

电子线路设计与测试

第三阶段

方波—三角波发生器设计

教材4.5.6设计任务 (P118)

实验室开放时间安排

□ 周二晚：18:30-21:40 南一楼中213-216

□ 周五晚：18:30-21:40 南一楼东303-306

几种集成运算放大器的典型参数

芯片型号		$\mu A741$ (单)	OP07C	NE5532 (双)	LF347 (四)	LM324 (四)
电源电压	双电源	$\pm 3V \sim \pm 18V$	$\pm 3V \sim \pm 18V$	$\pm 3V \sim \pm 20V$	$\pm 1.5V \sim \pm 16V$	$\pm 18V$
	单电源	—	—	—	—	$3V \sim 32V$
输入失调电压 V_{io}		1.0mV	$250\mu V$	0.5mV	5 mV	2mV
输入失调电流 I_{io}		20nA	8nA	10nA	25 <u>pA</u>	5 <u>nA</u>
输入偏置电流 I_{IB}		80nA	± 9 <u>nA</u>	200nA	50 <u>pA</u>	45nA
开环电压增益 A_{vo}		2×10^5	4×10^5	50×10^4 ($R_L = 600\Omega$)	1×10^5	1×10^5
输入电阻 r_{i1}		2.0M Ω	33 M Ω	0.3 M Ω	$10^8 \Omega$	—
单位增益带宽 BW		1MHz	0.6MHz	10 MHz ($C_L = 100pF, R_L = 600\Omega$)	4 MHz	1MHz
转换速率 S_r		0.5V/ μs	0.3V/ μs	9 V/ μs	13 V/ μs	—
共模抑制比 K_{CMR}		90 dB	120 dB	100 dB	100 dB	85 dB
功率消耗		60mW	150mW	780 <u>mW</u>	570mW	1130 <u>mW</u>
输入电压范围		$\pm 13V$	$\pm 14V$	\pm 电源电压	$\pm 15V$	$-0.3V \sim 32V$
说 明		通用型	低噪声	低噪声	<u>高阻型</u> (JFET)	通用型

选作1

设计一高增益电压放大器，要求：输入信号为正弦交流电压信号，峰峰值 $V_{ipp}=100\text{mV}$ ，频率 $f_i=10\text{kHz}$ ，输出信号峰峰值 $V_{opp}=24\text{V}$ ，且与输入信号反相。电路输入阻抗大于 $1\text{M}\Omega$ ，输出阻抗小于 100Ω 。

要求：

(1) 提出电路设计方案，画出电路原理图，要求标示出电阻元件参数和电源值；简述电路的工作原理。

(2) 对电路进行仿真，验证你所设计的电路能满足设计要求。

(3) 插板实现所设计的电路，测试电路的性能指标，验证你所设计实现的电路能够满足设计要求。

(4) 当输入信号为 1MHz ，请问上述电路还能满足所要求的增益，输入阻抗与输出阻抗指标吗？描述电路性能指标变化的原因，并提出改进方案。

选作1

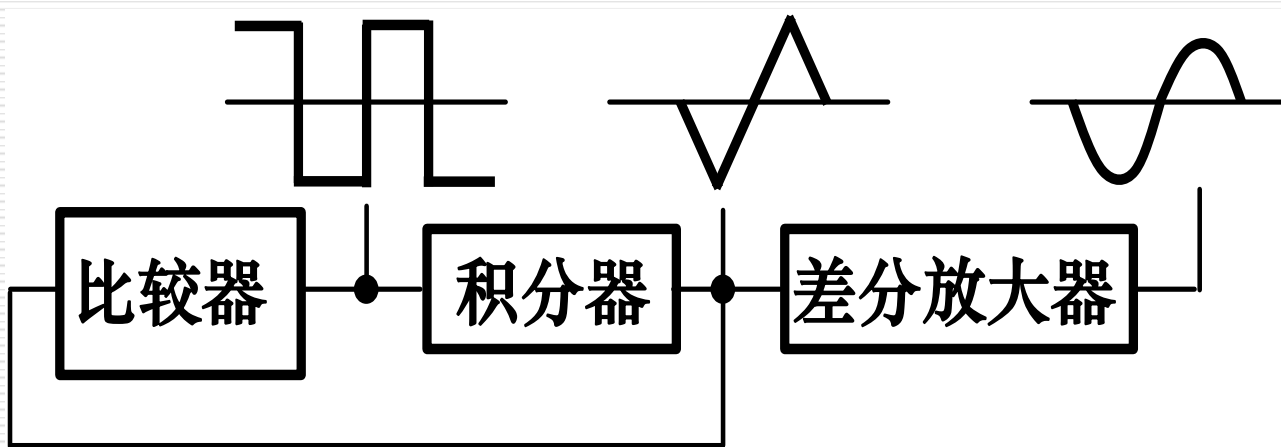
设计一高增益电压放大器，要求：输入信号为正弦交流电压信号，峰峰值 $V_{ipp}=100\text{mV}$ ，频率 $f_i=10\text{kHz}$ ，输出信号峰峰值 $V_{opp}=24\text{V}$ ，且与输入信号反相。电路输入阻抗大于 $1\text{M}\Omega$ ，输出阻抗小于 100Ω 。

