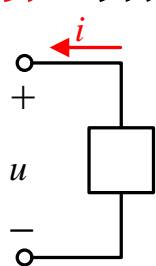


第一章：电路的基本概念与定律

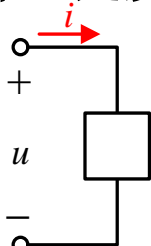
(1) 电路的构成（电源、负载、中间环节）及各部分作用。

(2) 电压、电流参考方向的定义（**关联/不关联参考方向**）；不同参考方向下元器件**功率的计算**，并判断元件是吸收功率还是发出功率。



$$p = u \cdot i$$

关联



$$p = -u \cdot i$$

不关联

结论：

无论在哪种情况下， $p > 0$ 元件吸收功率， $p < 0$ 发出功率。

(3) 电阻、电容、电感的伏安关系及在电路中的功能；电容、电感在直流稳态电路中的**特点**（电容相当于开路，电感相当于短路）。

$$u = Ri \quad p = Ri^2 = \frac{u^2}{R}$$

电阻为**耗能**元件

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

电容储存**电场**能量

$$u = L \frac{di}{dt}$$

电感储存**磁场**能量

(4) 理想电压源和理想电流源的**特点**（理想电压源的端电压、理想电流源输出电流不受外接电路的影响）；四类**受控源**的定义。

(5) **KCL** 和 **KVL** 的概念及在电路求解中的**应用**（根据电路参考方向列回路电压方程和结点电流方程）。

典型例题： p15-17 【例1.4.1】、【例1.4.2】、【例1.4.3】、【例1.4.4】

注意电路求解中对**受控电压源**和**受控电流源**的处理方法。

课后习题： p18-20 1.2、1.14、1.16

第二章：电路的分析方法

(1) 电压源和电流源模型及等效变换方法的应用（p24-25【例2.1.3】、【例2.1.4】）。

规则：如果电压源和电流源内阻 R_S 相同，且满足： $U_S = I_S R_S$ ，则两者对外特性完全相同，在分析中可以进行等效替换。理想电压源和理想电流源不能进行等效变换。

(2) 支路电流法（结点、回路、网孔的识别，独立KCL和KVL方程的建立方法）。

(3) 网孔分析法的**应用**（自阻、共阻的概念，以及网孔电压方程组的建立和求解）。

对具有 m 个网孔的电路，网孔电压方程的一般形式（**标准结构**）为：

$$R_{11}I_1 + R_{12}I_2 + \cdots + R_{1m}I_m = U_{S11}$$

$$R_{21}I_1 + R_{22}I_2 + \cdots + R_{2m}I_m = U_{S22}$$

\vdots

$$R_{m1}I_1 + R_{m2}I_2 + \cdots + R_{mm}I_m = U_{Smm}$$

网孔分析方法：

- 一般情况下，列网孔KVL方程的绕行方向与网孔电流参考方向取为一致，因此**自阻总为正**；
- **共阻可正可负**，其取值要看流经共阻的两网孔电流是否一致，一致时共阻取正；反之则取负；
- 方程右边电源项中沿绕行方向**电位升取正，电位降取负**。

典型例题： p28-30 【例2.3.1】、【例2.3.2】、【例2.3.3】

注意：列网孔电压方程时**对理想电流源支路**（指独立电流源或受控电流源所在支路**无并联电阻的情况**）和**受控源**的处理方法。

- 如果存在**理想电流源支路** I_x ，可设其端电压为 U_x ，然后按电压源列网孔电压方程，同时增加一个 I_x 与其它网孔电流的关系方程。
- 如果存在**受控源**（受控电流源或受控电压源），先将其按照独立电流源或独立电压源列方程，同时需要增加一个控制变量与网孔电流的关系方程。

(4) 结点电压法的**应用**（自导、互导的概念，以及结点电压方程组的建立和求解）。

对具有 n 个结点的电路，选择其中一个作为参考结点，可列出 $N=n-1$ 个**独立的**结点电压方程（**标准形式**）：

$$G_{11}U_1 + G_{12}U_2 + \cdots + G_{1N}U_N = I_{S11}$$

$$G_{21}U_1 + G_{22}U_2 + \cdots + G_{2N}U_N = I_{S22}$$

⋮

$$G_{N1}U_1 + G_{N2}U_2 + \cdots + G_{NN}U_N = I_{SNN}$$

列结点电压方程方法：

- 方程左边系数均为电导，**自导总为正值，互导总为负值**。
- 方程右边用 I_{S11} 、 I_{S22} 和 I_{S33} 表示和该节点连接的所有支路中电流源的代数和，规定**流入结点为正，流出结点为负**（如果某条支路是串联了电阻的电压源，采用电源等效变换为电流源，无电源则为**0**）。

典型例题： p31-33 【例2.4.1】、【例2.4.2】、【例2.4.3】

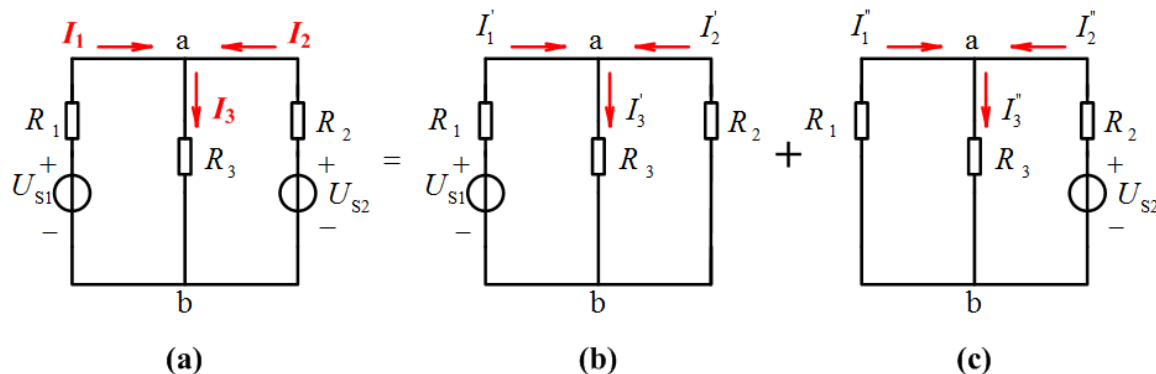
注意：列结点电压方程时**对理想电压源支路**（指独立电压源或受控电压源所在支路**无串联电阻的情况**）和**受控源**的处理方法。

- 如果存在**理想电压源支路** U_x ，可先设其电流为 I_x ，然后**按电流源**列结点电压方程，同时增加一个 U_x 与其它结点电压的关系方程。
- 如果存在**受控源**（受控电流源或受控电压源），先将其按照独立电流源或独立电压源列方程，同时需要增加一个控制变量与结点电压的关系方程。

(5) 叠加定理和齐次定理及应用（注意适用对象均为线性电路）。

叠加定理：对于线性电路，任何一条支路的电流和电压，都可以看成是由各个电源（电压源或电流源）单独作用时，在此支路中所产生的电流和电压的代数和。

方法应用：电源单独作用时，暂不予考虑的恒压源予以短路，即令 $U_S=0$ ；暂时不予考虑的恒流源予以开路，即令 $I_S=0$ 。例如：



注意：一般情况下，电源单独作用的分电路中（b和c）各支路电流参考方向与原电路（a）电流参考方向选取一致。

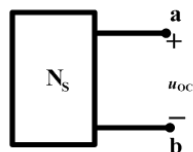
齐次定理：在线性电路中，当所有的激励（独立电压源和独立电流源）都同时增大或缩小K倍（K为实常数）时，电路中的响应（电压和电流）也将同时增大或缩小K倍。

