

模电实验报告 7：积分与微分电路实验

xy 学号 匡亚明学院

2019 年 2 月 29 日

1 实验目的

1. 学习使用运放组成积分与微分电路。

2 实验仪器

示波器、信号发生器、交流毫伏表、数字万用表。

3 预习内容

1. 阅读 OP07 的“数据手册”，了解 OP07 的性能。
2. 复习关于积分与微分电路的理论知识。
3. 阅读本次实验的教材。

4 实验内容

4.1 积分电路

积分电路如图 (1) 所示。

在理想条件下，

$$\frac{v_I(t)}{R_1} = -C \frac{dv_O(t)}{dt} \quad (1)$$

当 C 两端的初始电压为零时，则

$$v_O(t) = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t v_I(t) dt \quad (2)$$

因此得名积分电路。

4.1.1 测量积分电路幅频特性曲线

取 $C=0.1\mu F$ ，测量积分电路的幅频特性曲线。观察输入输出的波形。测量得到的幅频特性数据填入表 (1)。

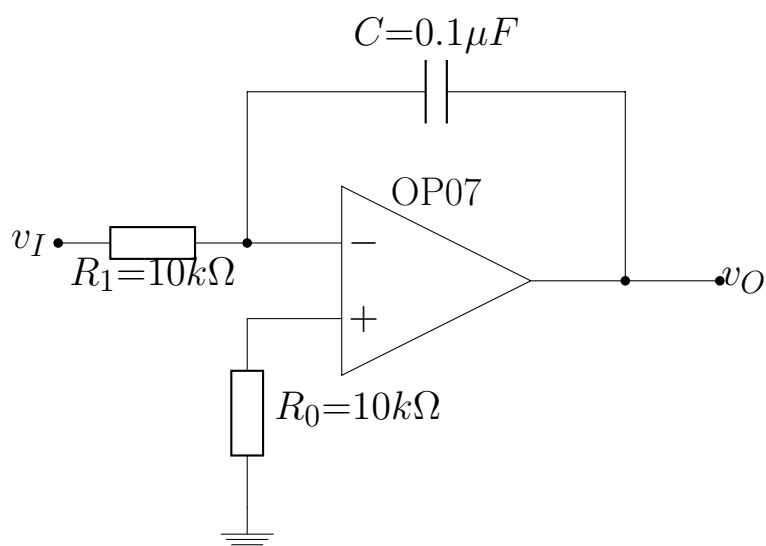


图 1: 积分电路

4.1.2 改进的积分电路的方波波形

使用如图 (1) 所示的电路进行实验，通常会观察到输出的直流漂移，解决办法是在电容 C 两端并联一个电阻 R_2 ，改进的积分电路如图 (2):

