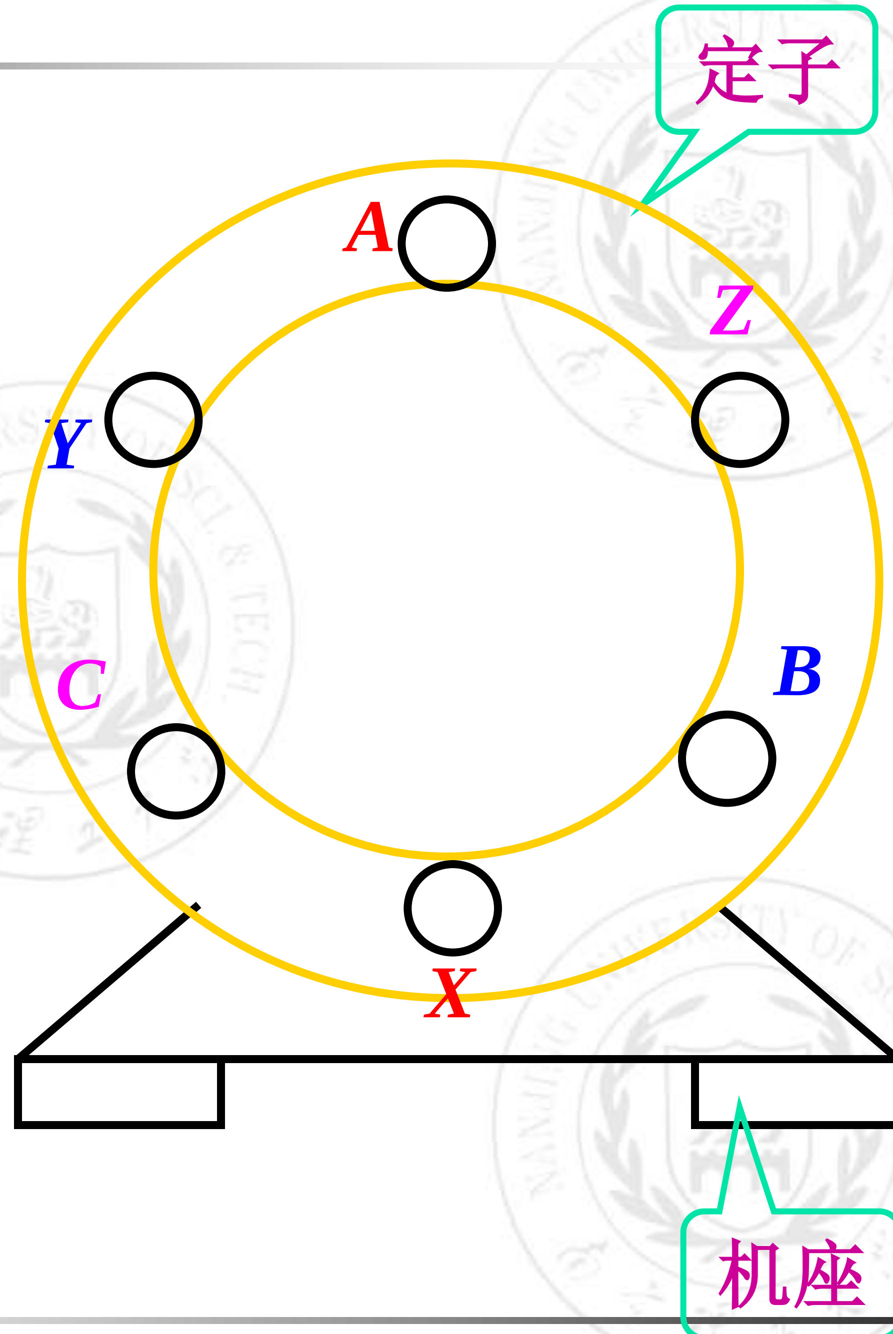
目　录

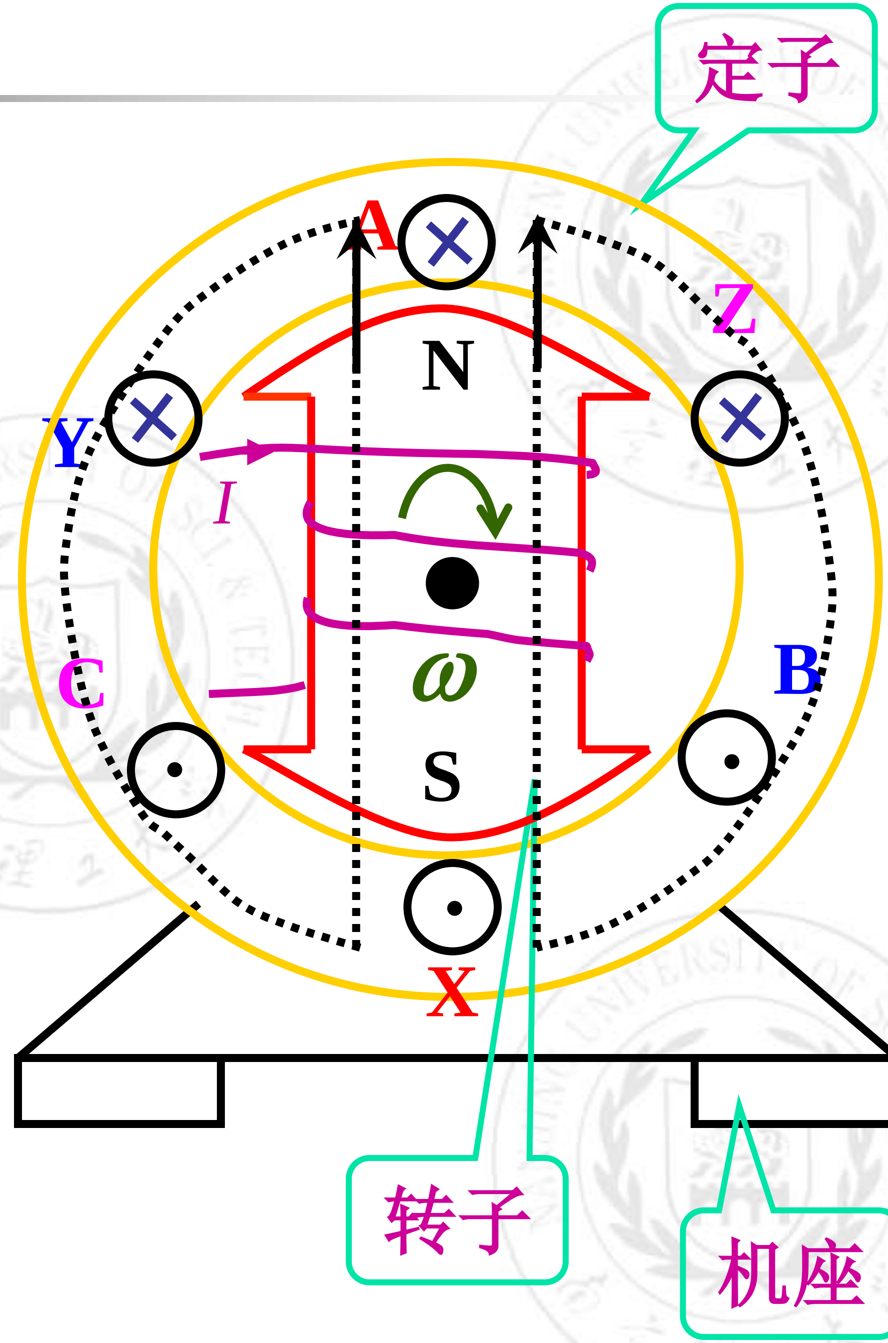
三相电动势的产生

- 三个定子绕组AX、BY和CZ对称地安放在定子铁心的内圆周的槽中

- A、B、C为首端；X、Y、Z为末端。三绕组在空间上彼此间隔120°



转子是旋转的电磁铁。它的铁心上绕有励磁绕组。选择合适的铁心端面形状和励磁绕组分布规律，使励磁绕组中通以直流时，产生在转子和定子间气隙中的磁感应强度，沿圆周按**正弦规律**分布。当转子恒速旋转时，AX、BY、CZ 三绕组的两端将分别感应**振幅相等、频率相同**的三个正弦电压$u_A(t)$、$u_B(t)$、$u_C(t)$。如果指定它们的参考方向都由首端指向末端，则它们的**初相互相差120°**。

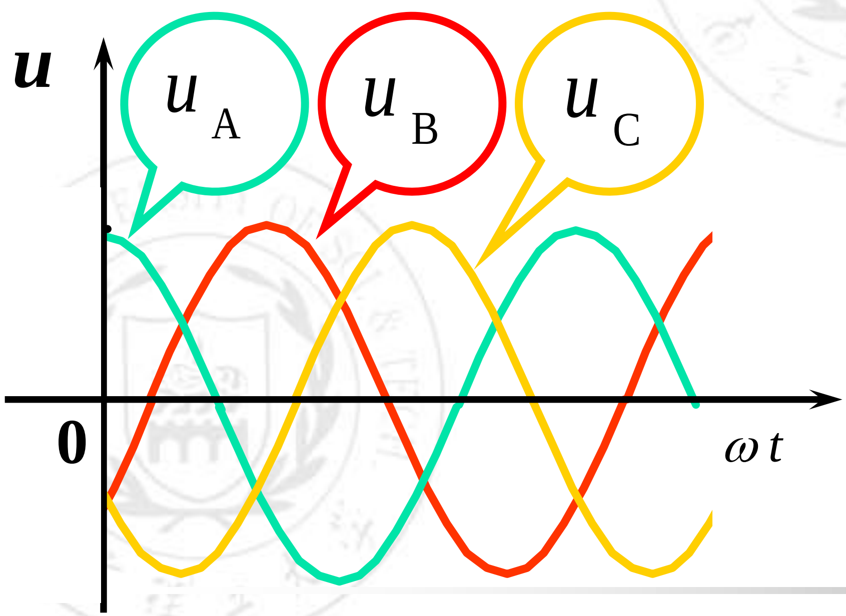


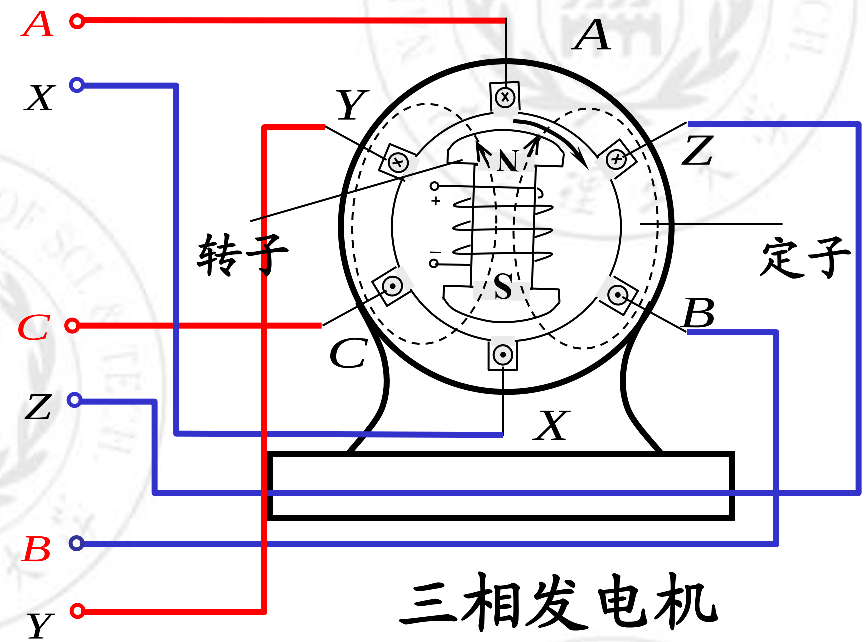
三相电动势的产生

$$u_A = U_m \cos\omega t$$

$$u_B = U_m \cos(\omega t - 120^\circ)$$

$$u_C = U_m \cos(\omega t - 240^\circ) = U_m \cos(\omega t + 120^\circ)$$



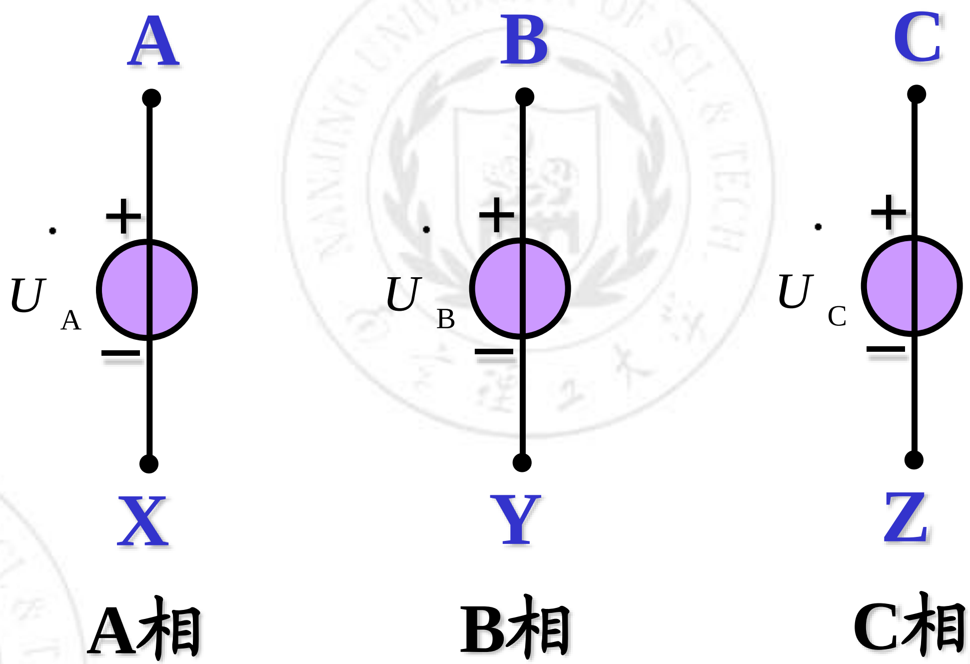


三相发电机

三个正弦电源幅度、频率相同，但相位各相差 120 º

三相电压

- 若将一组对称三相电压作为一组电源的输出，则构成一组对称三相电源



- A、B、C为始端，X、Y、Z为末端

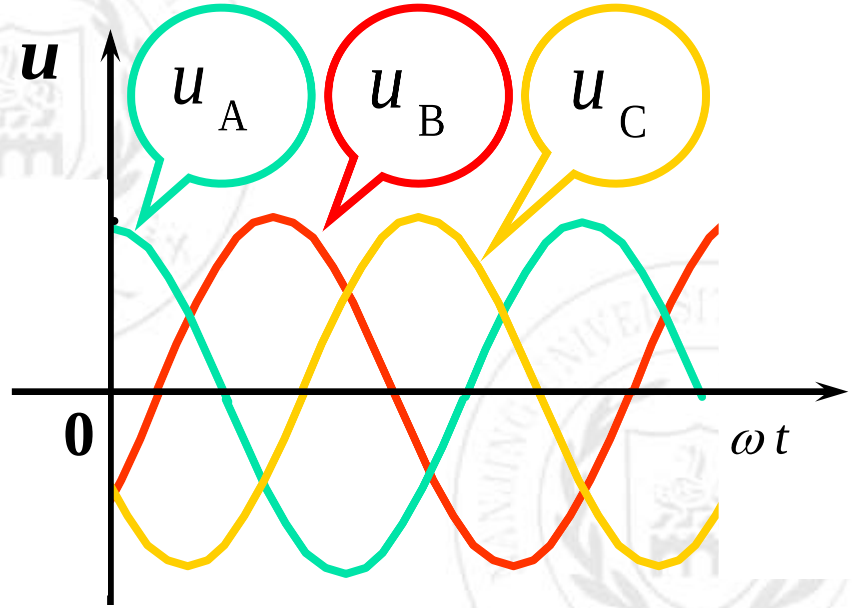
三相电压

- 有效值相量表示为:

$$u_A = U_m \cos\omega t \Rightarrow \dot{U}_A = U\angle 0^\circ$$

$$u_B = U_m \cos(\omega t - 120^\circ) \Rightarrow \dot{U}_B = U\angle -120^\circ$$

$$u_C = U_m \cos(\omega t + 120^\circ) \Rightarrow \dot{U}_C = U\angle -240^\circ = U\angle 120^\circ$$