注意：增大缩小K倍是指全部激励而非单独一个激励。

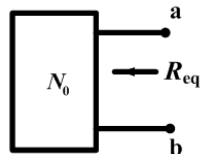
典型例题： p35-37 【例2.5.1】、【例2.5.2】、【例2.5.3】、【例2.5.4】

(6) 戴维宁等效电源定理及应用 (等效电源开路电压 u_{oc} 和等效电阻 R_{eq} 的求解)。

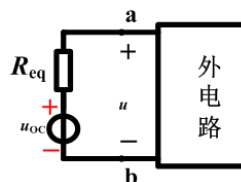
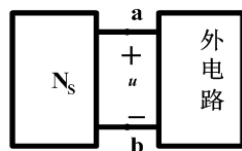
方法应用：戴维宁等效电压源的电压 u_s 为二端网络的开路电压 u_{oc} ，电源内阻 R_s 为二端网络内所有独立电源为零时的等效电阻 R_{eq} 。



N_s : 含有电源和线性电阻的二端口网络，把外电路断开，利用基本电路定理和方法求a,b端开路电压 u_{oc} 。

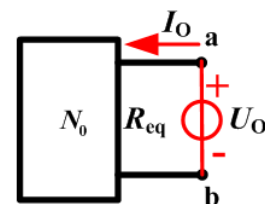


N_0 : 无源二端网络，即二端网络内所有独立电源为零时（电压源短路，电流源开路），从a,b端看进出的等效电阻 R_{eq} 。



注意：等效电源电压 u_s 的方向必须与开路电压 u_{oc} 方向保持一致。求等效电阻 R_{eq} 时电路内部的受控源不能置零。

注意：对含有受控源的电路，计算等效电阻时，所有独立源置零，但受控源不能置零（保留），需采用外加电压法求解。



外加电压法

$$R_{eq} = \frac{U_O}{I_O}$$

U_O —外加电压
 I_O —输入电流

典型例题： p39-42 【例2.6.1】、【例2.6.2】、【例2.6.3】

特别注意含受控源电路开路电压和等效内阻的求解方法。

(7) 最大功率传输条件：当 $R_L = R_s$ 时，负载从电源获得的功率最大。

$$P_M = \frac{U_s^2}{4R_s}$$

典型例题： p45-46 【例2.7.1】、【例2.7.2】

课后习题： p47-50 2.6、2.8、2.12、2.13、2.27

第三章：正弦稳态电路的分析

(1) 正弦量的三要素（幅值、频率、初相位）及有效值定义和计算（p53 【例3.1.1】）。

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi) = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \psi) \quad \omega = 2\pi f \quad f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

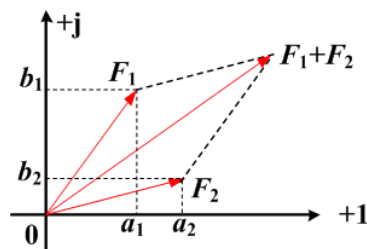
(2) 正弦量的向量表示，相量与瞬时值的相互转换；向量加、减运算（用代数式）及与复数的乘、除运算（用指数式或极坐标式）（p55-56 【例3.1.2】、【例3.1.3】）。

$$\text{相量: } \dot{I} = I \angle \theta = I e^{j\theta} = I \cos \theta + j I \sin \theta \iff \text{瞬时值: } i = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \theta)$$

➤ 向量的加减运算：用代数形式进行，其中实部与实部相加减，虚部与虚部相加减，得到的仍然是复数的代数形式。

$$\text{例如: } F_1 = a_1 + jb_1 \quad F_2 = a_2 + jb_2$$

$$\begin{aligned} \text{则 } F_1 \pm F_2 &= (a_1 + jb_1) \pm (a_2 + jb_2) \\ &= (a_1 \pm a_2) + j(b_1 \pm b_2) \end{aligned}$$



注意：向量的加减运算也可在复平面中用几何作图的方式得到。

➤ 向量与复数的乘除运算：用指数形式或极坐标形式更为方便。

$$\text{例如: } F_1 = r_1 e^{j\theta_1} \quad F_2 = r_2 e^{j\theta_2}$$

$$F_1 F_2 = r_1 r_2 e^{j(\theta_1 + \theta_2)} = r_1 r_2 \angle \theta_1 + \theta_2$$

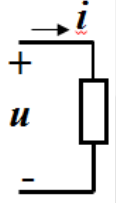
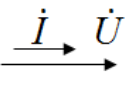
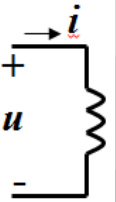
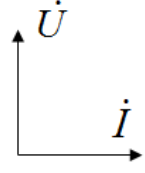
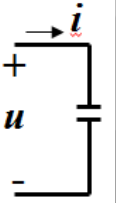
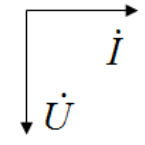
$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{r_1}{r_2} e^{j(\theta_1 - \theta_2)} = \frac{r_1}{r_2} \angle \theta_1 - \theta_2$$

(3) 正弦电路中**电阻、电容、电感**的电流、电压有效值关系、**向量关系**（电阻 u_R 与 i_R 同相位，电感 u_L 超前 i_L 相位 90° ，电容 u_C 滞后 i_C 相位 90° ）、向量图、向量式欧姆定律和功率的定义；**感抗**和**容抗**的概念与**计算**。

感抗: $X_L = \omega L = 2\pi fL$

容抗: $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$

单参数正弦稳态电路分析小结

电路参数	电路图 (关联参考方向)	基本伏安关系	阻抗	电压、电流关系				功率	
				瞬时值关系	有效值关系	相量图	相量形式欧姆定律	有功	无功
R		$u = iR$	R	设 $i = \sqrt{2}I\sin\omega t$ 则 $u = \sqrt{2}U\sin\omega t$	$U = IR$	 $u、i$ 同相	$\dot{U} = I\dot{R}$	UI I^2R	0
L		$u = L\frac{di}{dt}$	$X_L = \omega L$	设 $i = \sqrt{2}I\sin\omega t$ 则 $u = \sqrt{2}I\omega L\sin(\omega t + 90^\circ)$	$U = IX_L$	 u 超前 i 90°	$\dot{U} = jX_L\dot{I}$	0	UI I^2X_L
C		$i = C\frac{du}{dt}$	$X_C = \frac{1}{\omega C}$	设 $u = \sqrt{2}U\sin\omega t$ 则 $i = \sqrt{2}U\omega C\sin(\omega t + 90^\circ)$	$U = IX_C$	 u 落后 i 90°	$\dot{U} = -jX_C\dot{I}$	0	UI I^2X_C

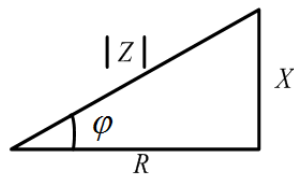
典型例题：p57-58 【例3.2.1】、【例3.2.2】

(4) 正弦交流电路中**阻抗 Z** 的概念，**阻抗三角形关系**和计算；复数形式欧姆定律。

$$Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{U}{I} e^{j(\varphi_u - \varphi_i)} = |Z| \angle \varphi = R + jX$$

他们之间的关系可以用直角三角形表示，称为**阻抗三角形**。

$$\left. \begin{aligned} R &= |Z| \cos \varphi \\ X &= |Z| \sin \varphi \end{aligned} \right\} \text{式中} \quad \left. \begin{aligned} |Z| &= \sqrt{R^2 + X^2} \\ \varphi &= \arctan \frac{X}{R} \end{aligned} \right\}$$



