

电机与拖动基础

南开大学

人工智能学院

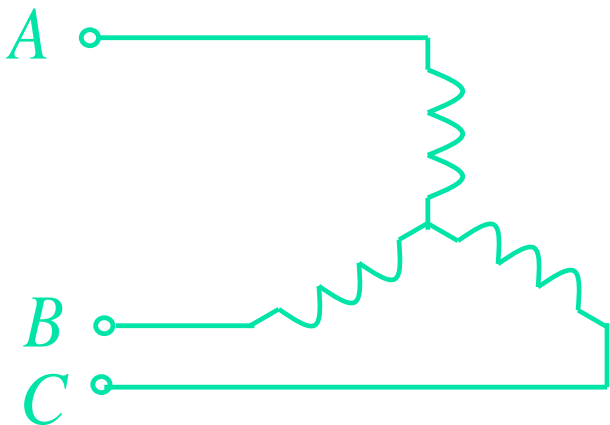
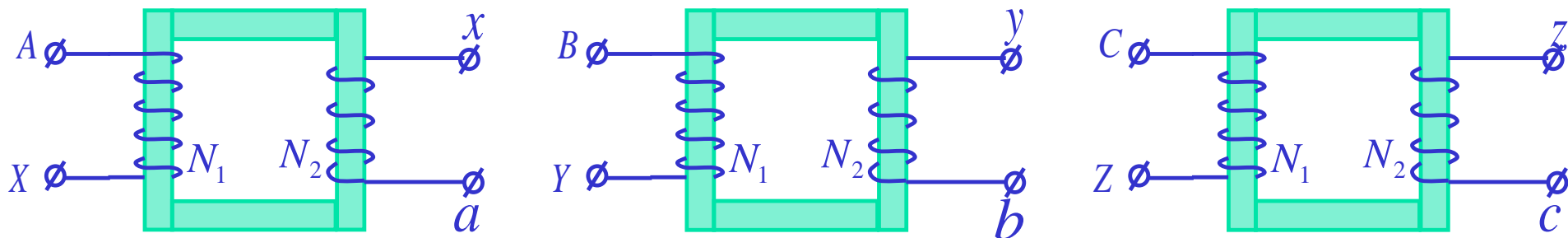
自动化与智能科学系

段 峰

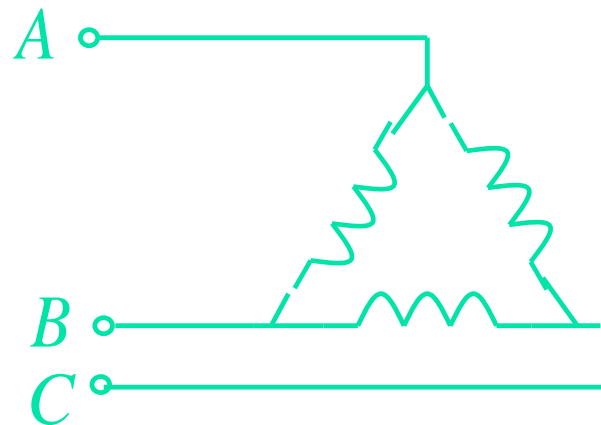
教授 博导

三、三相双绕组变压器

1、由三个单相双绕组变压器组成变压器组



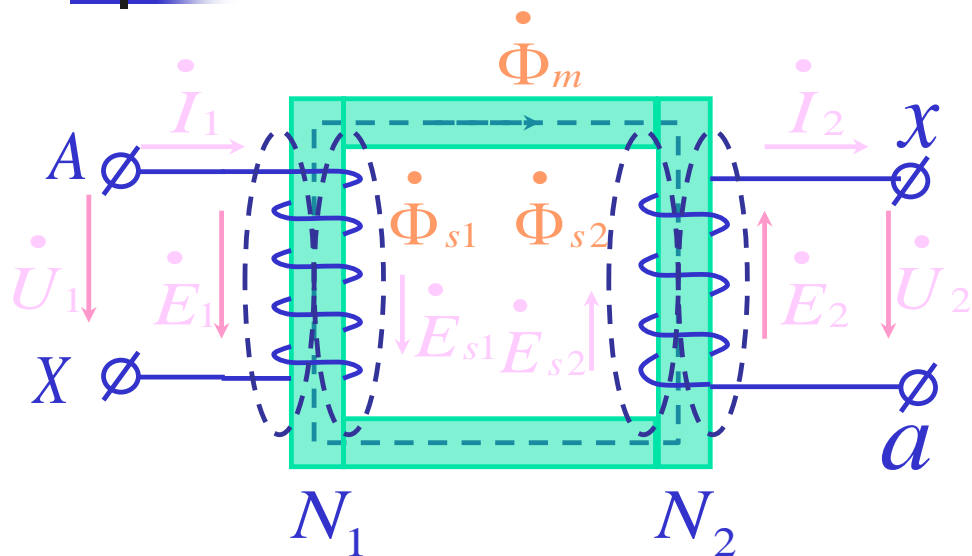
Y 型联接



△型联接

Y / Y 联接、Y / △联接、△ / △联接、 △ / Y 联接

四、单相双绕组变压器的基本工作原理



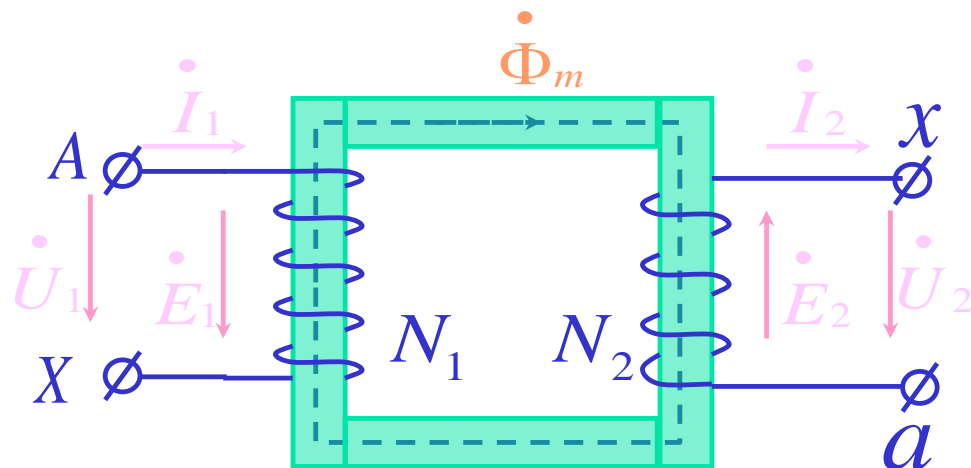
变压器惯例

1、两边电压关系

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1, \dot{U}_2 = \dot{E}_2, u_1 = -e_1, u_2 = e_2$$

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}, e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = k$$



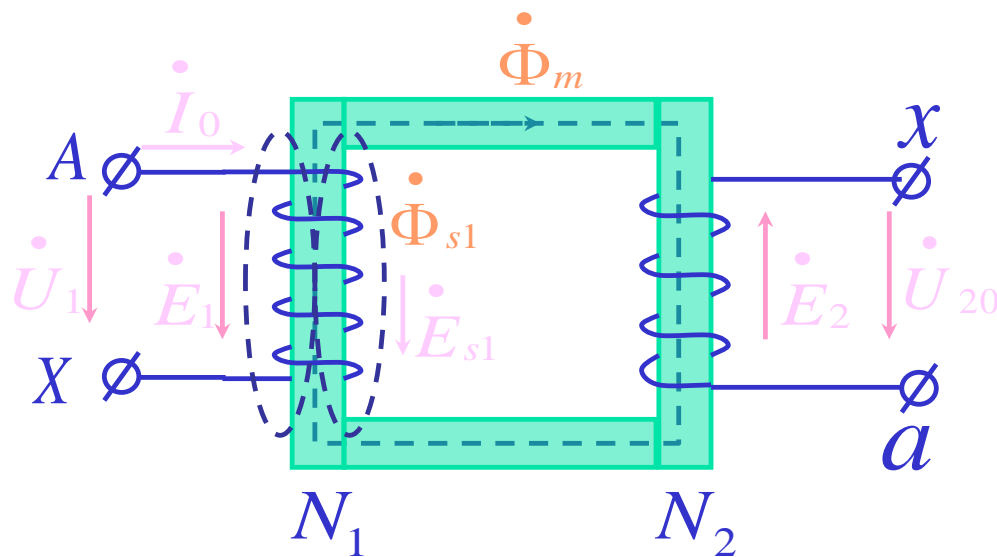
理想变压器

2、两边电流、功率关系

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= U_1 I_1 \\ P_2 &= U_2 I_2 \\ P_1 &= P_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{k}$$

第二节

变压器的空载运行



变压器惯例

空载运行：

原边接电源，副边开路

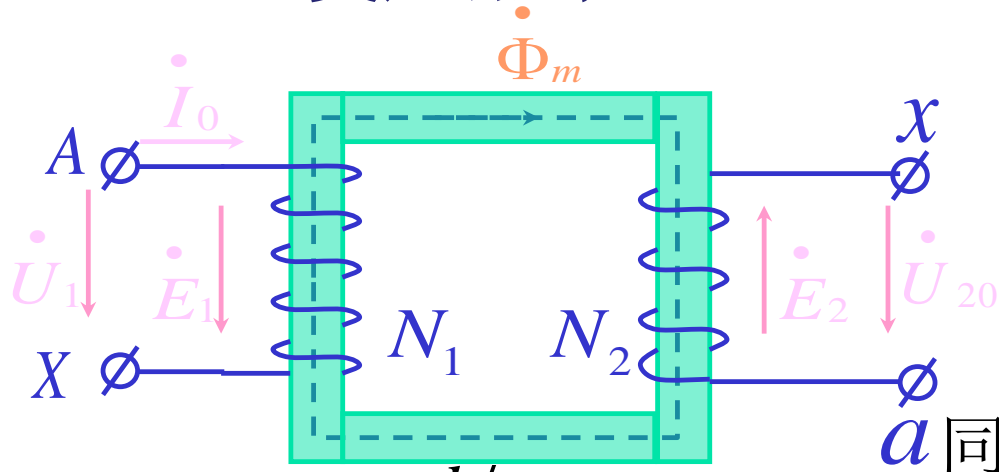
\dot{I}_0 —— 空载电流

（也叫励磁电流）

产生励磁磁势 $\dot{I}_0 N_1$

一、空载运行时的电磁关系

1、理想变压器时



$$\begin{aligned} \text{则: } e_1 &= -N_1 \frac{d\phi}{dt} \\ &= -N_1 \omega \Phi_m \cos \omega t \\ &= \omega N_1 \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{即: } \dot{E}_1 &= -j \frac{\omega N_1}{\sqrt{2}} \dot{\Phi}_m = -j \frac{2\pi f N_1}{\sqrt{2}} \dot{\Phi}_m = -j 4.44 f N_1 \dot{\Phi}_m \\ \dot{E}_2 &= -j 4.44 f N_2 \dot{\Phi}_m \end{aligned}$$

即：忽略 R_1 、 $\dot{\Phi}_{s1}$

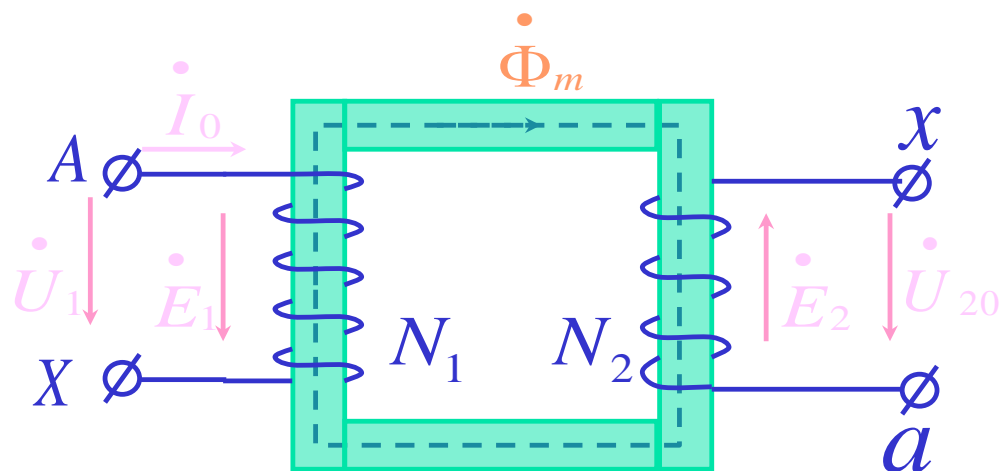
(1) \dot{E}_1 、 \dot{E}_2

设： $\phi = \Phi_m \sin \omega t$

$$\begin{aligned} \text{同理: } e_2 &= -N_2 \frac{d\phi}{dt} \\ &= -N_2 \omega \Phi_m \cos \omega t \\ &= \omega N_2 \Phi_m \sin(\omega t - 90^\circ) \end{aligned}$$

记忆，有效值

一、空载运行时的电磁关系

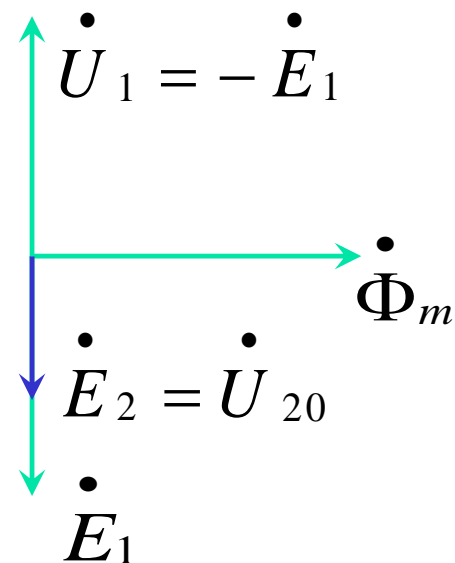


(2) \dot{U}_1 、 \dot{U}_{20}

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1, \dot{U}_{20} = \dot{E}_2$$

