



# 浙江大学电气工程学院

# 电机与拖动

主讲：卢琴芬

3

## 变压器的负载运行（单相T）

---

# 一、负载时的物理状况

当变压器副边 $ax$ 端接通负载阻抗时的工作状态称为负载运行

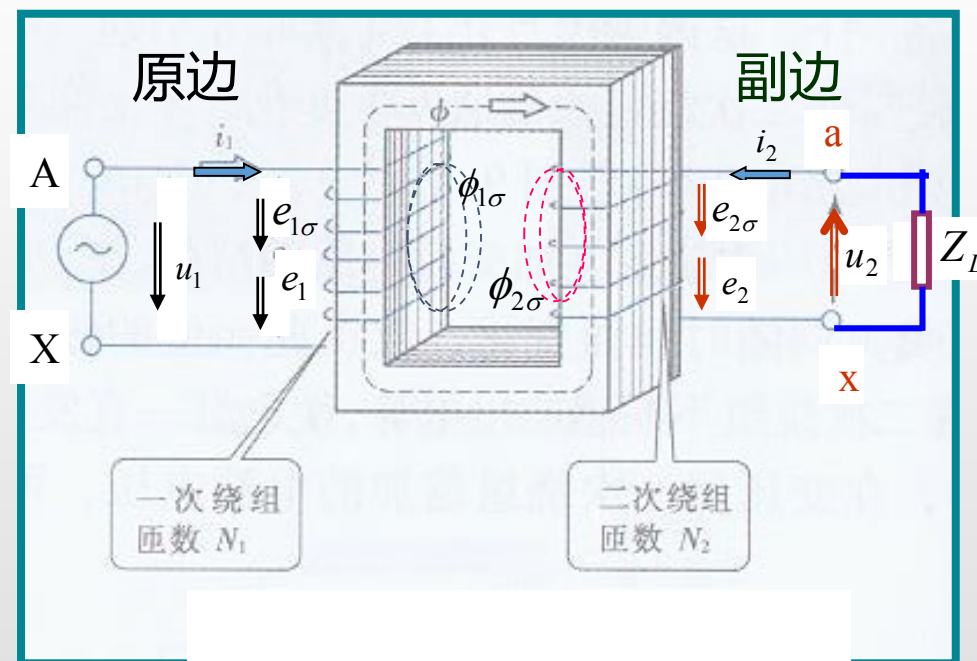
$\dot{E}_2 \Rightarrow \dot{I}_2$  其大小与负载阻抗 $Z_L$ 有关

$\dot{\Phi} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{原边磁动势} \\ \text{副边磁动势} \end{array} \right\} \Rightarrow \dot{E}_1, \dot{E}_2 \text{ 变化}$

$\dot{U}_1, Z_1 = c \Rightarrow \dot{I}_1$

$Z_1 \text{ 小} \Rightarrow \dot{I}_1 \text{ 小} \Rightarrow \dot{E}_1 \text{ 变化小} \Rightarrow \dot{\Phi} \text{ 变化小}$

$\dot{I}_2 \Rightarrow \dot{E}_{2\sigma}$



## 二、负载运行时的基本方程式

### 1 磁动势平衡方程式

$$\left. \begin{array}{l} \text{原边} \quad \dot{F}_1 = \dot{I}_1 N_1 \\ \text{副边} \quad \dot{F}_2 = \dot{I}_2 N_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \dot{F}_m = \dot{F}_1 + \dot{F}_2 \Rightarrow \dot{\Phi}$$