- 能用一级完成吗？为什么？
- 电源电压取多少？理由？
- 输入阻抗测试方法？

函数发生器设计（P112）

一、函数发生器的基本组成及主要性能指标

- ❑ 函数发生器能自动产生方波-三角波-正弦波
- ❑ 组成框图如图所示：

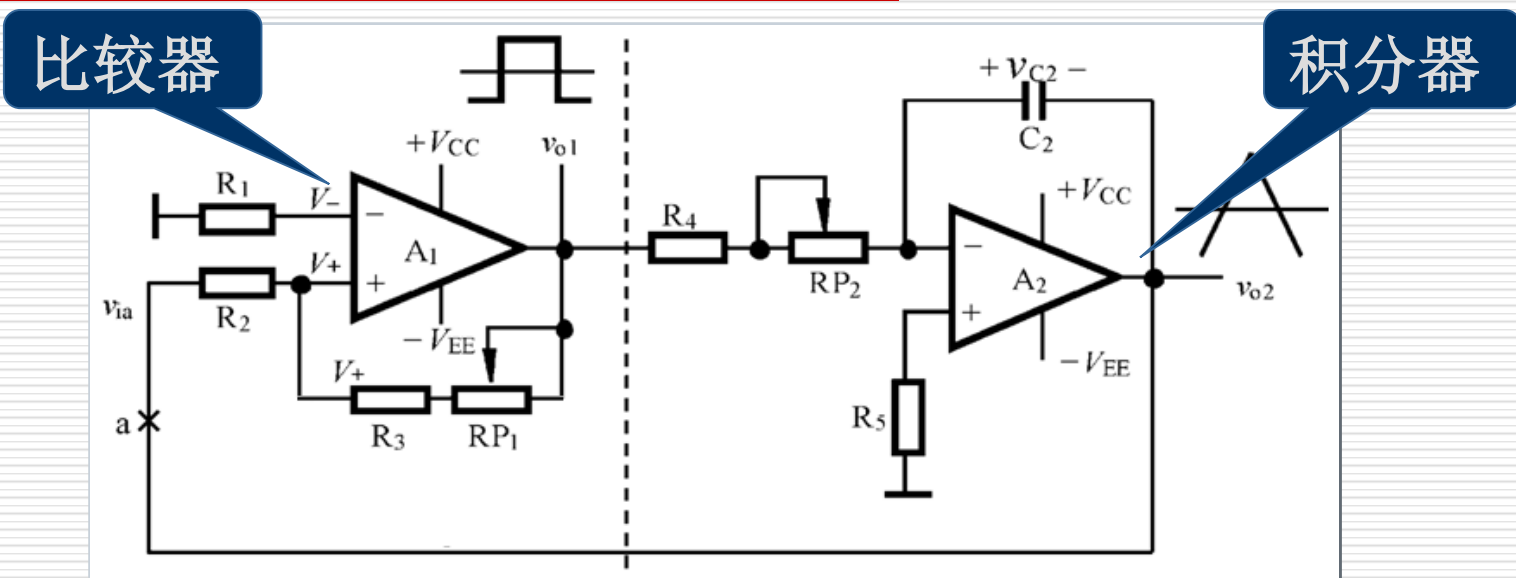


4.5 函数发生器设计 (P116)

