

# 实验报告

## 共源放大电路设计、仿真与实现

电子信息与通信学院

提高 2301 班

张禹阳 U202314270

2025 年 4 月 26 日



### 目录

|                       |   |
|-----------------------|---|
| 1 实验目的                | 2 |
| 2 实验元器件               | 2 |
| 3 实验任务                | 2 |
| 4 实验原理                | 3 |
| 5 实验过程                | 6 |
| 5.1 第一档频率范围 . . . . . | 6 |
| 5.2 第二档频率范围 . . . . . | 6 |
| 6 实验小结                | 8 |

## 1 实验目的

- 集成运放性能指标含义
- 集成运放使用方法与注意事项
- 函数发生器设计方法与测试技术
- 两级电路的级联与调试方法

## 2 实验元器件

| 名称    | 型号/参数              | 数量 |
|-------|--------------------|----|
| 运算放大器 | NE5532             | 1  |
| 电容    | $1\mu\text{F}$     | 1  |
|       | $0.1\mu\text{F}$   | 1  |
|       | $470\text{pF}$     | 1  |
| 电阻    | $10\text{k}\Omega$ | 2  |
|       | $1\text{k}\Omega$  | 3  |
| 电位器   | W104               | 1  |
|       | W504               | 1  |

## 3 实验任务

已知条件：运放 NE5532 一只。

性能指标要求：

- 频率范围:  $100\text{Hz} \sim 1\text{kHz}$ ,  $1\text{kHz} \sim 10\text{kHz}$ ;
- 输出电压: 方波  $V_{pp} \leq 24\text{V}$ , 三角波  $V_{pp} = 6\text{V}$ ;
- 波形特性: 方波  $t_r < 30\mu\text{s}$ ( $1\text{kHz}$ , 最大输出时) 三角波  $\gamma_{\Delta} < 2\%$

注意事项：

1. 组装电路前须对所有电阻逐一测量，作好记录。

- 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。

装调步骤：

- 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。

## 4 实验原理

下图所示的电路能自动产生方波-三角波，图中虚线右边是积分器 ( $A_2$ )，虚线左边是同相输入的迟滞电压比较器 ( $A_1$ )，其中  $C_1$  称为加速电容，可加速比较器的翻转。电路的工作原理分析如下：

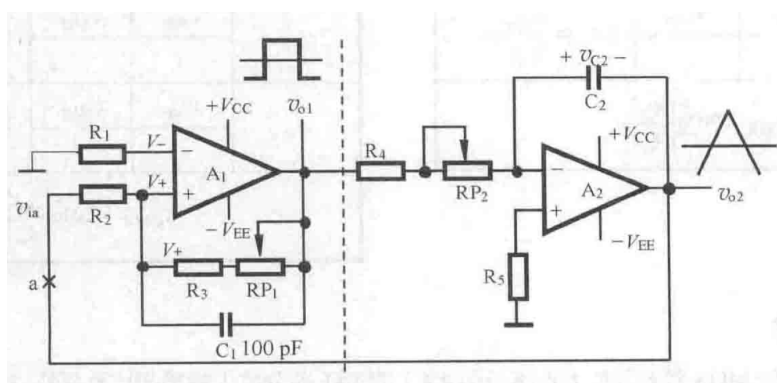


图 1: 原理图

若  $a$  点断开，比较器  $A_1$  的反相端接基准电压，即  $V_- = 0$ ，同相端接输入电压  $v_{ia}$ ；比较器输出  $v_{o1}$  的高电平  $v_{OH}$  接近于正电源电压  $+V_{CC}$ ，低电平  $v_{OL}$  接近于负电源电压  $-V_{EE}$  (通常  $|+V_{CC}| = |-V_{EE}|$ )。根据叠加原理，得到：

$$V_+ = \frac{R_2}{R_2 + R_3 + RP_1} V_{ol} + \frac{R_3 + RP_1}{R_2 + R_3 + RP_1} V_{ia} \quad (1)$$

式中,  $RP_1$  指电位器的调整值 (以下同)。

通常将比较器的输出电压  $v_{ol}$  从一个电平跳变到另一个电平时对应的输入电压称为门限电压。将比较器翻转时对应的条件  $V_+ = V_- = 0$  代入式 (4.5.1), 得到

$$V_{ia} = \frac{-R_2}{R_3 + RP_1} V_{ol} \quad (2)$$

设  $V_{ol} = V_{OH} = +V_{CC}$ , 代入式 (4.5.2) 得到一个较小值, 即比较器翻转的下门限电平

$$V_{T-} = V_{ia-} = \frac{-R_2}{R_3 + RP_1} V_{OH} = \frac{-R_2}{R_3 + RP_1} V_{CC} \quad (3)$$

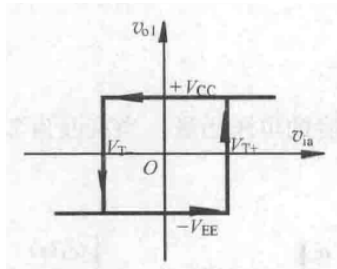
设  $V_{ol} = V_{OL} = -V_{EE} = -V_{CC}$ , 代入式 (4.5.2) 得到一个较大值, 即比较器翻转的上门限电平

$$V_{T+} = V_{ia+} = \frac{-R_2}{R_3 + RP_1} V_{OL} = \frac{R_2}{R_3 + RP_1} V_{CC} \quad (4)$$

