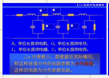
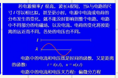
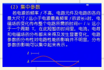
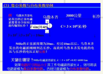
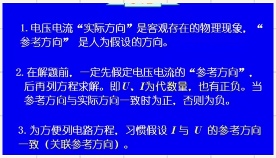
电流
① 单位：$1kA=10^3A$　$1mA=10^{-3}A$　$1\mu A=10^{-6}A$

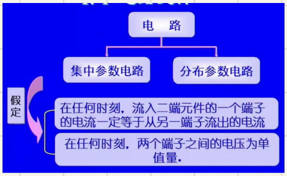
电压
① 电位 φ：单位正电荷 q 从电路中一点移至参考点（$\varphi=0$）时电场力作功的大小
② 电压 U：单位正电荷 q 从电路中一点移至另一点时电场力作功（W）的大小
③ 实际电压方向：电位真正降低的方向

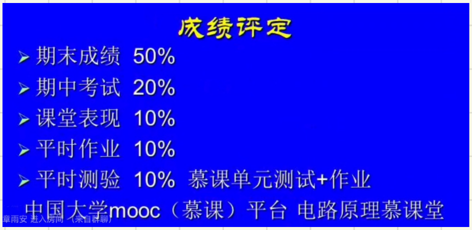
分布参数



集中参数
*写的


选择题，把电路分为 集中参数 / 分布参数

解题流程


电源可作为负载，负载均为消耗能量，即负载吸收能量与功率



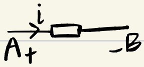


电感元件：产生磁场，储存磁场能量的元件
电容元件：产生电场，储存电场能量的元件

§1.3

1. 参考方向

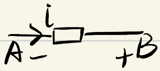
关联 P=ui表示元件的吸收功率



$p=ui$ { $p>0$ 吸收功率（耗能）; $p<0$ 发出功率（供能）}

$p=-ui$ { $p>0$ 发出; $p<0$ 吸收 }

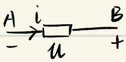
非关联 P=ui表示元件的发出功率



（计算$P_{发}$）$P=ui$ { $p>0$ 发出; $p<0$ 吸收 }

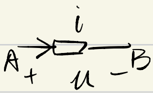
（计算$P_{吸}$）$P=-ui$ { $p>0$ 吸收; $p<0$ 发出 }

2. e.g1.



$u=-5V$ $i=2A$

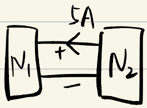
$P=-ui=10W$，吸收P



$u=5V$ $i=2A$

$P_{吸}=ui=10W$

e.g2.



10V

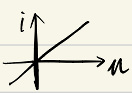
$P_{N_1吸}=ui=50W$

$P_{N_2吸}=-ui=-50W$ $P_{N_2发}=50W$

§1.5 电阻

1. $u=Ri$，$i=Gu$ （G：电阻的电导，西门子(S)，$G=\frac{1}{R}$）

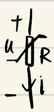
2. 伏安特性：电阻u、i关系

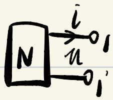
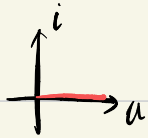


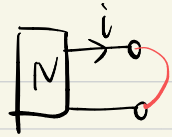
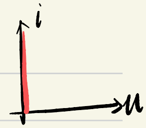
（关联）

表示

3. { $R=\frac{U}{I}$ → 线性电阻; $R\neq\frac{U}{I}$ → 非线性电阻 }



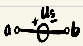
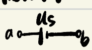
4.开路:  

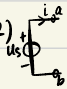
短路:  

5. $P=U\cdot I=I^2R=\frac{U^2}{R}=U^2G=\frac{i^2}{G}\geq 0$

§1.6

1.电压源:有源二端元件

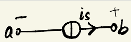
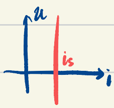
(1)  (直流: )

(2)  电压源非关联 $P_{发}=ui$

(3) 电压源 开路 $u=u_s, i=0$

短路 $u=0$ $i=\infty$ ⚠

2.电流源:

(1)  

(非关联)

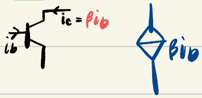
$P_{发}=ui$

(2) 短路: $i=i_s$, $u=0$

开路: $i=i_s$, $u=\infty$

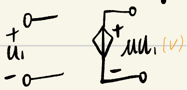
§1.7

1.受控电源(非独立电源)



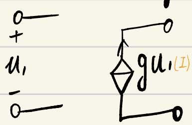
2.分类

(1)电压控电压源(VCVS)



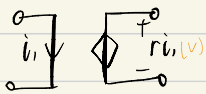
(μ:电压放大系数/转移电压比)

(2)电压控电流源(VCCS)



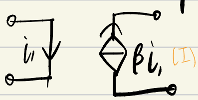
(g:转移电导,具有电导的量纲S)

(3)电流控电压源(CCVS)



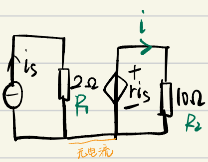
(r:转移电阻 Ω)

(4)电流控电流源(CCCS)



(β:电流放大系数/转移电流比)

3. e.g.



$i_s=4A$　$r=0.5\Omega$

解: $u=i_s\cdot R_1=8V$ $\therefore P_{is}=i_s\cdot u=32W$

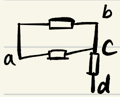
$i=\frac{ri_s}{R}=\frac{4\times0.5}{10}=0.2A$ $\therefore P_{CCVS}=ri_s\cdot i=0.4W$

§1.8 基尔霍夫定律

KCL 电流：结点

KVL 电压：回路

1. 支路 branch：二端元件构成



ab bd

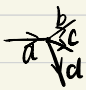
结点 node：a, b, d

回路 loop：闭合路径

abca

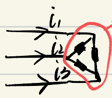
2. 广义结：S

3. KCL：



$i_a = i_b + i_c + i_d$ $\qquad \sum i = 0$

闭合面：e.g 1.

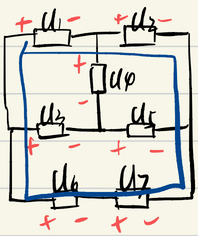


→选定闭合面

$i_1 + i_2 + i_3 = 0$

e.g.2. 无流出 $I=0$

4. KVL：在一个回路中，所有支路电压代数和为0. $\sum u = 0$



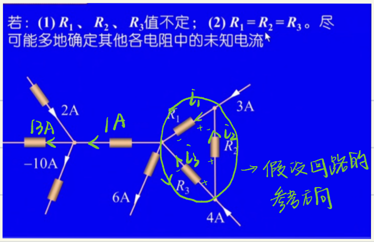
$u_1 + u_2 - u_7 - u_6 = 0$

5. 约束

元件特性形成约束—由u、I关系来体现：$u = Ri$，$u_L = L\dfrac{di_L}{dt}$，$i_c = C\dfrac{du_c}{dt}$

元件相互连接给支路I和u带来的约束，由基尔霍夫定律来体现.
(拓扑约束)

例题:



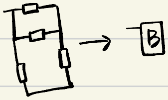
$$
\text{KCL}\begin{cases} i_2+3=i_1 \\ 4=i_2+i_3 \\ i_1+i_3=7 \end{cases}
$$

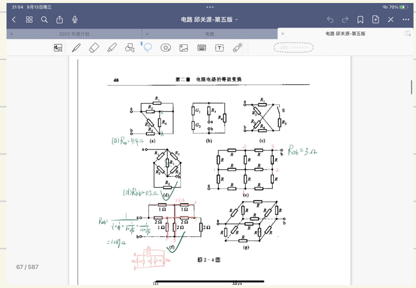
不是相互独立

KVL: $i_1R_1 - i_3R_3 + i_2R_2 = 0$

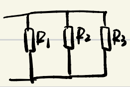
§2. 电阻电路的分析与计算

§2-2 电路的等效变换（对外等效-u.i保持不变）





§2.3.1 并联

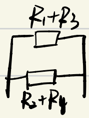


$$\frac{1}{R_{总}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$$

§2.3.3 混联

1. (2-6)(b) 计算 R
2. 桥形结构：

(1) 电桥平衡：$R_1R_4=R_2R_3$
支路ab电流为0

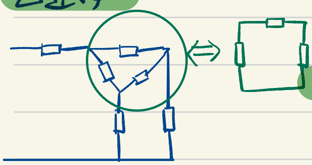


(2) 桥臂 $R_1\sim R_4$，对角线支路 R_5

电桥 { 平衡
不平衡 { Y
△

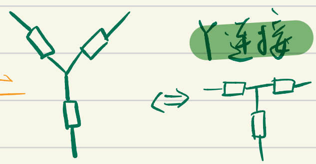
§2.4.1 电路的连接

△连接



π连接

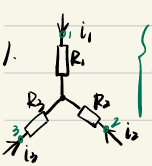
相互
变换



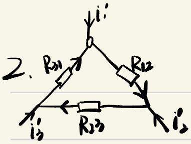
Y连接 星形连接

§2.4.3 Y与△连接的等效变换

1.



$$\begin{cases} i_1+i_2+i_3=0 \\ u_{12}=i_1R_1-i_2R_2 \\ u_{23}=i_2R_2-i_3R_3 \end{cases}$$

2. 

$$\begin{cases} i_1' = i_{12} - i_{31} = \dfrac{u_{12}}{R_{12}} - \dfrac{u_{31}}{R_{31}} \\ i_2' = \\ i_3' = \end{cases}$$

3. ∵等效时 u, i 相等 $i_1 = i_1'$, $i_2 = i_2'$, $i_3 = i_3'$

Y→△ ∴可得 $R_{12} = R_1 + R_2 + \dfrac{R_1 R_2}{R_3}$

$R_{23} = R_2 + R_3 + \dfrac{R_2 R_3}{R_1}$

$R_{31} = R_1 + R_3 + \dfrac{R_1 R_3}{R_2}$

若: $R_1 = R_2 = R_3 = R_Y$

则: $R_{12} = R_{23} = R_{31} = R_\Delta$

即: $R_\Delta = 3R_Y$

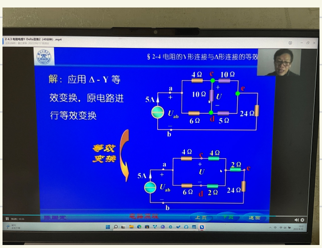
☆ △→Y 可得 $R_1 = \dfrac{R_{12} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$

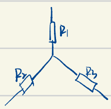
$R_2 = \dfrac{R_{23} R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$

$R_3 = \dfrac{R_{31} R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$

注意: 等效替代后电阻阻值要变!!!

4. 



Y 

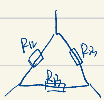
Y→△

$R_1 = R_2 = R_3$

$R_{12} = R_1 + R_2 + \dfrac{R_1 R_2}{R_3} = 3R_1$

$R_{23} = R_2 + R_3 + \dfrac{R_2 R_3}{R_1} = 3R_1$

$R_{13} = R_1 + R_3 + \dfrac{R_1 R_3}{R_2} = 3R_1$

△ 

△→Y

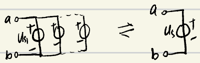
$R_1 = \dfrac{R_{12} + R_{13}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}} = \dfrac{2}{3}\Omega$

$R_2 = \dfrac{R_{23} + R_{12}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}} = \dfrac{2}{3}\Omega$

$R_3 = \dfrac{R_{13} + R_{23}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}} = \dfrac{2}{3}\Omega$

2-4 电压源 电流源

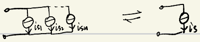
电压源并联：



电压方向相同，大小相同

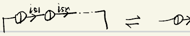
串联：$u_s = u_{s1} + u_{s2} + \cdots + u_{sn}$

电流源的并联：



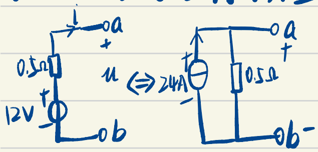
$i_s = i_{s1} + \cdots + i_{sn}$

串联：

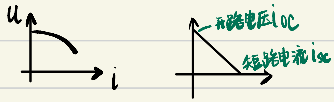


$i_s = i_{s1} = i_{s2} \cdots = i_{sn}$

§2.6 实际电源模型



1. 干电池伏安特性

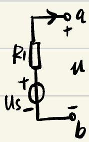


2. 等效变换

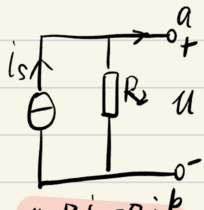
需满足

$R_1=R_2=R$

$U_s=Ri_s$



$u=u_s-Ri$



$u=R_2i_s-R_2i$

§3 电阻电路的一般分析 (第9周期中Test)

§3-1 电路的图 (Graph)

1. $G=\{$支路, 结点$\}$

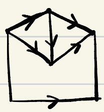
(1) 结点无 → 支路无

支路无 → 结点有

(2) 结点 {独立, 参考} — 一个元件作为一条支路

支路 — 元件的串并联组合作为一条支路

(3) 有向图: 指定方向支路电流的参考方向



G

(4)
- 路径: 从一个结点到另一个结点.
- 连通图: 电路中任意两点间至少存在一条路径
- 闭合路径: 一条路径的起点和终点重合.
- 回路: 一条路径中从起点回到原出发点所经过的结点各不相同
- 子图: 图 G_1 所有支路和结点都是图 G 中的支路和结点, 则称 G_1 是 G 的子图.