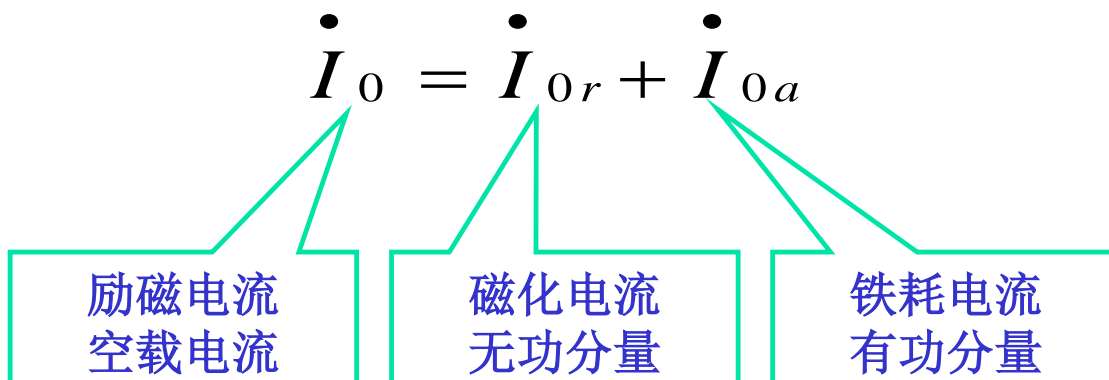
$$\frac{U_1}{U_{20}} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = k$$

(3) 向量图



一、空载运行时的电磁关系

2、励磁电流分析



(1) 磁化电流分析

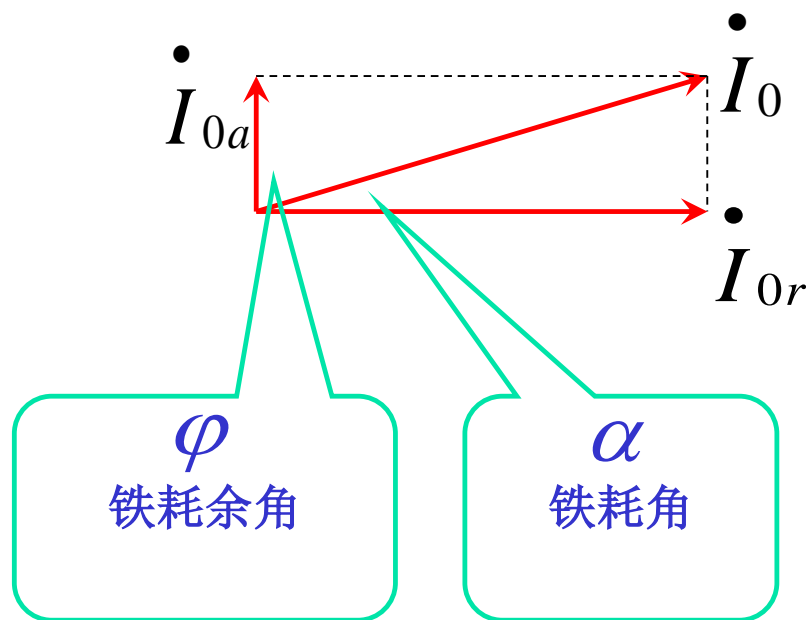
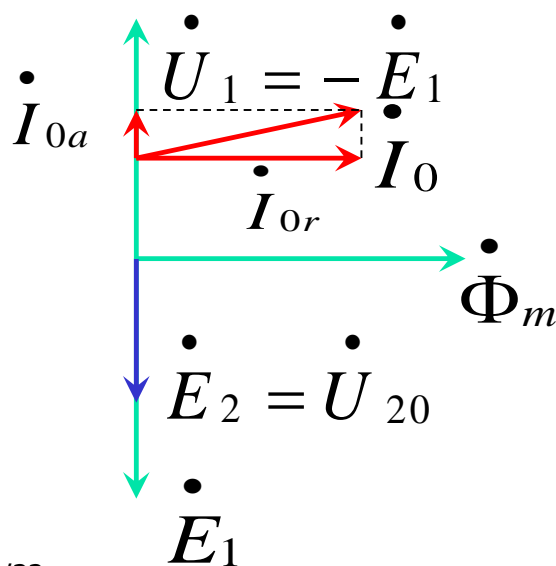
- 建立磁场，送入无功功率
- 与 $\dot{\Phi}_m$ 同相位 $\dot{I}_{0r} \perp \dot{U}_1$
- 可以认为是正弦量

一、空载运行时的电磁关系

(2) 铁耗电流分析

- 为铁耗提供有功功率
- 与 \dot{U}_1 同相位
- 应尽量减小该电流

(3) 向量图



一、空载运行时的电磁关系

3、考虑 R_1 , Φ_{s1}

(1) $\dot{\Phi}_{s1}$ 的作用

$$\text{仿 } \dot{E}_1 = -j \frac{\omega N_1}{\sqrt{2}} \dot{\Phi}_m$$

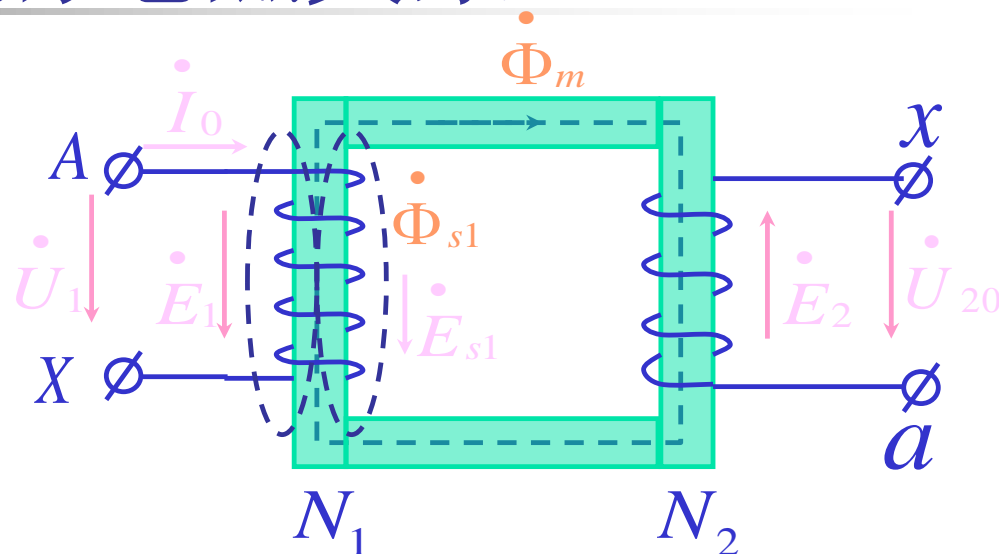
$$\dot{E}_{s1} = -j \frac{\omega N_1}{\sqrt{2}} \dot{\Phi}_{s1}$$

设: $L_{s1} = \frac{N_1 \dot{\Phi}_{s1}}{\sqrt{2} I_0}$ 一次绕组漏自感

$$\Rightarrow \dot{E}_{s1} = -j \omega L_{s1} \dot{I}_0 = -j \dot{I}_0 X_1 \text{ 一次绕组漏电抗}$$

(2) R_1 的作用

$$\dot{I}_0 R_1$$



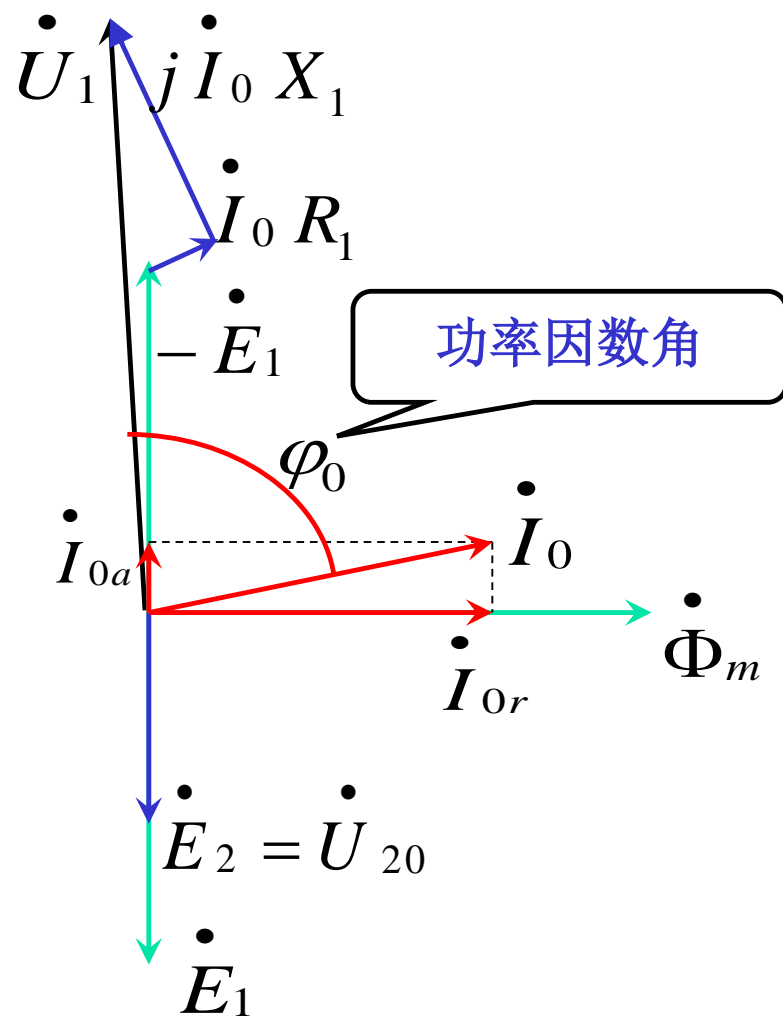
变压器惯例

(3) 原边电压方程

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{I}_0 R_1 - \dot{E}_{s1} - \dot{E}_1 \\ &= \dot{I}_0 (R_1 + jX_1) - \dot{E}_1 \\ &= \dot{I}_0 Z_1 - \dot{E}_1 \end{aligned}$$

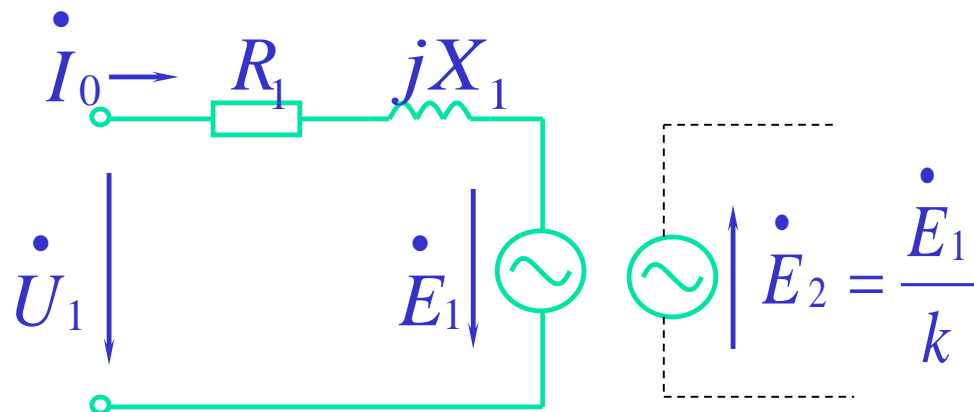
原绕组漏阻抗

二、空载运行时的向量图



三、空载运行时的等值电路（串联等值电路）

由： $\dot{U}_1 = \dot{I}_0(R_1 + jX_1) - \dot{E}_1$

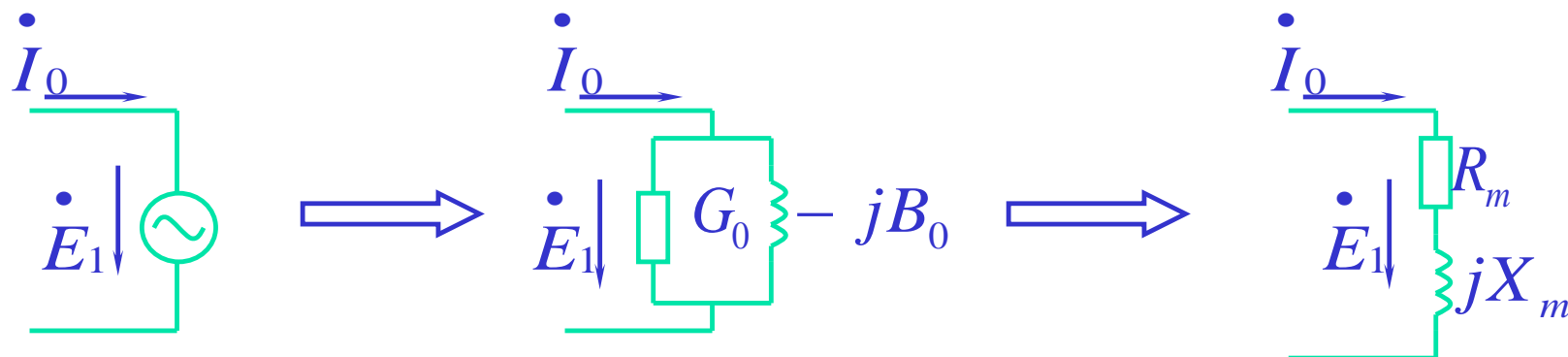


$$\left. \begin{aligned} -\dot{E}_1 &= \dot{I}_{0a} \cdot \frac{1}{G_0} \\ -\dot{E}_1 &= j\dot{I}_{0r} \cdot \frac{1}{B_0} \\ \dot{I}_0 &= \dot{I}_{0a} + \dot{I}_{0r} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \dot{I}_0 = \dot{I}_{0a} + \dot{I}_{0r} = \left(-\dot{E}_1 \right) (G_0 - jB_0)$$

