

## 从虚断，虚短分析基本运放电路

遍观所有模拟电子技术的书籍和课程，在介绍运算放大器电路的时候，无非是先给电路来个定性，比如这是一个同向放大器，然后去推导它的输出与输入的关系，然后得出  $V_o = (1 + R_f) V_i$ ，那是一个反向放大器，然后得出  $V_o = -R_f \cdot V_i$  ……今天，教各位战无不胜的两招，这两招在所有运放电路的教材里都写得明白，就是“虚短”和“虚断”，不过要把它运用得出神入化，就要有较深厚的功底了。

### 虚短和虚断的概念

由于运放的电压放大倍数很大，一般通用型运算放大器的开环电压放大倍数都在 80 dB 以上。而运放的输出电压是有限的，一般在 10 V~14 V。因此运放的差模输入电压不足 1 mV，两输入端近似等电位，相当于“短路”。开环电压放大倍数越大，两输入端的电位越接近相等。

“虚短”是指在分析运算放大器处于线性状态时，可把两输入端视为等电位，这一特性称为虚假短路，简称虚短。显然不能将两输入端真正短路。

由于运放的差模输入电阻很大，一般通用型运算放大器的输入电阻都在  $1\text{M}\Omega$  以上。因此流入运放输入端的电流往往不足 1  $\mu\text{A}$ ，远小于输入端外电路的电流。故通常可把运放的两输入端视为开路，且输入电阻越大，两输入端越接近开路。

“虚断”是指在分析运放处于线性状态时，可以把两输入端视为等效开路，这一特性称为虚假开路，简称虚断。显然不能将两输入端真正断路。

在分析运放电路工作原理时，首先请各位暂时忘掉什么同向放大、反向放大，什么加法器、减法器，什么差动输入……暂时忘掉那些输入输出关系的公式……这些东东只会干扰你，让你更糊涂；也请各位暂时不要理会输入偏置电流、共模抑制比、失调电压等电路参数，这是设计者要考虑的事情。我们理解的就是理想放大器（其实在维修中和大多数设计过程中，把实际放大器当做理想放大器来分析也不会有问题）。

好了，让我们抓过两把“板斧”-----“虚短”和“虚断”，开始“庖丁解牛”了。

### 1) 反向放大器:

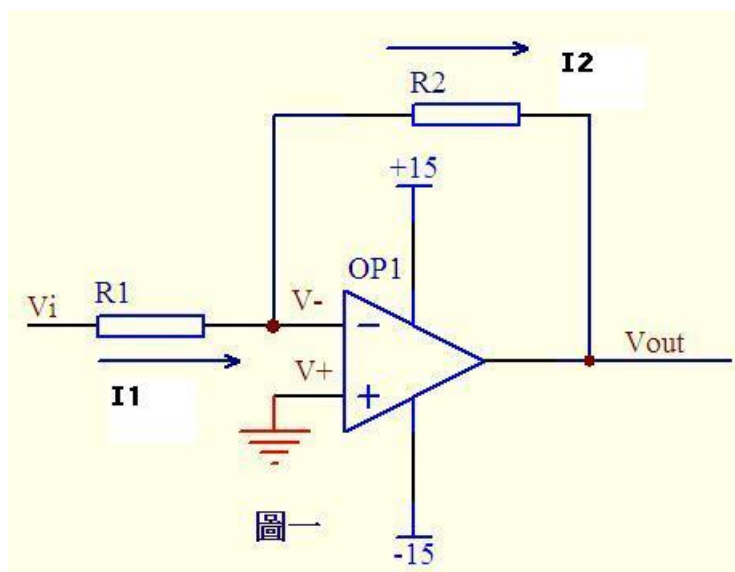


图 1

图一运放的同向端接地=0V，反向端和同向端虚短，所以也是 0V，反向输入端输入电阻很高，虚断，几乎没有电流注入和流出，那么  $R_1$  和  $R_2$  相当于是串联的，流过一个串联电路中的每一只组件的电流是相同的，即流过  $R_1$  的电流和流过  $R_2$  的电流是相同的。

