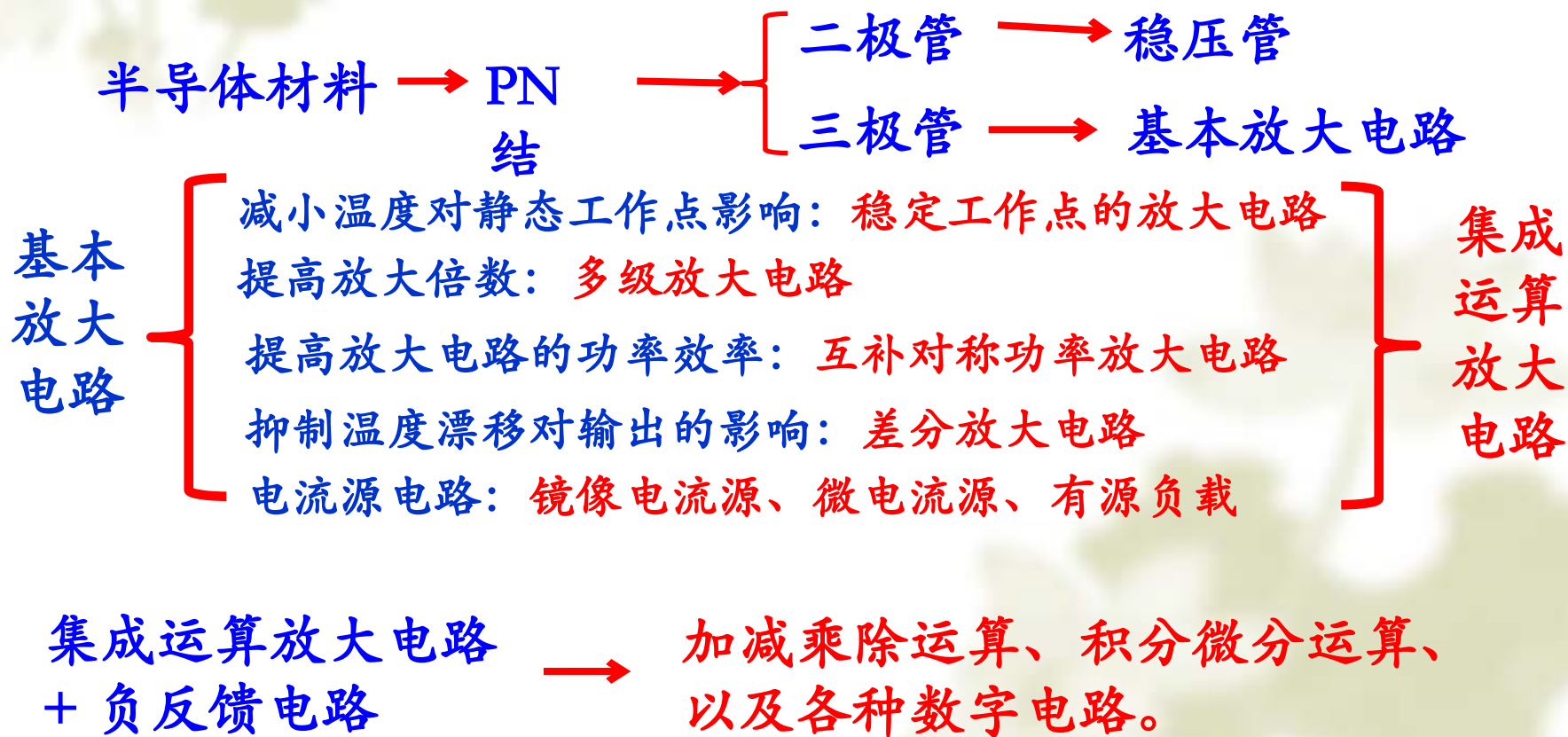
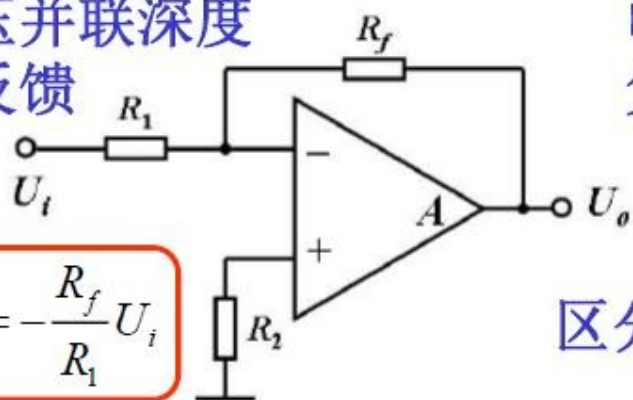