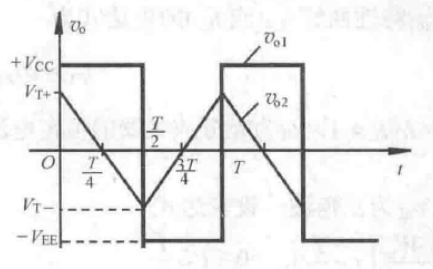
比较器的门限宽度或回差电压为

$$\Delta V_T = V_{T+} - V_{T-} = 2 \times \frac{R_2}{R_3 + RP_1} V_{CC} \quad (5)$$

比较器的电压传输特性如图 2(a) 所示。当  $v_{ia}$  为往复跨越上、下门限电平的电压波形时, 则  $v_{ol}$  不断在高、低电平之间跳变, 即输出一串方波。 $C_1$  在  $v_{ol}$  跳变瞬间可看作短路, 使门限迅速改变, 即运放  $A_1$  的  $v_+$  和  $v_-$  之差迅速增大, 从而加速输出的翻转。 $C_1$  在  $v_{ol}$  保持高电平或低电平期间则可看作开路。



(a) 比较器电压传输特性



(b) 方波-三角波

$a$  点断开后, 运放  $A_2$  与  $R_4$ 、 $RP_2$ 、 $C_2$  及  $R_5$  组成反相积分器, 若积分器的输入信号  $v_{o1}$  为方波, 则输出电压等于电容两端的电压, 即

$$\begin{aligned} v_{o2} = -v_{C2} &= -\frac{1}{C_2} \int \frac{v_{o1}}{(R_4 + RP_2)} dt = -\frac{1}{C_2} \int_{t_0}^{t_1} \frac{v_{o1}}{(R_4 + RP_2)} dt - v_{C2}(t_0) \\ &= -\frac{v_{o1}}{(R_4 + RP_2)C_2} (t_1 - t_0) + v_{o2}(t_0) \end{aligned} \quad (6)$$

式中,  $v_{C2}(t_0)$  是  $t_0$  时刻电容两端的初始电压值,  $v_{o2}(t_0)$  是  $t_0$  时刻电路的输出电压, 且有  $v_{o2}(t_0) = -v_{C2}(t_0)$ 。

当  $v_{o1} = +V_{CC}$  时, 则

$$v_{o2} = -\frac{V_{CC}}{(R_4 + RP_2)C_2} (t_1 - t_0) + v_{o2}(t_0) \quad (7)$$

当  $v_{o1} = +V_{CC}$  时, 则

$$v_{o2} = \frac{V_{CC}}{(R_4 + RP_2)C_2} (t_1 - t_0) + v_{o2}(t_0) \quad (8)$$

可见, 当积分器的输入为方波时, 输出是一个下降速率与上升速率相等的三角波, 其波形关系如图 2(b) 所示。

$a$  点闭合, 即比较器与积分器首尾相连, 形成闭环电路, 只要积分器的输出电压  $v_{o2}$  达到比较器的门限电平, 使得比较器的输出状态发生改变, 则该电路就能自动产生方波-三角波。

由图 4.5.4 所示的波形可知, 输出三角波的峰-峰值就是比较器的门限宽度, 即

$$V_{o2pp} = \Delta V_T = \frac{2R_2}{R_3 + RP_1} V_{CC} \quad (9)$$

积分电路的输出电压  $v_{o2}$  从  $v_{T-}$  上升到  $v_{T+}$  所需的时间是振荡周期的一半, 即在  $T/2$  时间内  $v_{o2}$  的变化量等于  $V_{o2pp}$ 。根据式 (4.5.8) 得到电路的振荡周期为

$$T = \frac{4R_2(R_4 + RP_2)C_2}{R_3 + RP_1} \quad (10)$$

方波-三角波的频率为

$$f = \frac{1}{4(R_4 + RP_2)C_2} \cdot \frac{R_3 + RP_1}{R_2} \quad (11)$$

由式 (4.5.9) 及式 (4.5.11) 可以得出以下结论:

(1) 方波的输出幅度约等于电源电压  $+V_{CC}$ ，三角波的输出幅度与电阻  $R_2$  与  $(R_3 + RP_1)$  的比值有关，且小于电源电压  $+V_{CC}$ 。电位器  $RP_1$  可实现三角波幅度微调，但会影响方波-三角波的频率。

(2) 电位器  $RP_2$  在调整输出信号的频率时，不会影响三角波输出电压的幅度。因此应先调整电位器  $RP_1$ ，使输出三角波的电压幅值达到所要求的值，然后再调整电位器  $RP_2$ ，使输出频率满足要求。若要求输出频率范围较宽，可取不同的  $C_2$  来改变频率的范围，用  $RP_2$  实现频率微调。