注意：电抗 X 中既包括感抗 X_L ，又包含容抗 X_C 。

➤ 对单一参数电感电路：

$$Z = jX_L = j\omega L$$

➤ 对单一参数电容电路：

$$Z = -jX_C = -j\frac{1}{\omega C}$$

复数形式欧姆定律： $\dot{U} = Z\dot{I} = (R + jX)\dot{I}$

(5) 正弦电路中有功功率、无功功率、视在功率的概念与物理含义（有功功率是电阻 R 上消耗的功率，无功功率是电抗 X 与电源交换的功率，视在功率是电源发出的总功率），**功率因数 $\cos \varphi$** （ φ 为电路总电压 u 和总电流 i 的夹角）的大小决定了负载从电源获取有功功率的能力，**功率三角形关系**和计算，提高功率因数的方法（参考p66 例【3.4.1】）。

$$P = UI \cos \varphi \quad Q = UI \sin \varphi \quad S = UI \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

注意：有功功率单位W（kW），无功功率单位Var（kVar），视在功率单位VA（kVA）。

(6) 正弦电路**最大功率传输的条件**。 $Z_L = R_L + jX_L = R_S - jX_S = Z_S^*$ $P_M = \frac{U_S^2}{4R_S}$

(7) RLC 电路发生**串联谐振**和**并联谐振**的条件和基本特征。

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \cos \varphi = 1 \quad \text{电路呈纯阻性。}$$

(8) 正弦稳态电路的**分析计算**（应用**相量、复数形式欧姆定律和基本电路定理**求解正弦稳态电路的方法，并能画电路中**电流、电压的相量图**）。

典型例题： p69-72 【例3.5.1】、【例3.5.2】、【例3.5.3】、【例3.5.4】、【例3.5.5】

(9) 对称三相交流电源的**构成**（相线+中性线）、三相电源相电压和线电压的**相量关系**。

$$\dot{U}_{AB} = \sqrt{3}\dot{U}_A \angle 30^\circ$$

$$\dot{U}_{BC} = \sqrt{3}\dot{U}_B \angle 30^\circ$$

$$\dot{U}_{CA} = \sqrt{3}\dot{U}_C \angle 30^\circ$$

结论：三相电源线电压 U_L 的大小是相电压 U_P 的 $\sqrt{3}$ 倍，且线电压在相位上**超前**所对应的相电压 30° 。

(10) 星形联结的三相对称负载下，负载相电压等于三相电源的相电压，负载相电流等于线电流，中性线电流 $I_N=0$ ，此时三相四线制可改用三相三线制。

(11) 三角形联结的三相对称负载下，负载相电压等于三相电源的线电压，负载相电流和线电流满足如下相量关系：

$$\dot{I}_A = \sqrt{3}\dot{I}_{AB} \angle -30^\circ$$

$$\dot{I}_B = \sqrt{3}\dot{I}_{BC} \angle -30^\circ$$

$$\dot{I}_C = \sqrt{3}\dot{I}_{CA} \angle -30^\circ$$

结论：三角形联结的对称负载下，线电流 I_L 的大小是负载相电流 I_P 的 $\sqrt{3}$ 倍，且线电流在相位上**滞后**所对应的相电流 30° 。

(12) 三相电路的功率计算。 $P = \sqrt{3}U_L I_L \cos \varphi$ $Q = \sqrt{3}U_L I_L \sin \varphi$ $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

典型例题： p83-86 【例3.7.1】、【例3.7.2】、【例3.7.3】

课后习题： p47-50 3.12、3.13、3.14、3.18、3.23、2.25

第四章：电路的暂态响应

(1) 换路定则的概念及**应用**（用于确定暂态电路 $t = 0_+$ 时刻的**初始值**）。

在换路的过程中（ $t=0_- \sim 0_+$ 之间），

(1) **电感** 流过的电流不能发生变化 $u = L \frac{di}{dt}$

$$i_L(0_+) = i_L(0_-)$$

(2) **电容** 两端的电压不能发生变化 $i = C \frac{du}{dt}$

$$u_C(0_+) = u_C(0_-)$$

注意：换路定律**仅适合于电感的电流和电容的电压**，而对电感的电压、电容的电流，以及其它电路元件均不适用。当求解其它电路元件暂态过程的初始值时，可将 $t = 0_+$ 时刻电感的初始值等效为一个恒流源处理，或将 $t = 0_+$ 时刻电容的初始值等效为一个恒压源处理。（参考p114【例4.4.4】）

(2) 一阶暂态电路零状态响应、零输入响应和全响应的概念和关系，以及**时间常数 τ** 的定义、物理意义（反映了电路暂态响应的快慢）和**计算**。

结论：一阶电路的全响应等于零输入响应（即 $U_S=0$ ）与零状态响应（即 $U_0=0$ ）的叠加，而零输入响应和零状态响应可看做全响应的特殊情况。

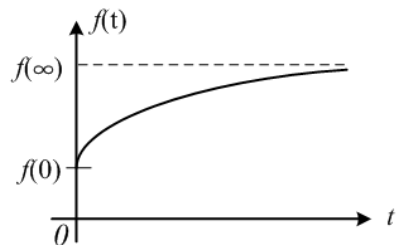
$$\text{一阶RC电路时间常数: } \tau = RC \qquad \text{一阶RL电路时间常数: } \tau = \frac{L}{R}$$

注意：计算时间常数时，电阻、电容、电感的单位**分别是 Ω 、F和H**；时间常数中 R 的求解是从电容 C 或电感 L 两端看进去的**戴维宁等效内阻**。

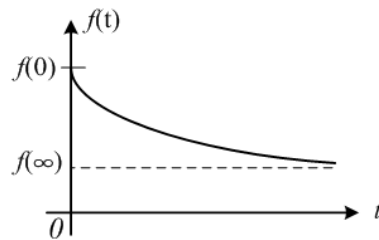
(3) 一阶暂态电路三要素分析法的应用。

三要素分析法：在分析一阶电路暂态响应时，只要知道电路的**初始值** $f(0)$ 、**稳态值** $f(\infty)$ 、**时间常数** τ ，就可直接写出暂态的解。

用 $f(t)$ 表示电路暂态响应，响应曲线**上升**还是**下降**有两种基本形式：



(a) $f(\infty) > f(0)$



(b) $f(\infty) < f(0)$

$$(a) \quad f(t) = f(0) + [f(\infty) - f(0)](1 - e^{-t/\tau})$$

$$(b) \quad f(t) = f(\infty) + [f(0) - f(\infty)]e^{-t/\tau}$$

注意：根据初始值和稳态值的大小关系判断响应曲线是上升过程还是下降过程。

(4) 了解**阶跃响应**的概念。一阶暂态电路单位阶跃响应的求解与直流激励下的零状态响应相同，只需将零状态响应中的激励电压 $U_s(t)$ 换为单位阶跃函数 $\varepsilon(t)$ ，即：

$$s(t - t_0) = (1 - e^{-(t-t_0)/\tau}) \varepsilon(t - t_0)$$

典型例题： p113-115 【例4.4.1】、【例4.4.2】、【例4.4.3】、【例4.4.4】、【例4.4.5】

课后习题： p124-125 4.7、4.8、4.9、4.11、4.12

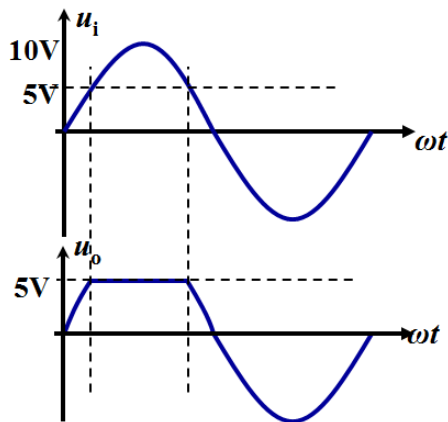
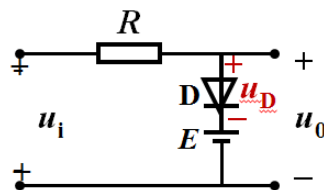
第五章：半导体器件