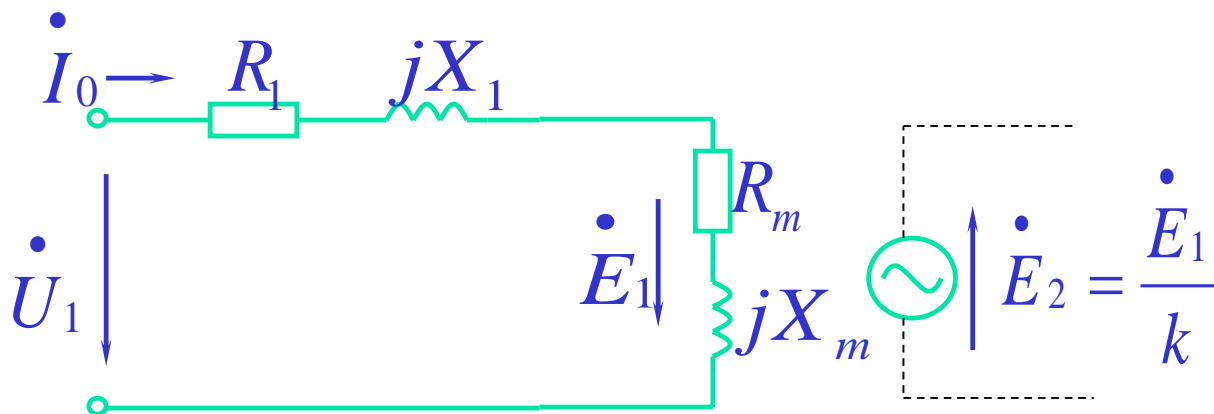
$$\Rightarrow -\dot{E}_1 = \frac{\dot{I}_0}{(G_0 - jB_0)} = \dot{I}_0 \left(\frac{G_0}{G_0^2 + B_0^2} \right) + \dot{I}_0 \left(\frac{jB_0}{G_0^2 + B_0^2} \right) = \dot{I}_0 (R_m + jX_m) = \dot{I}_0 Z_m$$

三、空载运行时的等值电路（串联等值电路）

由： $\dot{I}_0 = \left(-\dot{E}_1 \right) (G_0 + jB_0)$ 和 $-\dot{E}_1 = \dot{I}_0 (R_m + jX_m)$

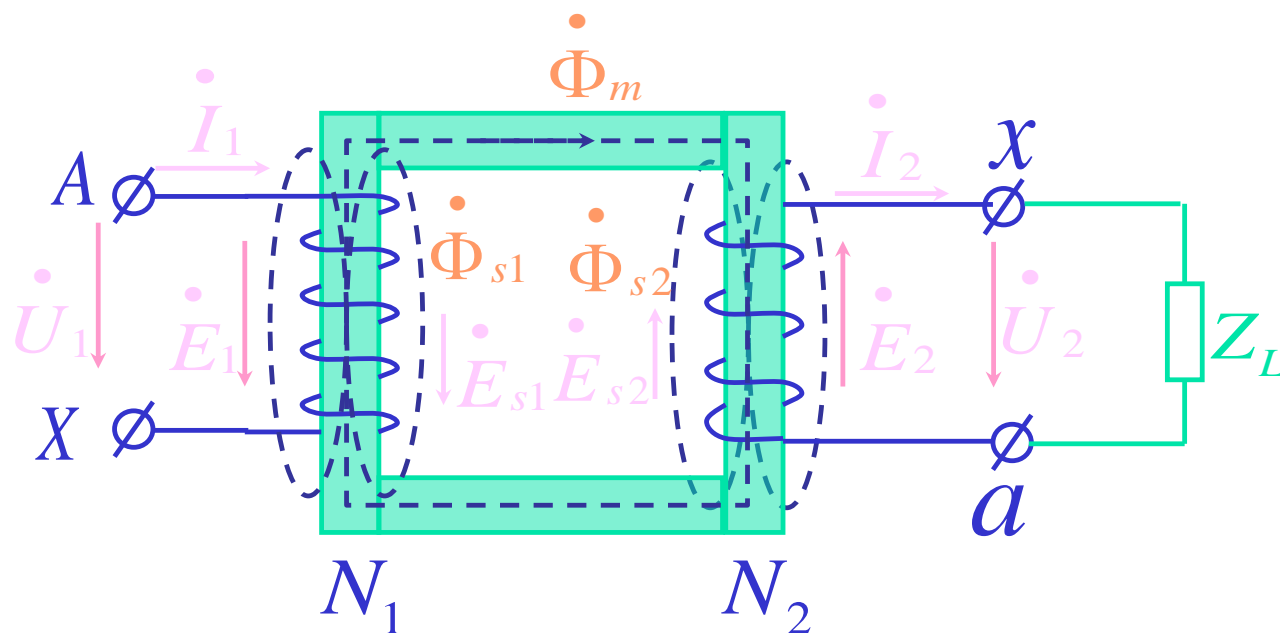


R_m —— 励磁电阻
 jX_m —— 励磁电抗
 $\left. \vphantom{\begin{matrix} R_m \\ jX_m \end{matrix}} \right\} \Rightarrow Z_m = R_m + jX_m$ —— 励磁阻抗



第三节 变压器的负载运行

一、负载运行时的惯例



$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$$

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$$

$$Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi_1$$

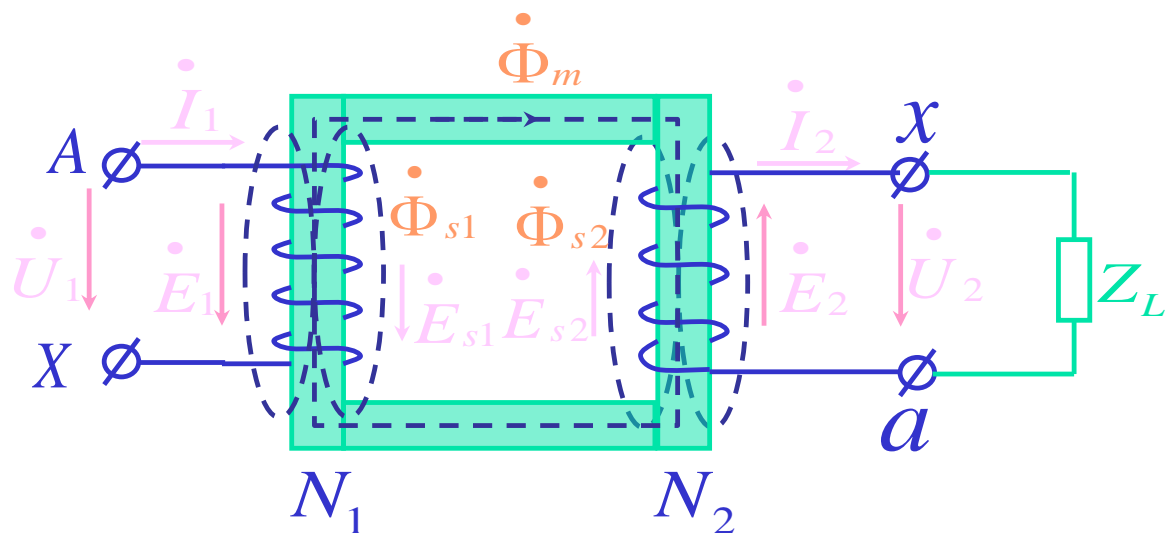
$$Q_2 = U_2 I_2 \sin \varphi_2$$

$$S_1 = U_1 I_1$$

$$S_2 = U_2 I_2$$

二、负载运行时的电磁关系

2、原、副边电流关系



1、主磁通

(1) 负载运行时的励磁磁通势 \dot{F}_0

原绕组、副绕组磁势的合成

$$(2) \dot{\Phi}_m = \dot{E}_1 / -j4.44 f N_1$$

(3) $\dot{\Phi}_m$ 可以看成仍是 \dot{I}_0 形成的

(1) 磁势平衡式

$$\begin{cases} \dot{F}_0 = \dot{F}_1 + \dot{F}_2 \\ \dot{I}_0 N_1 = \dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2 \end{cases}$$

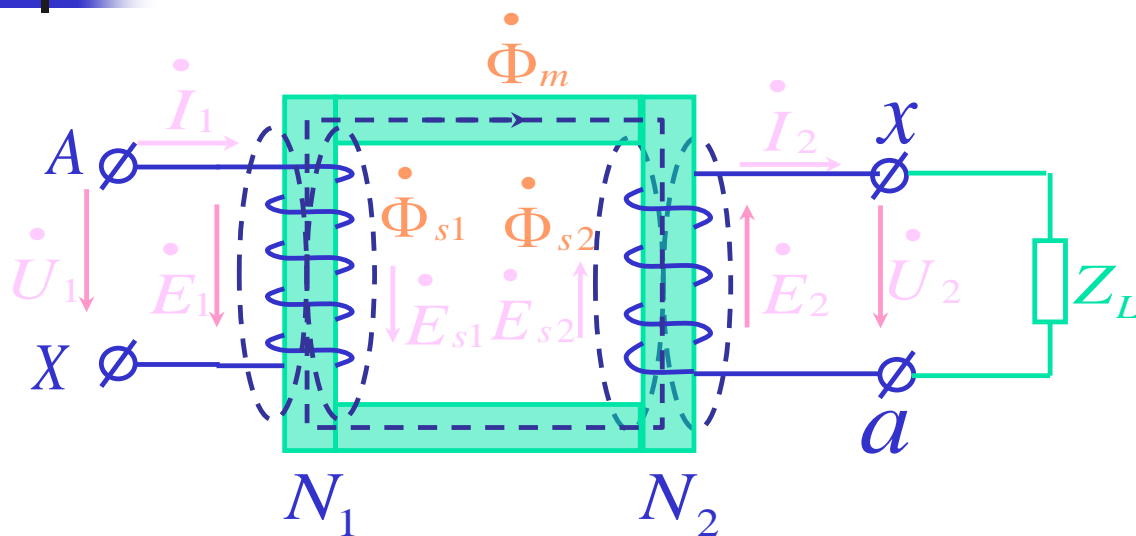
(2) 磁势平衡式含义

$$\begin{cases} \dot{F}_1 = \dot{F}_0 + \left(-\dot{F}_2 \right) \\ \dot{I}_1 N_1 = \dot{I}_0 N_1 + \left(-\dot{I}_2 N_2 \right) \end{cases}$$

励磁分量

负载分量

二、负载运行时的电磁关系



(3) 电流平衡式

$$\dot{I}_1 = -\frac{N_2}{N_1} \dot{I}_2 + \dot{I}_0$$

(4) 电流关系

$$\dot{I}_1 \approx -\frac{N_2}{N_1} \dot{I}_2 = -\frac{1}{k} \dot{I}_2$$

3、副边电压、电势平衡方程式

与分析原绕组一样 $\dot{I}_2 \rightarrow \dot{F}_2 \rightarrow \dot{\Phi}_{s2} \rightarrow \dot{E}_{s2}$

$$\dot{E}_{s2} = -j\omega L_{s2} \dot{I}_2 = -jX_2 \dot{I}_2$$

则: $\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 R_2 + \dot{E}_{s2}$

$$= \dot{E}_2 - \dot{I}_2 (R_2 + jX_2) = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 Z_2$$

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_2 Z_L$$

4、小结：稳态时变压器基本方程式

(1) 原边电压、电势平衡式

$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 r_1 - \dot{E}_{s1} \\ &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 (r_1 + jx_1) \\ &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 z_1\end{aligned}$$

(3) 磁势平衡式

$$\begin{cases} \dot{F}_0 = \dot{F}_1 + \dot{F}_2 \\ \dot{I}_0 N_1 = \dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2 \end{cases}$$

(5) 电流平衡式

$$\dot{I}_1 = -\frac{N_2}{N_1} \dot{I}_2 + \dot{I}_0$$

(2) 副边电压、电势平衡式

$$\begin{aligned}\dot{U}_2 &= \dot{E}_2 - \dot{I}_2 r_2 + \dot{E}_{s2} \\ &= \dot{E}_2 - \dot{I}_2 (r_2 + jx_2) \\ &= \dot{E}_2 - \dot{I}_2 z_2\end{aligned}$$

