做题技巧：

开路状态 二 短路 二。

· 注意箭头 i、u 即可

列 KVL，尽可能不经过电流源。

㈠

电路变量和电路元件：

㈡

电路：
- 定义 电工设备 电气器件 电流通路
- 功能 能量 信息
- 共性 建立在同一电路理论基础上
- 集总：
  - 假设 { 外无电场 (i) / 外无磁场 (u) }
  - 条件：→（计算） $d \ll \lambda$ ，$\lambda = vT = v/f$
    - d：电路尺寸
    - λ：电磁波波长

参考方向
- 关联/非关联（定义）（元件）（支路）u i 采用相同参考方向
- $p>0$ $p<0$ （判断）

$\lambda = v/f$

$= vT$

KCL KVL
- ~~KCL~~（同一电流）（平面）（三支路） 路径
- 支路 网孔 节点 回路定义
- 定义（原理）{ 电荷守恒（闭合路径） / 能量守恒 }
- 推论 { 任一瞬间 / 同一闭合面 $\Sigma i = 0$ · KVL 适用于假想回路 }
- 应用条件：（只适用于集总）与元件（i/u 无关）与线性/非线性无关

电阻：
- 分类（看图）（线性，非线性）
- 电导（S）（两端子）
- 性质（无记忆、双向）

独立电源：
- 独立电压源 { $R \to 0$ / 不允许短 / 定义 }
- 独立电流源：{ $R \to \infty$ / 不允许开 / 定义 }（两端电压/ i 总保持定值，或一定的时间函数）
- 作用：激励
- 可产 P，吸 P（方向）

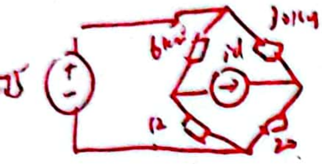
受控源：→ { 定义 大小方向受电路中其他 u/i 控制电源
- 类型：{ VCVS 无单位 / CCVS Ω / VCCS S / CCCS 无单位 }

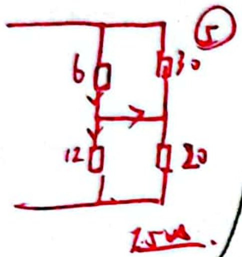
（接地后不再独立系统）

分别流：（两节点无 ΔU 可有电流（若有 R 则无电流）

$L_{eq} = L_1L_2 - M^2 / ...$

例子





简单电阻电路(二)

电阻电路 { 定义：仅由电源＋线性电阻构成电路

分析方法：{ OL (对内)；KCL KVL (对外)；等效 (对外) }

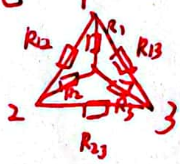
两端网络(电路)定义：2端口：端子 (一个端子流入 i = 另一个端子流出 i)

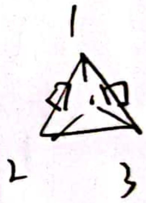
等效概念，条件：(相同VCR)(端口)

电阻串并联等效 → $R'=\sum_{i=1}^{n} R_i$　$G'=\sum_{i=1}^{n} G_i$　注并联中 $\left(i_k=\frac{G_k}{G_{eq}}i\right)$ ☆

分流分压方法 { 串压；并流　且 $P_{总}$ 的 = P_{eq}

Δ-Y变换 → 公式　(外大内小)



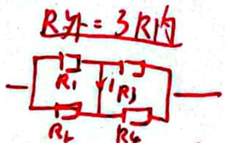


例：$R_1=\frac{R_{12}R_{13}}{R_{12}+R_{13}+R_{23}}$

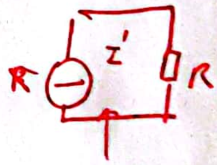
$R_{12}=\frac{R_1R_2+R_2R_3+R_1R_3}{R_3}$

