第9讲 基本运算电路

一、加减法、微分、积分电路
二、积分时间常数

基本运算电路

- 内容

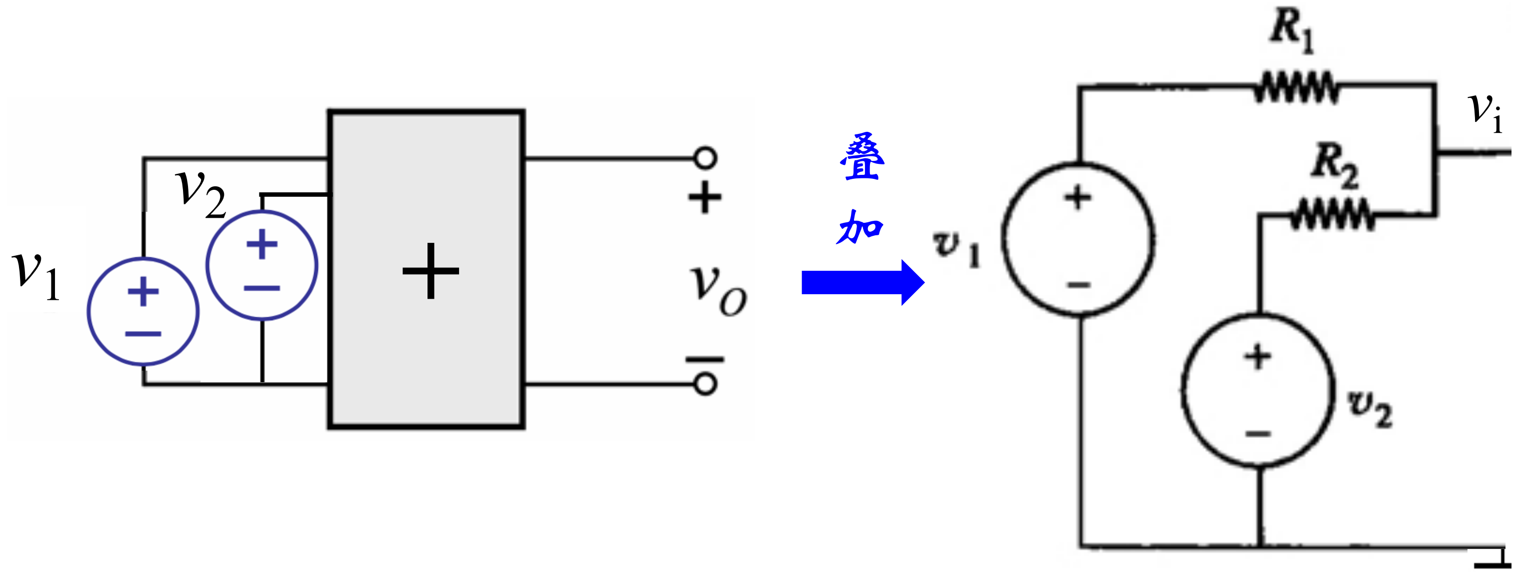
  加法器、减法器、微分器和积分器

- 目标

  画出这些运算电路，并推导出它们的输出电压表达式。

加法器与减法器（1/3）

- 设计一个加法器



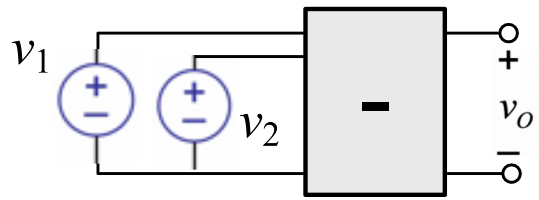
$$v_i = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_2 = \alpha v_1 + \beta v_2$$

