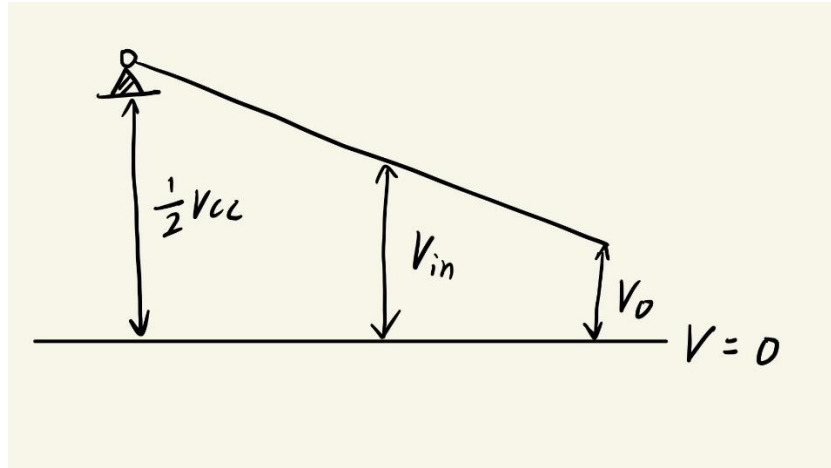


图表 1 一个放大倍数大于 1 的正相放大器

如果将接地换成接入 $1/2V_{cc}$ ，则相当于将“支点”更换成 $1/2V_{cc}$ 。

¹ 综合测评题题目是“使用 10V 单电源和 TL082 通用运放，将 1V 方波信号转换成 3V 正弦波信号”

² 经过 Multisim 仿真，TL082 的 V_L 、 V_{cc} 、 V_H 大概在 1.5V 左右



图表 2 将支点更换成 $1/2V_{cc}$

由于运放采用 10V 单电源供电，从图表 2 中可以看出，如果采用直接采用 1V 方波信号作为输入，则输出一定会小于 $1/2V_{cc}$ ，没有充分利用运放的输出范围，极易发生削波失真³。

根据傅里叶变换，方波信号的频谱是连续的 Sinc 函数，方波信号的频谱是对 Sinc 取样，实际信号的频谱可看作介于二者之间。这里拿理想方波信号的频谱分析，若输入方波信号幅值是 $[0, u]$ ，则基波信号的范围应当是 $[-\frac{1}{\pi}u, \frac{1}{\pi}u]$ 。峰

峰值大概是 $1.27u$ 。输出信号的峰峰值要求为 3V，因此若输入 10V 方波信号，通带增益为 0.236；若输入 1V 方波信号，通带增益为 2.36。

为充分利用运放的输出范围避免失真，输入信号的平均值最好等于 $1/2V_{cc}$ ，不仅地要接成 $1/2V_{cc}$ ，输入信号也要加一个 $1/2V_{cc}$ 的直流偏置⁴。

