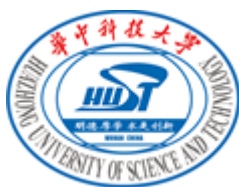


实验报告：方波-三角波发生器

谢悦晋 提高2201班 U20221033



华中科技大学
电子信息与通信学院
Nov 9th, 2023

目录

1	实验名称	2
2	实验目的	2
3	实验元器件	2
4	实验原理	2
5	实验任务：方波-三角波函数发生器设计	5
6	实验结果	6
6.1	实验记录表格	6
6.2	实验图像(对应表格)	6
6.3	实验结果	6
7	实验小结	6

1 实验名称

方波-三角波发生器

2 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（调零及频率补偿）
- 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

3 实验元器件

名称	型号/参数	数量
运算放大器	NE5532	1
电容	$0.1\mu\text{F}$	1
	$0.01\mu\text{F}$	1
电阻	$100\text{k}\Omega$	2
	$47\text{k}\Omega$	1
	$20\text{k}\Omega$	1
	$10\text{k}\Omega$	3
	$5.1\text{k}\Omega$	1

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：

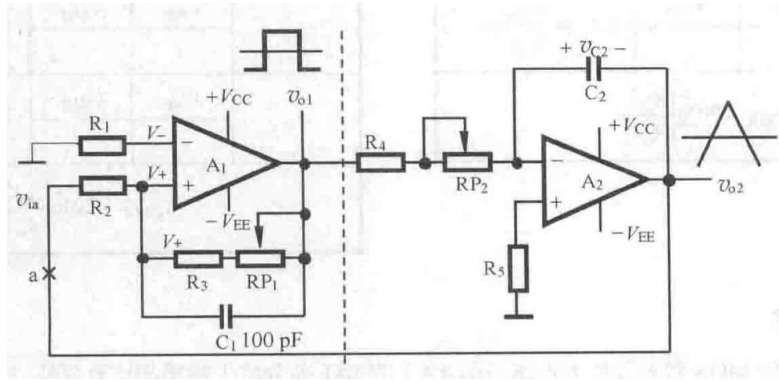


图 1: 原理图

若 a 点断并, 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_{ol} 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:

$$V_+ = \frac{R_2}{R_2 + R_3 + RP_1} V_{ol} + \frac{R_3 + RP_1}{R_2 + R_3 + RP_1} V_{ia} \quad (4.0.1)$$

式中, RP 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 (4.0.1), 得到

$$V_{ia} = \frac{-R_2}{R_3 + RP_1} V_{ol} \quad (4.0.2)$$

设 $V_{ol} = V_{OH} = +V_{CC}$, 代入式(4.0.2)得到一个较小值, 即比较器翻转的下门限电平

$$V_{T-} = V_{ia-} = \frac{-R_2}{R_3 + RP_1} V_{OH} = \frac{-R_2}{R_3 + RP_1} V_{CC} \quad (4.0.3)$$

设 $V_{ol} = V_{OL} = -V_{EE} = -V_{CC}$, 代入式(4.0.2)得到一个较大值, 即比较器翻转的上门限电平

$$V_{T+} = V_{ia+} = \frac{-R_2}{R_3 + RP_1} V_{OL} = \frac{R_2}{R_3 + RP_1} V_{CC} \quad (4.0.4)$$

比较器的门限宽度或回差电压为

$$\Delta V_T = V_{T+} - V_{T-} = 2 \times \frac{R_2}{R_3 + RP_1} V_{CC} \quad (4.0.5)$$

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。 v_{o1} 保持高电平或低电平期间则可看作开路。

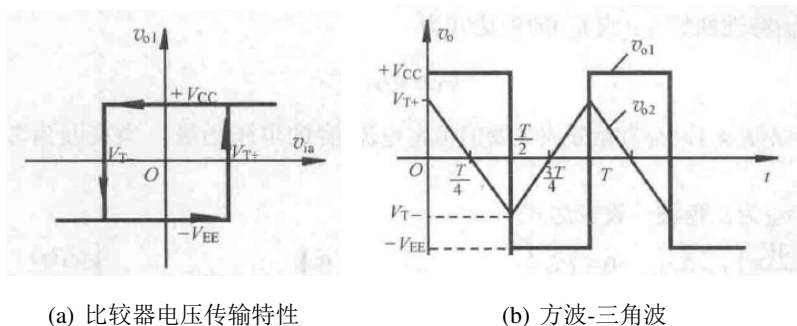


图 2

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

$$\begin{aligned} v_{o2} = -v_{C2} &= -\frac{1}{C_2} \int \frac{v_{o1}}{(R_4 + RP_2)} dt = -\frac{1}{C_2} \int_{t_0}^{t_1} \frac{v_{o1}}{(R_4 + RP_2)} dt - v_{C2}(t_0) \\ &= -\frac{v_{o1}}{(R_4 + RP_2)C_2} (t_1 - t_0) + v_{o2}(t_0) \end{aligned} \quad (4.0.6)$$

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

$$v_{o2} = -\frac{V_{CC}}{(R_4 + RP_2)C_2} (t_1 - t_0) + v_{o2}(t_0) \quad (4.0.7)$$

当 $v_{o1} = -V_{CC}$ 时，则

$$v_{o2} = \frac{V_{CC}}{(R_4 + RP_2)C_2} (t_1 - t_0) + v_{o2}(t_0) \quad (4.0.8)$$

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

$$V_{o2pp} = \Delta V_T = \frac{2R_2}{R_3 + RP_1} V_{CC} \quad (4.0.9)$$

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

$$T = \frac{4R_2(R_4 + RP_2)C_2}{R_3 + RP_1} \quad (4.0.10)$$

方波-三角波的频率为

$$f = \frac{1}{4(R_4 + RP_2)C_2} \cdot \frac{R_3 + RP_1}{R_2} \quad (4.0.11)$$

由式(4.0.9)及式(4.0.11)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 实验任务：方波-三角波函数发生器设计

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，1kHz~10 kHz；输出电压：方波 $V_{pp} \leq 24V$ ，三角波 $V_{pp}=6V$ ；波形特性：方波 $t_r < 30\mu s$ (1kHz，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。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。

装调步骤：1. 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。2. 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。3. 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。4. 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。5. 再调节 RP_2 ，则输出频率连续可变。

6 实验结果

6.1 实验记录表格

6.2 实验图像(对应表格)

6.3 实验结果

7 实验小结