

第四章 生物电信号的放大 和处理



4.1 测量电桥

在静态测定时，只使用平衡电桥。不平衡电桥则可以用于静态和动态测量。

4.1.1 直流电桥

$$I_1 = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_3 + R_4}$$

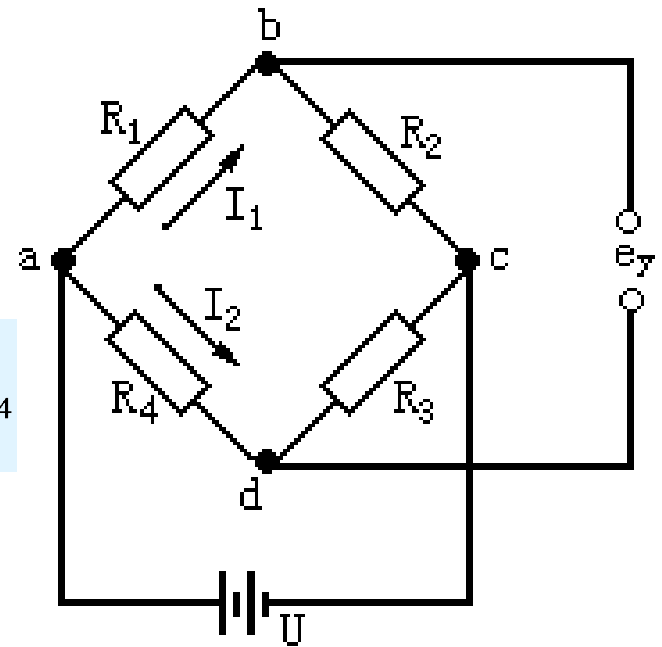
$$U_{ab} = I_1 R_1 = \frac{U}{R_1 + R_2} \cdot R_1$$

$$U_{ad} = I_2 R_4 = \frac{U}{R_3 + R_4} \cdot R_4$$

$$e_y = U_{ab} - U_{ad}$$

$$= \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot U$$

$$= \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \cdot U$$



电桥的平衡条件是 $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$ ， $e_y = 0$ 。

表4-1 不同受感臂下的等效电阻和等效电压

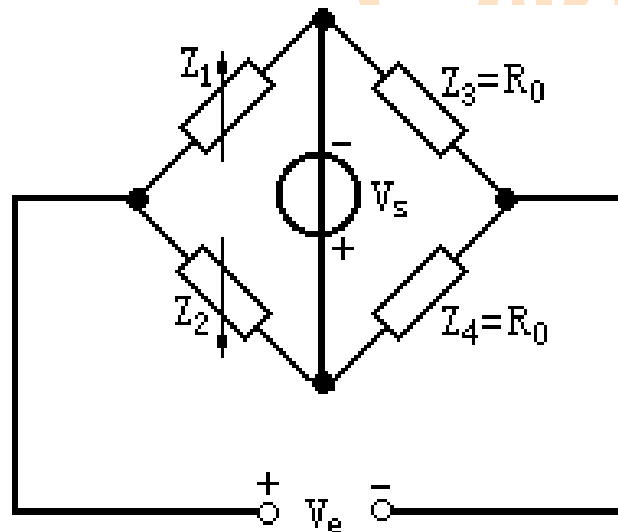
受感臂	单受感臂工作	双受感臂工作(半桥)	四受感臂工作(全桥)
	$R_1 = R(1 + \frac{\Delta R}{R})$	$R_1 = R(1 + \frac{\Delta R}{R})$	$R_1 = R_3 = R(1 + \frac{\Delta R}{R})$
		$R_2 = R(1 - \frac{\Delta R}{R})$	$R_2 = R_4 = R(1 - \frac{\Delta R}{R})$
	$R_2 = R_3 = R_4 = R$	$R_3 = R_4 = R$	
	$R(4 + 3\frac{\Delta R}{R}) / [2(2 + \frac{\Delta R}{R})]$	$R[1 - (\frac{\Delta R}{R})^2 / 2] \approx R$	$R[1 - (\frac{\Delta R}{R})^2] \approx R$
	$\approx R$		
	$V(\frac{\Delta R}{R}) / [2(2 + \frac{\Delta R}{R})]$	$\frac{1}{2}V(\frac{\Delta R}{R})$	$V(\frac{\Delta R}{R})$
	$\approx \frac{1}{4}V(\frac{\Delta R}{R})$		