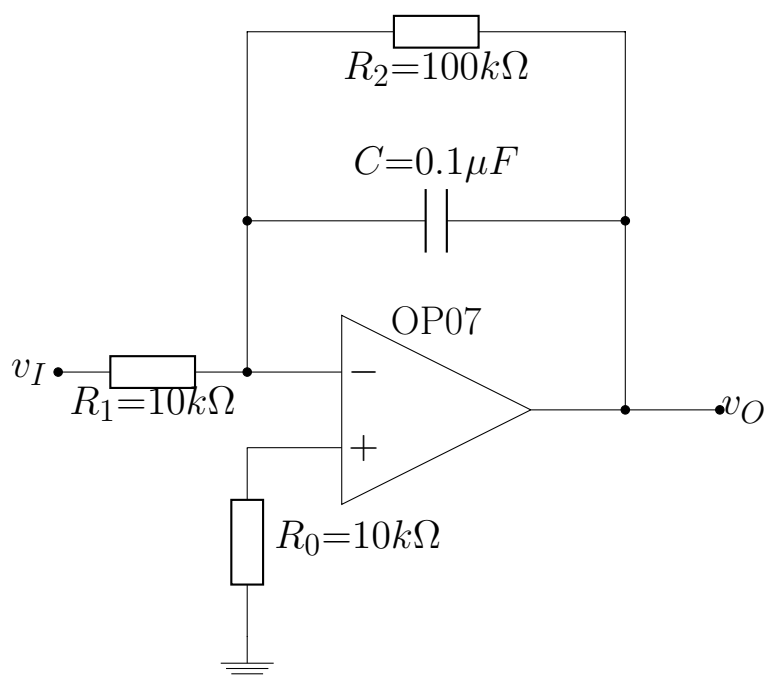


图 2: 直流闭环的积分电路一阶低通滤波器

取输入信号的峰峰值为 1V，频率分别为 20Hz，1kHz，2kHz，记录所得的输入输出波形图。

4.2 微分电路

4.2.1 测量微分电路的幅频特性曲线

按图 (3) 连接电路，测量幅频特性数据填入表 (2)。

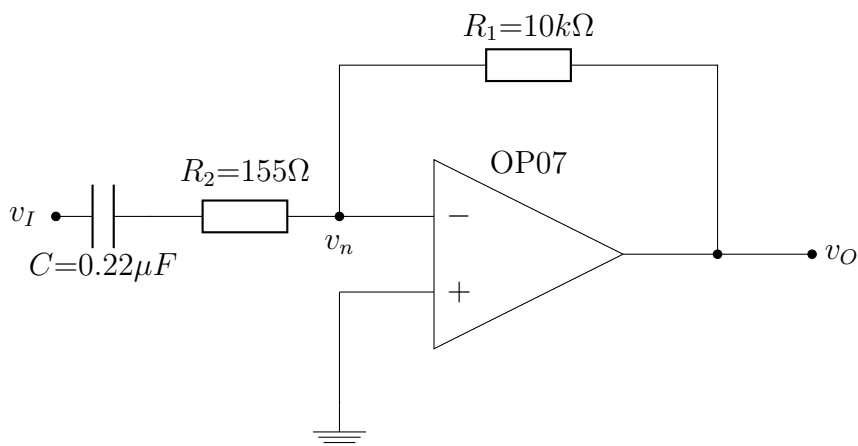


图 3: 微分电路优化设计

4.2.2 改进的微分电路的方波波形

取输入信号峰峰值为 0.2V，频率分别为 10Hz，100Hz，1kHz，观察输入输出波形。

4.3 积分-微分电路

按图 (4) 连接电路，改变输入信号频率从 10Hz 到 10kHz，记录积分-微分电路的幅频特性数据，填表。

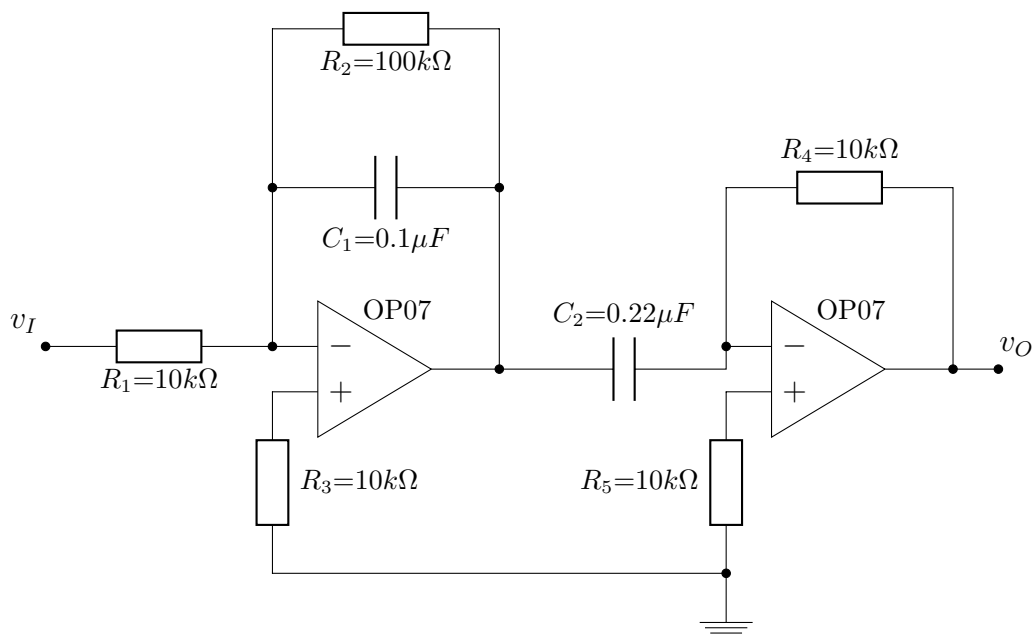


图 4: 积分-微分电路

图 (4) 中的电阻 R_2 的作用为防止直流漂移，电容 C_2 旁缺少的 155Ω 电阻会使得幅频特性曲线中出现一个突变的峰。

5 实验数据

5.1 积分电路

取输入信号为 $v_{ipp}=1.03\text{V}$ 的正弦波。

5.1.1 积分电路幅频特性

积分电路的幅频特性数据如表 (1)：

表 1: 积分电路幅频响应

f_i/Hz	10	20	30	40	50	60	70	80
v_{opp}/V	13.8	6.9	4.6	3.5	2.8	2.3	2.0	1.7
$v_o(\text{幅值} = \frac{v_{opp}}{2})/\text{V}$	6.9	3.45	2.3	1.75	1.4	1.15	1.0	0.85
f_i/Hz	90	100	150	200	300	500	1000	5000
v_{opp}/V	1.6	1.4	1.0	0.7	0.5	0.29	0.15	0.1
$v_o(\text{幅值} = \frac{v_{opp}}{2})/\text{V}$	0.8	0.7	0.5	0.35	0.25	0.145	0.075	0.05