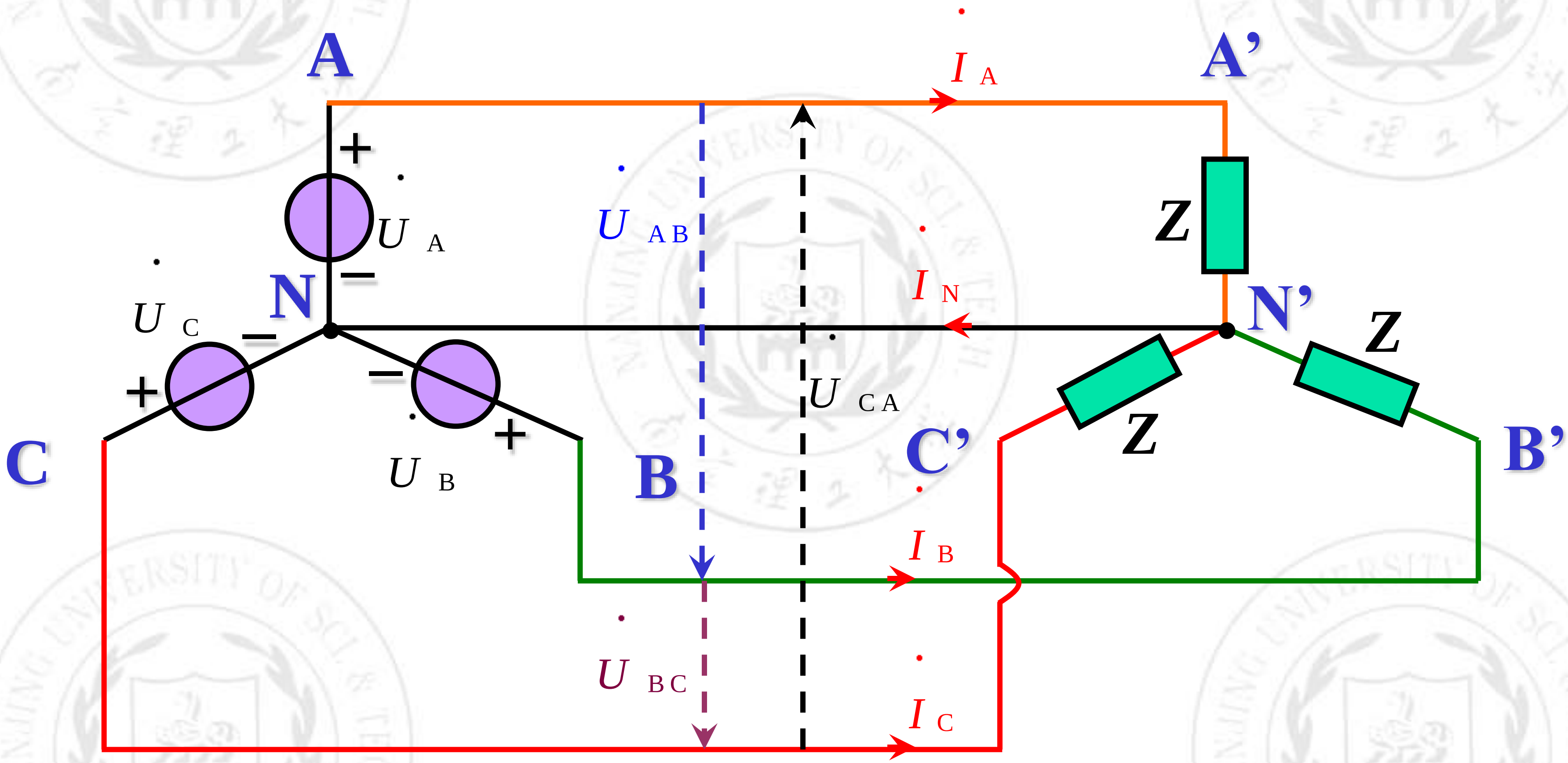


$$u_A + u_B + u_C = 0$$

$$\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0$$

- 对称三相电压到达正（负）最大值的先后次序
  - A→B→C→A: 顺序
  - A→C→B→A: 逆序
- 本章无特殊说明，三相电源的相序均是顺序

对称三相电路的星形联结



常用术语

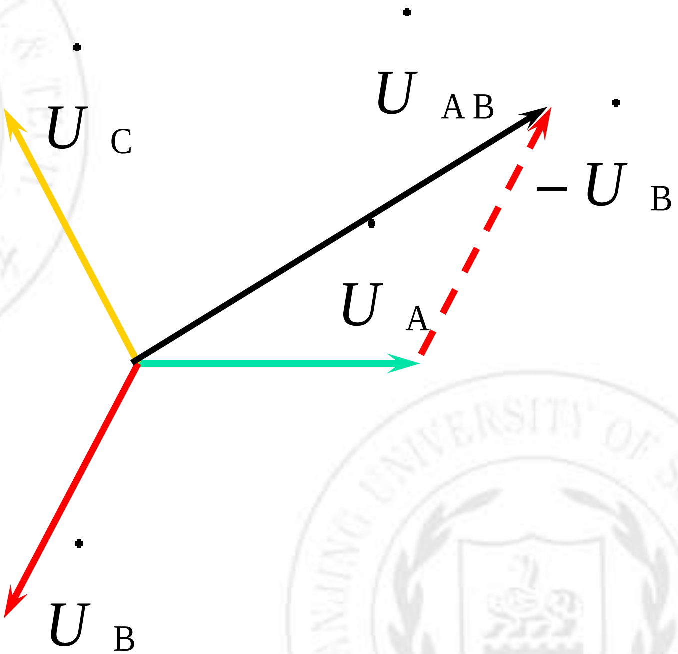
- 端线：由电源始端引出的联接线
- 中线：联接N、N’的联接线
- 相电压：每相电源（负载）的端电压
- 线电压：两端线之间的电压
- 相电流：流过每相电源（负载）的电流
- 线电流：流过端线的电流
- 中线电流：流过中线的电流

线电压与相电压的关系

$$\dot{U}_{AB}=\dot{U}_{A}-\dot{U}_{B}=\dot{U}_{A}(1-1\angle-120^{\circ})=\sqrt{3}\angle30^{\circ}\dot{U}_{A}$$

$$\dot{U}_{BC}=\dot{U}_{B}-\dot{U}_{C}=\sqrt{3}\angle30^{\circ}\dot{U}_{B}$$

$$\dot{U}_{CA}=\dot{U}_{C}-\dot{U}_{A}=\sqrt{3}\angle30^{\circ}\dot{U}_{C}$$



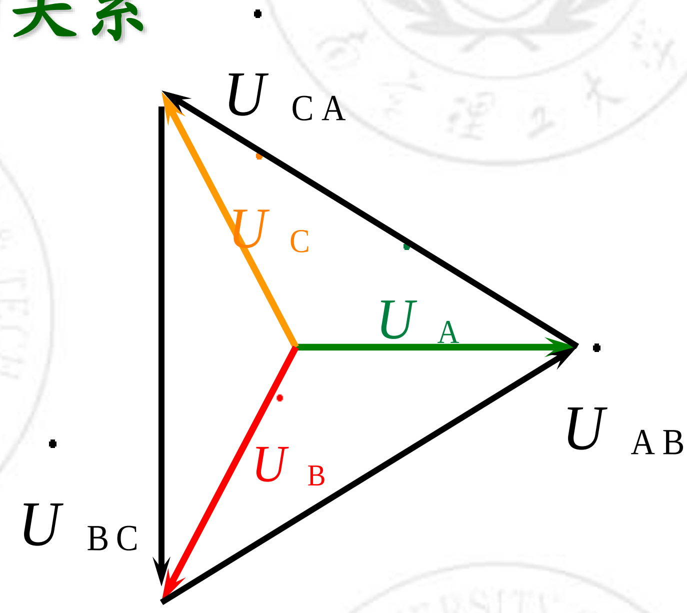
对称三相电路的星形联接

线电压与相电压的关系

- 相电压对称，线电压也对称

- $U_l = \sqrt{3} U_P$

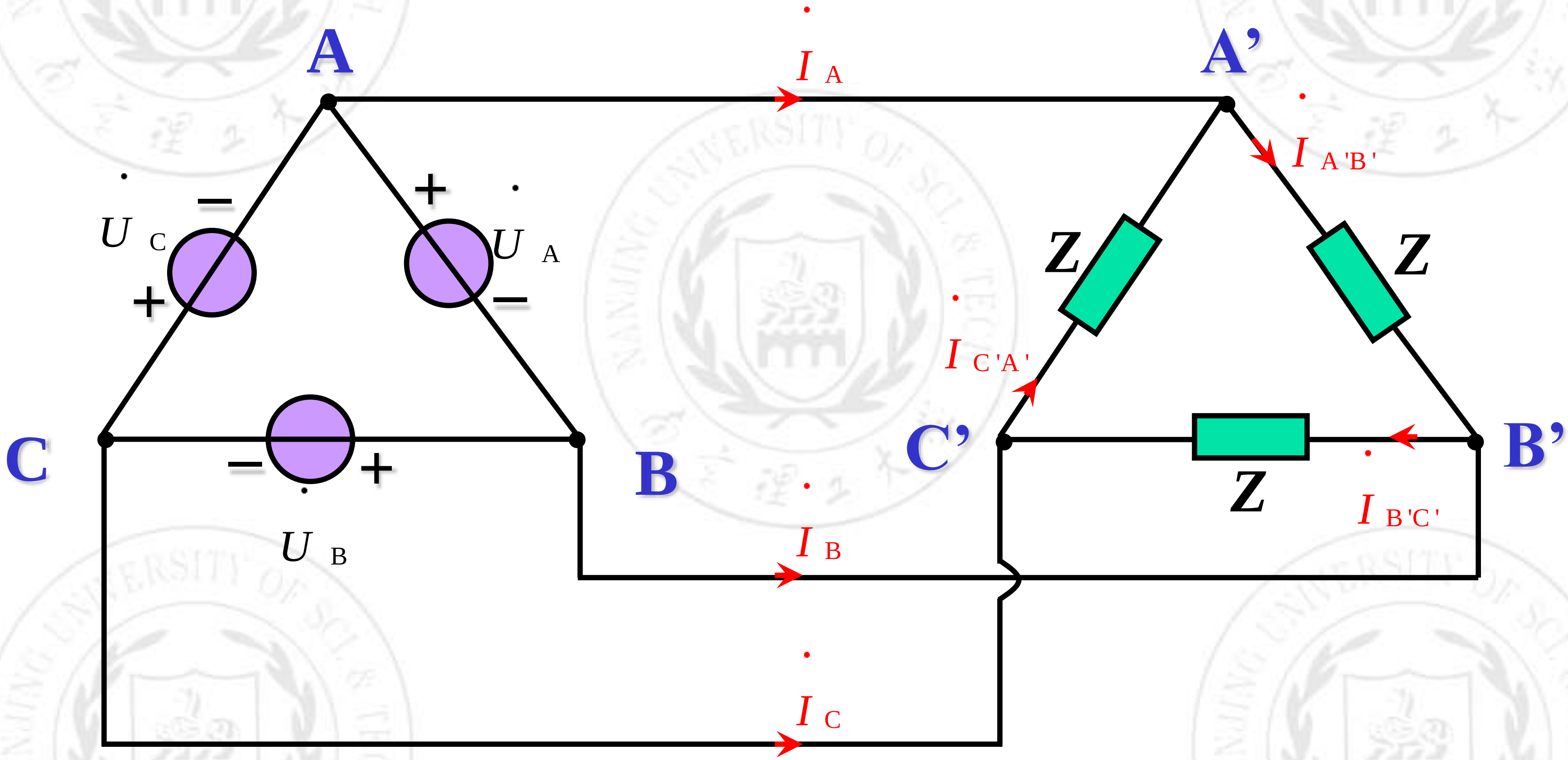
- 线电压超前对应相电压 30°



线电流与相电流的关系

$$I_l = I_p$$

对称三相电路的三角形联结



$\dot{U}_l = \dot{U}_p$

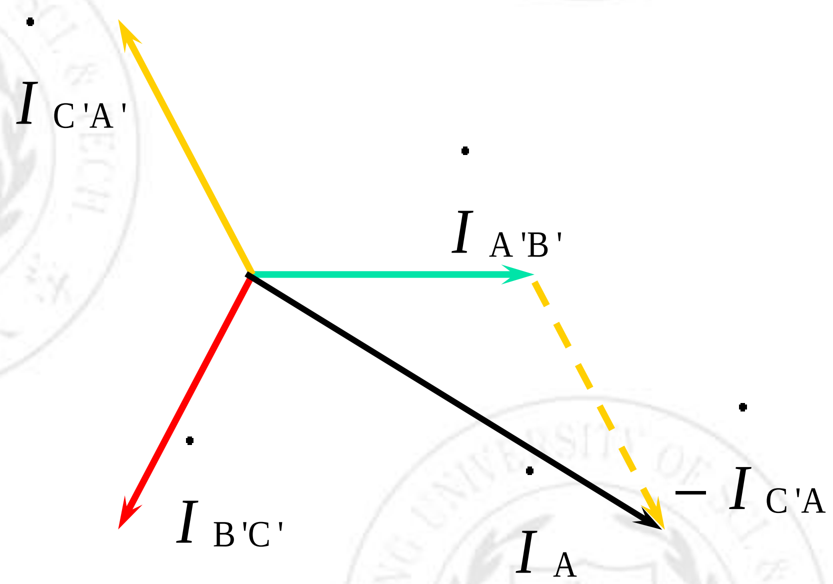
对称三相电路的三角形联接

线电流与相电流的关系

$$\dot{I}_{A} = \dot{I}_{A'B'} - \dot{I}_{C'A'} = \sqrt{3}\angle -30^{\circ}\,\dot{I}_{A'B'}$$

$$\dot{I}_{B} = \dot{I}_{B'C'} - \dot{I}_{A'B'} = \sqrt{3}\angle -30^{\circ}\,\dot{I}_{B'C'}$$