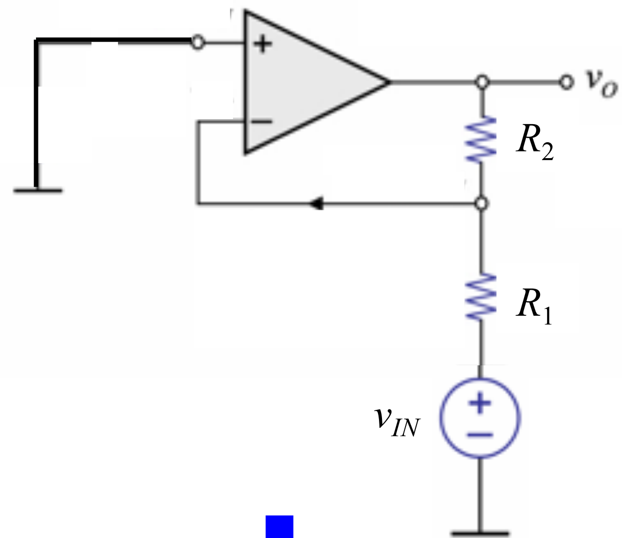
$$\begin{array}{r} i = 0 \\ v^- = 0 \end{array} \rightarrow \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_O}{R_3} \approx 0$$

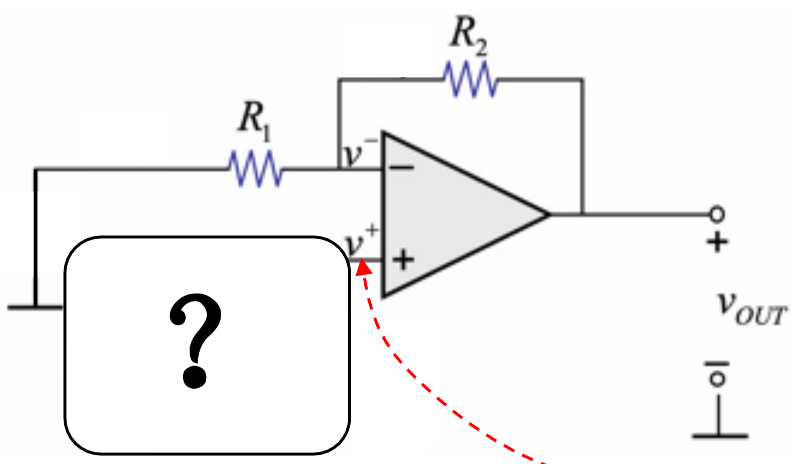
加法器与减法器（2/3）

$$v_{\mathrm{O}} \approx -\frac{R_2}{R_1} v_{\mathrm{IN}}$$

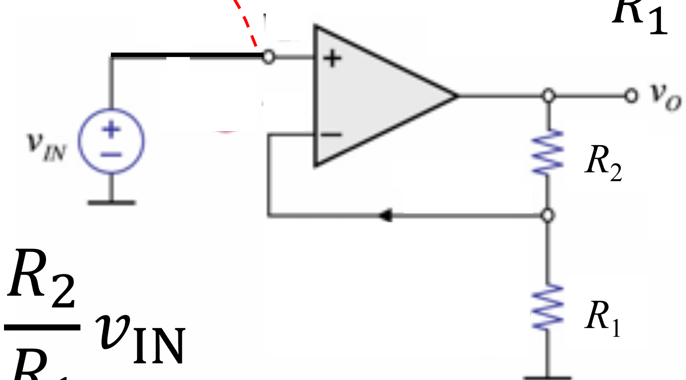
- 设计一个减法电路







$$v_{\mathrm{O}} \approx \frac{R_1 + R_2}{R_1} v_{\mathrm{IN}}$$



$$v^+ \approx v_{\mathrm{IN}} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \longrightarrow v_{\mathrm{OUT}} \approx \frac{R_2}{R_1} v_{\mathrm{IN}}$$