模电知识体系及学习特点

知识体系：



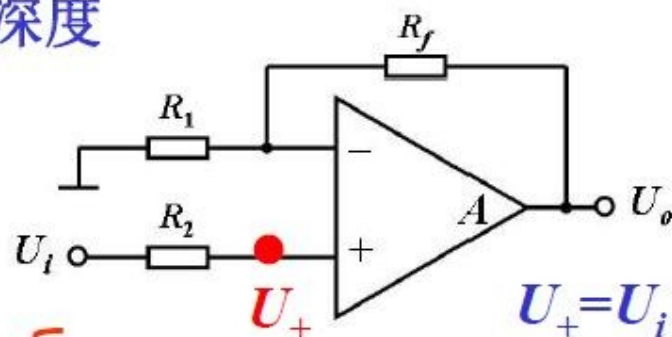
电压并联深度
负反馈



$$U_o = -\frac{R_f}{R_1} U_i$$

反相比例运算电路

电压串联深度
负反馈

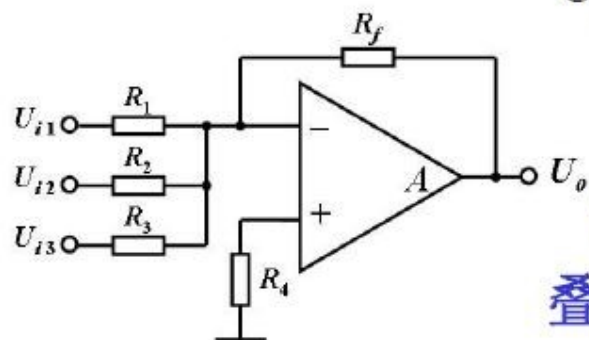


$$U_+ = U_i$$

同相比例运算电路

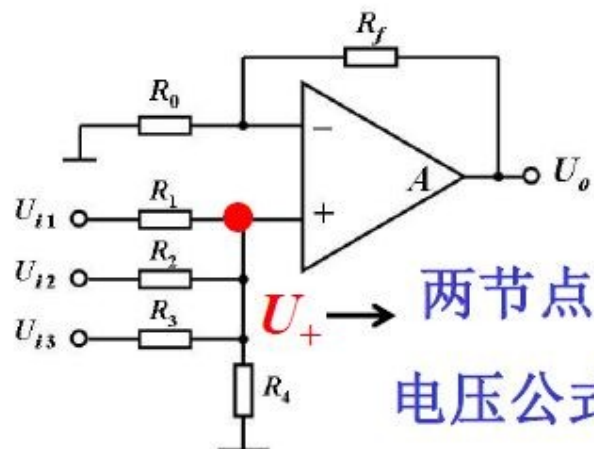
区分看输入

$$U_o = (1 + \frac{R_f}{R_1}) U_+$$



反相加法运算电路

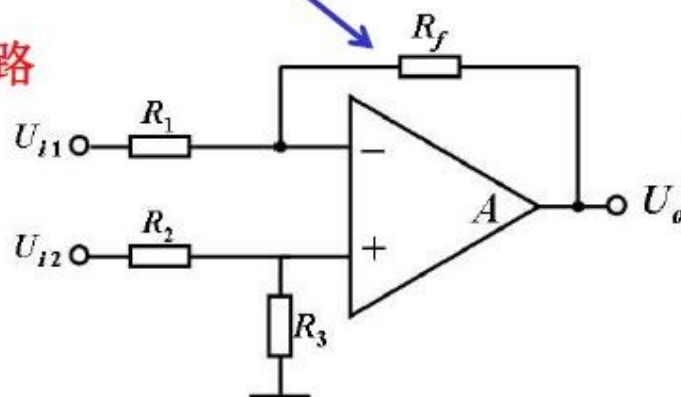
叠加原理



两节点
电压公式

同相加法运算电路

减法运算电路



总结:

运算电路的关系式 $u_o = f(u_i)$

分析方法: “虚短”和“虚断”是基本出发点。

$$u_+ = u_- \quad i_+ = i_- = 0$$

分析步骤:

1 判断运算电路必须工作在线性区: 存在负反馈通路,

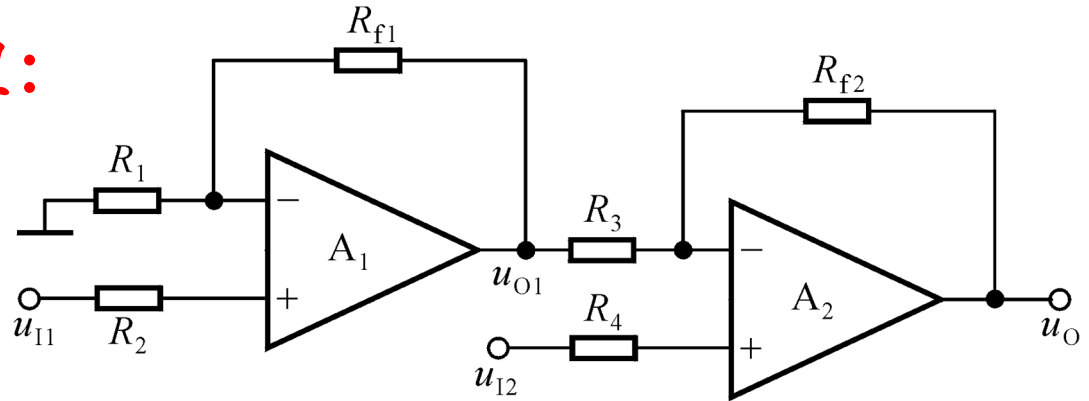
2 运放的已知条件是“虚短”和“虚断”, 外围电路分析用第一章直流分析中的各种分析方法分析, 如 KCL, KVL 等。

3 最后整理方程式, 列出关系式 $u_o = f(u_i)$, 分析电路的运算关系。

注: 某些电阻的求解是要符合同相端和反相端的等效电阻相等的原理。

讨论一：电路如图所示

级联的电路分级处理：



第一级：

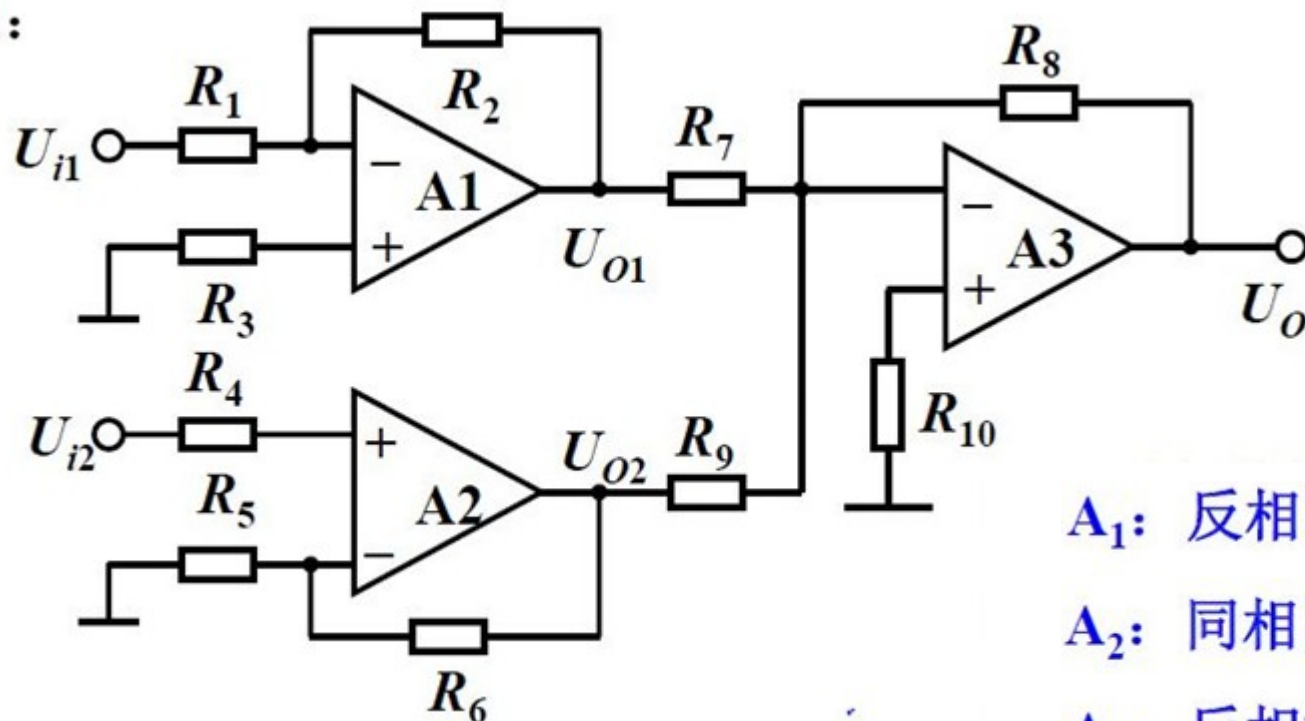
$$u_{o1} = u_{I1} \frac{R_{f1} + R_1}{R_1} = \left(1 + \frac{R_{f1}}{R_1} \right) u_{I1}$$

