



- 一. 概述
- 二. 变压器的空载运行
- 三. 变压器负载运行
- 四. 标么值**
- 五. 变压器参数测定
- 六. 变压器的运行特性
- ~~七. 变压器的连接组别~~
- ~~八. 变压器的并联运行~~
- ~~九. 自藕变压器~~
- ~~一〇. 仪用互感器~~



四. 标么值

本节学习要点：

1. 掌握**标么值**的确定及采用标么值的意义



定义:

某一物理量的实际数值与选定的同一单位的固定数值的比值就称该物理量的标么值。

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

基值
选择

理论上可以任选，但为简化计算，须遵循规律。
常取各物理量的额定值作为基值。

电压基值

电流基值

阻抗基值

功率基值

原边

U_{1N}

I_{1N}

$\frac{U_{1N\phi}}{I_{1N\phi}}$

$\sqrt{3}U_{1N}I_{1N}(3U_{1N\phi}I_{1N\phi})$

副边

U_{2N}

I_{2N}

$\frac{U_{2N\phi}}{I_{2N\phi}}$

$\sqrt{3}U_{2N}I_{2N}(3U_{2N\phi}I_{2N\phi})$



■ 单相电路:

四个模量: U_P 、 I_P 、 S_P 、 Z , 相应四个基值: U_B 、 I_B 、 S_B 、 Z_B

$$\therefore \begin{cases} U_P = I_P Z \\ S_P = I_P U_P \end{cases}, \text{如选: } \begin{cases} U_B = I_B Z_B \\ S_B = I_B U_B \end{cases}, \text{则} \begin{cases} U_P^* = I_P^* Z^* \\ S_P^* = I_P^* U_P^* \end{cases}$$

一般先选: $U_B = U_N$ 、 $S_B = S_N$, 则:

$$I_B = \frac{S_N}{U_N}, Z_B = \frac{U_N^2}{S_N}$$

■ 三相电路:

四个模量: U_L 、 I_L 、 S_3 、 Z , 相应四个基值: U_{LB} 、 I_{LB} 、 S_{3B} 、 Z_B

$$\therefore \begin{cases} U_L = \sqrt{3}I_L Z = \sqrt{3}U_P \\ S_3 = \sqrt{3}U_L I_L = 3U_P I_P = 3S_P \end{cases}$$

如选: $\begin{cases} U_{LB} = \sqrt{3}I_{LB}Z_B = \sqrt{3}U_{PB} \\ S_{3B} = \sqrt{3}U_{LB}I_{LB} = 3U_{PB}I_{PB} = 3S_{PB} \end{cases}$, 则 $\begin{cases} U_L^* = I_L^* Z^* = U_L^* \\ S_3^* = I_L^* U_L^* = S_P^* \end{cases}$

一般先选: $U_{LB} = U_{LN}$ 、 $S_{3B} = S_N$, 则:

$$I_{LB} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{LN}}, Z_B = \frac{U_{LN}}{\sqrt{3}I_{LB}} = \frac{U_{LN}^2}{S_N}$$



标么值*

原边

$$U_1^* = \frac{U_1}{U_{1N}}, \quad I_1^* = \frac{I_1}{I_{1N}}$$

$$R_1^* = \frac{R_1}{U_{1N}/I_{1N}} = \frac{R_1 I_{1N}}{U_{1N}}, \quad X_1^* = \frac{X_1}{U_{1N}/I_{1N}} = \frac{X_1 I_{1N}}{U_{1N}}, \quad Z_1^* = \frac{Z_1}{U_{1N}/I_{1N}} = \frac{Z_1 I_{1N}}{U_{1N}}$$

副边

$$U_2^* = \frac{U_2}{U_{1N}}, \quad I_2^* = \frac{I_2}{I_{2N}}$$

$$R_2^* = \frac{R_2}{U_{2N}/I_{2N}} = \frac{R_2 I_{2N}}{U_{2N}}, \quad X_2^* = \frac{X_2}{U_{2N}/I_{2N}} = \frac{X_2 I_{2N}}{U_{2N}}, \quad Z_2^* = \frac{Z_2}{U_{2N}/I_{2N}} = \frac{Z_2 I_{2N}}{U_{2N}}$$

