电路理论

华戴礼

1，考试题型：10（大约）大题

题目综合

主干知识点

2，考试范围：

1-16章（第6章，第17章不考，打*的也不考）

2，课本板块：

1-8章 直流电路

前四章：基本定理，解题方法

五，七，八章：

运算放大器，电容电感电路，一阶暂态分析

10-16章 交流电路

正弦稳态电路分析，功率

三相电路

含磁耦合电路

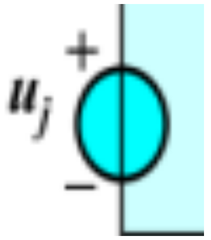
正弦稳态频率响应

周期性非正弦稳态电路

二端口网络

第一章，电路模型与基本定理

- 独立电源



- KCL $\quad \sum i(t) = 0$
- KVL $\quad \sum u(t) = 0$

注意点：kcl方程的流出，流入

kvl方程电压的升降（正负）

电流的参考方向，电压的参考方向

3. 电流与电压的关联参考方向

对一个确定的电路元件或支路而言，若电流的参考方向是从电压参考极性的“+”流向“—”，则称电流与电压为关联参考方向，简称关联方向，否则即为非关联方向。如图 1.1 所示电路，对电路 A 而言，u 与 i 就为非关联方向；对电路 B 而言，u 与 i 就为关联方向。

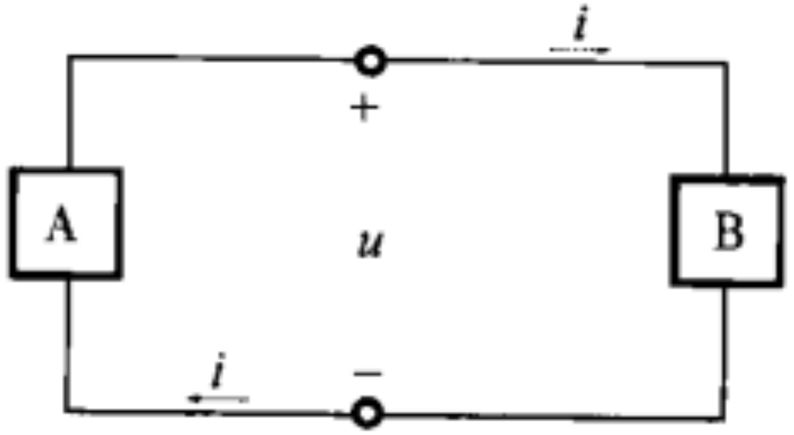


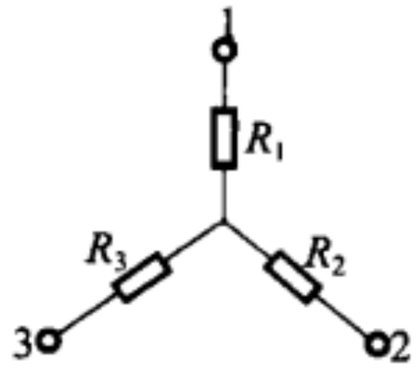
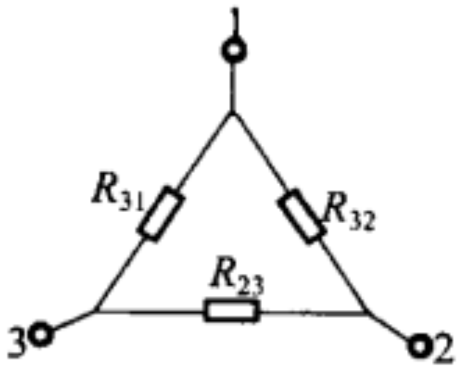
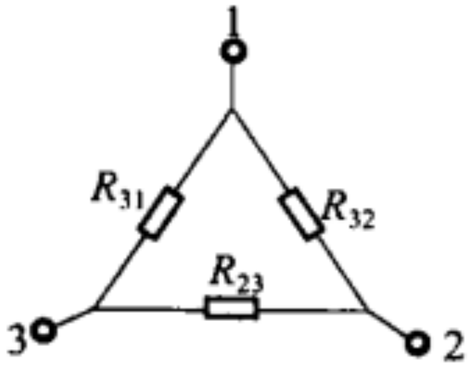
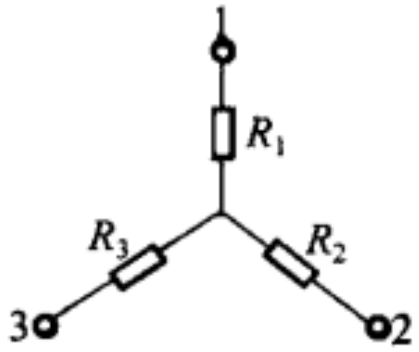
图 1.1

关联参考方向对于功率的计算至关重要自己取一般选择关联方向较为方便

计算电源的功率时，取关联方向算出来正就是吸收功率，算出来负就是发出功率

第二章：电阻电路等效变换

- 电阻的串并联
- 星形与三角形电路
- 结合第十二章三相电路

已知的电路	待求的等效电路	计算公式
		$\boxed{G_{12}=\dfrac{G_1G_2}{G_1+G_2+G_3}}$ 特例：当 $R_1=R_2=R_3=R_Y$ 时 $R_{12}=R_{23}=R_{31}=R_\Delta=3R_Y$
		$R_1=\dfrac{R_{31}R_{12}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}$ $R_2=\dfrac{R_{12}R_{23}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}$ $R_3=\dfrac{R_{23}R_{31}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}$ 特例：当 $R_{12}=R_{23}=R_{31}=R_\Delta$ 时 $R_1=R_2=R_3=R_Y=\dfrac{1}{3}R_\Delta$

第二章：电阻电路等效变换

1，　电压源串联、电流源并联时的等效变换如图 2.1(a)、(b) 所示。

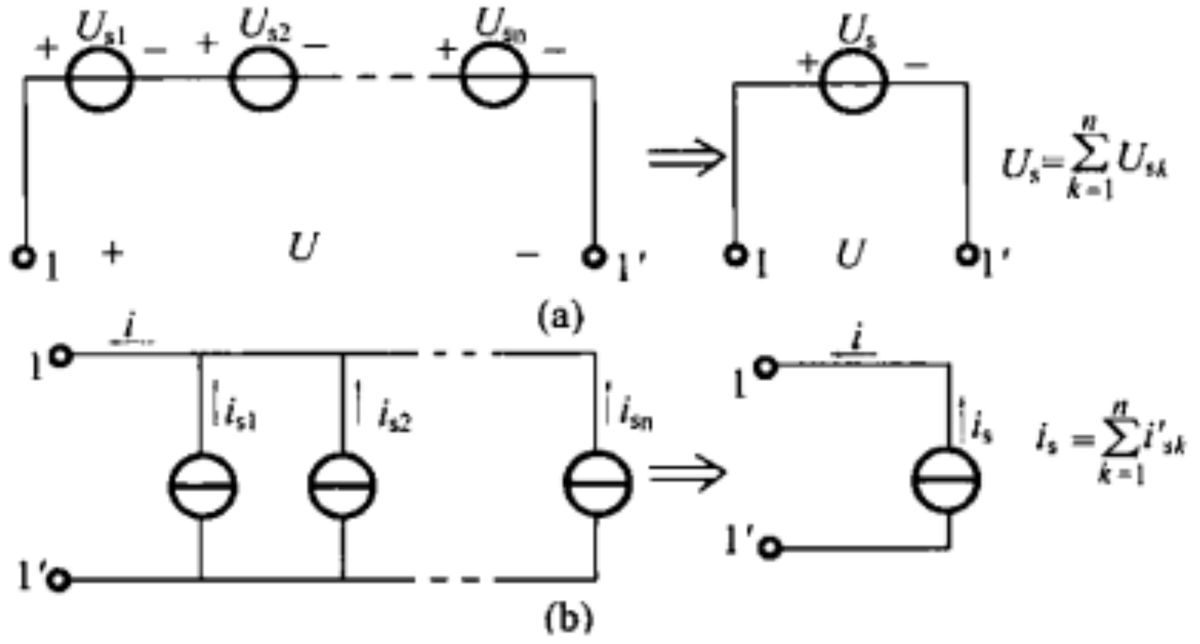
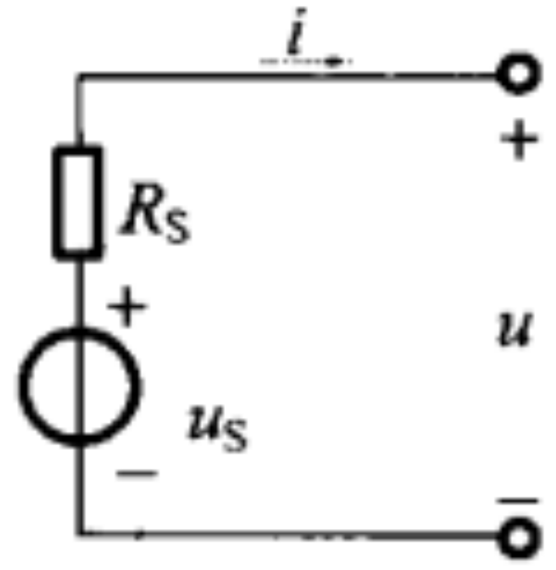
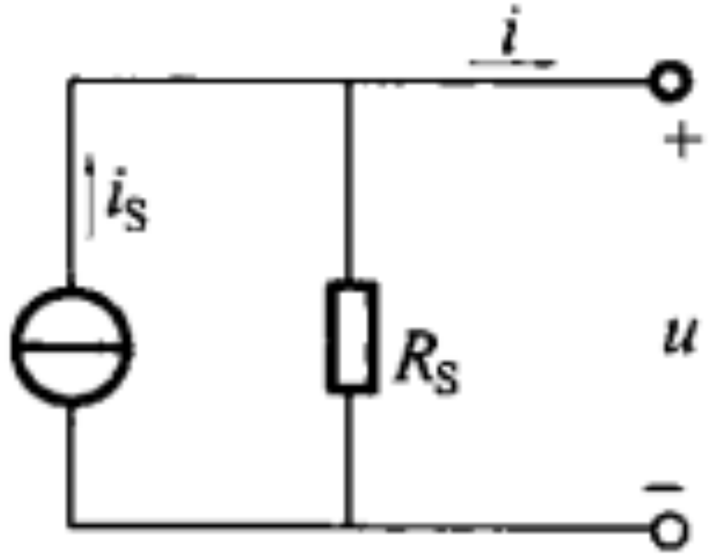


图 2.1

第二章：电阻电路等效变换

- 1，电源变换（第四章戴维南定理，诺顿定理）
  戴维南支路，诺顿支路的方向问题





第三章：电路分析方程

- 结点方程

$$\boxed{G_n U_n = I_{sn}}$$

$$G_{11}u_{n1} + G_{12}u_{n2} + G_{13}u_{n3} = i_{sn1}$$

$$G_{21}u_{n1} + G_{22}u_{n2} + G_{23}u_{n3} = i_{sn2}$$

$$G_{31}u_{n1} + G_{32}u_{n2} + G_{33}u_{n3} = i_{sn3}$$

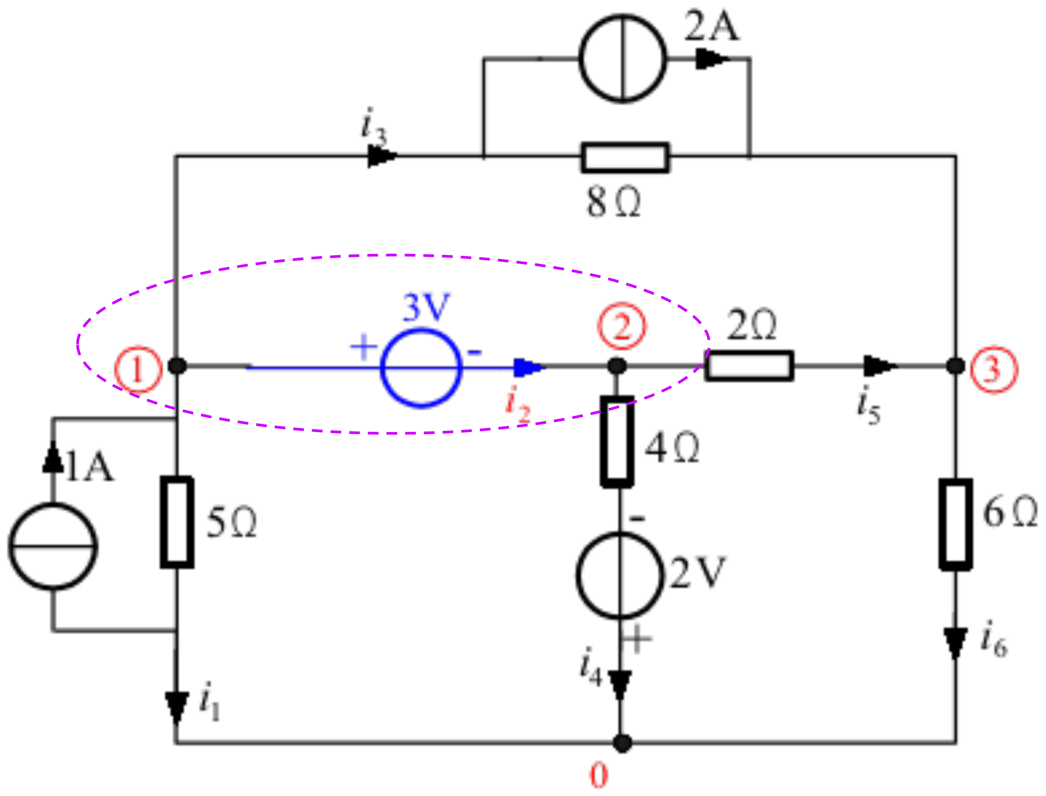
*对电流源的处理方法
看成电导为0 的诺顿支路（没有G）

*对于电压源的处理
若该电压源所在支路为戴维南支路：换成诺顿支路参与结点方程

*若该电压源不是诺顿支路

1，一端为参考结点，则该结点已知，不需要列方程，其余方程直接代入该结点的值

2，两端均不为参考结点，广义结点方程



$$(\frac{1}{5}+\frac{1}{8})u_{n1}+(\frac{1}{4}+\frac{1}{2})u_{n2}-(\frac{1}{8}+\frac{1}{2})u_{n3}$$
$$=1-2-\frac{2}{4}$$