根据表 (1) 画出幅频特性曲线，如图 (5)：

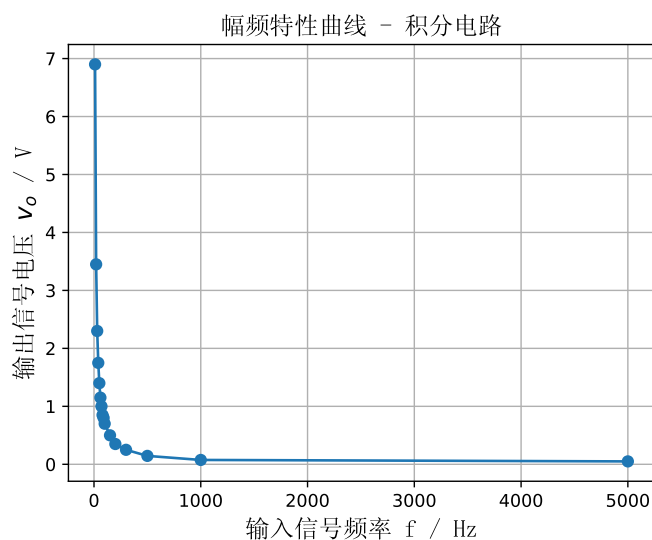


图 5: 积分电路的幅频特性曲线

5.1.2 方波输入波形图

取输入信号为方波时，输入输出波形如图 (6)、(7)、(8)：

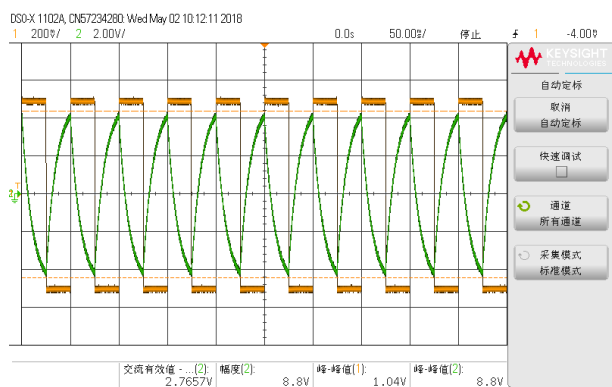


图 6: 改进的积分电路，方波输入，20Hz

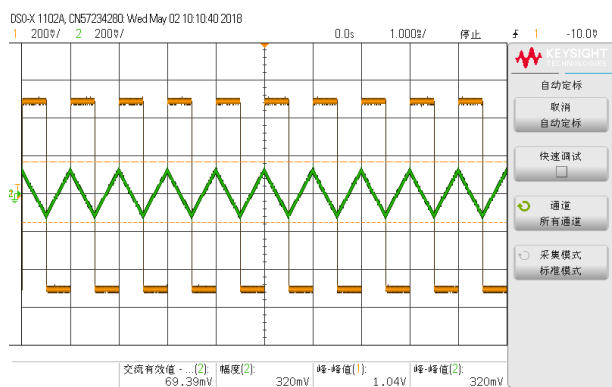


图 7: 改进的积分电路，方波输入，1kHz

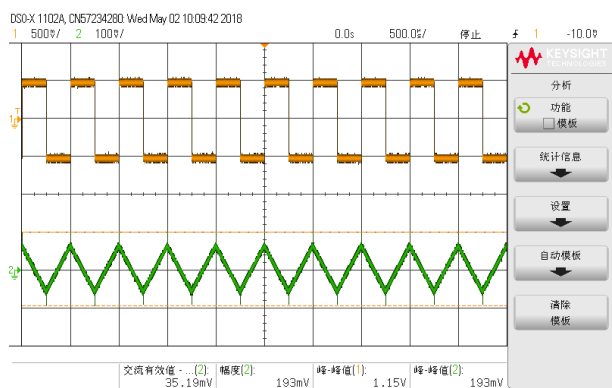


图 8: 改进的积分电路，方波输入，2kHz

5.2 微分电路

图 (3) 中的电阻为 $R_2=155.328\Omega$ 。

5.2.1 微分电路幅频特性

微分电路的幅频特性数据如表 (2):

根据表 (1) 画出幅频特性曲线，如图 (5):

表 2: 微分电路幅频响应

f_i/Hz	5	6	7	8	9	10	20	30	40
$v_o(V_{PP})/\text{V}$	0.037	0.044	0.050	0.058	0.065	0.071	0.143	0.212	0.283
$v_o(= \frac{V_{PP}}{2})/\text{V}$	0.0185	0.022	0.025	0.029	0.0345	0.0355	0.0725	0.106	0.1425
f_i/Hz	50	60	70	71	80	90	100	143	150
$v_o(V_{PP})/\text{V}$	0.354	0.423	0.492	0.501	0.562	0.630	0.700	1.00	1.05
$v_o(= \frac{V_{PP}}{2})/\text{V}$	0.177	0.2115	0.246	0.2505	0.281	0.315	0.35	0.5	0.5025
f_i/Hz	200	300	500	1000	1520	2000	3000	4000	5000
$v_o(V_{PP})/\text{V}$	1.4	2.1	3.47	6.8	10.0	12.7	17.6	21.8	21.3
$v_o(= \frac{V_{PP}}{2})/\text{V}$	0.7	1.05	1.735	3.4	5.0	6.35	8.8	10.9	10.65

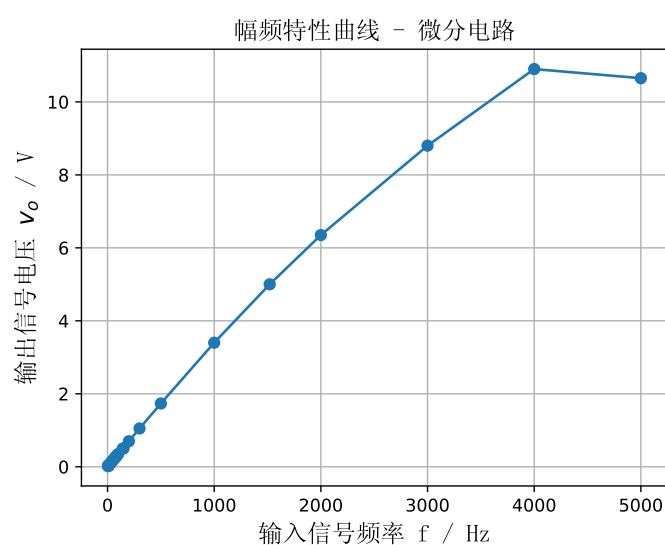


图 9: 微分电路的幅频特性曲线

5.2.2 方波输入波形图

取输入信号为方波时，输入输出波形如图 (10)、(11)、(12):