输出电压 e_y 的灵敏度较只有一个主动元件时增加一倍，由于二个主动元件相互补偿，没有误差。

4.1.2 交流电桥

$$|Z_1||Z_3| = |Z_2||Z_4|; \quad \psi_1 + \psi_3 = \psi_2 + \psi_4$$

输出电压 e_y :
$$e_y = \frac{1}{4} U \frac{\Delta R_1}{R_1}$$



$$u = u_e \sin \omega_0 t \quad \frac{\Delta R}{R} = G \varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_s \sin \omega_s t$$

则输出电压为:

$$e_y = \frac{G}{4} \varepsilon_s \sin \omega_s t \cdot u_e \sin \omega_0 t$$

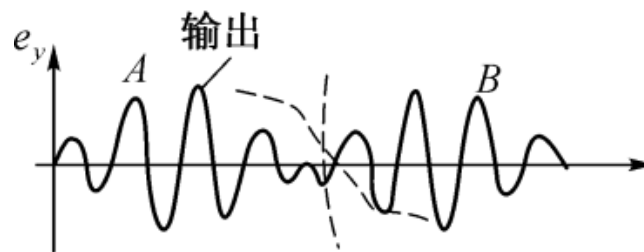
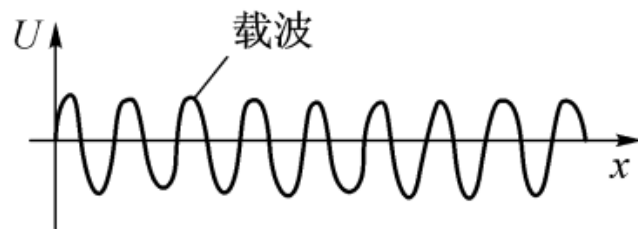
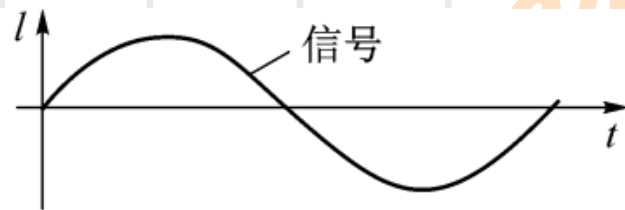
取 ω_0 为 ω_s 的10~20倍。