(1) 杂质半导体（P型、N型）的构成及特点（多子、少子类型），本征激发的概念。

(2) 二极管（PN结）伏安特性的单向导电性（正向导通、反向截止）、非线性和温度敏感性；二极管在限幅电路中的应用。

(1) 限幅电路

例如：如图，已知 $u_i = 10\sin\omega t$ ， $E = 5V$ ，二极管为理想元件，试画出 u_o 波形。



解：采用二极管理想模型，设二极管上的电压为 u_D ，忽略限流电阻 R 上的压降，根据KVL

$$u_D = u_i - E$$

- 当 $0 < u_i < 5V$ 时： $u_D < 0$ ，D截止， $u_o = u_i$
- 当 $u_i > 5V$ 时： $u_D > 0$ ，D导通， $u_o = E$
- 当 $0 < u_i < 5V$ 时： $u_D < 0$ ，D截止， $u_o = u_i$
- 当 $u_i < 0$ 时： $u_D < 0$ ，D截止， $u_o = u_i$

功能：二极管在该电路中起限幅作用。

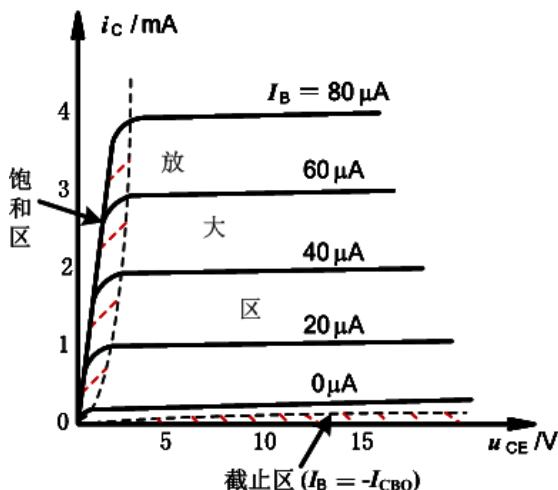
(3) NPN型三极管的结构及特点、 I_B 、 I_C 和 I_E 的形成过程及电流分配关系。

$$I_E = I_{EN} + I_{EP} \approx I_{EN} \quad I_B = I_{BN} - I_{CBO} \approx I_{BN} \quad I_C = I_{CN} + I_{CBO} \approx I_{CN} \quad I_E = I_C + I_B$$

$$\Delta i_c = \beta \Delta i_b \quad \Delta i_e = (1 + \beta) \Delta i_b \quad \text{共发射极交流电流放大系数: } \beta \approx \bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B}$$

(4) 三极管的三个工作区域（**放大区、截至区、饱和区**）的**特点**及工作在不同区域所需的**直流偏置条件**，温度对三极管参数的影响（导致 U_{be} 减小、 I_{CBO} 和 β 增加）。

$$i_C = f(u_{CE}) \Big|_{I_B = \text{常数}}$$



(1)**截止区** $I_B = -I_{CBO}$ ($I_{BN}=0$) 的输出特性曲线与横轴之间的区域，在此区域发射结和集电结都处于反向偏置状态。

(2)**饱和区** 曲线靠近纵轴附近，各条输出特性曲线的上升部分（ i_C 曲线基本重合，大小和 i_b 无关）。在此区域**发射结和集电结都处于正向偏置状态**。

(3)**放大区** 输出特性曲线上是比较平坦的部分， $\Delta i_C = \beta \Delta i_b$ ，在此区域**发射结处于正向偏置状态，集电结处于反向偏置状态**。

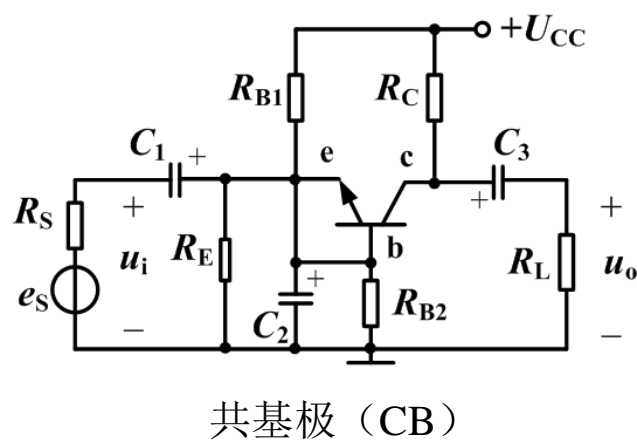
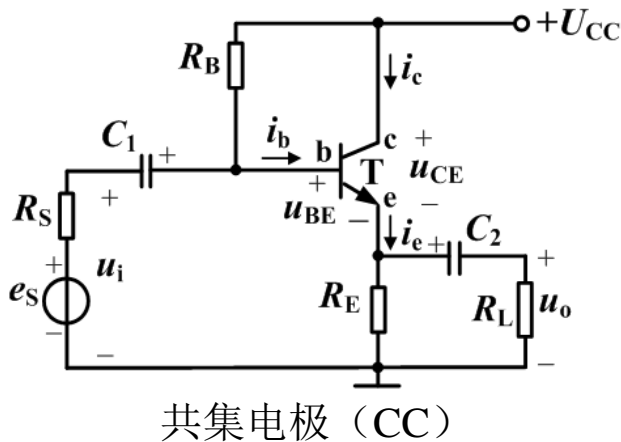
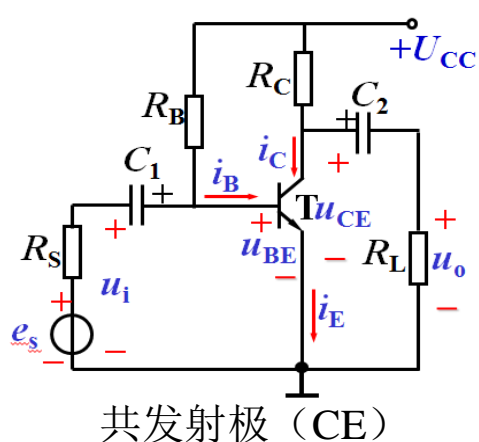
注意：对于NPN管，为满足在放大区的直流偏置条件，三个极的电位关系为： $V_C > V_B > V_E$

典型例题： p138-140 【例5.2.1】、【例5.2.2】、【例5.2.3】

课后习题： p176-177 5.11、5.12、5.28

第六章：基本放大电路

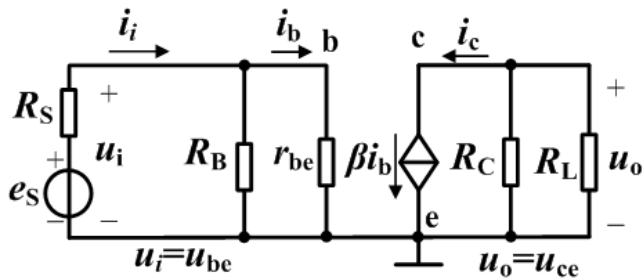
(1) 三种基本放大电路（共发射极放大电路、共集电极放大电路、共基极放大电路）的结构特点，能准确识别。



