

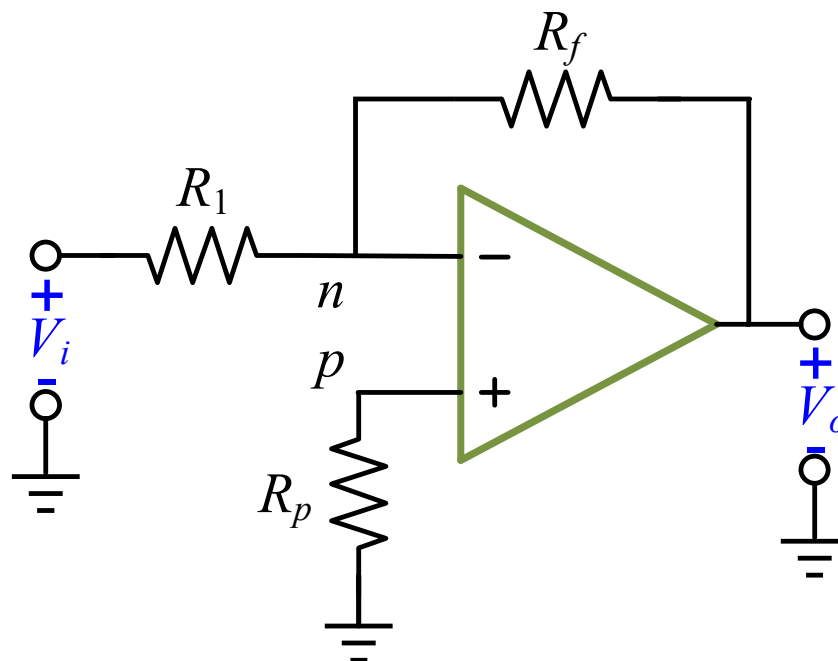
第五章 模拟运算电路

5.5 微分/积分/对数/指数电路

微分/积分/对数/指数电路

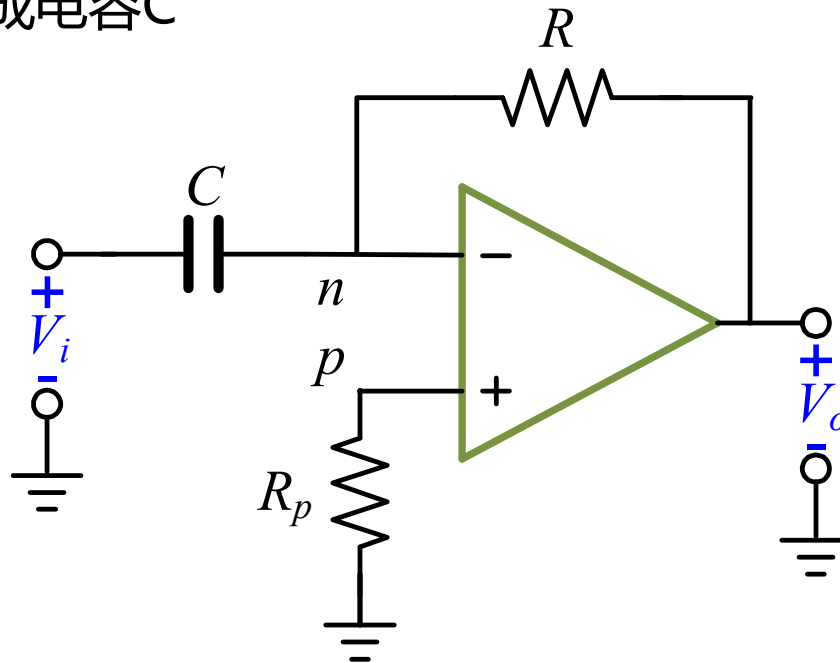
- 微分电路、积分电路
- 对数运算电路、指数运算电路
- 乘法电路、除法电路

反相放大器



微分电路

- 把反相放大器中电阻 R_1 换成电容 C



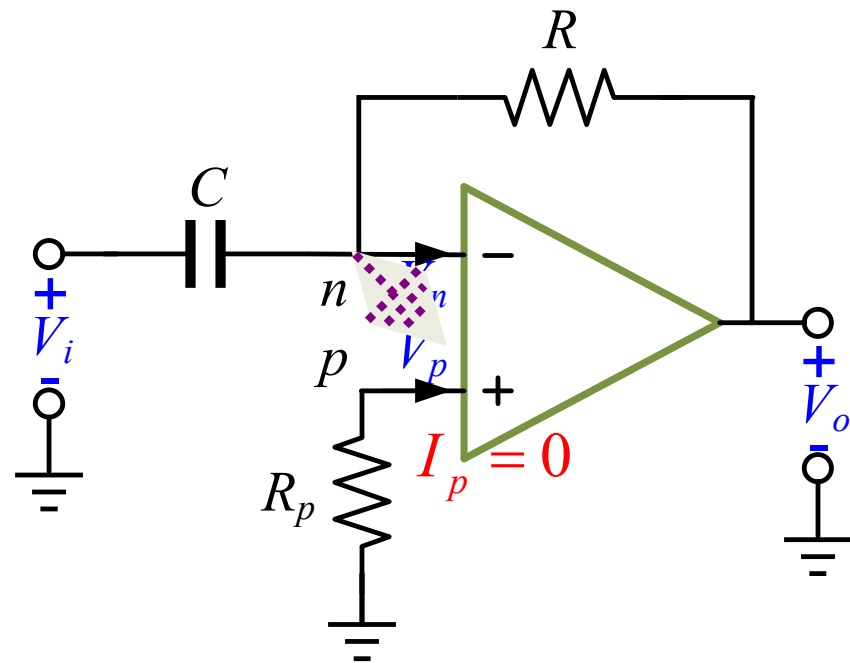
微分电路

- 根据理想运放的虚短和虚断特性