一、函数发生器的基本组成及主要性能指标

- **输出波形** 正弦波、方波、三角波 等
- **频率范围** 1~10 Hz , 10~100 Hz , 100~1 kHz ,
1~10 kHz , 10~100 kHz , 100 kHz ~1 MHz
- **输出电压** 一般指输出波形峰-峰值, 即 $V_{pp} = 2V_m$
- **波形特性**
 - 表征正弦波特性的参数是非线性失真 γ_{\sim} , 一般要求 $\gamma_{\sim} < 3\%$;
 - 表征三角波特性的参数是非线性系数 γ_{Δ} , 一般要求 $\gamma_{\Delta} < 2\%$;
 - 表征方波特性的参数是上升时间 t_r , 一般要求 $t_r < 100\text{ns}$ (1kHz, 最大输出时)。

二、方波-三角波产生电路



同相迟滞比较器

$$V_+ = \frac{R_2}{R_2 + R_3 + RP_1} V_{o1} + \frac{R_3 + RP_1}{R_2 + R_3 + RP_1} V_{ia}$$

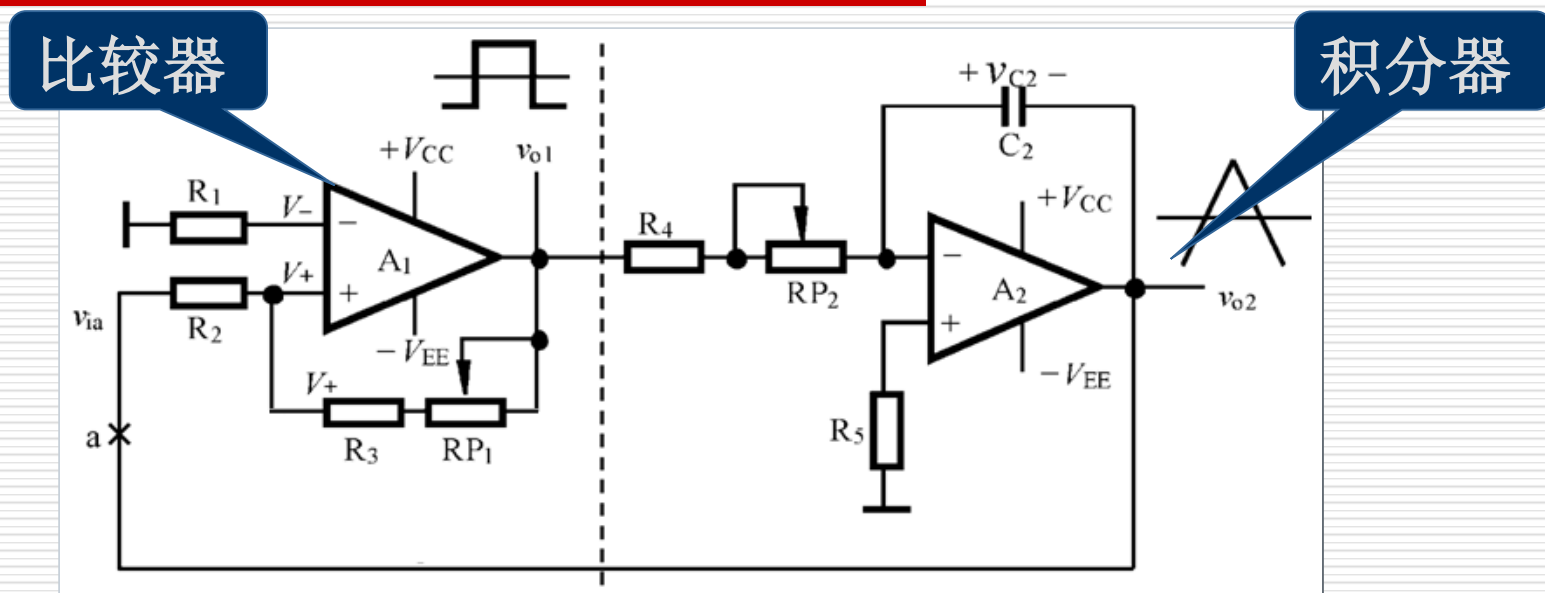
将翻转条件 $V_+ = V_- = 0$ 代入

$$V_{ia} = \frac{-R_2}{R_3 + RP_1} V_{o1} \Rightarrow \begin{cases} V_{T-} = \frac{-R_2}{R_3 + RP_1} V_{CC} \\ V_{T+} = \frac{R_2}{R_3 + RP_1} V_{CC} \end{cases}$$