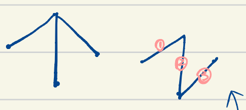
2. 树 (Tree): T是连通图的一个子图且满足:

(a) 连通

(b) 包含所有结点 (先画出所有点)

(c) 不含闭合路径.

e.g.

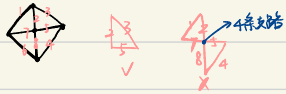


- 树支: 构成树的支路 $b_t=n-1$ (n为结点数)
- 连支: 属于G而不属于T的支路 $b=b-b_t=b-(n-1)$

3. 回路(Loop): L是连通图的一个子图, 构成一条闭合路径

并满足: (1)连通

(2)每个结点仅关联2条支路



① 对应一个图有很多的回路.

② 基本回路的数目是一定的, 为连支数.

③ 对于平面电路, 网孔数 = 基本回路数. $l = b_t = b-(n-1)$

4. 基本回路(单连支回路)

支路数 = 树枝数 + 连支数 = 结点数 − 1 + 基本回路数 $\quad b = n + l - 1$

独立回路数 = 连支数 = $b-(n-1)$ ∵ 树支加一条连支构成一个独立回路

(基本)

§3-2. KCL和KVL的独立方程数

1. n个结点:

(n−1)个独立的KCL方程

2. n个结点, b个支路数:

(b−n+1)个独立的KVL方程 (即为基本回路数

3. 独立的KCL和KVL 方程总数为b(支路数)

§3.3 支路电流法(2b法)

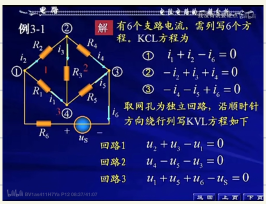
∵有b条支路 → b个电流 ⟶ b个独立的电路方程组求解

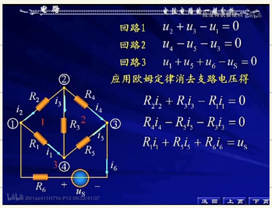
Step: ①标定各支路电流(电压)的参考方向

②列出(n-1)个 KCL方程

③列出[b-(n-1)]个KVL方程

④消u (利用U=I·R) VCR(电压电流关系)





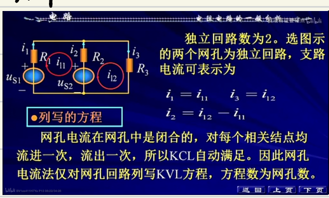
$$\sum R_k i_k = \sum u_k$$

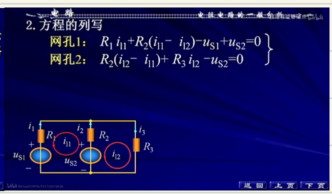
§3.4 网孔电流法

1. 基本思想：为减少未知量(方程)的个数，假想每个网孔中有一个网孔电流。

各支路电流可用网孔电流的线性组合表示来求得电路的解。

2. Step





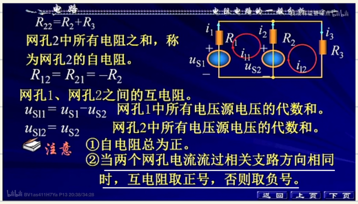
整理

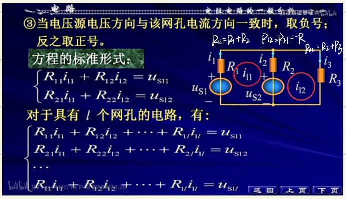
$$\Rightarrow \begin{cases} R_1 \underline{i_{l1}} + R_2(\underline{i_{l1}} - i_{l2}) = u_{S1} - u_{S2} \\ R_2(\underline{i_{l2}} - i_{l1}) + R_3 \underline{i_{l2}} = u_{S2} \end{cases}$$

$i_{l1}(R_1+R_2)$

$i_{l2}(R_2+R_3)$

$R_{11}=R_1+R_2$ (网孔1的自电阻)　　$R_{22}=R_2+R_3$



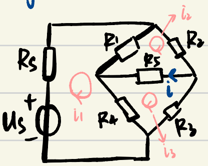


矩阵解方程

左侧为 自电阻 × I_{ln} + 互阻 × I_{ln}

右侧为 电压源 / 电流源与其并联的电阻等效后的 电压源

e.g. 用网孔电流法求解 i



① $(R_1+R_4+R_5)i_1-i_2R_1-i_3R_4=U_S$

② $-R_1i_1+(R_1+R_2+R_5)i_2-R_5i_3=0$

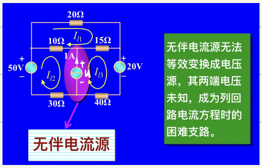
③ $-R_4i_1+(R_2+R_4+R_5)i_3-R_5i_2=0$

$i=i_2-i_3$

注意：$i\neq i_2$，$i\neq i_3$

无伴电流源不可直接用！

无伴电流源



方法一：(设 u)

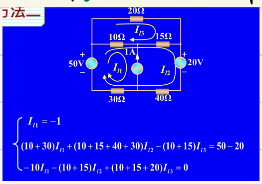
$45I_{l1}-10I_{l2}-15I_{l3}=0$

$-10I_{l1}+40I_{l2}=50-u$

$-15I_{l1}+55I_{l3}=u-20$

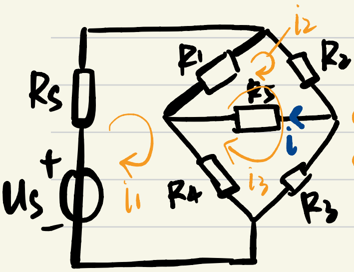
$\boxed{I_{l3}-I_{l2}=1}$ 4个方程 4个未知量

方法2. 无伴电流源仅出现在一个回路中



§3.5 回路电流法

1. · 对独立回路列写KVL方程，方程数：$b-(n-1)$



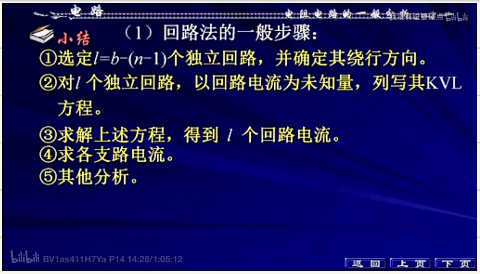
只让一个回路电流经过R_5支路

① $(R_5+R_1+R_4)i_1-R_1 i_2-(R_1+R_4)i_3=U_s$

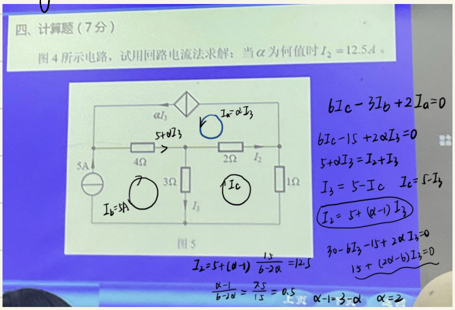
② $-R_1 i_1+(R_1+R_2+R_5)i_2+(R_1+R_2)i_3=0$

③ $-(R_1+R_4)i_1+(R_1+R_2)i_2+(R_1+R_2+R_3+R_4)i_3=0$

i_1, i_2, i_3 按顺序列，防缺项



e.g.



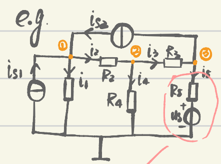
3. 受控电压源支路的处理

§3.6 结点电压法 U_{nk} ($k=1,2,3\ldots$)

以结点电压为未知量列方程

① 列KCL方程 有(n-1)个 ②任意选择参考点:其他结点与参考点的电位差即为结点电压(位),方向为从独立结点指向参考结点

e.g.



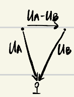
①选参考结点 (n-1)个

②列KCL方程 $\sum i_{R出} = \sum i_{S入}$

$i_2 + i_4 = i_{S1} + i_{S2} \rightarrow \dfrac{U_{n1}}{R_1} + \dfrac{U_{n1}-U_{n2}}{R_2} = i_{S1} + i_{S2}$

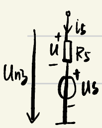
$i_4 + i_3 = i_2 \rightarrow \dfrac{U_{n2}}{R_4} + \dfrac{U_{n2}-U_{n3}}{R_3} = \dfrac{U_{n1}-U_{n2}}{R_2}$

$i_5 + i_{S2} = i_S \rightarrow$



$\because U + U_B - U_A = 0$

$\therefore U = U_A - U_B$

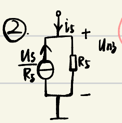


① $U + U_S - U_{n3} = 0$

$U = U_{n3} - U_S$

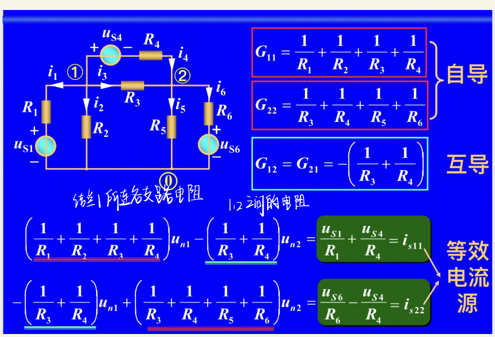
$i_5 = \dfrac{U_{n3}-U_S}{R_5}$

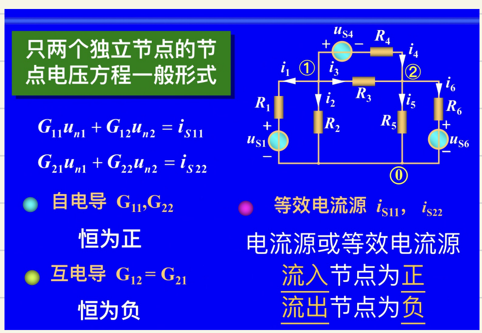
②

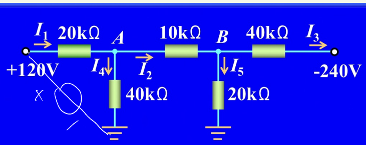


$-i_5 - \dfrac{U_S}{R_5} + \dfrac{U_{n3}}{R_5} = 0$

$\therefore i_5 = \dfrac{U_{n3}-U_S}{R_5}$







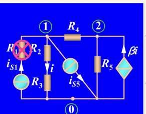
$$\left(\frac{1}{20}+\frac{1}{40}+\frac{1}{10}\right)u_{nA}-\frac{1}{10}u_{nB}=\frac{120}{20}$$

$$-\frac{1}{10}u_{nA}+\left(\frac{1}{20}+\frac{1}{40}+\frac{1}{10}\right)u_{nB}=-\frac{240}{40}$$

第一坑:

与电流源串联的电阻不予考虑

$$G_{11}=\frac{1}{R_2+R_3}+\frac{1}{R_4}$$



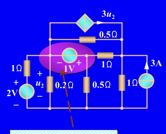
节点① $\left(\frac{1}{R_2+R_3}+\frac{1}{R_4}\right)u_{n1}-\frac{1}{R_4}u_{n2}=i_{S1}-i_{S5}$

节点② $-\frac{1}{R_4}u_{n1}+\left(\frac{1}{R_4}+\frac{1}{R_5}\right)u_{n2}=\beta i$

$i=\frac{u_{n1}}{R_2+R_3}$ (受控源约束方程)

第二坑:

无伴电压源

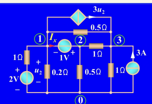


无伴电压源

无伴电压源不能等效变换成电流源，其所在支路电流未知，并且不能用节点电压来表示，成为了列节点KCL方程的困难支路。

法1. 设流经电压源电流为Ix(经常考题)

参考方向改变



$$\left(\frac{1}{1}+\frac{1}{0.2}+\frac{1}{0.5}\right)u_{n1}-\frac{1}{0.5}u_{n3}=\frac{2}{1}-3u_2-I_x$$

$$\left(\frac{1}{1}+\frac{1}{0.5}\right)u_{n2}-\frac{1}{1}u_{n3}=I_x$$

$$-\frac{1}{0.5}u_{n1}-\frac{1}{1}u_{n2}+\left(\frac{1}{1}+\frac{1}{1}+\frac{1}{0.5}\right)u_{n3}=3+3u_2$$

附加方程

$u_{n2}-u_{n1}=1$

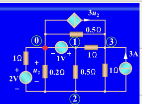
受控源约束方程

$u_2=u_{n1}$

法2. 巧选结点、

方法三

适当选择参考节点



节点① $u_{n1}=1$

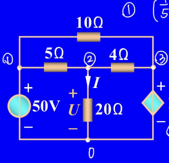
节点② $-\frac{1}{0.5}u_{n1}+\left(\frac{1}{1}+\frac{1}{0.2}+\frac{1}{0.5}+\frac{1}{1}\right)u_{n2}-\frac{1}{1}u_{n3}=-\frac{2}{1}-3$

节点③ $-\frac{1}{1}u_{n1}-\frac{1}{1}u_{n2}+\left(\frac{1}{1}+\frac{1}{1}+\frac{1}{0.5}\right)u_{n3}=3+3u_2$

$u_2=-u_{n2}$ (受控源的约束方程)

判断有无 $\begin{cases}\text{一坑}\\ \text{二坑}\end{cases}$

节点电压法求图示电路中电压 U 。



① $\left(\frac{1}{5}+\frac{1}{10}\right)U_{n1}-\frac{1}{5}U_{n2}-\frac{1}{10}U_{n3}=0$

② $-\frac{1}{5}U_{n1}+\left(\frac{1}{5}+\frac{1}{4}+\frac{1}{20}\right)U_{n2}-\frac{1}{4}U_{n3}=0$

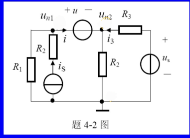
③ $-\frac{1}{10}U_{n1}-\frac{1}{4}U_{n2}+\left(\frac{1}{10}+\frac{1}{4}\right)U_{n3}=0$

$U_{n2}=20I$

$U_{n1}=50V$ $U_{n3}=15I$

#作2 i 和 $\frac{u_S}{R_3}$ 关系 ⇐ 原始方法.

2、列出题 4-2 图节点电压方程 (只列方程，不用求解)。 （6 分）



题 4-2 图

$\frac{1}{R_1}U_{n1}=i_S-i$

$\left(\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\right)U_{n2}=i+\frac{U_S}{R_3}$

$U_{n1}-U_{n2}=U$

列出图 6 所示电路的节点电压方程(只列方程，不用求解)。

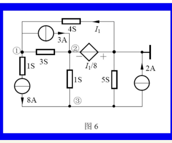


图 6

§4-1 叠加定理

1. 在线性电路中，任一支路的电流/电压可以看成是电路中每一个独立电源单独作用于电路时在该支路产生的电流/电压的代数和。 ／几个组合亦可

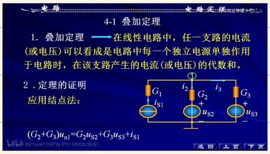
<1> 仅适用于线性电路；

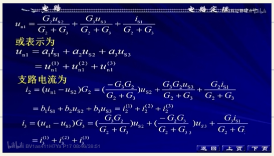
<2> 不作用的电压源置零 ⇌ 短路

不作用的电流源置零 ⇌ 开路

<3> 受控源要保留

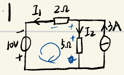
<4> U、I 方向注意 是否取负



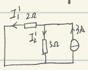


2. 功率不能叠加。

e.g.1



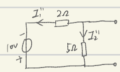
① 电流源单独作用



$I_1'=\frac{5}{7}\cdot 3=\frac{15}{7}$ A

$I_2'=\frac{2}{7}\cdot 3=\frac{6}{7}$ A

② 电压源单独作用



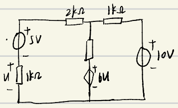
$I_1''=\frac{10}{7}$ A

$I_2''=-10$ A

⇒ 叠加 $I_1=I_1'+I_1''=\frac{25}{7}$ A

$I_2=I_2'+I_2''=-\frac{4}{7}$ A

e.g.2.



两个方法

e.g.3 内部电路结构不知，则用 $i/u=a_1i_{S1}+bu_{S1}+\cdots$ 计算

§4-2 齐性定理

$u_{n1} = a_1 i_{s1} + b_1 u_{n1}$

$u_{n1}' = A(a_1 i_{s1} + b_1 u_{n1})$

线性电路中，所有激励（独立电源）都增大（或减小）同样的倍数，则电路中响应（电压或电流）也增大（或减小）同样的倍数。

当激励只有一个，则响应与激励成正比。即 $y = kx$.

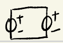
§4 替代定理

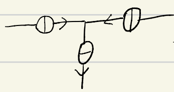
1. 某一支路 $U = u_k$，$I = i_k$ $\Longleftrightarrow$ ① $U = u_k$ 的独立电压源

② $I = i_k$ 的独立电流源

③ $R = \frac{u_k}{i_k}$ 的电阻

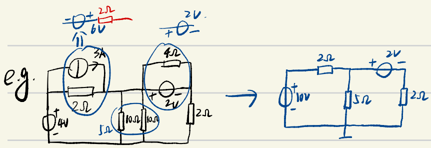
注意：1. 替代后电路必须有唯一解.

{ 无电压源回路  无法求I

无电流源结点（含广义结点）  无法求U

2. 电压源并联电阻 $\overset{\text{对外等效}}{\Longleftrightarrow}$ 电压源

电流源串联电阻 $\Longleftrightarrow$ 电流源

e.g.  → 结点电压

问用多大电阻替代2V

源的等效变换求图2电路中的电流 I。

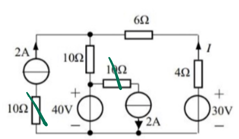
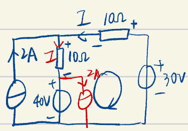


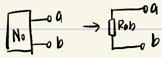
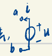
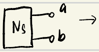
图2

解：

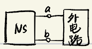
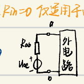
$-40 - (I+2)10 - 10I + 30 = 0$

$I = -0.5A$

§4-3 戴维南定理和诺顿定理

1.一端口网络(二端网络) N
- 不含独立源 N_0  求法,  $R_{ab}=\frac{u}{i}$ (独立源置0后的输入电阻
- 含独立源 N_s  →

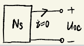
2、戴维南定理 (Rin=0 仅适用于此)

(1)  ⟺ 

U_{oc}是一端口的开路电压

R_{ab}为一端口网络的全部独立源置零后的输入电阻. 解法: 设 

(2) Step ① 求开路电压 U_{oc}

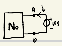


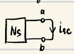
将受控源+电阻 转化为电压源串电阻, 不要存在 电流源并电阻

通通

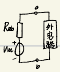
② 求输入电阻 R_{in}

法 △1 不含受控源时 将N_s化为N_0,  $R_{eq}=R_{in}=R_{ab}$

法 △2 含受控源时 将N_s化为N_0,  $R_{eq}=\frac{u_s}{i}$

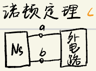
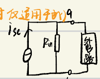
法 △3 求N_s的短路电流 i_{sc}  $R_{eq}=\frac{U_{oc}}{i_{sc}}$

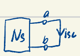
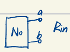
③ 由戴维南等效电路计算 外电路中的变量



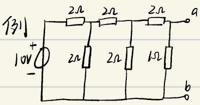
(3) ab端口伏安特性: $u=U_{oc}-iR_{eq}$

3. 诺顿定理 (Rin=∞时 仅适用于此)

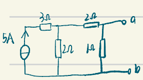
 ⟺ 

ab端口伏安特性: $i=i_{sc}-\frac{u}{R_{in}}$

例 

转化为 D or N 等效电路

 →

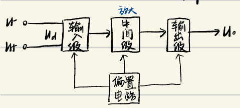
§含有运算放大器的电阻电路

5-1 运算放大器的电路模型

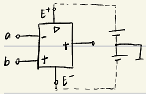
↓

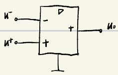
包含许多晶体管的集成电路

1. 集成运放是具有高开环放大倍数并带有深度负反馈的多级直接耦合放大电路。

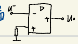


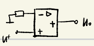
2. 运放的符号

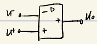




3. 运放的输入输出特性

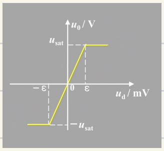
反相输入端  $u_o = -Au^-$

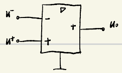
同相输入端  $u_o = Au^+$

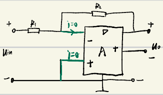
 $u_o = A(u^+ - u^-) = Au_d$　　$u_d = u^+ - u^-$ 差动输入电压

A 电压放大倍数

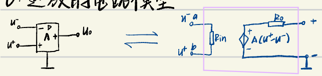
4. 运放的外特性



5. 开环 

闭环 

6. 运放的电路模型



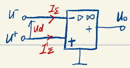
R_{in} — 输入电阻
R_o — 输出电阻

7. 运放的理想化

实际运放 R_{in} 很高 R_o 较低 A很大

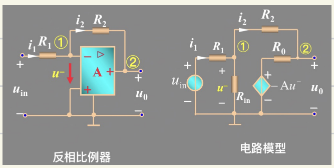
理想化 $R_{in}=\infty$ $A=\infty$ $R_o=0$ (在线性范围内)

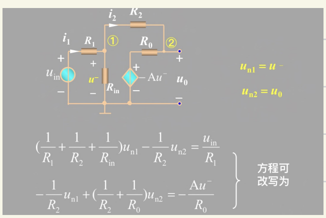
理想运放

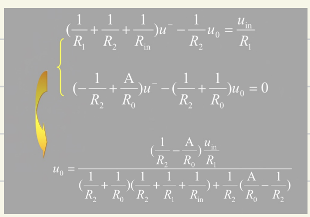


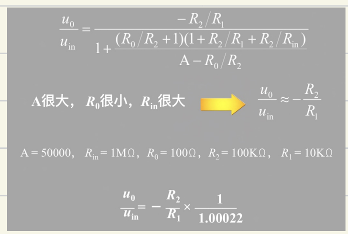
$I_\Sigma = I_\Sigma' = 0$
$u^+ = u^-$

5-2 比例电路的分析



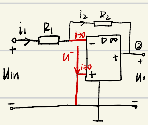






∵ A很大，R_o很小，R_{in}很大 $\Rightarrow$ $\frac{u_o}{u_{in}} \approx -\frac{R_2}{R_1}$

∴ $R_{in}=\infty$ $A=\infty$ $R_o=0$



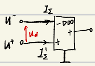
$\begin{cases} i_1 = i_2 \\ u_{n1} = 0 \end{cases}$

$i_1 = \frac{u_{in}}{R_1}$ $i_2 = -\frac{u_o}{R_2}$

∴ $\frac{-u_o}{R_2} = \frac{u_{in}}{R_1}$ $\Rightarrow$ $\frac{u_o}{u_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$

5-3 含有理想运算放大器的电路分析

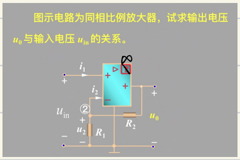
1. 理想运算放大器的性质



$I_{\Sigma'} = I_\Sigma = 0$ 虚断

$u^+ = u^-$ 虚短

2. 例子



PPT (1)

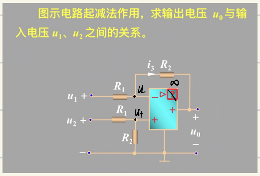
解: $i_1 = i_2$

$u_{n2} = -i_2 R_1 = \frac{R_1}{R_1+R_2} u_0$

$u_{n2} = u_{in}$

$\therefore u_{in} = \frac{R_1}{R_1+R_2} u_0$

$\therefore \frac{u_0}{u_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$



PPT (2)