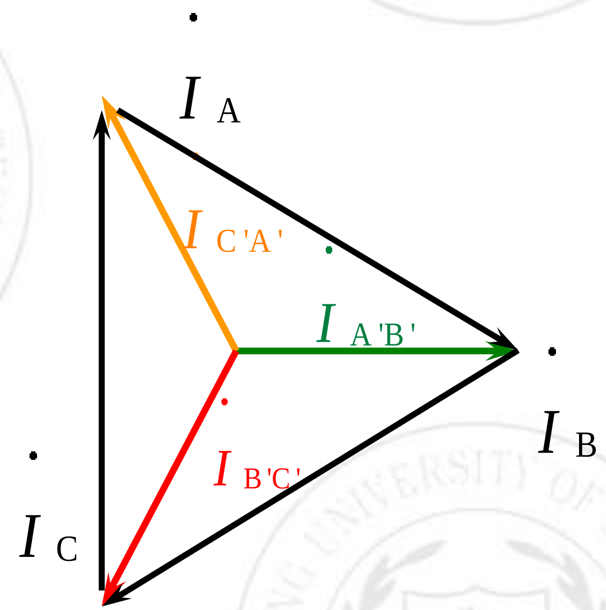
$$\dot{I}_{C} = \dot{I}_{C'A'} - \dot{I}_{B'C'} = \sqrt{3}\angle -30^{\circ}\,\dot{I}_{C'A'}$$



对称三相电路的三角形联接

线电流与相电流的关系

- 相电流对称，线电流也对称
- $I_l = \sqrt{3} I_P$
- 线电流滞后对应相电流 30°

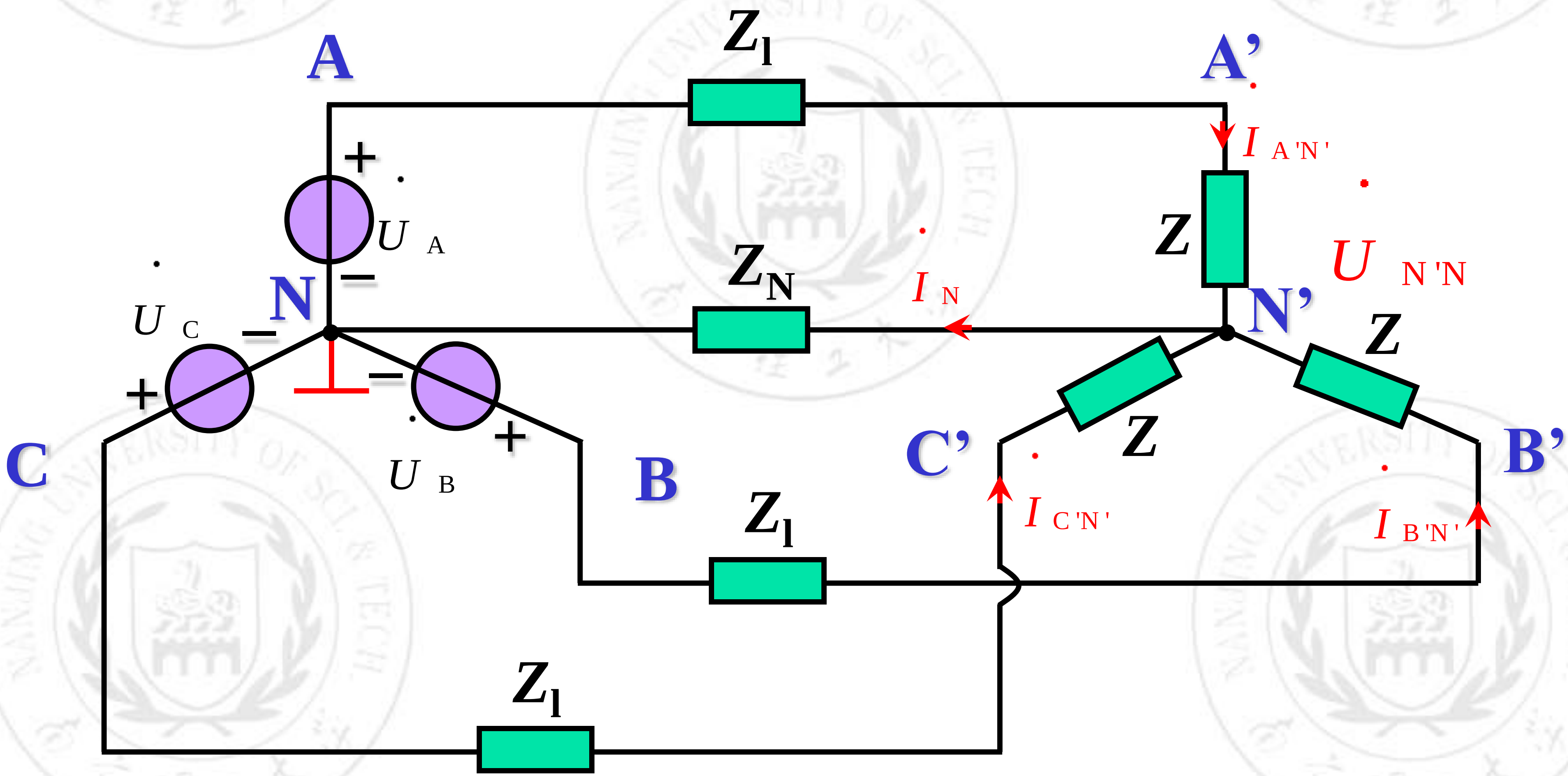


- 工程上根据线电压和负载额定工作电压决定联结方式
- $Y-Y$；$\Delta-\Delta$；$Y-\Delta$；$\Delta-Y$
- 我国供电系统线电压为380V，相电压为220V，用电负载应按额定电压要求决定其联结方式

(对称三相电路)星形联结

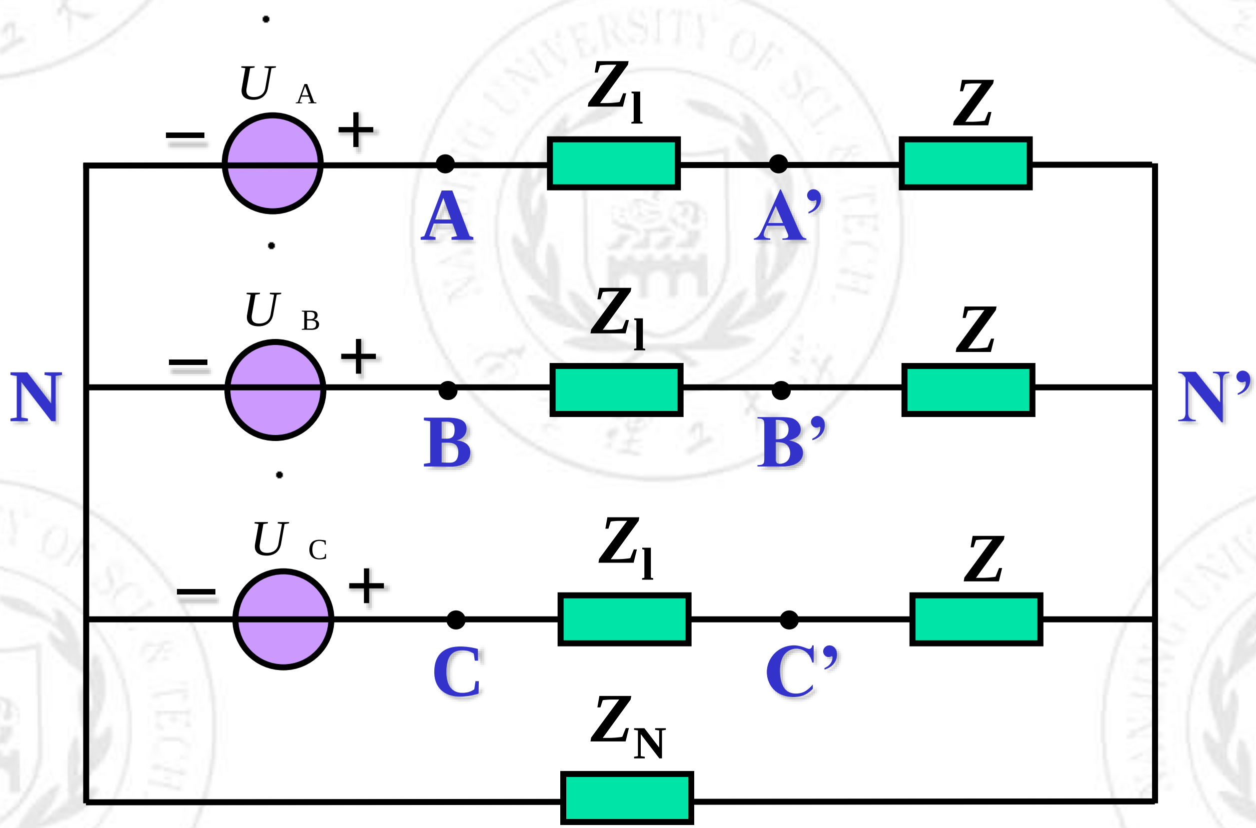
1. 三相四线制

- 求负载的相电流和相电压(其中Z_l为端线间阻抗)



对称三相电路星形联结的等效电路

1. 三相四线制



（对称三相电路）星形联结

1. 三相四线制

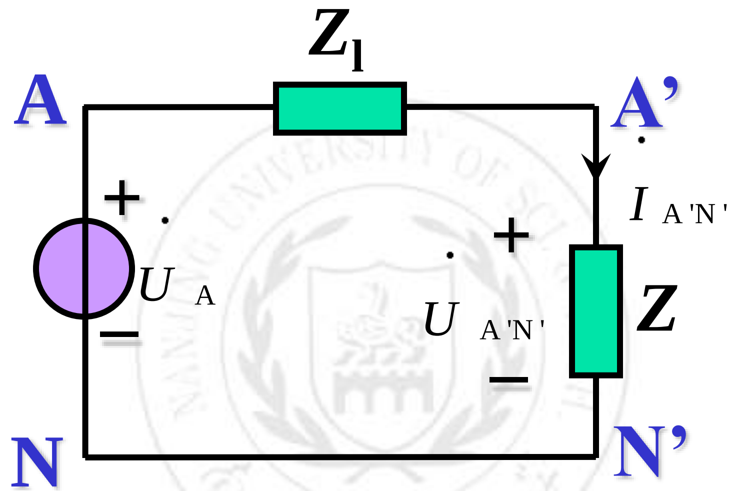
$$\dot{U}_{N'N}=\frac{\dfrac{\dot{U}_A}{Z+Z_l}+\dfrac{\dot{U}_B}{Z+Z_l}+\dfrac{\dot{U}_C}{Z+Z_l}}{\dfrac{1}{Z+Z_l}+\dfrac{1}{Z+Z_l}+\dfrac{1}{Z+Z_l}+\dfrac{1}{Z_N}}=\frac{\dfrac{1}{Z+Z_l}(\dot{U}_A+\dot{U}_B+\dot{U}_C)}{\dfrac{3}{Z+Z_l}+\dfrac{1}{Z_N}}=0$$

$$Z_l\dot{I}_{A'N'}+Z\dot{I}_{A'N'}+\dot{U}_{N'N}=\dot{U}_A$$

$$\therefore\ \dot{I}_{A'N'}=\frac{\dot{U}_A}{Z_l+Z},\quad \dot{U}_{A'N'}=Z\dot{I}_{A'N'}=\frac{Z}{Z+Z_l}\dot{U}_A$$

（对称三相电路）星形联结

1. 三相四线制



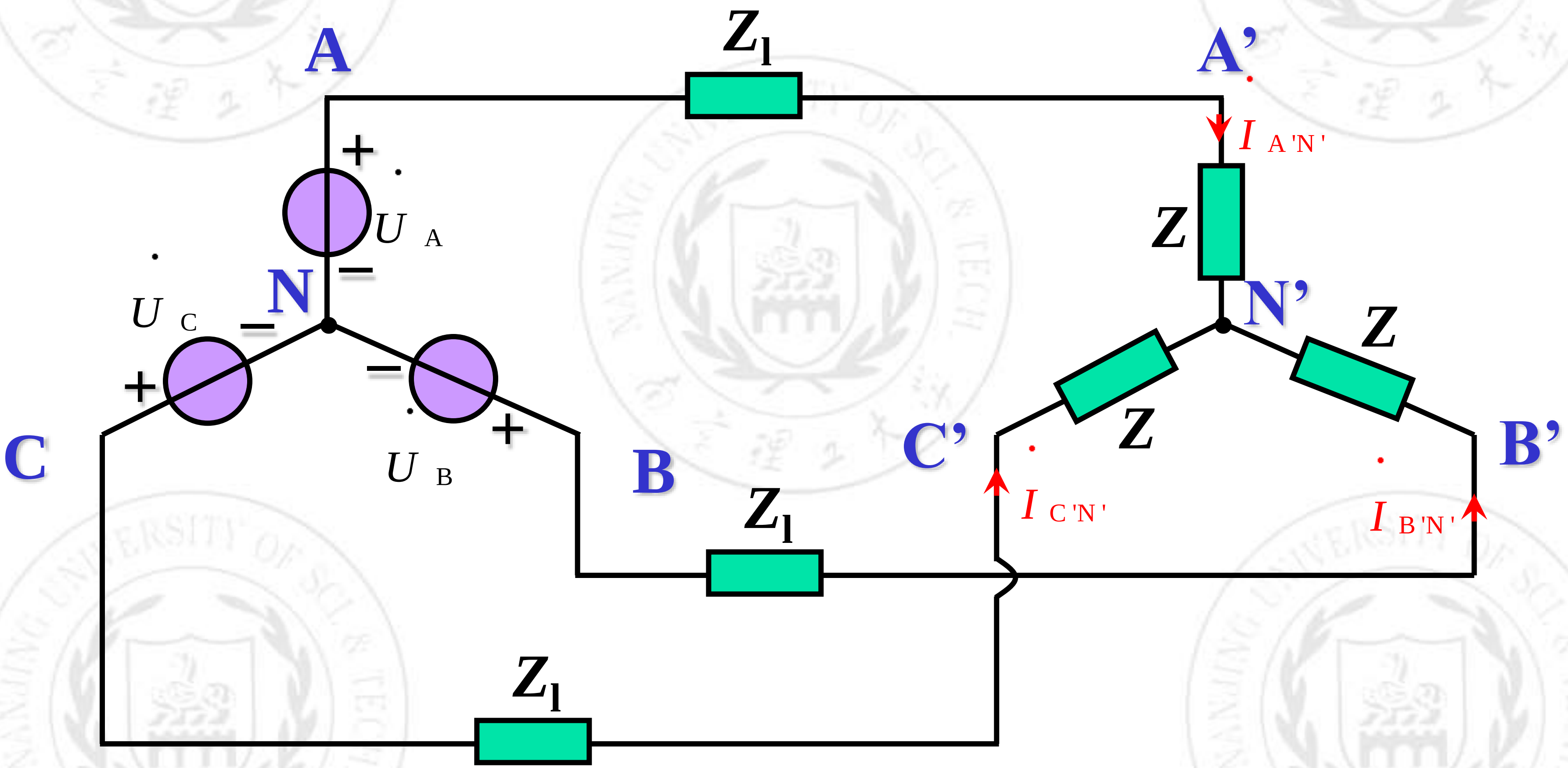
- 一相计算等效电路
- 中线阻抗不起作用

$$\dot{I}_{B'N'} = \dot{I}_{A'N'} \angle -120^\circ, \dot{I}_{C'N'} = \dot{I}_{A'N'} \angle 120^\circ$$

$$\dot{U}_{B'N'} = \dot{U}_{A'N'} \angle -120^\circ, \dot{U}_{C'N'} = \dot{U}_{A'N'} \angle 120^\circ$$