$$I_p = 0 \quad V_p = 0$$

$$V_n = V_p = 0$$

– 节点n虚地



微分电路

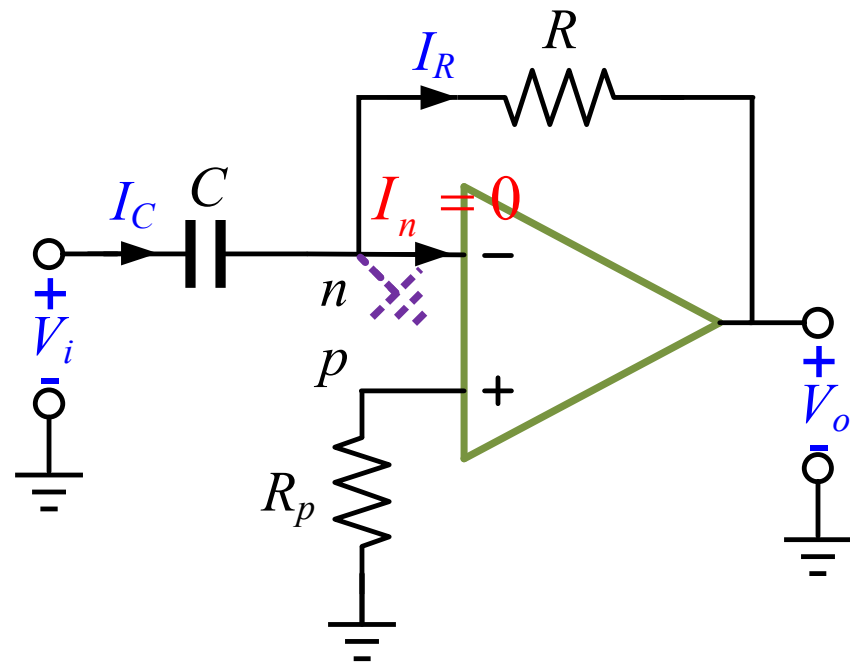
$$I_n = 0 \quad I_C = I_R$$

- 零状态初始条件 $I_C = C \frac{dV_i}{dt}$

$$V_o = -I_R R$$

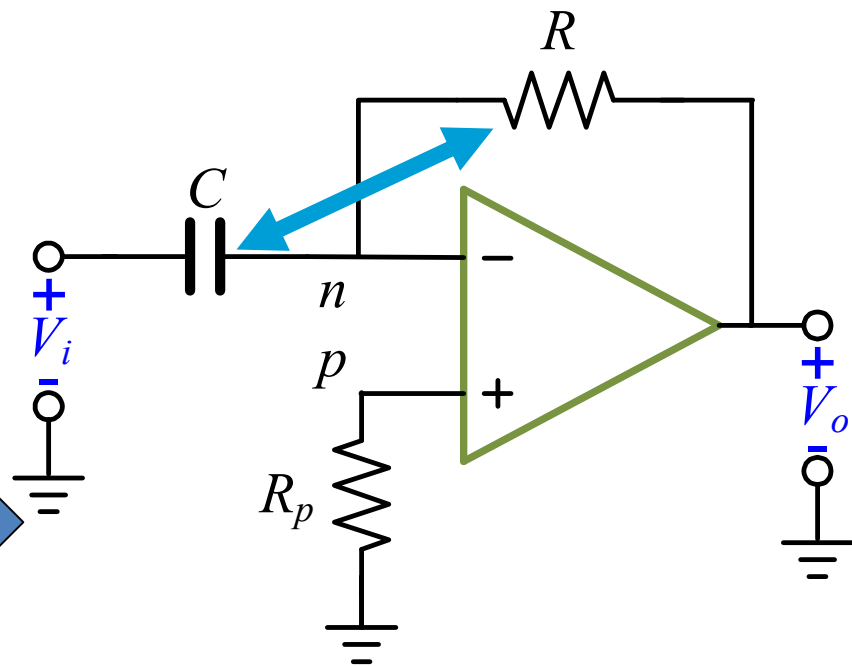
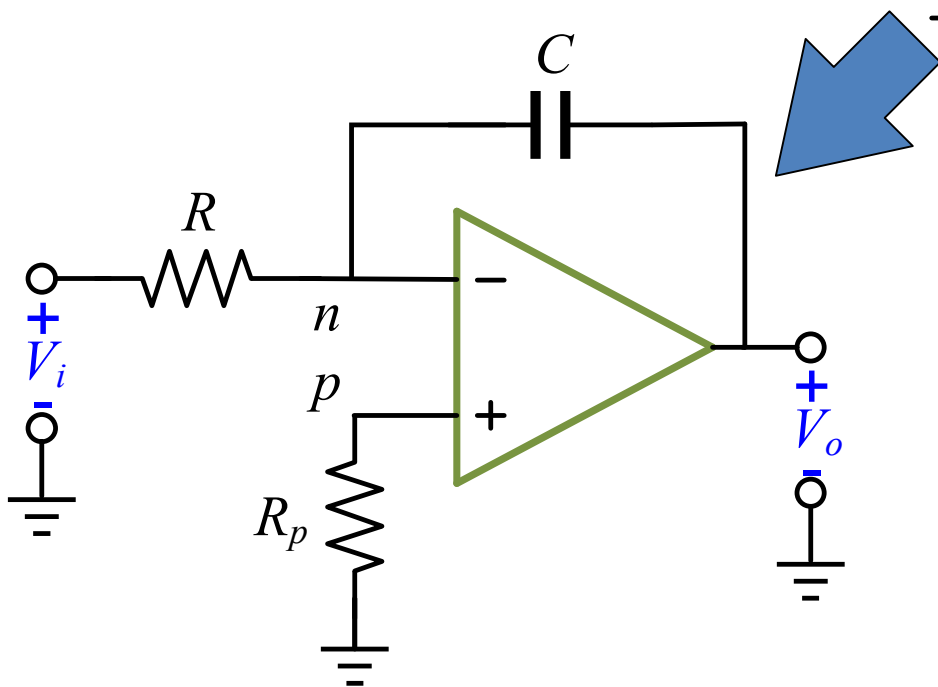
$$V_o = -RC \frac{dV_i}{dt}$$

