电工学期末复习总结

Flower

期末考试临近，希望能够通过这样的形式快速高效的学会电工学的内容。之前使用 Markdown 写了一些笔记，但发现 Markdown 对打印不太友好，于是就想着用 LaTeX 来写这个总结。

Flower

2023 年 6 月 3 日

目录

1 直流电路

1.1 基本概念

1.1.1 作用和组成

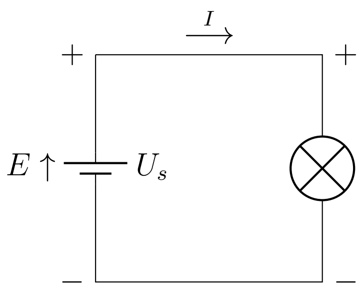
电路的作用：能量的输送与转换 (强电)，信号的处理与传输 (弱电)。

电路的基本组成：电源、负载、连接导线。

概念：电源、负载、导线、内电路、外电路、直流电路 (DC)、交流电路 (AC)、

1.1.2 基本物理量

$\boxed{\text{不随时间变化的物理量用大写字母，随时间变化的物理量用小写字母}}$



1. 电流, 电流方向是正电荷的流动方向。

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$i = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$$

2. 电位

   电场力将单位正电荷从电路某一点移至参考点所消耗的电能，也就是在移动中转化非电形态能量的电能称为该点的电位。

3. 电压

电场力将单位正电荷从电路某一点移至另一点所消耗的电能，即转化为非电形态能量的电能称为这两点的电压。

方向：从高电位指向低电位。

4. 电动势

   电源中的局外力（即非电场力）将单位正电荷从电源负极移至电源正极所换来的电能称为电源的电动势。

   方向：从电源负极指向电源正极，即低电位指向高电位。

5. 电功率

   电路中单位时间所转化的电能消称为电功率，简称功率。

   电源产生的功率

$$P_E = EI$$

   电源输出的功率

$$P_s = U_s I$$

   负载功率

$$P_L = U_L I$$

6. 电能

   在时间 t 内转化的电功率称为电能。

$$W = Pt$$

1.1.3 电路状态

电路状态主要有三种：通路‘开路和短路。

1.1.4 参考方向

$$\boxed{\text{电压与电流选取的参考方向应保持一致}}$$

1.1.5 理想电路元件

1. 理性有源元件
    - 电压源电压恒定
    - 电流源电流恒定
2. 理想无源元件
    - 电容

      $$C = \frac{q}{u}$$

      瞬时功率

      $$P = ui = Cu\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}$$

      存储电场能

      $$W_e = \frac{1}{2}CU^2$$

    - 电感

      $$L = \frac{\Psi}{i}$$

      瞬时功率

      $$p = ui = Li\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$$

      存储磁场能

      $$W_m = \frac{1}{2}LI^2$$

    - 电阻

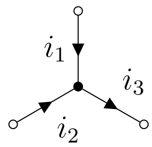
      $$R = \frac{u}{i}$$

      $$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

1.2 基尔霍夫定律

1.2.1 KCL

电路上任意结点的同一瞬间电流的代数和为零。



$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

即

$$\sum_{k=1}^{n} i_k = 0$$

1.2.2 KVL

电路中的任意一回路，沿同一方向循行，同一瞬间电压的代数和为零。即

$$\sum_{k=1}^{n} u_k = 0$$

1.3 支路电流法

直接利用基尔霍夫定律，列方程组求解。

一般步骤：

1. 确定支路数，选取支路电流方向
2. 确定结点数，列出独立的结点电流方程
3. 确定余下所需的方程式数，列出独立的回路电压方程
4. 解方程组

1.4 叠加定理

在含有多个有源元件的线性电路中，任何一条支路上的电压或电流等于电路中各个有源元件分别单独作用在该支路上时所产生的电压或电流的代数和。

注意事项

1. 考虑某一有源元件单独作用时，其他有源元件 $U_s = 0, I_s = 0$, 即电压源代之以短路，电流源代之以开路.
2. 注意是否与参考方向一致。
3. 叠加定理只适用于线性电路。
4. 叠加定理只适用于电流和电压，不适用于功率。