(4) 变压器变比

$$k = -\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

(6) 负载式

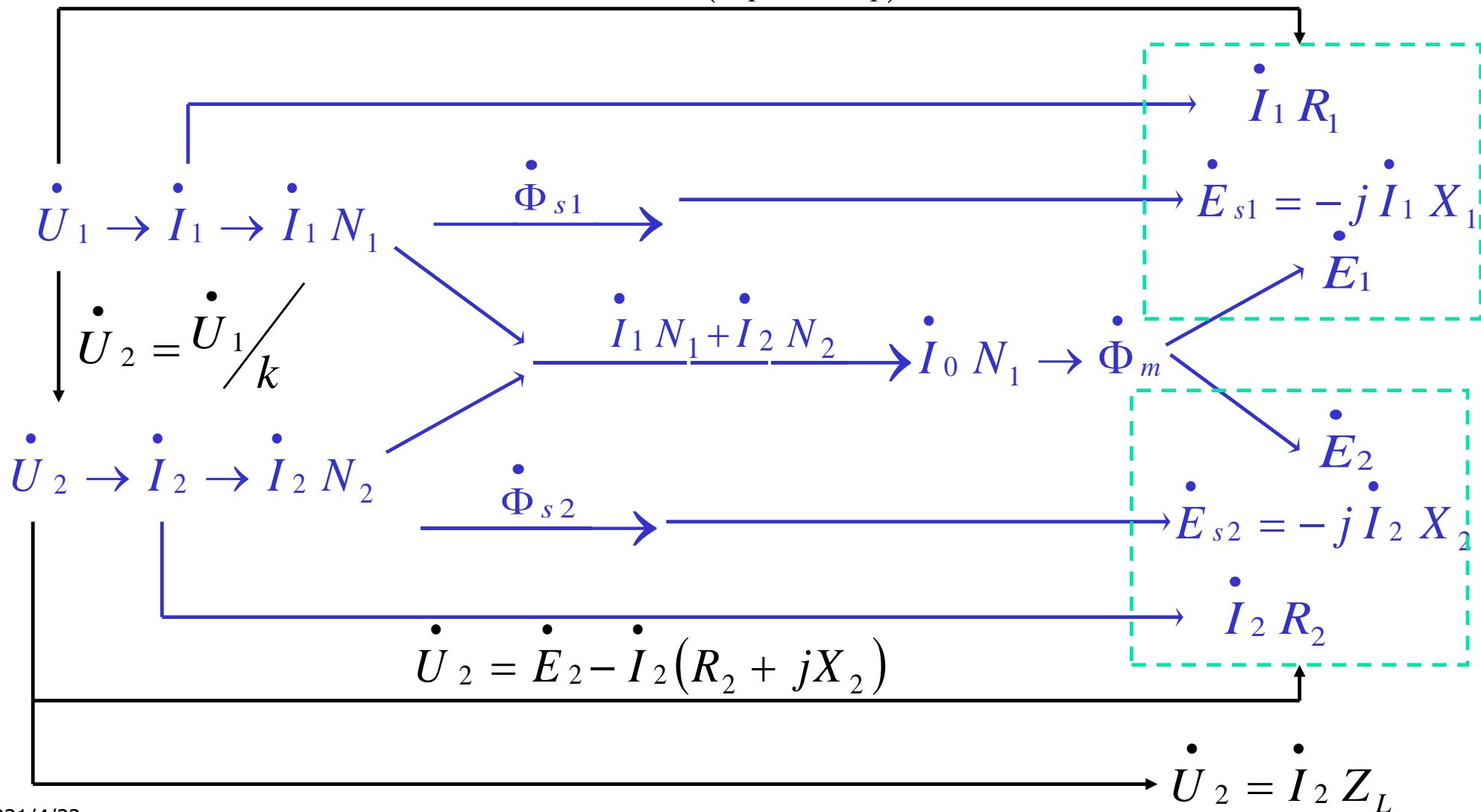
$$\dot{U}_2 = \dot{I}_2 Z_L$$

(7) 励磁电流式

$$\dot{I}_0 = -\frac{\dot{E}_1}{Z_m}$$

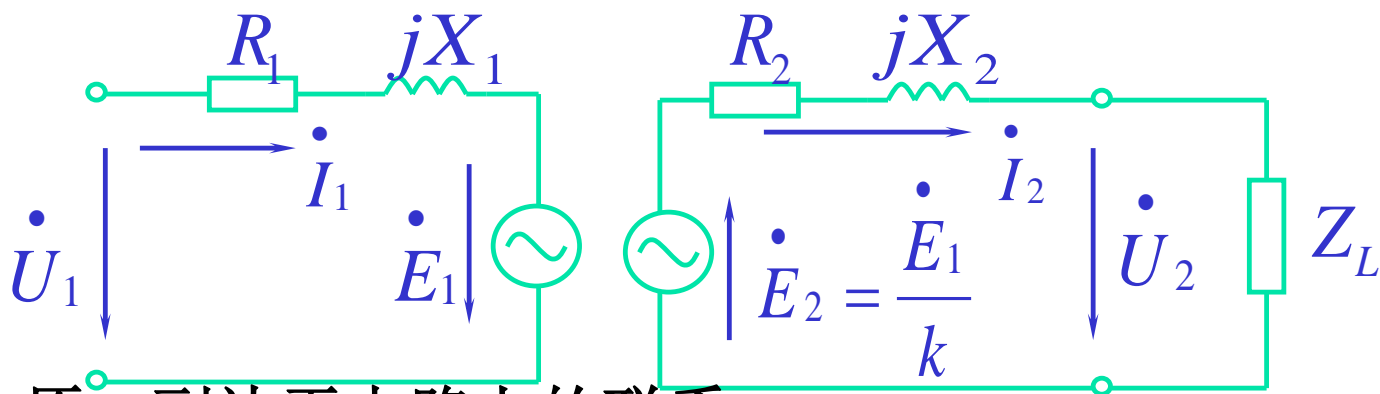

$$\left(\text{已知量: } \dot{U}_1, \quad Z_L, \quad Z_m, \quad Z_1, \quad Z_2, \quad k \right)$$

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1(R_1 + jX_1)$$



三、折算与等值电路

1、折算的原则 由平衡方程式得到的等值电路如下：



可见：原、副边无电路上的联系

副边负载通过 \dot{F}_2 与原边电源联系

\dot{F}_2 不变就不影响原边

折算的原则：1) 保持副边磁势不变

2) 保持功率传递关系不变

折算的思路：假设副边绕组的匝数也为 N_1 ，电流为 \dot{I}_2'

$$\text{且：} \dot{I}_2' N_1 = \dot{I}_2 N_2 = \dot{F}_2$$

2、各物理量的折算

(1) 电流 ($I_2 \rightarrow I_2'$): $I_2' = \frac{I_2}{k}$

(2) 电势 ($\dot{E}_2 \rightarrow \dot{E}_2'$): $\left\{ \begin{array}{l} \dot{E}_2 = -j4.44 f N_2 \dot{\Phi}_m \\ \dot{E}_2' = -j4.44 f N_1 \dot{\Phi}_m \end{array} \right\} \Rightarrow \dot{E}_2' = k \dot{E}_2$

(3) 阻抗 ($Z_L \rightarrow Z_L', z_2 \rightarrow z_2'$):

$$Z_L' + z_2' = \frac{\dot{E}_2'}{\dot{I}_2'} = \frac{k\dot{E}_2}{\dot{I}_2/k} = k^2 \frac{\dot{E}_2}{\dot{I}_2} = k^2 (Z_L + z_2)$$

即: $\left\{ \begin{array}{ll} r_2' = k^2 r_2 & x_2' = k^2 x_2 \\ R_L' = k^2 R_L & x_L' = k^2 x_L \end{array} \right.$

(4) 电压 ($\dot{U}_2 \rightarrow \dot{U}_2'$):

$$\dot{U}_2' = \dot{E}_2' - \dot{I}_2' z_2' = k\dot{E}_2 - \frac{1}{k} \dot{I}_2 \cdot k^2 z_2 = k\dot{U}_2$$

三、折算与等值电路

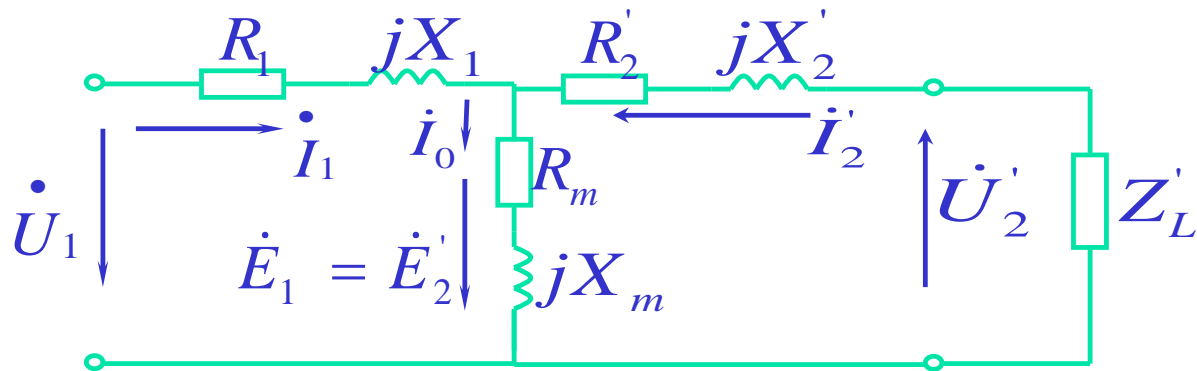
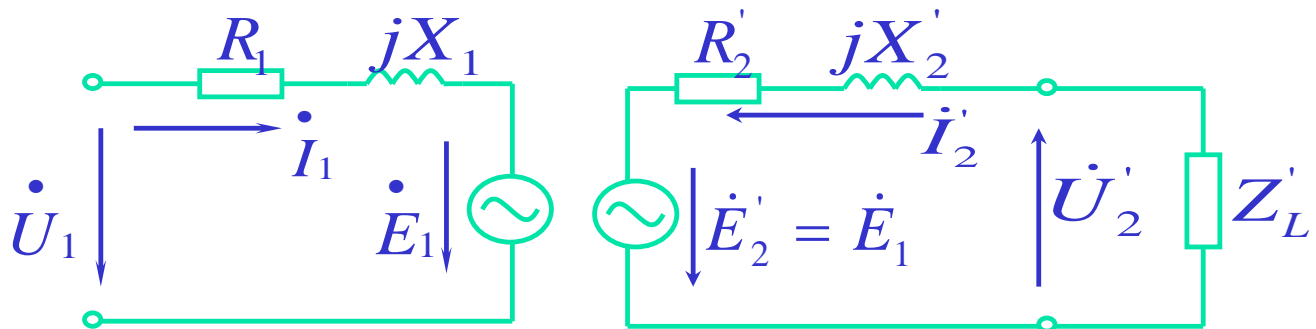
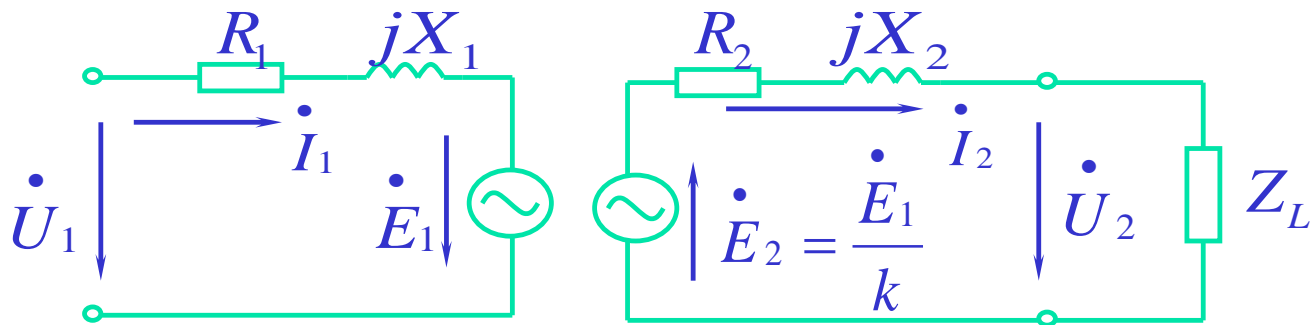
3、折算的特点

- 阻抗角不变
- 电压、电流、电动势的相位不变
- 功率传递关系不变

4、折算后的基本方程式

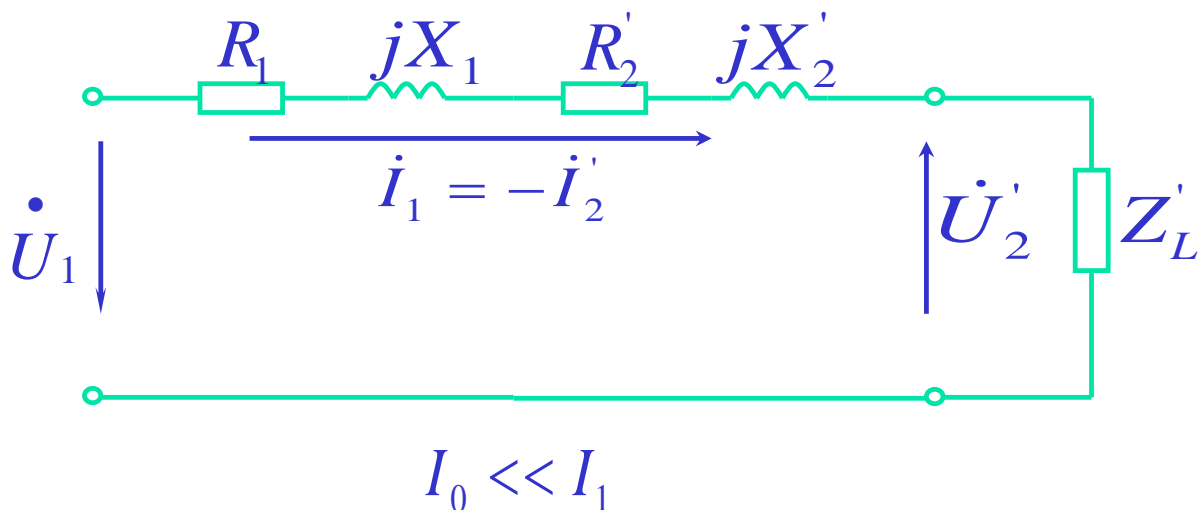
$$\begin{aligned}\dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 z_1 & \dot{I}_1 + \dot{I}_2' &= \dot{I}_0 \\ \dot{U}_2' &= \dot{E}_2' - \dot{I}_2' z_2' & \dot{I}_0 &= -\dot{E}_1 / z_m \\ \dot{E}_1 &= \dot{E}_2' & \dot{U}_2' &= \dot{I}_2' Z_L'\end{aligned}$$

5、T型等值电路

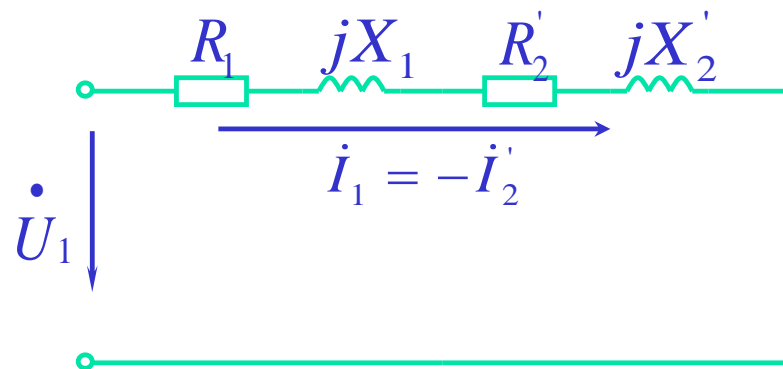
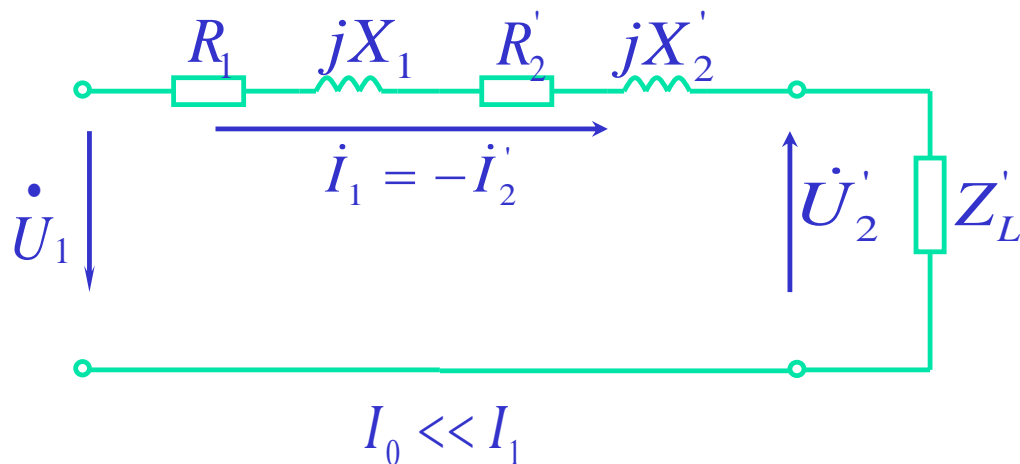