第二级：

$$\frac{u_o - u_{I2}}{R_{f2}} = \frac{u_{I2} - u_{o1}}{R_3}$$

联立求解： $u_O = f(u_{I1}, u_{I2})$

例题1:



A_1 : 反比例运算

A_2 : 同比例运算

A_3 : 反相加法运算

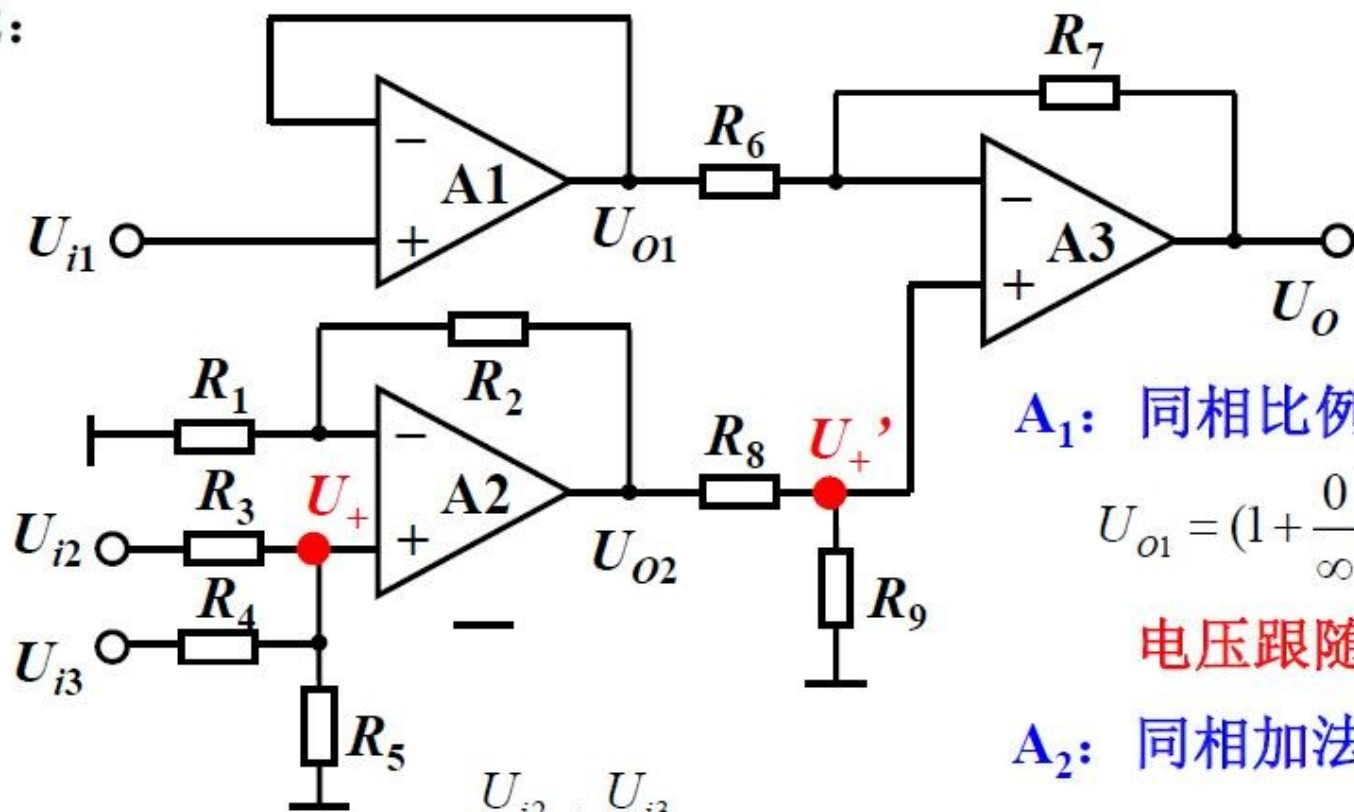
$$U_{o1} = -\frac{R_2}{R_1} \times U_{i1} \quad U_{o2} = \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right) \times U_{i2} \quad U_o = \left(-\frac{R_8}{R_7}\right) \times U_{o1} + \left(-\frac{R_8}{R_9} \times U_{o2}\right)$$

思考: 若要求 $U_o = -5U_{o1} + -4U_{o2}$, 已知 $R_8 = 100\text{k}\Omega$,

$R_7 = ?$ $R_9 = ?$ $R_{10} = ?$

$$R_7 = 20\text{k}\Omega; \quad R_9 = 25\text{k}\Omega; \\ R_{10} = R_7 // R_8 // R_9 = 10\text{k}\Omega$$

例题2:



A₁: 同相比值运算

$$U_{o1} = (1 + \frac{0}{\infty}) \times U_{i1}$$

电压跟随器

A₂: 同相加法运算

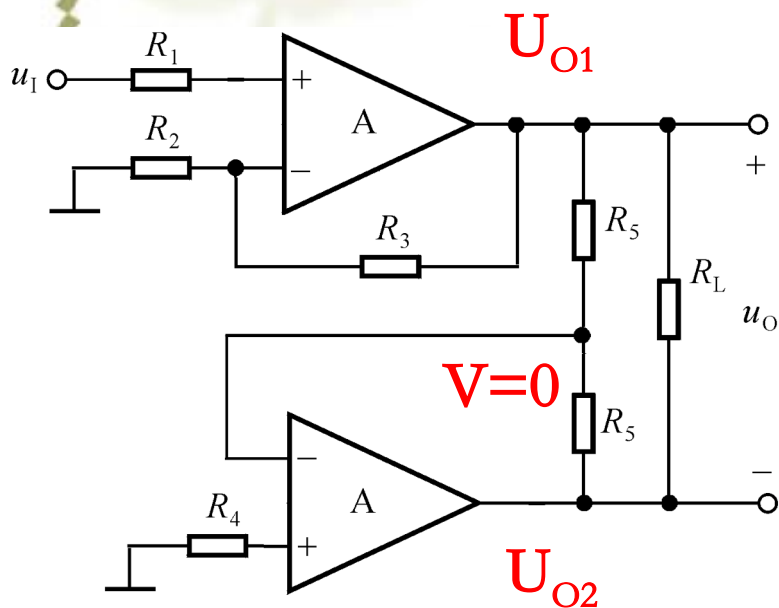
$$R_1 // R_2 = R_3 // R_4 // R_5$$

A₃: 减法运算 $R_6 // R_7 = R_8 // R_9$

$$U_{o2} = (1 + \frac{R_2}{R_1}) U_+ = (1 + \frac{R_2}{R_1}) \frac{\frac{U_{i2}}{R_3} + \frac{U_{i3}}{R_4}}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}}$$

$$U_o = (1 + \frac{R_7}{R_6}) \times U_+' + (-\frac{R_7}{R_6} \times U_{o1}) = (1 + \frac{R_7}{R_6}) \times \frac{R_9}{R_8 + R_9} U_{o2} - \frac{R_7}{R_6} \times U_{o1}$$

讨论二



并联的电路分电位处理

$$u_o \rightarrow u_{o1} \rightarrow u_{1-} \rightarrow u_{1+} \rightarrow u_I$$

$$\quad \quad \quad \searrow \quad u_{o2} \rightarrow u_{2-} \rightarrow u_{2+}$$

电位点 o1 : $u_I = \frac{u_{o1} R_2}{R_3 + R_2}$

电位点
o2:

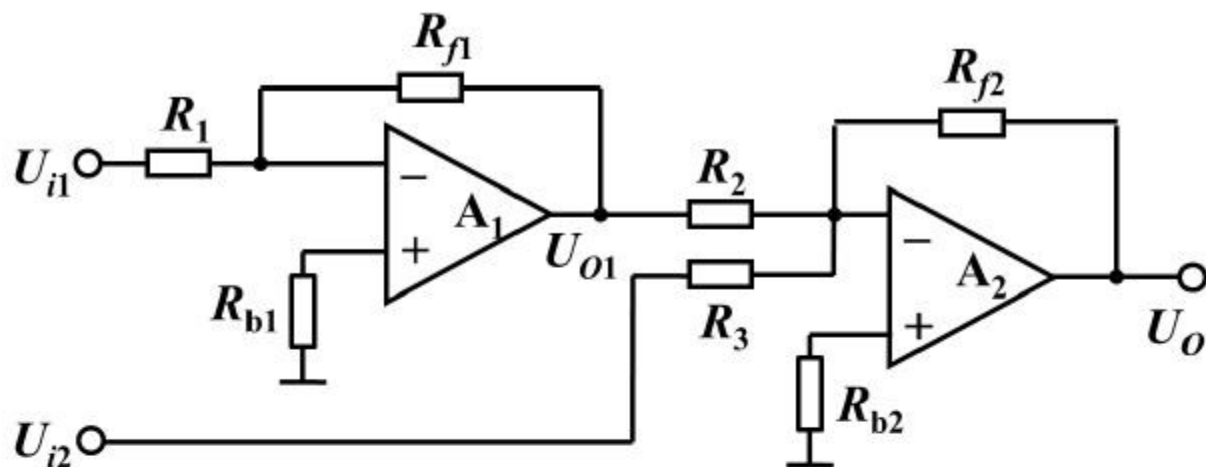
$$\frac{u_{o2} - 0}{R_5} = \frac{0 - u_{o1}}{R_5} \rightarrow u_{o2} = -u_{o1}$$

联立求解: $u_o = u_{o1} - u_{o2} = 2u_{o1} = 2\left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right)u_I$