(2) 基本放大电路中直流分量和交流分量的关系，设置合适静态工作点Q的意义和方法；**CE和CC**基本放大电路**静态特性**（估算法求 I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 U_{CEQ} ）和**动态特性**（微变等效电路法求 A_u 、 r_i 、 r_o ）的**分析方法**；根据交流通路画CE和CC**微变等效电路**的方法。

➤ 共发射极 (CE) 放大电路：

$$I_{BQ} = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B}$$
$$I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$
$$U_{CEQ} = U_{CC} - R_C I_{CQ}$$

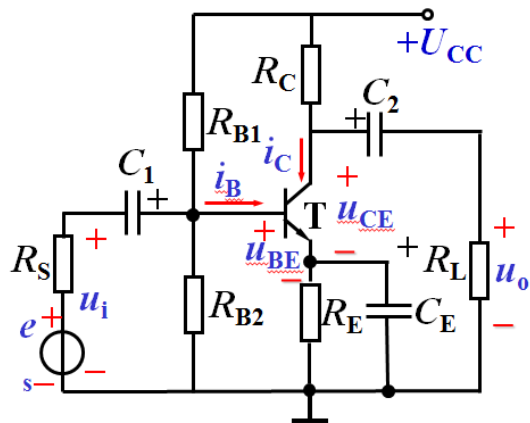


$$A_u = -\beta \frac{R'_L}{r_{be}} \quad R'_L = R_C // R_L$$

$$r_i = R_B // r_{be} \quad r_o = R_C$$

注意：CE接法放大电路输入信号 u_i 和输出信号 u_o **相位相反**。

➤ 含分压式偏置电路（p190）的共发射极（CE）放大电路（目的是稳定静态工作点，特点是基极电位不随环境温度变化）：



$$V_B \approx \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{CC}$$

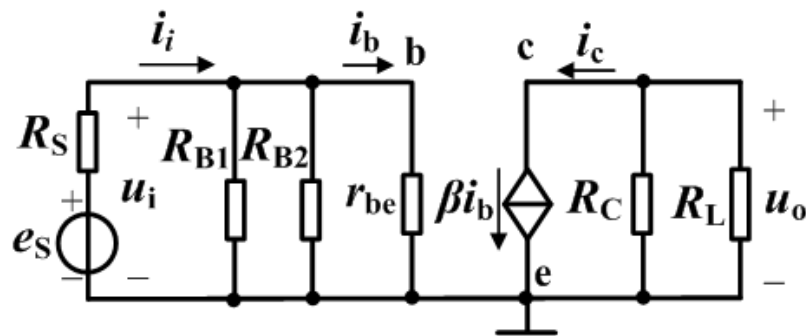
$$I_{BQ} \text{ 的估算法: } I_{BQ} \approx \frac{V_B - U_{BE}}{(1 + \beta) R_E}$$

采用戴维宁定理的 I_{BQ} 精确解法：
（p194-195 【例6.3.1】）

$$I_{BQ} = \frac{U_B - U_{BE}}{R_S + (1 + \beta) R_E}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$U_{CEQ} \approx U_{CC} - (R_C + R_E) I_{CQ}$$



$$A_u = -\beta \frac{R'_L}{r_{be}} \quad R'_L = R_C // R_L$$

$$r_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be}$$

$$r_o = R_C$$

注意：如果发射极电阻 R_E 不带交流旁路耦合电容 C_E ，需要考虑 R_E 对动态特性参数的影响 【例6.3.1】：

$$A_u = -\beta \frac{R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_E} \quad R'_L = R_C // R_L$$

$$r_i = [r_{be} + (1 + \beta) R_E] // R_{B1} // R_{B2}$$

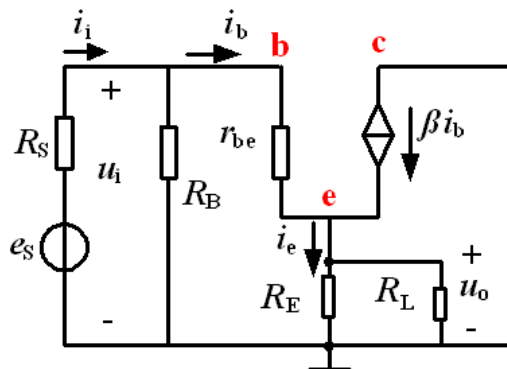
$$r_o = R_C$$

➤ 共集电极（CC）放大电路：

$$I_{BQ} = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B + (1 + \beta)R_E}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ}$$

$$U_{CEQ} \approx U_{CC} - R_E I_{CQ}$$



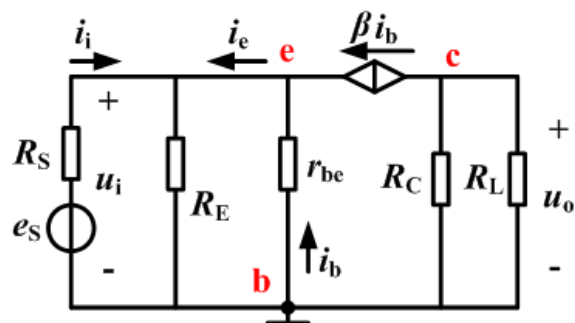
$$A_u = \frac{(1 + \beta)(R_E // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)(R_E // R_L)} \approx 1$$

$$r_i = R_B // [r_{be} + (1 + \beta)(R_E // R_L)]$$

$$r_o = R_E // \frac{r_{be} + R'_S}{1 + \beta} \quad R'_S = R_S // R_B$$

注意：共集电极（CC）放大电路输入信号 u_i 和输出信号 u_o 相位相同，放大倍数 $A_u \approx 1$ （射极跟随器），输入电阻比较大，输出电阻比较小。

➤ 共基极（CB）放大电路（了解）：



静态分析与分压式偏置共射极放大电路相同。

$$A_u = \frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be}}$$

$$r_i = R_E // \frac{r_{be}}{1 + \beta} \approx \frac{r_{be}}{1 + \beta} \quad r_o = R_C$$

典型例题： p194-195 【例6.3.1】

(3) 多级放大电路的耦合方式（阻容耦合、直接耦合、变压器耦合、光电耦合）及不同耦合方式的特点。

阻容耦合的特点：

- 耦合电容的隔直通交作用，使各级静态工作点相互独立。
- 低频特性差（容抗大，对信号衰减大），不能放大变化缓慢的信号。
- 由于集成电路中制造大容量电容很困难，不便于集成化。

直接耦合的特点：

- 电路结构简单、无电容，便于集成化；
- 具有良好的低频特性，可以放大变化缓慢的信号（如直流信号）。
- 前后级之间直流连通，
- 存在零点漂移；

(4) 应用输入电阻法，针对由基本放大电路构成的多级（两级）放大电路的静态特性（静态工作点）和动态特性进行分析，能根据基本放大电路的微变等效电路画出多级放大电路的微变等效电路。