- 微分运算关系



积分电路

- 把微分电路中电阻 R 和电容 C 位置互换



积分电路

$$I_R = I_C$$

$$I_R = \frac{V_i}{R}$$

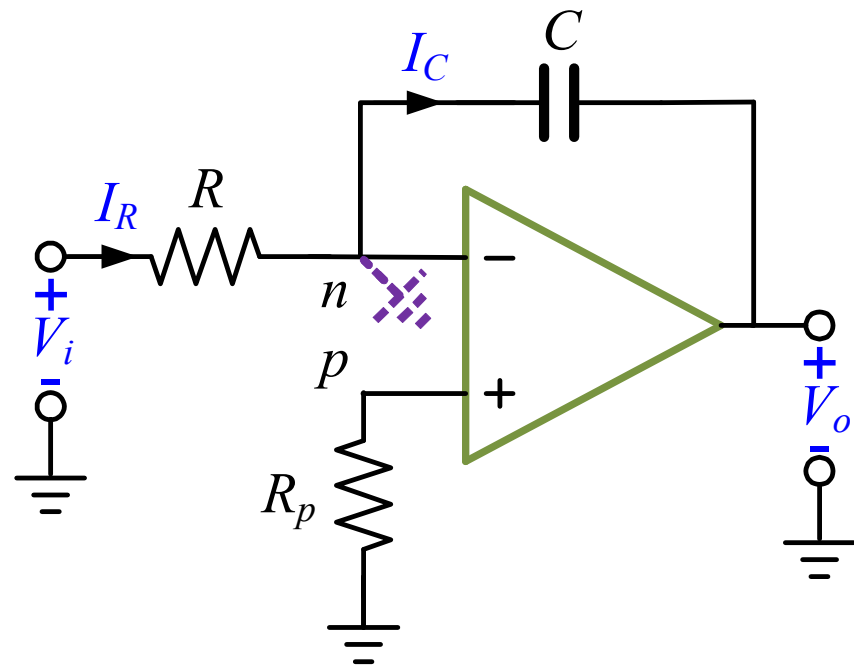
- 零状态初始条件

$$I_C = -C \frac{dV_o}{dt}$$

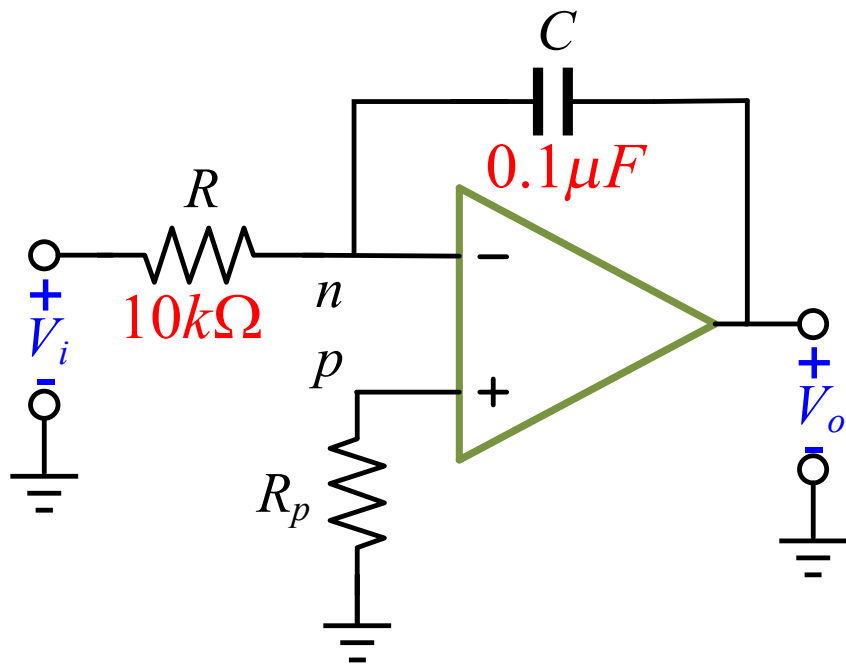
$$V_i = -RC \frac{dV_o}{dt}$$

$$V_o = -\frac{1}{RC} \int V_i dt$$

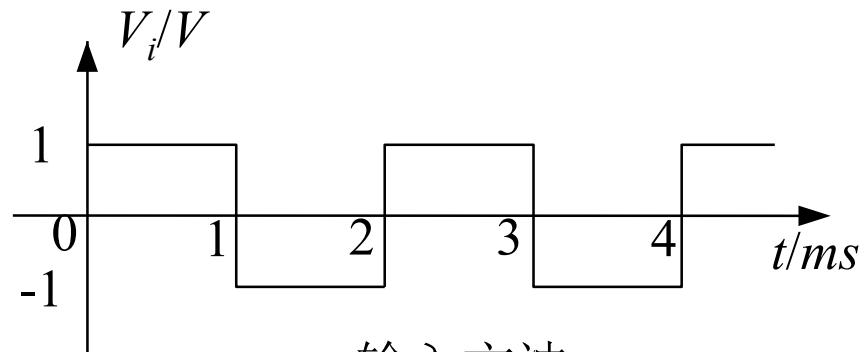
- 积分运算关系



积分电路



零状态初始条件

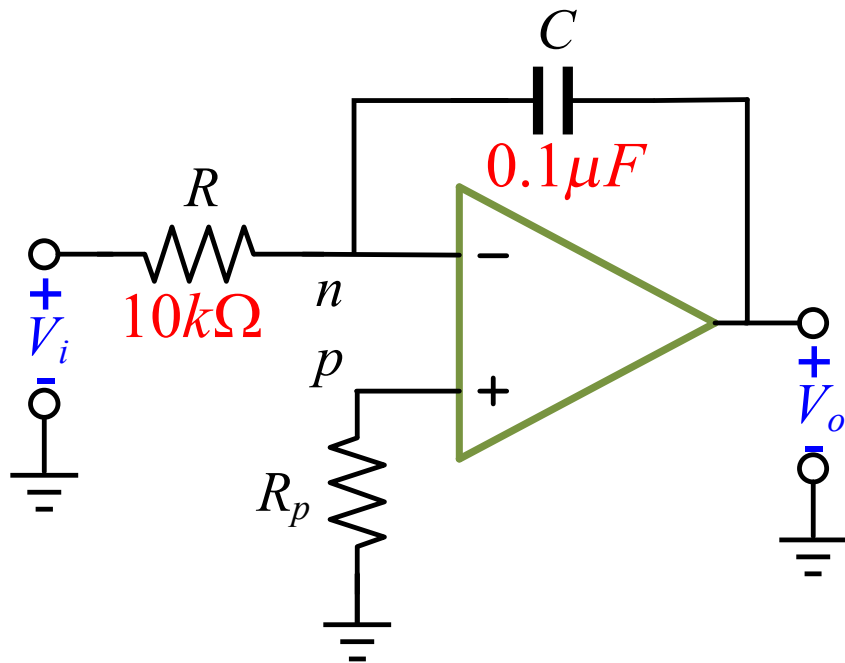


输入方波

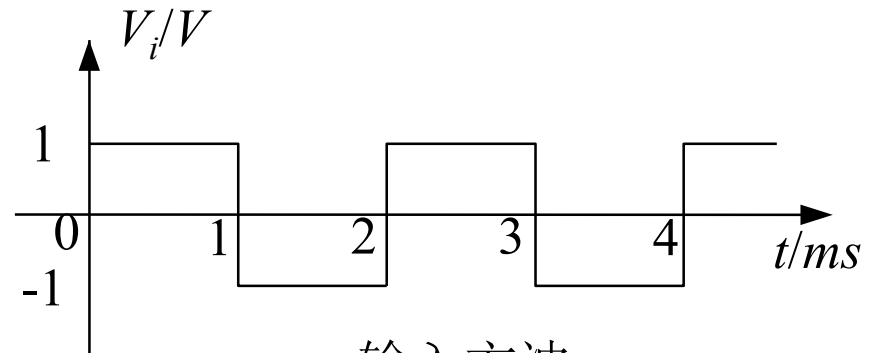
$$\begin{aligned}
 V_o|_{1ms} &= -\frac{1}{RC} \int_0^{1ms} V_i dt \\
 &= -\frac{1}{10 \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-6}} \int_0^{10^{-3}} 1 dt \\
 &= -1V
 \end{aligned}$$