流过 R1 的电流：  $I_1 = (V_i - V_-)/R_1 \dots\dots\dots a$

流过 R2 的电流：  $I_2 = (V_- - V_{out})/R_2 \dots\dots\dots b$

$V_- = V_+ = 0 \dots\dots\dots c$

$I_1 = I_2 \dots\dots\dots d$

求解上面的初中代数方程得  $V_{out} = (-R_2/R_1)*V_i$

这就是传说中的反向放大器的输入输出关系式了。

## 2) 同向放大器:

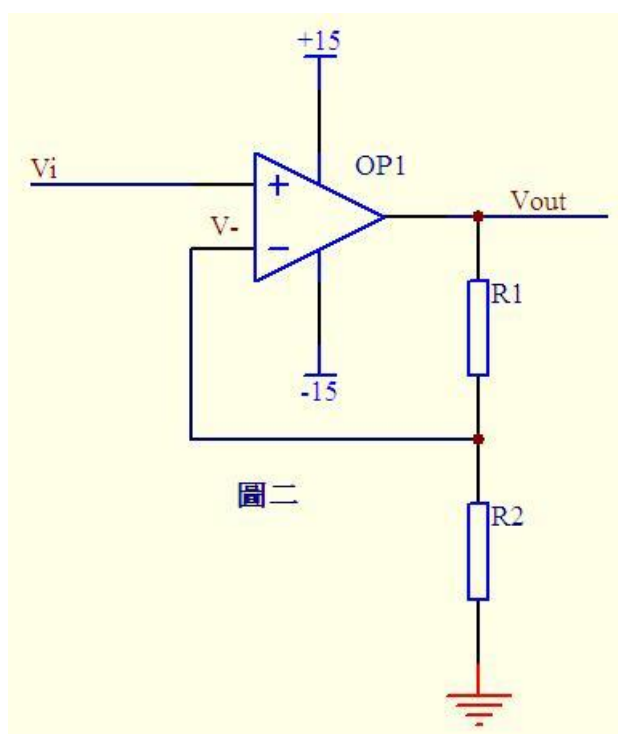


图 2

图二中  $V_i$  与  $V_-$  虚短，则  $V_i = V_- \dots\dots\dots a$

因为虚断，反向输入端没有电流输入输出，通过 R1 和 R2 的电流相等，设此电流为 I，由欧姆定律得：  $I = V_{out}/(R_1+R_2) \dots\dots\dots b$

$V_i$  等于 R2 上的分压， 即：  $V_i = I*R_2 \dots\dots\dots c$

由 abc 式得  $V_{out}=V_i *(R_1+R_2)/R_2$  这就是传说中的同向放大器的公式了。

### 3) 加法器 1:

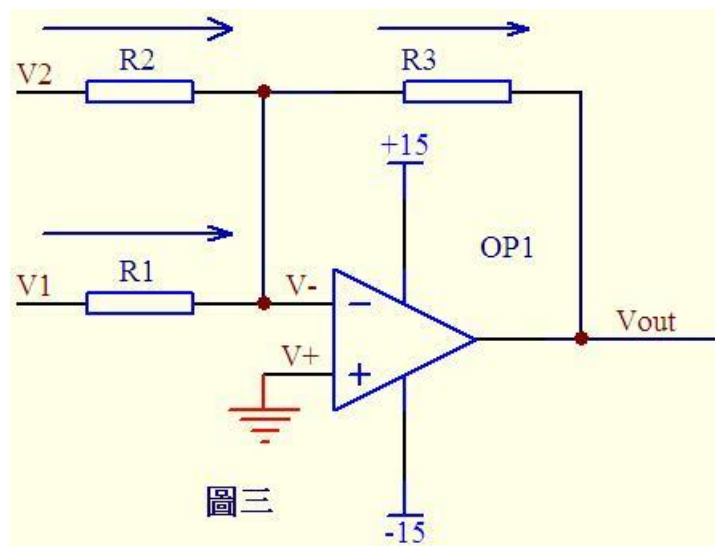


图 3

图三中，由虚短知：  $V_- = V_+ = 0$  ……a

由虚断及基尔霍夫定律知，通过 R2 与 R1 的电流之和等于通过 R3 的电流，故  $(V1 - V_-)/R1 + (V2 - V_-)/R2 = (V_- - Vout)/R3$  ……b