（对称三相电路）星形联结

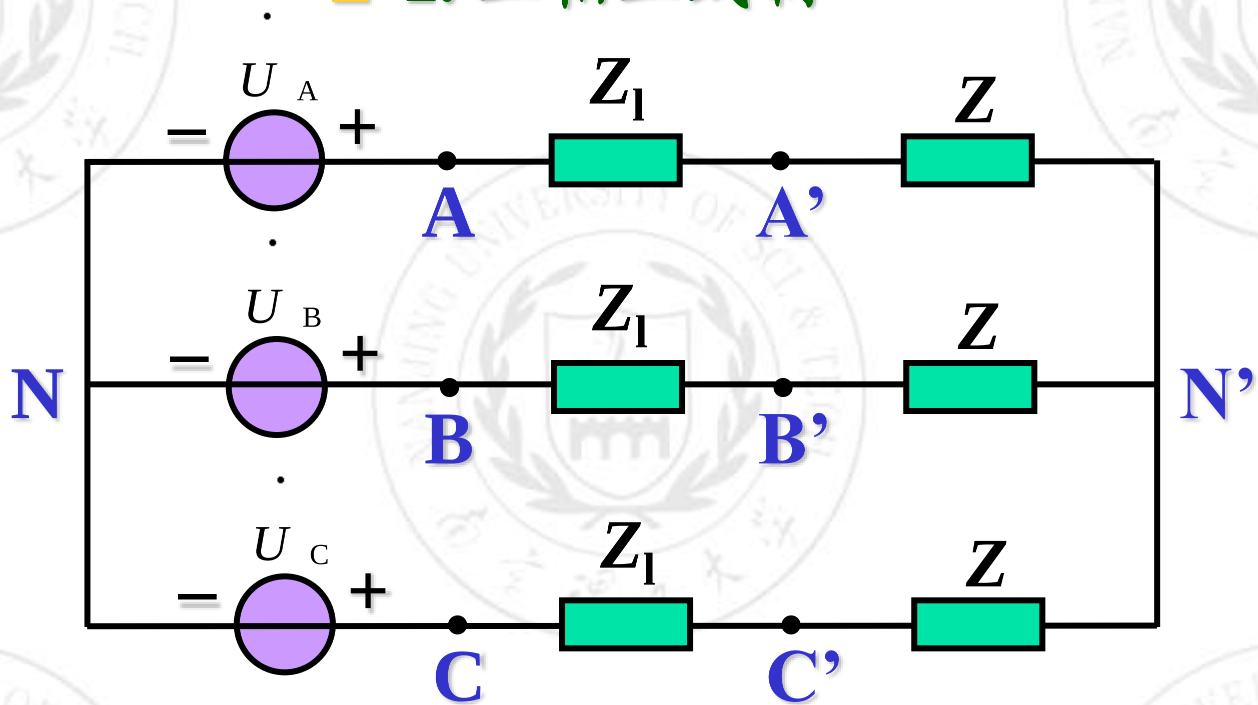
2. 三相三线制



$\dot{U}_{N'N} = 0$，其余与四线相同

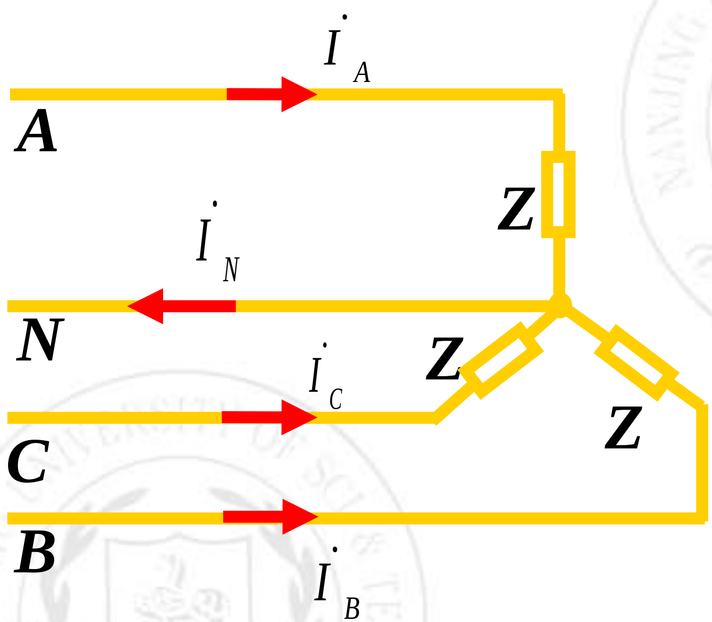
对称三相电路星形联结的等效电路

2. 三相三线制



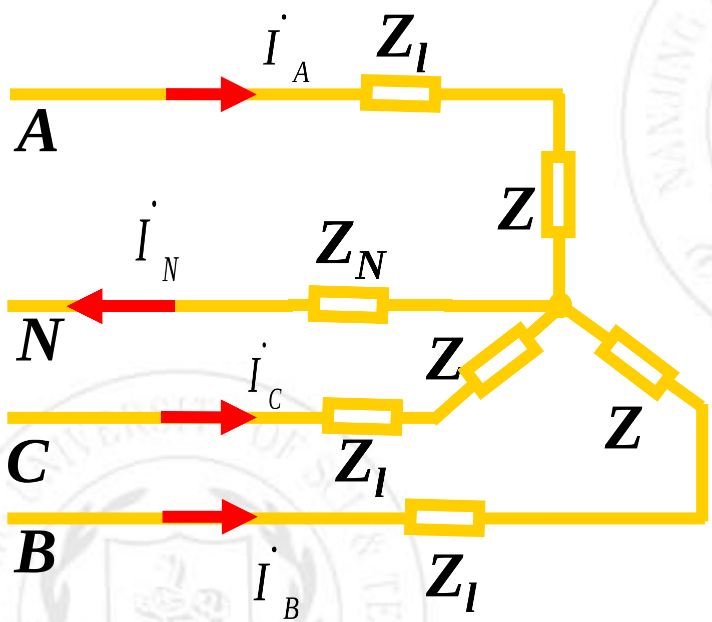
- 星形联结的对称三相电路（三相四线制）（三相三线制）：抽出一相进行计算（中线阻抗不起作用），其余两相利用对称关系得到

已知三相对称电源线电压：$U_l = 380V$，对称三相星形负载：$Z = 3 + j4\Omega$，求各线电流。



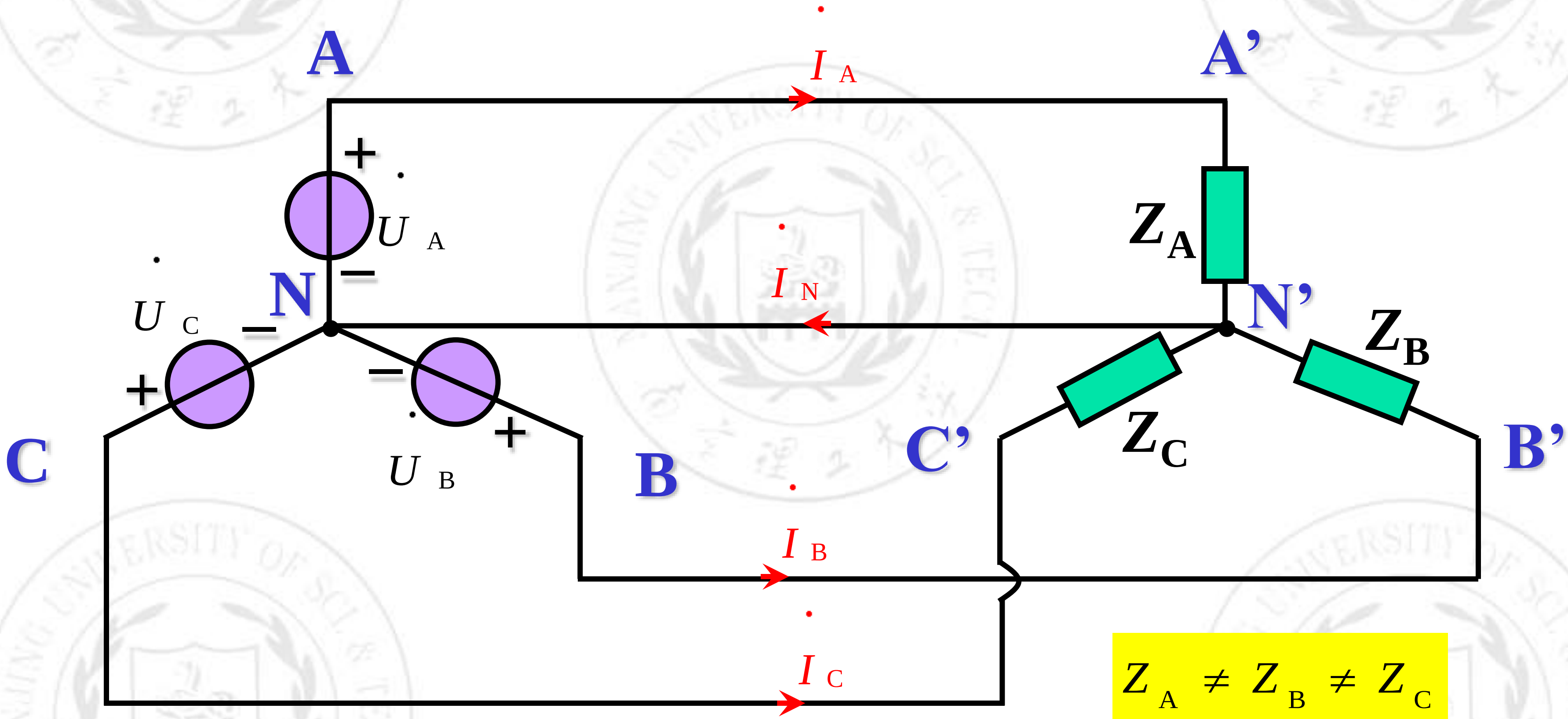
例题

已知三相对称电源线电压：$U_l=380V$，对称三相星形负载：$Z=3+j4\Omega$，端线阻抗：$Z_l=2+j1\Omega$，中线阻抗：$Z_N=3+j3\Omega$，求各线电流。