解: $i_3 = \frac{u_1 - u_0}{R_1 + R_2}$

$u_- = u_1 - R_1 i_3 = u_1 - \frac{R_1(u_1-u_0)}{R_1+R_2}$

$u_+ = \frac{R_2}{R_1+R_2} u_2$

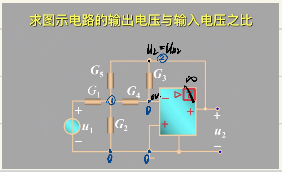
$\because u_- = u_+$

$\therefore u_1 - \frac{R_1(u_1-u_0)}{R_1+R_2} = \frac{R_2}{R_1+R_2} u_2$

$u_1 = \frac{u_1R_1 - u_0R_1 + u_2R_2}{R_1+R_2}$

$\therefore u_1R_2 + u_0R_1 - u_2R_2 = 0$

$\therefore u_0 = \frac{u_2R_2 - u_1R_2}{R_1} = \frac{R_2}{R_1}(u_2 - u_1)$



解: $\because u_+ = 0$

$\therefore u_- = u_+ = 0$

① $(G_1+G_2+G_4+G_5)u_{n1} - G_5 u_{n2} = u_1 G_1$

② $(G_3+G_5)u_{n2} - G_5 u_{n1} = 0$

$\therefore u_{n2} = u_2 \quad u_{n1} = \frac{(G_3+G_5)u_2}{G_5}$

$\therefore G_5 u_2 + G_1 u_1 = \frac{(G_1+G_2+G_4+G_5)(G_3+G_5)u_2}{G_5}$

$G_1 G_5 u_1 = (G_1+G_2+G_4+G_5)G_3 u_2 + (G_1+G_2+G_4)G_5 u_2$

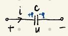
$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{G_1 G_5}{(G_1+G_2+G_4+G_5)G_3 + (G_1+G_2+G_4)G_5}$$

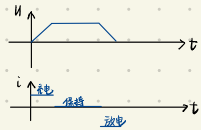
电容元件
(交流)

定义：反映电场储能性质的参数.

分类：线性～/非线性～ e.g. 电解电容器，电力～

单位换算 法拉(F) $1F=10^{-3}mF=10^{-6}uF=10^{-9}nF=10^{-12}pF$

电路符号：



库伏关系：$q=Cu$ (线性)

伏安关系：$\boxed{i=\frac{dq}{dt}=\frac{d(Cu)}{dt}=C\frac{du}{dt}}$ 后续解微分方程 ☆☆☆

$\frac{du}{dt}=0 \Leftrightarrow i=0 \Leftrightarrow$ C 相当于开路

电压和电流的积分关系式

t₀时刻电容元件所带电荷量

$$q=\int i\,dt=\int_{-\infty}^{t} i\,d\xi=\int_{-\infty}^{t_0} i\,d\xi+\int_{t_0}^{t} i\,d\xi=q(t_0)+\int_{t_0}^{t} i\,d\xi$$

$$\therefore u(t)=\underset{u(0)}{\underline{u(t_0)}}+\frac{1}{C}\int_{t_0}^{t} i\,d\xi$$

有记忆的元件 QAQ.

当u,i取关联参考方向. $p=u\cdot i=Cu\frac{du}{dt}$

$$W_C=\int_{-\infty}^{t} u(\xi)i(\xi)\,d\xi=\int_{-\infty}^{t} u(\xi)\frac{C\,du(\xi)}{d\xi}\cdot d\xi$$

$$=\int_{-\infty}^{t} u(\xi)\,C\,du(\xi)$$

$$=C\frac{1}{2}u^2(\xi)\Big|_{-\infty}^{t}$$ $u(-\infty)=0 \Rightarrow W_C(-\infty)=0$

$$=\frac{1}{2}Cu^2(t)$$

从t_1, t_2，电容元件吸收的能量为：

$$W_C=C\int_{u(t_1)}^{u(t_2)} u\,du=\frac{1}{2}Cu^2(t_2)-\frac{1}{2}Cu^2(t_1)=W_C(t_2)-W_C(t_1).$$

- $|u(t_2)|>|u(t_1)| \rightarrow W_C(t_2)>W_C(t_1)$ 元件吸收能量 充电
- $|u(t_2)|<|u(t_1)| \rightarrow W_C(t_2)<W_C(t_1)$ 元件释放能量 放电

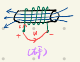
$C=\frac{\varepsilon S}{d}$ ε：介电常数

电感元件

定义：反映磁场储能性质的电路参数.

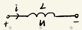
分类：线性～/非线性～

法拉第电磁感应定律：

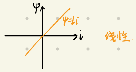


$u=\frac{d\psi}{dt}$　$\psi_L=N\phi_L$

ψ_L → 磁通链　ϕ_L → 磁通

符号：

ψ 和 i 的关系：$\psi=Li$　L－电感，单位：亨利 H

韦安特性曲线：

线性.

u、i 导数关系式：$\left.\begin{array}{l} u=\frac{d\psi}{dt} \\ \psi=Li \end{array}\right\} \Rightarrow u=L\frac{di}{dt}$　电感元件基本伏－安关系　$\frac{di}{dt}=0 \Rightarrow u=0$　相当于短路

u、i 为关联参考方向：$u=L\frac{di}{dt}$

$\frac{1}{L}u\,dt=di \Rightarrow \frac{1}{L}\int u\,dt=\int di=i$

$\therefore i=\frac{1}{L}\int u\,dt=\frac{1}{L}\int_{-\infty}^{t}u\,d\xi=i(t_0)+\frac{1}{L}\int_{t_0}^{t}u\,d\xi$.

$\therefore \psi_L(t)=\psi_L(t_0)+\int_{t_0}^{t}u\,d\xi$

磁场储能：$\because p=ui=Li\frac{di}{dt}$

$W_L(t)=\int_{-\infty}^{t}p\,d\xi=\frac{1}{2}Li^2(t)=\frac{1}{2}\frac{\psi_L^2(t)}{L}$

从 $t_1\to t_2$，$W_L(t_2)-W_L(t)=$ ～

$\begin{cases} |i(t_2)|>|i(t_1)| & \Delta W>0 & \text{吸能} \\ |i(t_2)|<|i(t_1)| & \Delta W<0 & \text{放能} \end{cases}$

电容
- 串联　$\frac{1}{C_{eq}}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\cdots+\frac{1}{C_n}$
- 并联　$C_{eq}=C_1+C_2+\cdots+C_n$

电感
- 串联：$L_{eq}=L_1+L_2+\cdots+L_n$
- 并联：$\frac{1}{L_{eq}}=\frac{1}{L_1}+\frac{1}{L_2}+\cdots+\frac{1}{L_n}$

i R + u −	i + u C −	i L + u −
$u=Ri$	$i=C\frac{du}{dt}$ $u(t)=u(0)+\frac{1}{C}\int_0^t i(\tau)d\tau$	$u=L\frac{di}{dt}$ $i(t)=i(0)+\frac{1}{L}\int_0^t u(\xi)d\xi$
$p=i^2R=\frac{u^2}{R}$	$W_e=\frac{1}{2}Cu^2(t)$	$W_L(t)=\frac{1}{2}Li^2(t)$
耗能元件	动态元件、储能元件、记忆元件	动态元件、储能元件、记忆元件

认真预习 直流⇒交流

$i=C\frac{du}{dt}$ $u=L\frac{di}{dt}$

一阶电路和二阶电路的时域分析

动态电路

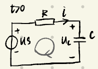
定义：含有动态元件电容或电感的电路

一阶电路

含有一个动态元件的线性电路，电路方程为一阶线性常微分方程

RC、RL（利用戴维南定理转化为最简 RC/RL）

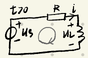
RC电路：



$\begin{cases} KVL:\ iR+u_C-u_S(t)=0 \\ 电容的VCR:\ i=C\frac{du_C}{dt} \end{cases}$ ⇒ 以电压为变量 $RC\frac{du_C}{dt}+u_C=u_S(t)$

以电流为变量 $Ri+\frac{1}{C}\int i\,dt=u_S(t)$ $\xRightarrow{两边同时对t求导}$ $R\frac{di}{dt}+\frac{i}{C}=\frac{du_S(t)}{dt}$

RL电路：

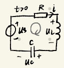


$\begin{cases} KVL:\ iR+u_L=u_S \\ 电感的VCR:\ u_L=L\frac{di}{dt} \end{cases}$ ⇒ 以电感电压为变量 $\frac{R}{L}\int u_L dt+u_L=u_S(t)$ ⟶ $\frac{R}{L}u_L+\frac{du_L}{dt}=\frac{du_S(t)}{dt}$

以电流为变量 $Ri+L\frac{di}{dt}=u_S(t)$

二阶电路

定义：含有二个动态元件的线性电路，电路方程为二阶线性常微分方程



$\begin{cases} KVL:\ Ri+u_L+u_C=u_S \\ 元件的VCR:\ i=C\frac{du_C}{dt}\quad u_L=L\frac{di}{dt}=LC\frac{d^2u_C}{dt^2} \end{cases}$ ⇒ $LC\frac{d^2u_C}{dt^2}+RC\frac{du_C}{dt}+u_C=u_S(t)$

高等数学

电路的初始条件

暂态 稳态 是 +=- 不是 -=+!!!

换路瞬间

电容：$C=\frac{q}{u}$

$u_C(0_+)=u_C(0_-)$ → $u_C(0_+)=u_C(0_-)=U_0$ 可视为电压值为U_0的电压源、

$q(0_+)=q(0_-)$ → 电荷守恒

电感：$\psi=Li_L$

$i_c(0_+)=i_c(0_-)$ → $i_L(0_+)=i_L(0_-)=I_0$ 可视为电流值为I_0的电流源

$\psi_L(0_+)=\psi_L(0_-)$ → 磁链守恒

求初始值的步骤：

小结 求初始值的步骤：

1. 由换路前电路（稳定状态）求$u_C(0_-)$和$i_L(0_-)$。
2. 由换路定律得 $u_C(0_+)$ 和 $i_L(0_+)$。
3. 画0_+等效电路。
   - (1) 换路后的电路；
   - (2) 电容（电感）用电压源（电流源）替代。（取0_+时刻值，方向与原假定的电容电压、电感电流方向相同）。
4. 由0_+电路求所需各变量的0_+值。

一阶线性常系数微分方程的定解：

1) 一阶线性常系数齐次微分方程的一般形式：

$\begin{cases} \tau\frac{dx(t)}{dt}+x(t)=0 \\ x(0_+)=X_0 \quad (t\ge 0_+) \end{cases}$，其中：$\tau$、$X_0$为实常数

满足初始条件的定解为：$x(t)=x(0_+)e^{-t/\tau},(t\ge 0_+)$

2) 一阶线性常系数非齐次微分方程的一般形式：

$\begin{cases} \tau\frac{dx(t)}{dt}+x(t)=F_S \\ x(0_+)=X_0 \quad (t\ge 0_+) \end{cases}$，其中：$\tau$、$X_0$、$F_S$为实常数

满足初始条件的定解为：

$x(t)=x(\infty)+[x(0_+)-x(\infty)]e^{-t/\tau},t\ge 0$

一阶电路的零输入响应

目前均为期中考题

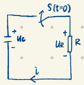
{ RC
RL

τ 时间常数(s) ☆

一阶电路的零输入响应

定义: 零输入响应指电路在没有外施激励,而仅由电路中动态元件的初始储能所引起的响应.