$$V_o|_{2ms} = 0$$

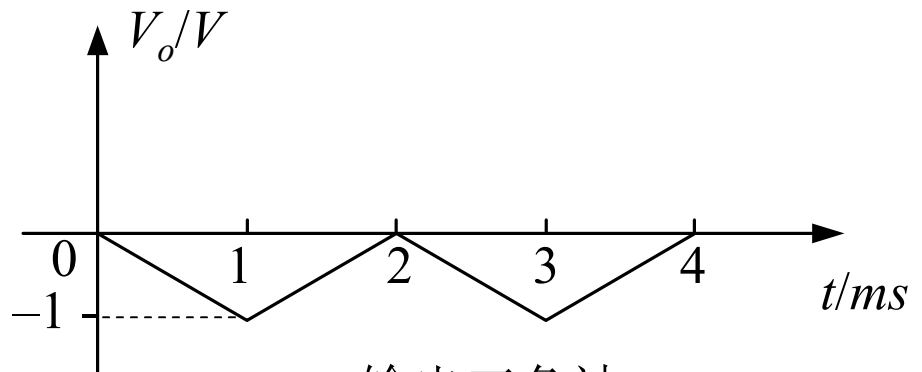
积分电路



零状态初始条件



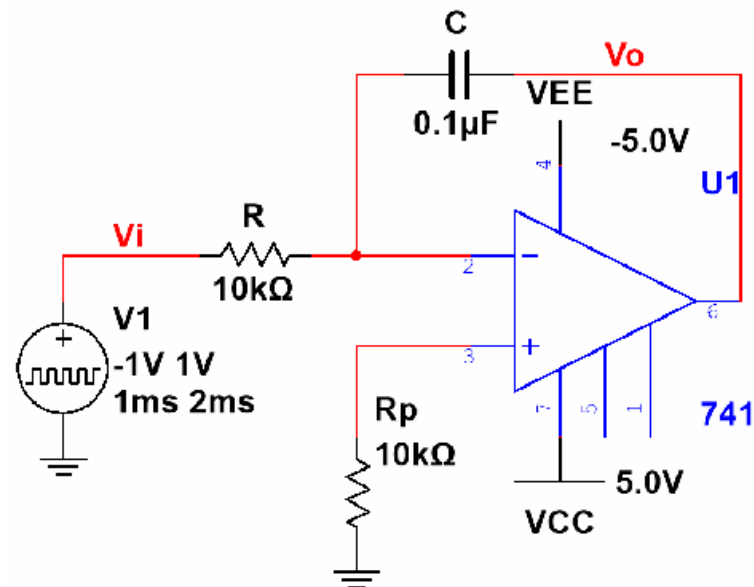
输入方波



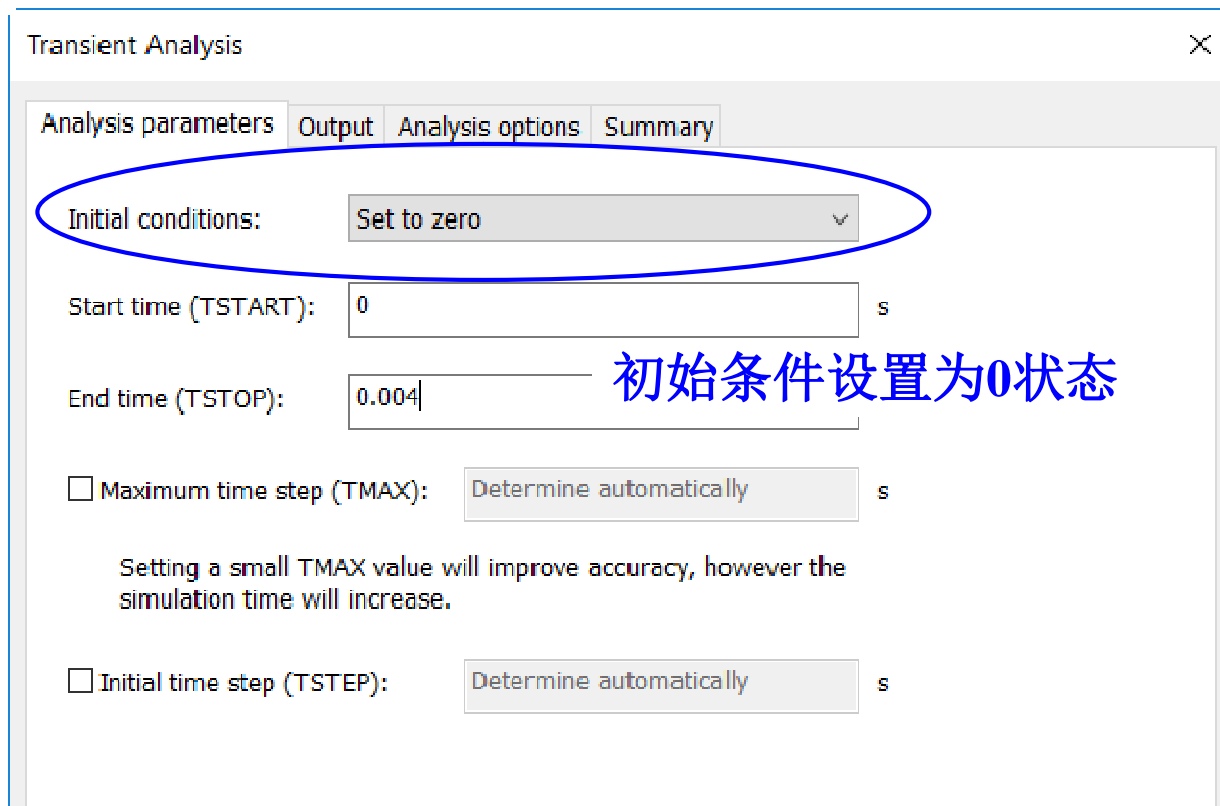
输出三角波

积分电路仿真