（不对称三相电路）星形联结

1. 三相四线制

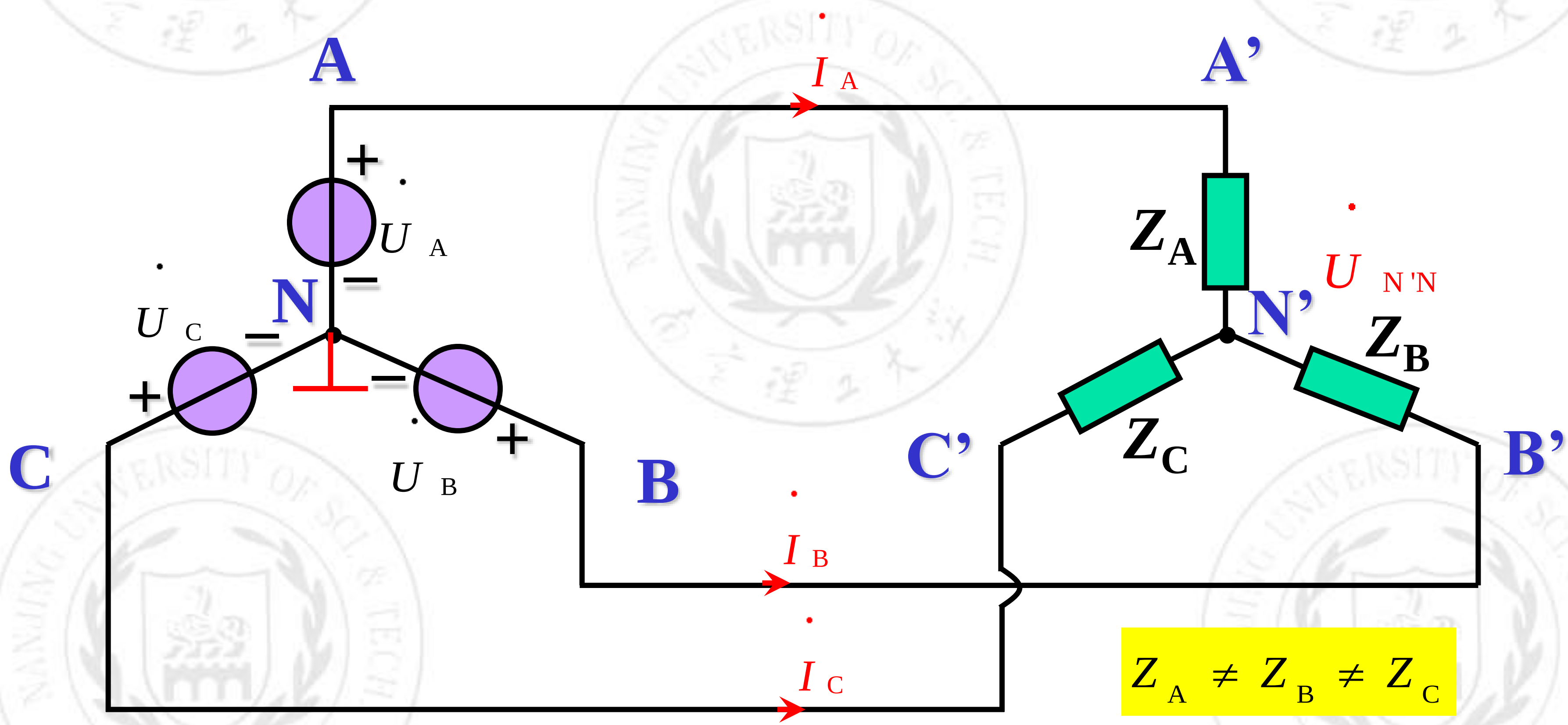


$Z_A \neq Z_B \neq Z_C$

特点：三相相互独立，互不影响（形成各自的独立回路）

（不对称三相电路）星形联结

2. 三相三线制

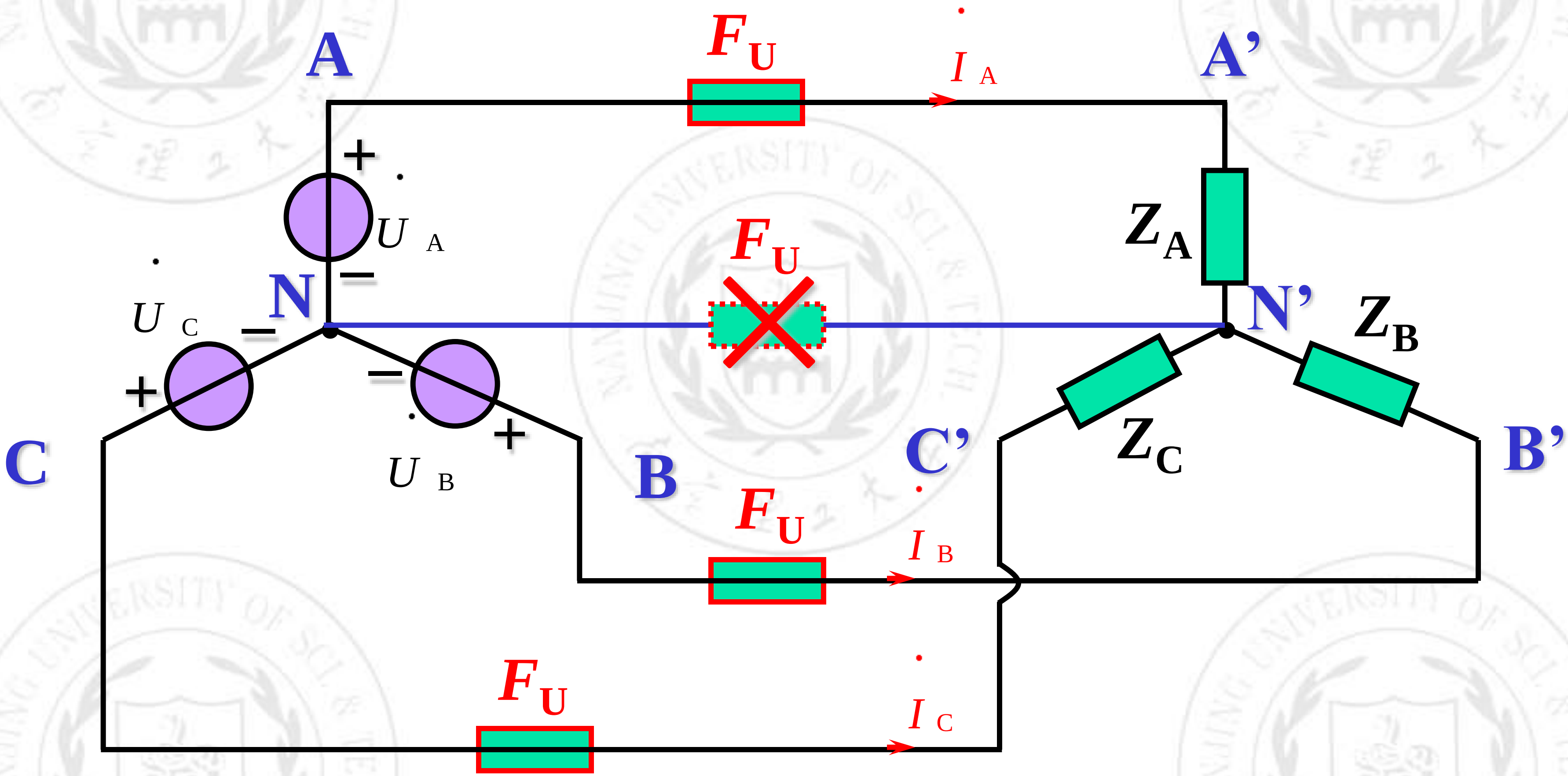


$$Z_A \neq Z_B \neq Z_C$$

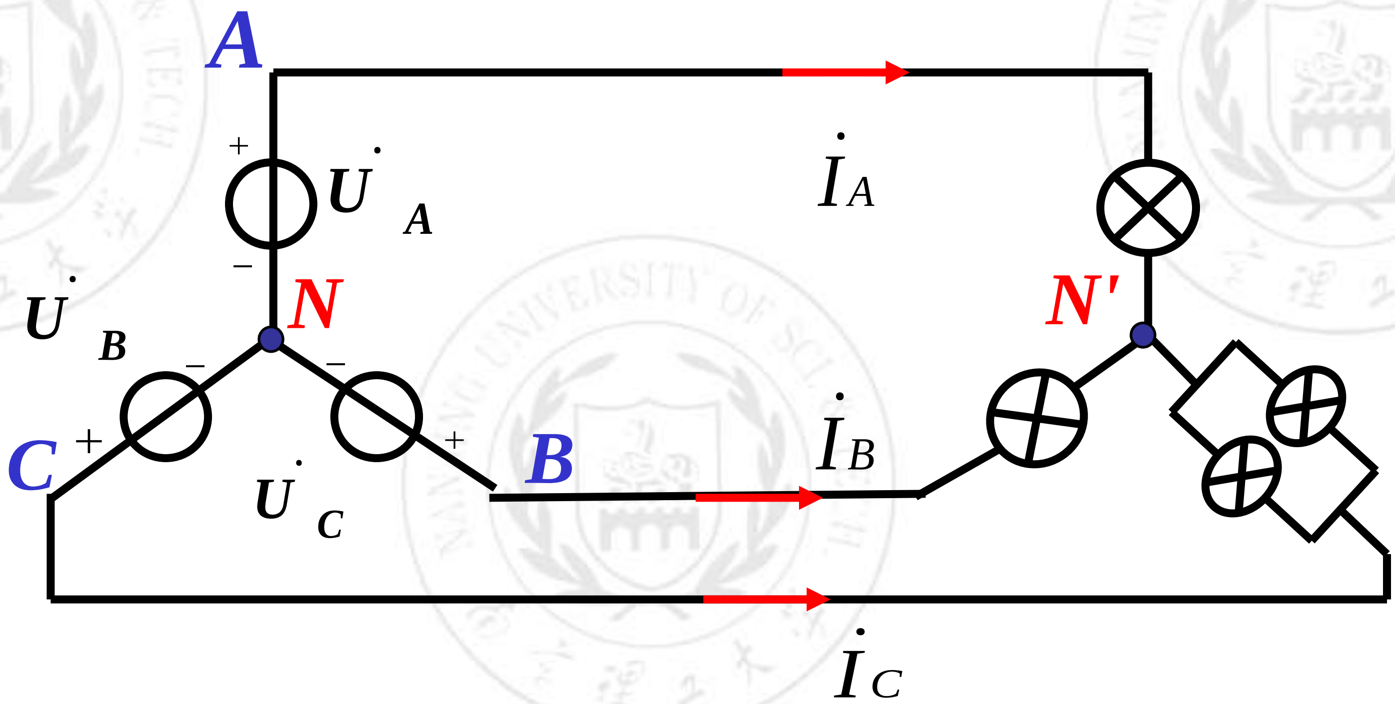
三相负载不对称的星形联结

- 无中线情况：虽然电源线电压对称，但由于没有中线，负载相电压将不能保证对称!
- 负载不对称而又没有中线时，负载上可能得到大小不等的电压，有的超过用电设备的额定电压，有的达不到额定电压，都不能正常工作。比如，照明电路中各相负载不能保证完全对称，所以绝对不能采用三相三线制供电，而且必须保证中（零）线可靠
- 为了确保中（零）线在运行中不断开，其上不允许接任何断路器（保险丝、刀闸等）

（不对称三相电路）星形联结



- 三相四线制配电系统中，保险丝**不能**装在中线上



已知:

$$\dot{U}_A = 220\angle 0^\circ \ \text{V}$$

$$\dot{U}_B = 220\angle -120^\circ \ \text{V}$$

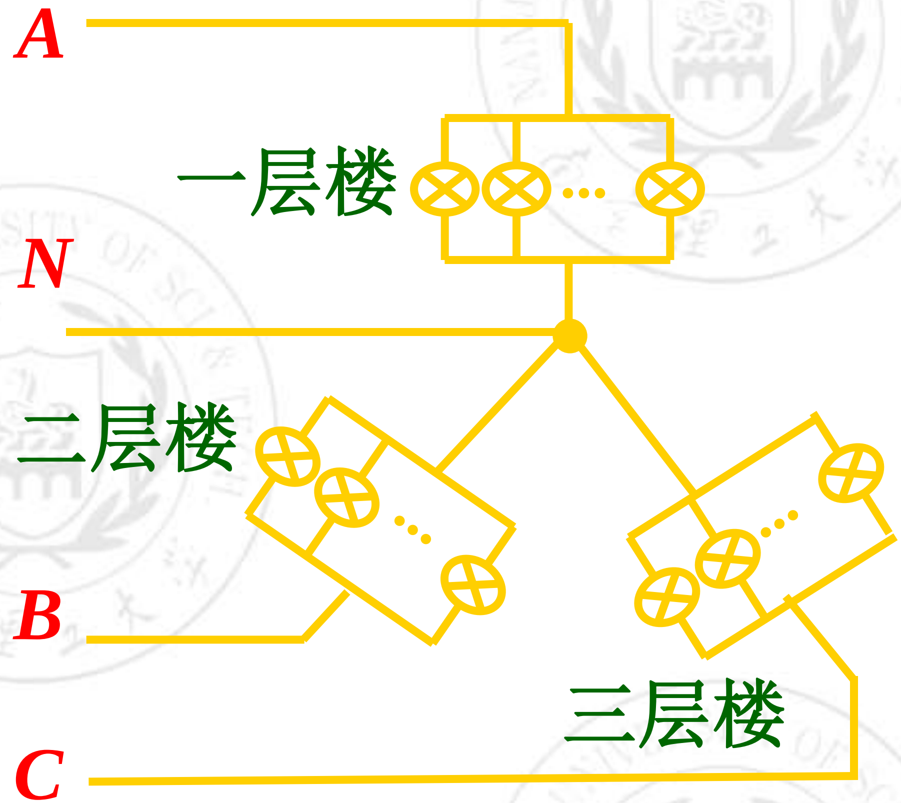
$$\dot{U}_C = 220\angle 120^\circ \ \text{V}$$