图 10: 改进的微分电路，方波输入，10Hz

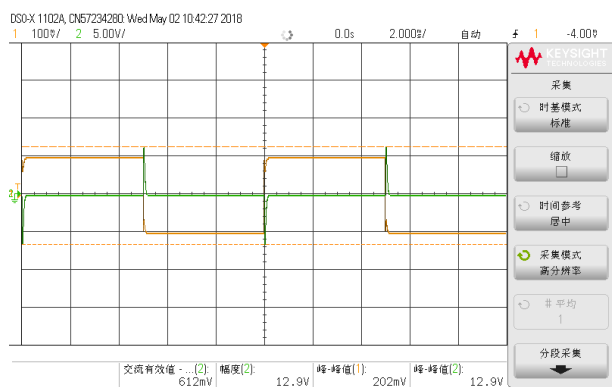


图 11: 改进的微分电路，方波输入，100Hz

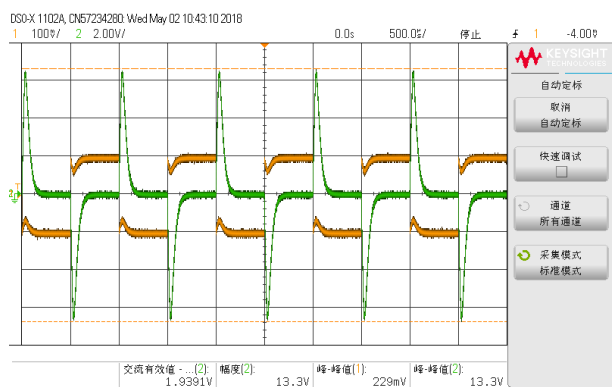


图 12: 改进的微分电路，方波输入，1kHz

5.3 积分-微分电路

积分微分电路的幅频特性数据如表 (3):

表 3: 积分-微分电路幅频响应

f_i/kHz	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	3
v_{opp}/mV	5.6	5.8	9.1	10.1	10.2	10.8	11.8	13.6	15.25
f_i/kHz	4	4.5	5	5.5	6	6.2	6.4	6.6	6.8
v_{opp}/mV	17.8	23.5	28	38	56	68	86	122.5	202.5
f_i/kHz	6.9	7	7.1	7.2	7.3	7.4	7.6	7.8	8
v_{opp}/mV	295	500	790	470	285	205	130	96	76
f_i/kHz	8.2	8.5	9	9.5	10	15	20	50	
v_{opp}/mV	65	53	41	35.5	30	17.25	15.25	11.8	

将其画图可得图 (13):