6、应用T型等值电路的注意事项

- 按等值电路计算出的是折算值，实际值需由折算值反折算获得
- 折算值均为一相的相值，单相变压器可直接计算，三相变压器需根据接法求出相值再折算
- T型等值电路可进一步简化，简化等值电路如下：



简化等值电路的使用



- (1) 变压器空载运行时不能使用简化等值电路，
- (2) 虽有误差，工程上已足够准确，计算简单。

令：

$$\begin{cases} Z_k = Z_1 + Z'_2 = R_k + jX_k \\ R_k = R_1 + R'_2 = R_1 + k^2 R_2 \\ X_k = X_1 + X'_2 = X_1 + k^2 X_2 \end{cases}$$

短路阻抗

短路电阻

短路电抗

第四节 变压器参数的测定

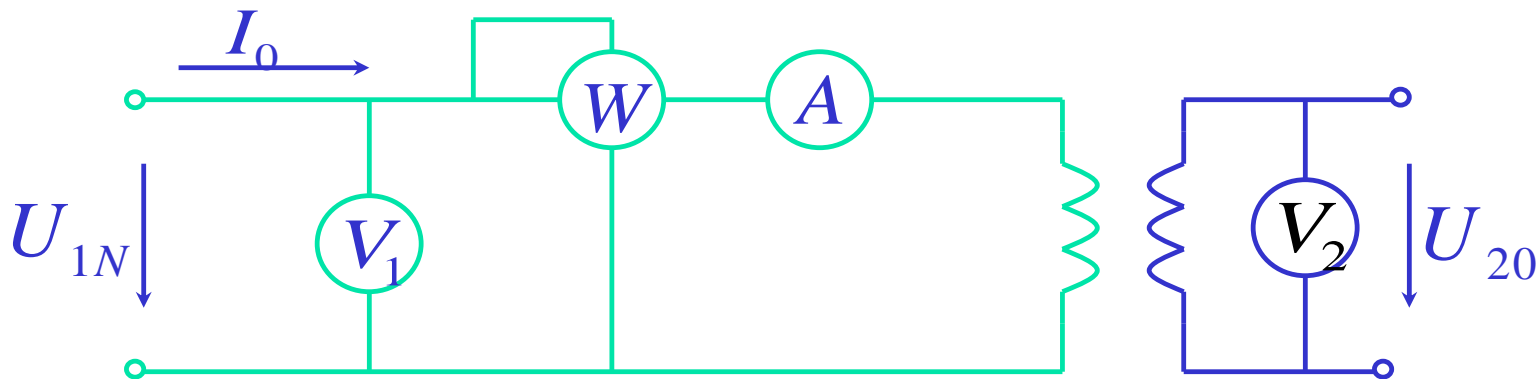
变压器等值电路的参数可以通过空载试验和短路试验测量

一、变压器空载试验

1、试验目标：通过变压器空载试验期望得到：

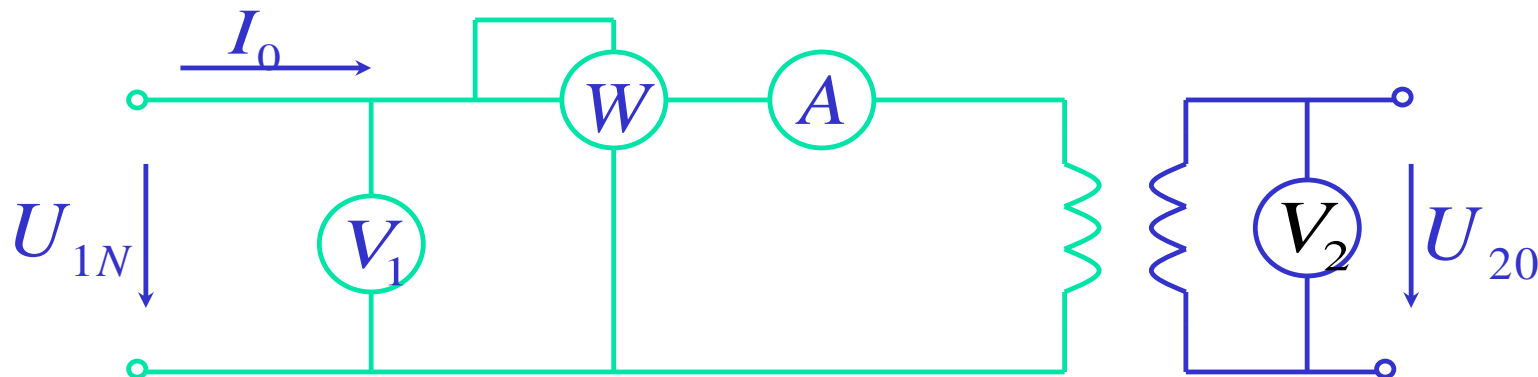
变比 k 、空载损耗 P_0 、励磁阻抗 Z_m 。

2、试验接线图：



一、变压器空载试验

3、试验方法：



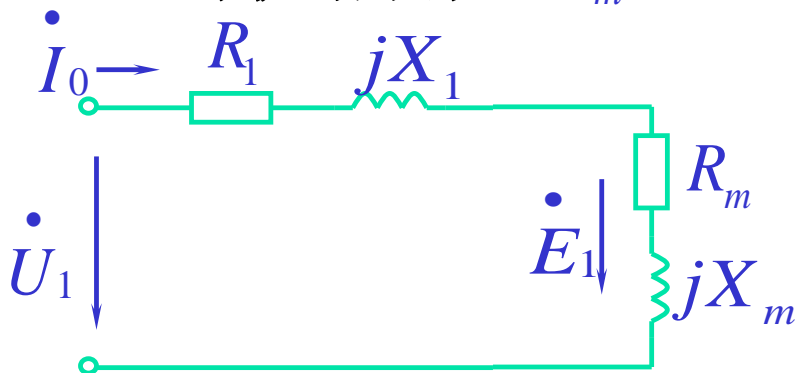
(1) 原边加额定电压，副边开路

(2) 读取各表参数。

4、假设：励磁电流 I_0 很小，它所引起的铜耗可忽略，

即输入功率 P_0 全部供给铁耗。 $Z_m \gg Z_1$

使用串联等值电路



一、变压器空载试验

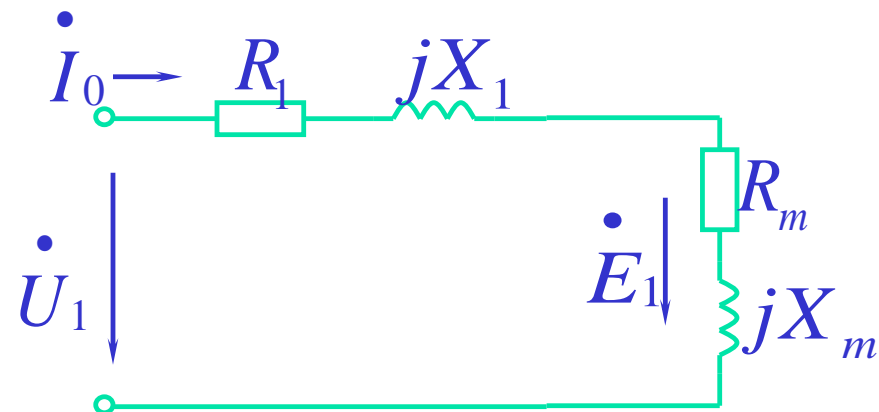
5、计算：

1) 励磁阻抗: $Z_m \approx U_{1N} / I_0$

2) 励磁电阻: $R_m \approx p_0 / I_0^2$

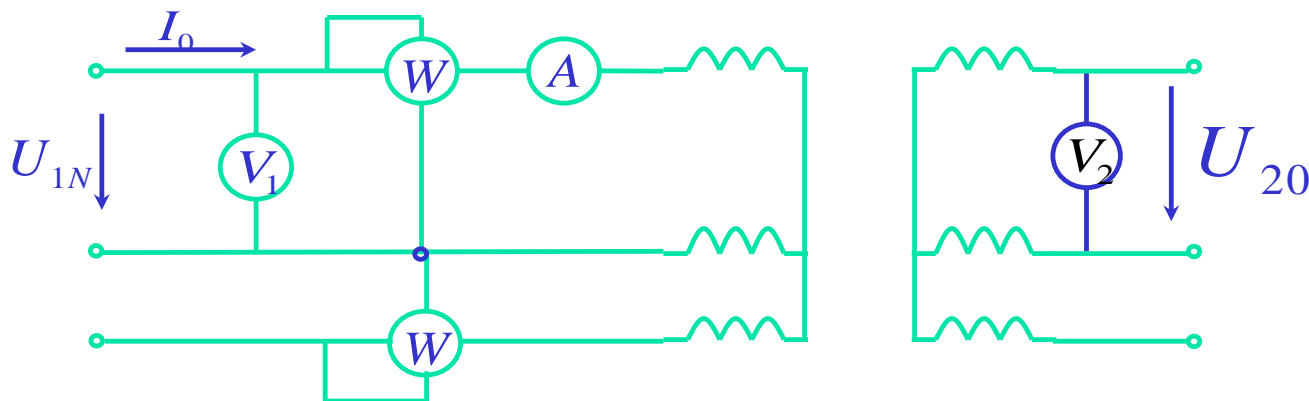
3) 励磁电抗: $X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2}$

4) 变比: $k \approx U_{1N} / U_{20}$



6、注意事项：从安全和仪表方面考虑，**低压边加电压**。得到的是**低压边折算值**，折算到高压边需乘变比的平方。

7、三相变压器的空载试验：



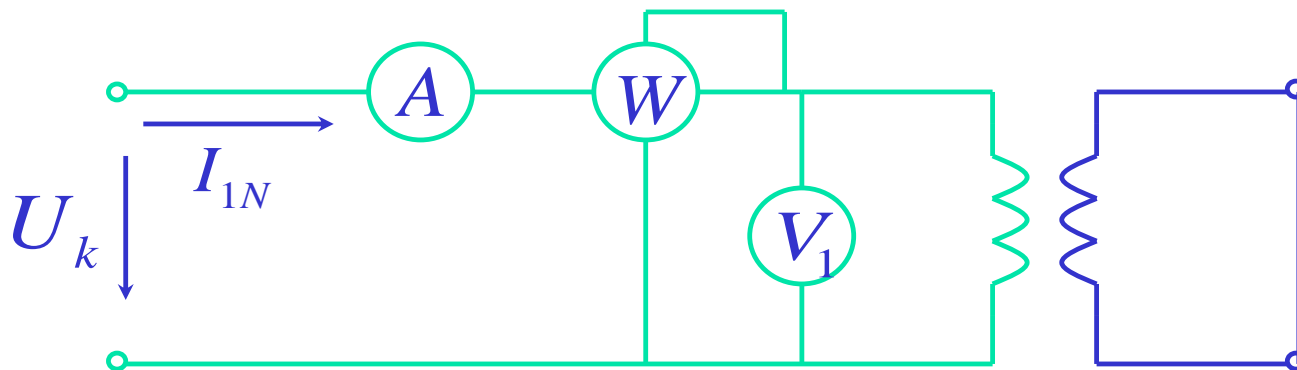
二、变压器短路试验

1、试验目标：通过变压器短路试验期望得到：

变压器短路电阻 R_k 和短路电抗 X_k 。

线圈电阻 R_1 、 R_2 和漏电抗 X_1 、 X_2 。

2、试验接线图：



3、试验方法：

(1) 原边加较低电压，电流达到额定值，副边短路，

(2) 读取各表参数。

二、变压器短路试验

4、依据：

若原边绕组的电流达到额定值，副边绕组的电流也同时达到额定值；

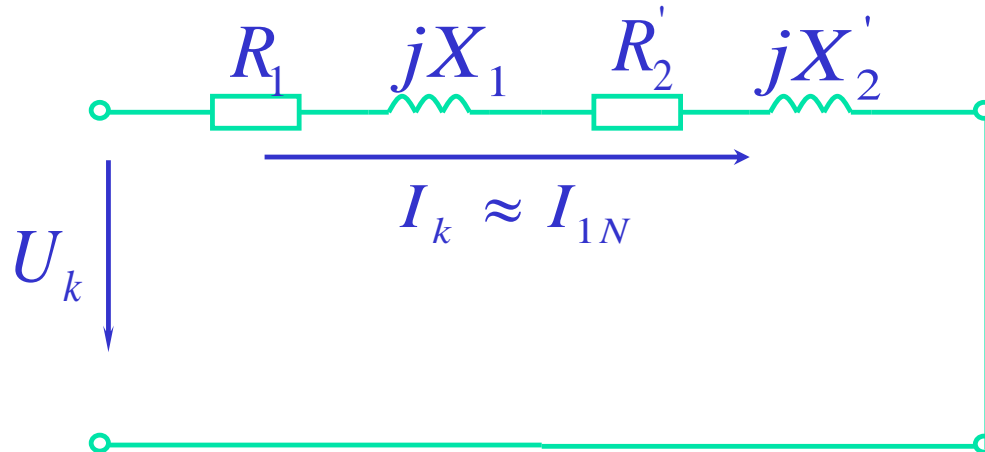
此时线圈的铜耗相当于额定负载时的铜耗值。

5、假设：

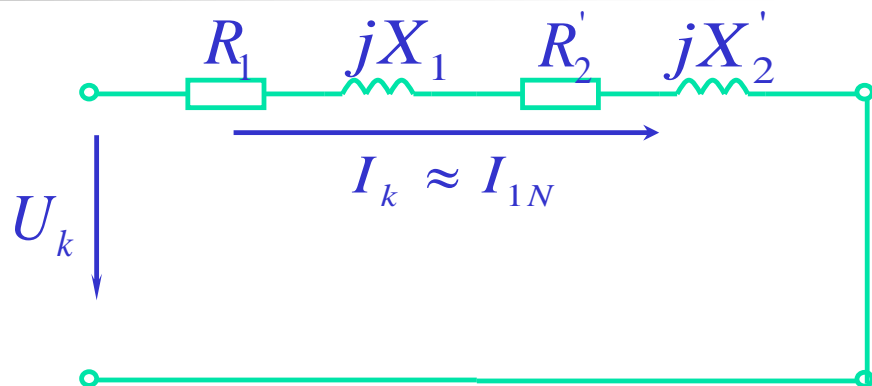
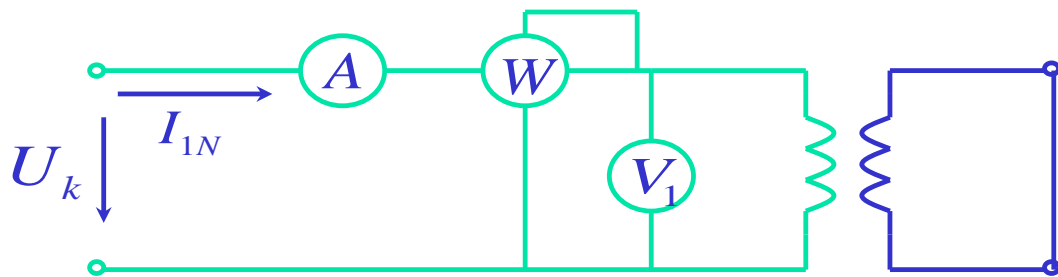
原边电流达到额定值时原边电压一般只有额定值的（5-10）%；