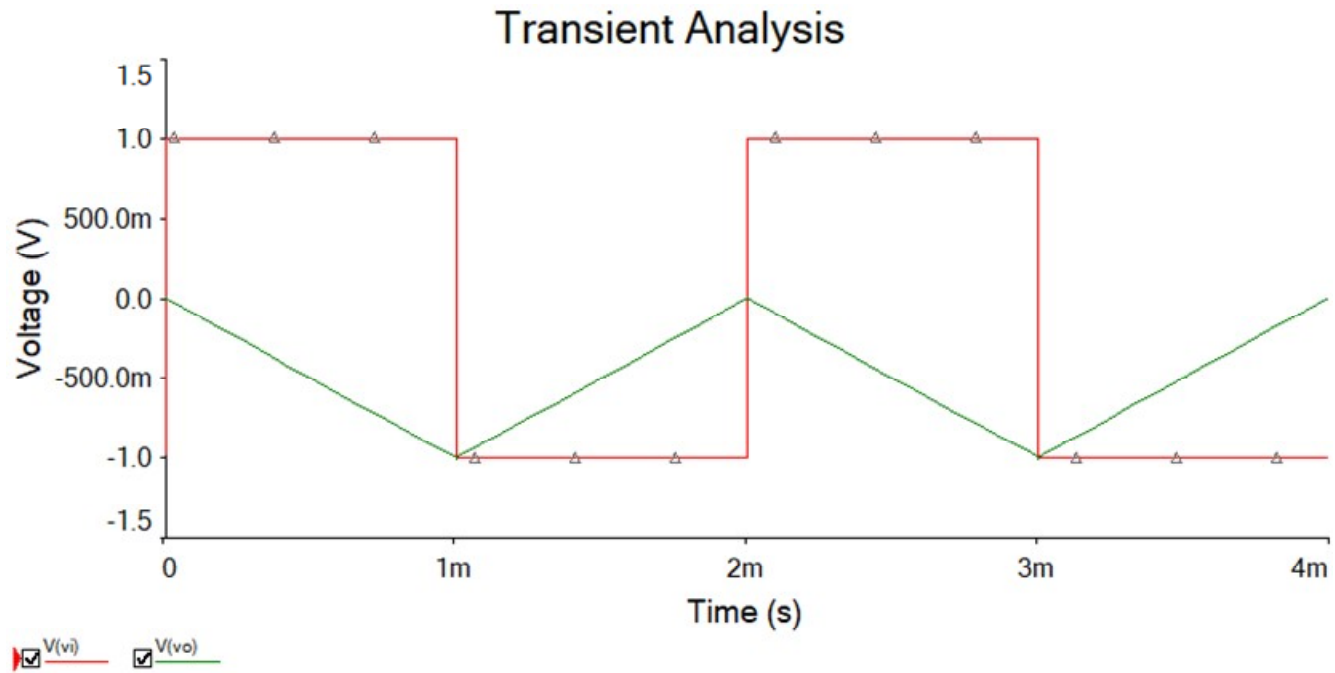
- 输入信号：脉冲电压源，幅度 $\pm 1\text{V}$ ，周期 2ms ，占空比 50%
- 瞬态仿真，仿真时间 4ms



仿真设置

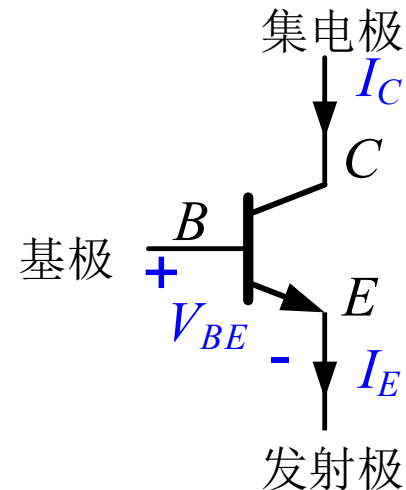


积分电路仿真



双极型晶体管

- 基于双极型晶体管的运算电路
 - 优点：电路结构简单