4.1.2 交流电桥

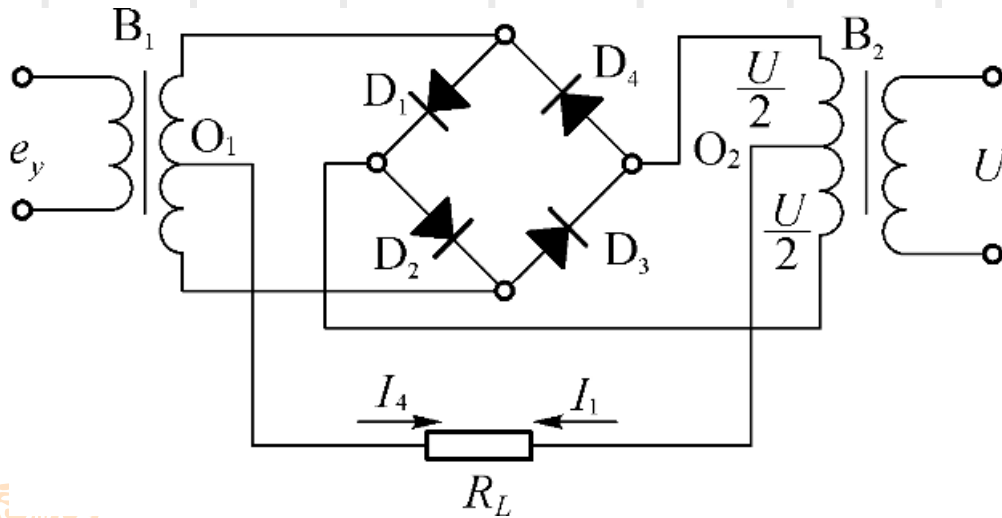
—幅值调制

1、幅值调制与解调

通常将低频控制信号称为调制信号；被调制的高频信号称为载频；已调制好的信号称为调制波。



2、相敏检波电路



- ★正半周时，幅值调制波与载波信号同相；
- ★负半周时，调制波与载波反相。

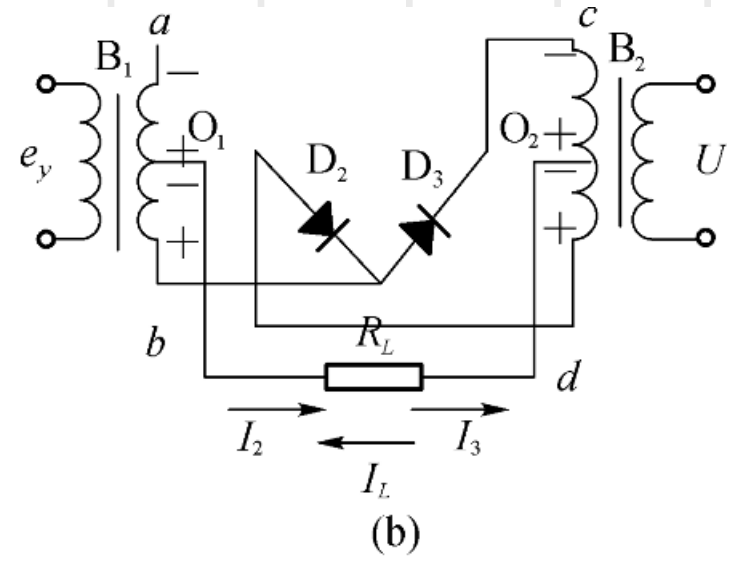
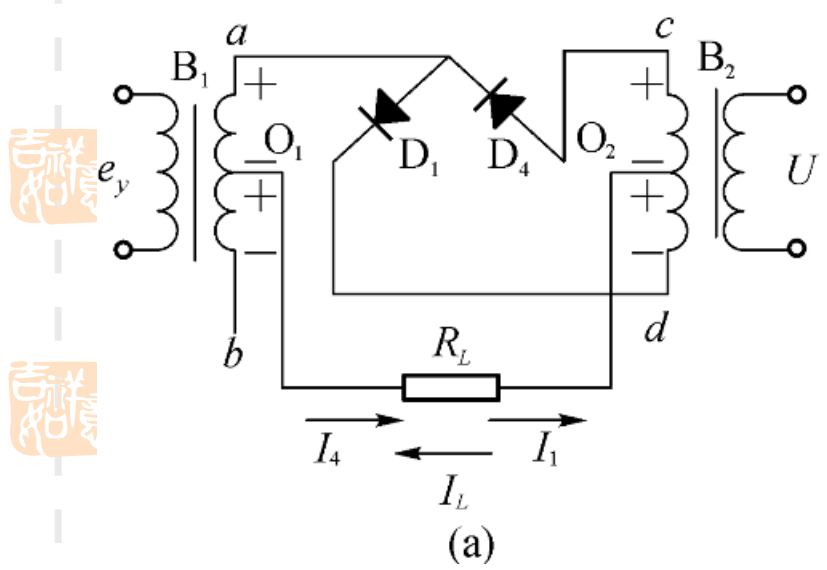
四个特性一致的二极管 D_m ，通过两变压器 B_1 、 B_2 ，分别输入前述的幅值调制波 e_y 和参考电压 U ，参考电压是由应变电桥交流电源供给的同一个载波信号。