RC电路的零输入响应:

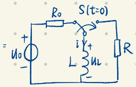


$t \geq 0_+$

$u_R = u_C = U_0 e^{-\frac{1}{RC}t} = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ （τ=RC，RC电路的时间常数）

$i = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{1}{RC}t} = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$

RL电路的零输入响应:

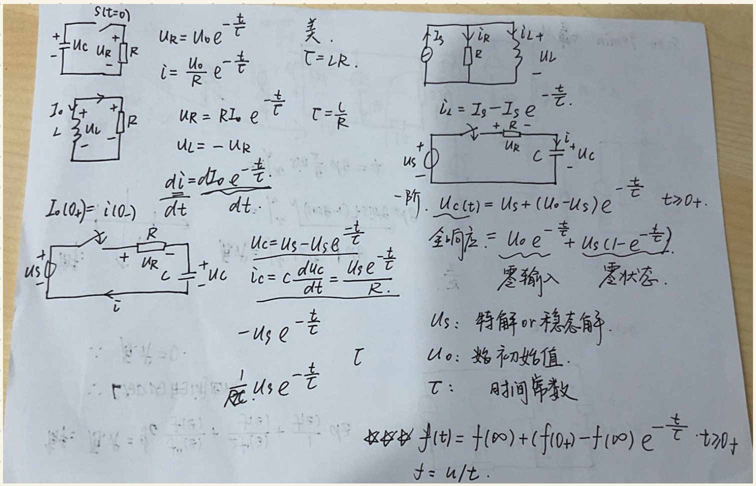


$u_R = RI_0 e^{-\frac{R}{L}t} = RI_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ （$\tau=\frac{L}{R}$，RC电路的时间常数）

$u_L = -RI_0 e^{-\frac{R}{L}t} = -RI_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$

$i = I_0 e^{-\frac{R}{L}t} = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$

一阶电路的零状态响应



S(t=0)

$u_R = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$

$i = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$

美.

$\tau = LR$.

$u_R = RI_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ $\tau = \frac{L}{R}$

$u_L = -u_R$

$\frac{di}{dt} = \frac{dI_0 e^{-\frac{t}{\tau}}}{dt}$.

$I_0(0_+) = i(0_-)$

$u_C = U_S - U_S e^{-\frac{t}{\tau}}$

$i_C = C\frac{du_C}{dt} = \frac{U_S e^{-\frac{t}{\tau}}}{R}$.

$-U_S e^{-\frac{t}{\tau}}$

τ

$\frac{1}{\cancel{RC}} U_S e^{-\frac{t}{\tau}}$

$i_L = I_S - I_S e^{-\frac{t}{\tau}}$.

一阶. $u_C(t) = U_S + (U_0 - U_S) e^{-\frac{t}{\tau}}$ $t \geq 0_+$.

全响应 $= \underbrace{U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}}_{\text{零输入}} + \underbrace{U_S(1-e^{-\frac{t}{\tau}})}_{\text{零状态}}$.

U_S: 特解 or 稳态解.

U_0: 始初始值.

τ: 时间常数

☆☆☆ $f(t) = f(\infty) + (f(0_+) - f(\infty)) e^{-\frac{t}{\tau}}$ $t \geq 0_+$

$f = u/i$.

最后一题 U7大题

小结

$R > 2\sqrt{\dfrac{L}{C}}$ 过阻尼，非振荡放电

$$u_C = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t}$$

$R = 2\sqrt{\dfrac{L}{C}}$ 临界阻尼，非振荡放电

$$u_C = A_1 e^{-\delta t} + A_2 t e^{-\delta t}$$

$R < 2\sqrt{\dfrac{L}{C}}$ 欠阻尼，振荡放电

$$u_C = A e^{-\delta t}\sin(\omega t + \beta)$$

可推广应用于一般二阶电路

由初始条件 $\begin{cases} u_C(0_+) \\ \dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}(0_+) \end{cases}$ 定常数

相量法

1. 复数的四则运算

<1> $F_1=a_1+jb_1=|F_1|e^{j\varphi}$　$F_2=a_2+jb_2=|F_2|e^{j\theta}$

① $F_1\pm F_2=(a_1\pm a_2)+j(b_1\pm b_2)$ <±用代数形式>

② $F_1F_2=(a_1+jb_1)(a_2+jb_2)=|F_1||F_2|e^{j(\varphi+\theta)}=|F_1||F_2|/\varphi+\theta$

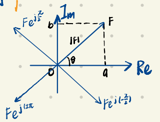
③ $\frac{F_1}{F_2}=\frac{|F_1|}{|F_2|}/\varphi-\theta$　<×/÷用指数形式>

<2> 旋转因子：$e^{j\varphi}=1/\varphi$

改变方向，不改变大小

$e^{j\frac{\pi}{2}}$ 乘上等效于逆时针旋转90°

<3> 极坐标式：$F=|F|e^{j\theta}=|F|\angle\theta$



2. 正弦量

<1> 正弦量：电路中随时间按正弦规律变化的电压或电流

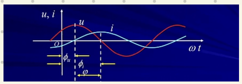
① 表示形式：$u=\underbrace{U_m}_{\text{振幅}}\cos(\underbrace{\omega}_{\text{角频率}} t+\underbrace{\varphi_u}_{\text{初相角}})$　（U_m >0）　$i=I_m\cos(\underbrace{\omega t+\varphi_i}_{\text{相位}})$　$\omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi f$

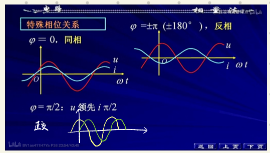
注意：$|\varphi|\le\pi$　用弧度　一般解 $\cos\varphi=k$，φ 有两个值，根据图像再判别唯一 φ

② 相位差：$(\omega t+\varphi_1)-(\omega t+\varphi_2)$　（k_1、k_2）

$|\Delta\varphi|\le\pi$

- >0　k_1 超前于 k_2 的相角 ⇒ k_1 比 k_2 先达到最大值
- <0　滞后
- $=0$　k_1k_2 同相
- $=\pi$　反相
- $=\pm\frac{\pi}{2}$　正交





$\cos\varphi=\sin(\varphi+\frac{\pi}{2})$

$\sin\varphi=\cos(\varphi-\frac{\pi}{2})$

③ 有效值：

直流　　交流

$W=I^2RT$　　$W=\int_0^T Ri^2(t)dt$

$I^2RT=\int_0^T Ri^2(t)dt$

有效值 $I\overset{def}{=}\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)dt}$　平方→平均→开根

$U\overset{def}{=}\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u^2(t)dt}$

设 $i(t)=I_m\cos(\omega t+\varphi)$

$I=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T I_m^2\cos^2(\omega t+\varphi)dt}$

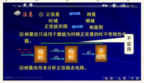
$=\sqrt{\frac{I_m^2}{T}\int_0^T\left(\frac{\cos2(\omega t+\varphi)+1}{2}\right)dt}$

$=\sqrt{\frac{I_m^2}{2T}\cdot T}$　高数知识

$=\sqrt{\frac{I_m^2}{2}}$

$\therefore I=\frac{I_m}{\sqrt2}$　$U=\frac{U_m}{\sqrt2}$　$U_m=380V$　$U=\frac{U_m}{\sqrt2}\approx220V$

3. 相量法



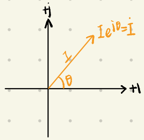
⟨1⟩ 推导：$F=|F|e^{j(wt+\varphi)}=|F|\cos(wt+\varphi)+j|F|\sin(wt+\varphi)$

$i(t)=\sqrt{2}I\cos(wt+\theta)=Re[\underbrace{\sqrt{2}Ie^{j\theta}}_{\dot{I}}e^{jwt}]$

令 $\dot{I}=Ie^{j\theta}=I\angle\theta$，即为正弦量 i 的相量（有效值相量）

（不随t变化）

⟨2⟩ 几何形式：



eg. 正弦量 $220\sqrt{2}\cos(wt-35^\circ)$

有效值相量 $220\angle-35^\circ$ 　最大值相量 $220\sqrt{2}\angle-35^\circ$

⟨3⟩ 运算关系：$\dot{I}=\dot{I}_1+\dot{I}_2$ （w相同） 　加法计算方法 {代数；几何：借助相量图

① 微分规则：

正弦量	相量
$i=\sqrt{2}I\cos(wt+\theta)$	$\dot{I}=I\angle\theta$
$\frac{di}{dt}=\sqrt{2}wI\cos(wt+\theta+\frac{\pi}{2})$	$wI\angle\theta+\frac{\pi}{2}=jw\dot{I}$
i的n阶微分	$(jw)^n\dot{I}$ ⟺ 放大w倍，逆时针旋转 $\frac{\pi}{2}$

② 积分规则：

正弦量 　对应 　相量

$i=\sqrt{2}I\cos(wt+\theta)$ ⇌ $\dot{I}=I\angle\theta$

$\int idt=\frac{\sqrt{2}I}{w}\cos(wt+\theta-\frac{\pi}{2})$ ⇌ $\frac{\dot{I}}{jw}$ 　转换 回去 　⟺ 缩小w倍，顺时针旋转 $\frac{\pi}{2}$

e.g. $i_1=10\sqrt{2}\cos(314t+\frac{\pi}{3})A$ 　$i_2=22\sqrt{2}\cos(314t-\frac{5}{6}\pi)A$

⟨1⟩ $\dot{I}_1=10\angle\frac{\pi}{3}=5+5\sqrt{3}j$

$\dot{I}_2=22\angle-\frac{5}{6}\pi=-11\sqrt{3}-11j$

$\dot{I}=\dot{I}_1+\dot{I}_2=5-11\sqrt{3}+(5\sqrt{3}-11)j$

$\therefore i=i_1+i_2=\sqrt{(5-11\sqrt{3})^2+(5\sqrt{3}-11)^2}\angle\arctan\frac{5\sqrt{3}-11}{5-11\sqrt{3}}$

⟨2⟩ $\frac{di_1}{dt}=314j\times10\angle60^\circ=3140\angle150^\circ$

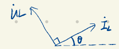
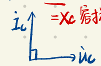
⟨3⟩ $\int i_2dt \Leftrightarrow \frac{22\angle-\frac{5}{6}\pi}{314j}=\frac{22}{314}\angle-\frac{4}{3}\pi=0.07\angle120^\circ$

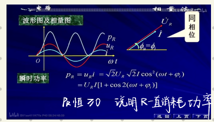
$\int i_2dt=0.07\sqrt{2}\cos(314t+120^\circ)A\cdot S$

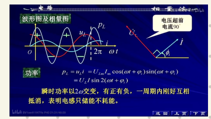
4. 电路定律的相量形式

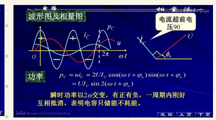
⟨1⟩ KVL $\begin{cases}\sum u(t)=0 & (\text{时域形式})\\ \sum\dot{U}=0 & (\text{相量形式})\end{cases}$ 　KCL $\begin{cases}\sum i(t)=0 \Rightarrow \sum Re\,\sqrt{2}(\dot{I}_1+\dot{I}_2+\cdots)e^{jwt}=0\\ \sum\dot{I}=0\end{cases}$

⟨2⟩ RCL元件伏安关系的相量形式

	电阻元件	电感元件	电容元件
瞬时量关系	$u_R=i_RR$	$u_L=L\frac{di_L}{dt}$	$i_c=C\frac{du_c}{dt}$
相量形式	$\dot{U}_R=\dot{I}_RR$	$\dot{U}_L=j\underbrace{wL}_{=X_L\ 感抗(\Omega)}\dot{I}_L$	$\dot{U}_c=\frac{1}{jwc}\dot{I}_c$
有效值关系	$U_R=I_RR$	$U_L=wLI_L$	$U_c=\underbrace{\frac{1}{wc}}_{=X_c\ 容抗}I_c$
相位关系	 $\dot{U}=IR\angle\theta$ 　$\dot{I}=I\angle\theta$	 $i(t)=\sqrt{2}I\cos(wt+\varphi)$；$u(t)=L\frac{di}{dt}=-\sqrt{2}LIw\sin(wt+\varphi)=\sqrt{2}LIw\cos(wt+\varphi+\frac{\pi}{2})$	 $u(t)=\sqrt{2}u\cos(wt+\theta)$；$i(t)=c\frac{du}{dt}=-\sqrt{2}wcu\sin(wt+\theta)=\sqrt{2}wcu\cos(wt+\theta\ldots$



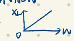




感抗 $X_L=wL=2\pi fL$ （Ω）

①表示限制电流的能力

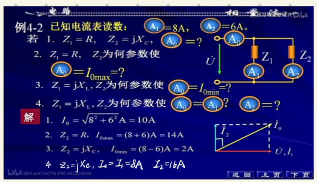
② X_L 和 w 成正比



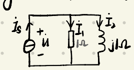
感纳 $B_L=-\frac{1}{wL}$ （S）

容抗 $X_c=+\frac{1}{wc}$ （Ω）

容纳 $B_c=wC$ （S）



eg. $\dot{I}_s=2\angle0^\circ A$，求 $\dot{U}$



解：$\because \dot{I}_1+\dot{I}_2=\dot{I}_s$ 　$\dot{I}_2=\frac{\dot{U}}{j}$

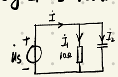
$\dot{I}_1=\dot{U}$

$\therefore \dot{U}-j\dot{U}=2\angle0^\circ$

$(1-j)\dot{U}=2\angle0^\circ$

$\dot{U}=\frac{2\angle0^\circ}{1-j}=\sqrt{2}\angle45^\circ\ V$

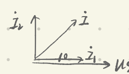
eg. $I_1=I_2=10A$，求 $\dot{I}$ 和 $\dot{U}_s$