代入 a 式，b 式变为  $V1/R1 + V2/R2 = Vout/R3$  如果取  $R1=R2=R3$ ，则上式变为  $-Vout=V1+V2$ ，这就是传说中的加法器了。

### 4) 加法器 2:

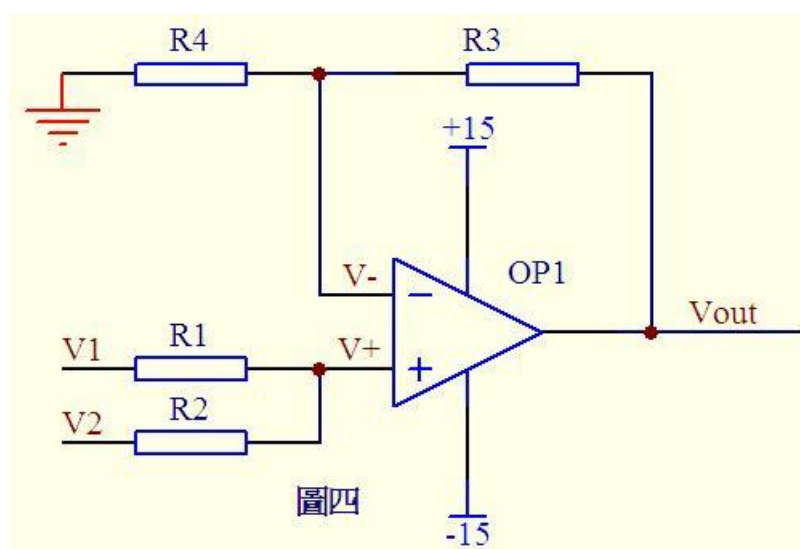


图 4

请看图四。因为虚断，运放同向端没有电流流过，则流过 R1 和 R2 的电流相等，同理流过 R4 和 R3 的电流也相等。

$$\text{故 } (V_1 - V_+)/R_1 = (V_+ - V_2)/R_2 \cdots \cdots a$$

$$(V_{out} - V_-)/R_3 = V_-/R_4 \cdots \cdots b$$

由虚短知：  $V_+ = V_- \cdots \cdots c$  如果  $R_1=R_2$ ,  $R_3=R_4$ ，则由以上式子可以推导出  $V_+ = (V_1 + V_2)/2$   $V_- = V_{out}/2$  故  $V_{out} = V_1 + V_2$  也是一个加法器，呵呵！