比较器的门限宽度 ΔV_T 为

$$\Delta V_T = V_{T+} - V_{T-} = 2 \cdot \frac{R_2}{R_3 + RP_1} V_{CC}$$

二、方波-三角波产生电路



同相迟滞比较器

$$V_+ = \frac{R_2}{R_2 + R_3 + RP_1} V_{o1} + \frac{R_3 + RP_1}{R_2 + R_3 + RP_1} V_{ia}$$

将翻转条件 $V_+ = V_- = 0$ 代入

$$V_{ia} = \frac{-R_2}{R_3 + RP_1} V_{o1} \Rightarrow \begin{cases} V_{T-} = \frac{-R_2}{R_3 + RP_1} V_{CC} \\ V_{T+} = \frac{R_2}{R_3 + RP_1} V_{CC} \end{cases}$$

反相积分器

$$\begin{aligned} v_{o2} &= -\frac{1}{C_2} \int_{t_0}^{t_1} \frac{v_{o1}}{(R_4 + RP_2)} dt - v_{c2}(t_0) \\ &= \pm \frac{V_{CC}}{(R_4 + RP_2)C_2} t + v_{o2}(t_0) \end{aligned}$$

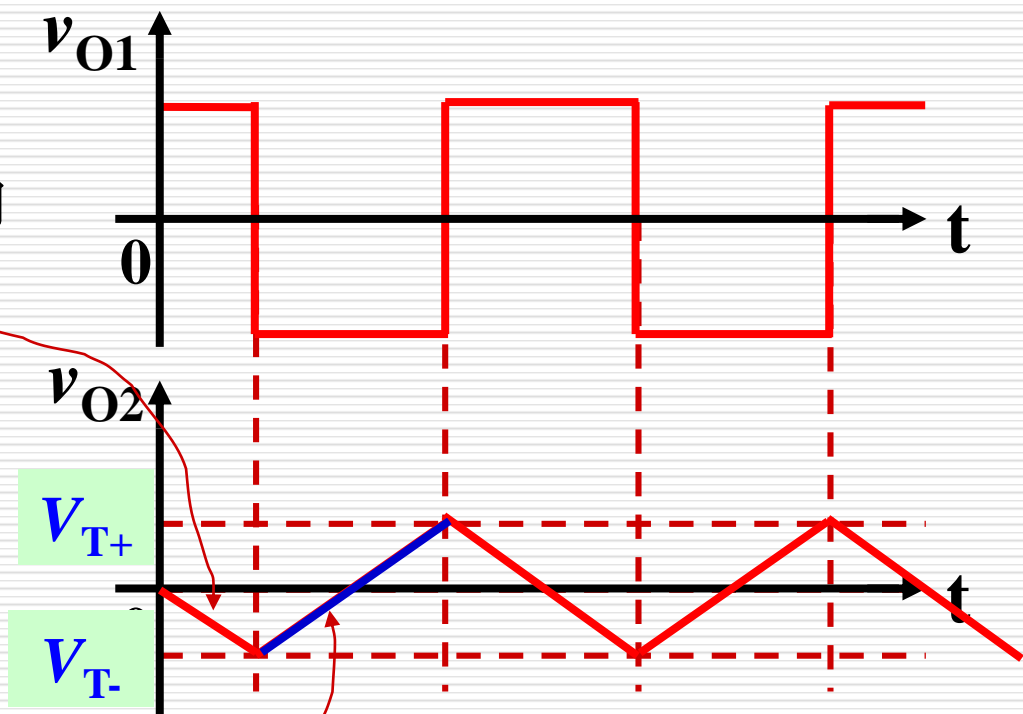
方波-三角波的工作过程:

- a点闭合，形成闭环电路，则自动产生方波-三角波。

- 输出 v_{o1} 为高电平 ($+V_{CC}$)，比较器门限电压为 V_{T-} 。这时积分器开始反向积分，三角波 v_{o2} 线性下降。

- 当 v_{o2} 下降到 V_{T-} 时，比较器翻转，输出 v_{o1} 由高电平跳到低电平，门限电压为 V_{T+} 。这时积分器又开始正向积分， v_{o2} 线性增加。