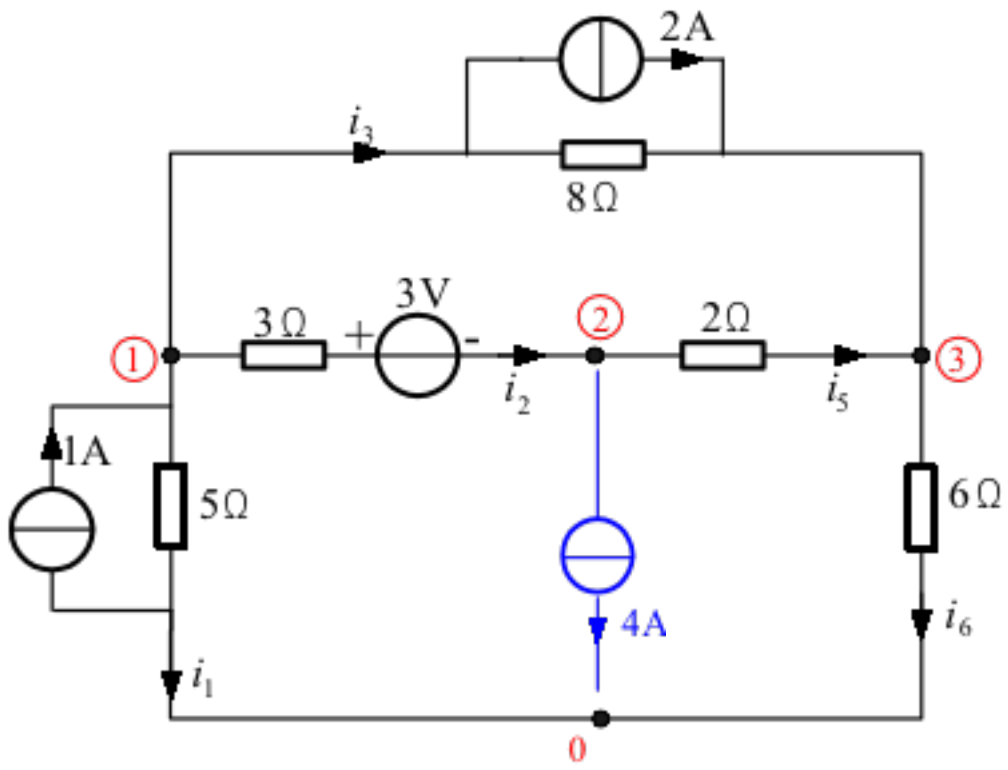
- 网孔方程

$$\begin{cases} R_{11}i_{m1}+R_{12}i_{m2}+R_{13}i_{m3}=u_{sm1} \\ R_{21}i_{m1}+R_{22}i_{m2}+R_{23}i_{m3}=u_{sm2} \\ R_{31}i_{m1}+R_{32}i_{m2}+R_{33}i_{m3}=u_{sm3} \end{cases}$$

- 对电压源的处理：电阻为0的戴维南支路
- 对电流源的处理：

*若只属于一个回路，则该回路电流已知，少列一个方程，其余方程直接代入

*若属于两个回路，广义的回路方程

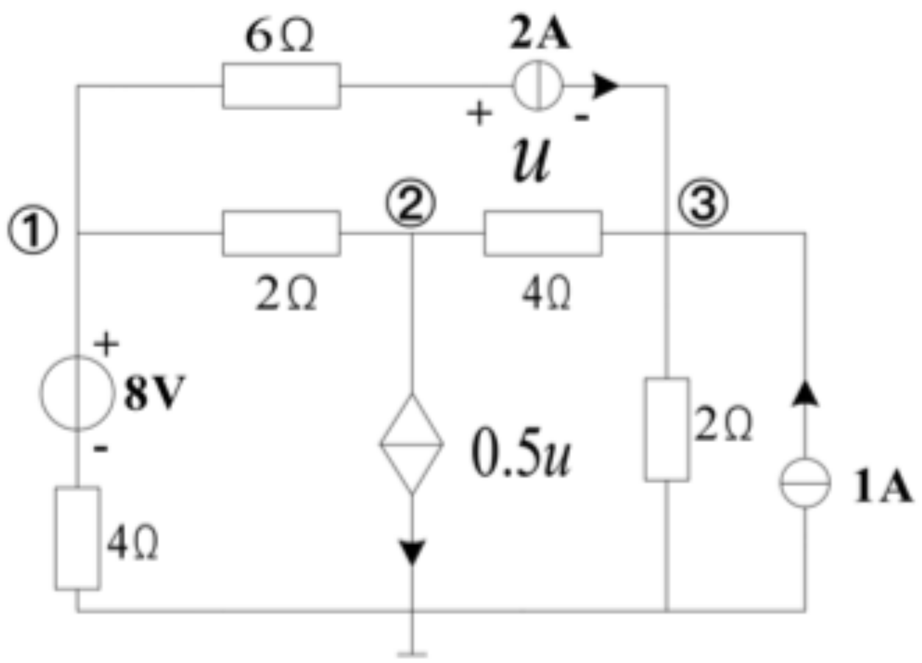


$$(5+3)\,i_{m1}+(2+6)i_{m2}-(3+2)i_{m3}=5\times1-3$$

$$-3i_{m1}-2i_{m2}+(8+2+3)i_{m3}=2\times8+3$$

$$i_{m1}-i_{m2}=4$$

- 注意点：和电流源串联的电阻，和电压源并联的电阻，不会影响电源本身，在列写的时候去除。计算功率等时候仍需要计算进去



选取如图所示的参考节点，有节点电压法知：

$$\begin{cases}(\frac{1}{2}+\frac{1}{4})\ \varphi_1-\frac{1}{2}\varphi_2=\frac{8}{4}-2\\ -\frac{1}{2}\varphi_1+(\frac{1}{2}+\frac{1}{4})\varphi_2-\frac{1}{4}\varphi_3=-0.5u\\ -\frac{1}{4}\varphi_2+(\frac{1}{2}+\frac{1}{4})\varphi_3=1+2\end{cases}$$

补充方程：$u=\varphi_1-\varphi_3-2\times6$

解得：$\varphi_1=12V$，$\varphi_2=18V$，$\varphi_3=10V$，$u=-10V$

独立电压源的功率为：$P_{8V}=-8\times\frac{\varphi_3-8}{4}=8W$；

独立电流源的功率为：$P_{2A}=-u\times2=20W$；$P_{1A}=\varphi_3\times1=10W$；

第四章：电路定理

- 叠加定理：在线性电路中，任一支路的电流（或电压）都是电路中各个独立电源单独作用在该支路产生的电流（或电压）的代数和
- ¬ 只适用于线性电路
- ¬ *功率不能叠加*
- ¬ 一个电源单独作用时，其余电源均置零，即不作用的电压源处短路，不作用的电流源处开路
- 对含受控源的线性电路，叠加只对独立源进行，受控源应始终保留，且控制量是每次叠加时电路相应的电压或电流分量
- ¬ 叠加时要注意各电压、电流分量的方向

- 戴维南定理与诺顿定理
- Uoc=Req*Isc　　知三求二
- Uoc 开路电压（断开外部电路）
- Isc短路电流（短接内部）
- Req

2. 等效电阻 R_{eq} 又称为戴维宁等效电阻，通常有以下几种求解方法。

（1）在不含受控源的线性网络中，求 R_{eq} 时可通过串、并、混联电路的等效方法及非串、并、混联电路的等效方法逐步求解。

（2）“开路 — 短路”法。就是通过求线性网络端口上的开路电压 u_{oc} 和短路电流 i_{sc}，由 $R_{eq}=\dfrac{u_{oc}}{i_{sc}}$ 求得 R_{eq}。

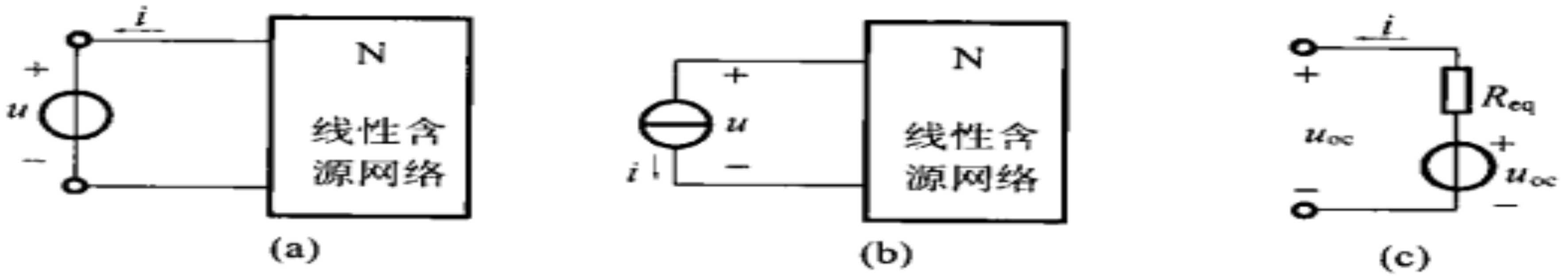


图 4.3

（3）“伏 — 安关系法”。运用替代定理，可在待等效的含源线性网络端口用电压源（如图 4.3(a) 所示）或电流源（如图 4.3(b) 所示）来替代，则可求得 u—i 的关系式，如 $u=ai+b$。而在图 4.3(c) 中，$u=-R_{eq}i+u_{oc}$，则有 $u_{oc}=b, R_{eq}=-a$。

（4）“外加电源法”。在图 4.4 中，N_0 中不含独立源，只含电阻和受控源，则可在其端口上施加一电压源 u，求 i，则 $R_{eq}=\dfrac{u}{i}$。

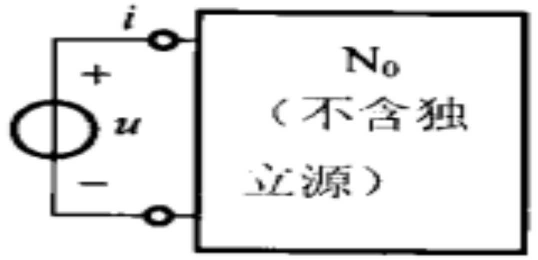


图 4.4

- 受控电源不能被置零，要参与计算等效为电阻

- 最大传输定理：

$$R_L = R_{eq}$$

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

- 特勒根定理

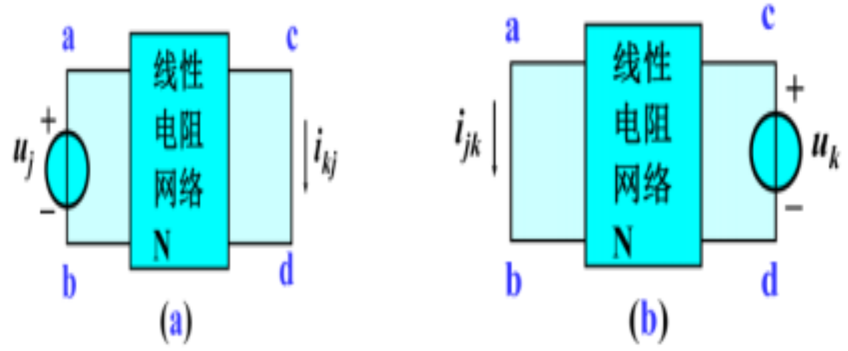
两个具有相同拓扑结构 的电路N和$\hat{N}$。电路$N(\hat{N})$的所有支路中的每一支路的电 压$u_k(\hat{u}_k)$与电路 $\hat{N}(N)$中对应的支路中的电流 $\hat{i}_k(i_k)$的乘积之和为零，即

$$\sum_{k=1}^{b} u_k \hat{i}_k = 0 \quad 和 \quad \sum_{k=1}^{b} \hat{u}_k i_k = 0 \qquad (似功率守衡关系)$$

注：电压电流方向相同，取关联参考方向

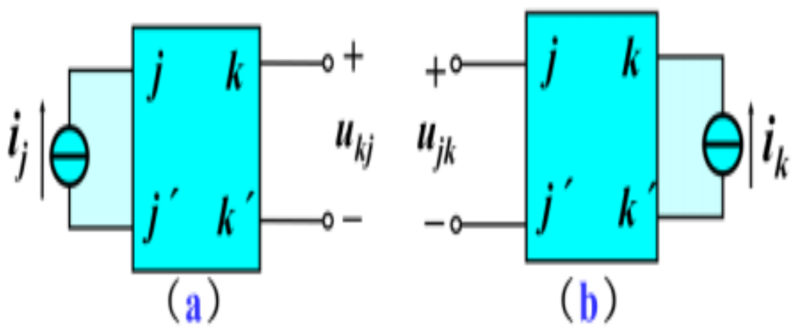
- 互易定理： 该定理的基本意义：对任一仅由线性电阻构成的网络，
- 则独立源所在端口与响应所在端口可以彼此互换位置，
- 而互换位置前后，激励和响应的关系不变.