4.1.2 交流电桥

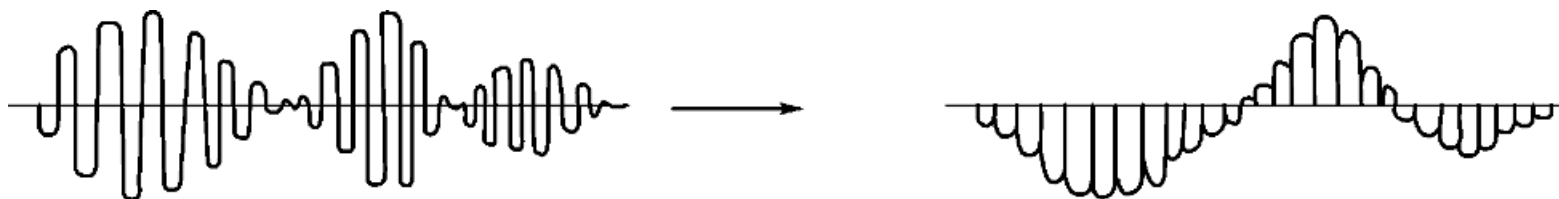
--幅值调制

2、相敏检测电路

能检测原测量信号幅值和相位； $U > 2e_y$



■ 相敏检测波形



经过相敏检波后的信号，再通过一个**低通滤波器**，将其中的高频成分滤掉，就恢复了原来信号的波形。但其**幅值已经放大**。

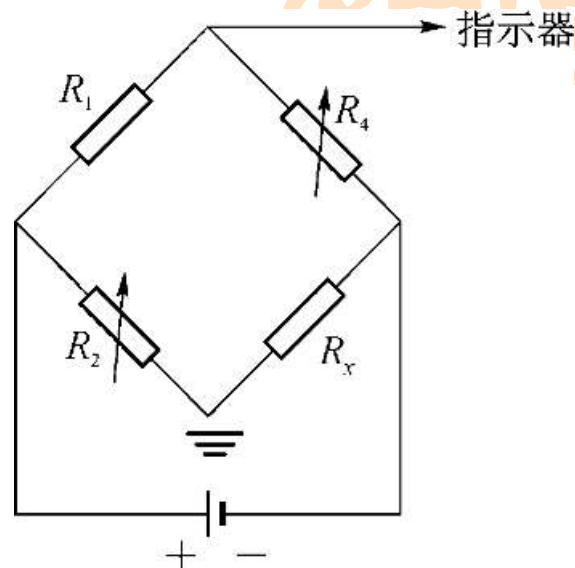


4.1.3应用平衡电桥测量电阻、电感和电容

1、测量电阻

电桥的平衡条件为 $R_x = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_1}$

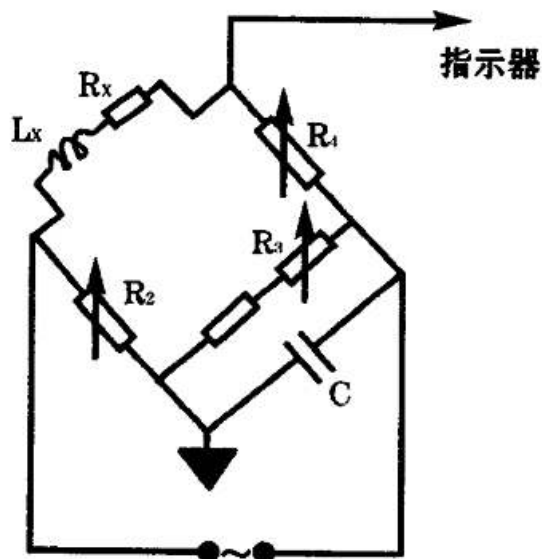
- R1: 固定电阻,
- R2可变电位器,
- R4倍率选择电阻。
- 调节倍率选择旋钮改变R4, 然后调节平衡旋钮R2, 使电桥达到平衡。