励磁电流和铁耗均忽略不计，输入功率全部供给铜耗。

使用简化等值电路：



二、变压器短路试验



6、计算与结果：

漏阻抗：

$$Z_k = \frac{U_k}{I_k}$$

短路电阻：

$$R_k = \frac{P_k}{I_k^2}$$

短路电抗：

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}$$

7、注意事项：

两边做试验均可，常在高压边做。

得到的是测量侧折算值。 $R_1 \approx R_2'$ $X_1 \approx X_2'$ $Z_1 \approx Z_2'$

换算为标准温度：（铜线）

$$R_{k75^\circ\text{C}} = R_k \frac{235 + 75}{235 + \theta}$$

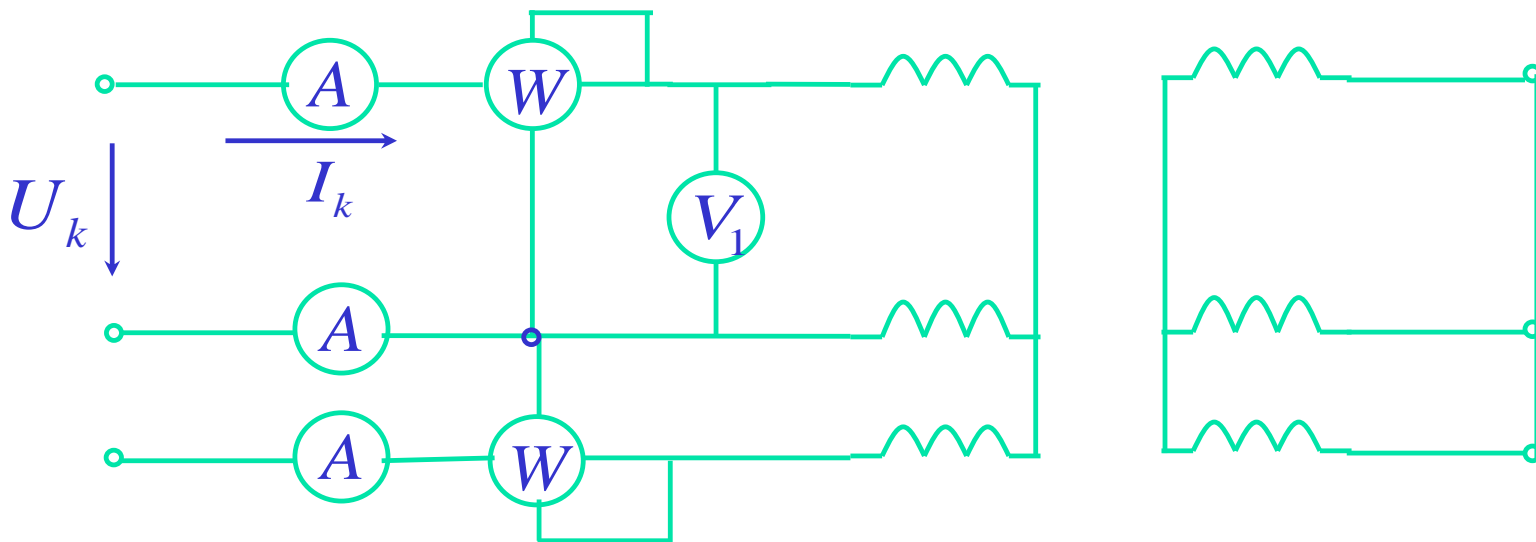
$$Z_{k75^\circ\text{C}} = \sqrt{R_{k75^\circ\text{C}}^2 + X_k^2}$$

$$P_{kN} = P_k \frac{235 + 75}{235 + \theta}$$

实验室
室温

二、变压器短路试验

8、三相变压器的短路试验：



第五节 标么值

标么值是一个相对值，无量纲。

$$\text{标么值} = \frac{\text{实际值(任意单位)}}{\text{基值(与实际值同单位)}}$$

一般选择额定值作为基值，标么值即为**将基值标定为一（么）时实际值的相对大小**。

优点：

- 不论变压器的容量多大，用标么值表示的参数和性能数据，一般总在特定的范围内，便于分析比较。
- 采用标么值计算时，不必进行折算。
- 在**对称的三相系统**中，**线值和相值的标么值相等**。
- **正弦交变量的有效值和最大值的标么值相等**。

例题5-5

一台三相电力变压器，Y/Y接法，额定容量 $S_N=750kVA$ ，额定电压 $U_{1N}/U_{2N}=10000/400V$ 。低压边做空载试验，测出数据 $U_2=U_{2N}=400V$ ， $I_2=I_{20}=60A$ ， $p_0=3800W$ 。高压边做短路试验，测出数据 $U_1=U_{1k}=440V$ ， $I_1=I_{1N}=43.3A$ ， $p_k=10900W$ ，室温 $20^\circ C$ 。

求：该变压器每一相的参数值（用标么值表示）。

解：

$$k = \frac{U_{1N} / \sqrt{3}}{U_{2N} / \sqrt{3}} = \frac{U_{1N}}{U_{2N}} = \frac{10000}{400} = 25$$

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}} = 43.3A$$

$$I_{2N} = kI_{1N} = 1083A$$

$$Z_{1N} = \frac{U_{1N}}{\sqrt{3}I_{1N}} = 133.3\Omega$$

$$Z_{2N} = \frac{U_{2N}}{\sqrt{3}I_{2N}} = 0.213\Omega$$

原边阻抗基值

副边阻抗基值

例题5-5

空载试验得到

$$Z_m = \frac{U_{2N}}{\sqrt{3}I_{20}} = 3.85\Omega \Rightarrow \underline{Z_m} = \frac{Z_m}{Z_{2N}} = 18.08$$

$$R_m = \frac{p_0}{3I_{20}^2} = \frac{3800}{3 \times 60^2} = 0.35\Omega \Rightarrow \underline{R_m} = \frac{R_m}{Z_{2N}} = 1.64$$

$$\underline{X_m} = \sqrt{\underline{Z_m}^2 - \underline{R_m}^2} = 18$$

短路试验得到

$$Z_k = \frac{U_{1k}}{\sqrt{3}I_{1k}} = \frac{440}{\sqrt{3} \times 43.3} = 5.87\Omega$$

$$R_k = \frac{p_k}{3I_{1k}^2} = \frac{10900}{3 \times 43.3^2} = 1.94\Omega$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = 5.54\Omega$$

例题5-5

换算到75 °C时（铝线）

$$R_{k75^{\circ}C} = 1.94 \times \frac{228 + 75}{228 + 20} = 2.37(\Omega)$$

$$Z_{k75^{\circ}C} = \sqrt{R_{k75^{\circ}C}^2 + X_k^2} = 6.03\Omega$$

标么值

$$\underline{R_{k75^{\circ}C}} = \frac{2.37}{133.3} = 0.0178$$

$$\underline{X_k} = \frac{5.54}{133.3} = 0.0416$$

$$\underline{Z_{k75^{\circ}C}} = \frac{6.03}{133.3} = 0.045$$

原、副绕组电阻、漏电抗

$$\underline{R_{1,75^{\circ}C}} \approx \underline{R'_{2,75^{\circ}C}} = \frac{1}{2} \underline{R_{k75^{\circ}C}} = 0.0089$$

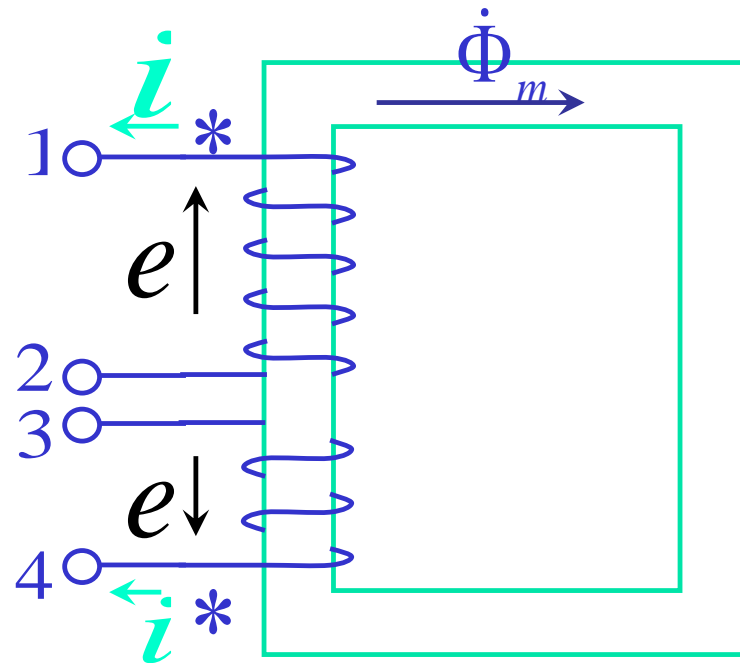
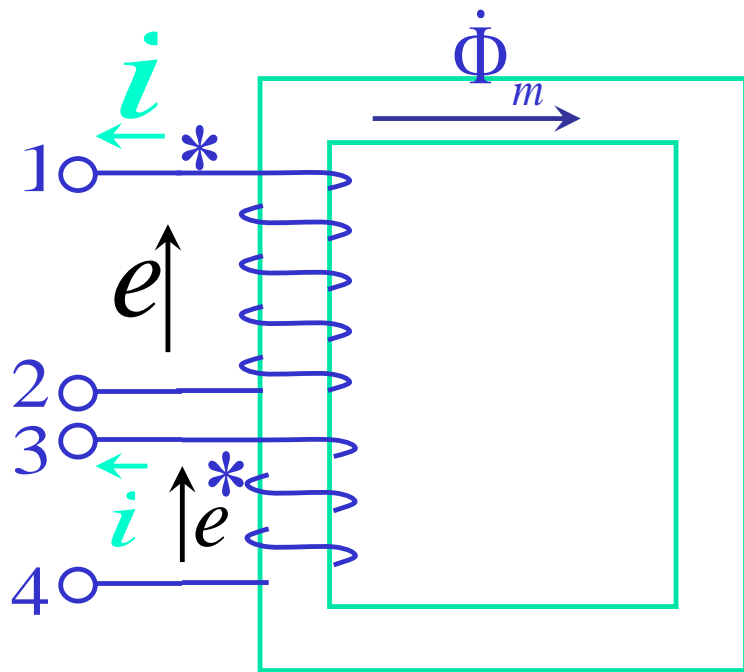
$$\underline{X_1} \approx \underline{X'_2} = \frac{1}{2} \underline{X_k} = 0.0208$$



第六节 变压器的联接组别

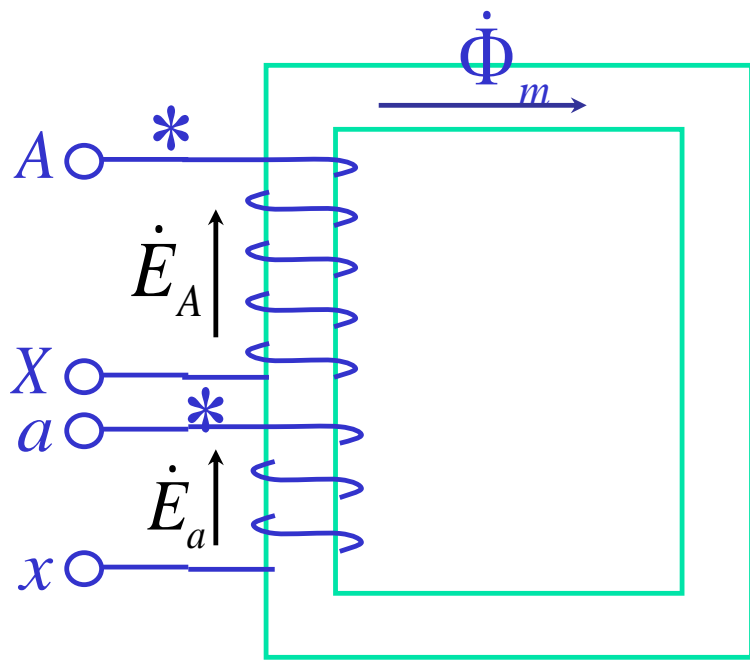
- 本节讨论变压器的变相位作用；
- 主要有变压器同名端的标注；
三相线圈的连接；
变压器联接组别的标注等。