- 形式一：任一仅有线性电阻构成的网络如下图所示设

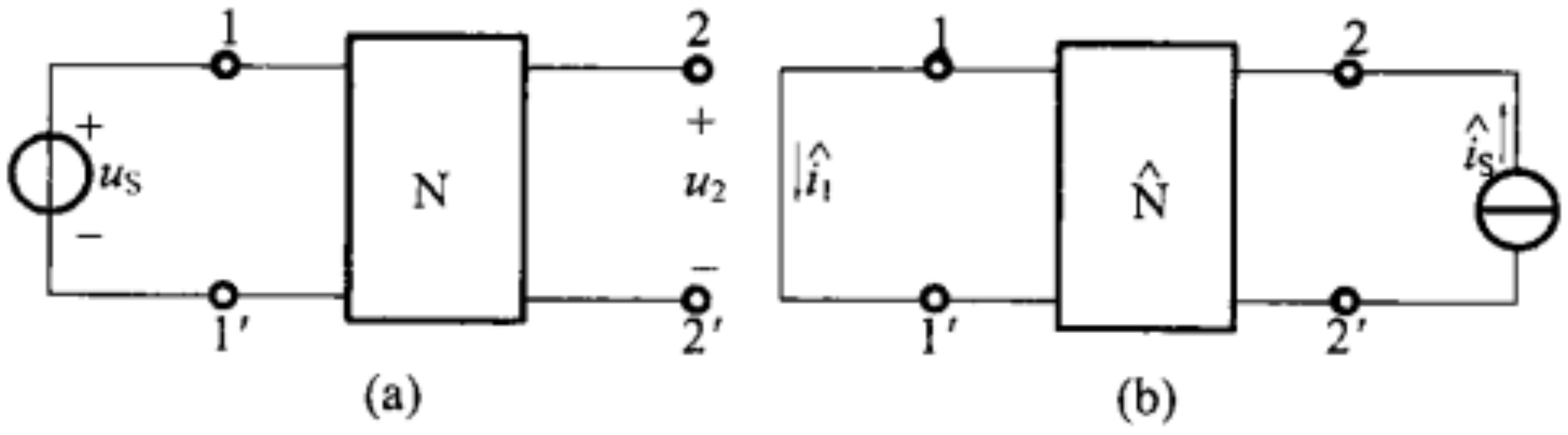


$$\frac{i_{kj}}{u_j}=\frac{i_{jk}}{u_k}=\frac{\text{响应}}{\text{激励}}$$

- 形式二：任一仅有线性电阻构成的网络如下图所示，设



$$\frac{u_{kj}}{i_j}=\frac{u_{jk}}{i_k}=\frac{\text{响应}}{\text{激励}}$$



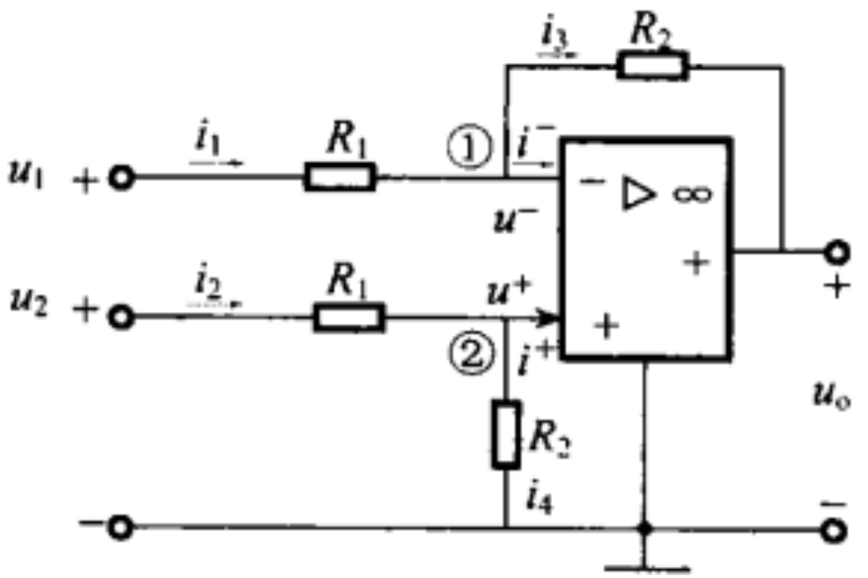
$$\frac{u_2}{u_s}=\frac{\hat{i}_1}{\hat{i}_s}$$

第五章：运算放大器

（2）在理想的情况下，图5.1(b)要保证u_o有一确定的输出，则两个输入端子的对地电压必须相等，即$u^+ = u^-$，或$u_i = u^- - u^+ = 0$，这种情况称为“虚短路”。

（3）在理想的情况下，图5.1(b)中，因$R_{in} = \infty$，流入运算放大器的两个输入电流必然大小相等，且都为零，即$i^- = i^+ = 0$，称之为“虚断路”。

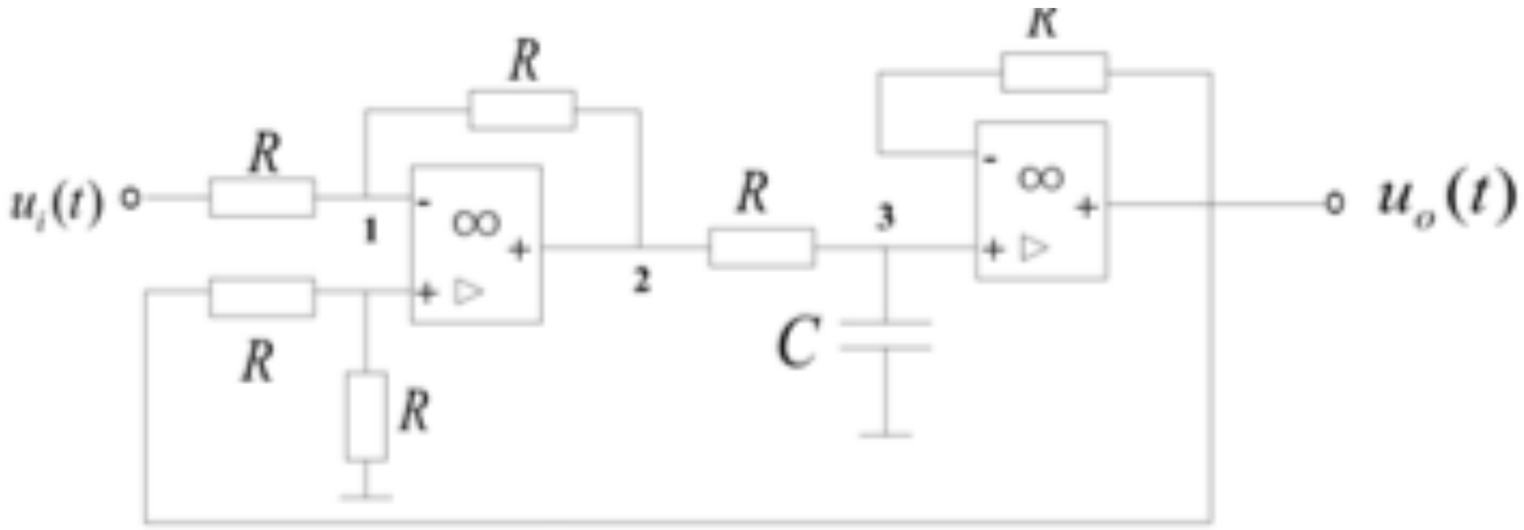
对于虚短路，虚断路结点列写结点方程



题图 5.2

- 对含运放的电路，通常是用节点电压法分析

  注意：列写含运放电路的节点电压方程时，不要列写运放输出端和参考点的 KCL 方程，因为输出端的电流不确定（由外接元件和参数决定），参考点支路不全（运放本身的接地端未画出）.



$$
\begin{cases}
u_1 = \dfrac{1}{2}u_0 \\
u_3 = u_0 \\
\dfrac{u_i - u_1}{R} = \dfrac{u_1 - u_2}{R} \\
\dfrac{u_2 - u_3}{R} = C\dfrac{du_3}{dt}
\end{cases}
$$

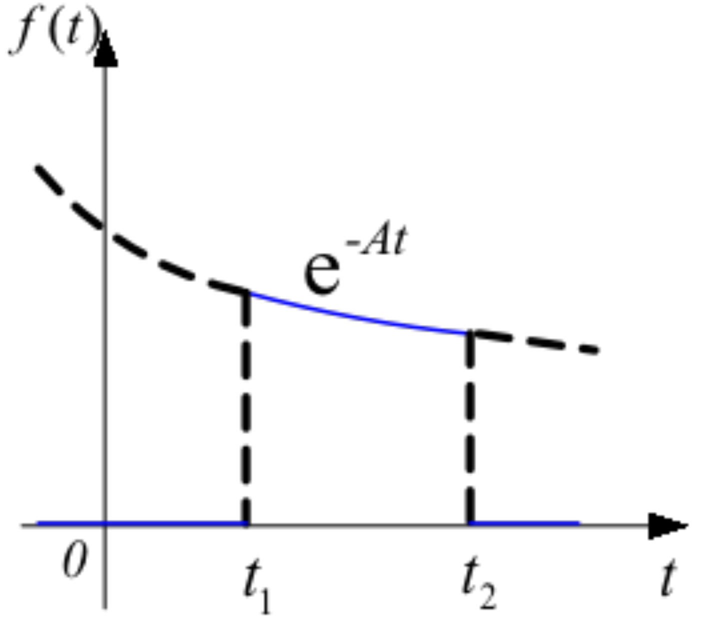
解之得 $$u_i + RC\frac{du_0}{dt} = 0$$

第七章：电容电感及动态电电路

- *单位阶跃函数：

$$\varepsilon(t)=\begin{cases}0 & (t<0)\\ 1 & (t>0)\end{cases}$$

- 闸门函数： $G(t_1,t_2)=\varepsilon(t-t_1)-\varepsilon(t-t_2)\ =\varepsilon(t-t_1)\times\varepsilon(t_2-t)$
- 单位冲击函数：



$$\delta(t)=\begin{cases}0 & (t<0)\\ 0 & (t>0)\end{cases}\qquad \int_{-\infty}^{\infty}\delta(t)\mathrm{d}t=1$$

筛分性

$$\delta(t)=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\varepsilon(t)$$

如果考试的时候有电源是单位冲击函数，则一般先按照点位阶跃函数计算电流，电压值，再对所求电流/电压求导

6.1.1 电容元件

如图 6.1 所示，在关联方向 $i(t)$ 与 $u_C(t)$ 的关系方程如下。

微分关系 $i(t) = C\dfrac{\mathrm{d}u_C(t)}{\mathrm{d}t}$

积分关系 $u_C(t) = u_C(0^-) + \dfrac{1}{C}\displaystyle\int_{0^-}^{t} i(\xi)\mathrm{d}\xi$

其中 $u_C(0^-)$ 为电容元件的初始电压，也称初始状态或内激励。

电场能量 $W_C(t) = \dfrac{1}{2}Cu^2(t)$

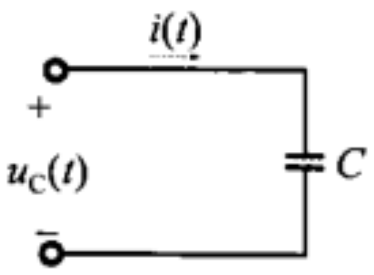


图 6.1

6.1.2 电感元件

如图 6.2 所示，在关联方向下，$i_L(t)$ 与 $u_L(t)$ 的关系方程如下。

微分关系 $u_L(t) = L\dfrac{\mathrm{d}i_L(t)}{\mathrm{d}t}$

积分关系 $i_L(t) = i_L(0^-) + \dfrac{1}{L}\displaystyle\int_{0^-}^{t} u_L(\xi)\mathrm{d}\xi$

其中 $i_L(0^-)$ 为电感元件的初始电流，也称初始状态或内激励。

磁场能量 $W_L = \dfrac{1}{2}Li_L^2(t)$

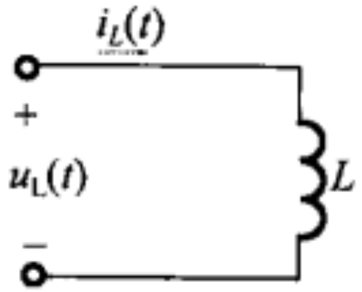


图 6.2

电容串联 $\dfrac{1}{C_{eq}} = \dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2} + \cdots + \dfrac{1}{C_n}$