每盏灯的额定值为:
220V、 100W

求：各相电流。

应用实例----照明电路

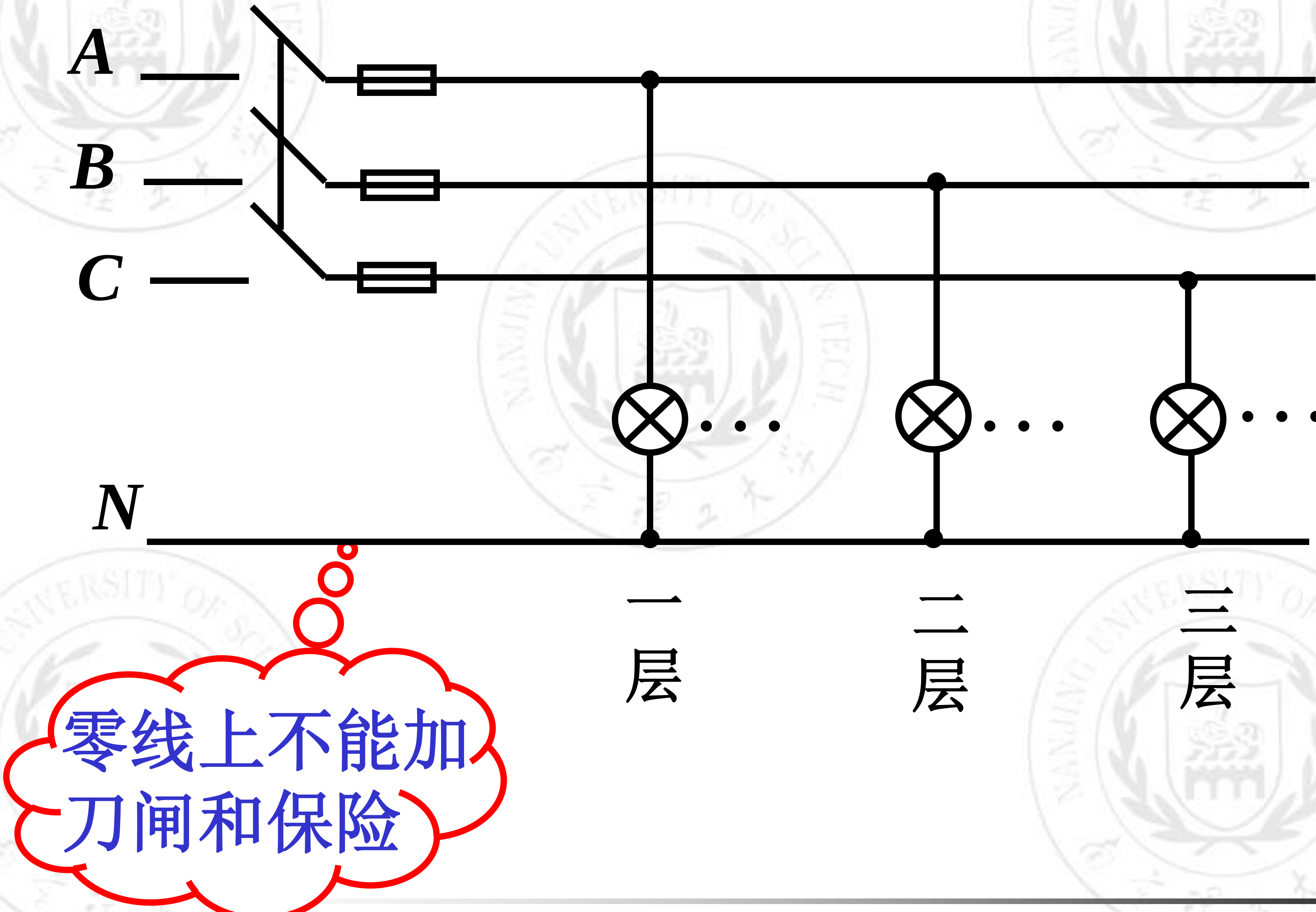
正确接法：每层楼的灯相互并联，然后分别接至各相电压上。设电源电压为：



$$U_l / U_P = 380/220 \text{ V}$$

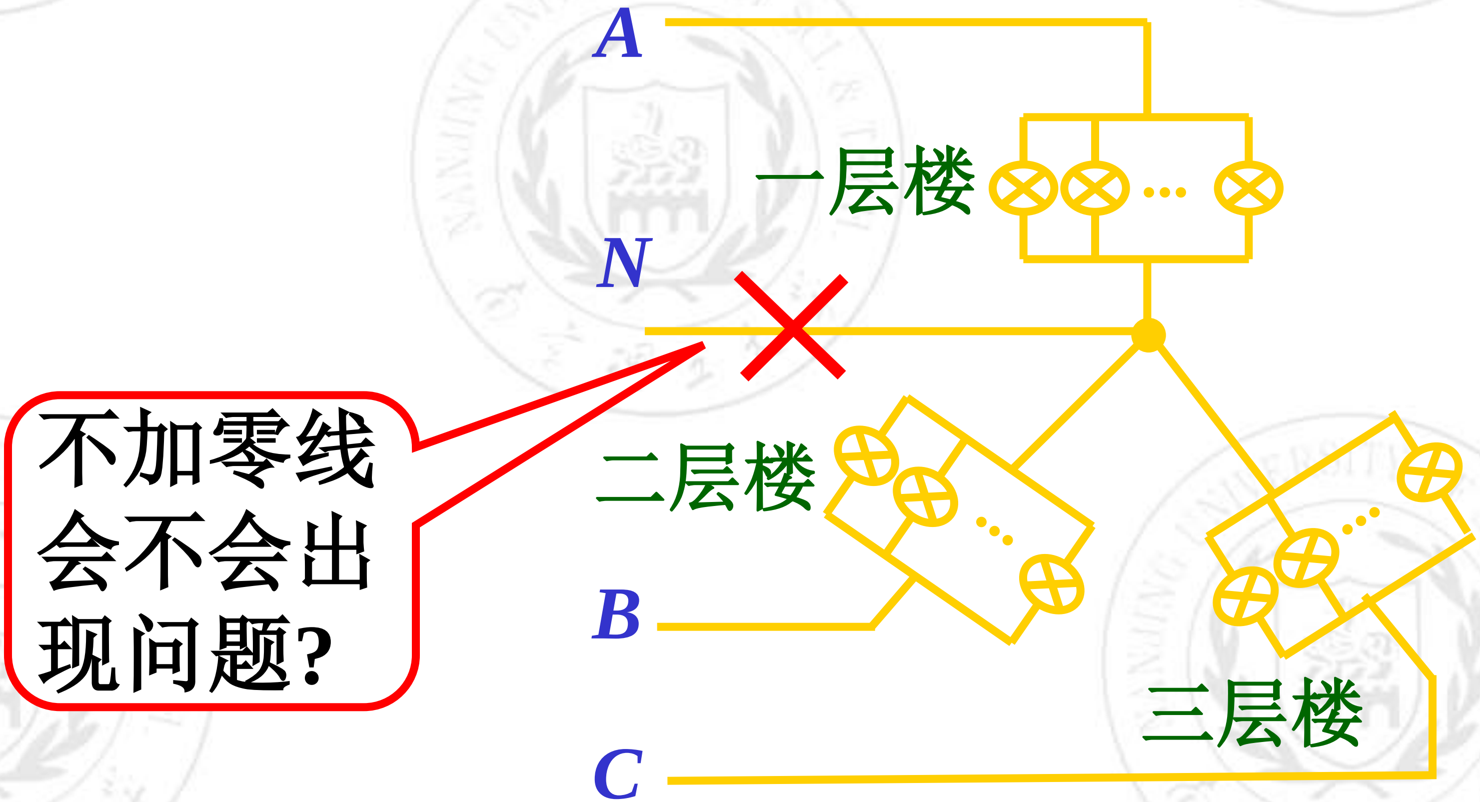
则每盏灯上都可**得到额定的工作电压220V**。

照明电路的一般画法

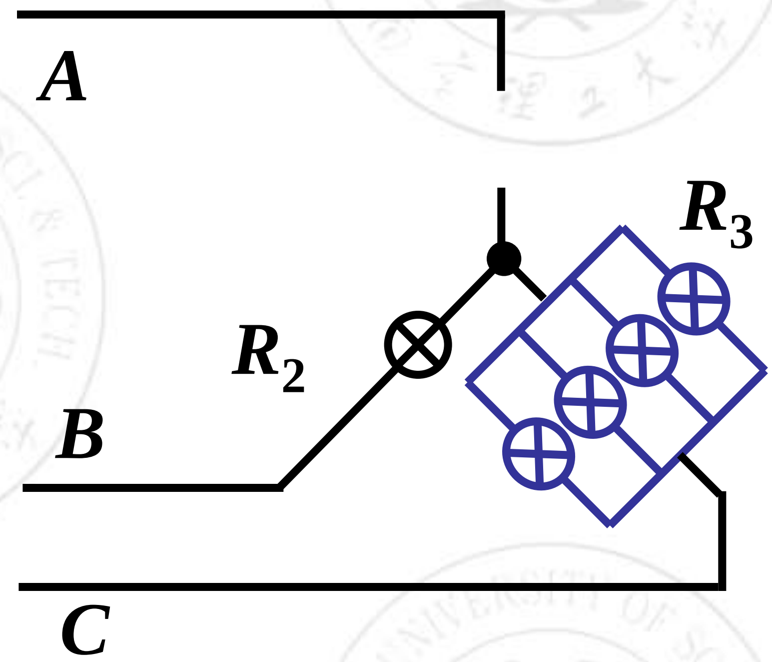


讨论

照明电路能否采用三相三线制供电方式?

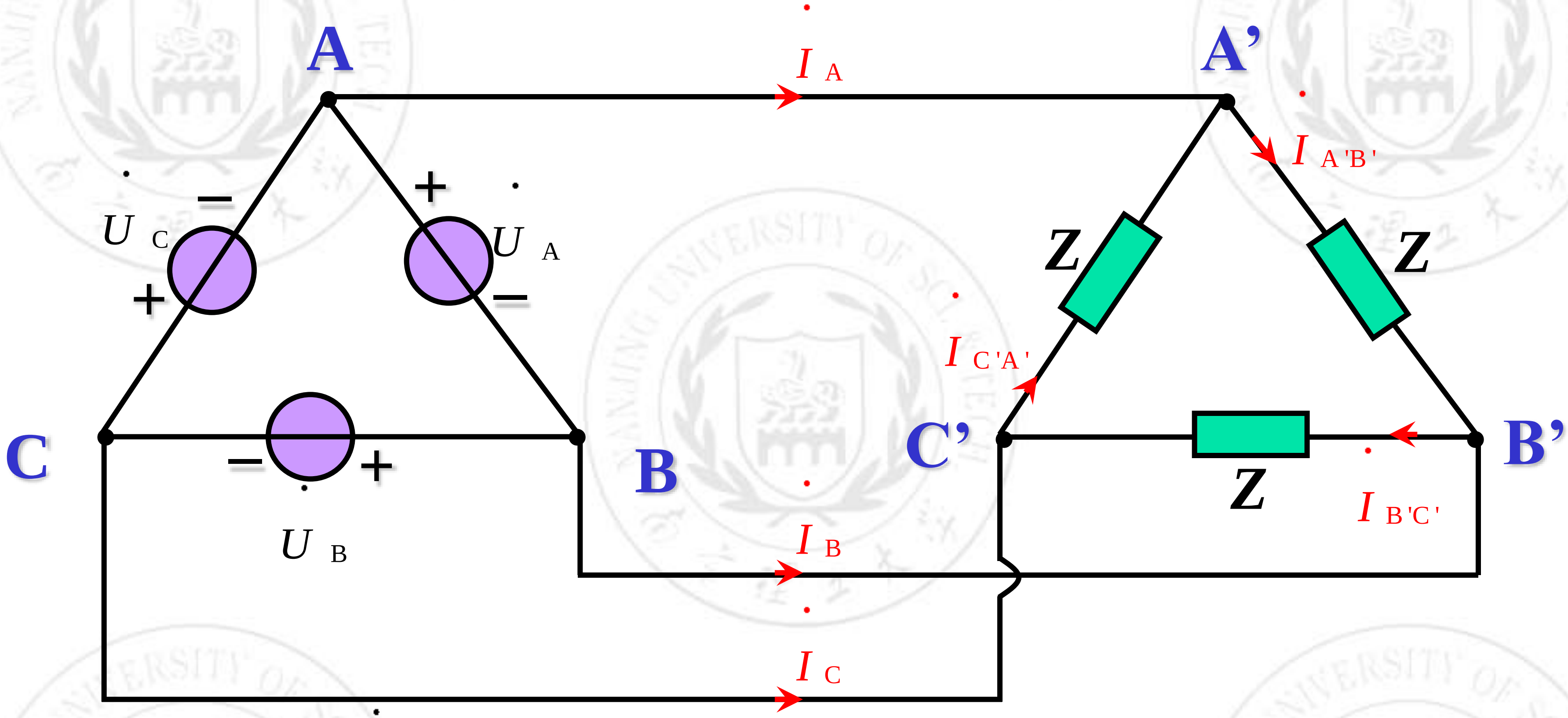


问题2： 若一楼断开，二、三楼接通。但两层楼灯的数量不等（设二楼灯的数量为三层的1/4 ）结果如何？



10.3 负载三角形联结的三相电路

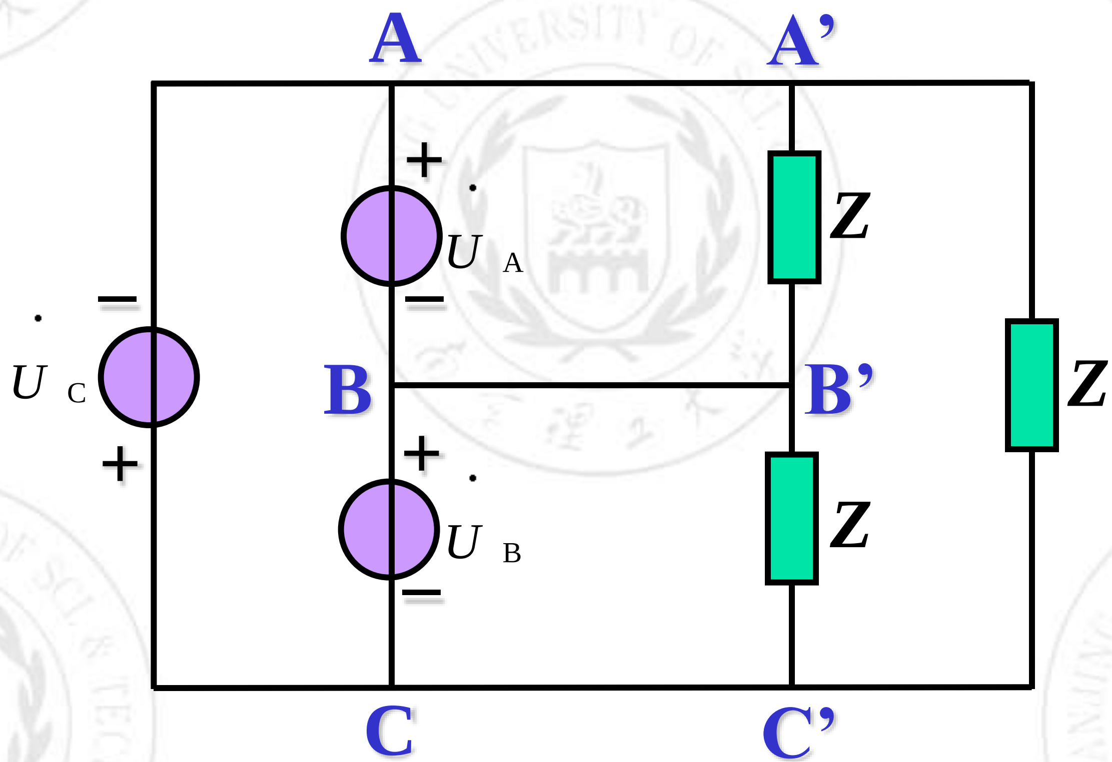
（对称三相电路）三角形联结



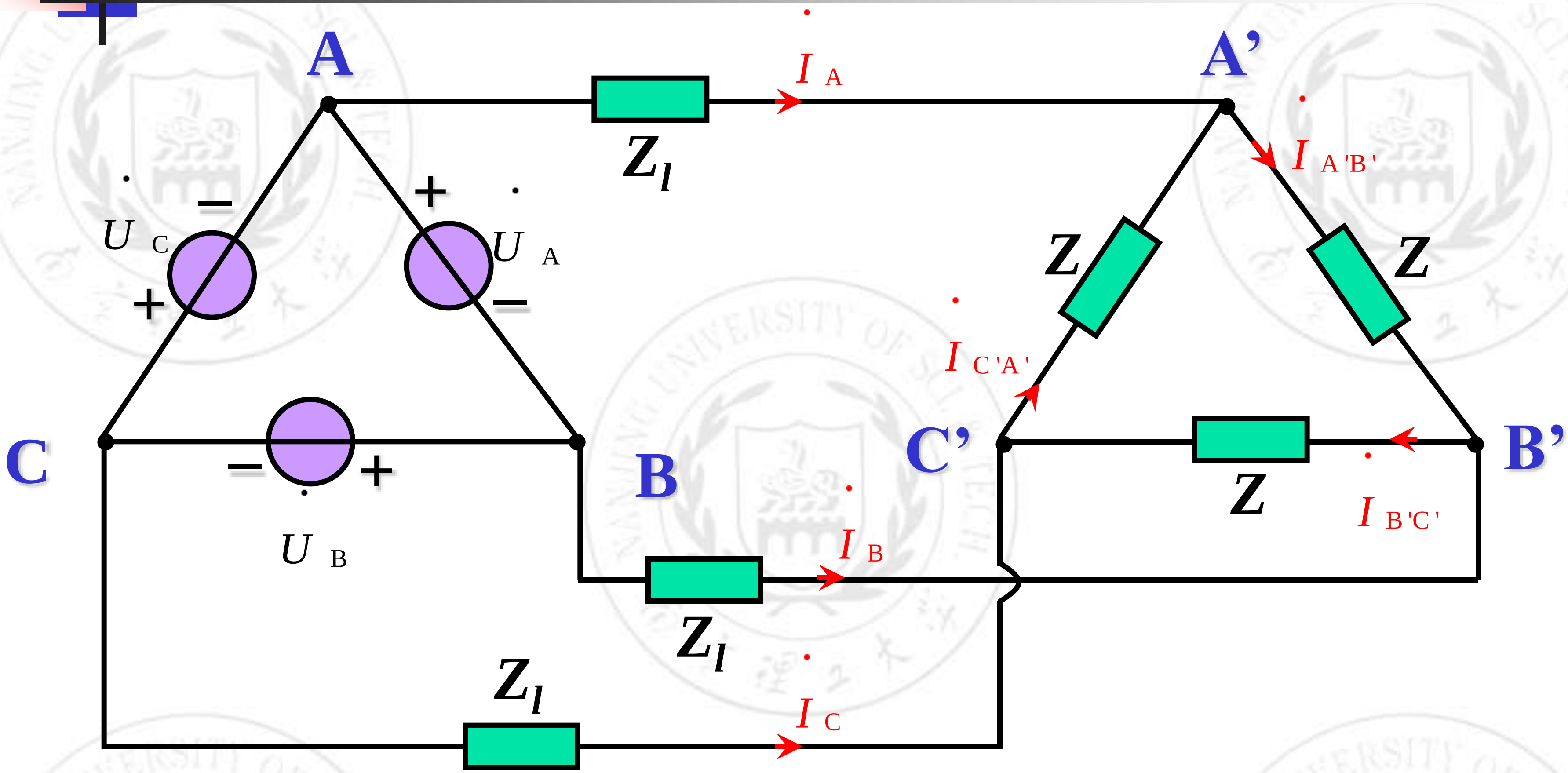
$$\dot{I}_{A'B'} = \frac{\dot{U}_A}{Z},\ \dot{I}_{B'C'} = \dot{I}_{A'B'}\angle -120^\circ,\ \dot{I}_{C'A'} = \dot{I}_{A'B'}\angle 120^\circ$$

$$\dot{I}_A = \sqrt{3}\angle -30^\circ\, \dot{I}_{A'B'},\ \dot{I}_B = \dot{I}_A\angle -120^\circ,\ \dot{I}_C = \dot{I}_A\angle 120^\circ$$