注意：输入电阻法是指计算多级放大电路的动态特性参数时，将后级放大电路的输入电阻作为前级放大电路的负载使用，即：

多级放大电路的放大倍数： $A_u = A_{u1} \times A_{u2} \Big|_{R_{L1}=r_{i2}}$

多级放大电路的输入电阻为第一级放大电路的输入电阻。 $r_i = r_{i1} \Big|_{R_{L1}=r_{i2}}$

多级放大电路的输出电阻为最后一级放大电路的输出电阻。 $r_o = r_{on} \Big|_{R_{Sn}=r_{o(n-1)}}$

典型例题：p204-209 【例6.5.1】、【例6.5.2】

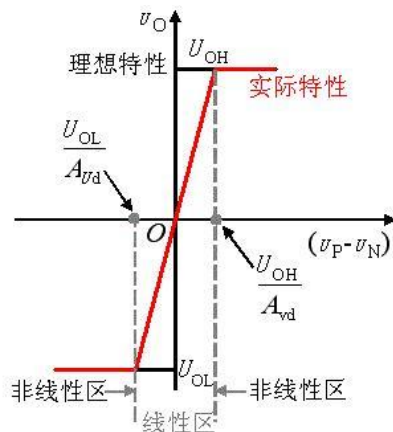
(5) 了解差分放大电路的构成及特点（不要求计算）。

课后习题：p224-229 6.1、6.19、6.21、6.23、6.25

第七章：集成运算放大器

(1) 理想集成运算放大器的电压传输特性和基本工作特性。

集成运放的电压传输特性：



两个基本工作状态：线性工作状态（负反馈闭环应用）、非线性工作状态（开环或正反馈闭环应用）

理想运放工作特性：

- 差模开环电压增益 $A_{ud} = \infty$
- 差模输入电阻 $r_{id} = \infty$
- 输出电阻 $r_o = 0$

(2) 理想集成运放在线性工作状态的两个分析依据：“虚短”、“虚断”及其应用。

(1) 虚短：开环电压放大倍数很大，而输出电压有限，因此差模输入电压很小 ($< 1\text{mV}$)，两输入端近似等电位，可以把两输入端视为“短路”，简称虚短。

$$u_i = u_+ - u_- = \frac{u_o}{A_{ud}} \quad \Rightarrow \quad u_- = u_+$$

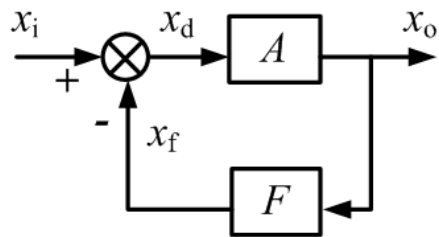
$A_{ud} \rightarrow \infty$

(2) 虚断：运放的差模输入电阻很大，而差模输入电压很小，因此流入运放输入端的电流远小于输入端外电路的电流 ($< 1\mu\text{A}$)。可以把两输入端视为开路，简称虚断。

$$i_- = i_+ = \frac{u_{id}}{r_{id}} \quad \Rightarrow \quad i_- = i_+ = 0$$

$r_{id} \rightarrow \infty$

(3) 放大电路“**反馈**”的概念，闭环放大倍数 A_f 的定义及反馈深度对电路性能的影响。



$$A_f = \frac{\dot{X}_o}{\dot{X}_i} = \frac{A}{1 + AF}$$

➤ 当反馈深度 $|1+AF| > 1$ 时， $A_f < A$ ，引入的反馈为**负反馈**。

➤ 当 $|1+AF| \gg 1$ 时，

$$A_f = \frac{A}{1 + AF} \approx \frac{A}{AF} = \frac{1}{F}$$

称为**深度负反馈**。此时放大倍数 A_f 仅与反馈系数有关，相对稳定。

➤ 当反馈深度 $|1+AF| < 1$ 时， $A_f > A$ ，引入的反馈为**正反馈**。

➤ 当 $|1+AF| = 0$ 时，电路进入**自激振荡状态**。

(4) 反馈极性（正反馈/负反馈）的判别方法（**瞬时极性法**），以及**反馈组态**（电压反馈/电流反馈，并联反馈/串联反馈）的**判别方法**。

电压反馈和电流反馈的判别采用**输出短路法**；并联反馈和串联反馈的判别**分两类**：

- 对于三极管放大电路： X_f 与 X_i 同时加在输入三极管的基极（B）或发射极（E），则为并联反馈；一个加在基极，另一个加在发射极则为串联反馈。
- 对于集成运算放大电路： X_f 与 X_i 同时加在集成运放的同相输入端或反相输入端，为并联反馈；一个加在同相输入端，另一个加在反相输入端则为串联反馈。

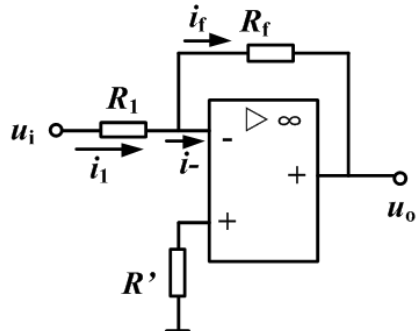
典型例题： p243-246 【例7.2.1】、【例7.2.2】、【例7.2.3】、【例7.2.4】

(5) 负反馈对放大电路性能的影响：降低放大倍数、提高放大倍数稳定性、展宽通频带、减小非线性失真、影响输入电阻和输出电阻。

结论：串联负反馈使输入电阻增加，并联负反馈使输入电阻减小；电压负反馈使输出电阻减小，电流负反馈使输出电阻增加。增加和减小的程度决定于反馈深度。

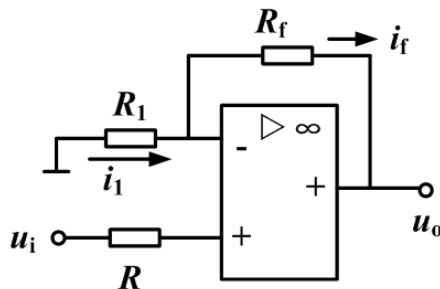
(6) **6类基本运算放大电路结构**，及其**放大倍数的分析**（利用“虚短”和“虚断”）。

➤ 反向比例运算电路



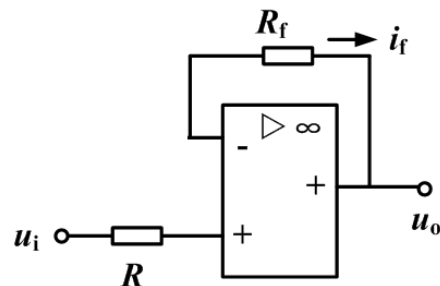
$$u_o = -\frac{R_f}{R_1} u_i$$

➤ 同向比例运算电路



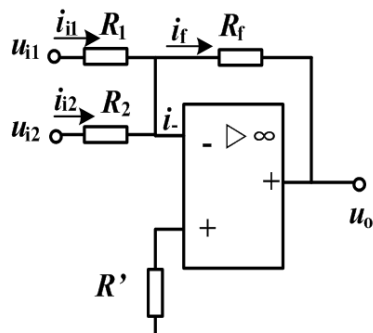
$$u_o = (1 + \frac{R_f}{R_1}) u_i$$

➤ 电压跟随器电路



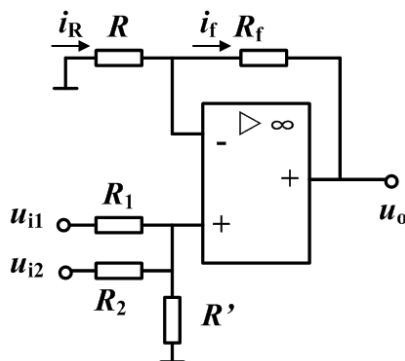
$$u_o = u_i$$

➤ 反向输入加法运算电路



$$u_o = -(\frac{R_f}{R_1} u_{i1} + \frac{R_f}{R_2} u_{i2})$$

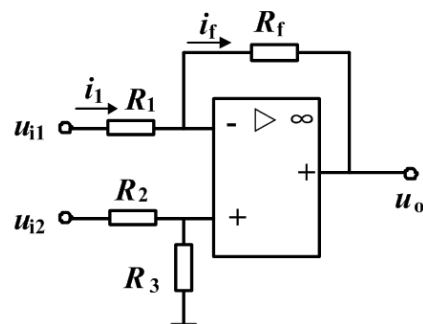
➤ 同向输入加法运算电路



$$u_o = \frac{R_p}{R_n} \times R_f \times (\frac{u_{i1}}{R_1} + \frac{u_{i2}}{R_2})$$