- 如此反复，就可自动产生方波-三角波。



方波-三角波的幅度和频率

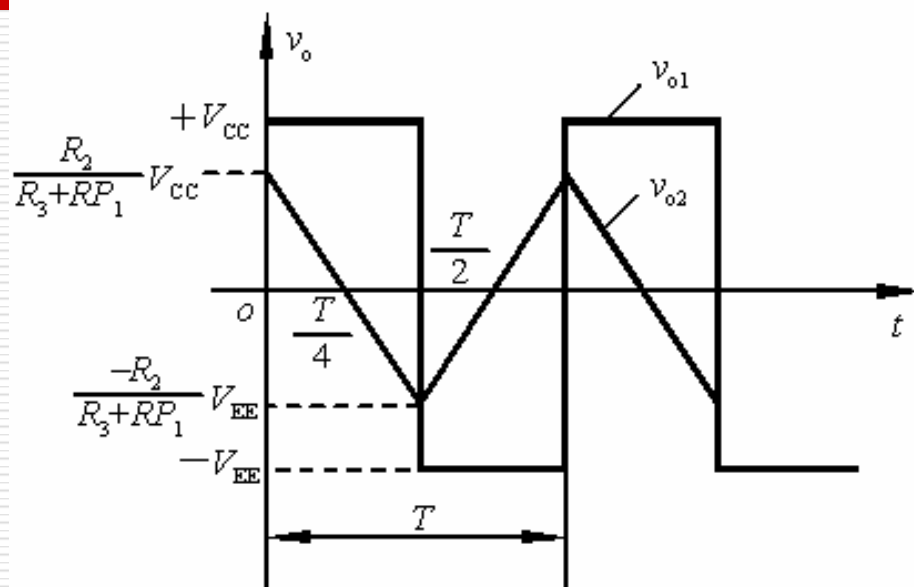
- 方波幅度:

略小于 $+V_{CC}$ 和 $-V_{EE}$

- 三角波正、负幅度:

就是比较器门限电压

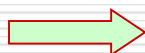
$$V_{o2m} = \frac{R_2}{R_3 + RP_1} V_{CC}$$



$$V_{o2pp} = \Delta V_T = \frac{2R_2}{R_3 + RP_1} V_{CC}$$

- 方波-三角波频率:

$$T = \frac{4R_2(R_4 + RP_2)C_2}{R_3 + RP_1}$$



$$f = \frac{1}{4(R_4 + RP_2)C_2} \cdot \frac{R_3 + RP_1}{R_2}$$

方波-三角波的幅度和频率

- 三角波正、负幅度:

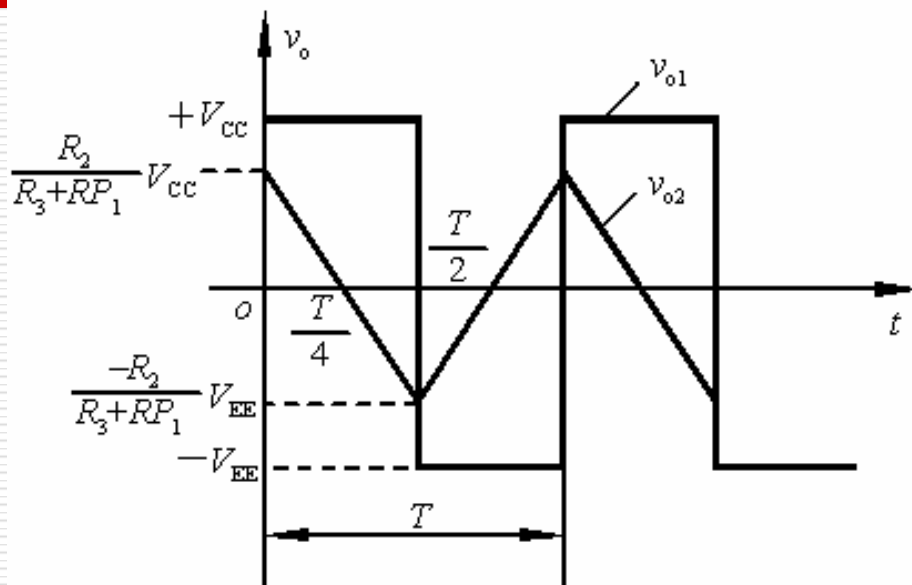
$$V_{o2m} = \frac{R_2}{R_3 + RP_1} V_{CC}$$