采用标么值的意义

- ▶ 便于对不同容量的变压器进行比较。因为不论容量相差多大，用标么值表示的参数及性能数据相差不大。

表 5.1 电力变压器短路阻抗标么值

容量/kV · A	额定电压/kV	$\underline{Z}_k$
10~6300	6~10	0.04~0.055
50~31500	35	0.065~0.08
2500~12500	110	0.105
3150~125000	220	0.12~0.14

表 5.2 电力变压器的 $\underline{X}_k/\underline{R}_k$

容量/kV · A	$\underline{X}_k/\underline{R}_k$
50	1.3
630	3.0
6300	6.5

- ▶ 原、副边各物理量不需要折算。因原、副边绕组各采用自身的额定值作为基值，折算到原、副边的值恒等。

副边电压

$$U_2^* = \frac{U_2}{U_{2N}} = \frac{U_2/U_{1N}}{U_{2N}/U_{1N}} \Rightarrow \frac{U_2/U_{1N}}{1/k} = \frac{k U_2}{U_{1N}} = \frac{U_2'}{U_{1N}} = U_2'^*$$

负载阻抗

$$Z_L^* = \frac{Z_L}{\frac{U_{2N}}{I_{2N}}} = \frac{Z_L}{\frac{U_{1N}/k}{kI_{1N}}} = \frac{\frac{Z_L'}{k^2}}{\frac{U_{1N}}{k^2 I_{1N}}} = \frac{Z_L'}{\frac{U_{1N}}{I_{1N}}} = Z_L'^*$$

➤ 各物理量数值简化，不同的物理量可具有相同的标么值。

短路阻抗

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

短路电压

短路时损耗

$$p_k^* = \frac{p_k}{S_{1N}} = \frac{I_{1N}^2 R_k}{U_{1N} I_{1N}} = \frac{I_{1N} R_k}{U_{1N}} = R_k^* = \frac{U_{kR}}{U_{1N}} = U_{kR}'^*$$

短路电压
有功分量

短路阻抗有功分量

➤ 用标么值表示的方程式与实际值表示的方程式形式上一致，加“*”。单相三相统一。



- 一. 概述
- 二. 变压器的空载运行
- 三. 变压器负载运行
- 四. 标么值
- 五. 变压器参数测定**
- 六. 变压器的运行特性
- ~~七. 变压器的连接组别~~
- ~~八. 变压器的并联运行~~
- ~~九. 自藕变压器~~
- ~~一〇. 仪用互感器~~



五. 变压器参数测定

本节学习要点：

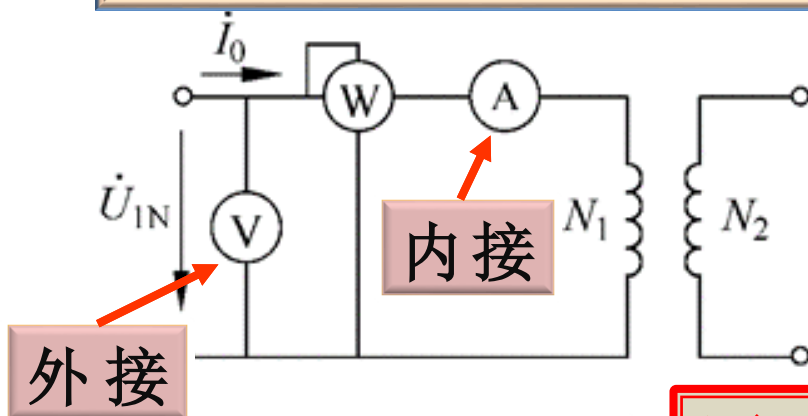
1. 掌握变压器的激磁阻抗测定 — 空载试验
2. 掌握变压器的漏阻抗测定 — 短路试验