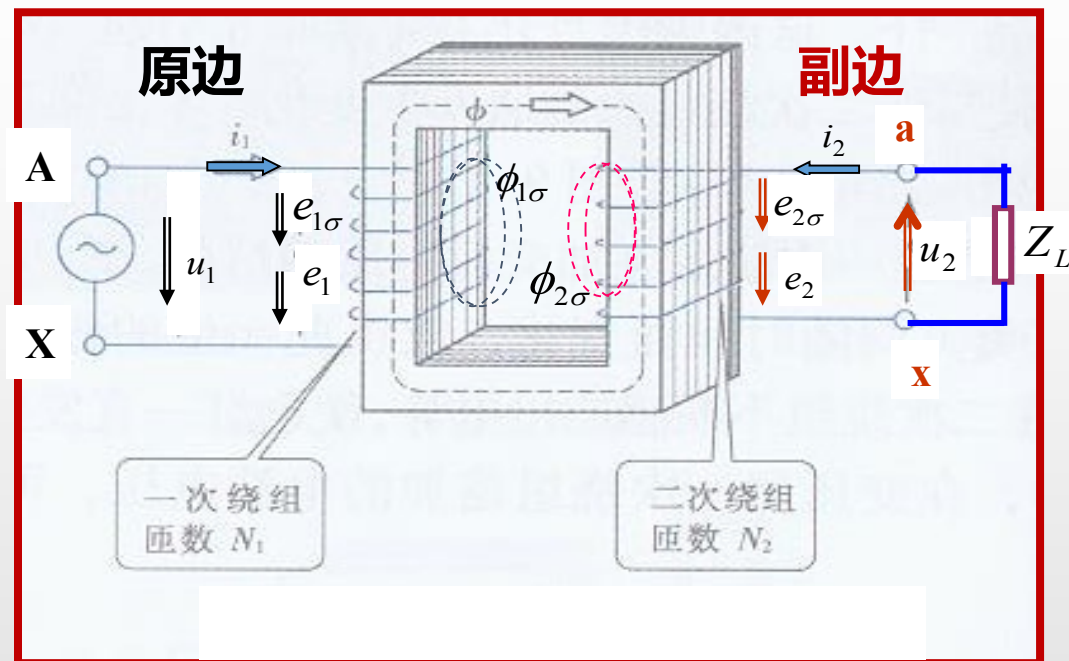
$$\dot{I}_m N_1 = \dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2 \quad \leftarrow \dot{F}_m = \dot{I}_m N_1$$

$$\dot{I}_m = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \frac{N_2}{N_1} = \dot{I}_1 + \frac{\dot{I}_2}{k}$$

激磁电流

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_m - \frac{\dot{I}_2}{k} = \dot{I}_m + \dot{I}_{1L}$$

原边电流的  
负载分量



$$\dot{I}_1 \begin{cases} \dot{I}_m \Rightarrow \dot{\Phi} \\ \dot{I}_{1L} \Rightarrow \dot{I}_{1L} N_1 + \dot{I}_2 N_2 = 0 \end{cases}$$

原边

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + j I_1 \dot{X}_{1\sigma} + \dot{I}_1 R_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 \dot{Z}_1$$