2、测量电感

吉祥

马氏电桥

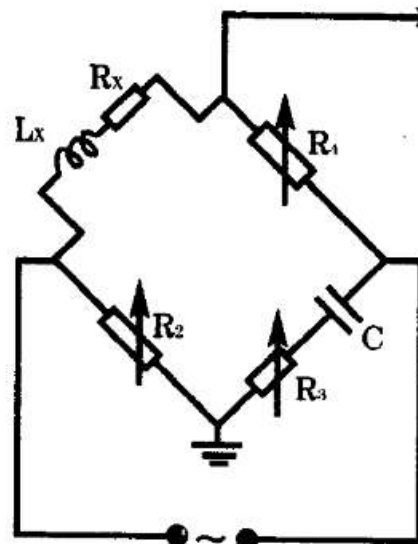


$$L_x = R_2 \cdot R_4 \cdot C$$

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_3}$$

$$Q_x = \frac{\omega L_x}{R_x} = \omega R_3 C$$

指示器



海氏电桥

$$L_x = R_2 \cdot R_4 \cdot C$$

$$R_x = R_2 \cdot R_4 \cdot R_3 (\omega C)^2$$

$$Q_x = \frac{1}{R_3 \omega C}$$

吉祥

吉祥

吉祥

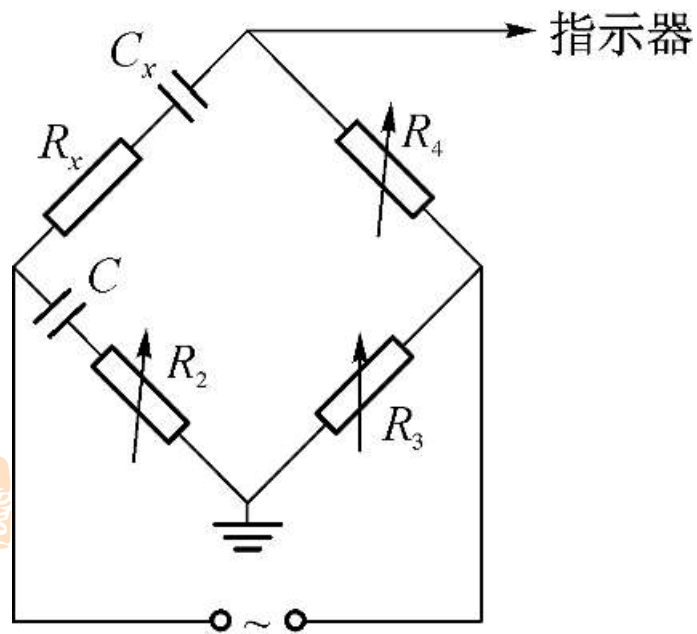
吉祥

吉祥

吉祥

3、测量电容

吉
祥
福



$$C_x = \frac{R_3}{R_4} C$$

$$R_x = \frac{R_4}{R_3} R_2$$

$$\operatorname{tg} \delta_x = \frac{1}{Q_x} = \omega R_x C_x = \omega R_2 C$$