电容并联 $C_{eq} = C_1 + C_2 + \cdots + C_n$

电感串联 $L_{eq} = L_1 + L_2 + \cdots + L_n$

电感并联 $\dfrac{1}{L_{eq}} = \dfrac{1}{L_1} + \dfrac{1}{L_2} + \cdots + \dfrac{1}{L_n}$

第八章：一阶电路的暂态分析

$$y(t) = [y(0_+) - y(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} + y(\infty)$$

几乎万能

自由分量，强制分量，暂态分量，稳态分量

τ=RC/τ=LG

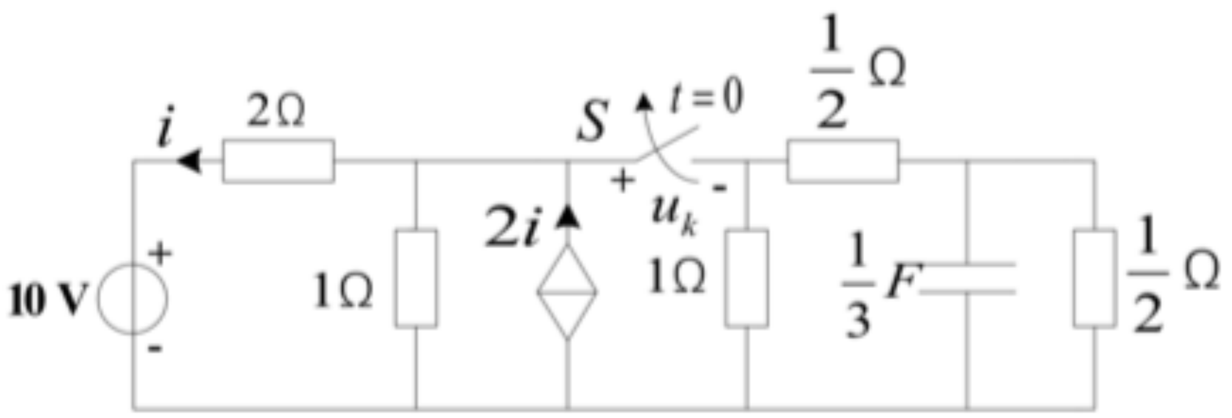
这边的R，G是将独立电源置零后的RC/RL电路中的等效电阻Req/Geq（第四章内容）

注：考题很有可能不是直接求Uc/Il，但我们在求解过程中要先用三要素法求Uc/I1，再根据分压分流/微分形式求目标电压电流

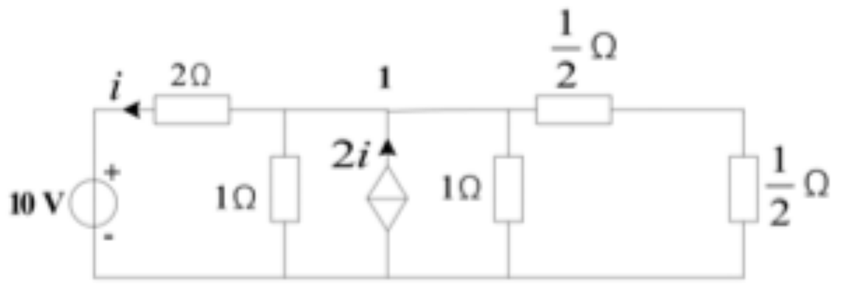
- 偶尔会出现三要素不方便的情况：kcl/kvl，各种微分形式

由两类约束关系得到关于待求变量 $y(t)$ 的微分方程，并求得初始值 $y(0_+)$（注：电路状态变量的初始值为零，但非状态变量的初始值不一定为零）。求解微分方程，即得待求变量的响应 $y(t)$。

4.（15 分）如图所示电路，开关 S 原是闭合的，电路已处于稳态，开关 S 在$t=0$时打开，求换路后的开关电压$u_k(t)$。



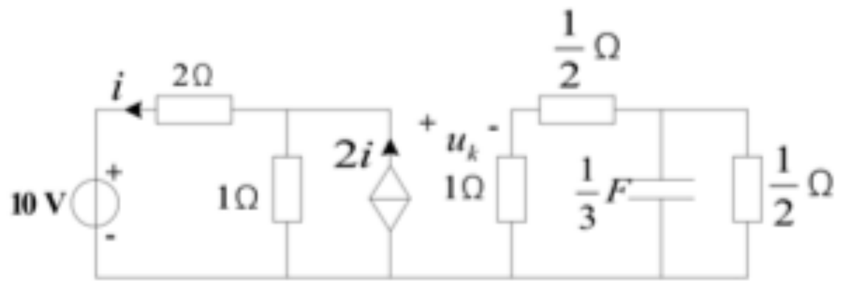
开关闭合时：



$$\begin{cases}(0.5+1+1+1)u_1=\dfrac{10}{2}-2i\\ i=\dfrac{u_1-10}{2}\end{cases}$$

$u_1=-2 \qquad u_C=0.5u_1=-1$

开关打开后：



右侧电路 $\qquad R_{eq}=\dfrac{1}{2}//\dfrac{3}{2}=\dfrac{3}{8} \qquad u_C(0+)=u_C(0-)=-1$

1Ω 电阻上电压为 $\qquad u'=-\dfrac{2}{3}e^{-8t}$

左侧电路 $\qquad 10+2i=i$

$i=-10$

1Ω 电阻上的电压为 $\qquad u''=-10$

综上 $\qquad u_k=-10+\dfrac{2}{3}e^{-8t}$

第十章：正弦稳态分析

- $i(t)=I_m\cos(\omega t+\psi)$

∀ 三要素：幅值，角频率，初相位

∀ 两个正弦量比较时，要变成同函数

4. 正弦电量的有效值

（1）正弦电压、电流的有效值定义为它的均方根值，即

$$U \xlongequal{\text{def}} \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^t u^2\,dt} \quad I \xlongequal{\text{def}} \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^t i^2\,dt}$$

上述定义式亦适用于周期性的电压、电流。

（2）有效值要用大写字母表示，且有效值总是大于等于零的。

（3）正弦电压、电流最大值（振幅）是有效值的$\sqrt{2}$ 倍，即 $U_m=\sqrt{2}U, I_m=\sqrt{2}I$

- 相量法

$$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2$$

$$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 = 6\angle 30^\circ + 4\angle 60^\circ \quad = 9.64\angle 41.9^\circ \text{ V}$$

*相量里<前面的数字是有效值，题目中可能会给最大值，要注意转换
*<后面跟的角度是电压相位角-电流相位角，解题时可能会题目中直接给，也可能要自己设某一个向量为角0
*以相量计算仍然满足kcl/kvl

- 电路的相量模型

（3）正弦稳态电路的相量模型

①元件的相量模型（在关联参考方向下）

➢ 电阻

$$\dot{U}_R = R\,\dot{I}_R$$

➢ 电感

$$\dot{U}_L = j\omega L\,\dot{I}_L$$

➢ 电容

$$\dot{U}_C = \frac{1}{j\omega C}\dot{I}_C$$

②基尔霍夫定律的相量形式

$$\mathrm{KCL}: \sum \dot{I} = 0 \qquad \mathrm{KVL}: \sum \dot{U} = 0$$

③电路的相量模型

*容性，感性
（电压电流的超前与滞后关系）

- 阻抗与导纳

1. 复阻抗

（1）复阻抗的定义。

一个无源二端正弦稳态电路的端口电压、电流相量之比定义为该端口的入端复阻抗，并用 Z 表示，即

$$Z=\frac{\dot{U}}{\dot{I}}=\frac{U\angle\phi_{u}}{I\angle\phi_{i}}=\frac{U}{I}\angle\phi_{u}-\phi_{i}=|Z|\angle\varphi_{Z}$$

（3）阻抗三角形。

由 $Z=R+jX=|Z|\angle\varphi_{Z}$，有

$$|Z|=\sqrt{R^{2}+X^{2}},\quad \varphi_{Z}=\arctan\frac{X}{R}$$

式中，$|Z|$、R、X 三者之间的关系，可用图 9.1 所示的直角三角形表示，这一三角形称为阻抗三角形。

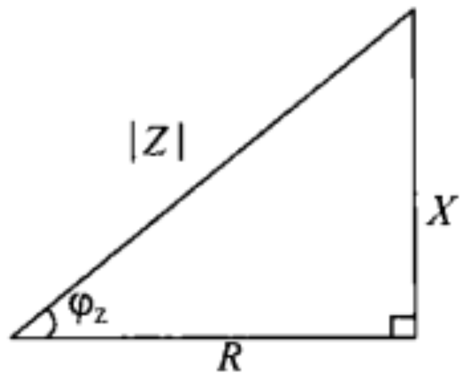


图 9.1

2. 复导纳

(1) 复导纳的定义。

复阻抗的倒数称为复导纳，即

$$Y=\frac{1}{Z}=\frac{\dot{I}}{\dot{U}}=\frac{I}{U}\underline{/\phi_{\mathrm{i}}-\phi_{\mathrm{u}}}=|Y|\underline{/\varphi_{\mathrm{r}}}$$

(2) 导纳三角形。

由 $Y=G+\mathrm{j}B=|Y|\underline{/\varphi_{\mathrm{r}}}$，有

$$|Y|=\sqrt{G^2+B^2},\varphi_{\mathrm{r}}=\arctan\frac{B}{G}$$

式中，$|Y|$、G、B 三者之间的关系可用图 9.2 所示的直角三角形表示，这一三角形称为导纳三角形。

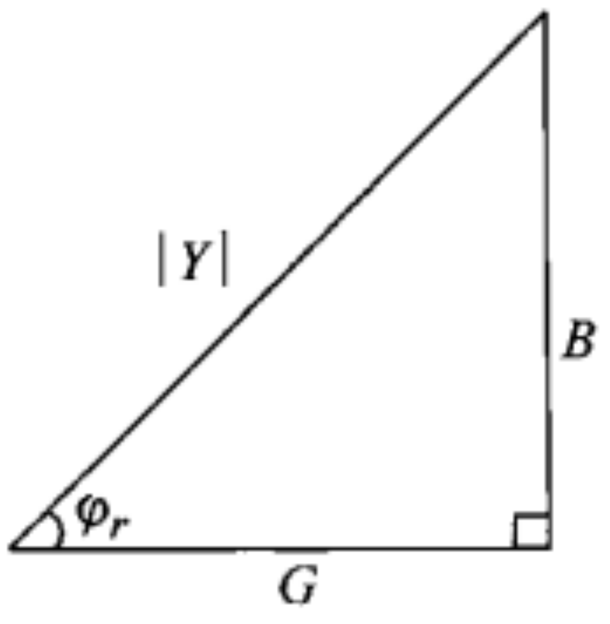


图 9.2

3. 复阻抗与复导纳的关系

对同一无源网络而言，其输入复阻抗和输入复导纳互为倒数，因此有

4. 复阻抗和复导纳的性质

复阻抗 $Z = R + \mathrm{j}X = |Z| \angle \varphi_Z$，$X = 0$ 或 $\varphi_Z = 0$ 时，Z 是纯电阻；$X > 0$ 或 $\varphi_Z > 0$ 时，Z 是感性的；$X < 0$ 或 $\varphi_Z < 0$ 时，Z 是容性的。

复导纳 $Y = G - \mathrm{j}B = |Y| \angle \varphi_Y$，$B = 0$ 或 $\varphi_Y = 0$ 时，Y 是纯电阻；$B > 0$ 或 $\varphi_Y < 0$ 时，Y 是感性的；$B < 0$ 或 $\varphi_Y > 0$ 时，Y 是容性的。

9.1.2 阻抗(导纳)的串联和并联

1. n 个阻抗串联的等效阻抗 Z(也称端口输入阻抗)为 $Z = \sum_{k=1}^{n} Z_k$

2. n 个导纳并联的等效导纳 Y(也称端口输入导纳)为 $Y = \sum_{k=1}^{n} Y_k$

*星行和三角形
*Zeq的求解

9.1.4 正弦稳态电路的分析

由于相量形式的 KCL、KVL 与欧姆定律，在形式上与电阻电路中的 KCL、KVL 与欧姆定律相同，因此关于电阻电路分析的各种方法（支路电流法、网孔电流法、回路电流法、结点电压法）、定理（齐次定理、叠加定理、替代定理、等效电源定理、互易定理、特勒根定理）以及电路的各种等效变换原则，均适用于正弦电流电路的稳态分析，只是此时必须根据相量电路模型列写电路方程，所有电量用相量表示，各支路和元件用阻抗（或导纳）代替，相应的运算为复数运算。其步骤如下：

(1) 先画出时域电路的相量电路模型。在相量电路模型中，电压、电流用相量表示，L 元件的参数为 $\mathrm{j}\omega L$，C 元件的参数为 $\frac{1}{\mathrm{j}\omega C}$。