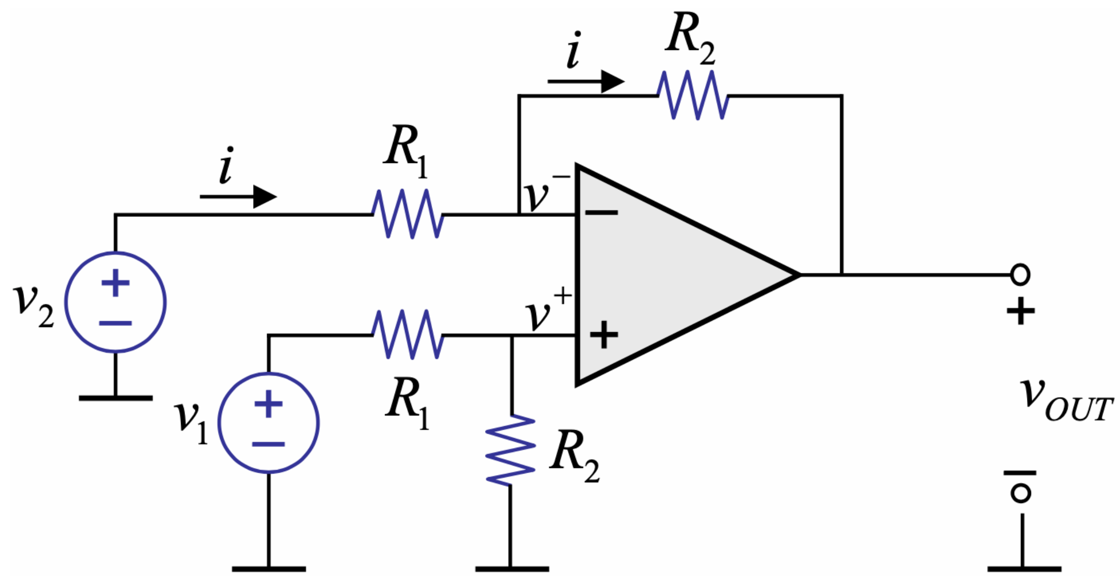
加法器与减法器（3/3）

- 减法器电路分析

$$v^+ \approx v_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\approx v^-$$

$$i = \frac{v_2 - v^-}{R_1}$$



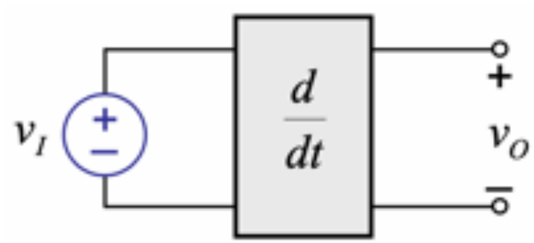
$$v_{\mathrm{OUT}} = v^- - iR_2 = v^- - \frac{v_2 - v^-}{R_1} R_2$$

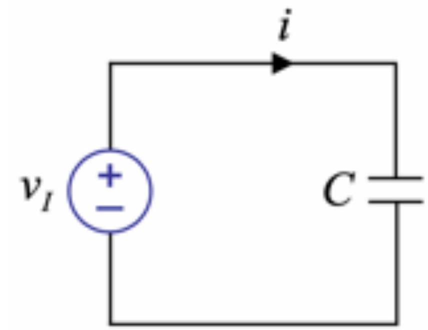
$$= v^- \left[1 + \frac{R_2}{R_1}\right] - v_2 \frac{R_2}{R_1} \overset{\text{代入}}{=}$$

相减

微分器与积分器（1/3）

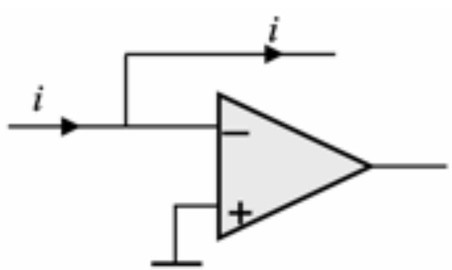
- 设计一个微分电路





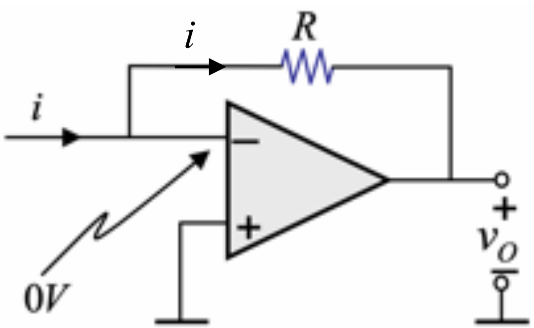
$$i = C\frac{dv_I}{dt}$$

把 i 变成输出电压v_{O}的形式



$$v_{\mathrm{I}} = v_{\mathrm{C}}$$

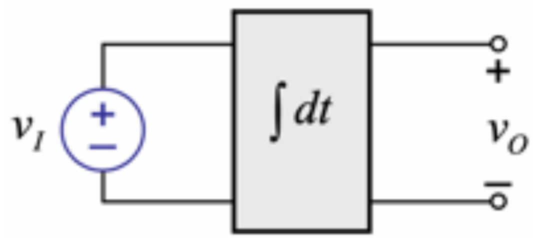
$$i = C\frac{dv_{\mathrm{C}}}{dt} = C\frac{dv_{\mathrm{I}}}{dt}$$

