



浙江大学电气工程学院

电机与拖动

主讲：卢琴芬



标么值

标么值

工程和科技计算中，各物理量采用**标么值**表示：
物理量与选定的同单位的**基值之比**的形式

**标么值表示：各物理量的
右上角加一个“*”表示**

基值选取

	原边	副边
电压	U_{1N}	U_{2N}
电流	I_{1N}	I_{2N}
阻抗	$Z_{1N} = U_{1N} / I_{1N} \quad Z_{2N} = U_{2N} / I_{2N}$	
容量	$S_N = U_{1N} I_{1N}$	

标么值

	原边	副边
电压	$U_1^* = U_1 / U_{1N}$	$U_2^* = U_2 / U_{2N}$
电流	$I_1^* = I_1 / I_{1N}$	$I_2^* = I_2 / I_{2N}$
阻抗	$Z_1^* = \frac{I_{1N}}{U_{1N}} Z_1$	$Z_2^* = \frac{I_{2N}}{U_{2N}} Z_2$
	$R_1^* = \frac{I_{1N}}{U_{1N}} R_1$	$R_2^* = \frac{I_{2N}}{U_{2N}} R_2$
	$X_{1\sigma}^* = \frac{I_{1N}}{U_{1N}} X_{1\sigma}$	$X_{2\sigma}^* = \frac{I_{2N}}{U_{2N}} X_{2\sigma}$

优点

1. 无论变压器的容量大小和电压高低，同类型的变压器，用标么值表示的参数和性能数据的变化范围很小。

$$I_0 \approx (2 \sim 10)\% I_N \Rightarrow \begin{aligned} I_0^* &\approx 0.02 \sim 0.1 \\ Z_k^* &\approx 0.05 \sim 0.1 \end{aligned}$$

2. 采用标么值，原副边不需要折算

$$R_2^* = \frac{I_{2N}}{U_{2N}} R_2 = \frac{(I_{2N}/k)}{kU_{2N}} k^2 R_2 = \frac{I_{1N}}{U_{1N}} R_2' = R_2'^*$$

3. 采用标么值时，某些物理具有相同的数值。

4. 额定电压、额定电流的标么值为1。

三相变压器的计算注意：

- (1) 线电压、线电流的标么值与相电压、相电流的标么值相同
- (2) 计算时，阻抗的基值应是相额定电压比上相额定电流

$$Z_k^* = \frac{I_{1N}}{U_{1N}} Z_k = \frac{U_k}{U_{1N}} = U_k^*$$

$$R_k^* = \frac{I_{1N}}{U_{1N}} R_k = \frac{U_{kR}}{U_{1N}} = U_{kR}^* = p_k^*$$

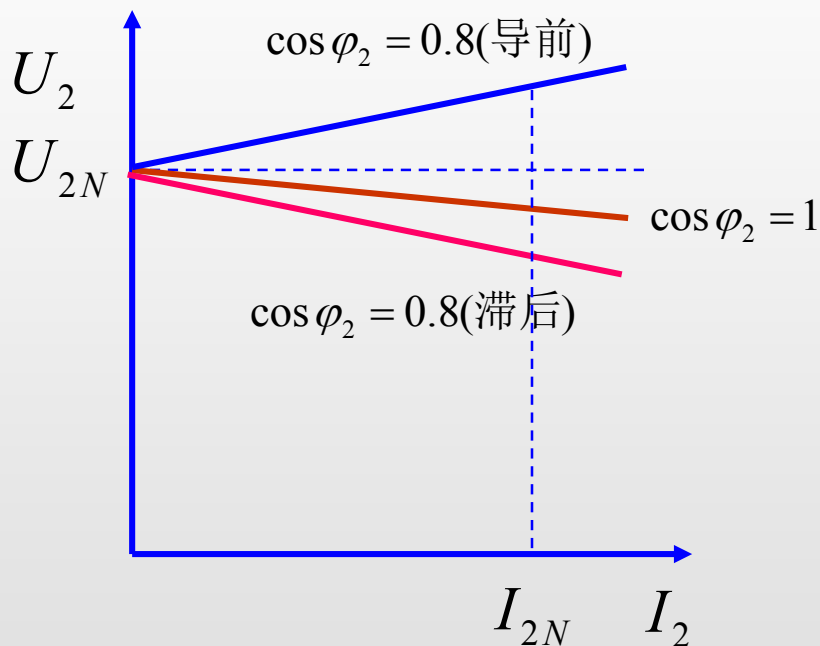
$$X_k^* = \frac{I_{1N}}{U_{1N}} X_k = \frac{U_{kX}}{U_{1N}} = U_{kX}^*$$