1. 变压器的空载试验

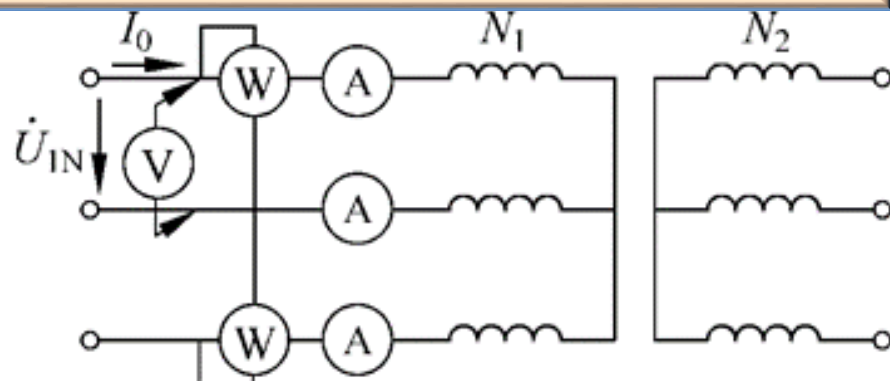
目的: 测励磁电阻 R_m ，励磁电抗 X_m ，变压器变比 k 。

方法: 为了便于测量和安全，通常将**电源电压加在低压绕组上，高压绕组开路**。

先将电源电压升高至 $1.2U_N$ ，再逐渐单调下降，依次分别测出空载电流 I_0 和空载损耗 p_0 。



单相变压器



三相变压器

原因: Z_m 很大, $\odot V$ 内阻也很大, 若内接, $\odot V$ 将分流, 引起误差。

参数计算

变压器变比:

$$k = \frac{U_1}{U_{20}}$$

空载总阻抗:

$$Z_0 = \frac{U_1}{I_0}, \quad R_0 = \frac{p_0}{I_0^2}$$

其中, $Z_0 = Z_1 + Z_m$, $R_0 = R_1 + R_m$

因为, $Z_1 \ll Z_m$, $R_1 \ll R_m$

励磁电阻: $R_m \approx R_0$

励磁阻抗: $Z_m \approx Z_0$

励磁电抗:

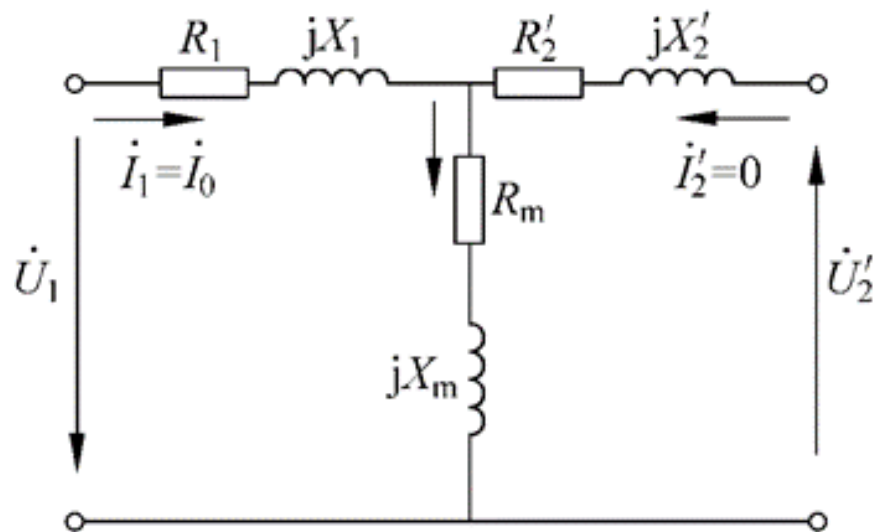
$$X_m \approx \sqrt{Z_m^2 - R_m^2}$$

可忽略

铁耗

空载损耗: 基本为铁耗

$$p_0 = I_0^2 R_1 + I_0^2 R_m$$



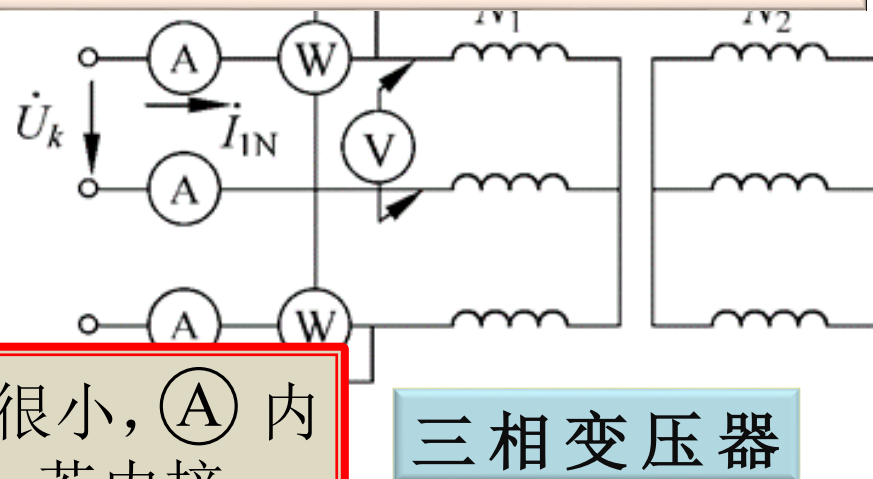
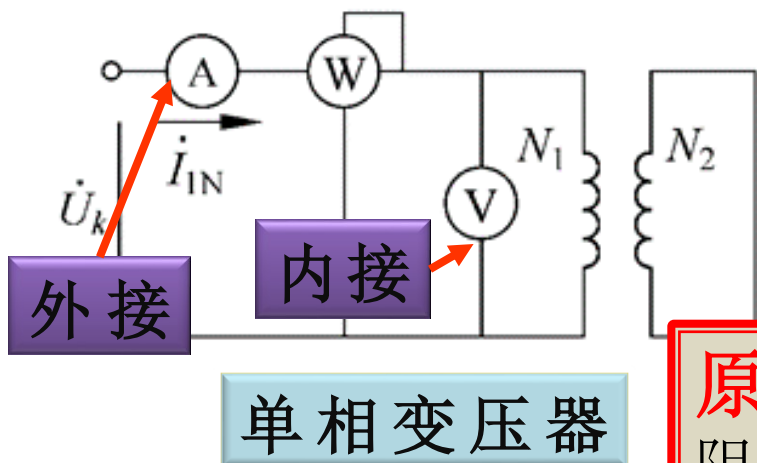
以升压变压器为例

2、变压器的短路试验

目的： 测短路电阻 R_k ，短路电抗 X_k 。

方法： 将电源电压加在高压绕组上，低压绕组短接。

为了避免过大的短路电流，试验应在低电压下进行。调节电源电压使短路电流 I_k 从0逐渐增加至 $(1.2 \sim 1.3)I_N$ ，依次分别测出短路电流 I_k 和短路损耗 p_k 。