 - 缺点：对温度敏感，应用受限



- NPN双极型晶体管

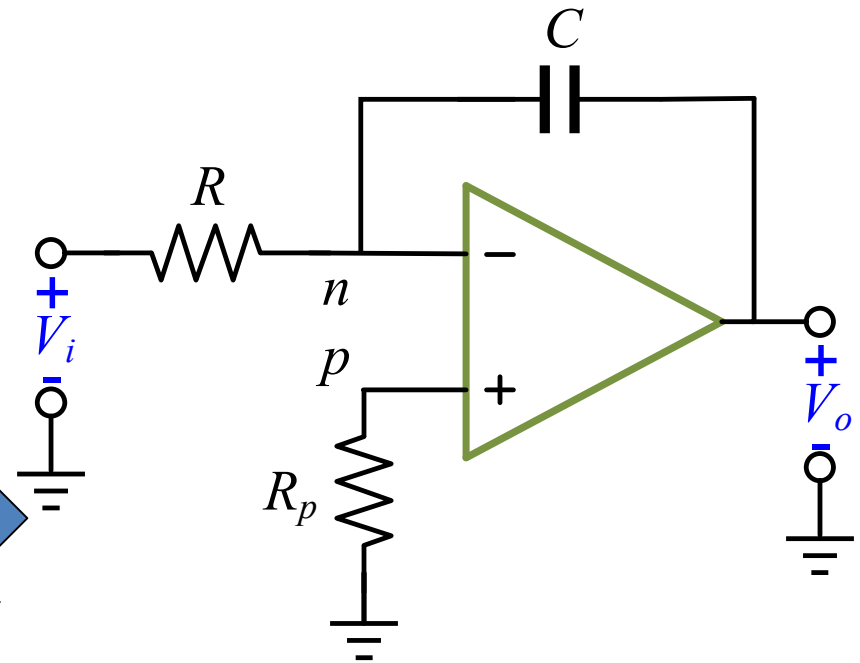
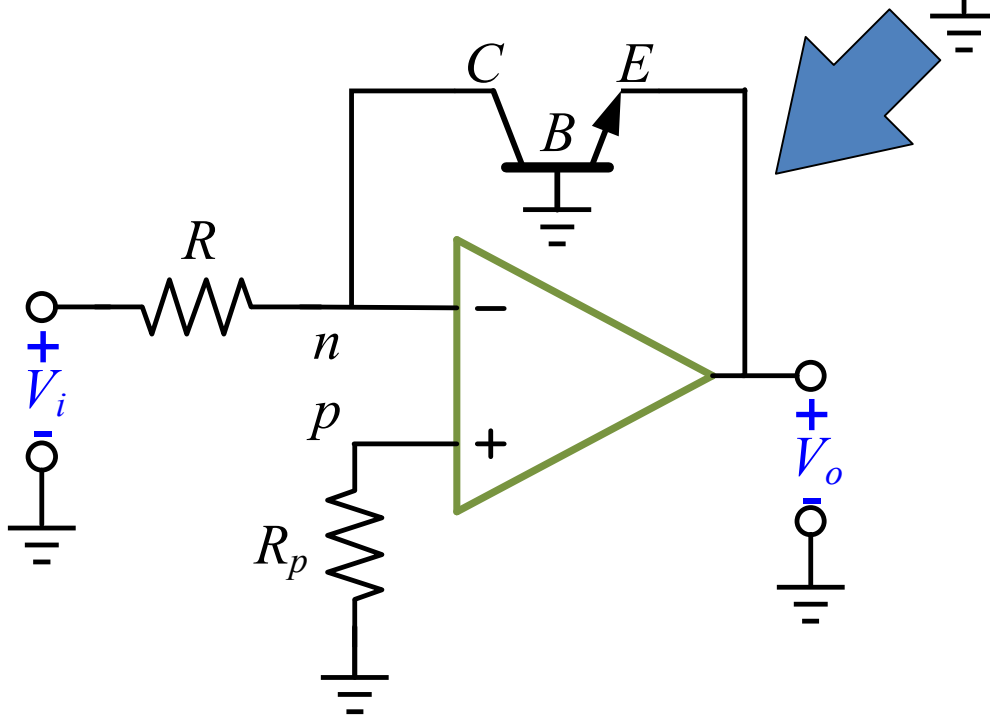
$$I_C \approx I_E = I_{ES} e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