作业：P 294 图9-75

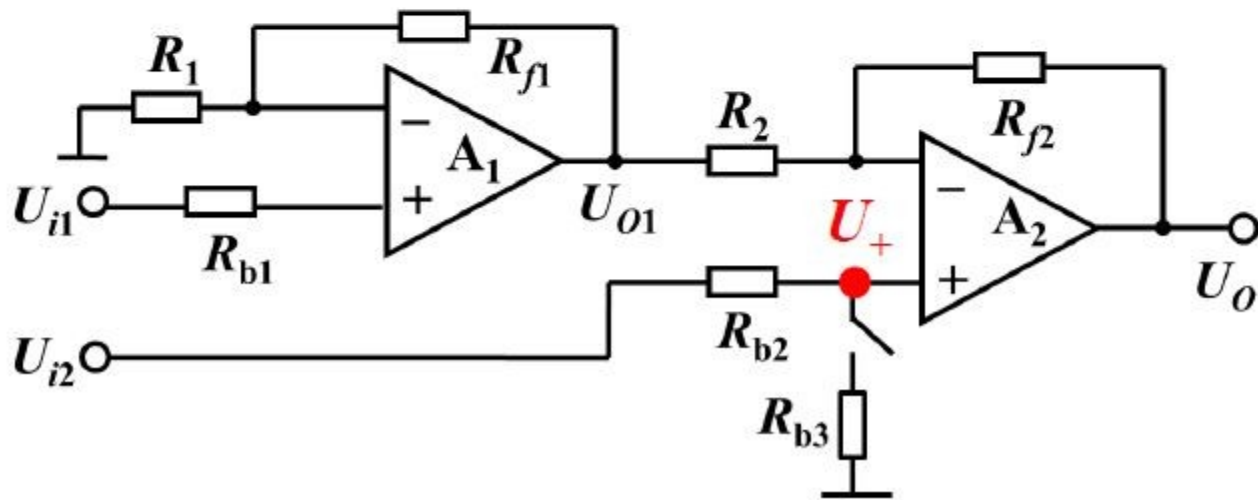
(1) 请问 A_1 和 A_2 分别实现了什么运算？

(2) 写出 U_{O1} 、 U_O 和 R_{b2} 的计算表达式

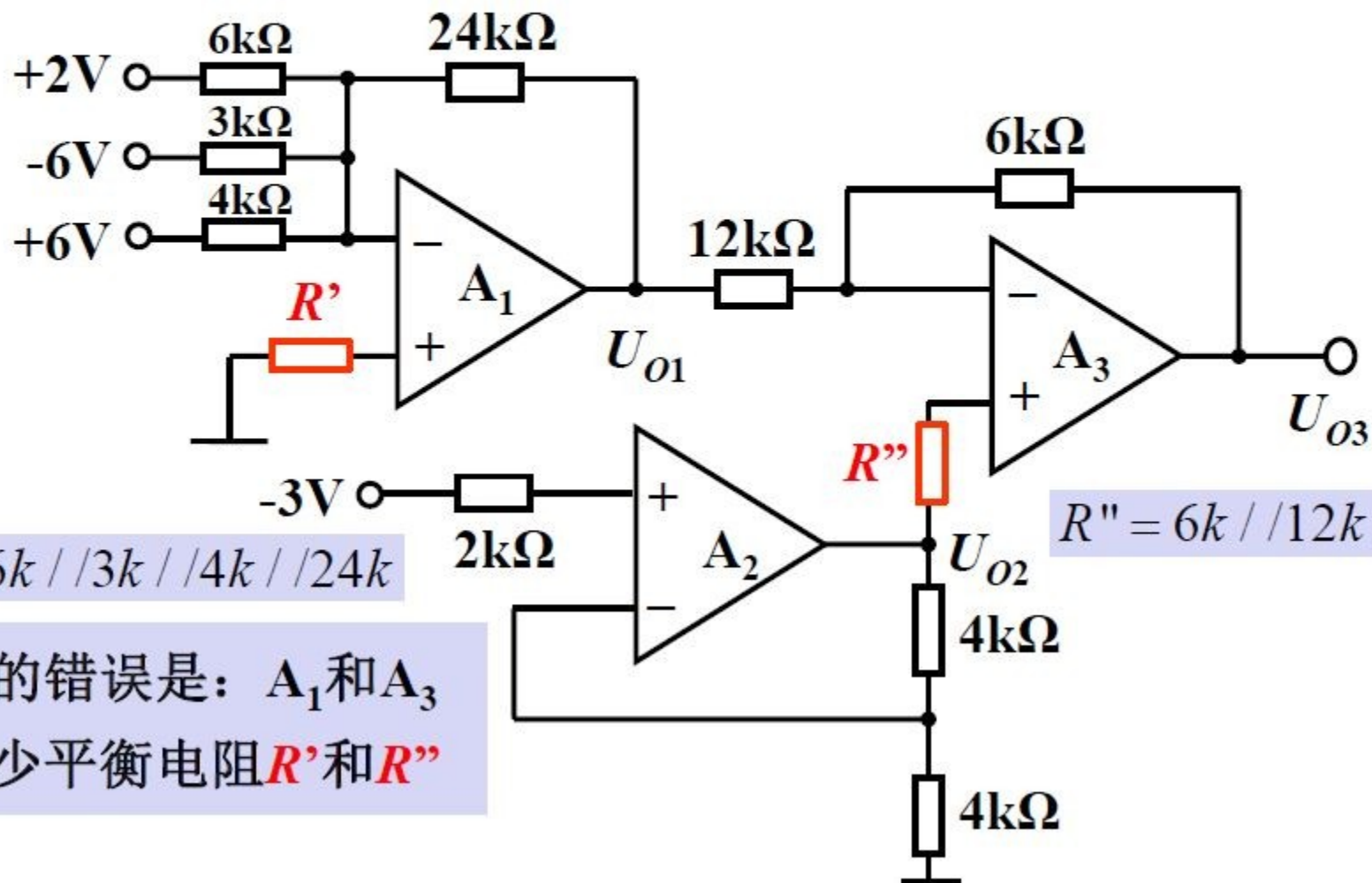


P 294 图9-74 (a) (1) 请说明 A_1 和 A_2 分别实现了什么运算？

(2) 请写出 U_{O1} 、开关打开时和闭合后 U_O 的计算表达式



- P294 图9-73 (1) 请说明 A_1 、 A_2 和 A_3 分别实现了什么运算？
- (2) 请写出 U_{O1} 、 U_{O2} 和 U_{O3} 的计算表达式
- (3) 请找出图中两个错误的地方，并进行订正



第9章 信号的运算、处理及波形发生电路

一、概述

二、比例运算电路 (9.1.1)

三、加减运算电路 (9.1.2)

→ 线性

四、电压比较器 (9.5)

→ 非线性的

四、电压比较器 (9.5)

1. 电压比较器的功能：比较电压的大小。

输入电压是模拟信号；输出电压表示比较的结果，只有高电平和低电平两种情况，为二值信号。使输出产生跃变的输入电压称为阈值电压。

广泛用于各种报警电路。

2. 电压比较器的描述方法：电压传输特性 $u_O = f(u_I)$

电压传输特性的三个要素：

(1) 输出高电平 U_{OH} 和输出低电平 U_{OL}

(2) 阈值电压 U_T

(3) 输入电压过阈值电压时输出电压跃变的方向

3. 几种常用的电压比较器

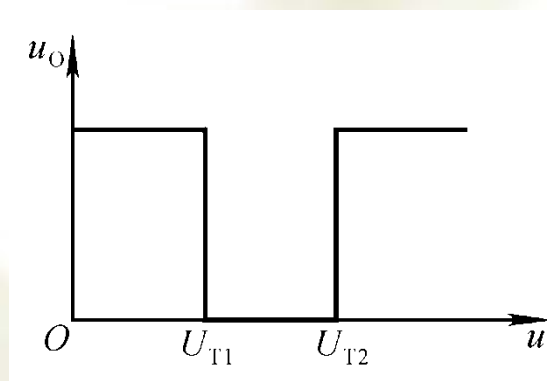
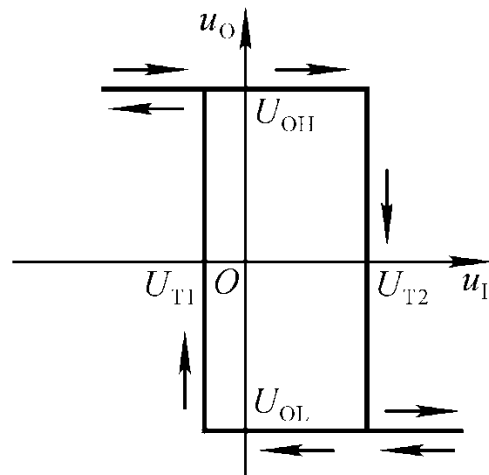
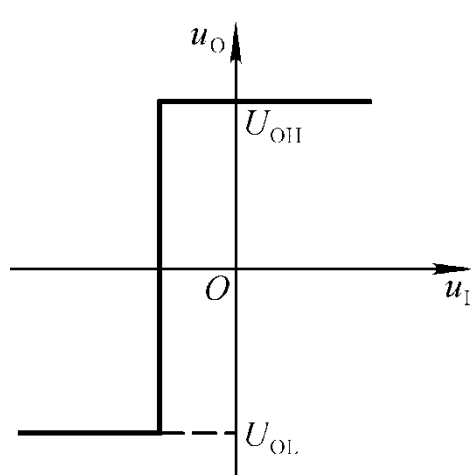
(1) 单限比较器：只有一个阈值电压