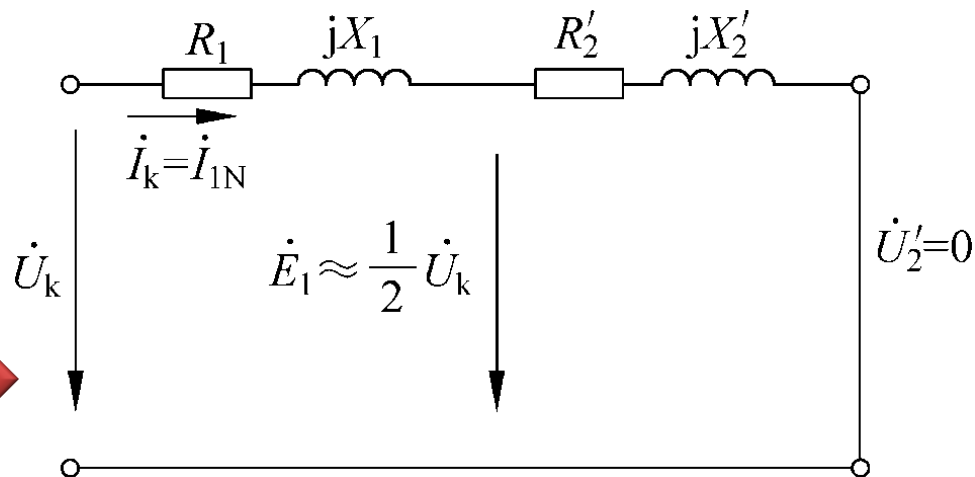


原因： Z_k 很小， $\textcircled{A}$ 内阻也很小，若内接， $\textcircled{A}$ 将分压，引起误差。

参数计算

短路试验时

U_1 很小 $\rightarrow \Phi_m$ 很小
 $\rightarrow p_{Fe}$ 、 I_m 可忽略



简化等效电路

短路阻抗:

$$Z_k = \frac{U_k}{I_1}$$

电阻换算到
基准工作

短路电阻:

$$R_k = \frac{p_k}{I_1^2}$$

温度 75° C

短路电抗:

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

短路损耗: 基本为铜耗

$$p_k = I_k^2 (R_1 + R_2') + p_{Fe}$$

铜耗

可忽略

以降压变压器为例

$$R_{k75^\circ C} = \frac{R_{k\theta}(2345 + 75)}{2345 + \theta}$$

铜线

$$R_{k75^\circ C} = \frac{R_{k\theta}(228 + 75)}{228 + \theta}$$

铝线

室温



短路电压（阻抗电压）

定义：当变压器短路电流达到**额定电流**，即 $I_k = I_{1N}$ 时，外施电压 $U_k = I_{1N} Z_{k75^\circ C}$ 称为**短路电压（阻抗电压）**。

一般用短路电压的百分数表示

$$u_k = \frac{U_k}{U_{1N}} = \frac{I_{1N} Z_{k75^\circ C}}{U_{1N}} = \frac{Z_k}{U_{1N}} = Z_k^*$$

注意

u_k 为铭牌数据，反映了变压器在额定负载时的**漏阻抗压降的大小**。从运行稳定性的角度，希望 u_k 小，则变压器负载变化时，输出电压波动较小；但 u_k 过小，变压器故障短路时，短路电流较大。

$$u_{ka} = \frac{I_{1N} R_{k75^\circ C}}{U_{1N}}$$

$$u_{kr} = \frac{I_{1N} X_k}{U_{1N}}$$

$$u_k \approx \sqrt{u_{kR}^2 + u_{kX}^2}$$

有功分量

无功分量

中小型： $u_k = (4 \sim 10)\% U_{1N}$

大型： $u_k = (12.5 \sim 17.5)\% U_{1N}$



例题5-5 一台三相电力变压器额定数据为： $S_N=750 \text{ kVA}$ ， $U_{1N}/U_{2N}=10000/400\text{V}$ ，Y/Y接法，低压侧做空载试验数据为： $U_2=U_{2N}$ ， $I_2=I_{20}=60\text{A}$ ， $p_0=3.8\text{kW}$ 。高压侧短路试验数据： $U_1=U_{1k}=440\text{V}$ ， $I_1=I_{1N}$ ， $p_k=10.9\text{kW}$ ，室温20度。求该变压器每一相的参数值（标么值表示）。