- 方波-三角波频率:

$$f = \frac{1}{4(R_4 + RP_2)C_2} \cdot \frac{R_3 + RP_1}{R_2}$$

- 结论:

- ① 方波的幅度由 $+V_{CC}$ 和 $-V_{EE}$ 决定;
- ② 三角波幅度可由 RP_1 进行调节, 但会影响频率;
- ③ 调节 RP_2 , 可调节频率, 且不会影响三角波幅度, 可用 RP_2 实现频率微调, 用 C_2 改变频率范围。



三、设计任务（ P118）：

方波-三角波函数发生器设计

- 已知条件：运放 NE5532 一只
- 性能指标要求：
 - 频率范围： 100 Hz~1kHz,
1 kHz~10 kHz;
 - 输出电压： 方波 $V_{p-p} \leq 24V$,
三角波 $V_{p-p} = 6V$;
 - 波形特性： 方波 $t_r < 30\mu s$ (1kHz, 最大输出时)
三角波 $\gamma_{\Delta} < 2\%$

参考P116设计

测试内容与要求

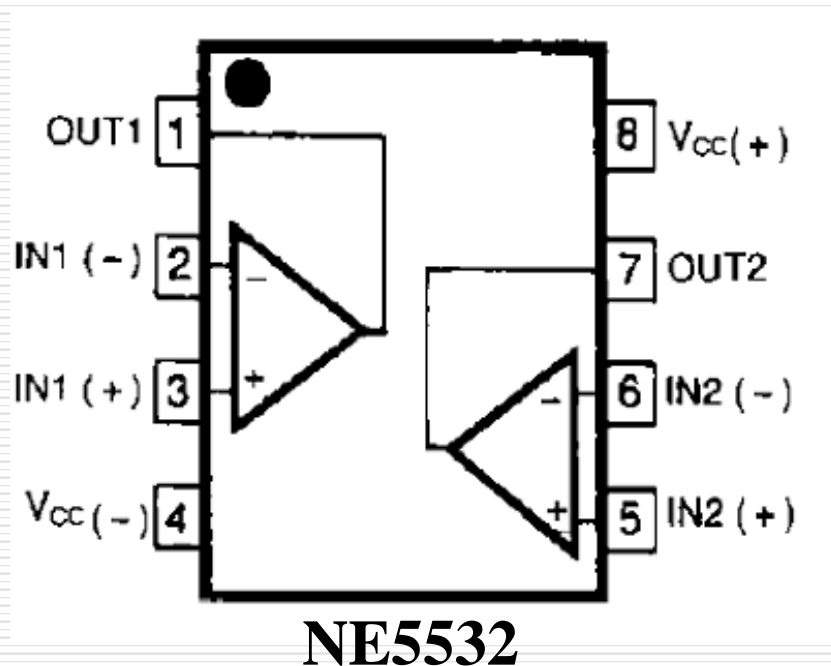
- 测量每一档位输出频率的最小值和最大值，将选取的电容值及测量数据填入自拟表格中，并对结果进行误差分析
- 在不同的频率范围档，选取一个频率值，画出方波-三角波波形，并标出电压幅值和周期
- 用示波器测量方波输出频率为1KHz、幅度最大时的 t_r