吉
祥
福

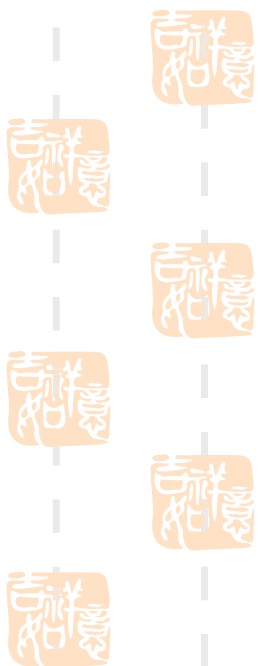
吉
祥
福

吉
祥
福

吉
祥
福

4.1.4 用不平衡电桥测量变化着的电阻、电感

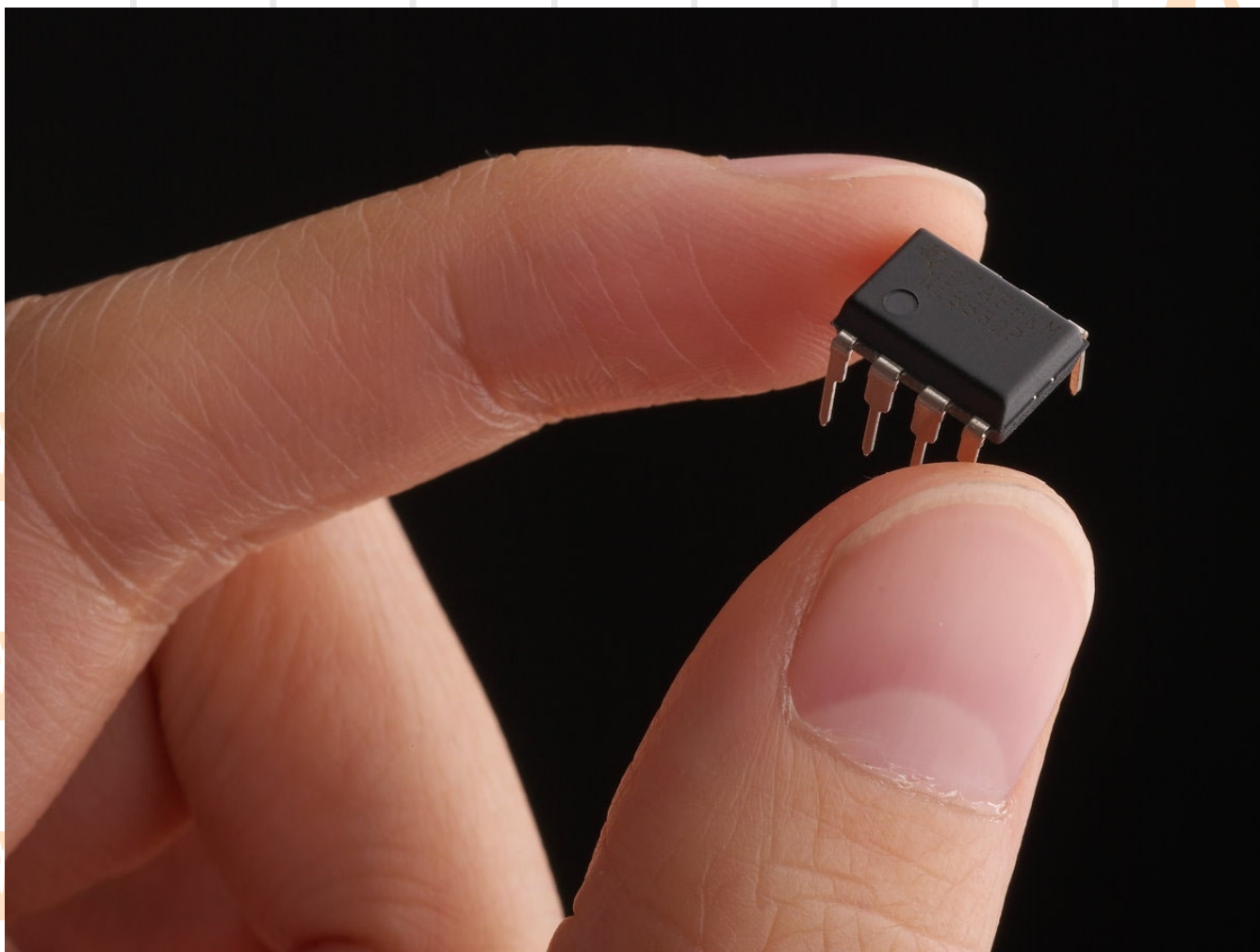
- 精度差，但能连续直接显示数值变化



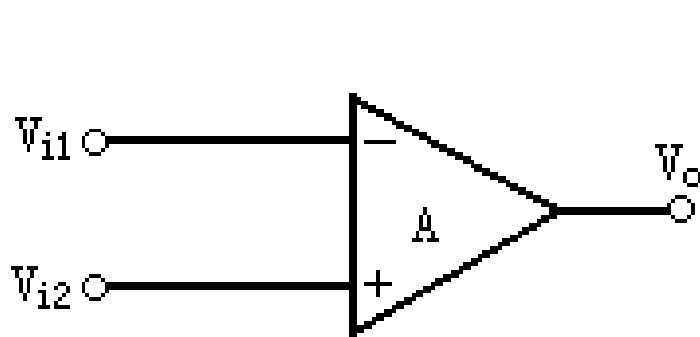
4.2 生物电放大器的基本要求

- 1、高增益
- 2、高共模抑制比
- 3、低噪声
- 4、低漂移
- 5、高输入阻抗
- 6、适当的频响
- 7、设置保护电路
- 8、有快速校准放大器增益的能力

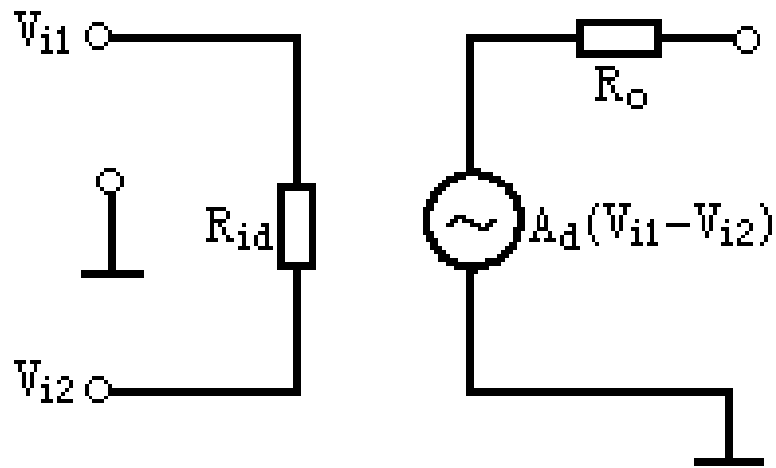
4.3 生物电放大器的常用电路



4.3.1 理想运算放大器



(a)



(b)

特性。

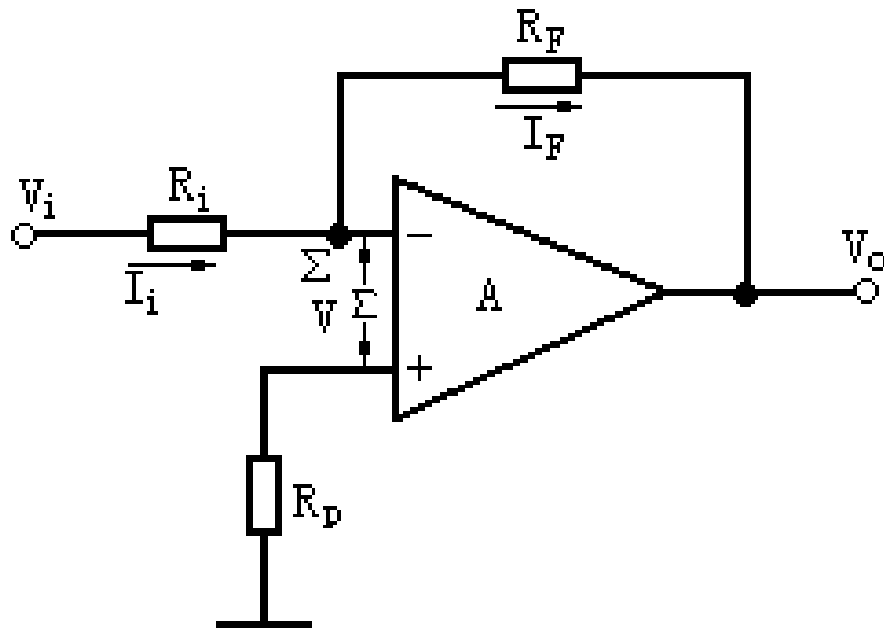
- 1、 $A_d = \infty$;
- 2、 $R_{id} = \infty$;
- 3、当 $V_1 = V_2$ 时， $V_o = 0$;
- 4、 $R_o = 0$;
- 5、 $f_N = \infty$ 。