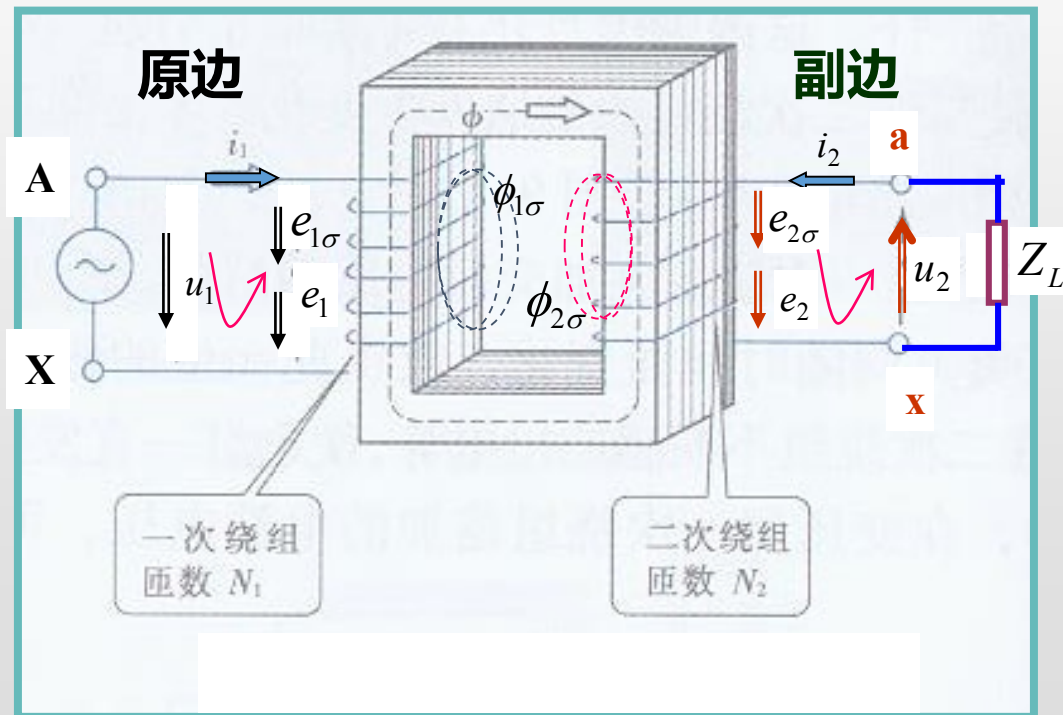
副边

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \dot{E}_{2\sigma} - \dot{I}_2 R_2 = \dot{E}_2 - j \dot{I}_2 \dot{X}_{2\sigma} - \dot{I}_2 R_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 \dot{Z}_2$$

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_2 \dot{Z}_L$$

再加

$$\begin{cases} \dot{I}_m = \dot{I}_1 + \frac{\dot{I}_2}{k} \\ -\dot{E}_1 = \dot{I}_m \dot{Z}_m \\ \dot{E}_1 = k \dot{E}_2 \end{cases}$$



### 三、变压器的折算法

计算复杂  $\Rightarrow$  简化计算  $\Rightarrow$  折算法  $\Rightarrow$  用一个假想的新的副边绕组替代副边绕组，其匝数与原边相同

$\Rightarrow$  新的副边绕组的各种物理量  
就称为副边的折算值

**折算原则：**保持变压器原来的电磁关系、磁场分布情况和能量关系不变

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

#### 1 保持副边产生的磁动势不变

$$I_2' N_1 = I_2 N_2 \Rightarrow I_2' = I_2 N_2 / N_1 = I_2 / k$$

#### 2 保持副边的视在功率不变

$$E_2' I_2' = E_2 I_2 \Rightarrow E_2' = \left( \frac{I_2}{I_2'} \right) E_2 = k E_2$$

**保持副边输出的视在功率不变**

$$U_2' I_2' = U_2 I_2 \Rightarrow U_2' = \left( \frac{I_2}{I_2'} \right) U_2 = k U_2$$

### 3 保持副边绕组的损耗不变

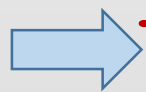
$$I_2'^2 R_2' = I_2^2 R_2 \Rightarrow R_2' = \left( \frac{I_2}{I_2'} \right)^2 R_2 = k^2 R_2$$

### 保持副边输出的有功功率不变

$$I_2'^2 R_L' = I_2^2 R_L \Rightarrow R_L' = \left( \frac{I_2}{I_2'} \right)^2 R_L = k^2 R_L$$

### 折算到原边方法总结：

- 电动势、电压的折算值 = 原来值 \*  $k$
- 电流值 = 原来值 /  $k$
- 阻抗值 = 原来值 \*  $k^2$



### 4 保持副边输出的无功功率不变

$$I_2'^2 X_L' = I_2^2 X_L \Rightarrow X_L' = \left( \frac{I_2}{I_2'} \right)^2 X_L = k^2 X_L$$