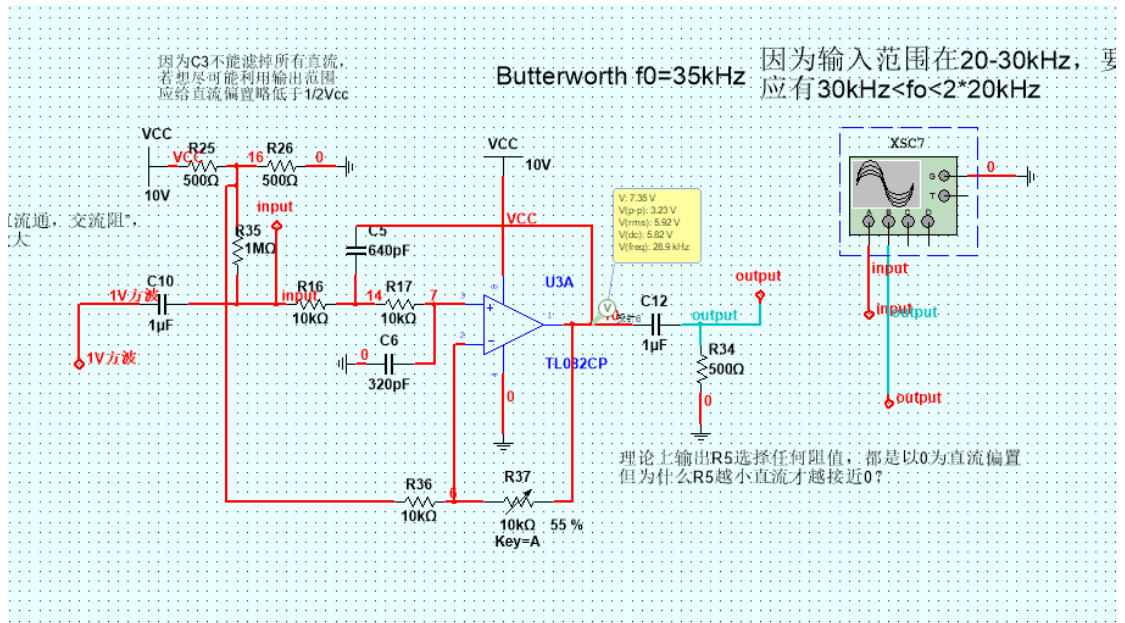
3. 仿真验证

使用带直流偏置的低通滤波器，接入方波产生电路，可见成功输出 3V 的正弦波⁵。

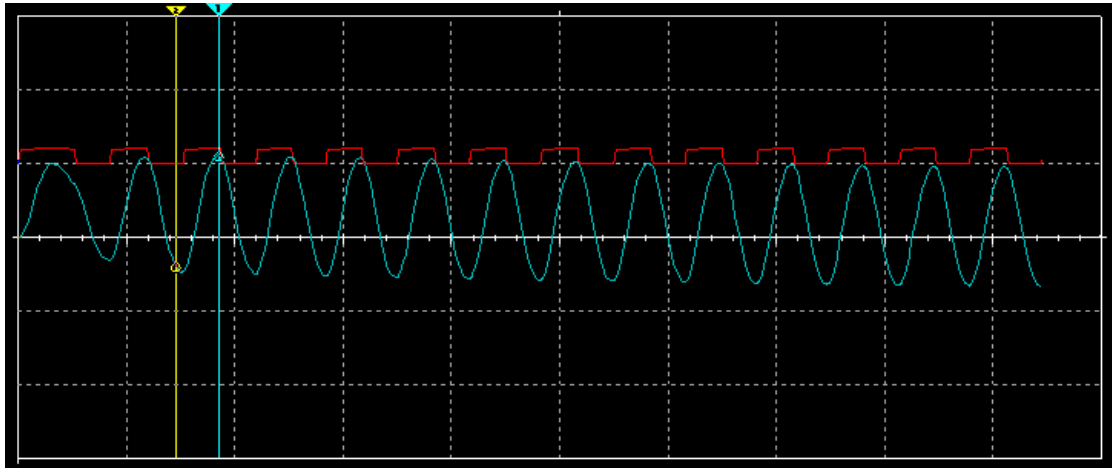
³ 这里分析并不严谨，对于不同频率的信号杠杆的“力臂”长度不一样，但无论力臂多长，只要输入信号小于 $1/2V_{cc}$ ，输出都将小于 $1/2V_{cc}$ 。

⁴ 因为输入接入耦合电容，需要重新设置直流工作点。为确保该直流偏置不被滤掉，似乎使用低通滤波器比带通更有优势？带通滤波器就要使用更大的直流偏置了。

⁵ 但是增益并不如计算的那样，只是通过滑动变阻器调出需要的增益。



图表 3 二阶低通电压源型滤波器



图表 4 输出波形

参考文献

- [1] 冈村迪夫. OP 放大电路设计[M/OL]. 王玲, 译. 科学出版社发行部, 2004[2022-10-05]. <https://book.douban.com/subject/1231177/>.