## 5) 减法器

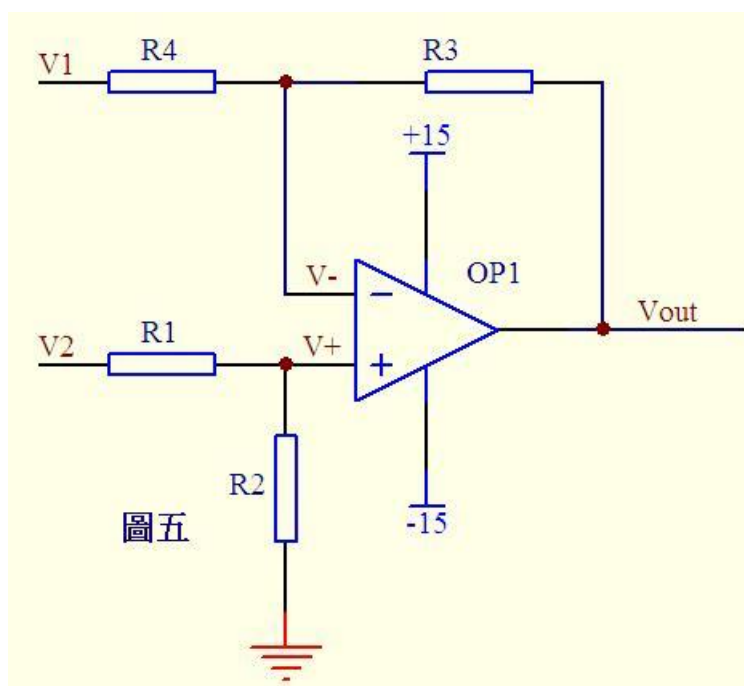


图 5

图五由虚断知，通过 R1 的电流等于通过 R2 的电流，同理通过 R4 的电流等于 R3 的电流，故有  $(V_2 - V_+)/R_1 = V_+/R_2 \cdots \cdots a$

$$(V_1 - V_-)/R_4 = (V_- - V_{out})/R_3 \cdots \cdots b$$

$$\text{如果 } R_1=R_2, \text{ 则 } V_+ = V_2/2 \cdots \cdots c$$

如果  $R_3=R_4$ ，则  $V_- = (V_{out} + V_1)/2 \dots\dots d$

由虚短知  $V_+ = V_- \dots\dots e$

所以  $V_{out}=V_2-V_1$  这就是传说中的减法器了。

## 6) 积分电路:

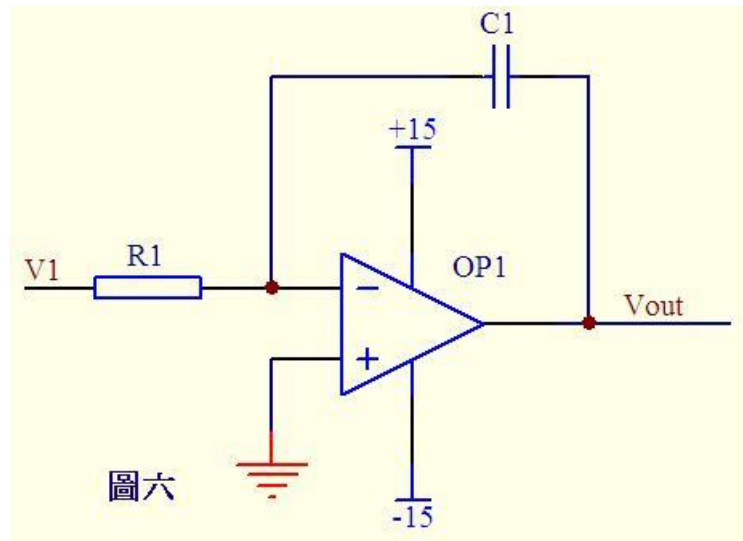


图 6

图六电路中，由虚短知，反向输入端的电压与同向端相等，

由虚断知，通过  $R_1$  的电流与通过  $C_1$  的电流相等。

通过  $R_1$  的电流  $i=V_1/R_1$

通过  $C_1$  的电流  $i=C*dU_c/dt=-C*dV_{out}/dt$

所以  $V_{out}=((-1/(R_1*C_1)) \int V_1 dt$  输出电压与输入电压对时间的积分成正比，  
这就是传说中的积分电路了。

若  $V_1$  为恒定电压  $U$ ，则上式变换为  $V_{out} = -U*t/(R_1*C_1)$   $t$  是时间，则  $V_{out}$  输出电压是一条从 0 至负电源电压按时间变化的直线。