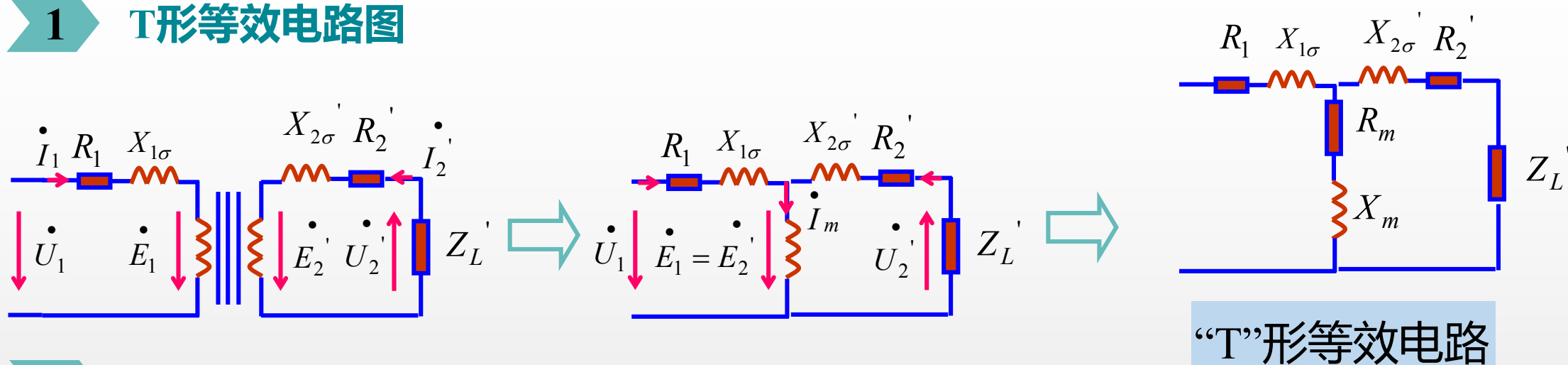
### 保持副边绕组的无功功率不变

$$I_2'^2 X_{2\sigma}' = I_2^2 X_{2\sigma} \Rightarrow X_{2\sigma}' = \left( \frac{I_2}{I_2'} \right)^2 X_{2\sigma} = k^2 X_{2\sigma}$$

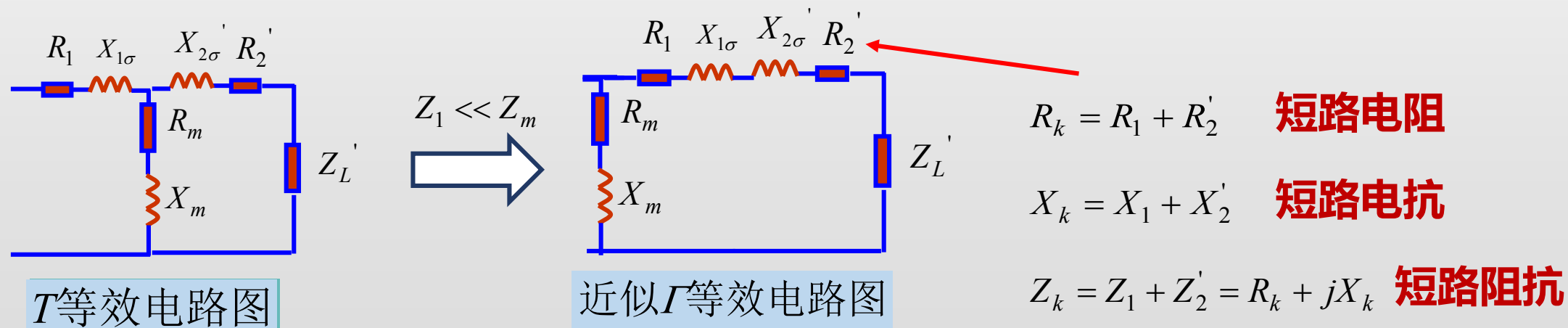
$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + j\dot{I}_1 X_{1\sigma} + \dot{I}_0 R_1 \\ \dot{U}_2' &= \dot{E}_2' + \dot{E}_{2\sigma}' - \dot{I}_2' R_2' = \dot{E}_2' - j\dot{I}_2' X_{2\sigma}' - \dot{I}_2' R_2' \\ \dot{U}_2' &= \dot{I}_2' Z_L' \\ \dot{I}_m &= \dot{I}_1 + \dot{I}_2' \\ -\dot{E}_1 &= \dot{I}_m Z_m = \dot{I}_m (R_m + jX_m) \\ \dot{E}_1 &= \dot{E}_2' \end{aligned}$$