记忆方法：当R相同 $R_{外}=3R_{内}$

桥式电路特点：

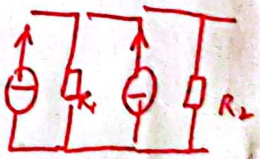


$R_1R_4=R_2R_3$ 则 $i=0$



理想电压源串　$u'=u_1+u_2$　$R'=R_1+R_2$

电流源并联　$i'=i_1+i_2$　$R'=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$



注：电压源并联电阻等效为电压源　电流源串联电阻等效为电流源 (对外)。

做题方法：

1. 纯电阻电路，串联则短路，并联则开路，求解等效电阻
2. 空载电压同 ⟺ R_1R_2 关系不变　只有 x W电阻可用 → 找 P_{max} R 即可　运用最大功率 → 找 P_{max} R 即可
3. 误差百分数可为负数(要)　电压表误差：(用 i 来计算)
4. 仪表内阻(测量结果与真实值相同)？
5. 梯子问题　y方向 P_y 保存 则 $y=(1-\beta)P_y$

山东大学

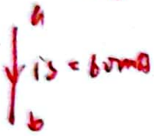
线性电路分析方法　普遍性+系统性

方向

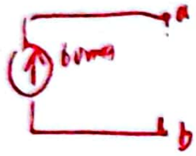
若 $U_{ab}=60V$

例

若



例



电路分析法（四）

术语：
- 方法基础　{KCL KVL；VCR（元件u.i关系）
- 网络图论
  - 图定义（支路节点集合）
  - 连通图　两节点间至少有一条路径
  - 子图　所有支路节点均为原图的支路节点
  - 树　①连通图 ②包含所有节点 ③无闭合路径
  - 树支　构成树的支路　数=n-1
  - 连支　属于图不属于树的支路 =b-(n-1)
  - 回路 → 基本回路（独立回路）（树+一个连支）
  - ①闭合路径 ②每个节点2条支路 ③连通图

KCL.KVL 独立方程数
n-1　b-(n-1)（网孔数）

支路电流法（KCL+KVL）（适用：n少且网孔少）

节点电压法：
- 本质　KCL（省KVL）
- 形式　$G_{11}U_{n1}+G_{12}U_{n2}+G_{13}U_{n3}=I_{Sn1}$ . . .
- 注意：①无电流通过支路不考虑自导 ②电流源不写自导互导，电压源串联R写 ③（若有电压源，必设出通过电流i）（无互导）
- 适用　电流源多的情况

回路电流法：
- 本质　KVL（省KCL）
- 形式　$R_{11}I_1+R_{12}I_2+R_{13}I_3=U_{S1}$
- 注意　{网孔电流法时 R_{12} R_{13} 均为负值.（电流源需设出通过u）
- 适用　电压源多的情况

齐次定理：定义（所有激励源↑↓相同倍数 响应u/i也↑↓相同倍数 ↳倒推法）

叠加定理：定义　支路ui等于每个独立源单独作用于电路时产生的u/i代数和
注（电压源短路.电流源开路）功率无法叠加.

替代定理：定义　已知支路ui 可用独立电源或 R=u/i 代替

戴维宁诺顿等效电路
- 定义　对于线性含源一端口网络　对外电路　总可以用电压源+R/电流源∥代替
- 求法　①求开路电压 ②求等效电阻 {短路电流法；外加电源（内部置0）→（受控源件不能置0）
- 方向
- 特例　若 $R_{eq}=0$ → 只有 ⊕；$R_{eq}=\infty$ → 只有 ⊕

电源变换
$u=U_S-iR_S \rightarrow i=U_S/R_S-u/R_S$
又 $i=I_S-u/R$　$\rightarrow R_S=R$　$I_S=U_S/R_S$

解题技巧
① 外加电源法时　u、i 是非关联参考方向的. 求出 R_{eq} 为正
② 开路电压短路电流法　u、i 是关联参考方向的

可先进行等效

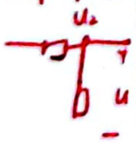
再列节点电压

回路电流）

（求开路电压

并不当作开路）

如



① 求P要先变成并联（双向）
③ 是否用完已知数据 → 验证功率守恒
④ 回路电流法通 ⨅⨆⨅ 也适用
⑤ 无有源电压源串联R
⑥ 已知 U_{1} ... 正弦则无影响；
⑦ 使用变换过结果求原路（倒推+正弦