1.5 等效电源定理

1.5.1 戴维宁定理

对外电路而言，任何一个线性有缘网络都可以用一个戴维宁等效电源来替代。(等效电压源)

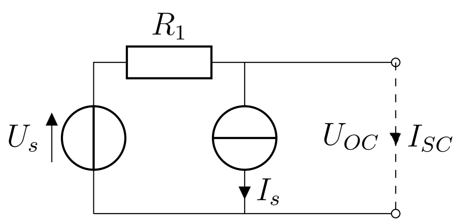


图 1: 有源二端网络

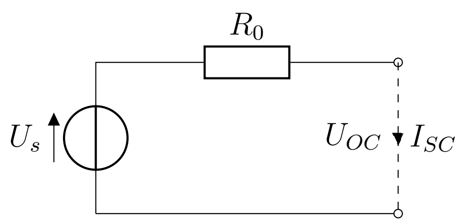


图 2: 戴维宁等效电压电源

由图易知

$$U_{es} = U_{oc}$$

$$R_0 = \frac{U_{eS}}{I_{SC}} = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$$

1.5.2 诺顿定理

对外电路而言，任何一个线性有缘网络都可以用一个诺顿等效电源来替代。(等效电流源)

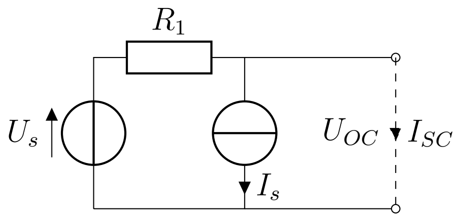


图 3: 有源二端网络

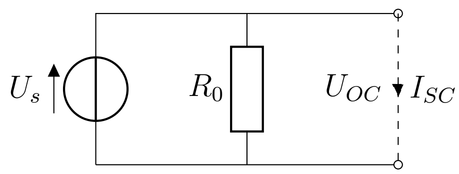


图 4: 戴维宁等效电压电源

由图易知

$$I_{eS} = I_{SC}$$

$$R_0 = \frac{U_{OC}}{I_{eC}} = \frac{U_{OC}}{I_{sc}}$$

戴维宁等效电源与诺顿等效电源的互换（对外等效时）

$$I_{eS} = \frac{U_{eS}}{R_0}$$

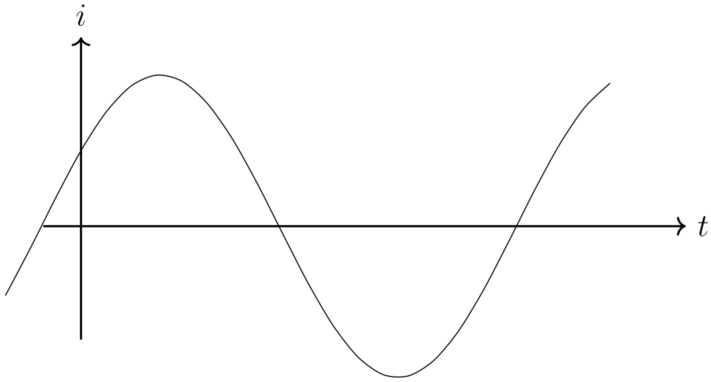
2 交流电路

2.1 正弦交流电路的基本概念

电流瞬时表达式：

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi)$$

其中，I_m 为电流的最大值，ω 为角频率，ψ 为初相位或相位角。
波形图如下



周期，频率

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f,\ f = \frac{1}{T}$$

最大值和有效值

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}},\ E = \frac{E_m}{\sqrt{2}},\ I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$(\omega t + \psi)$ 称为相位，或相位角，ψ 称为初相位。