根据图 (13) 可明显观察到所谓“小刺”，即幅频特性曲线中一个突起的峰。

6 实验讨论与误差分析

1. 测量准确性

在测量积分电路幅频特性数据时，当输出电压很小时，示波器显示的波形及其不清晰，其测量

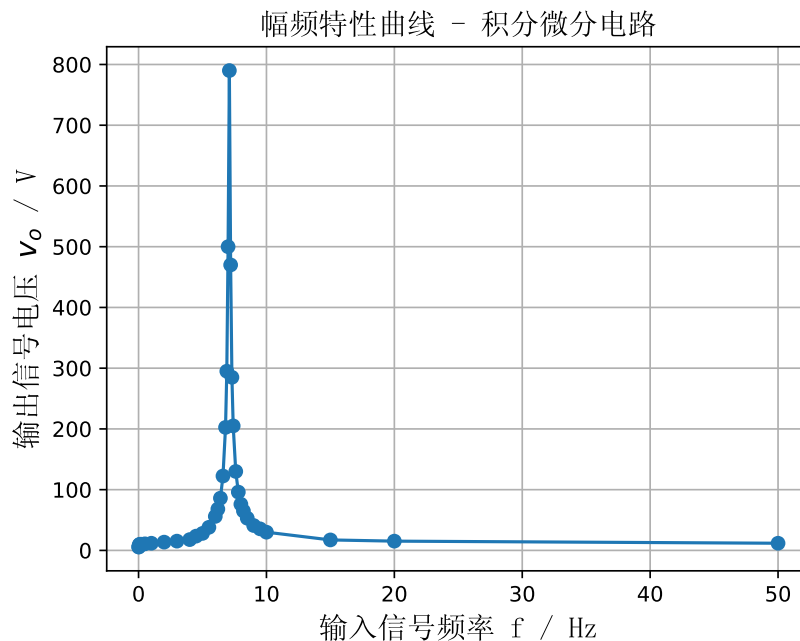


图 13: 积分微分电路幅频特性曲线

功能测到的数据波动极大。因此测得的数据可能不准确。

2. 不接电阻 R_2 时积分电路的幅频特性

接了电阻 R_2 时，积分电路在低频下的波形图如图 (6)，可以看到输出信号的三角波明显发生了弯曲。在不接电阻 R_2 时，测得低频下的波形图如图 (bxt4)：

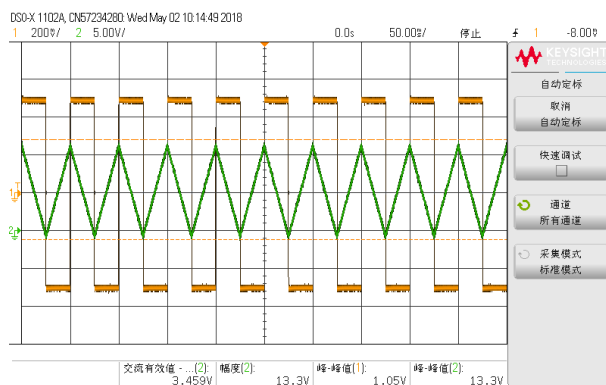


图 14: 使用图 (1)，方波输入，20Hz

可以看到输出三角波的形状十分良好。

7 思考题

1. 在图 (1) 中，若出现了较大的直流漂移，在电容两端并联一个 $100\text{k}\Omega$ 的电阻可基本抑制直流漂移，试述其原因。

通过查阅资料^[1]得知，如果没有这个电阻，电路是交流反馈，交流反馈可以改变电路参数，但

由于电容的隔直，无法抑制缓慢变化的直流漂移。通过并联一个电阻，在电路中引入了直流反馈，从而能抑制直流信号变化，抑制零点漂移。

2. 图 (4) 中，若改选 $R_1=10\Omega$ ， $C_1=100\mu\text{F}$ ， R_1 与 C_1 乘积不变，这样是否可以？为什么？
不可以。根据实验书中式 (1-6-3)：

$$H_{I1} = \frac{V_o(s)}{V_i(o)} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{R_2 C_s + 1} \quad (3)$$

可知，若将 R_1 由 $10\text{k}\Omega$ 改为 10Ω ，该电路对输入直流失调电压放大了 10000 倍，这将对电路产生较大影响。

3. 若加了 155Ω 电阻的图 (4) 中的运放为理想运放，试用 EWB 仿真有无 R_2 时的幅频特性曲线。试述产生差别的原因。

进行 EWB 仿真的结果如图 (15) 所示：

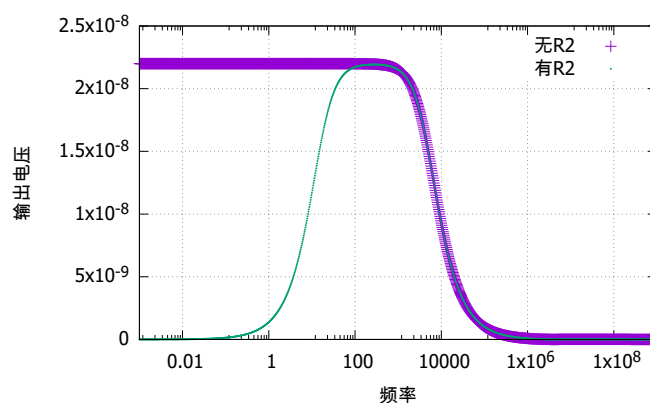


图 15: EWB 仿真幅频特性曲线

从图中可以看出，没有 R_2 时，其幅频特性曲线在低频时几乎没有变化，即可以认为是直流放大。

参考文献

- [1] <https://zhidao.baidu.com/question/2205915092087369388.html>.
[2] 康华光. 电子技术基础 (模拟部分). 高等教育出版社, 2006.