解：$\dot{I}=\dot{I}_1+\dot{I}_2$

设 $\dot{U}_s=U_s\angle0^\circ V=100\angle0^\circ V$

$U_s=10I_1=100V$



$\dot{I}=10\sqrt{2}\angle45^\circ A$

$\dot{U}_s=100\angle0^\circ V$

相量图法

9-1 阻抗和导纳

(电阻)　(电导)

1. 阻抗 Z　电抗 X

正弦稳态情况下

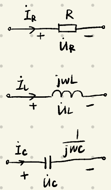
$Z=\frac{\dot{U}}{\dot{I}}=|Z|/\varphi_Z$

$|Z|=\frac{U}{I}$ 阻抗模

$\varphi_Z=\varphi_u-\varphi_i$ 阻抗角

(1) R.L.C元件的阻抗

相量模型图　　阻抗

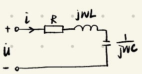


$Z_R=\frac{\dot{U}_R}{\dot{I}_R}=R$

$Z_L=\frac{\dot{U}_L}{\dot{I}_L}=j\omega L$　$X_L=\omega L$ 感抗

$Z_C=\frac{\dot{U}_C}{\dot{I}_C}=-j\frac{1}{\omega C}$　$X_C=\frac{1}{\omega C}$ 容抗

(2) RLC串联电路等效复阻抗



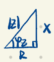
$Z=R+j\omega L+\frac{1}{j\omega C}=R+j(\omega L-\frac{1}{\omega C})=R+j(X_L-X_C)=R+jX$

$Z=\frac{\dot{U}}{\dot{I}}=R+jX=|Z|/\varphi_Z$

① 复阻抗

$Z=R+jX$　(R等效电阻, X等效电抗)

② 阻抗三角形

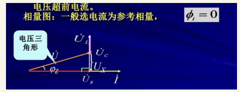


(3) $Z=R+j(\omega L-\frac{1}{\omega C})=|Z|/\varphi$

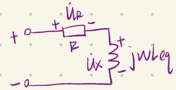
① $\omega L>\frac{1}{\omega C}$，$X>0$，$\varphi_Z>0$ $(\varphi_u-\varphi_i>0)$

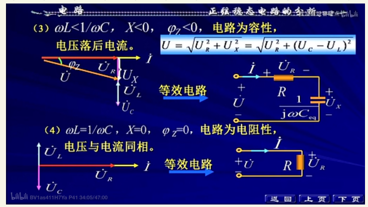
电路为感性 (电感作用强于电容)

电压超前电流



⇌





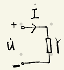
在正弦稳态电路中，分电压有可能大于总电压 (X_L)

2. 导纳 Y (西门子 S)　电纳 B

(1) $Y=\frac{\dot{I}}{\dot{U}}=|Y|/\varphi_Y$

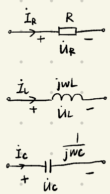
$|Y|=\frac{I}{U}$ 导纳模

$\varphi_Y=\varphi_i-\varphi_u$ 导纳角



(2) R.L.C元件的导纳

相量模型图　　导纳

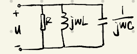


$Y=\frac{1}{R}=G$

$Y=\frac{1}{j\omega L}=\frac{1}{jX_L}$

$Y=j\omega C=\frac{1}{jX_C}$

(3) RLC并联电路



$Y=\frac{1}{R}+\frac{1}{j\omega L}+j\omega C$

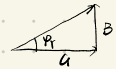
$=G+jB$　B(电纳)

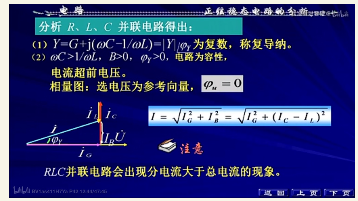
$=|Y|/\varphi_Y$

$|Y|=\sqrt{G^2+B^2}$

$\varphi_Y=\arctan\frac{B}{G}$

导纳三角形





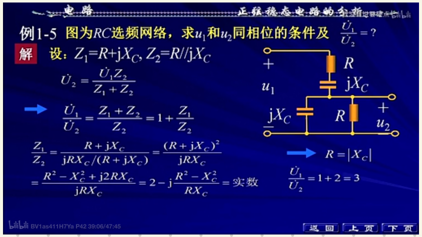
$\omega C<\frac{1}{\omega L}$　电路为感性

$\omega C=\frac{1}{\omega L}$　电路为电阻性

阻抗的并联用导纳

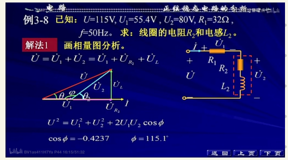
串联用阻抗

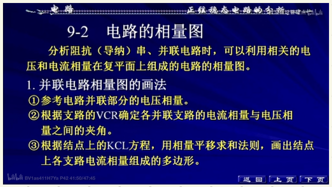
串并联转换 ⇌ $Y=\frac{1}{Z}$

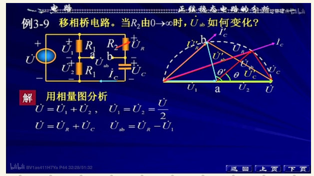


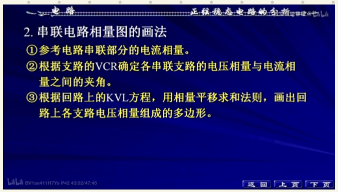
$\dot U_1, \dot U_2$同相位 $\Leftrightarrow$ $\frac{\dot U_1}{\dot U_2}=ke^{j(\varphi_1-\varphi_2)}=k$ 实数

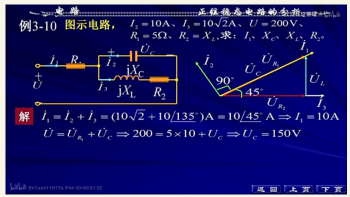
不错的题目

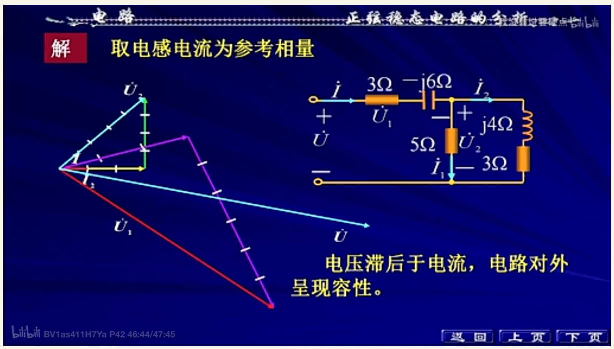










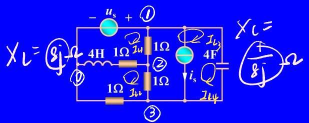


正弦稳态电路的分析

1.正弦电路的相量分析：

$$\begin{cases} \text{KCL: } \sum \dot{I}=0 \\ \text{KVL: } \sum \dot{U}=0 \\ \text{元件约束关系: } \dot{U}=\dot{I}Z \ / \ \dot{U}=\dfrac{\dot{I}}{Y} \end{cases}$$

8.13 周5，昨晚0:30睡 挨饿.



已知： $u_s = 14.14\cos 2t$ V

$i_s = 1.414\cos(2t+30°)$ A

列出回路电流方程和节点电压方程

不要忘记 ·

$\dot{U}_s = 10\angle 0°$

$\dot{I}_s = 1\angle 30°$

$$\begin{cases} \dot{U}_{n1} = \dot{U}_s = 10\angle 0° \\ \left(\frac{1}{1+8j}+1+1\right)\dot{U}_{n2} - \dot{U}_{n1} - \dot{U}_{n3} = 0 \\ -\dot{U}_{n2} + (\overset{1+1+8j}{\cancel{1+8j}})\dot{U}_{n3} - 8j\,\dot{U}_{n1} = \dot{I}_s = 1\angle 30° \end{cases}$$

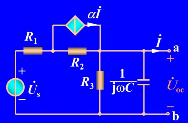
$$\begin{cases} \dot{I}_{l4} = -\dot{I}_s \\ (1+1+8j)\dot{I}_{l1} - (1+8j)\dot{I}_{l2} - \dot{I}_{l3} = \dot{U}_s \\ (1+1+1+8j)\dot{I}_{l2} - (1+8j)\dot{I}_{l1} - \dot{I}_{l3} = 0 \\ \left(1+1+\frac{1}{8j}\right)\dot{I}_{l3} - \dot{I}_{l1} - \dot{I}_{l2} - \frac{1}{8j}\dot{I}_{l4} = 0 \end{cases}$$

1）求开路电压相量

$\dot{I} = 0$

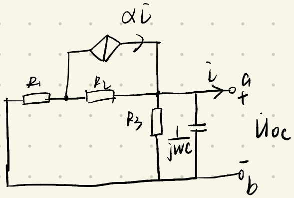
⬇

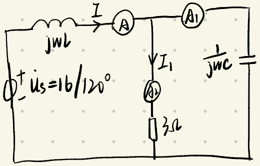
$\alpha\dot{I} = 0$



$$\left(\frac{1}{R_1+R_2}+\frac{1}{R_3}+j\omega C\right)\dot{U}_{oc} = \frac{\dot{U}_s}{R_1+R_2}$$

$$\dot{U}_{oc} = \frac{\dot{U}_s R_3}{(R_1+R_2+R_3)+j\omega C R_3(R_1+R_2)}$$





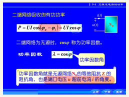
$$|Z| = \frac{16}{5} = 4j + \frac{1}{\frac{1}{3} + j\omega C}$$

9-5 Power of AC circuit

1. (1) 瞬时功率

$p_m = u(t)i(t) = U_m\cos(\omega t+\varphi_u) I_m\cos(\omega t+\varphi_i)$

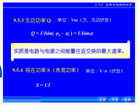
(2) 有功功率（平均功率）



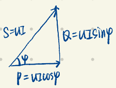
与电源交换能量的幅

(3) 无功功率 Q

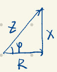
(4)



2. 关系

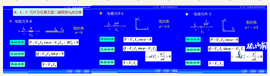


(1) 与阻抗三角形相似

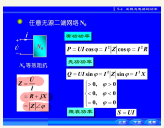


相似比：$\frac{UI}{Z} = I^2$

3.



4.