任意两正弦量的相位差：$\varphi = \phi_2 - \phi_1$。

相量表示法

表示正弦交流电在复平面中处于起始位置的固定矢量称为正弦交流电的相量。区分最大值相量和有效值相量

复平面的矢量可用复数表示，矢量 $\overline{OP}$ 的表示方法如下：

$$\overline{OP} = a + jb = c(\cos\psi + j\sin\psi) = ce^{j\psi} = c\underline{/\psi}$$

为避免符号混淆，在代表交流电的符号上加上一点，以示区别。$\dot{I}, \dot{U}$

注意事项

1. 相量不等于正弦交流电

2. 只有正弦交流电才能用相量表示

3. 只有同频率的正弦交流电才能进行相量运算

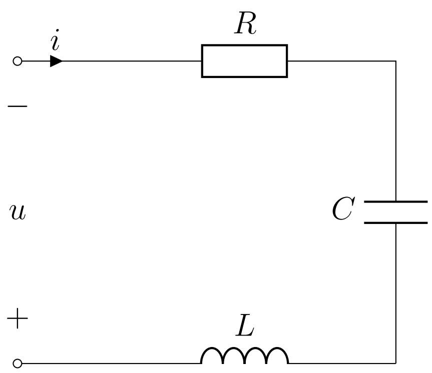
2.2 单一参数交流电路

单一参数交流电路的主要结论

项目		电阻	电容	电感
电阻或阻抗		R	$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$	$X_L = 2\pi fL$
电压与电流的关系	频率	相图	相同	相同
	相位	相同	u 滞后 $i90°$	u 超前 $i90°$
	有效值	$U = RI$	$U = X_C I$	$U = X_L I$
	相量式	$\dot{U} = R\dot{I}$	$\dot{U} = -jX_C\dot{I}$	$\dot{U} = jX_L\dot{I}$
功率	有功功率	$P = UI = R^2 I = \frac{U^2}{R}$	0	0
	无功功率	0	$Q = UI = X_C I^2 = \frac{U^2}{X_C}$	$Q = UI = X_L I^2 = \frac{U^2}{X_L}$

2.3 串联和并联交流电路

2.3.1 串联交流电路



电抗 $X = X_L - X_C$ 阻抗

$$Z = R + jX$$

显然阻抗不是相量，只是一般复数。同样可以写出四种形式：

$$Z = R + jX = |Z|(\cos\varphi + j\sin\varphi) = |Z|\underline{/\varphi} = |Z|e^{j\varphi}$$

其中 $|Z|$ 称为阻抗的模，φ 称为阻抗角。有下式成立：

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2},\ \varphi = \arctan\frac{X}{R} = \arccos\frac{R}{|Z|} = \arcsin\frac{X}{|Z|}$$

电压和电流的关系：

- 有效值：$U = |Z|I$
- 相量式：$\dot{U} = Z\dot{I}$
- 相位关系：$\varphi = \psi_u - \psi_i$

2.3.2 并联交流电路

解法有三种：

- 先求支路电流再求总电流

$$\dot{I} = \sum \dot{I}_i = \sum \frac{\dot{U}}{Z_i}$$

- 先求并联等效阻抗再求总电流

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

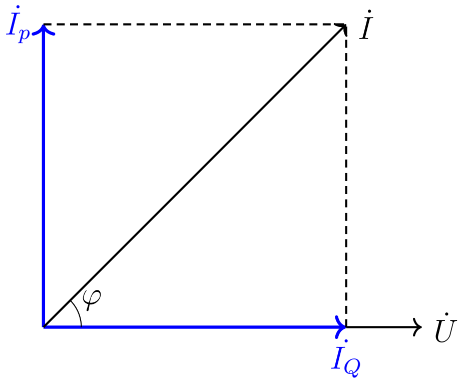
其中

$$\frac{1}{Z} = \sum \frac{1}{Z_i}$$

- 画出向量图，由几何关系求总电流

2.4 交流电路的功率和功率因数

当电流与电压相位不同时，则电流可分解成两个分量，一个与电压同相位，一个与电压相位相差 90°。前者为有功分量，后者为无功分量。如图所示.