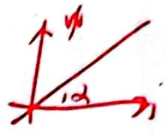
磁电产生（储存磁能的部件）

$H = Wb/A$

电感电容互感（六）：

电感（动态元件）（直流短路）

1. 磁通：$\psi(t) = N\Phi(t)$ 单位 韦伯（Wb）
2. 单位（H） $L = \frac{\psi(t)}{i(t)}$ + —m— − $u(t)$



$L = \tan\alpha$

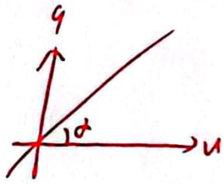
3. $u(t) = \frac{d\psi}{dt} = L\left(\frac{di}{dt}\right)$
4. $i(t) = \frac{1}{L}\int_{-\infty}^{t} u(\xi)d(\xi) = i(t_0) + \frac{1}{L}\int_{t_0}^{t} u(\xi)d(\xi)$（关联） → 初始值
5. $p = Li\,di/dt$（本身不消耗能）（−）→ 非关联
6. $w = \frac{1}{2}Li^2(t)$（仅与瞬间 i 有关）
7. 说明：电感为记忆性元件

记忆元件（i 与之前所有 u 均有关） $i(t_0)$

电容（u 不变开路）

定义 电子体由绝缘材料分开

单位 （F）（法拉） ⊕ —|i→|— ⊖ $C = q/u$



$C = \tan\alpha$

$i(t) = C\,du/dt$

$u(t) = \frac{1}{C}\int_{-\infty}^{t} i(\xi)d(\xi) = u(t_0) + \frac{1}{C}\int_{t_0}^{t} u(t)d(\xi)$

$p = Cu\,du/dt$

$w = \frac{1}{2}Cu^2$

说明 不消耗能量，为记忆性元件。

互感

判断方向
自感：u i 参考关联
互感：是否同名端流入（流出）
~~铁心接法~~
是：与自感同
否：与自感反

概念：i_1 通入线圈1 产生磁通，部分磁通穿过线圈2（互感磁通）

M：互感系数（H）. $\psi_1 = L_1 i_1 \pm M i_2$ $\psi_2 = L_2 i_2 \pm M i_1$

耦合系数K：$k = \frac{M}{\sqrt{L_1L_2}} \le 1$ $K=1$ 全耦合 $\Phi_{11} = \Phi_{21}$ $\Phi_{22} = \Phi_{12}$

同名端：{① 相互增强 ψ ② 电流流入（串用 i 同拍 并用 u 同拍）}（两两确认，元件选性）

说明

电容/感串并联：
- 电感并 — $\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$
- 电感串 — $L = L_1 + L_2$

> 类电阻（分流）

- 电容串 — $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$
- 电容并 — $C = C_1 + C_2$

> 反电阻（分流）

耦合电感电路：
- 串 { 正 $L = L_1 + L_2 + 2M$；反 $L = L_1 + L_2 - 2M$ } $M = \frac{L_正 - L_反}{4}$（可测）互感
- 并 { 同 $L_{eq} = \frac{L_1L_2 - M^2}{L_1 + L_2 - 2M}$；异 $L_{eq} = \frac{L_1L_2 - M^2}{L_1 + L_2 + 2M}$ }

6 $f(0_+)$ 只拘(?)瞬间元件 前列元另并不拍撮合 状态

7. 线圈问题

① 零输入

② 冲响应 $L=\Psi/i$

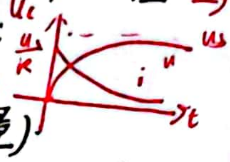
③ 电容上的电压 dU

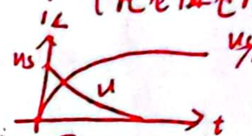
⟺ 电感上的电流 $d\%$

㊆ 一阶RL/RC电路响应

动态电路：
- 定义 含C/L电容为动态电路
- 换路 { 结构 → 支路；~~参数~~状态 → 参数
- 过渡过程 → 发生换路经历一个变化过程（纯电阻电路无）