6

变压器的工作特性

一、变压器的外特性

外特性： $U_1 = U_{1N}, \cos \varphi_2 = c, U_2 = f(I_2)$ 的关系曲线



原副边存在漏阻抗，负载变化，则原副边电流，引起漏抗压降变化，因而输出电压变化

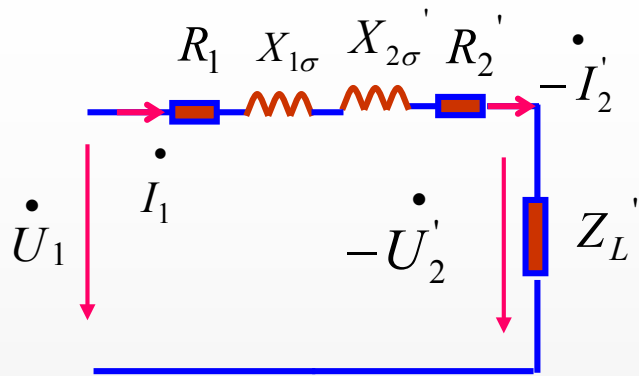
电压变化率 (电压调整率)

表征 U_2 随 I_2 变化的程度

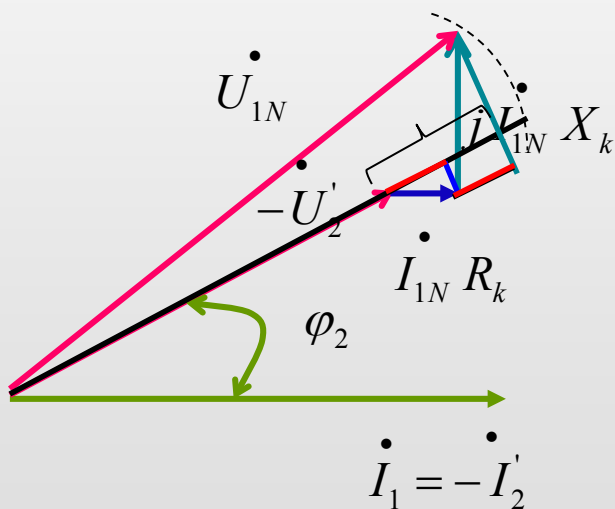
定义：当原边施加额定频率的额定电压时，副边空载电压与某一功率因素额定负载时的副边电压 U_2 之差，对副边额定电压 U_{2N} 的百分值

$$\Delta u = \frac{U_{20} - U_2}{U_{2N}} \times 100\% = \frac{U_{2N} - U_2}{U_{2N}} \times 100\% = \frac{U_{1N} - U_2}{U_{1N}} \times 100\%$$

意义：是T的一项重要性能，反映了供电电压的稳定性



简化等效电路图



$$U_{1N} - U_2' \approx I_{1N} R_k \cos \varphi_2 + I_{1N} X_k \sin \varphi_2$$

$$\Delta u = \frac{U_{1N} - U_2'}{U_{1N}} \times 100\% = \left(\frac{I_{1N} R_k}{U_{1N}} \cos \varphi_2 + \frac{I_{1N} X_k}{U_{1N}} \sin \varphi_2 \right) \times 100\% \\ = (R_k^* \cos \varphi_2 + X_k^* \sin \varphi_2) \times 100\%$$

讨论:

感性负载 $\cos \varphi_2 > 0, \sin \varphi_2 > 0 \Rightarrow \Delta u > 0 \Rightarrow U_2 < U_{2N}$