## 7) 微分电路:

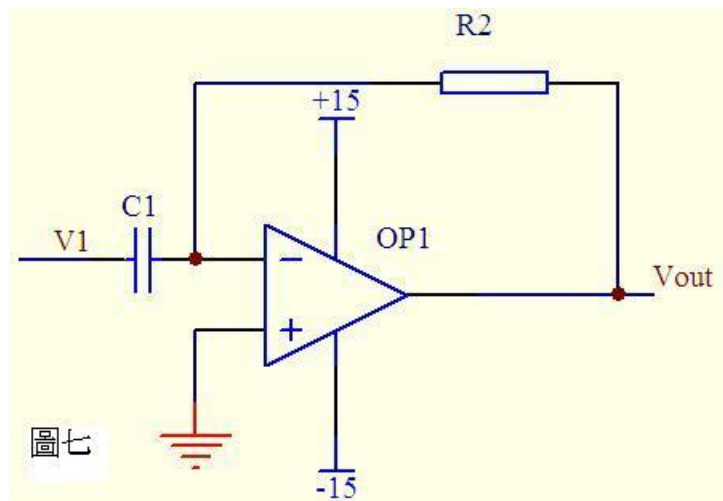


图 7

图七中由虚断知，通过电容 C1 和电阻 R2 的电流是相等的，

由虚短知，运放同向端与反向端电压是相等的。

则：  $V_{out} = -i * R2 = -(R2 * C1) dV1/dt$

这是一个微分电路。

如果 V1 是一个突然加入的直流电压，则输出 Vout 对应一个方向与 V1 相反的脉冲。

## 8) 差分放大电路

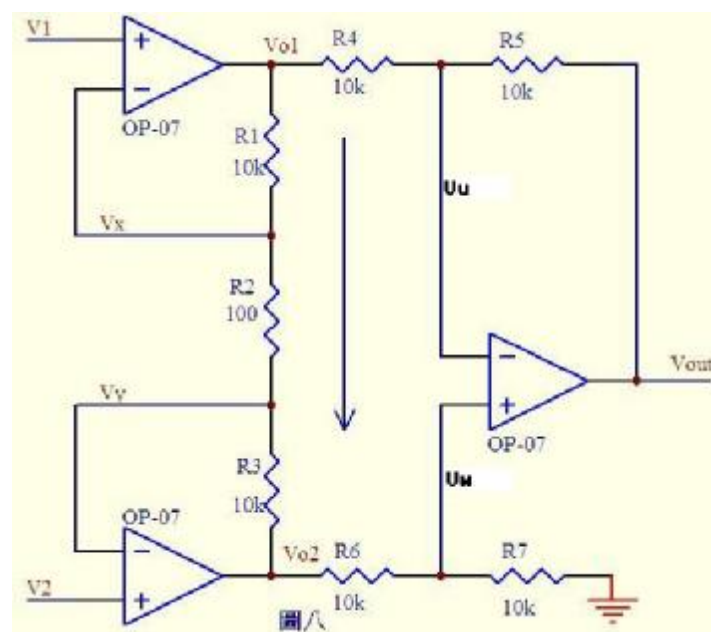


图 8

由虚短知  $V_x = V_1 \cdots \cdots a$

$$V_y = V_2 \cdots \cdots b$$

由虚断知，运放输入端没有电流流过，则  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  可视为串联，通过每一个电阻的电流是相同的， 电流  $I = (V_x - V_y) / R_2 \cdots \cdots c$

$$\text{则： } V_{o1} - V_{o2} = I * (R_1 + R_2 + R_3) = (V_x - V_y) (R_1 + R_2 + R_3) / R_2 \cdots \cdots d$$

由虚断知，流过  $R_6$  与流过  $R_7$  的电流相等, 若  $R_6 = R_7$ ， 则  $V_w = V_{o2} / 2 \cdots \cdots e$

同理若  $R_4 = R_5$ ，则  $V_{out} - V_u = V_u - V_{o1}$ ，故  $V_u = (V_{out} + V_{o1}) / 2 \cdots \cdots f$

由虚短知， $V_u = V_w \cdots \cdots g$

$$\text{由 } efg \text{ 得 } V_{out} = V_{o2} - V_{o1} \cdots \cdots h$$

由  $dh$  得  $V_{out} = (V_y - V_x) (R_1 + R_2 + R_3) / R_2$  上式中  $(R_1 + R_2 + R_3) / R_2$  是定值，此值确定了差值  $(V_y - V_x)$  的放大倍数。

这个电路就是传说中的差分放大电路了。