电容/电感充电：





i_c (u_L) $(i_L$ (u_c)

跃变量（非跃变量）

电路初始条件 计算：
动态元件有初始储能
换路后外加激励为0

- $f(0_-)=f(0_+)$（守恒）：{ L：磁链守恒；C：电荷守恒
- 电容 → 电压源
- 电感 → 电流源 → { $u_c(0)$ → 导线；$i_L(0)$ → 断开
- 再求 $i/u(0_+)$

零输入响应
- 定义
- 公式
- 线性定义：→ { $u_c=U_0e^{-\frac{t}{\tau}}$ ；$I=I_0e^{-\frac{t}{\tau}}$

$\tau=CR$

$\tau=L/R$

u_i（注非线性关系）

零状态响应：
- 定义 有外加激励
- 公式 $u=U_s(1-e^{-\frac{t}{\tau}})$ $i=\frac{U_s}{R}(1-e^{-\frac{t}{\tau}})$
- 能量分配 $W_电=Cu^2$ $W_储=\frac{1}{2}Cu^2$ $\eta=50\%$

τ：
- 单位 s
- 意义 u_c 衰减到原来36.8%所需t 经过 3τ–5τ 过渡过程结束
- 几何意义

$$\frac{du_c}{dt}=-\frac{u_c(t_1)}{RC}=\frac{u_c(t_1)-0}{t_1-t_2}\rightarrow t_2-t_1=\tau$$

（次切距）

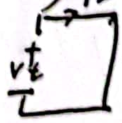
全响应：
- 零状态 + 零输入
- $=U_se^{-\frac{t}{\tau}}+U_s(1-e^{-\frac{t}{\tau}})$
- 稳态解 + 暂态解
- $f(\infty)+[f(0_+)-f(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}}$

做题心得

1. 无论 u/i 均可用 $f(\infty)+[f(0_+)-f(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}}$ 计算

2. 能量计算公式 $\int_0^t Ae^{-Bt}dt=\frac{A}{B}(1-e^{-Bt})$

3. 若有受控源 需求 R_{eq} 通常取电压源

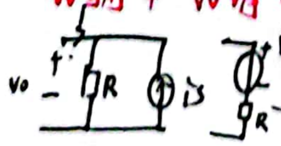


找倍数关系

4. 求元件消耗（用守恒来写）

$W_消+W_储=W_原$

5



$V_0=$ ~~i_SR~~ $+I_SR$

山东大学

电阻VCR $\dot U_R = R\dot I$ $P_R \ge 0$

电感VCR $\dot U_L = j\omega L\dot I = jX_L\dot I$ (u先)

电容VCR: $\dot U_C = \frac{-j}{\omega C}\dot I = jX_C\dot I$ (i先)

感抗 $X_L=\omega L$ $\begin{cases}\omega\to\infty & 开\\ \omega\to 0 & 短.\end{cases}$

$B_L = -1/\omega L$ 感纳(S)

容抗 $X_C=-\frac{1}{\omega C}$ $\begin{cases}\omega\to 0 & 开\\ \omega\to\infty & 短.\end{cases}$

$B_C=\omega C$ (容纳) (S)

(八)

RLC电路固有/阶跃响应

正弦稳态分析

(九)

九: (确定相量仅需知初相位与有效值)

$i(t)=\sqrt2 I\cos(\omega t+\varphi)$

$\dot I = I\angle\varphi$. $\dot U = U\angle\varphi$

运算: $=Re(\sqrt2\dot U_1 e^{j\omega t})$

$u_1(t)=\sqrt2 U_1\cos(\omega t+\psi_1)$

$u_2(t)=\sqrt2 U_2\cos(\omega t+\psi_2)$

↳ ⇒ 转化加减(相数)