容性负载

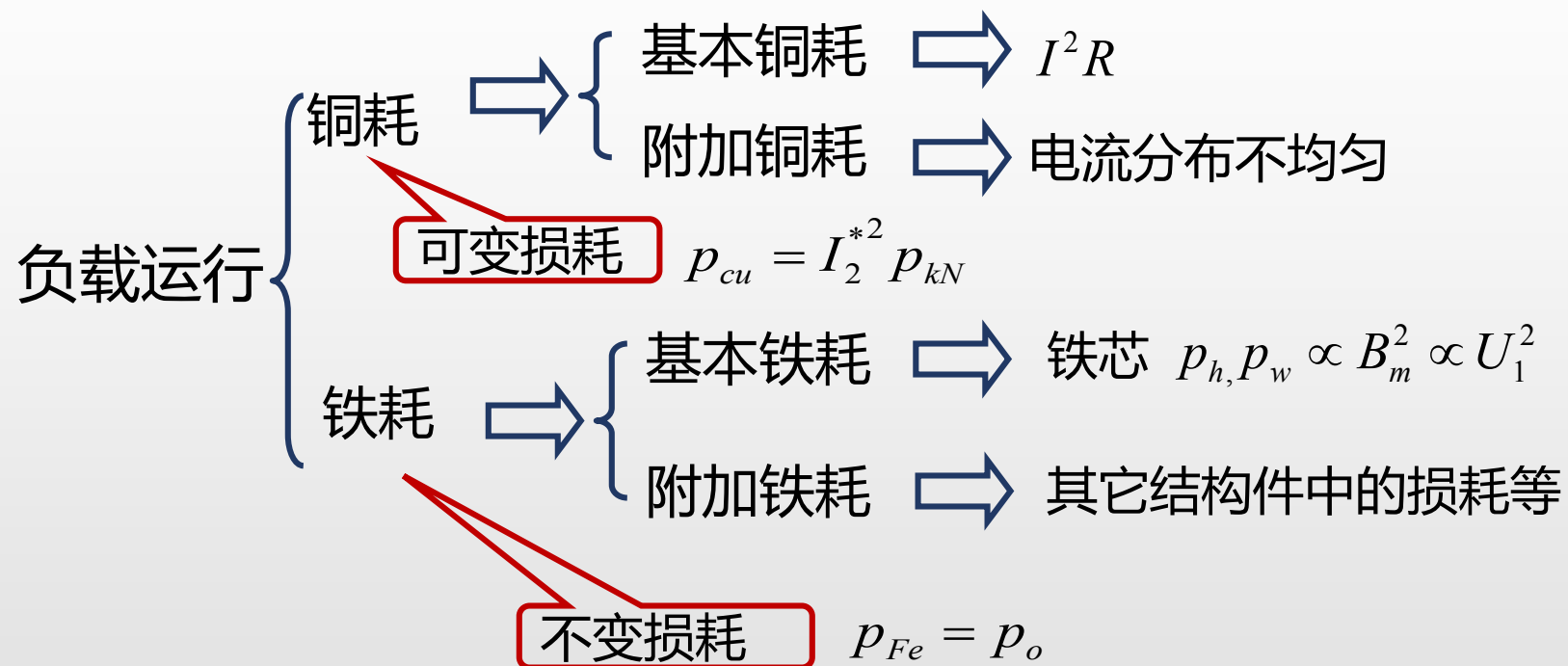
$$\cos \varphi_2 > 0, \sin \varphi_2 < 0 \begin{cases} |I_{1N} R_k \cos \varphi_2| > |I_{1N} X_k \sin \varphi_2| \Rightarrow \Delta u > 0 \\ \Rightarrow U_2 < U_{2N} \\ |I_{1N} R_k \cos \varphi_2| < |I_{1N} X_k \sin \varphi_2| \Rightarrow \Delta u < 0 \\ \Rightarrow U_2 > U_{2N} \end{cases}$$

非额定负载运行时

$$\Delta u = I_2^* (R_k^* \cos \varphi_2 + X_k^* \sin \varphi_2) \times 100\%$$

二、T的损耗和效率特性

1 T的损耗



总损耗 $\sum p = p_{cu} + p_{Fe} = I_2^{*2} p_{kN} + p_o$

2 T的效率

$$\eta = (P_2/P_1) \times 100\% = \left(1 - \frac{\sum p}{P_1}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{\sum p}{P_2 + \sum p}\right) \times 100\%$$