显然

$$I_P = Icos\varphi,\ I_Q = Isin\varphi$$

有功功率，无功功率和视在功率分别为

$$P = UI_P = UIcos\varphi,\ Q = UI_Q = UIsin\varphi,\ S = UI$$

其单位分别为瓦 W，乏 var，伏安 V · A. 三种功率之间的关系为

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

$$P = S\cos\varphi$$

$$Q = S\sin\varphi$$

总功率与各部分功率之间的关系为

$$P = \sum P_i,\ Q = \sum Q_i,\ S \neq \sum S_i$$

在交流电路总，有用功率与视载功率的比值用 λ 来表示，称为电路的功率因数。

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

功率因数过大引起的问题：

- 降低供电设备的利用率
- 增加供电设备和输电线路的功率损耗

并联电容提高感性电路的功率因数的电容求解方法:

例 2.1. 有一感性负载接到交流电上频率为 f, 电压为 U, 功率因数为 λ_L, 消耗有用功为 P, 若要将功率因数提高到 λ 求并联电容 C 的大小。

解法一 通过无功功率的变化

未并联电容时, 有功率因数为 λ_L, 则

$$\varphi_L = \arccos \lambda_L$$

$$S_L = \frac{P}{\cos \lambda_L}$$

$$Q_L = S_L \sin \varphi_L$$

并入电容后, 有功率因数为 λ, 则

$$\varphi = \arccos \lambda$$

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

$$Q = S \sin \varphi$$

减少的无功功率是由并联的电容提供的, 故电容的无功功率绝对值为

$$|Q_C| = |Q - Q_L|$$

电容中的电流为

$$I_C = \frac{|Q_C|}{U}$$

即可计算出需要的容抗和电容

$$X_C = \frac{U}{I_C},\ C = \frac{1}{2\pi f X_C}$$

解法二 通过电流无功分量的变化

未并联电容时

$$I_L = \frac{P}{U \cos \varphi_L}$$

$$\varphi_L = \arccos \lambda_L$$

电流的无功分量为

$$I_{QL} = I_L \sin \varphi_L$$

并入电容后，有功率因数为 λ，则

$$\varphi = \arccos \lambda$$

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi}$$

电流的无功分量为

$$I_Q = I \sin \varphi$$

电容中的电流为

$$I_C = I_{QL} - I_Q = I_L \sin \varphi_L - I \sin \varphi$$

后续步骤同解法一

解法三 直接带入公式

由上述两种解法可推导出并联电容的公式为

$$C = \frac{P}{2\pi f U^2}(\tan \varphi_L - \tan \varphi)$$

2.5 电路中的谐振

使用交流电流中当电路中的电感和电容的电抗相等时，电路中的电流和电压的幅值达到最大值，这种现象称为谐振。

品质因数 Q 值是描述谐振现象的一个重要参数。

$$Q_f = \frac{|Q_L \text{ or } Q_C|}{P}$$

串联谐振特点:

- Q_L 与 Q_C 相互补偿，$Q=0,S=P,\lambda=1$
- X_L 与 X_C 数值相等，$X=0$,$Z=R$ 最小,$I=\frac{U}{R}$ 最大
- U_L 与 U_C 相互抵消，$U_X=0,U=U_R$
- $Q_f=\frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$

并联谐振特点:

- Q_L 与 Q_C 相互补偿，$Q=0,S=P,\lambda=1$
- X_L 与 X_C 数值相等，$X=0$,$Z_{LC}=\frac{-\mathrm{j}X_C\cdot\mathrm{j}X_C}{\mathrm{j}X_C-\mathrm{j}X_C}\to\infty$,$Z=R$ 最大
- I_L 与 I_C 相互抵消，$I_X=0,I=I_R$
- $Q_f=\frac{1}{R}\sqrt{\frac{C}{L}}$

3 供电与用电