$I = \frac{U_{oc}}{|Z|}$

复功率 (complex power) ← 引入便于计算 P,S,Q的结论

(1) $\tilde S = \dot U \dot I^* = UI\angle(\varphi_u-\varphi_z) = S\angle\varphi$

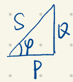
$= UI\cos\varphi + jUI\sin\varphi$

$= P + jQ$

(2) $\tilde S = \dot U \dot I^* = \dot I Z \dot I^* = I^2 Z$　　$\tilde S = \frac{U^2}{Z^*}$

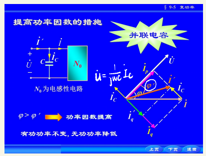
(3) $\tilde S = I^2(R+jX) = I^2R + I^2Xj = P+jQ$

(4) $\varphi = \arctan\frac{Q}{P}$　　$\lambda = \cos\varphi$



(5) 复功率守恒：$\tilde S = \sum_{k=1}^{b} \tilde S_k = \sum_{k=1}^{b} P_k + j\sum_{k=1}^{b} Q_k$

(6) 提高功率因数



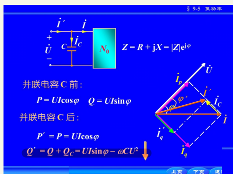
$\dot I_q' = \dot I_q + \dot I_C$

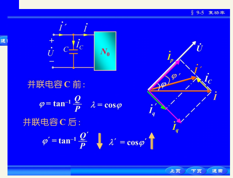
$\dot I_C$ 快 $\dot U$ $\frac{\pi}{2}$

$\dot I' = \dot I_q' + \dot I_p$

$\varphi' < \varphi$

(补偿过大，I超于U，变成容性无功功率)



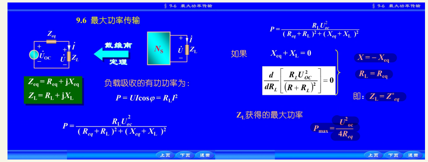


φ的求解：$\tan\varphi = \frac{Q}{P}$

$\varphi = \arctan\frac{Q}{P}$

$\lambda = \cos\varphi$

最大功率传输

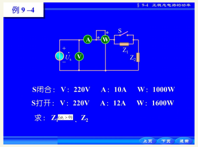


$Z_L = Z_{eq}^*$ 互为共轭

$P_{max} = \frac{U_{oc}^2}{4R_{eq}}$

最大功率
- 给定R　则根据I_{max}或U_{max}求P_{max}
- 未给R，求R，则戴维南等效电路 $Z = \overline{Z_{eq}}$

例:



设 $Z_1 = R_1 + jX_1$

$Z_2 = R_2 + jX_2$

① S闭合: $P = UI_1\cos\varphi = I_1^2 R_1$ $R_1 = 10\Omega$

② S断开: $P = UI_2\cos\varphi = I_2^2(R_1+R_2)$ $R_1+R_2 = 11.11\Omega$ $R_2 = 1.11\Omega$

$\because Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}$ $|Z_1| = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \frac{U}{I} = 22\Omega$

又 $\because |Z_1 + Z_2| = \sqrt{(R_1+R_2)^2 + (X_1+X_2)^2} = \frac{U}{I} = 18.33\Omega$

$\therefore (X_1+X_2)^2 = (14.58)^2$ $\therefore X_1 + X_2 = \pm 14.58$

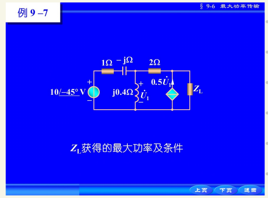
$\because X_1 > 0$

$X_2 = \pm\sqrt{22^2 - 10^2}\,\Omega = \pm 19.6\Omega$

$\therefore X_1 = 34.183\Omega$ 或 $X_1 = 5.03\Omega$ $\Rightarrow \begin{cases} Z_1 = 1.11 + 34.183j\,\Omega \\ Z_2 = 10 - 19.6j\,\Omega \end{cases}$

$X_2 = -19.6\Omega$ $X_2 = 19.6\Omega$

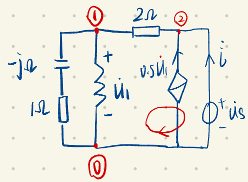
$\begin{cases} Z_1 = \\ Z_2 = \end{cases}$



求 $\dot{U}_{oc}$

① $\begin{cases} \left(\frac{1}{1-j} + \frac{1}{j0.4} + \frac{1}{2}\right)\dot{U}_{n1} - \frac{1}{2}\dot{U}_{n2} = \frac{10\angle -45^\circ}{1-j} \\ \frac{1}{2}\dot{U}_{n2} - \frac{1}{2}\dot{U}_{n1} = 0.5\dot{U}_1 = 5\angle -45^\circ \\ \dot{U}_{oc} = \dot{U}_{n2} \quad \dot{U}_1 = \dot{U}_{n1} \end{cases}$

② 求 Z_{eq}



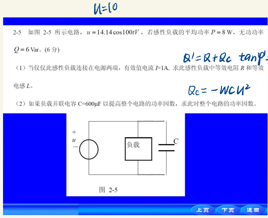
$\left(\frac{1}{1-j} + \frac{1}{2} + \frac{1}{j0.4}\right)\dot{U}_{n1} - \frac{1}{2}\dot{U}_{n2} = 0$

$-\frac{1}{2}\dot{U}_{n1} + \frac{1}{2}\dot{U}_{n2} = 0.5\dot{U}_1$ $\dot{U}_{n2} = \dot{U}_s$

$-2(0.5\dot{U}_1 + \dot{I}) + \dot{U}_s - \dot{U}_1 = 0$

$\dot{U}_{n1} = \dot{U}_1$

$U = 10$


2-5 如图 2-5 所示电路，$u = 14.14\cos 100t\,V$，若感性负载的平均功率 $P = 8$ W，无功功率 $Q = 6$ Var。(6 分)

（1）当仅仅此感性负载连接在电源两端，有效值电流 I=1A，求此感性负载中等效电阻 R 和等效电感 L。

（2）如果负载并联电容 C=600μF 以提高整个电路的功率因数，求此时整个电路的功率因数。

$Q' = Q + Q_C$ $\tan\varphi = \frac{Q'}{P}$

$Q_C = -WCU^2$

$\begin{cases} P = UI\cos\varphi = I^2 R \\ Q = UI\sin\varphi = I^2 X \end{cases}$

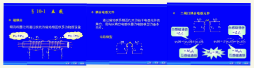
$\begin{cases} R = 8\Omega \\ X = 8H \end{cases}$

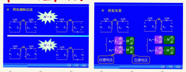
$\lambda = \cos\varphi$

TAKE IT EASY

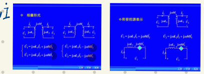
含有耦合电感的电路

都从·流进/流出 $M>0$



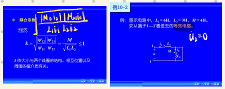


$\frac{di}{dt}=j\omega\dot{I}$



$k=1$

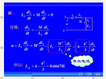
紧耦合

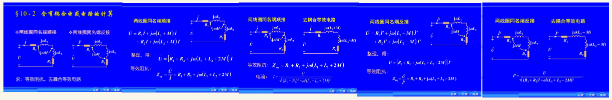


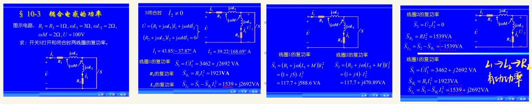
$u_2=0$

$\dot{u}=L'\frac{di_1}{dt}$

互感L_2不会被短路





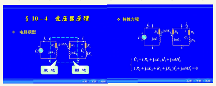


$\tilde{S}=\dot{U}\dot{I}^*$

$=$

TAKE IT EASY

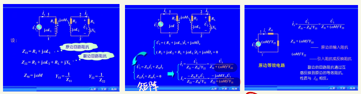
理想变压器（耦合电感的应用）



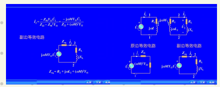
$Z_{11}=R_1+j\omega L_1$

$Z_{22}=$

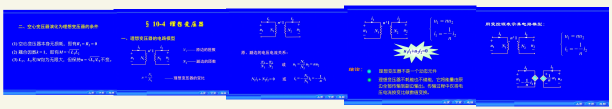
$Z_M=j\omega M$



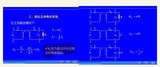
注意流进/出

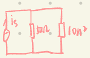


1道很好的例子



☆☆☆

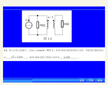


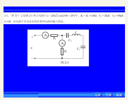


等效电阻的等效功率相同

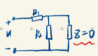
有效值计算☆☆☆

$\dot{I}_S=\sqrt{2}\angle-30^\circ A$





$\rightleftharpoons$



$Z=0$ ☆ 短路

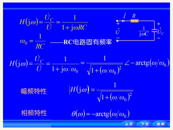
$I_1=2\angle 20^\circ A$

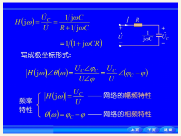
$I_2=0$

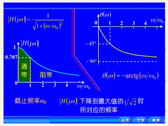
电路的频率响应

1. 网络函数

$$H(j\omega)=\frac{\text{响应相量}}{\text{激励相量}}$$

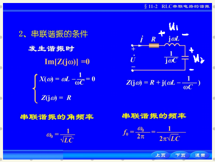






2. RLC串联谐振

(1) 条件：$\dot U$和$\dot I$同向 $\Rightarrow$ $X=0$



$$\dot I_{max}=\frac{\dot U}{R}$$

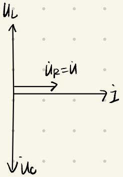
$$\dot U_1=-\dot U_2$$

(2) 特点：① 输入阻抗$Z(j\omega_0)$最小，即$Z(j\omega_0)=R$

② 输入电流最大，$\dot I=\frac{\dot U}{R}$

③ $\dot U_C=-\dot U_L$ L、C串联部分相当于短路

(3) 相量图



(4) 过电压

$$U_L=U_C=\frac{U}{R}\omega_0L=\frac{U}{R}\cdot\frac{1}{\omega_0C}$$

当$\omega_0L=\frac{1}{\omega_0C}>>R$时

$U_L=U_C>>U$

(5) 品质因数

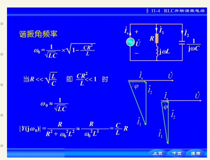
$$Q=\frac{U_L(\omega_0)}{U}=\frac{U_C(\omega_0)}{U}=\frac{\omega_0L}{R}=\frac{1}{\omega_0CR}$$

$$\omega_0=\frac{QR}{L}=\frac{1}{QCR}$$

3. RLC并联谐振电路

考串并联谐振条件

4. RLC并联 $(Y=R+jX,\ X=0)$



$$R_p=\frac{L}{CR}$$

等效电阻与R成反比.

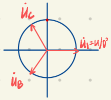
§12. 三相电路 Three-phase Circuits

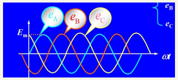
1. 三相正弦交流电动势

$u_A=\sqrt2 U\cos\omega t$

$u_B=\sqrt2 U\cos(\omega t-\frac{2}{3}\pi)$

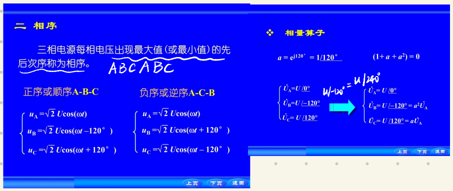
$u_C=\sqrt2 U\cos(\omega t+\frac{2}{3}\pi)$





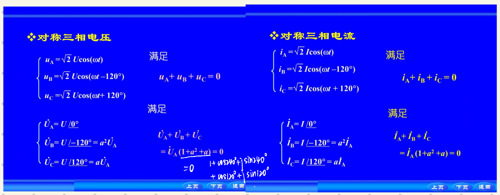
计算 (1) $u_1+u_2+u_3=0$ (2) $\dot u_1+\dot u_2+\dot u_3=0$

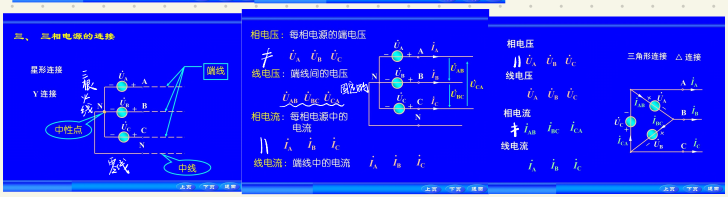
2. 相序

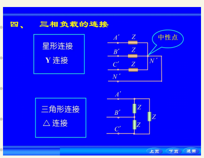


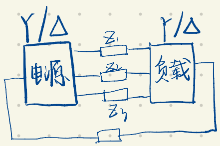
A→B→C
ABCABC
B→C→A
$a^2\dot u_b$ $a\dot u_b$
C→A→B
$a^2\dot u_c$ $a\dot u_c$

第一项均可，二三项要用顺序.



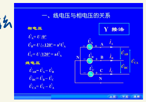




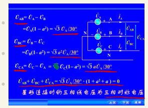


线电压(U_l)和相电压(U_p)的关系

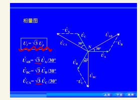
U (1) Y接法



$\dot U_{AB}=\dot U_A-\dot U_B=(1-a^2)\dot U_A=\sqrt3\dot U_A\angle30^\circ$



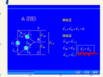
ABCA



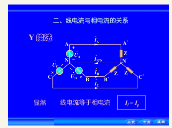
U_p 相电压 220V

U_l 线电压 381V

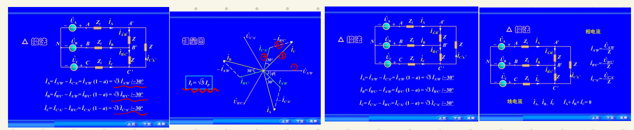
(2) △接法



I (1) Y接法 Y-Y

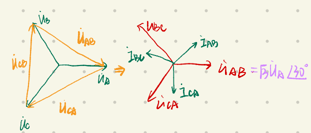


(2) △接法 Y-△



$(1-a)=\sqrt3\angle-30^\circ$ A'B'C'A'

$(1-\cos120^\circ-j\sin120^\circ)$



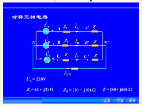
记住 别算.