- I_{ES} : 发射结反向饱和电流
- V_T : 热电压, 室温下约为26mV

$$V_T = \frac{kT}{q}$$

对数运算电路

- 把积分电路中
电容C用双极型晶体管替代



对数运算电路

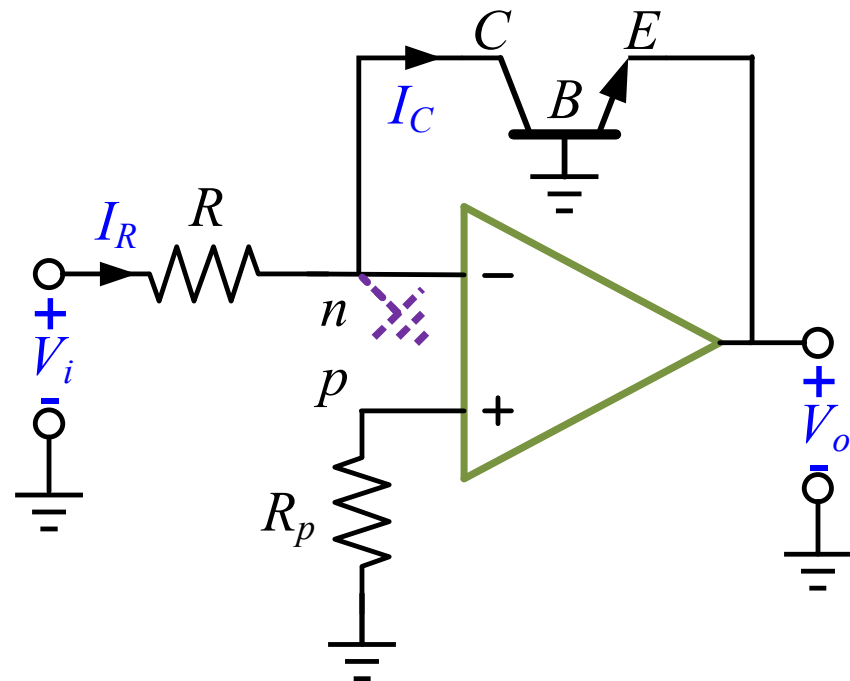
$$I_R = I_C$$

$$I_R = \frac{V_i}{R} \quad I_C \approx I_{ES} e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