一、单相变压器绕组的标志方式

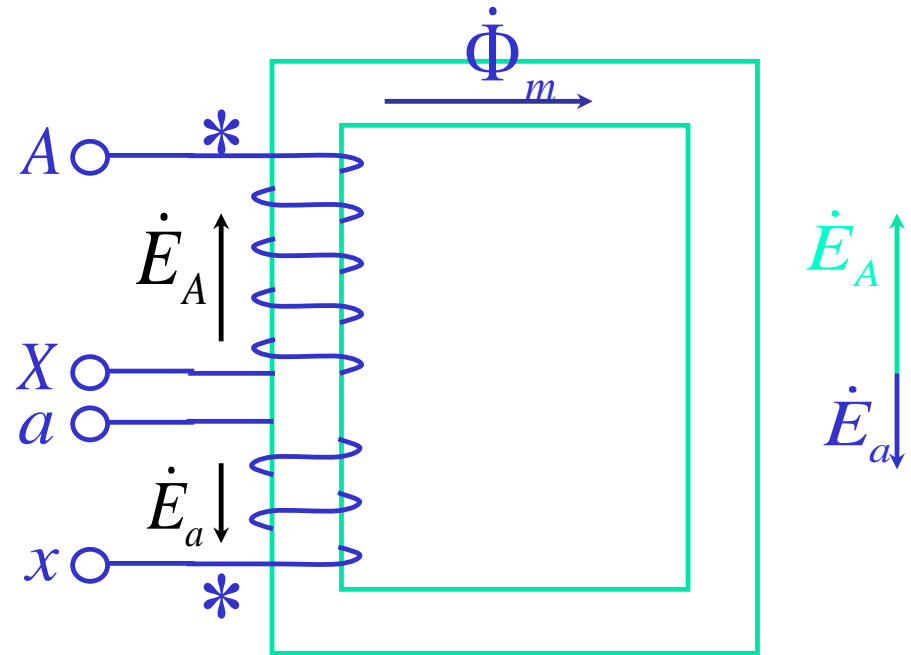
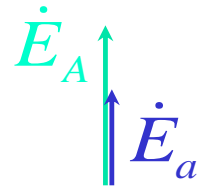


$\dot{\Phi}_m \uparrow$ 时

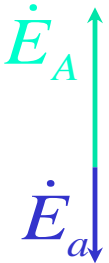
变压器联接组别的时钟表示法



$I, I0$

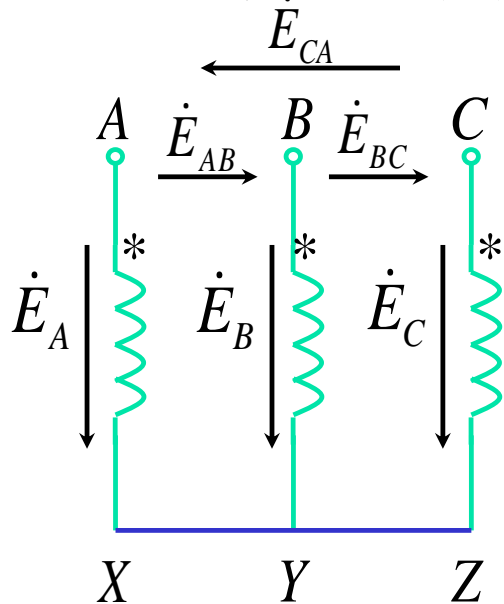


$I, I6$

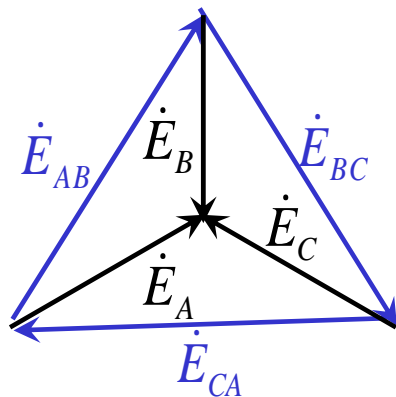


二、三相变压器绕组的联接组别

1、三相变压器绕组的联接 Y接



向量图



相电动势

$$\dot{E}_A = E \angle 0^\circ$$

$$\dot{E}_B = E \angle -120^\circ$$

$$\dot{E}_C = E \angle -240^\circ$$

线电动势

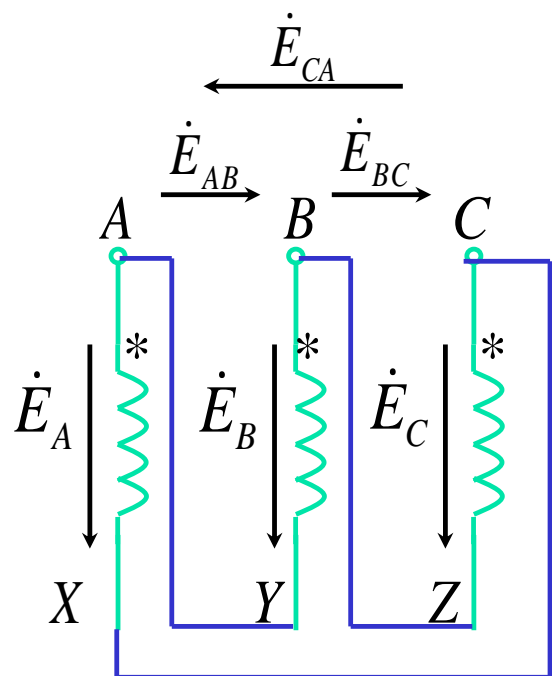
$$\dot{E}_{AB} = \dot{E}_A - \dot{E}_B$$

$$\dot{E}_{BC} = \dot{E}_B - \dot{E}_C$$

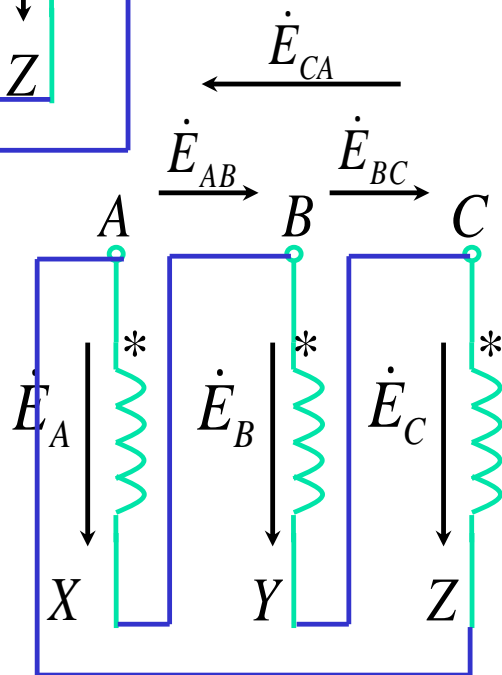
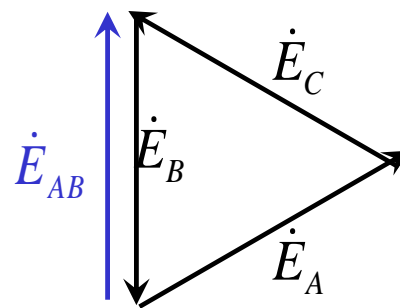
$$\dot{E}_{CA} = \dot{E}_C - \dot{E}_A$$

二、三相变压器绕组的联接组别

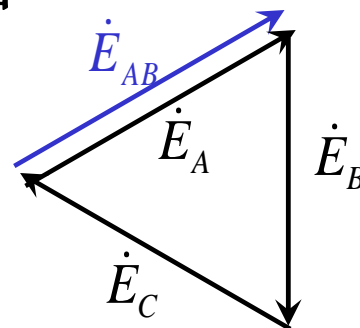
Δ 接



向量图



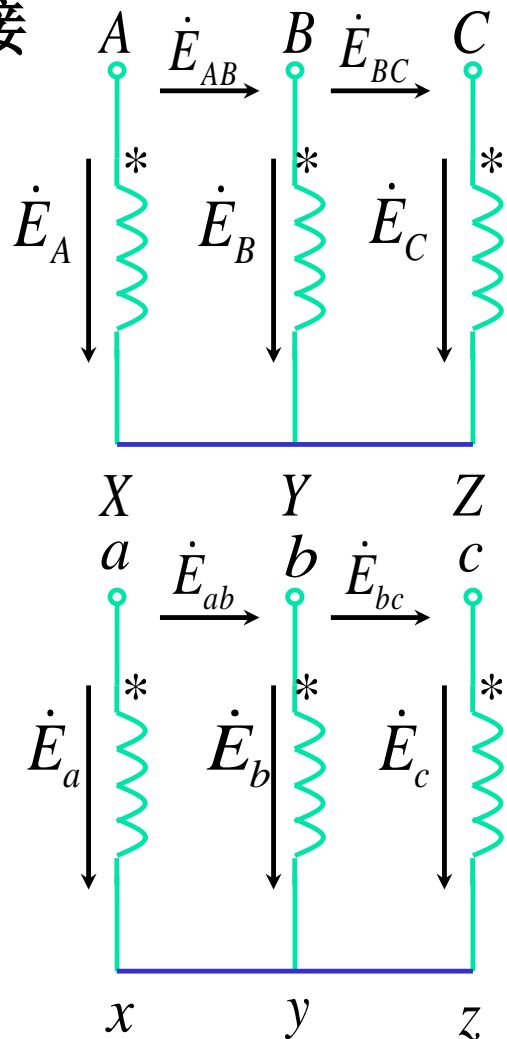
向量图



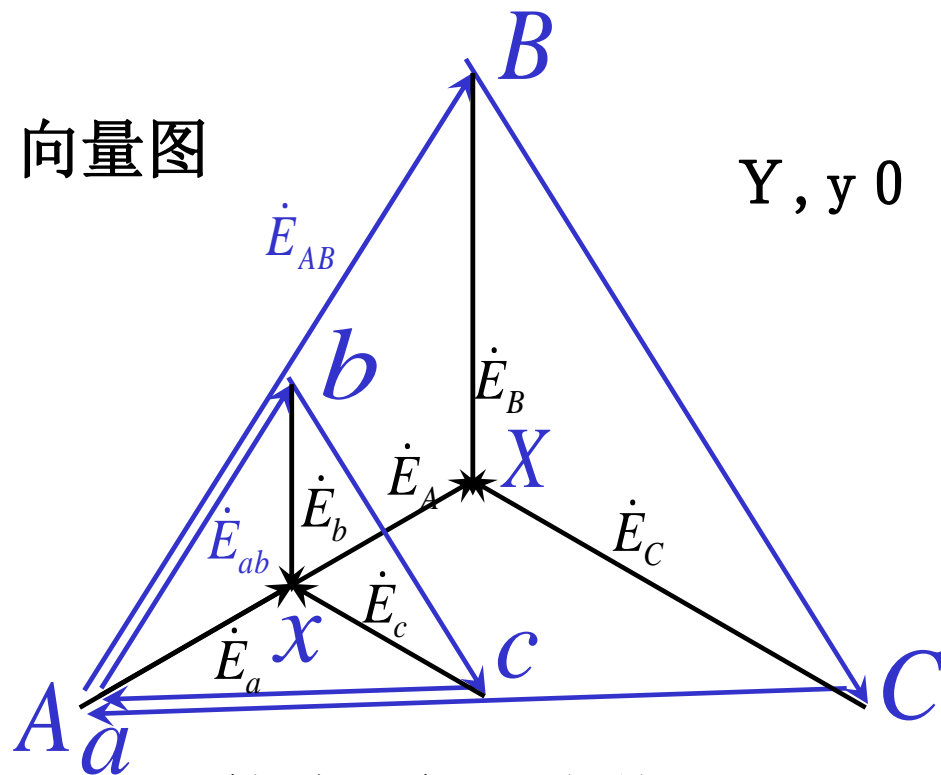
二、三相变压器绕组的联接组别

2、三相变压器的联接组别

Y/Y接



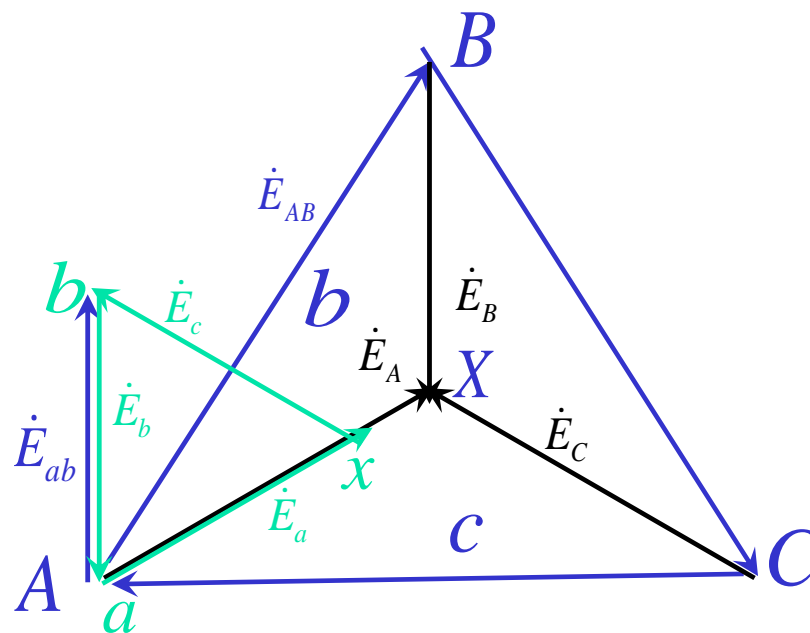
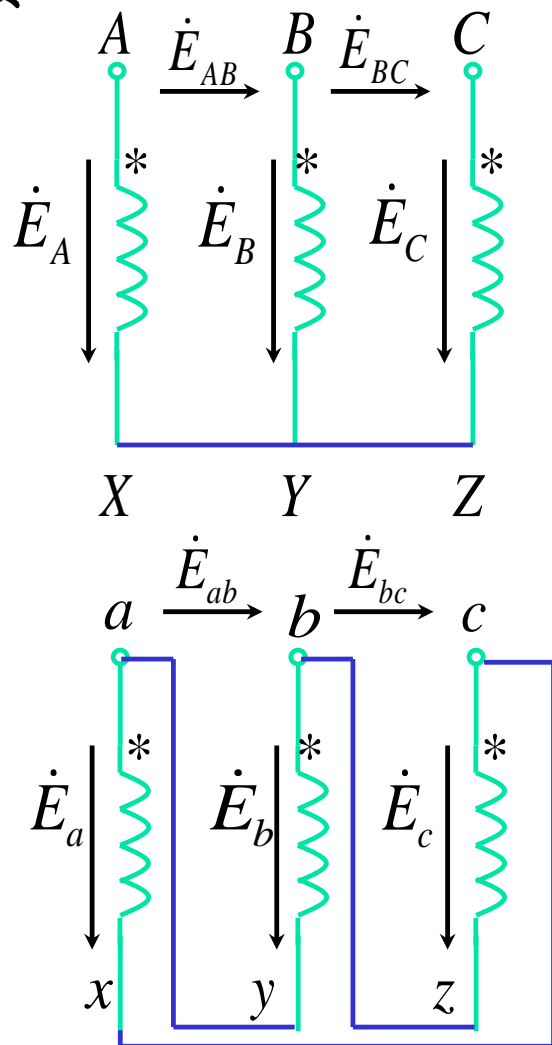
向量图