(2) **滞回比较器**：具有滞回特性

输入电压的变化方向不同，**阈值电压也不同**，但输入电压单调变化使输出电压只跃变一次。

回差电压：

$$\Delta U = |U_{T1} - U_{T2}|$$

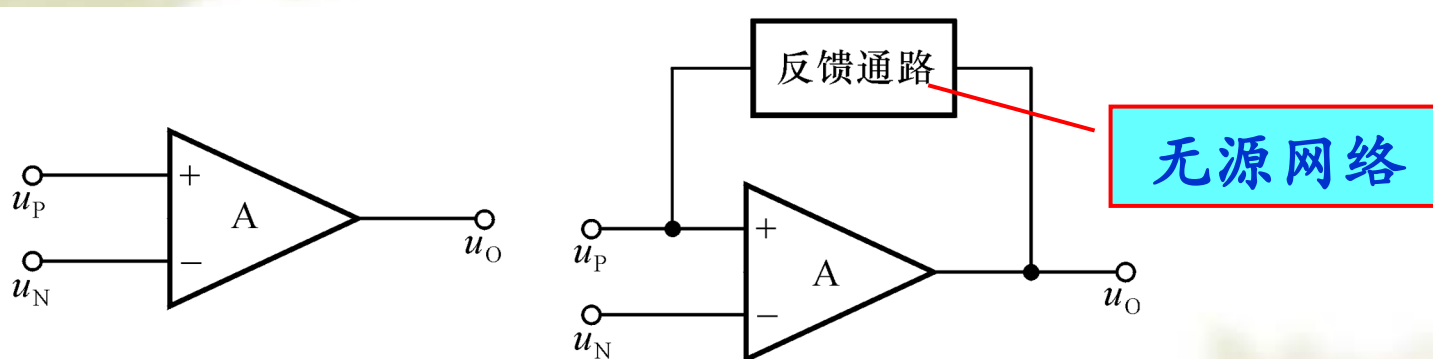


(3) 窗口比较器：

有两个阈值电压，输入电压单调变化时输出电压跃变两次。

4、集成运放的非线性工作区

电路特征：集成运放处于开环或仅引入正反馈

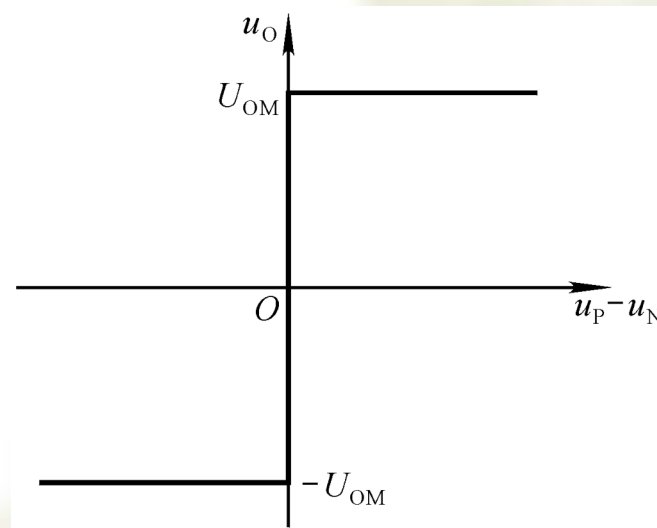


理想运放工作在非线性区的特点：

1) 净输入电流为 0

2) $u_P > u_N$ 时, $u_O = +U_{OM}$

$u_P < u_N$ 时, $u_O = -U_{OM}$



5、基本要求

1) 电路的识别及选用； 2) 电压传输特性的分析。

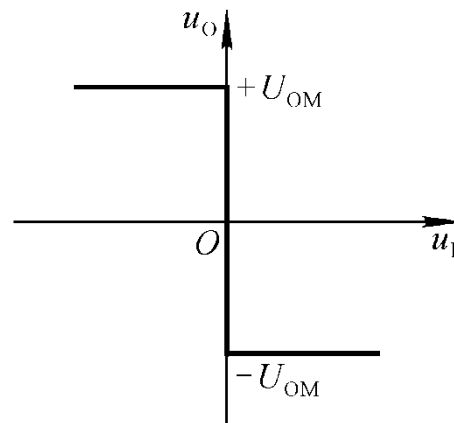
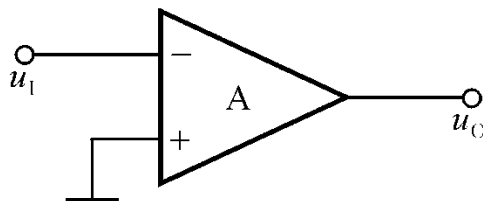
二、单限比较器

1. 过零比较器

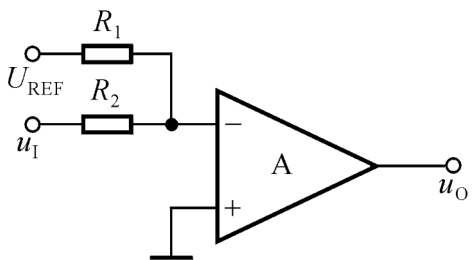
(1) $U_T = 0$

(2) $U_{OH} = +U_{OM}, U_{OL} = -U_{OM}$

(3) $u_I > 0$ 时 $u_O = -U_{OM}$; $u_I < 0$ 时 $u_O = +U_{OM}$



2. 一般单限比较器



$$u_N = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{REF} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_I$$