四、方波-三角波发生器的装调

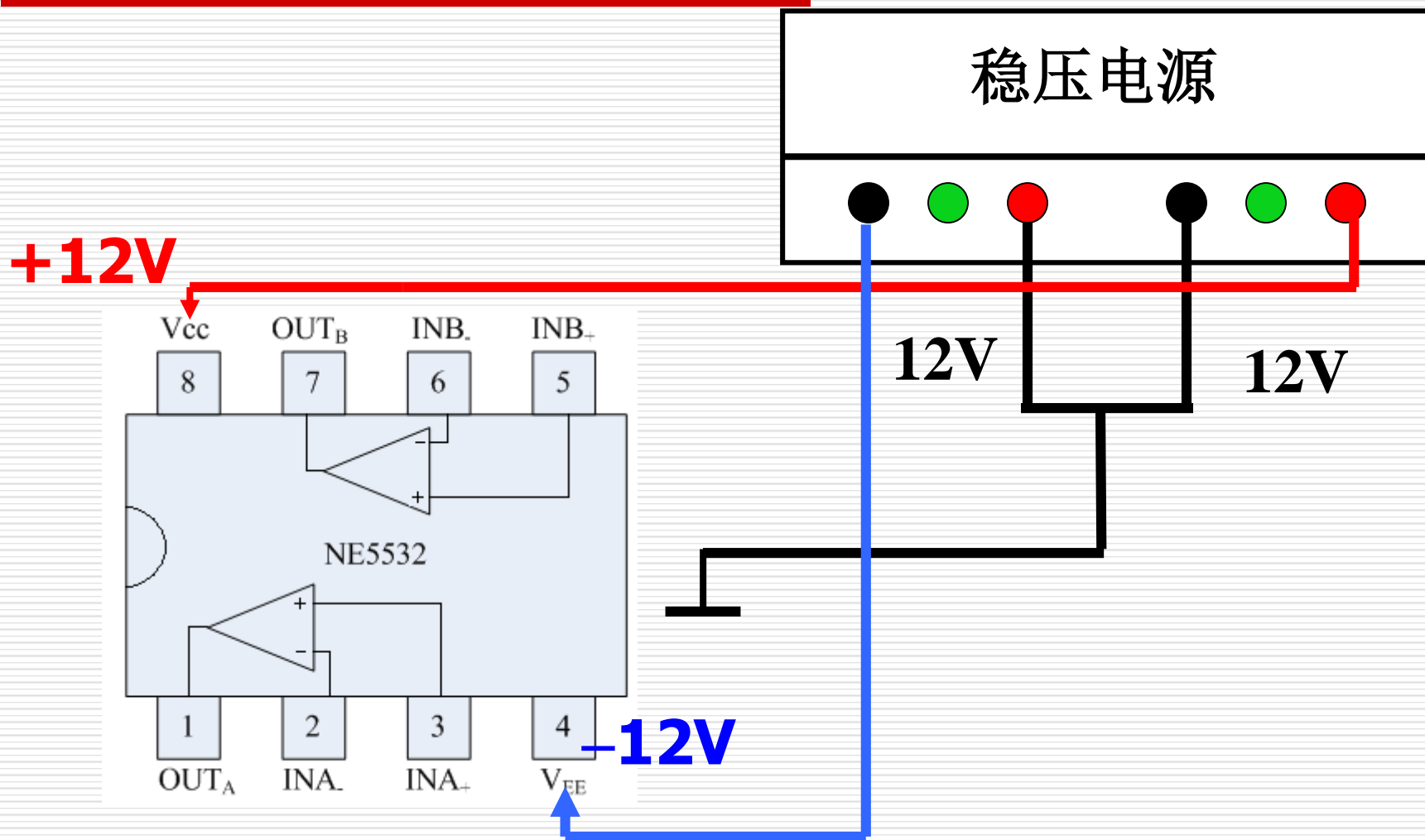
- 由于比较器 A_1 与积分器 A_2 组成正反馈闭环电路，同时输出方波与三角波，故这两个单元电路需同时安装。
- **注意：**在安装电位器 RP_1 与 RP_2 之前，先将其调整到设计值，否则电路可能会不起振。
- 如果电路接线正确，则在接通电源后， A_1 的输出 v_{o1} 为方波， A_2 的输出 v_{o2} 为三角波。
- 在频率较低时，微调 RP_1 ，使三角波输出幅度满足设计指标要求。
- 再调节 RP_2 ，则输出频率连续可变。

五、注意事项

1. 组装电路前须对所有电阻逐一测量，作好记录。
2. 集成运算放大器的各个管脚不要接错，尤其是**正、负电源不能接反**，否则极易损坏芯片。



使用运放的注意事项



注意：正、负电源千万别接反！

验收要求

- 输出方波和三角波峰峰值满足设计要求
- 通过选择合适的C，工作频段正确
- 调节 RP_2 ，输出频率在指定频段连续可调，调节范围正确
- 波形记录坐标系，关键参数完整

验收要求

- 预习报告（含设计电路_具体计算过程与电路参数）
- 实际测试数据---验收表；
- 实际电路与测量
- **MOOC**课程模块七单元测验成绩
- *选作实验报告与结果

下阶段：音响放大器设计实现

□ 基本实验：

音响放大器设计实现（教材4.7.7设计任务）