(2) 根据电路结构的特点，选用合适、简便的电路分析计算方法列写电路的相量方程求解。

(3) 将所求得的电压、电流相量进行反变换，即得所求电压、电流的正弦时间函数表达式。

第十一章：正弦稳态电路的功率

设

$$u(t) = \sqrt{2}U\sin(\omega t + \psi_u)$$

$$i(t) = \sqrt{2}I\sin(\omega t + \psi_i)$$

则

（1） 瞬时功率

$$p = ui$$

（2） 平均功率（有功）（瓦特：W）

$$P = UI\cos(\psi_u - \psi_i) = UI\cos\varphi$$

对于无源网络

$$P = I^2|Z|\cos\varphi = I^2R$$

（3） 无功功率（乏：var）

$$Q = UI\sin(\psi_u - \psi_i) = UI\sin\varphi$$

对于无源网络

$$q = I^2|Z|\sin\varphi = I^2X$$

（4） 视在功率（伏安：VA）

$$S = UI = \sqrt{P^2+Q^2}$$

对于无源网络

$$S = I^2|Z|$$

（5） 功率因数

$$\lambda = \cos\varphi = \frac{P}{S}$$

（6） 复功率

$\bar{S} = P + jQ = \dot{U}\dot{I}^*$（$I^*$是$\dot{I}$的共轭复数）

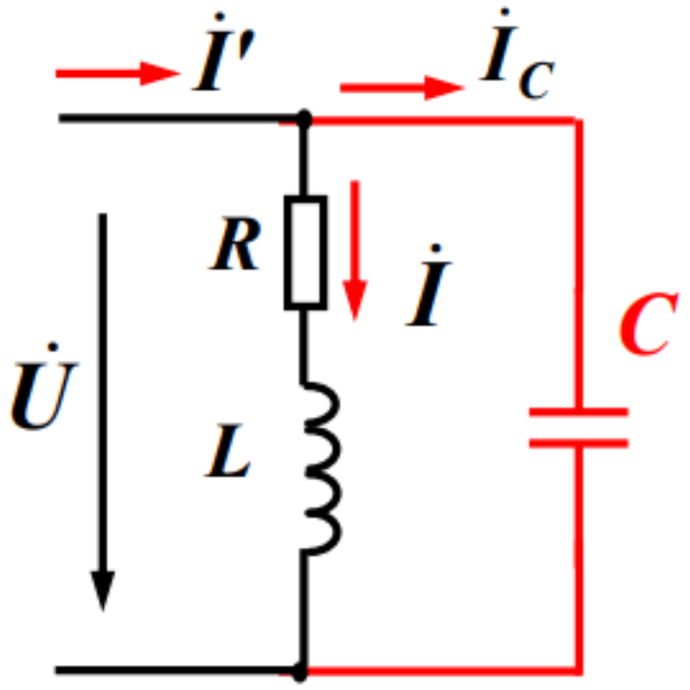
对于无源网络

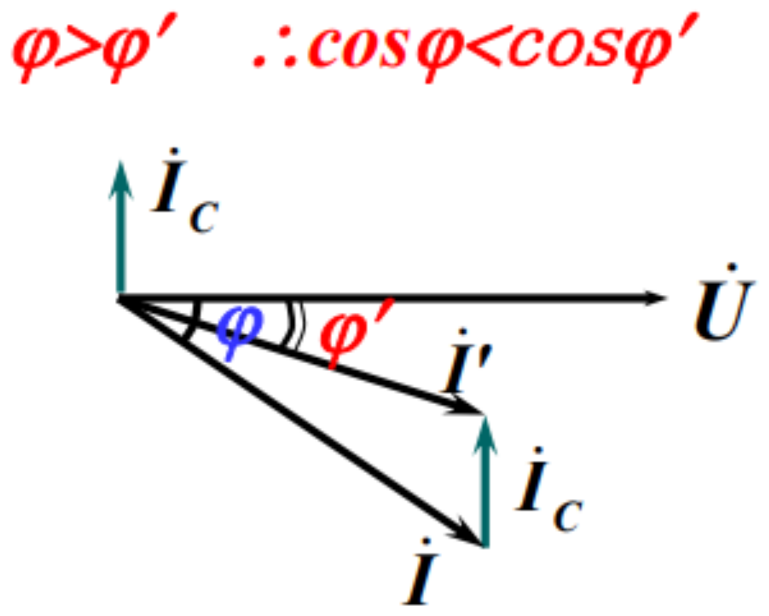
$$\bar{S} = ZI^2$$

- 功率因数的提高：

感性负载并电容

容性负载并电感





• 最大传输功率：

三种情况：

讨论 正弦电路中负载获得最大功率P_{max}的条件

$$P = \frac{R_L U_S^2}{(R_i + R_L)^2 + (X_i + X_L)^2}$$

$$P_{max} = \frac{U_S^2}{4R_i}$$

①若$Z_L = R_L + jX_L$可任意改变

a) 先设 R_L 不变，X_L 改变

显然，当$X_i + X_L = 0$，即$X_L = -X_i$时，P 获得最大值。

b) 再讨论 R_L 改变时，P 的最大值

当$R_L = R_i$时，P 获得最大值

$R_L = R_i \quad X_L = -X_i$ → 共轭 $Z_L = Z_i^*$

最佳匹配条件

②若$Z_L = R_L + jX_L$只允许X_L改变

获得最大功率的条件是：$X_i + X_L = 0$，即 $X_L = -X_i$

最大功率为 $$P_{max} = \frac{R_L U_S^2}{(R_i + R_L)^2}$$

③若$Z_L = R_L$为纯电阻

电路中的电流为： $$\dot{I} = \frac{\dot{U}_S}{Z_i + R_L},\quad I = \frac{U_S}{\sqrt{(R_i + R_L)^2 + X_i^2}}$$

没有X
抵消

负载获得的功率为： $$P = \frac{R_L U_S^2}{(R_i + R_L)^2 + X_i^2}$$

模匹配

令 $\dfrac{dP}{dR_L} = 0 \Rightarrow$ 获得最大功率条件：$R_L = \sqrt{R_i^2 + X_i^2} = |Z_i|$

第十二章：三相正弦稳态电路

- 对称三相电路线量与相量的关系

图 12.3(a) 所示为正序三相电路中的 Y 接负载，显然有线电流 $\dot{I}_{Al}$ 等于相电流 $\dot{I}_{AP}$，即

$$\dot{I}_{Al} = \dot{I}_{AP}$$

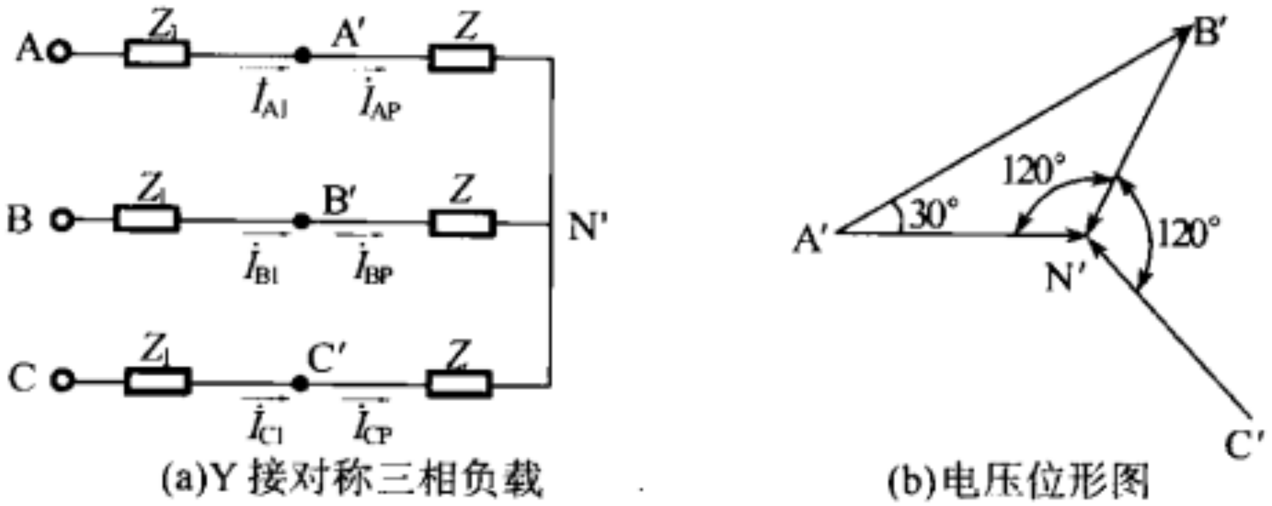


图 12.3

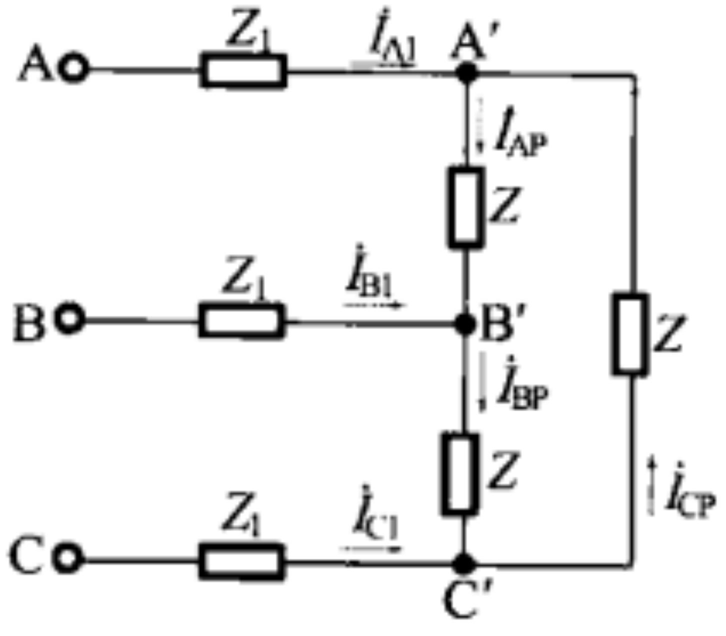
线电压与相电压的关系可通过如图 12.3(b) 所示的电压位形图来确定，有

$$\dot{U}_{A'B'} = \sqrt{3}\dot{U}_{A'N'} \underline{/30^\circ}$$

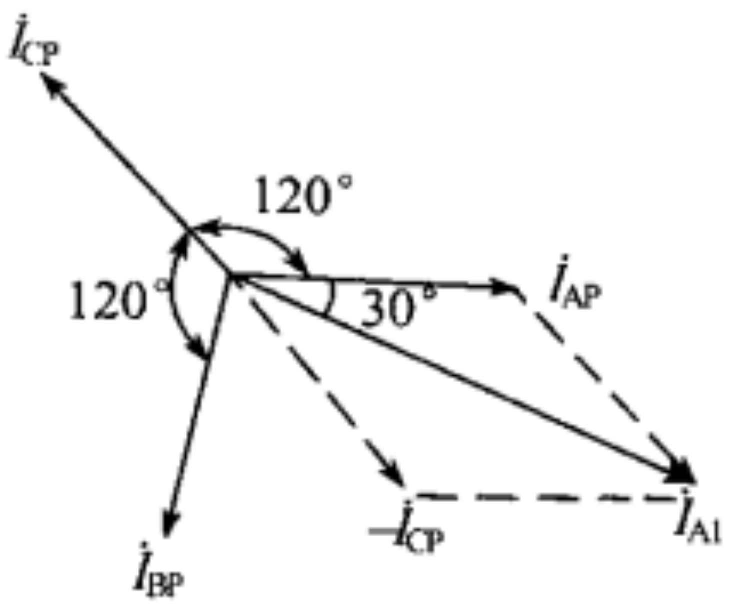
2. △ 接对称三相电路线量与相量的关系

图 12.4(a) 所示为正序对称三相电路中的正接负载，从图中可见线电压 $\dot{U}_{A'B'}$ 就是负载 A 相的相电压。线电流与相电流的关系可作出如图 12.4(b) 所示的电流相量图来确定，有

$$\dot{I}_{Al} = \sqrt{3}\,\dot{I}_{AP}\,\underline{/-30^\circ}$$



(a)△接对称三相负载



(b)电流相量图

图 12.4

1. 三相电路的功率计算

三相电路的功率(包括有功功率、无功功率、复功率)均指三相功率之和。电路对称时,各相功率相等,则三相功率为

$$P = P_A + P_B + P_C = 3P_A = 3U_P I_P \cos\varphi_P = \sqrt{3}U_l I_l \cos\varphi_P$$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = 3Q_A = 3U_P I_P \sin\varphi_P = \sqrt{3}U_l I_l \sin\varphi_P$$

$$\overline{S} = \overline{S}_A + \overline{S}_B + \overline{S}_C = 3\overline{S}_A = 3(P_A + jQ_A)$$

式中,U_P、I_P 分别为相电压、相电流有效值,U_l、I_l 分别为线电压、线电流有效值,φ_P 为一相相电压与相电流的相位差。

3、三相电路的无功功率的计算

三相总无功功率: $Q = Q_A + Q_B + Q_C$

$$= U_a I_a \sin\varphi_a + U_b I_b \sin\varphi_b + U_c I_c \sin\varphi_c$$

负载对称时: $= 3U_a I_a \sin\varphi_a \ \underline{\underline{同理}}\ \sqrt{3}U_l I_l \sin\varphi$

4、三相总视在功率: $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

负载对称时: $= 3U_a I_a = \sqrt{3}U_l I_l$

5、三相的功率因数: $\cos\varphi' = \dfrac{P}{S} = \dfrac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$

负载对称时: $= \cos\varphi_a$

三相复功率: $\tilde{S} = S\angle\varphi'$ $\quad \tilde{S} = 3U_a I_a \angle\varphi = 3\dot{U}_a \dot{I}_a^* \neq \sqrt{3}\dot{U}_l \dot{I}_l^*$

（二）抽单相计算法

对于对称三相电路，典型的求解方法是画出它的一相等效电路（一般是 A 相），求出结果后再根据三相之间的相序关系，写出其他两相的结果.