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1 \quad \text{输入功率} \quad \text{输出功率} \quad P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$$

$$\Delta u \text{ 很小, } U_2 \approx U_{20} = U_{2N} \Rightarrow P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 = U_{2N} I_2 \cos \varphi_2 \\ = U_{2N} I_2^* I_{2N} \cos \varphi = I_2^* S_N \cos \varphi_2$$

$$\Rightarrow \eta = \left[1 - \frac{p_0 + I_2^{*2} p_{kN}}{I_2^* S_N \cos \varphi_2 + p_0 + I_2^{*2} p_{kN}}\right] \times 100\% \Rightarrow \eta = \left[1 - \frac{p_0^* + I_2^{*2} p_{kN}^*}{I_2^* S_N^* \cos \varphi_2 + p_0^* + I_2^{*2} p_{kN}^*}\right] \times 100\%$$

$$\frac{d\eta}{dI_2^*} = 0 \Rightarrow I_2^* = \sqrt{p_0/p_{kN}} \Rightarrow I_2^* p_{kN} = p_0 \Rightarrow \text{不变损耗} = \text{可变损耗}$$

0.5~0.58时，
效率最大

例：已知一三相变压器Y/ Δ 的额定数据： $S_N, U_{1N}/U_{2N}, f_N$ 。空载实验在低压侧进行，外施额定电压时，空载电流为 I_0 ，空载损耗为 p_0 ；短路试验在高压边进行，当短路电流为额定值时，短路电压为 U_k ，短路损耗 p_k 。设原、副边折算到同一侧的电阻和漏抗分别相等。

空载电流，短路电压为线电压；
空载损耗，短路损耗为三相总的损耗。

求解：变压器参数的实际值和标么值；画出T形等效电路(标注符号与数值)

解：

$$p_0^* = \frac{p_0}{S_N} \quad I_0^* = \frac{I_0}{I_{2N}} = \frac{I_0}{\left(\frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}} \right)} \quad U_0^* = 1$$

$$R_m^* = \frac{p_0^*}{I_0^{*2}} \quad Z_m^* = \frac{U_0^*}{I_0^*} \quad X_m^* = \sqrt{Z_m^{*2} - R_m^{*2}}$$

短路参数计算

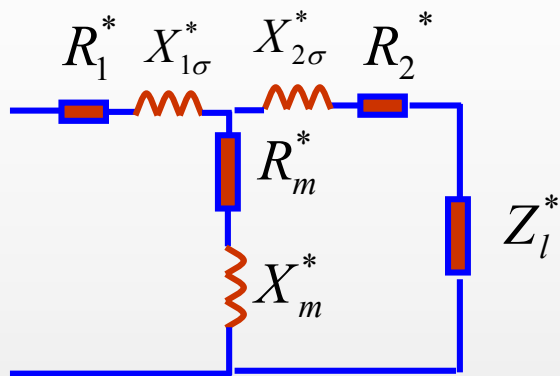
$$p_{kN}^* = \frac{p_{kN}}{S_N} \quad U_k^* = \frac{U_k}{U_{1N}} \quad I_k^* = 1$$

$$R_k^* = \frac{p_{kN}^*}{I_k^{*2}} = p_{kN}^* \quad Z_k^* = \frac{U_k^*}{I_k^*} = U_k^* \quad X_k^* = \sqrt{Z_k^{*2} - R_k^{*2}}$$

实际值

折算到**高压侧**，则用各量的标么值* Z_{1N}
 折算到**低压侧**，则用各量的标么值* Z_{2N}

$$Z_{1N} = \frac{U_{1N\phi}}{I_{1N\phi}} = \frac{\left(\frac{U_{1N}}{\sqrt{3}}\right)}{I_{1N}} = \left(\frac{U_{1N}}{\sqrt{3}}\right) \frac{\sqrt{3}U_{1N}}{S_N} \quad Z_{2N} = \frac{U_{2N\phi}}{I_{2N\phi}} = \frac{U_{2N}}{I_{2N} / \sqrt{3}} = \sqrt{3}U_{2N} \frac{\sqrt{3}U_{2N}}{S_N}$$



“T”形等效电路

$$R_1^* = R_2^* = \frac{R_k^*}{2}$$

$$X_{1\sigma}^* = X_{2\sigma}^* = \frac{X_k^*}{2}$$

给定功率因数

$$\Delta u = (R_k^* \cos \varphi_2 + X_k^* \sin \varphi_2) \times 100\%$$

$$\eta = \left[1 - \frac{p_0 + I_2^{*2} p_{kN}}{I_2^* S_N \cos \varphi_2 + p_0 + I_2^{*2} p_{kN}} \right] \times 100\%$$

$$\Rightarrow \eta = \left[1 - \frac{p_0^* + I_2^{*2} p_{kN}^*}{I_2^* S_N^* \cos \varphi_2 + p_0^* + I_2^{*2} p_{kN}^*} \right] \times 100\%$$



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