$$V_o = -V_{BE}$$

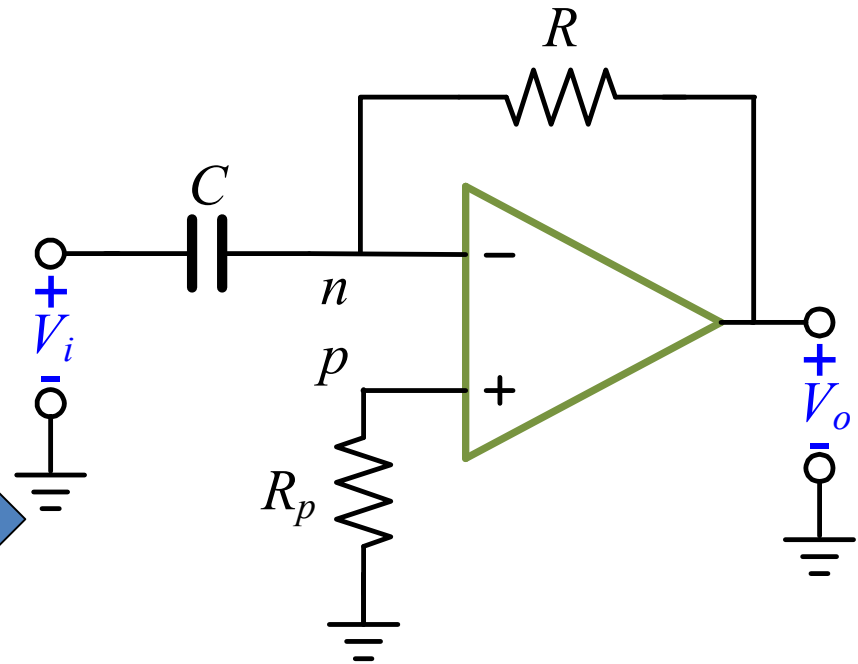
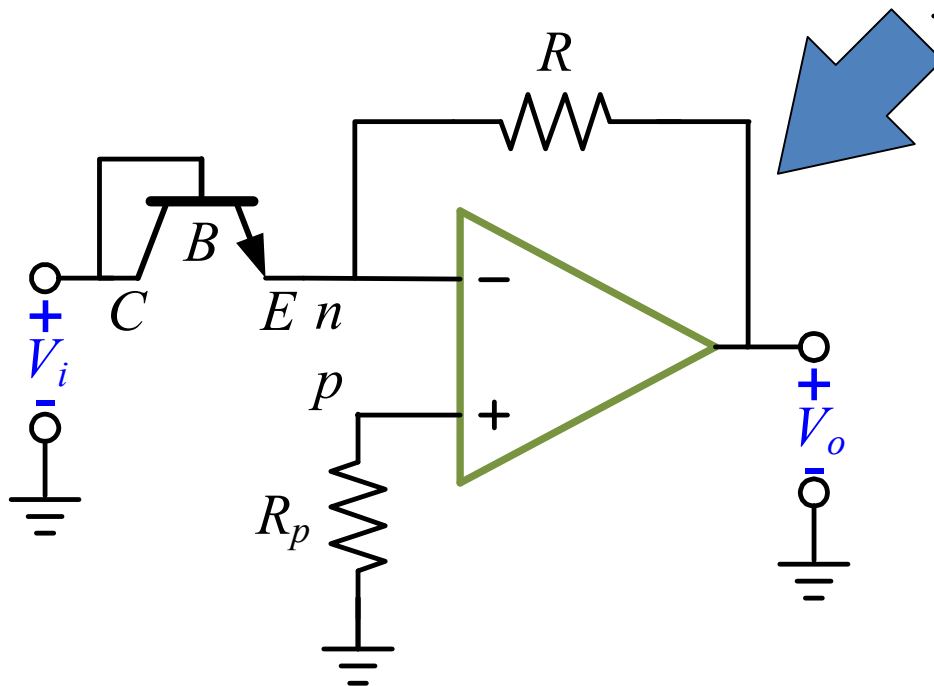
$$V_o = -V_{BE} = -V_T \ln \frac{I_C}{I_{ES}} = -V_T \ln \frac{V_i}{RI_{ES}}$$

- 对数运算关系



指数运算电路

- 把微分电路中电容C用双极型晶体管替代



指数运算电路

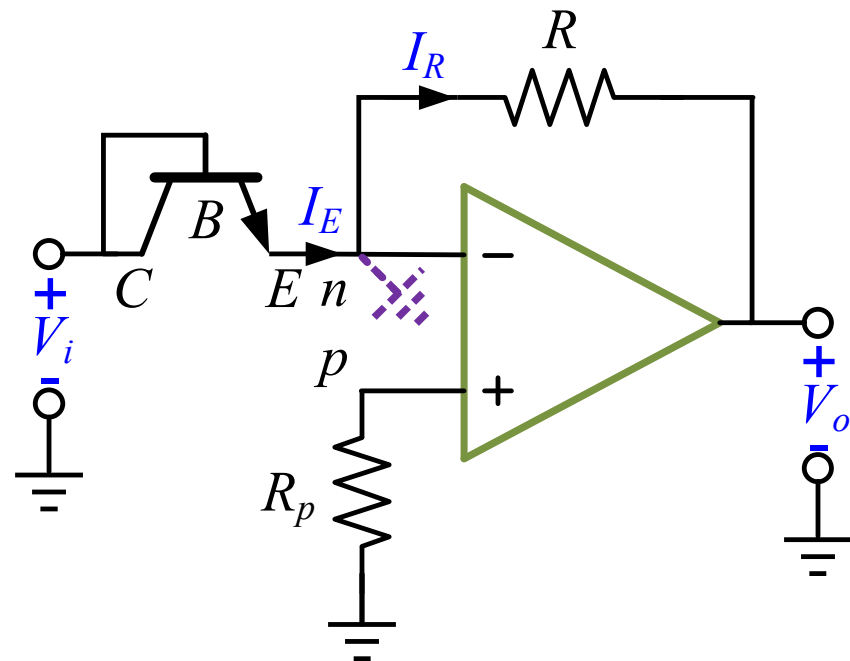
$$I_R = I_E$$

$$I_R = -\frac{V_o}{R} \quad I_E = I_{ES} e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$$

$$V_i = V_{BE}$$

$$V_i = V_{BE} = V_T \ln \frac{I_E}{I_{ES}} = V_T \ln \left(-\frac{V_o}{RI_{ES}} \right)$$

$$V_o = -RI_{ES} e^{\frac{V_i}{V_T}}$$



• 指数运算关系

乘法/除法电路

- 乘法电路



- 除法电路