■ （对称三相电路）三角形联结的等效电路



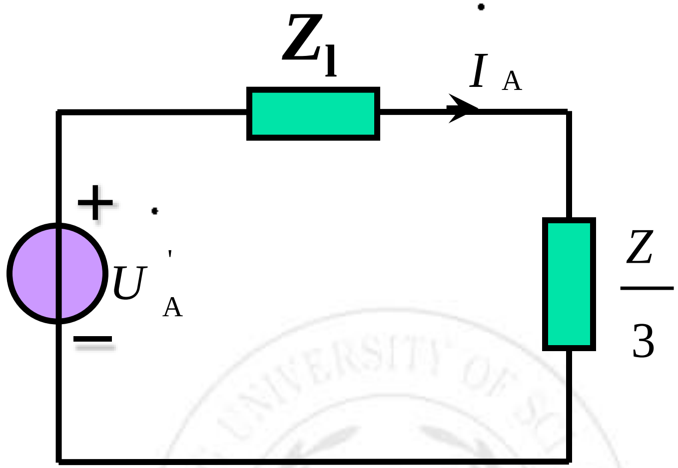
10.3 负载三角形联结的三相电路



- 运用星形联结计算结果，将三角形联结进行等效变换，化为星形联结

其中：$\dot U'_A = \dfrac{\dot U_A}{\sqrt{3}\angle 30^\circ}$，$Z' = \dfrac{Z}{3}$

10.3 负载三角形联结的三相电路

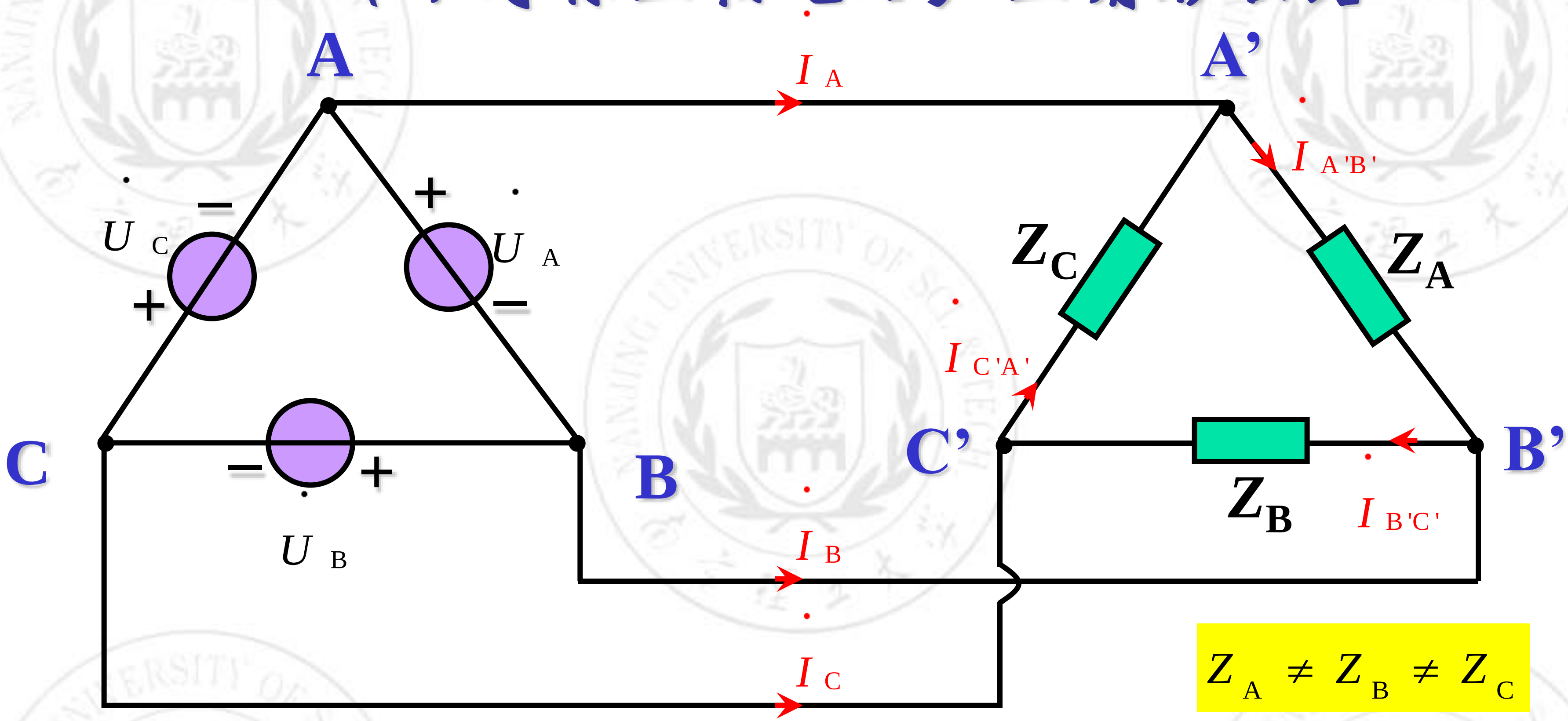


$$\dot{I}_A = \frac{\dfrac{\dot{U}_A}{\sqrt{3}\angle 30^\circ}}{Z_l + \dfrac{Z}{3}}, \quad \dot{I}_B = \dot{I}_A \angle -120^\circ, \quad \dot{I}_C = \dot{I}_A \angle -120^\circ$$

$$\dot{I}_{A'B'} = \frac{\dot{I}_A}{\sqrt{3}\angle -30^\circ}, \quad \dot{I}_{B'C'} = \dot{I}_{A'B'} \angle -120^\circ, \quad \dot{I}_{C'A'} = \dot{I}_{A'B'} \angle -120^\circ$$

$$\dot{U}_{A'B'} = Z\,\dot{I}_{A'B'}, \quad \dot{U}_{B'C'} = \dot{U}_{A'B'} \angle -120^\circ, \quad \dot{U}_{C'A'} = \dot{U}_{A'B'} \angle 120^\circ$$

（不对称三相电路）三角形联结

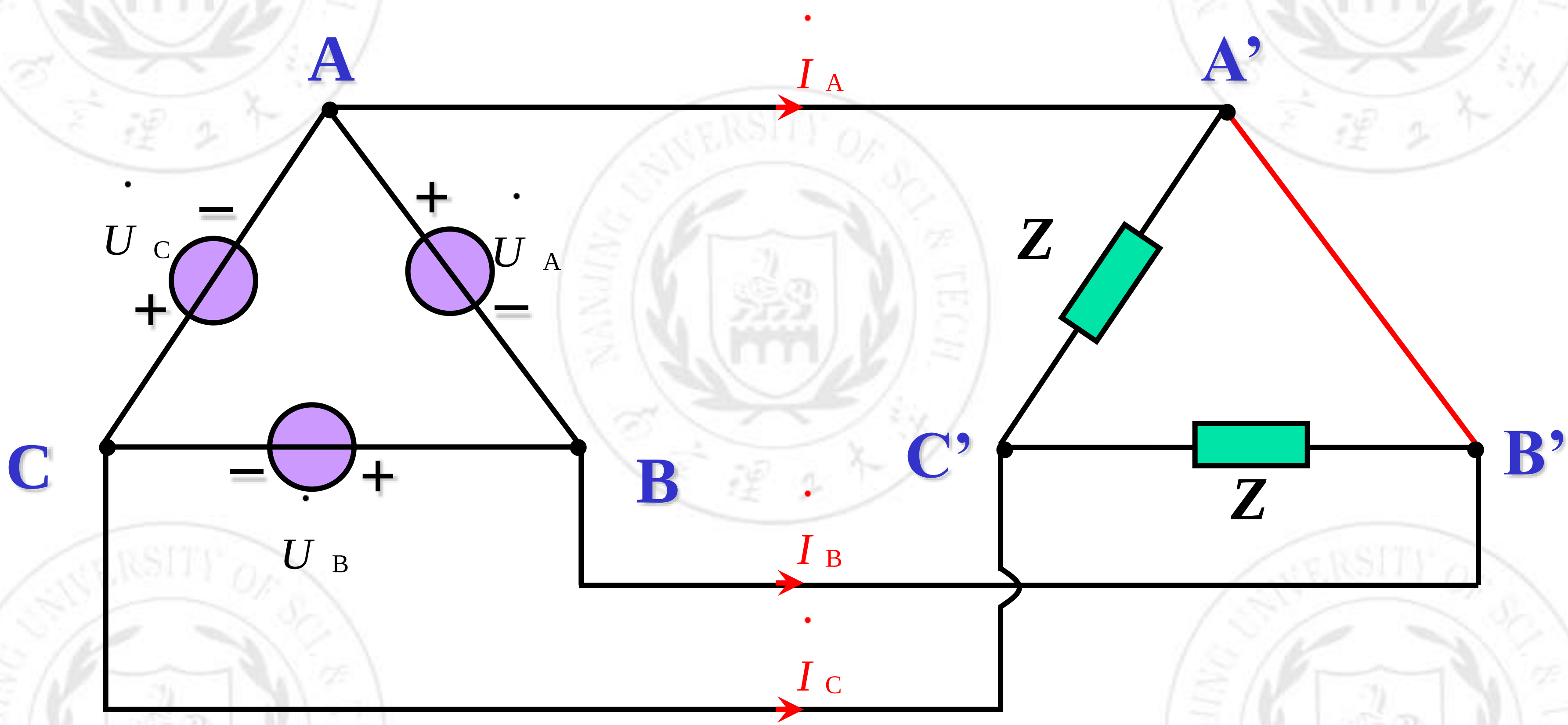


$$Z_A \neq Z_B \neq Z_C$$

$$\dot{I}_{A'B'} = \frac{\dot{U}_A}{Z_A}, \quad \dot{I}_{B'C'} = \frac{\dot{U}_B}{Z_B}, \quad \dot{I}_{C'A'} = \frac{\dot{U}_C}{Z_C}$$

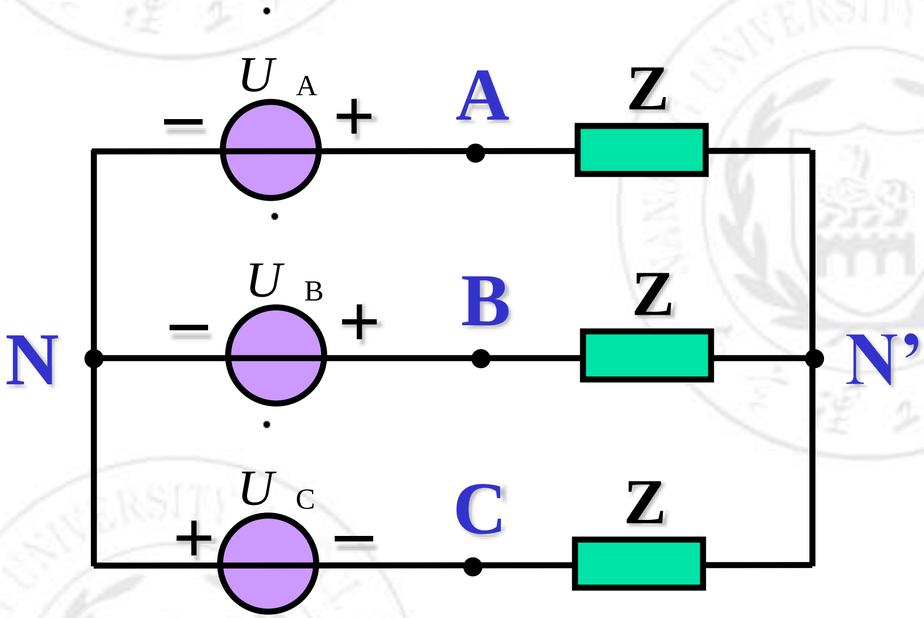
$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A'B'} - \dot{I}_{C'A'}, \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{B'C'} - \dot{I}_{A'B'}, \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{C'A'} - \dot{I}_{B'C'}$$

特例：对称负载的短路



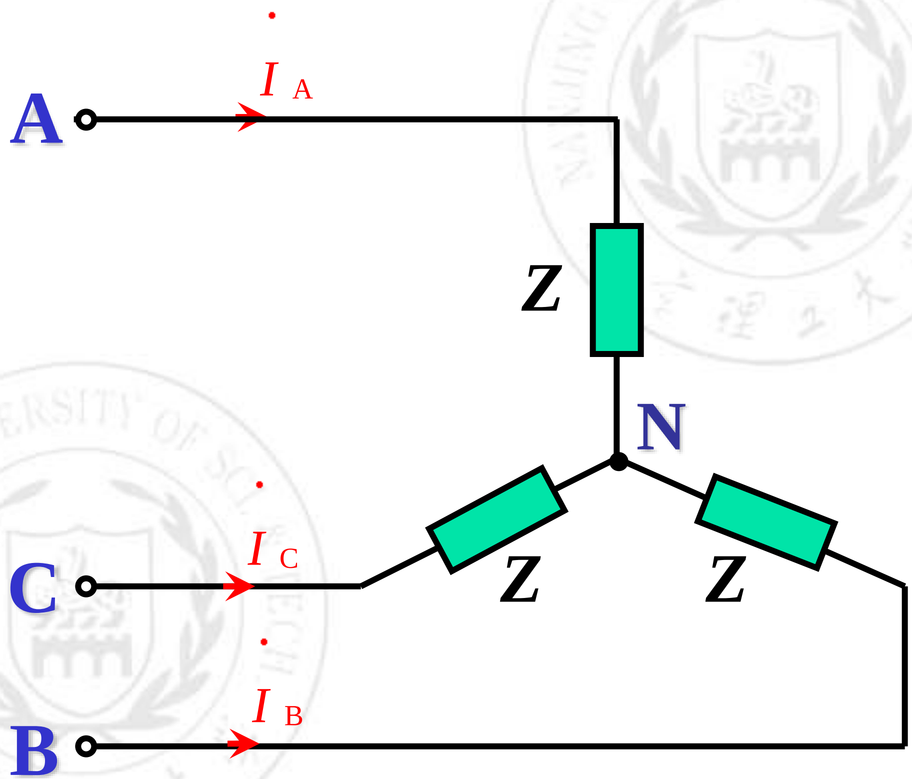
例：已知$\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$为一组对称三相电压，