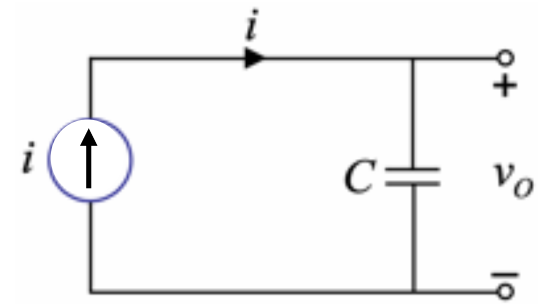


$$\boxed{v_{\mathrm{O}} = -RC\frac{dv_{\mathrm{I}}}{dt}}$$

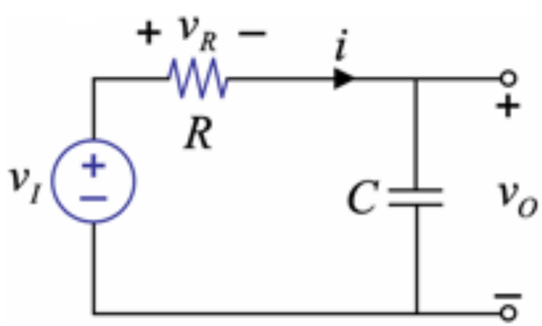
微分器与积分器（2/3）

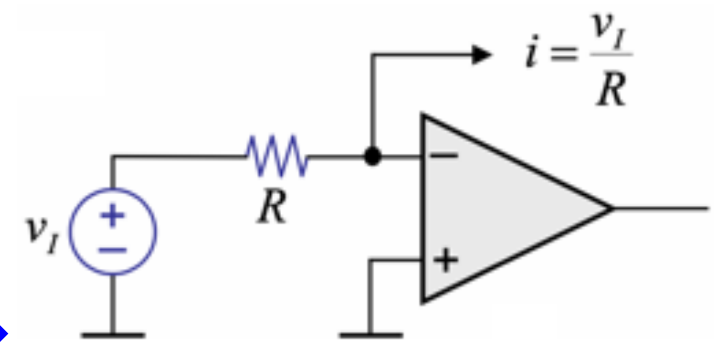
- 设计一个积分电路





$$v_O = \frac{1}{C}\int_{-\infty}^{t} i dt$$





$$i = \frac{v_I - v_O}{R}$$

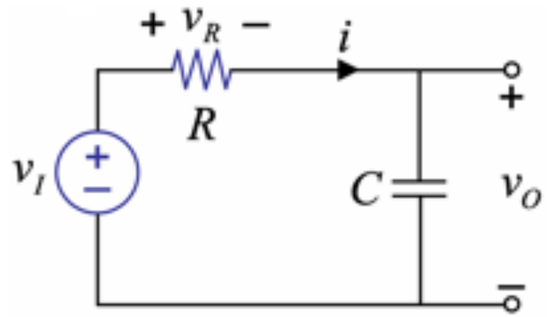
2022/10/10

微分器与积分器（3/3）

积分时间常数（1/2）

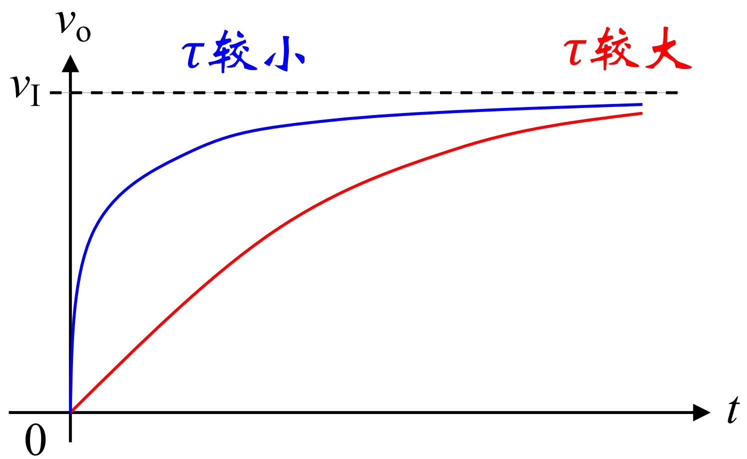
- RC充电电路及其时间常数
  - 设电容上初始电压为0，则

$$v_O = v_I \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

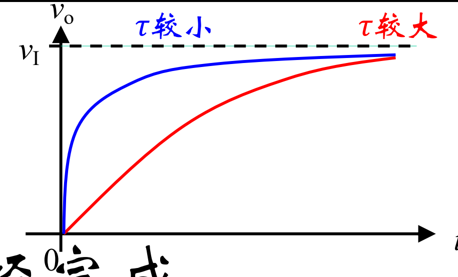


  - 乘积RC被称之为时间常数τ
  - 电阻单位为Ω、电容单位为F时，τ的单位为S（秒）

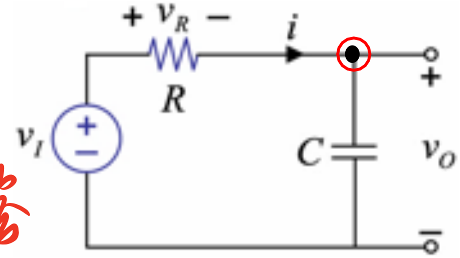
当$t = 1RC$时，$v_o = 0.63v_I$；
当$t = 2RC$时，$v_o = 0.86v_I$；
当$t = 3RC$时，$v_o = 0.95v_I$；