两个基本法则：

法则一 “虚短”

法则二 “虚断”

4.3.2 反向放大器



$$V_0 = -I_F R_F = -I_1 R_F = -\frac{V_{i1}}{R_1} R_F$$

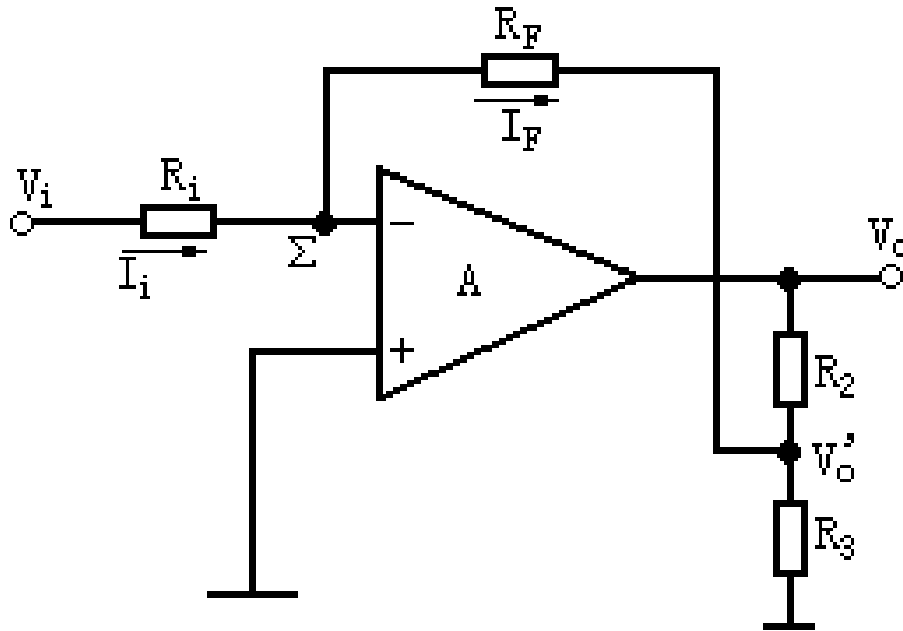
$$A_F = V_0 / V_1 = -R_F / R_1$$

输入阻抗 $R_{id} \approx R_1$;

输出阻抗: 0



4.3.2 高输入阻抗反向放大器

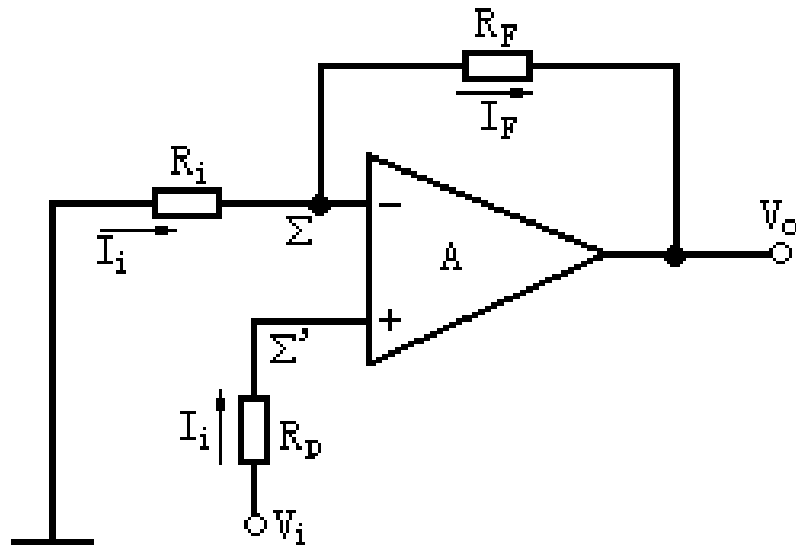


$$A_F = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_F}{R_1} \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)$$