解题思路：先计算阻抗基值

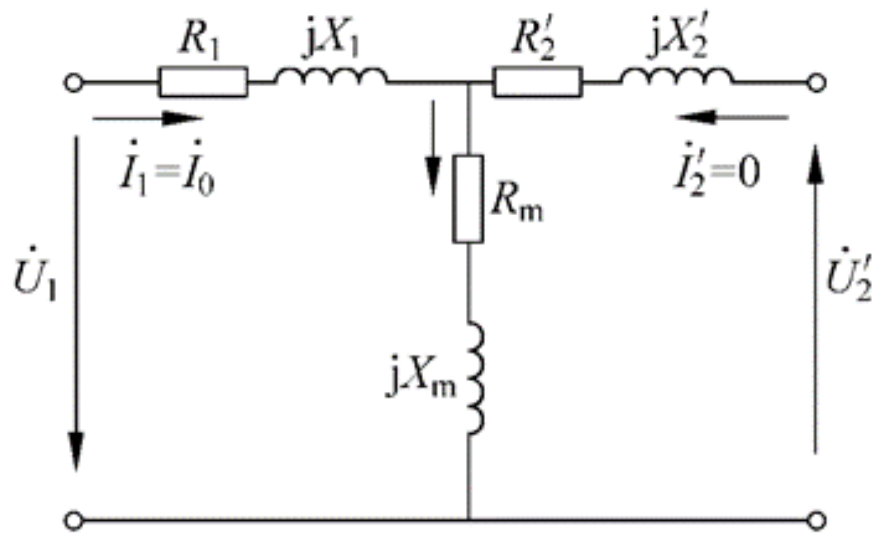
$$Z_{1N} = \frac{U_{1\phi}}{I_{1N}} = \frac{U_{1N}}{\sqrt{3}I_{1N}} \frac{U_{1N}}{U_{1N}} = \frac{U_{1N}^2}{S_N}, \quad Z_{2N} = Z_{1N}/k^2$$

空载实验

$$Z_m = \frac{U_{2\phi}}{I_{20}} = \frac{U_{2N}}{\sqrt{3} \cdot I_{20}}, \quad R_m = \frac{p_0}{3I_{20}^2}$$

短路实验

$$Z_k = \frac{U_{1\phi}}{I_{1k}} = \frac{U_{1k}}{\sqrt{3}I_{1k}}, \quad R_k = \frac{p_k}{3I_{1k}^2}$$





解：变比：

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

一次绕组阻抗基值：

$$Z_{1N} = \frac{U_{1N}^2}{S_N} = \frac{10k^2}{750k} = 133.3\Omega$$

二次绕组阻抗基值：

$$Z_{2N} = Z_{1N}/k^2 = 133.3/25^2 = 0.213\Omega$$

低压侧测得励磁阻抗：

$$Z_m = \frac{U_{2\varphi}}{I_{20}} = \frac{U_{2N}}{\sqrt{3} \cdot I_{20}} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 60} = 3.85\Omega,$$

$$Z_m^* = \frac{Z_m}{Z_{2N}} = \frac{3.85}{0.213} = 18.08$$



励磁电阻:

$$R_m = \frac{p_0}{3I_{20}^2} = \frac{3800}{3 \times 60^2} = 0.35\Omega, \quad R_m^* = \frac{R_m}{Z_{2N}} = \frac{0.35}{0.213} = 1.64$$

励磁电抗标么值: $X_m^* = \sqrt{Z_m^{*2} - R_m^{*2}} = \sqrt{18.08^2 - 1.64^2} = 18$

高压侧测得短路阻抗:

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

短路电阻:

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

短路电抗: $X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{5.87^2 - 1.94^2} = 5.54\Omega$



则算到75度（铝线变压器）时：

$$R_{k75^{\circ}\text{C}} = 1.94 \frac{228 + 75}{228 + 20} = 2.37\Omega, \quad R_{k75^{\circ}\text{C}}^* = \frac{R_{k75^{\circ}\text{C}}}{Z_{1N}} = 0.0178,$$

$$X_k^* = \frac{X_k}{Z_{1N}} = 0.0416,$$

一、二次绕组漏电阻： $R_{1,75^{\circ}\text{C}}^* \approx R_{2,75^{\circ}\text{C}}^* = R_{k75^{\circ}\text{C}}^*/2 = 0.0089$

一、二次绕组漏电抗： $X_1^* \approx X_2^* = X_k^*/2 = 0.0208$



- 一. 概述
- 二. 变压器的空载运行
- 三. 变压器负载运行
- 四. 标么值
- 五. 变压器参数测定
- 六. 变压器的运行特性**
- ~~七. 变压器的连接组别~~
- ~~八. 变压器的并联运行~~
- ~~九. 自藕变压器~~
- ~~一〇. 仪用互感器~~