当$t = 4RC$时，$v_o = 0.98v_I$；
当$t = 5RC$时，$v_o = 0.99v_I$。



积分时间常数（2/2）



- 当充放电时间超过3τ或5τ时，认为充放电已经完成
- τ越大，电压做线性变化的时间越长
- τ大的充放电电路适合用来作为积分器

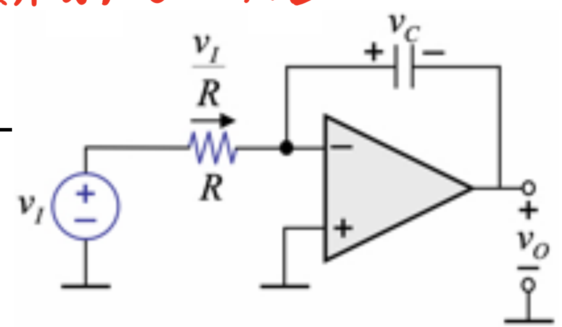


- 积分器的密勒效应

由于运放的存在 等效电容变为原来的(1+A)倍

$$-\frac{v_I - v_O}{R} + C\frac{dv_O}{dt} = 0,$$

$$\boxed{RC\frac{dv_O}{dt} + v_O = v_I}$$



$$\frac{v_I - v^-}{R} + C\frac{d(v_O - v^-)}{dt} = 0, v_O = A(v^+ - v^-) = -Av^-$$

$$\frac{v_I}{R} + \frac{v_O}{AR} + C\frac{d(v_O)}{dt} + \frac{C}{A}\frac{dv_O}{dt} = 0$$

若v_I为幅值为V的阶跃信号，则

$$v_O = -AV\left(1 - e^{-\frac{t}{(1+A)RC}}\right)$$

$$\boxed{(1 + A)RC\frac{dv_O}{dt} + v_O = -Av_I}$$

时间常数增加了A倍

小结

- 基本运算电路
  - 加法：由输入网络决定“权值”
  - 减法：由同相输入和反相输入共同决定
  - 积分：将输入电压变换为恒流后对电容充电
  - 微分：将对电容的充电电流变换成电压
- RC电路时间常数τ
  - 含运放的积分与微分电路将τ放大了A倍