## 5 实验过程

安装电路前，测量得到各电阻实际值如下：

| $R_1$            | $R_2$          | $R_3$          | $R_4$          | $R_5$           |
|------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 9.873 k $\Omega$ | 972.2 $\Omega$ | 986.1 $\Omega$ | 979.4 $\Omega$ | 9.831k $\Omega$ |

### 5.1 第一档频率范围

选取的电容为  $C_2 = 1\mu F$ ，调节  $RP_1$  至 3.014 k $\Omega$  不变，再调节  $RP_2$ ，得到上、下限频率对应的各项指标如下表格：

|    | 方波频率     | 方波峰峰值 | 三角波峰峰值 | 方波上升时间        |
|----|----------|-------|--------|---------------|
| 上限 | 1.003kHz | 20.40 | 6.000  | 11.12 $\mu s$ |
| 下限 | 100.4Hz  | 20.80 | 6.200  | 23.12 $\mu s$ |

调节  $RP_2$  至 1.012 k $\Omega$ ，得到的方波和三角波波形如下：

根据实际测量得到的电阻值计算频率和三角波峰峰值的理论值，并与实际值比较，结果如下表格：

|        | 理论值     | 实际值     | 相对误差   |
|--------|---------|---------|--------|
| 频率     | 516.5Hz | 459.2Hz | 11.1 % |
| 三角波峰峰值 | 5.833V  | 6.000V  | 2.86 % |

### 5.2 第二档频率范围

选取的电容为  $C_2 = 0.1\mu F$ ，调节  $RP_1$  至 3.014 k $\Omega$  不变，再调节  $RP_2$ ，得到上、下限频率对应的各项指标如下表格：

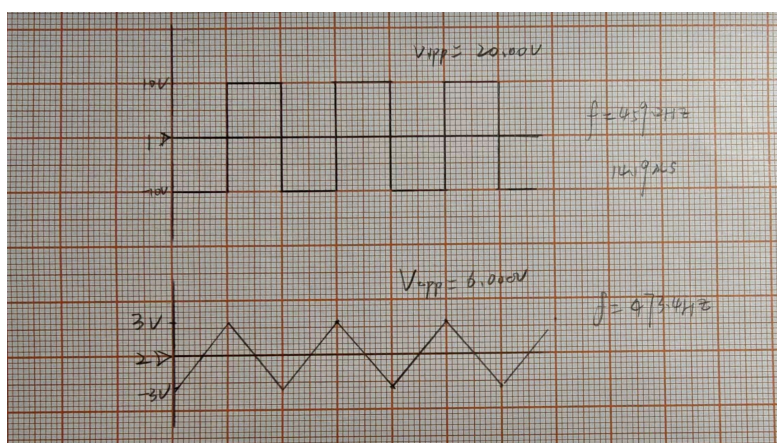


图 2: 第一档频率范围典型波形

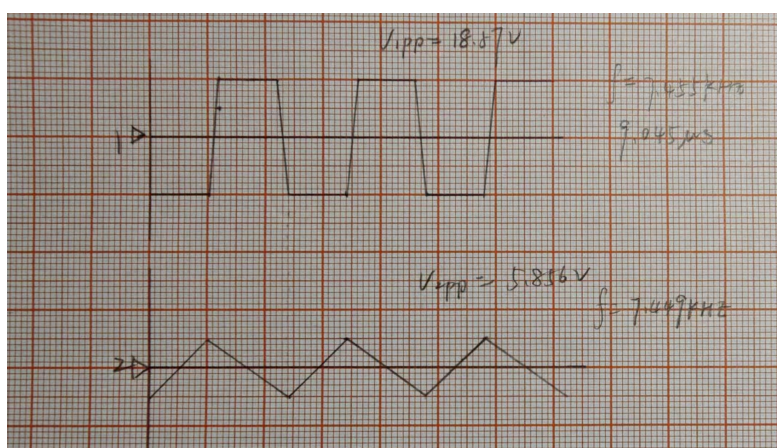


图 3: 第二档频率范围典型波形

|    | 方波频率     | 方波峰峰值  | 三角波峰峰值 | 方波上升时间        |
|----|----------|--------|--------|---------------|
| 上限 | 10.27kHz | 19.80V | 5.900V | 7.860 $\mu$ s |
| 下限 | 1.013Hz  | 20.00V | 6.000V | 8.204 $\mu$ s |

调节  $RP_2$  至  $1.012 k\Omega$ ，得到的方波和三角波波形如下：

根据实际测量得到的电阻值计算频率和三角波峰峰值的理论值，并与实际值比较，结果如下表格：

|        | 理论值      | 实际值      | 相对误差   |
|--------|----------|----------|--------|
| 频率     | 5.165kHz | 7.455kHz | 44.6 % |
| 三角波峰峰值 | 5.833V   | 6.000V   | 2.86 % |

## 6 实验小结

本次实验电路我搭建得比较快，但一开始  $RP_2$  选用的是 W103，导致在调节第二档频率时无法调到 1kHz 及以下，后面发现  $RP_2$  选得太小了，改用于 W504 后便可以顺利调节了。