## 四、等效电路

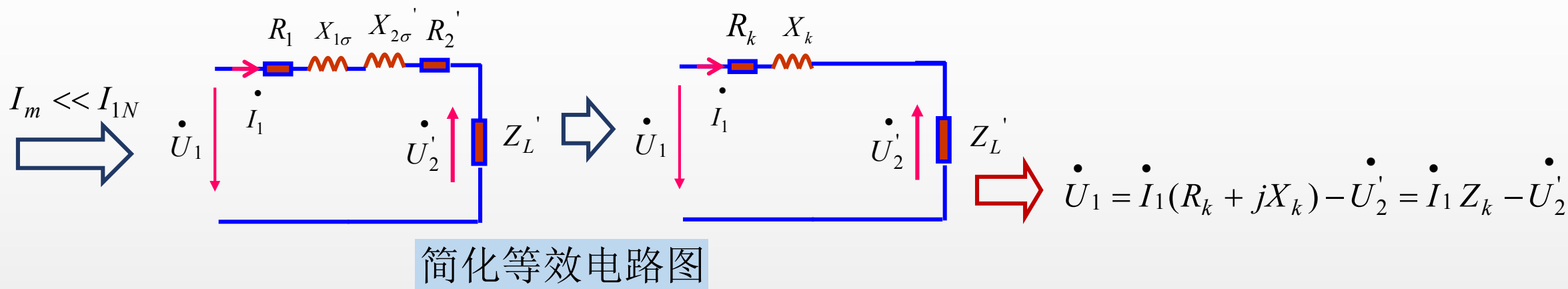
### 1 T形等效电路图



### 2 近似I等效电路图



### 3 简化等效电路图



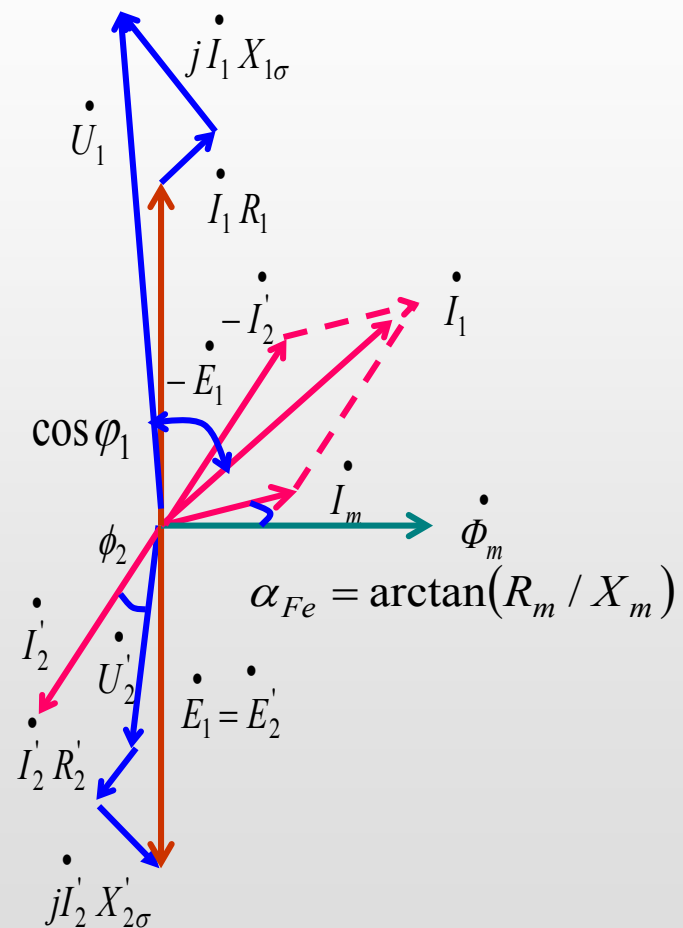
**短路阻抗 $Z_k$** 决定变压器稳态短路电流  $I_k = U_1 / Z_k$  大小，表征了变压器在额定负载时电压降落的大小，是变压器的一个重要参数

## 五、相量图

基本方程组、等效电路和相量图是分析变压器运行状况的三种方法

定量计算

相位关系





浙江大学电气工程学院

T H A N K S

主讲：浙江大学卢琴芬