式中， $R_p = R_1 // R_2 // R'$ ， $R_n = R_f // R$

➤ 差分式减法运算电路

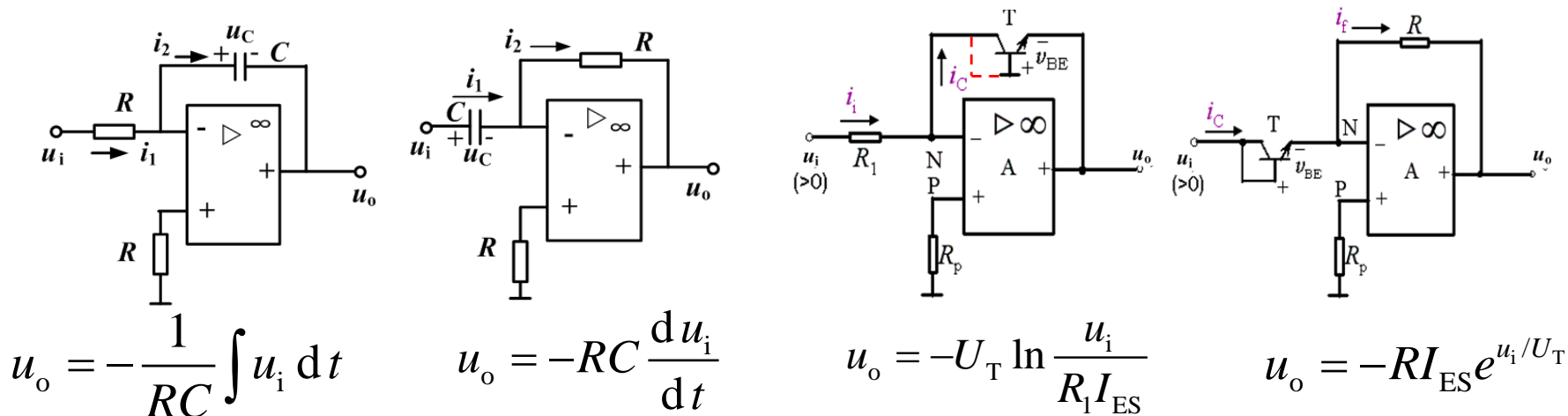


$$u_o = (\frac{R_1 + R_f}{R_1}) (\frac{R_3}{R_2 + R_3}) u_{i2} - \frac{R_f}{R_1} u_{i1}$$

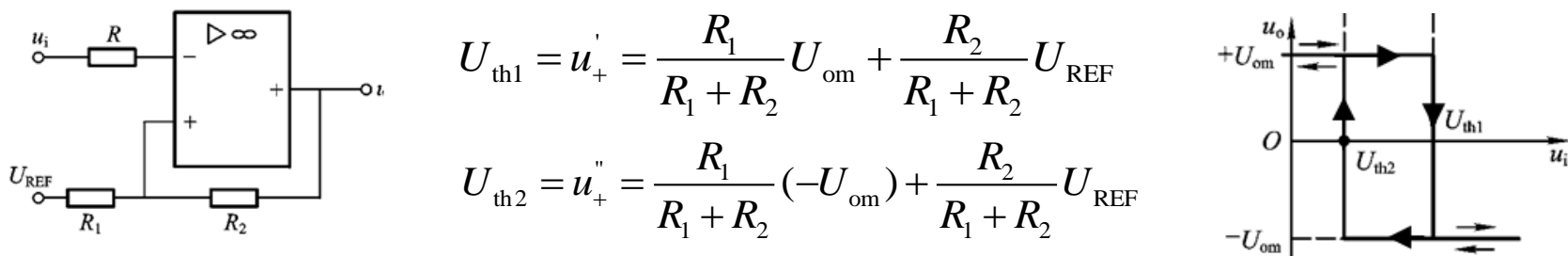
注意：基本运算电路中“**虚地**”的定义，以及“虚地”对电路性能的影响（电路虚地无共模输入信号，对运放的共模拟制比无特殊要求）。

(7) 应用“虚短”和“虚断”，对多个运放构成的**组合运算放大电路**进行分析，求整个电路输入 u_i 和输出 u_o 的关系。

(8) 了解积分、微分、对数和指数运算电路**基本原理**和特点。



(9) 了解电压比较器的**基本特性**（运放工作在**开环非线性饱和状态**），迟滞电压比较器的结构特点（两个门限电压，抗干扰能力强）、工作原理及门限电压的计算，并画传输特性。



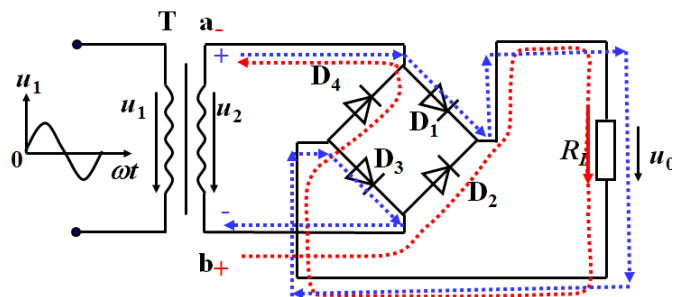
典型例题：p270 【例7.4.1】

课后习题：p276-282 7.8、7.9、7.10、7.12、7.24、7.30、7.36、7.51

第八章：功率电子电路

(1) 乙类互补对称功率放大电路 (OCL) 的电路结构及**工作原理** (不要求参数计算) ; **交越失真**的产生原因及克服方法 (采用甲乙类功率放大电路) 。

(2) 整流电路的作用 (交流变直流) , **单相桥式整流电路**的结构、**工作原理**及**参数计算**。

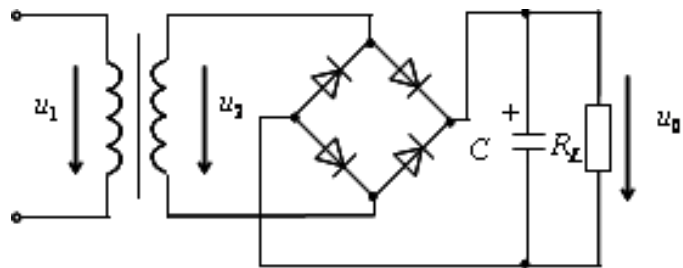


$$U_o \approx 0.9U_2 \quad I_o = \frac{U_o}{R_L} \quad I_D = \frac{1}{2}I_o = \frac{U_o}{2R_L}$$

注意：每个二极管承受的反向电压都是变压器副边电压的**峰值**，即：

$$U_{\text{DRM}} = \sqrt{2}U_2$$

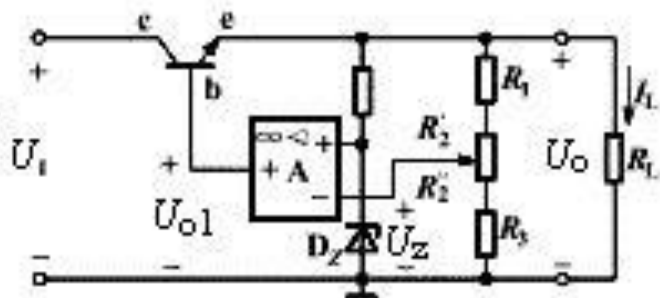
(3) 滤波电路的作用 (平滑整流脉动信号, 减小直流输出的纹波) ; **桥式整流电容滤波电路**的**工作原理**及**特点**。