抽单相的一般步骤是：

①将电源和所有负载都变为星形（Y 形）连接，若题目中电源没有明确画出连接方式则默认为 Y 形连接；

②连接各负载和电源的中性点（由于是对称电路，因此它们的中性点是等电位的，可以连接起来；中线上有无阻抗无影响）；

③抽出 A 相电路，利用相量法进行求解，得出 Y 接时一相相电压、相电流；

- 一相电路中的电压为 Y 接时的相电压
- 一相电路中的电流为线电流

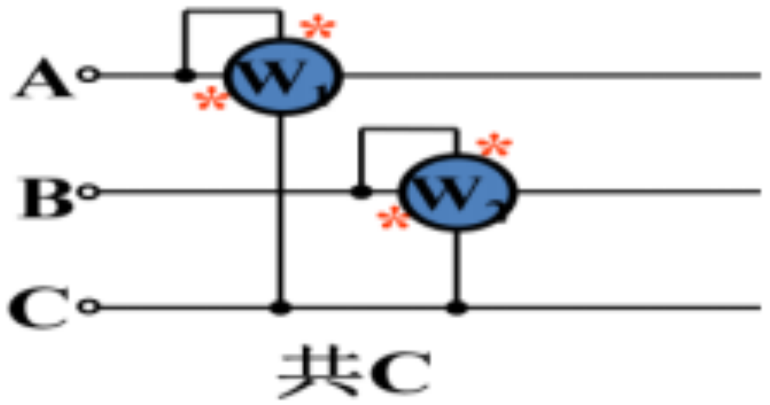
④根据相电压与线电压、相电流与线电流、以及 Y 接与△接之间的关系，求出原电路的电压和电流；

⑤根据对称三相电路的相序关系，写出 B、C 两相的电压或电流.

- 功率的测量
- 一般考两表法

不对称三项：电路基本定理求解

➢ 接线：将两个功率表的电流线圈接到任意两相中，而将其电压线圈的公共点接到另一相没有功率表的线上.



➢ 功率：设电流$\dot{I}$从电流线圈的电源端（星号*端）流入，电压$\dot{U}$的正极与电压线圈的电源端（星号*端）一致时，功率表的读数为

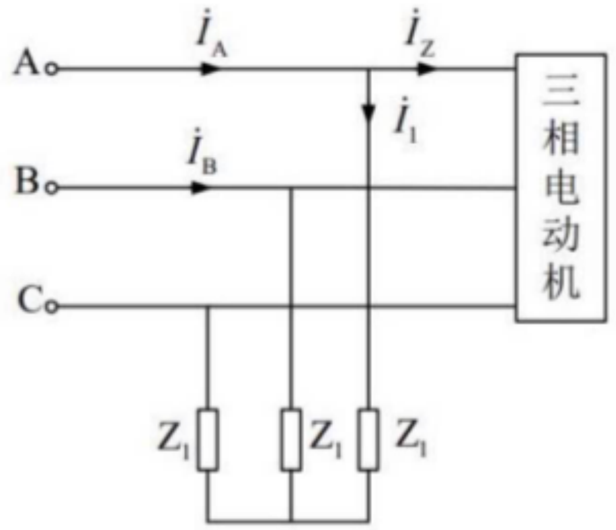
$P = UI\cos\varphi$，其中φ是$\dot{U}$与$\dot{I}$的相位差

若$\boxed{W_1}$的读数为P_1，$\boxed{W_2}$的读数为P_2，则三相总功率为

$$P = P_1 + P_2.$$

注意：只有在$i_A + i_B + i_C = 0$这个条件下，才能用两表法（即 Y-接、 Δ-接），不对称三相四线制不能用两表法（三表法）.

8.（10 分）如图所示对称三相电路中，正序对称三相电压源$\dot{U}_{AB}=380\angle 0°$ V，$Z_1=(30-j40)\ \Omega$，三相电动机为星形连接，额定有功功率为 10kW，功率因数为 0.8。求：（1）电动机的每相等效复阻抗；（2）线电流$\dot{I}_B$、电源侧的功率因数、电源发出的有功功率。



$$(1)\ I_l=\frac{10000}{\sqrt{3}\times 380\times 0.8}=19\text{A}$$

$$|Z_p|=\frac{U_p}{I_p}=\frac{220}{19}=11.58\Omega$$

$$Z=|Z_p|\angle\phi_p=11.58\angle 36.9°\Omega \quad (=9.3+j6.9\Omega)$$

$$(2)\ \dot{U}_A=220\angle -30°\ \text{V}$$

$$\dot{I}_1=\frac{\dot{U}_A}{Z_1}=\frac{220\angle -30°}{30-j40}=4.4\angle 23.1°\text{A}$$

$$\dot{I}_Z=19\angle -66.9°\ \text{A}$$

$$\dot{I}_A=\dot{I}_1+\dot{I}_Z=4.4\angle 23.1°+19\angle -66.9°=19.5\angle -53.86°\text{A} \quad (\dot{I}_A=11.5-j15.75\text{A})$$

$$(\text{或者}\dot{I}_A=\frac{\dot{U}_A}{Z_1//Z}=19.5\angle -53.86°)$$

$$\dot{I}_B=19.5\angle -173.86°$$

$$\cos\varphi=\cos[-30°-(-53.86°)]=\cos\varphi 23.86°=0.91$$

$$P_{Z1}=3\times 4.4^2\times 30=1742.4\text{W}$$

$$P=P_{Z1}+P_Z=1742.4+10000=11742.4\text{W}$$

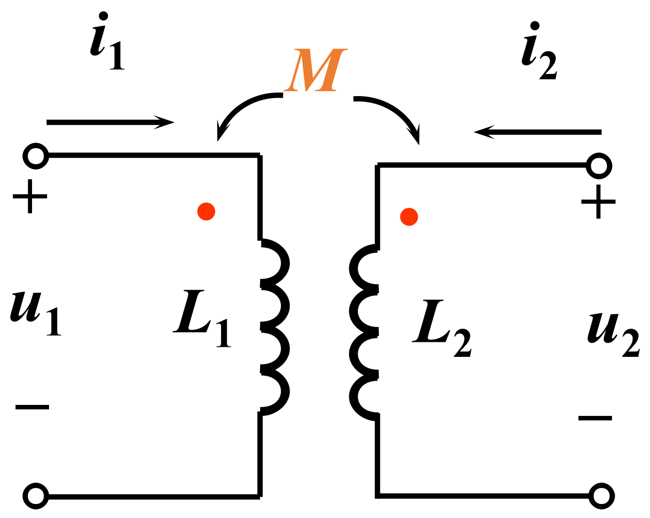
第十三章：含磁耦合电路

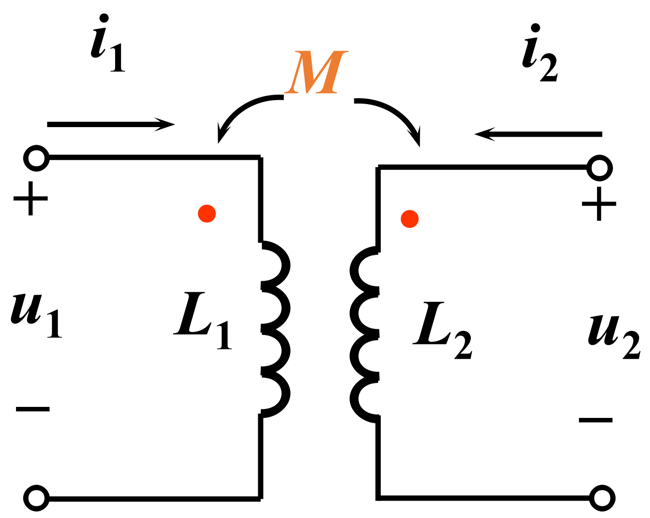
- 加强（若削弱就正变负）

$$\begin{cases} u_1 = u_{11} + u_{12} = L_1 \dfrac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} + M \dfrac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} \\ u_2 = u_{21} + u_{22} = M \dfrac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} + L_2 \dfrac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \mathrm{j}\omega L_1 \dot{I}_1 + \mathrm{j}\omega M \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = \mathrm{j}\omega M \dot{I}_1 + \mathrm{j}\omega L_2 \dot{I}_2 \end{cases}$$

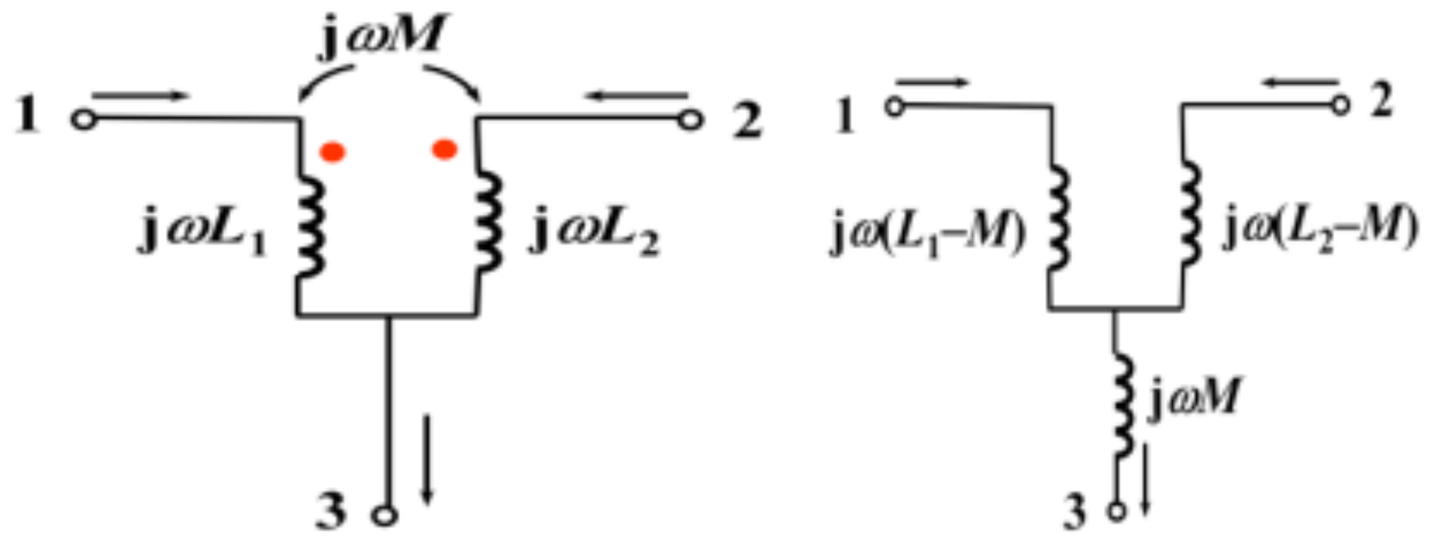
- 如何判断加强，削弱？
- 同名端：同名端是分别属于两个线圈的这样两个端点：当两个电流分别从这两个端点流入，与每个线圈相链的自感磁通同由另一线圈的电流产生的互感磁通方向相同，因而互相加强，这两个端点便是同名端。
- 加强削弱与同名端和电流方向都有关