- 步骤：1) 接线图标出电势
- 2) 画出高压边向量位形图
- 3) 画出低压边向量位形图
- 4) 时钟表示法给出联接组别

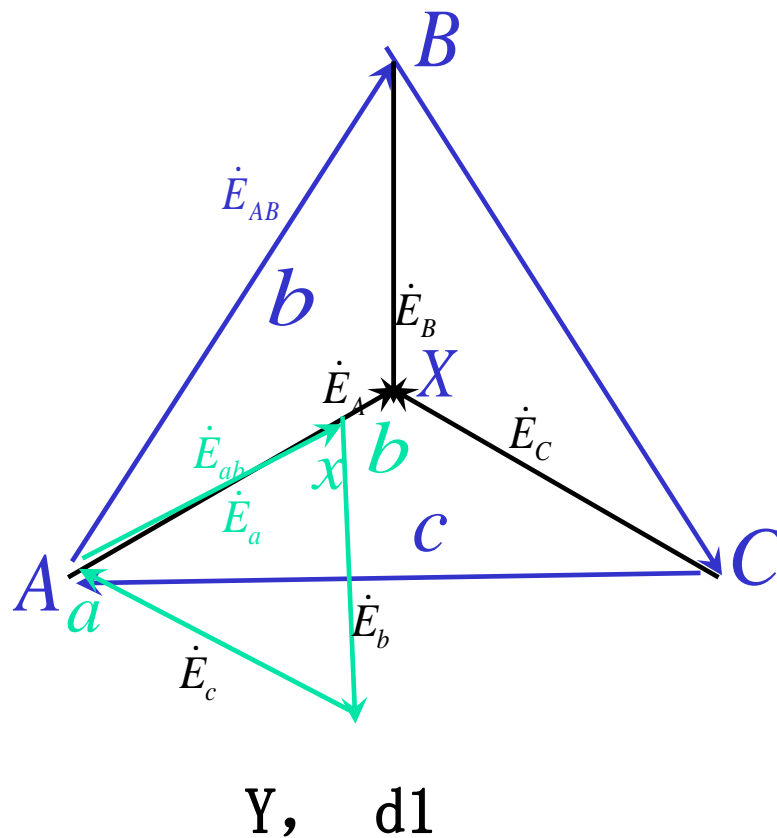
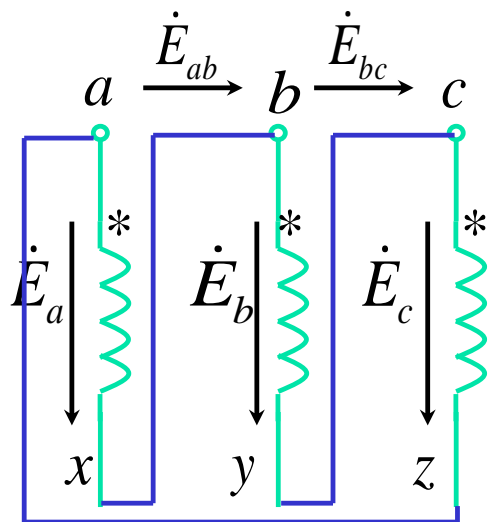
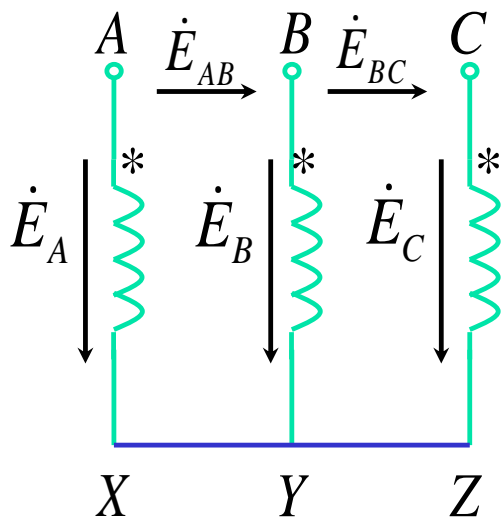
二、三相变压器绕组的联接组别

Y/Δ 接



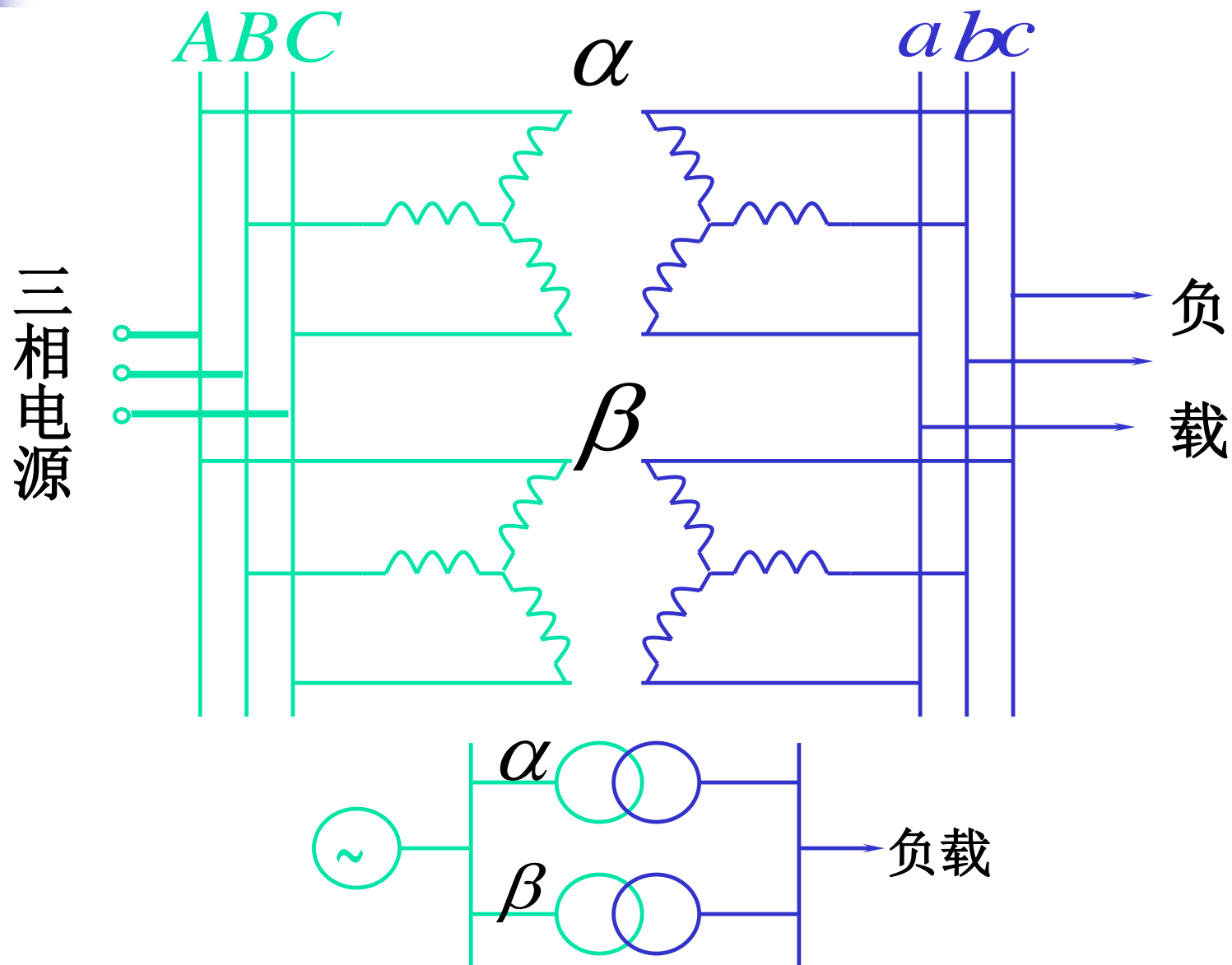
Y, d11

二、三相变压器绕组的联接组别

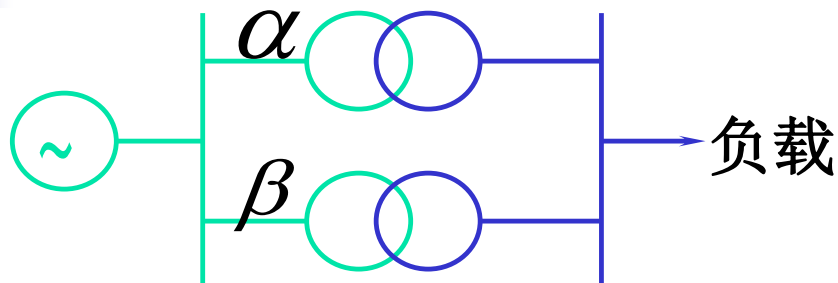


国标：(I, I0) ; (Y, yn0) ; (Y, d11) ; (YN, d11) ; (YN, y0) ; (Y, y0) 。

第七节 变压器的并联运行



第七节 变压器的并联运行



并联运行的理想情况：

- (1) 空载时每台变压器副边电流都为零，各变压器间无环流。
- (2) 负载运行时每台变压器分担的负载电流与它们的容量成正比。

并联运行的变压器应满足的条件：

- (1) 原、副边额定电压相同。
- (2) 属同一联接组别。
- (3) 短路阻抗标么值相等。



例题5-8

两台变压器并联运行，额定数据分别为

$$S_{Na}=1800\text{kVA}, Y, d11, 35/10\text{kV}, \underline{Z}_{ka}=0.0825$$

$$S_{N\beta}=1000\text{kVA}, Y, d11, 35/10\text{kV}, \underline{Z}_{k\beta}=0.0675$$

运行在35kV电网上，当负载为 $S_L=2800\text{kVA}$ 时：

求：

- (1) 每台变压器的电流、容量及负载系数；
- (2) 若不使任何一台变压器过载，能供给的最大负载？

例题5-4

解:

(1) 原边总负载电流

$$I = I_a + I_\beta = \frac{S_L}{\sqrt{3}U_{1N}} = \frac{2800 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 35 \times 10^3} = 46.12 \text{ A}$$

原边额定电流

$$I_{1Na} = \frac{S_{1Na}}{\sqrt{3}U_{1N}} = \frac{1800 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 35 \times 10^3} = 29.69 \text{ A}$$

$$I_{1N\beta} = \frac{S_{1N\beta}}{\sqrt{3}U_{1N}} = \frac{1000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 35 \times 10^3} = 16.5 \text{ A}$$

每相短路阻抗

$$Z_{ka} = \underline{Z_{ka}} \cdot \frac{U_{1N} / \sqrt{3}}{I_{1Na}} = 0.0825 \times \frac{35 \times 10^3 / \sqrt{3}}{29.69} = 56.15 \Omega$$

$$Z_{k\beta} = \underline{Z_{k\beta}} \cdot \frac{U_{1N} / \sqrt{3}}{I_{1N\beta}} = 0.0675 \times \frac{35 \times 10^3 / \sqrt{3}}{16.5} = 82.69 \Omega$$

例题5-4

计算每台变压器的电流

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_a}{I_\beta} &= \frac{Z_{k\beta}}{Z_{ka}} = \frac{82.69}{56.15} = 1.473 \\ I_a + I_\beta &= 46.12 A \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} I_a = 27.47 A \\ I_\beta = 18.65 A \end{cases}$$

计算每台变压器的容量

$$\begin{cases} S_a = \sqrt{3}U_{1N}I_a = 1665 kVA \\ S_\beta = \sqrt{3}U_{1N}I_\beta = 1131 kVA \end{cases}$$

计算每台变压器的负载系数

$$\begin{cases} \beta_a = \frac{I_a}{I_{aN}} = \frac{27.47}{29.69} = 0.925 (\text{欠载}) \\ \beta_\beta = \frac{I_\beta}{I_{\beta N}} = \frac{18.65}{16.5} = 1.13 (\text{过载}) \end{cases}$$

例题5-4

(2) 最大负载时的负载系数

$$\begin{cases} \beta_{\beta} = 1 \\ \beta_a = \frac{Z_{k\beta}}{Z_{ka}} = \frac{0.0675}{0.0825} = 0.818 \end{cases}$$

最大负载系数时各变压器容量

$$\begin{cases} S_a = \beta_a S_{Na} = 1472kVA \\ S_{\beta} = \beta_{\beta} S_{N\beta} = 1000kVA \end{cases}$$

最大总负载容量

$$S = S_a + S_{\beta} = 2472kVA$$



第五章 小结

- 惯例和铭牌数据
- 单相双绕组变压器的基本工作原理
- 变压器的空载运行；电磁关系、向量图、等值电路
- 变压器的负载运行；电磁关系、折算与等值电路、向量图
- 变压器参数的测定；空载试验和短路试验
- 标么值
- 联接组别
- 并联运行