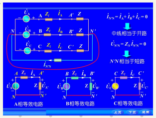
$1+a^2+a=0$

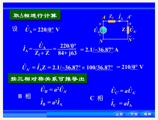
$1-a^2=\sqrt3\angle30^\circ$

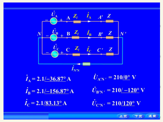
$1-a=\sqrt3\angle-30^\circ$

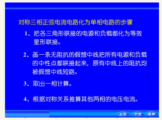
对称三相电路

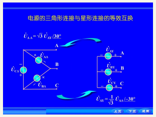








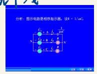


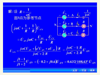


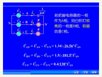
$R_\Delta = 3R_Y$

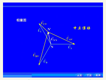
不对称三相电路

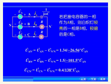
无中线



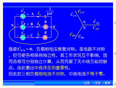








有中线

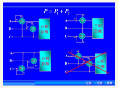


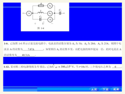
对称三相电路的功率

没写？

二瓦计法

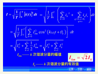
电压在同一端

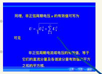


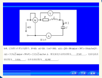


→概念题

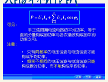
§13. 非正弦周期电流电路和信号的频谱

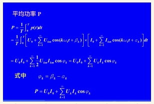






只能单独作用（ω不同时，φ算不了）





(2) 分开求（各次谐波单独作用）（ω不同!!!）

① $u_1=10V$

② $\dot{u}_2=80\sin(\omega t+30^\circ)$

$\dot{I}_2=3.31\sqrt{2}\sin(\omega t+99.4)$

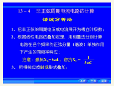
$\dot{u}=\dot{I}_2(R+j\omega L)$ $\quad u=I_2\sqrt{(\omega L)^2+R^2}$

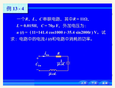
③ $\dot{u}_3=18\sin 3\omega t$

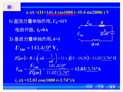
$\dot{I}_3=2.12\sqrt{2}\sin 3\omega t$ 发生谐振

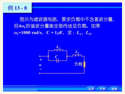
$\dot{u}'=\dot{I}_3(R+j\omega L)$ $\quad u'=I_3\sqrt{R^2+(\omega L)^2}$

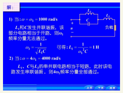
(3) $P=\frac{80}{\sqrt{2}}\times 3.31\times\cos(30^\circ-99.4^\circ)+\frac{18}{\sqrt{2}}\times 2.12\times\cos 0^\circ$

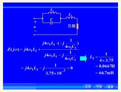












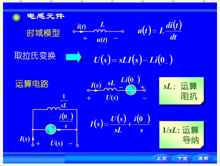
U_{km}（为最大值）

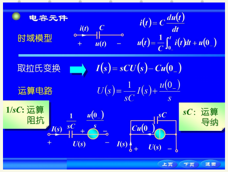
$I=\sqrt{\left(\frac{12.83}{\sqrt{2}}\right)^2+\left(\frac{1.395}{\sqrt{2}}\right)^2}=9.13A$

$P=100\times\frac{12.83}{\sqrt{2}}\cos 0^\circ+\frac{35.4}{\sqrt{2}}\times\frac{1.395}{\sqrt{2}}\times\cos 64.3^\circ$

$=907.218+10.707$

$=$





线性动态电路复频域的分析方法

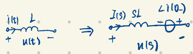
（复变函数的知识）

考试时间规划

$\frac{1}{sC}$, sL 运算阻抗

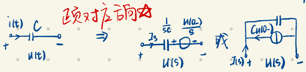
$\frac{1}{sL}$, sC 运算导纳

电感：



电容：

正负对应的方向☆



u, i 和 L, C 均需 Laplace 变换.

根的情况 ⟨ 单根 / 重根　　分子的奇妙求法

2-4、（10 分） 已知图 2-4 所示电路中，开关 S 在零时刻闭合，S 闭合前电路处于稳定状态，用运算法求 $t>0$ 的 $u_C(t)$。

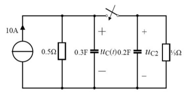
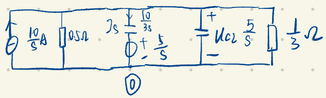


图 2-4

$u_C(0_-)=5V$　$u_{C2}(0_-)=0V$　$I_S(0_-)=0$



$$\frac{\frac{1}{2}}{\frac{5}{6}}=\frac{3}{5}A$$

$$\left(\frac{1}{0.5}+\frac{3s}{10}+\frac{s}{5}+3\right)U_{n1}(s)=\frac{10}{s}+\frac{5}{s}\cdot\frac{3s}{10}$$

$$u_C(t)=\left(2+e^{-10t}\right)\varepsilon(t)\ V$$

或 $u_C(t)=2+e^{-10t}$, $t>0$

八、计算题（10 分）

已知图 8 所示电路中，已知 $R_1=3\ \Omega$，$R_2=1\ \Omega$，$L=1$ H，$C=1$ F，开关 S 原在位置 1，电路处于稳态，$t=0$ 时开关打向位置 2，用运算法求 $t>0$ 时的电流 $i_L(t)$。

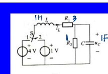
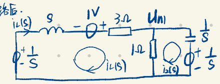


图 8

① $i_L(0_-)=\frac{4}{4}=1A$　$u_C(0_-)=1V$

换路后：



② 结点电压＋基尔霍夫 $\Sigma u=0$

$$\frac{1+(1+s)(3+s)}{s+3}$$

$$\left(\frac{1}{s+3}+1+s\right)U_{n1}(s)=\frac{2}{s+3}+1$$

$$U_{n1}(s)=\frac{s+5}{s+3}\cdot\frac{s+3}{1+s^2+4s+3}$$

$$=\frac{s+5}{(s+2)^2}$$

$$I(s)(s+3)=\frac{1}{s}+1-U_{n1}(s)$$

感觉不是很美好

六、计算题（10 分）

如图 6 所示电路，在换路前已处于稳态，用拉普拉斯变换法求 t>0 的 $u_c(t)$。

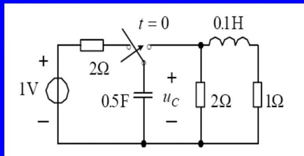
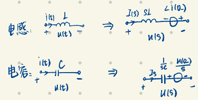


图 6

上页 下页 返回



九、计算题（10 分）

电路如图 9 所示，电容初值电压 $u_C(0\text{-}) = 100$V，$t = 0$ 时开关 S 闭合，用运算法求 S 闭合后的电感电流 i_L。

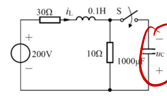


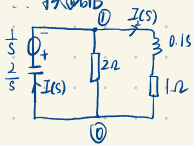
图 9

顶!!!!

上页 下页 返回

① 解：∵ $U_c(0_-)=1V$

∴ 换路后



假设结点如图所示

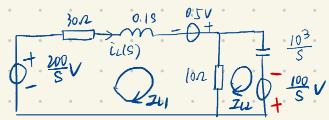
$$\begin{cases} U_{n1}=U_c(s) \\ \left(\frac{s}{2}+\frac{1}{2}+\frac{1}{0.1s+1}\right)U_{n1} = \dfrac{\frac{1}{s}}{\frac{2}{s}} \end{cases}$$

∴ $U_c(s)=\dfrac{s+10}{(s+5)(s+6)} = \dfrac{5}{s+5}-\dfrac{4}{s+6}$

$U_c(t)=\mathcal{L}[U_c(s)] = 5e^{-5t}-4e^{-6t}\quad (t>0)$

② 解：$i_L(0_-)=\dfrac{200}{40}=5A$

换路后电路可转换为



假设回路电流如图，可得

$$\begin{cases} I_{l1}=i_L(s) \\ (30+0.1s+10)I_{l1}-10I_{l2}=0.5+\frac{200}{s} \\ -10I_{l1}+\left(\frac{10^3}{s}+10\right)I_{l2}=+\frac{100}{s} \end{cases}$$

∴ $i_L(s)=\dfrac{5(s^2+700s+4\times10^4)}{s(s+200)^2}=5\left(\dfrac{1}{s}+\dfrac{300}{(s+200)^2}\right)$

∴ $i_L(t)=\mathcal{L}[i_L(s)]=5(1+300te^{-200t})\quad t>0$

②

七、计算题（10 分）

如图 7 所示电路，已知 $i_L(0_-)=1\text{A}$，$u_C(0)=2\text{ V}$，用运算法求 $u_C(t)$

$U_C(0_-)$

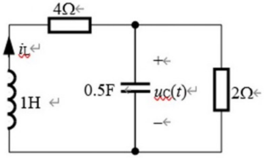
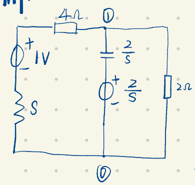


图 7

解：



假设结点如图：

$$\begin{cases} \left(\frac{1}{4+S}+\frac{S}{2}+\frac{1}{2}\right)U_{n1}=\frac{1}{S+4}+1 \\ U_{n1}=U_C(S) \end{cases}$$

$$\therefore U_C(S)=\frac{S+5}{\cancel{S+4}}\cdot\frac{2(\cancel{4+S})}{(S+2)(S+3)}=2\left(\frac{3}{S+2}-\frac{2}{S+3}\right)$$

$$\therefore U_C(t)=\mathcal{L}[U_C(S)]=6e^{-2t}-4e^{-3t}\quad t>0$$

六、计算题（10 分）

如图 6 所示电路，已知换路前电路处于稳态，t =0 时将开关 S 闭合。试用运算法求开关闭合后电容电压 $u_C(t)$。

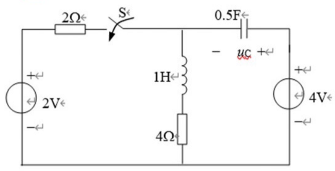
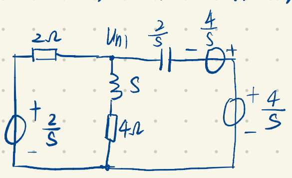


图 6

电路 [illegible]

①

解：$U_C(0_-)=4V$　　$i_L(0_-)=0A$



$$\because U_{n1}\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{S+4}+\frac{S}{2}\right)=\frac{1}{S}$$

$$\therefore U_{n1}=-U_C(S)+\frac{4}{S}$$

$$\therefore U_C(S)=\frac{4}{S}-U_{n1}$$

$$=\frac{\frac{8}{3}}{S}+\frac{2}{S+2}-\frac{\frac{2}{3}}{S+3}$$

$$\therefore U_C(t)=\mathcal{L}[U_C(S)]=\frac{8}{3}+2e^{-2t}-\frac{2}{3}e^{-3t}\quad(t>0)$$

九、计算题（10 分）

图 9 所示电路原处于稳态，$t=0$ 时开关 S 打开，用运算法求 $t>0$ 时的 $u_C(t)$。

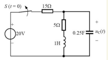
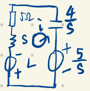


图 9

③ 解：∵ $i_L(0_-)=1A$

$u_C(0_-)=5V$

∴运算电路为下图，假设回路电流参考方向如图



$$\therefore \left(\frac{4}{s}+5+s\right)i-\frac{5}{s}-L=0$$

$$\therefore i=\frac{\frac{5}{s}+L}{\frac{4}{s}+s+5}$$

$$\therefore U_C(s)=\frac{5}{s}-\frac{4}{s}\,\frac{\frac{5}{s}+1}{\frac{4}{s}+s+5}$$

$$=\frac{5}{s}-\frac{4(5+s)}{s(4+s^2+5s)}$$

$$=\frac{5}{s}-\frac{4}{s(s+1)}=\frac{5s+5-4}{s(s+1)}$$

$$\therefore U_C(s)=\frac{5s+1}{s(s+1)}$$

$$=\frac{4}{s}+\frac{1}{s+1}$$

$$U_C(t)=4+e^{-t}\quad t>0$$