- 输出电压平均值 U_o (滤波电容端电压) 与时间常数 $R_L C$ 有关, $R_L C$ 愈大 U_o 愈大。单相桥式整流电容滤波电路 $U_o \approx 1.2U_2$
- 流过整流二极管的**瞬时脉冲电流**很大, $R_L C$ 越大整流管**导通时间越短**, I_D 的峰值电流越大。

(4) 串联型稳压电路的结构和工作原理，电压调整范围的计算。

工作原理：当输入电压 U_I 增加时，导致输出电压 U_O 增加，反馈电压 $U_F = FU_O$ 随之增加（ F 为反馈系数）。 U_F 与基准电压 U_{REF} 相比较，其差值电压经比较放大电路放大后使 V_B 和 I_C 减小，调整管T的c-e极间电压 U_{CE} 增大，使 U_O 下降，从而维持 U_O 基本恒定。



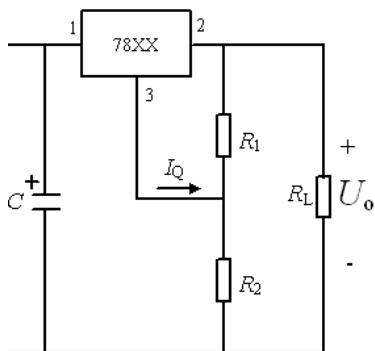
调整过程：当输入电压增加时： $U_I \uparrow \rightarrow U_O \uparrow \rightarrow U_F \uparrow \rightarrow U_{O1} \downarrow \rightarrow U_{CE} \uparrow$
 $U_O \downarrow$

$$U_O = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_2' + R_3} U_Z$$

电压调整范围：

当 $R_2' = R_2$ 时输出电压最小，当 $R_2' = 0$ 时输出电压最大。

(5) 三端集成稳压器78XX（XX表示三端集成稳压器的输出电压）的应用，稳压输出值的计算。



例如：W7812为输出电压为12V的三端集成稳压器件， I_Q 为公共端输出电流，其输出电压为：

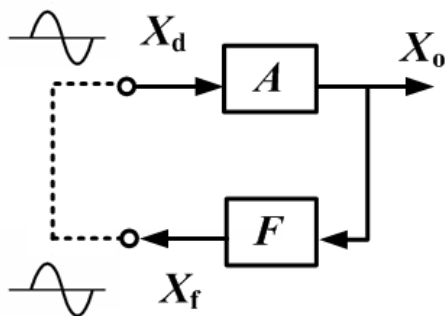
$$U_O = R_2 \left(I_Q + \frac{12}{R_1} \right) + 12$$

典型例题： p304 【例8.2.1】、 p308 【例8.2.2】

课后习题： p339-341 8.13、8.28、8.32

第九章：信号发生电路

(1) 正弦波发生器的**基本原理**（不需要输入信号、能产生**自激振荡**的**正反馈**放大电路）。



放大电路满足自激振荡的平衡条件为：

$$AF = 1$$

注意： A 、 F 均为**复数**，变量之间的运算关系为复数运算。

因此自激振荡条件包括：

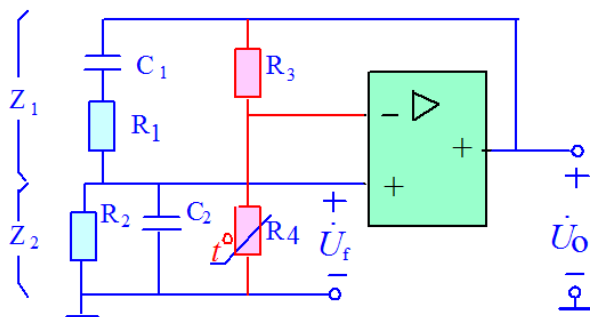
幅度平衡条件	$ AF = 1$
相位平衡条件	$\varphi_a + \varphi_f = 2n\pi, n = 0, 1, 2, \dots$

(2) **RC 文氏电桥**正弦波振荡电路的结构、工作原理、及**基本参数计算**。

振荡电路的组成

- 正反馈网络（选频网络）由RC串、并联反馈网络构成，在 $\omega = \omega_0$ 处， $F=1/3$ ， $\varphi_f=0^\circ$
- 放大电路由**同相比例放大电路**构成，且放大倍数：

$$A = 1 + \frac{R_3}{R_4} \quad \varphi_a = 0^\circ$$



振荡频率：

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}, \quad f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

起振条件：

$AF > 1$ ，需要 $A > 3$ ，因此：
 $R_3 > 2R_4$

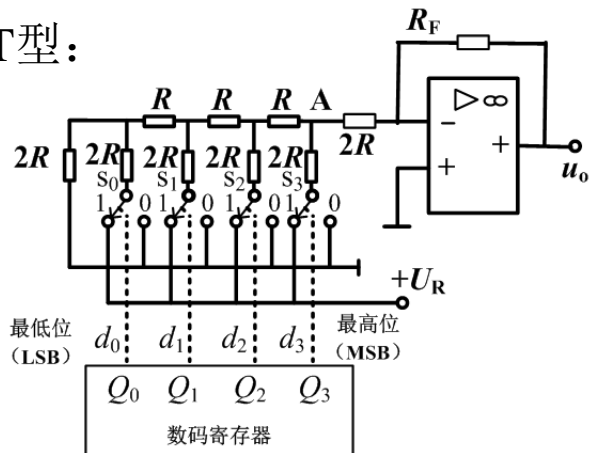
(3) 了解方波和三角波发生器的**工作原理**。

第十章：模拟量和数字量的转换

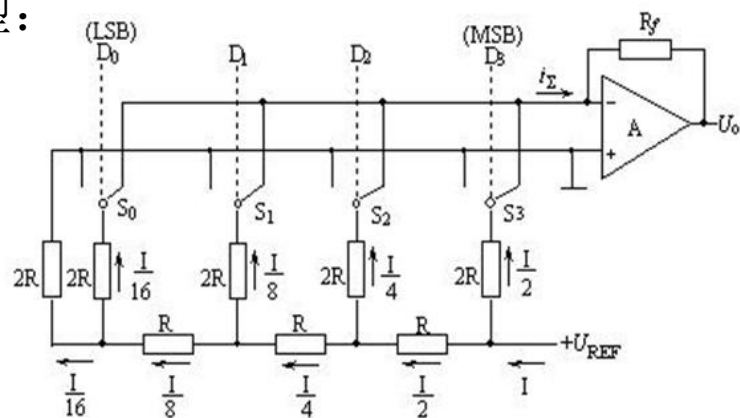
(1) T型和倒T型D/A转换器的**组成、工作原理和特点**，数字量和模拟量**转换关系计算**。

D/A转换电路的组成：由数码寄存器、 n 位模拟电子开关电路、解码网络、求和电路和基准电压组成。

➤ T型：



➤ 倒T型：



$$u_o = -\frac{R_F U_R}{3R \cdot 2^n} (d_{n-1} \cdot 2^{n-1} + d_{n-2} \cdot 2^{n-2} + \dots + d_1 \cdot 2^1 + d_0 \cdot 2^0)$$

$$u_o = -\frac{R_f U_R}{2^n R} \sum_{i=0}^{n-1} (d_i \cdot 2^i)$$

(2) D/A转换器的主要技术指标，**D/A转换分辨率**的概念和**计算**。

$$\text{分辨率} = \frac{1}{2^n - 1}$$

(3) 逐次逼近型A/D转换器的**组成**（控制逻辑电路、时序产生器、移位寄存器、D/A转换器和电压比较器）；了解逐次逼近型和双积分型A/D转换器的**工作原理**。