- ◆ 电路增益不仅取决于 R_F ，而可由 R_2 、 R_3 调节，既保证放大器有一定增益，而 R_F 又不致过大的问题。



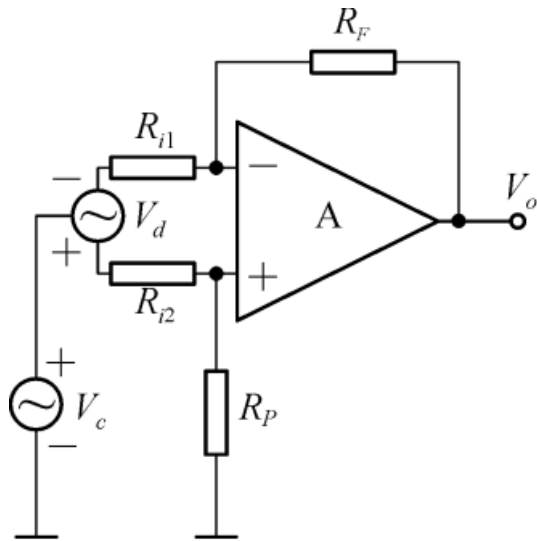
4.3.3 同相输入放大器



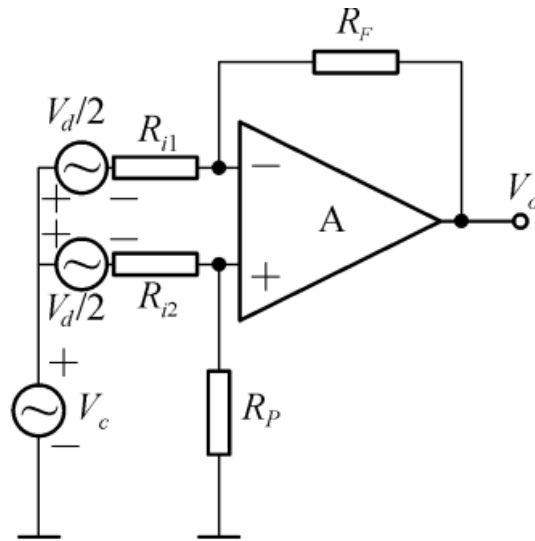
$$A_F = V_0 / V_1 = 1 + R_F / R_1$$

高输入阻抗和低输出阻抗，用作阻抗变换电路。
取 $R_1 = \infty$ ， $R_F = 0$ ，构成电压跟随器，
其电路增益 $A = V_0 / V_1 = 1$ 。

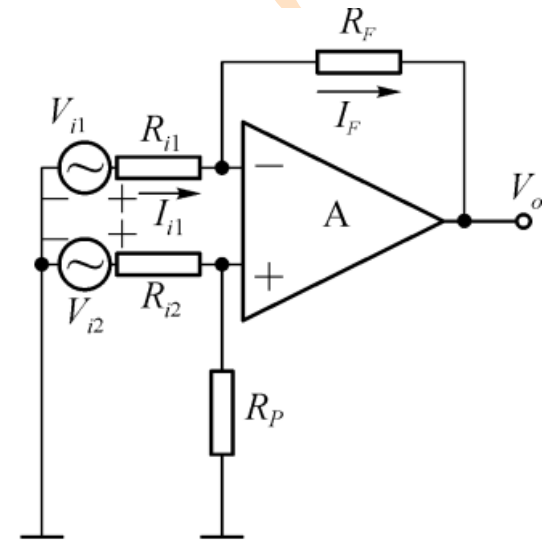
4.3.4 差动放大器



(a)



(b)



(c)

$$V_c = (V_{i1} + V_{i2}) / 2$$

$$V_d = V_{i2} - V_{i1}$$



4.3.4 差动放大器



1、放大器的增益

$$V_o = \left[\left(1 + \frac{R_{F1}}{R_{i1}}\right) \frac{R_p}{R_{i2} + R_p} - \frac{R_{F1}}{R_{i1}} \right] V_c + \frac{1}{2} \left[\left(1 + \frac{R_{F1}}{R_{i1}}\right) \frac{R_p}{R_{i2} + R_p} + \frac{R_{F1}}{R_{i1}} \right] V_d$$

使共模电压为0: $R_{i1} = R_{i2} = R_i$, $R_p = R_{F1} = R_F$ 。

$$A_{F1} = \frac{V_o}{V_d} = \frac{V_o}{V_{i2} - V_{i3}} = \frac{1}{2} \left(\frac{R_F}{R_i} + \frac{R_F}{R_i} \right) = \frac{R_F}{R_i}$$

上式即是电路闭环差模增益表达式；而电路的共模增益 $A_{FCR} = 0$ 。



从上面分析可以**得到两点**:

(1)在运放具有理想特性、外部回路满足电阻匹配

条件时，**基本差动放大器**只对差动输入信号有增益，而不反映共模输入电压；

(2)理想闭环增益仅由外部回路电阻之比决定，与放大器本身参数无关。



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/045312013100011200>