↳ $\dot U = U\angle\varphi$ → 回写

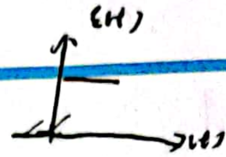
微分/积分 →

$i=\sqrt2 I\cos(\omega t+\psi_i)$

$\frac{di}{dt} = \omega j\omega\dot I = |I|\omega\angle\psi_i+\frac{\pi}{2}$

$\int i\,dt = \frac{\dot I}{j\omega} = \frac{|I|}{\omega}\angle\psi_i-\frac{\pi}{2}$

8

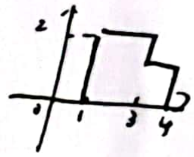
单位阶跃函数:  $\varepsilon(t)=\begin{cases}0, & t<0\\ 1, & t>0\end{cases}$

作用(下例)

① 模拟开关

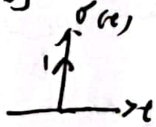
② 起始函数

③ 延迟函数 ④ 复杂信号 $f(t)=2\varepsilon(t-1)-\varepsilon(t-3)-\varepsilon(t-4)$



阶跃响应定义:

$i=e^{-\frac{t}{RC}}\varepsilon(t)$ 与 $i=e^{-\frac{t}{RC}}$ $(t\ge0)$ 区别.

单位冲激函数: $\begin{cases}\delta(t)=0 & (t\ne0)\\ \int_{-\infty}^{\infty}\delta(t)dt=1.\end{cases}$ 

脉冲函数p(t)? (固面积为定值)

关系: $p(t)=\frac{1}{\Delta}[\varepsilon(t+\frac{\Delta}{2})-\varepsilon(t-\frac{\Delta}{2})]$

$\lim_{\Delta\to0}p(t)=\delta(t)=\varepsilon'(t)$

性质: $f(t)\delta(t)=f(0)\delta(t)$

$\int_{-\infty}^{t}\delta(t)dt=\begin{cases}0, & t<0^-\\ 1, & t>0^+\end{cases}=\varepsilon(t)$

$\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\delta(t)dt=f(0)$

$\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\delta(t-t_0)dt=f(t_0)$

$u_1(t)=\sqrt2 U_1\cos(\omega t+\varphi)=Re(\sqrt2\dot U_1 e^{j\omega t})$

冲激响应

$C\frac{du_C}{dt}+\frac{u_C}{R}=\delta(t)$

$u_C(0^+)=\frac{1}{C}$

(换路定理不满足)

先求ε(t) 再用 $\delta(t)=\varepsilon'(t)$ 来求响应

9

正弦量 $v(t)=V_m\cos(\omega t+\varphi)$ T: s f: Hz. $\begin{cases}V_m & 振幅\\ \omega & 角频率\ (rad/s)\\ \varphi & (初相位)\end{cases}$

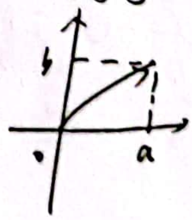
激励/响应 均为同频正弦量.

同频率相位差 $\begin{cases}\varphi=0 & 同相\\ \varphi=\pm\pi & 反相\\ \varphi=\frac{\pi}{2}\end{cases}$ → 运算条件 $\begin{cases}同\ \omega\\ 同\ \sin/\cos\\ 同“+”“-”号.\end{cases}$ 最后例…

有效值: $U_m=\sqrt2 U$ $I_m=\sqrt2 I$

↳ {瞬时值: 小写字母, 有效/最大值: 大写字母

复数: $\begin{cases}F=a+jb & j:虚\ \to(\frac{1}{j}=-j)\\ F=\sqrt{a^2+b^2}e^{j\theta}\\ F=\sqrt{a^2+b^2}(\cos\theta+j\sin\theta)\\ F=\sqrt{a^2+b^2}\angle\theta & \tan\theta=b/a.\end{cases}$



运算: $\begin{cases}加减\ (代数式)\\ 乘除\ (极坐标)\ |F_1|\angle\theta_1\times|F_2|\angle\theta_2=|F_1F_2|\angle(\theta_1+\theta_2)\\ 旋转:\ F\times e^{j\theta}\ (转\theta)\ (\pm j)(90°)(-1)(\pi)\end{cases}$