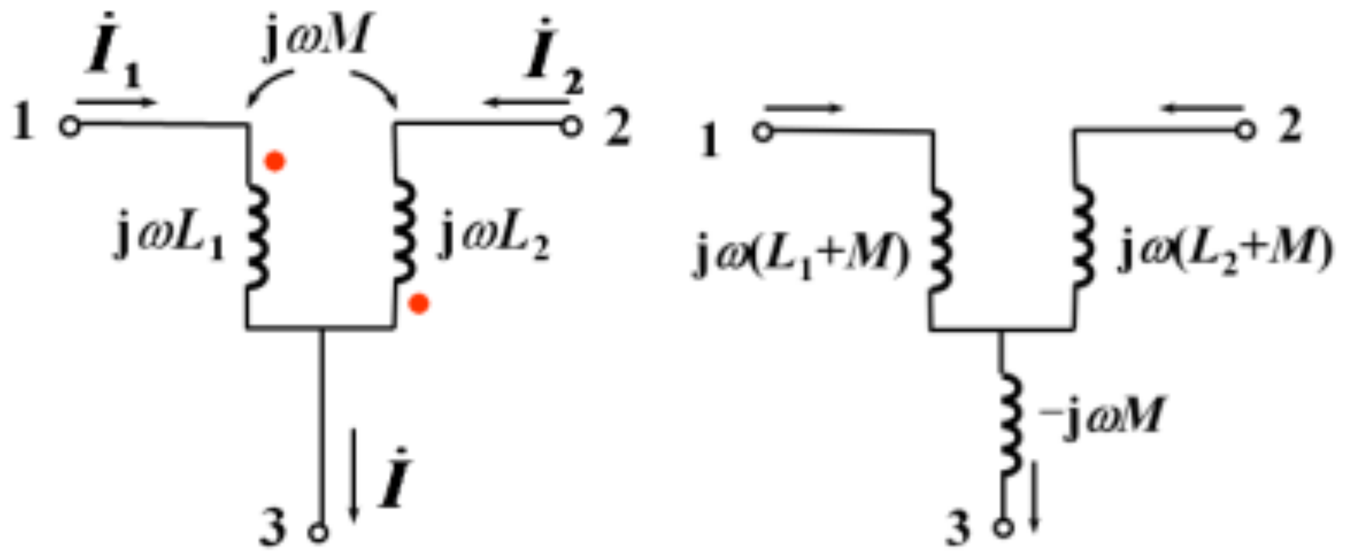


- 去耦等效

- 同名端连在一起的 T 形连



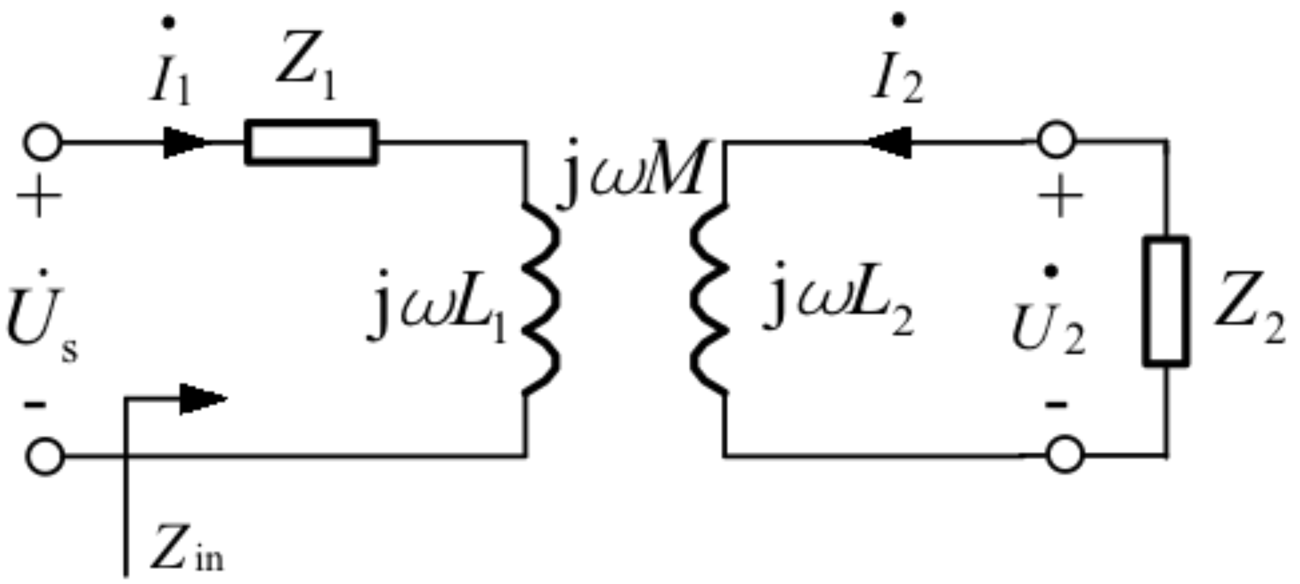
- 异名端连在一起的 T 形连接

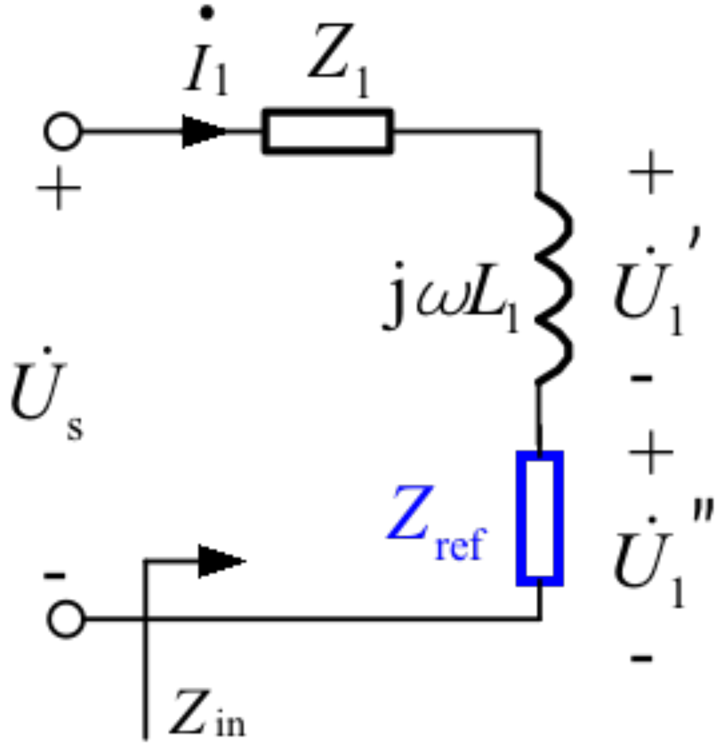


- 含耦合电路的分析：

基本定理法和去耦等效电路法

*映射阻抗：





$$
\begin{aligned}
Z_{in} &= (Z_1 + j\omega L_1) + \frac{(\omega M)^2}{Z_2 + j\omega L_2} \\
&= Z_{11} + \frac{(\omega M)^2}{Z_{22}} \\
&= Z_{11} + Z_{ref}
\end{aligned}
$$

- 理性变压器

1. 理想变压强的特性方程

对图 10. 8 所示的理想变压器，其特性方程为

$$\begin{cases} u_1 = nu_2 \\ i_1 = -\dfrac{1}{n}i_2 \end{cases}$$

2. 关于理想变压器的几点说明

(1) 理想变压器的参数只有一个，即变比 n。n 也是原、副边的匝数之比，即 $n = N_1/N_2$。

(2) 应注意具体电路中理想变压器变比 n 的表示方法。在图 10. 8 中，变比 $n = N_1/N_2$，而在图 10. 9 中，$n = N_2/N_1$，此电路的特性方程为

$$\begin{cases} u_1 = \dfrac{1}{n}u_2 \\ i_1 = -ni_2 \end{cases}$$

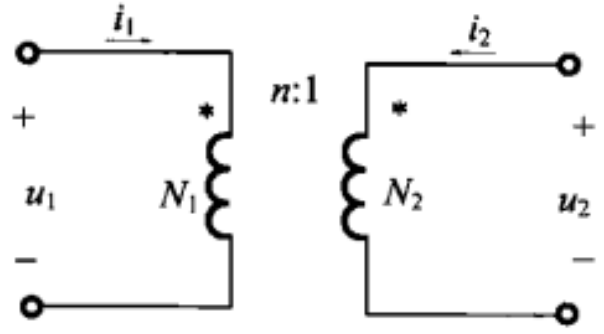


图 10. 8

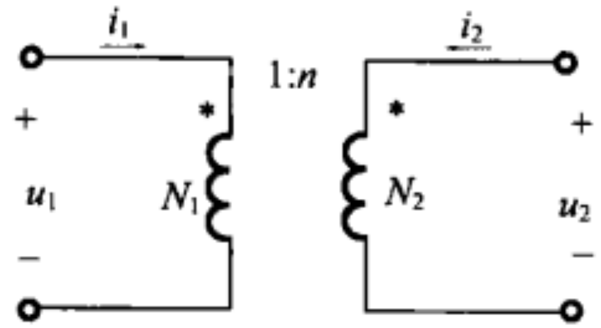
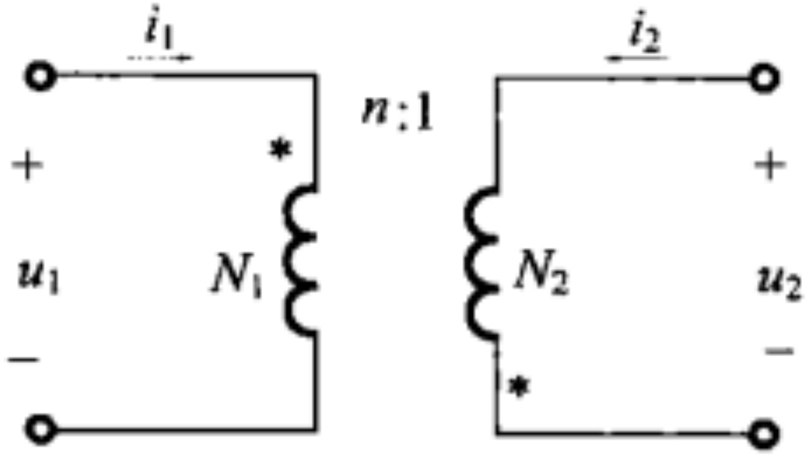


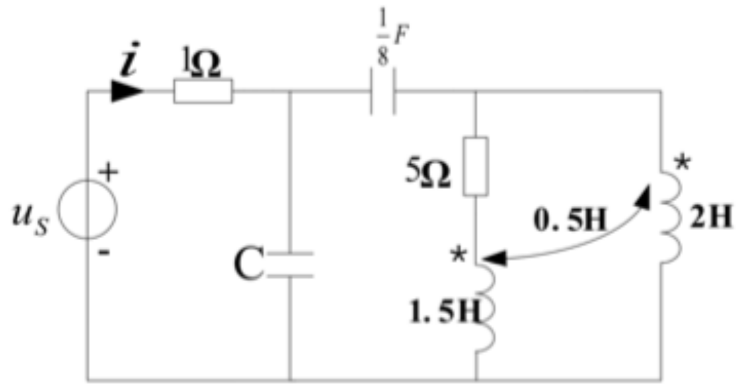
图 10. 9

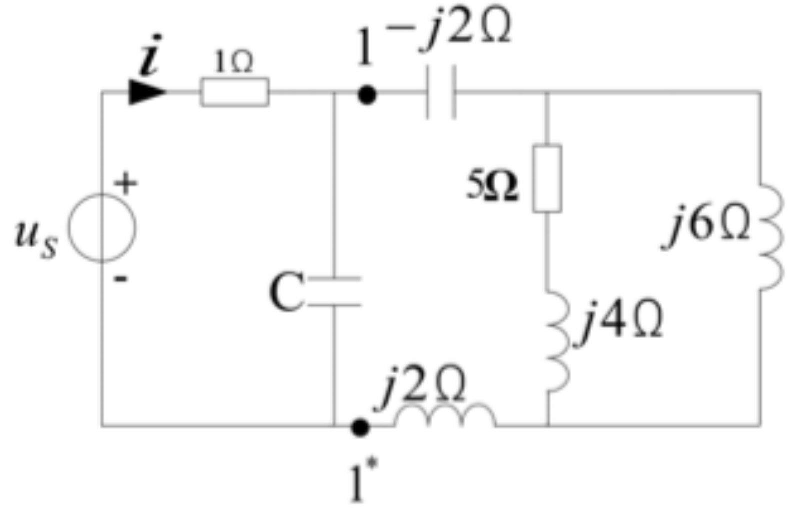
(3) 在理想变压器的电路符号中，原、副边绕组必须标注同名端。理想变压器定义式中的正、负号是由电压、电流与同名端的相对关系决定的。在图 10. 10 中，理想变压器的特性方程为

$$\begin{cases} u_1 = -nu_2 \\ i_1 = \dfrac{1}{n}i_2 \end{cases}$$



5.（20 分）图示正弦稳态电路，已知 $u_S = 10\sqrt{2}\sin 4t$ V，欲使 u_S 和 i 同相位，求参数 C。





$$Z_{1-1^*} = -j2 + j2 + j6//(5+j4) = (1.44 + j3.12)\Omega$$

得到：$Y_{1-1^*} = (0.122 - j0.264)\text{S}$；

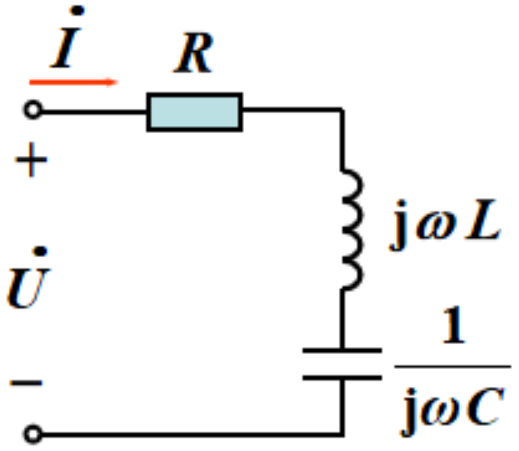
由于：$Y_C = j\omega C$；要使得 $\dot{U}_S$ 与 $\dot{I}_C$ 同相位；

既有：$Y = Y_{1-1^*} + Y_C = 0.12 + j(\omega C - 0.264)$ 为一实数；

即：$\omega C - 0.264 = 0$；得到：$C = 0.066F$；

第十四章：正弦稳态电路的频率响应

一、什么是电路的谐振?