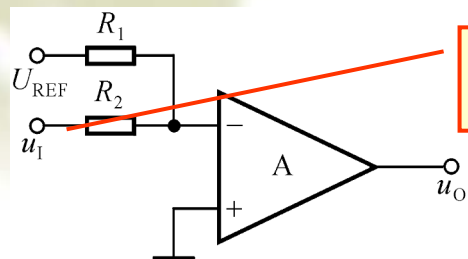
令 $u_N = u_P = 0$, 得

$$U_O = \pm U_{OM}$$

阈值电压

$$U_T = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_{REF}$$

2. 一般单限比较器

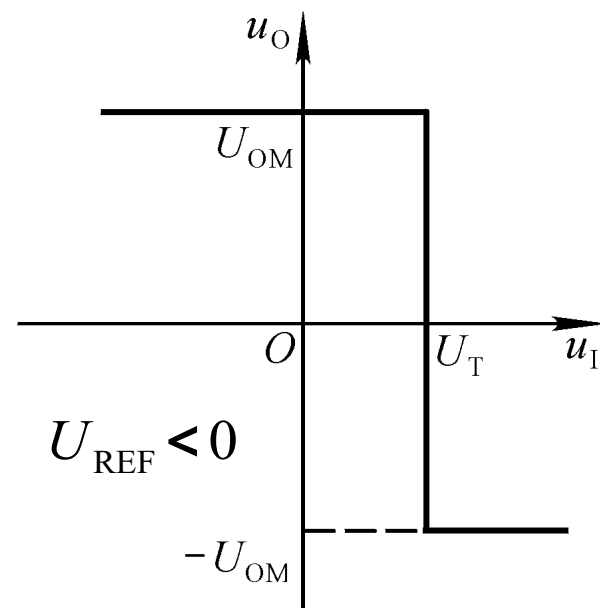


作用于反相输入端

$$U_O = \pm U_{OM}$$

阈值电压

$$U_T = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_{REF}$$



电压比较器的分析方法

(1) 写出 u_p 、 u_N 的表达式, 令 $u_p = u_N$, 求解出的 u_I 即为 U_T ;

(2) 根据集成运放的输出电压幅值或输出端限幅电路决定输出的高、低电平;

第三章讲述

(3) 根据输入电压作用于同相输入端还是反相输入端决定输出电压的跃变方向。

第9章 信号的运算、处理及波形发生电路

一、概述

二、比例运算电路 (9.1.1)

三、加减运算电路 (9.1.2)

四、电压比较器 (9.5)

要求：掌握运算电路的分析方法：

线性区

非线性区

总结:

(1) 工作在线性区的特点: 存在负反馈通路

由于 u_O 为有限值, $A_{od} = \infty$, 因而净输入电压 $u_P - u_N = 0$, 即

$$u_P = u_N \quad \text{——虚短路}$$

因为净输入电压为零, 又因为输入电阻为无穷大, 所以两个输入端的输入电流也均为零, 即

$$i_P = i_N = 0 \quad \text{——虚断路}$$

“虚短”和“虚断”是分析工作在线性区的集成运放的应用电路的两个基本出发点。

(2) 工作在非线性区的特点: 无反馈或正反馈

输出不是高电平 $+U_{OM}$ 就是低电平 $-U_{OM}$

“虚断”是分析工作在非线性区的集成运放的应用电路的基本出发点。但“虚短”不再适用。

9.7.1 方波发生电路

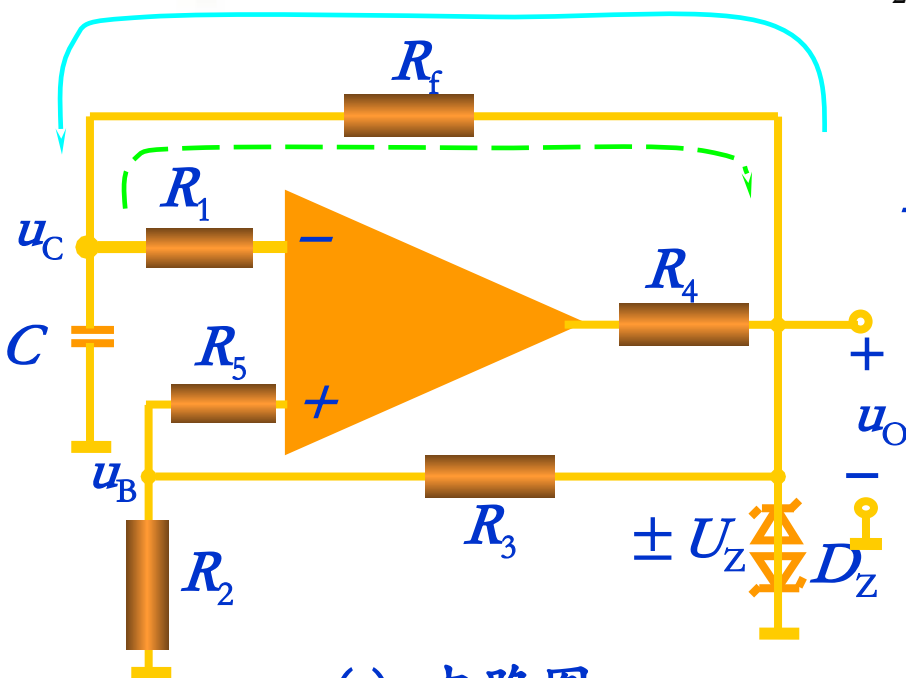
■ 图 9.44 示为一个简单的方波发生器。

■ 1. 工作原理 $u_B = U_{B1} = +U_Z \frac{R_2}{R_2 + R_3} = +FU_Z$ (假设 $3V$)

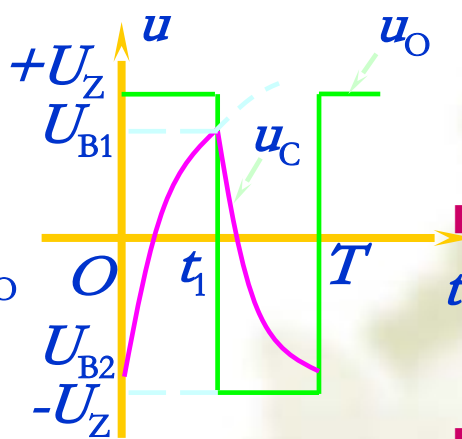
■ 电路接通电源的瞬间，假设开始时输出电压 u_O 为正值

■ $u_O = +U_Z$
($5V$)