求：$\dot{U}_{AN'}, \dot{U}_{BN'}, \dot{U}_{CN'}$



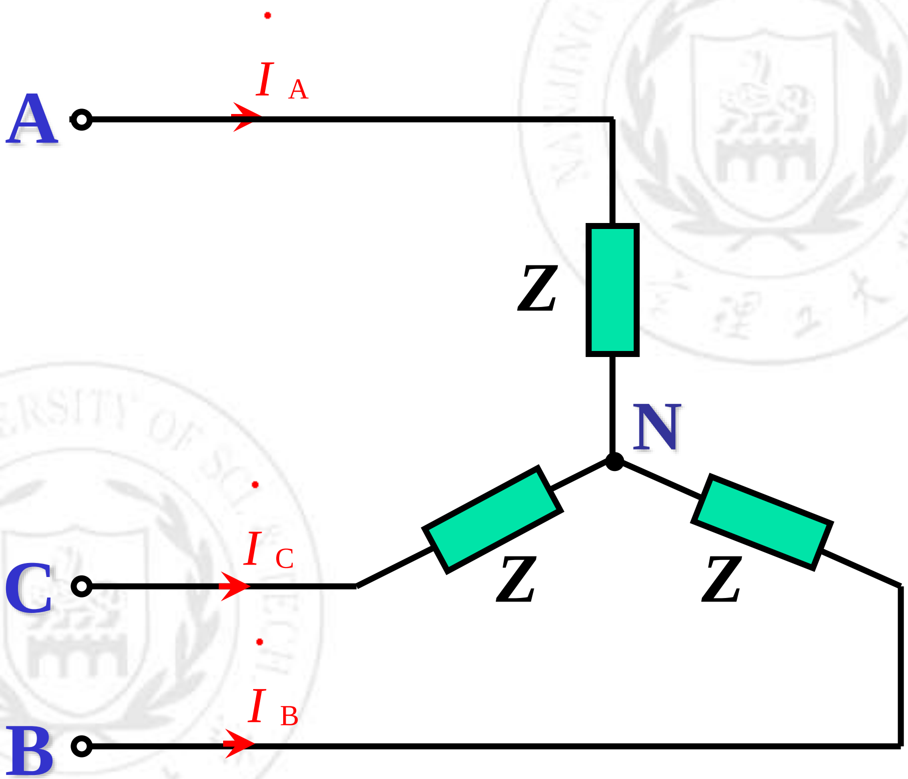
例：已知对称三相电源（顺序）$\dot{U}_{AB} = 380\angle 30^\circ$ V，负载$Z = 40 + j30\Omega$，试求(1) 线电流$\dot{I}_A$、$\dot{I}_B$、$\dot{I}_C$及有功功率P、三相无功功率Q;

(2) 若AN间负载断开，再求各线电流$\dot{I}_A$、$\dot{I}_B$、$\dot{I}_C$。

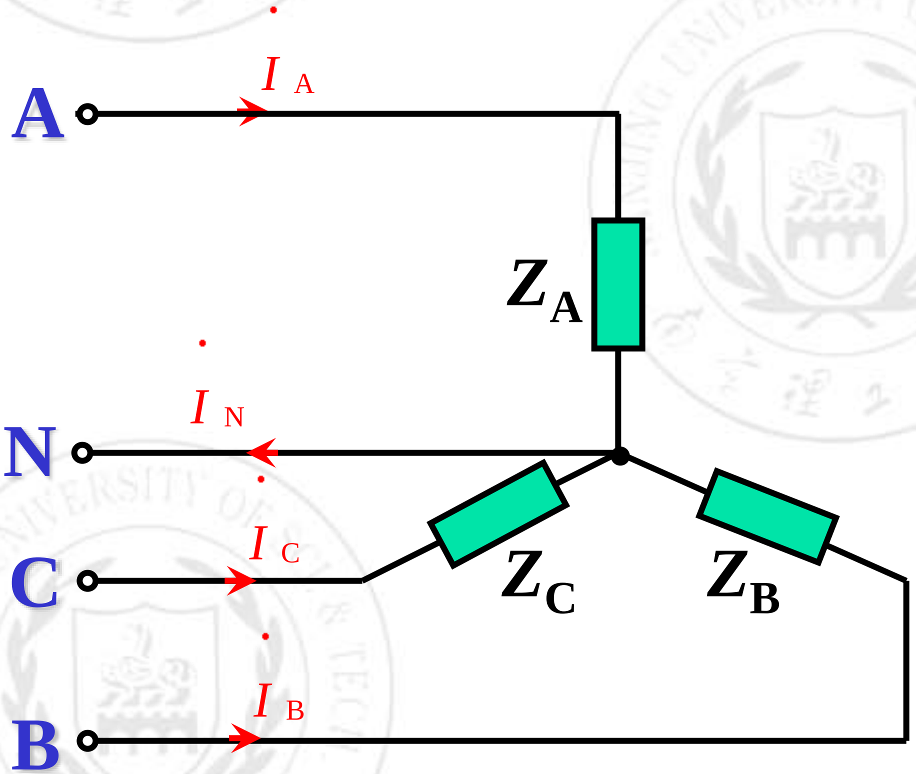


例：已知对称三相电源（顺序）$\dot{U}_{AB} = 380\angle 30^{\circ}$ V，负载$Z = 40 + j30\Omega$，试求：

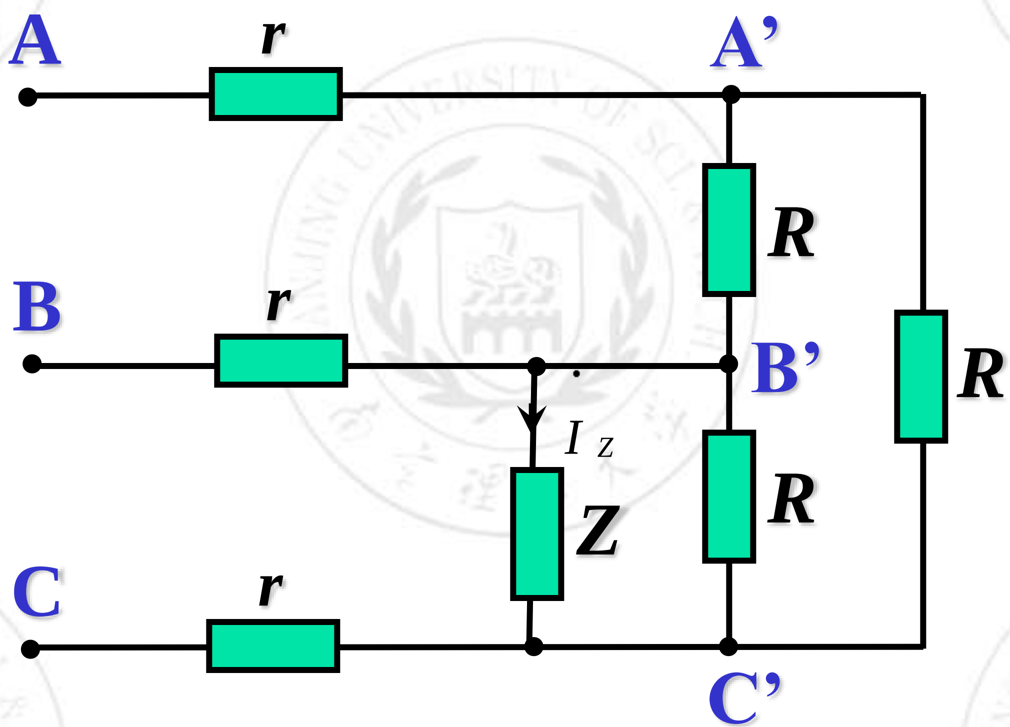
(3) 若AN间负载短路，求线电流$\dot{I}_A$及电路消耗的总平均功率P.



例：已知对称三相电源（顺序）$\dot{U}_{AB}=380\angle 60^{\circ}\ \mathrm{V}$，负载$Z_A=22\angle 60^{\circ}\ \Omega$，$Z_B=10\Omega$，$Z_C=4\Omega$，试求各线电流$\dot{I}_A$、$\dot{I}_B$、$\dot{I}_C$及中线电流$\dot{I}_N$。

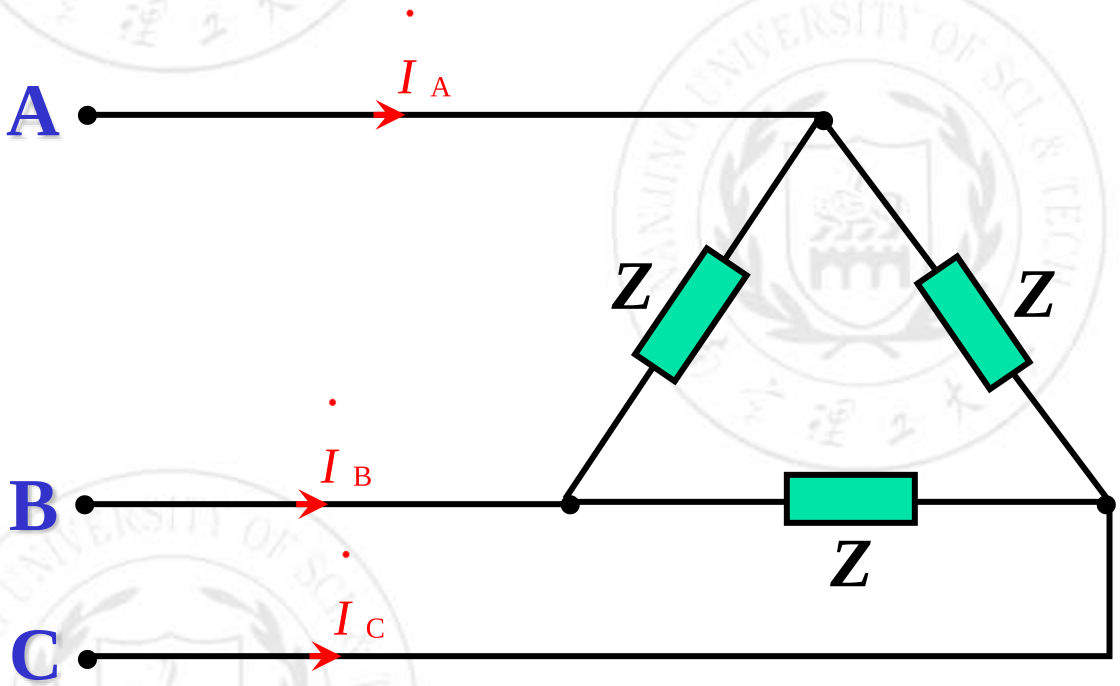


- **例:** 已知对称三相电源的线电压$U_l = 380V$, $r = 10\Omega$, $R = 90\Omega$, $Z = 21+j48\Omega$, 求I_Z



- **解:** 利用戴维南定理求解

- **例：** 已知对称三相电源电压（顺序）$\dot{U}_{AB} = 380\angle 30^\circ$ V，负载阻抗 $Z = 22\angle 60^\circ\ \Omega$，试求各线电流 $\dot{I}_A$、$\dot{I}_B$、$\dot{I}_C$ 及电路消耗的总平均功率P。若AB间负载断开，试求线电流 $\dot{I}_A$。



平均功率

$$P = P_{A} + P_{B} + P_{C}$$

$$= U_{AP} I_{AP} \cos\varphi_{ZA} + U_{BP} I_{BP} \cos\varphi_{ZB} + U_{CP} I_{CP} \cos\varphi_{ZC}$$

- 对称时:

$$U_{AP} = U_{BP} = U_{CP} \triangleq U_{P}$$

$$I_{AP} = I_{BP} = I_{CP} \triangleq I_{P}$$

$$\varphi_{ZA} = \varphi_{ZB} = \varphi_{ZC} \triangleq \varphi_{Z}$$

$$\therefore\ P = 3U_{P} I_{P} \cos\varphi_{Z}$$

平均功率（对称电路）

$$P = 3U_{\mathrm{p}} I_{\mathrm{p}} \cos\varphi_Z$$

- 负载星形联结：$U_l = \sqrt{3}U_{\mathrm{p}},\ I_l = I_{\mathrm{p}}$
- 负载三角形联结：$U_l = U_{\mathrm{p}},\ I_l = \sqrt{3}I_{\mathrm{p}}$
- 故：$3U_{\mathrm{p}} I_{\mathrm{p}} = \sqrt{3}U_l I_l$

$$P = \sqrt{3}U_l I_l \cos\varphi_Z$$

φ_Z为阻抗角！

$$P = 3I_{\mathrm{p}}^2 \mathrm{Re}[Z]$$

无功功率

对称时：$Q = 3U_{\text{p}} I_{\text{p}} \sin\varphi_Z = \sqrt{3} U_l I_l \sin\varphi_Z = 3 I_{\text{p}}^2 \operatorname{Im}[Z]$

视在功率

对称时：$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3U_{\text{p}} I_{\text{p}} = \sqrt{3} U_l I_l$

三相功率

- 对于不对称三相负载，功率计算没有统一的公式，可以根据功率守恒原则进行计算:

$$P = U_{AP} I_{AP} \cos\varphi_{ZA} + U_{BP} I_{BP} \cos\varphi_{ZB} + U_{CP} I_{CP} \cos\varphi_{ZC}$$

$$= \text{各相负载的电阻分量吸收平均功率之和}$$

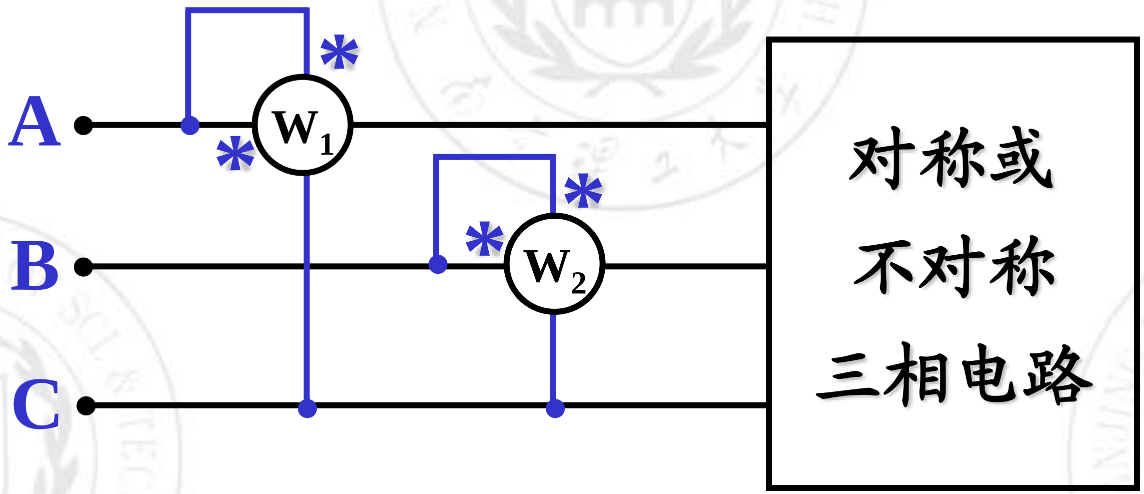
三相功率的测量（两瓦特表法）

$$\because \quad i_A + i_B + i_C = 0$$

$$p(t) = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C = u_A i_A + u_B i_B + u_C(-i_A - i_B)$$

$$= (u_A - u_C)i_A + (u_B - u_C)i_B$$

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)dt = U_{AC} I_A \cos(\psi_{u_{AC}} - \psi_{i_A}) + U_{BC} I_B \cos(\psi_{u_{BC}} - \psi_{i_B})$$



- 可见等式右端两式分别对应两个瓦特表的读数

例：已知对称三相电源线电压（顺序）U_L=380V，阻抗 $Z_1=22\angle 60^\circ\ \Omega$，$Z=19\angle 30^\circ\ \Omega$，试求各线电流有效值及三相电路消耗的总平均功率$P$