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

$\omega L > \frac{1}{\omega C}$ 感性

$\omega L < \frac{1}{\omega C}$ 容性

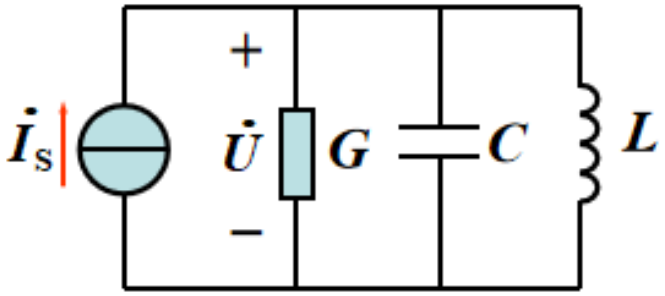
$\omega L = \frac{1}{\omega C}$ 阻性

串联谐振

当 $X_L=|X_C|$，$\varphi=0$，端口上电压、电流同相。电路的这种状态称为谐振。

- 串联谐振：LC 对外等效为短路

$$品质因数Q = \frac{电容或电感上电压的幅值}{端口总电压的幅值} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 CR} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$



$$Y = G + \mathrm{j}(\omega C - \frac{1}{\omega L})$$

$$Z = \frac{G - \mathrm{j}(\omega C - \frac{1}{\omega L})}{G^2 + (\omega C - \frac{1}{\omega L})^2}$$

$\omega C > \frac{1}{\omega L}$ 容性

$\omega C < \frac{1}{\omega L}$ 感性

$\omega C = \frac{1}{\omega L}$ 阻性

并联谐振

- 并联谐振：LC 对外等效为开路

$$品质因数Q = \frac{电容或电感上电流的幅值}{端口总电流的幅值} = \omega_0 CR = \frac{R}{\omega_0 L} = R\sqrt{\frac{C}{L}}$$

- 常见电路的谐振频率
  - LC 串联电路

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

  - LC 并联电路

*最基本：谐振时电流与电压同相，一切问题都是基于同相的基础上解决（如混连谐振电路R，L，C改变）

第十五章：周期性非正弦稳态电路

- 重点在于电路的计算，考傅里叶级数计算的可能性不大

$$I = \sqrt{I_0^2 + \sum_{k=1}^{\infty} I_k^2} = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \cdots}$$

$$U = \sqrt{U_0^2 + \sum_{k=1}^{\infty} U_k^2} = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \cdots}$$

这里的I，U都指的是有效值

- 平均功率的计算

$$P = U_0 I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \cos\varphi_k \qquad (\varphi_k = \psi_{ku} - \psi_{ki})$$

$$= P_0 + P_1 + P_2 + \ldots\ldots \quad \text{（代数和）}$$

一些注意点：

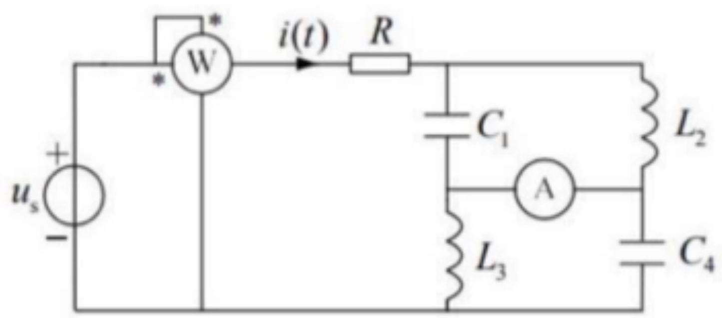
1，频率不同的各次谐波分开计算

2，频率相同的谐波转化为同名函数相加后计算

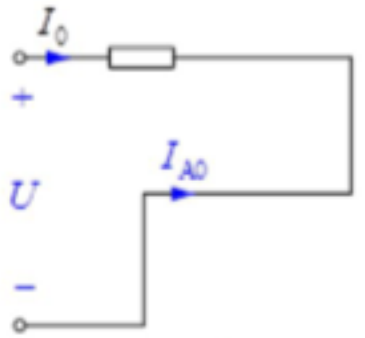
9．已知$u_s = 10 + 200\sqrt{2}\sin\omega t + 120\sqrt{2}\sin(2\omega t - 30°)$ V，

$R = 10\Omega$，$\dfrac{1}{\omega C_1} = 40\Omega$，$\omega L_2 = \omega L_3 = 20\Omega$，$\dfrac{1}{\omega C_4} = 20\Omega$，

求：（1）电流$i(t)$；（2）各表的读数。注：电流表的读数为有效值，瓦特表的读数为平均功率。（10 分）



(1)直流单独作用

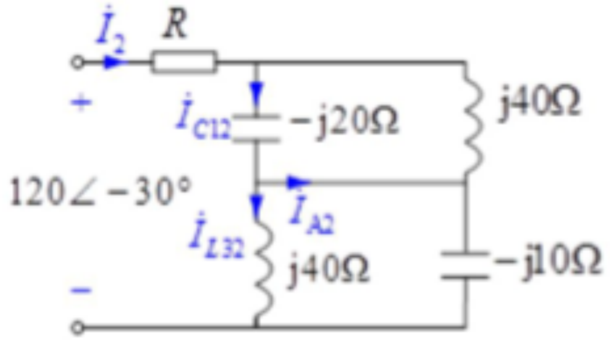


$I_0 = -I_{A0} = \dfrac{10}{10} = 1\text{A}$, $P_0 = U_0 I_0 = 10\times 1 = 10\text{W}$

(2)基波单独作用,L3C4并联谐振,电路断路

$\dot{I}_1 = 0\text{A}$, $\dot{I}_{A1} = \dfrac{200\angle 0°}{-\text{j}20} = 10\angle 90°\text{A}$

(3)二次谐波单独作用



$Z = 10 + \dfrac{-\text{j}20\times \text{j}40}{\text{j}20} + \dfrac{-\text{j}10\times \text{j}40}{\text{j}30} = 54\angle -79.4°$

$\dot{I}_2 = \dfrac{120\angle -30°}{54\angle -79.4°} = 2.22\angle 49.4°\text{A}$

$\dot{I}_{A2} = \dot{I}_{C12} - \dot{I}_{L32} = \dfrac{\text{j}40}{\text{j}20}\times \dot{I}_2 - \dfrac{-\text{j}10}{\text{j}30}\times \dot{I}_2 = \dfrac{7}{3}\dot{I}_2 = 5.18\angle 49.4°\text{A}$

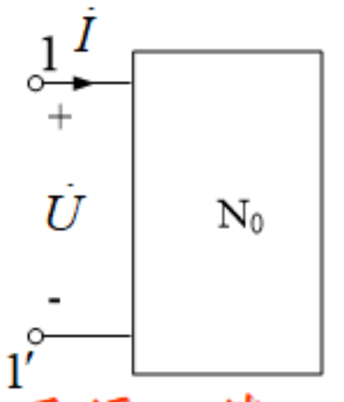
$P_2 = 120\times 2.22\cos(-30° - 49.4°) = 49\text{W}$

$i(t) = 1 + 2.22\sqrt{2}\sin(2\omega t + 49.4°)$

电流表读数和电压表读数分别为:

$I_A = \sqrt{1^2 + 10^2 + 5.18^2} = 11.3\text{A}$, $P = 10 + 49 = 59\text{W}$

第十六章：二端口网络



无源一端口网络

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

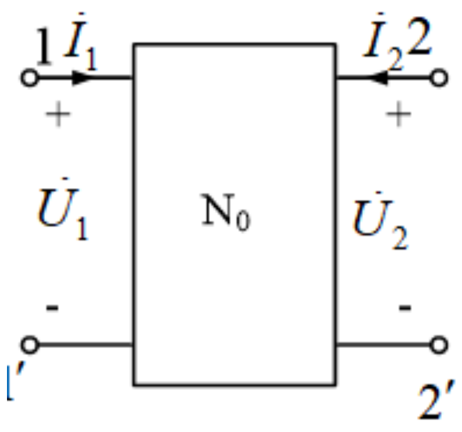
$$\dot{I} = Y\dot{U}$$

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = Z_{11}\dot{I}_1 + Z_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = Z_{21}\dot{I}_1 + Z_{22}\dot{I}_2 \end{cases}$$

阻抗参数方程

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = Y_{11}\dot{U}_1 + Y_{12}\dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 = Y_{21}\dot{U}_1 + Y_{22}\dot{U}_2 \end{cases}$$

导纳参数方程



无源二端口网络

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = h_{11}\dot{I}_1 + h_{12}\dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 = h_{21}\dot{I}_1 + h_{22}\dot{U}_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = g_{11}\dot{U}_1 + g_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = g_{21}\dot{U}_1 + g_{22}\dot{I}_2 \end{cases}$$

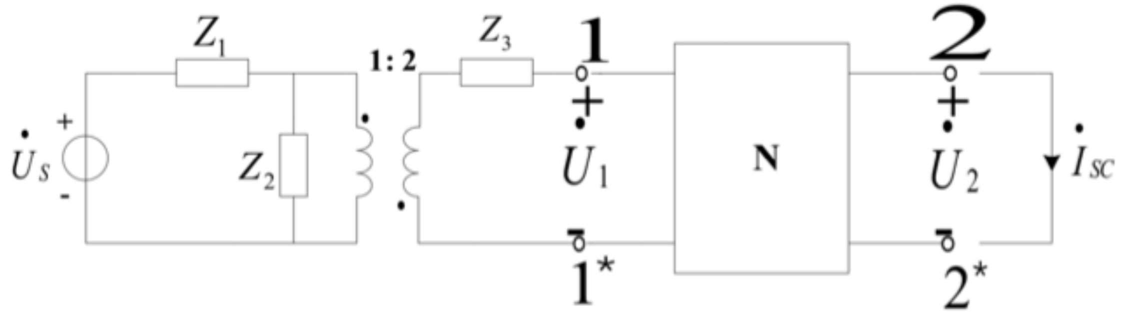
混和参数方程

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = A\dot{U}_2 + B(-\dot{I}_2) \\ \dot{I}_1 = C\dot{U}_2 + D(-\dot{I}_2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{U}_2 = A'\dot{U}_1 + B'(-\dot{I}_1) \\ \dot{I}_2 = C'\dot{U}_1 + D'(-\dot{I}_1) \end{cases}$$

传输参数方程

9. （20 分）图所示含理性变压器的电路中，N 为线性无源对称双口网络，$Z_1=Z_2=0.5Z_3=Z$，$2-2^*$端口的开路电压为$\dot{U}_{22^*}=-\dfrac{\dot{U}_S}{6}$，$2-2^*$端口图示方向下的短路电流为$\dot{I}_{SC}=-\dfrac{\dot{U}_S}{11Z}$。试确定双口网络 N 的 Z 参数。假定$\dot{U}_S$、Z 已知。

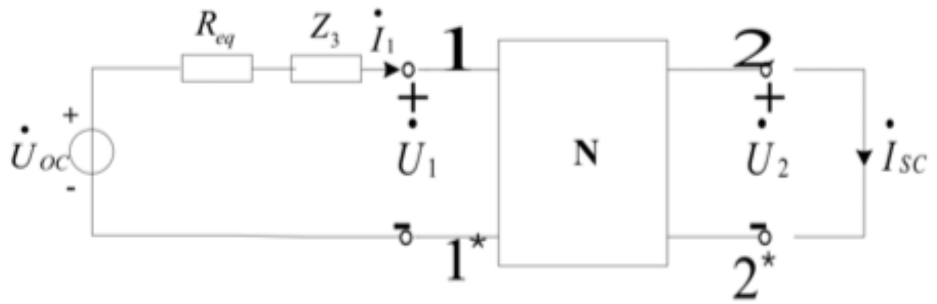


答案详解：将变压器及其左侧电路进行戴维宁等效

$$\dot{U}_{OC}=\frac{1}{2}\dot{U}_S\times(-2)=-\dot{U}_S$$

$$R_{eq}=4\times\frac{Z}{2}=2Z$$

等效电路如下：



设 $Z=\begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix}$；$\begin{cases} Z_{11}=Z_{22} \\ Z_{12}=Z_{21} \end{cases}$；

末端开路时：$\begin{cases} -\dot{U}_S-4Z\dot{I}_1'=Z_{11}\dot{I}_1' \\ -\dfrac{\dot{U}_S}{6}=Z_{21}\dot{I}_1' \end{cases}$；

末端短路时：$\begin{cases} -\dot{U}_S-4ZI_1''=Z_{11}\dot{I}_1''+Z_{12}(-\dot{I}_{SC}) \\ 0=Z_{21}\dot{I}_1''+Z_{22}(-\dot{I}_{SC}) \end{cases}$；

综上消去 I_1' I_2'' 解得：：$Z_{11}=Z_{22}=2Z$　$Z_{12}=Z_{21}=Z$；

所以：$Z=\begin{bmatrix} 2Z & Z \\ Z & 2Z \end{bmatrix}$

祝大家取得理想的成绩
谢谢大家！