■ 则同相输入端门限电压



(a) 电路图



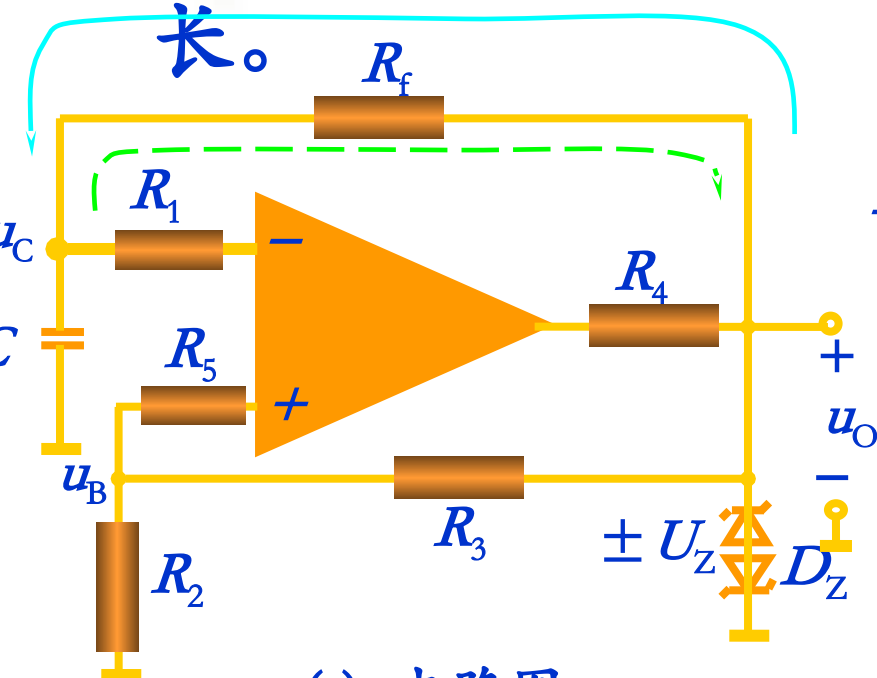
(b) 波形图

图 9.44 方波发生器

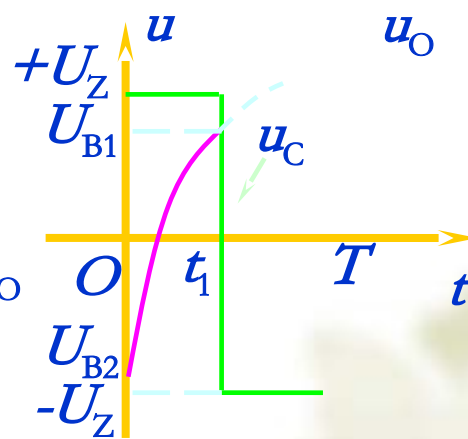
■ $u_O = 5V$, $u_+ = u_B = 3V$, $u_- = u_C = 0V$

■ 输出电压 u_O 经过电阻 R_f 向 C 充电 (充电电流方向如图中实线箭头所示), u_C 按指数规律增

长。



(a) 电路图



(b) 波形图

■ 当 u_C 上升到略高于 u_{B1} 时, 输出电压便翻转。

■ $u_O = -U_Z$

■ 则同相输入端门限电压

图 9.44 方波发生器

$$u_B = U_{B2} = -U_Z \frac{R_2}{R_2 + R_3} = -FU_Z$$

■ $u_O = -5V$, $u_+ = u_B = -3V$, $u_- = u_C = 3V$

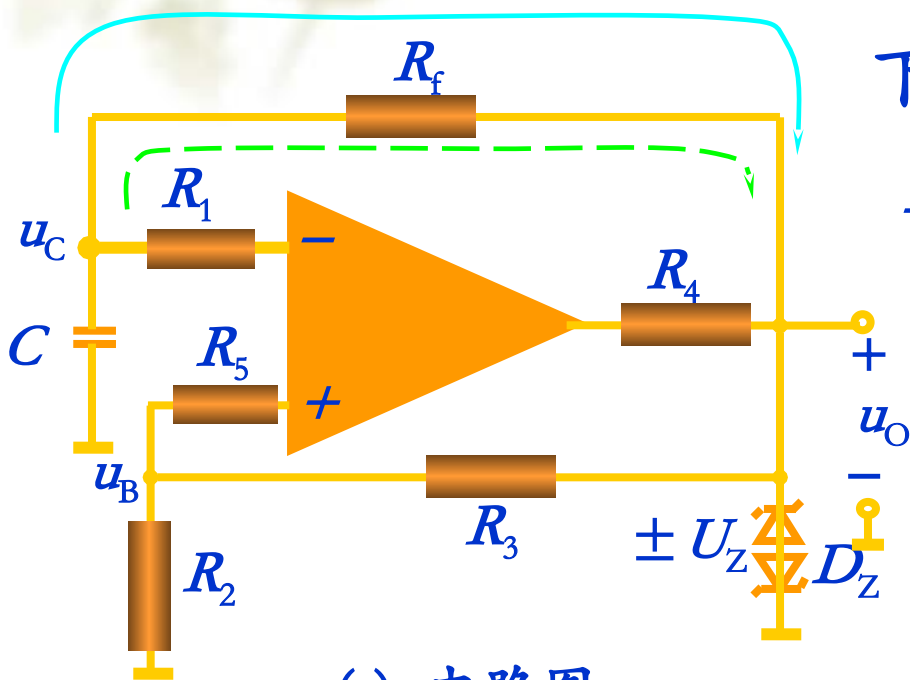
■ 电容器 C 经 R_f 放电 (如图中虚线箭头所示), u_C 按指数规律下降。

■ 当 u_C 降到略低于 U_{B2} 时, 输出电压再次翻转。

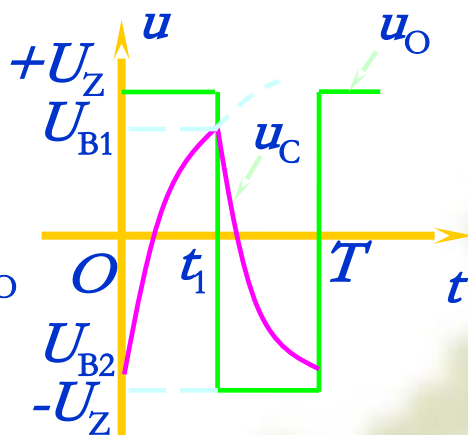
■ $u_O = +U_Z$

■ 如此周而复始, 便在输出端得到了方波电压。

■ 如图 9.45 (b) 所示。



(a) 电路图



(b) 波形图

图 9.44 方波发生器