六. 变压器的运行特性

本节学习要点：

1. 掌握变压器的外特性及电压变化率
2. 掌握变压器的损耗及效率特性

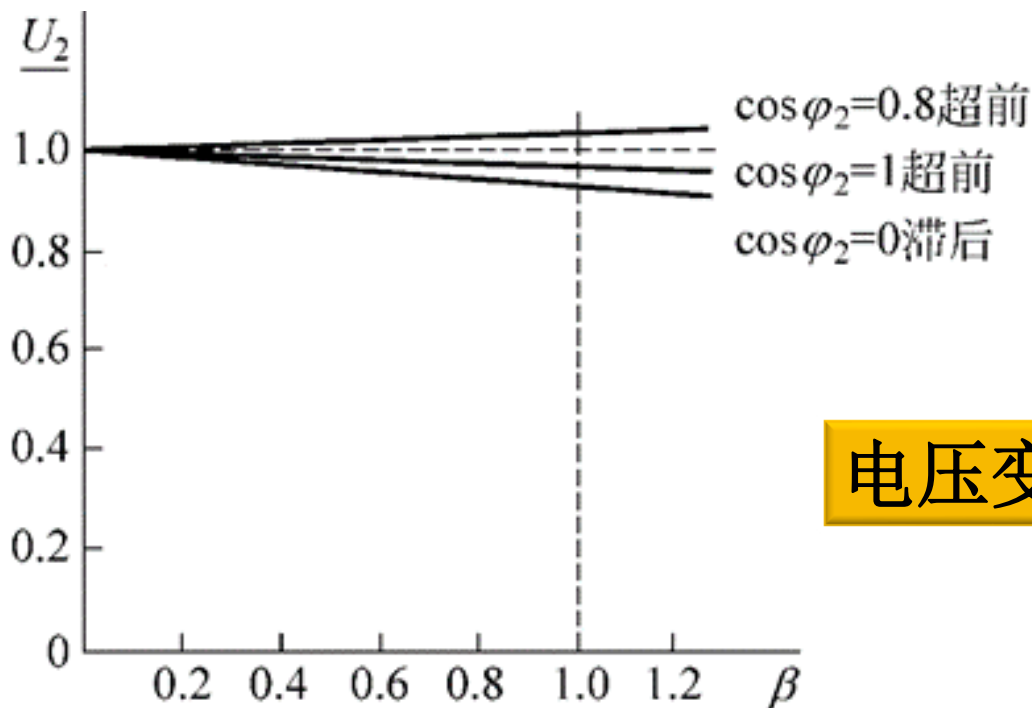


1、变压器负载时二次绕组端电压的变化

定义： $U_1=U_{1N}$, $\cos\varphi_2=\text{const}$, $U_2=f(I_2)$ 称外特性。

空载：原边接 U_{1N} , 副边开路, 则 $U_{20}=U_{2N}$ 。

负载：由于漏阻抗压降 I_2Z_k 的影响, 使副边端电压 U_2 随负载电流 I_2 变化而变化, 即 $U_2 \neq U_{2N}$ 。



电压变化率 ΔU



电压变化率 ΔU

定义： $U_1=U_{1N}$, $f=f_N$, $I_2=I_{2N}$, 给定 $\cos\varphi_2$ 下, 副边空载电压 U_{20} 与副边电压 U_2 的**算术差**, 对副边**额定电压**的**百分比**。

$$\Delta U = \frac{U_{2N} - U_2}{U_{2N}} = 1 - U_2^*$$

标么值

或：

$$\Delta U = \frac{k(U_{2N} - U_2)}{kU_{2N}} \times 100\% = \frac{U_{1N} - U_2'}{U_{1N}} \times 100\%$$

注意

ΔU 是变压器的一项重要指标, 反映了**变压器供电的稳定性**。

ΔU 计算:

由等效电路可知

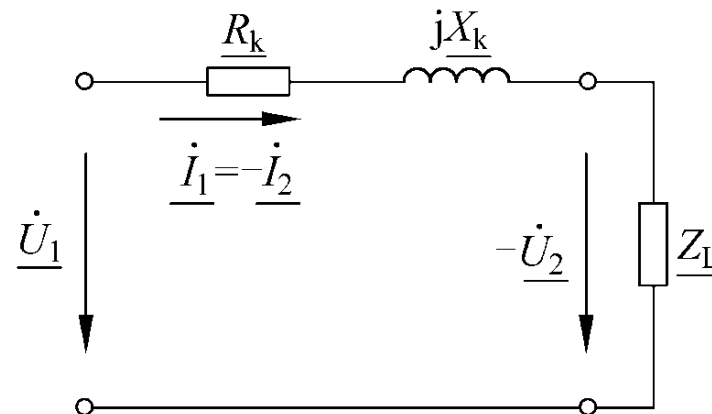
$$\dot{U}_1^* = \dot{I}_1^* Z_k^* - \dot{U}_2^*$$

简化相量图

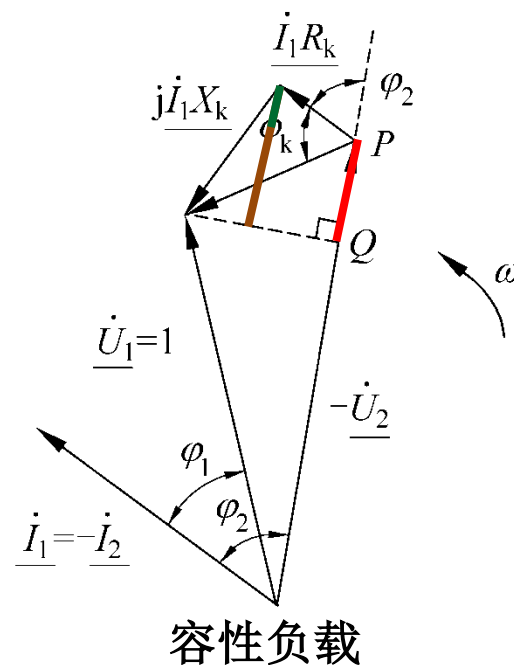
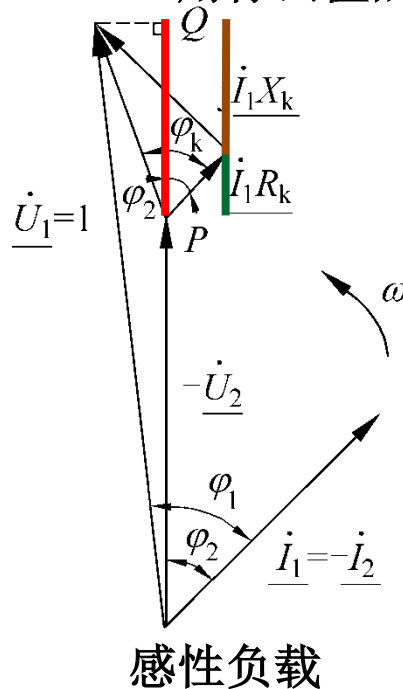
$$\begin{aligned} \Delta U &= 1 - \dot{U}_2^* \approx \overline{OQ} - \overline{OP} = \overline{PQ} \\ &= \dot{I}_1^* R_k^* \cos \varphi_2 + \dot{I}_1^* X_k^* \sin \varphi_2 \\ &= \dot{I}_2^* R_k^* \cos \varphi_2 + \dot{I}_2^* X_k^* \sin \varphi_2 \end{aligned}$$

额定负载时的 ΔU 称为
额定电压调整率:

$$\Delta U = R_k^* \cos \varphi_2 + X_k^* \sin \varphi_2$$



用标么值的简化等效电路





ΔU 特点: ΔU 与三个因素有关 $\Delta U = I_2^* R_k^* \cos \varphi_2 + I_2^* X_k^* \sin \varphi_2$

➤ 与负载大小有关。

I_2^* 越大, ΔU 越大

➤ 与负载性质有关, 即与 $\cos \varphi_2$ 有关。

感性负载

$$\varphi_2 > 0 \rightarrow \begin{cases} \cos \varphi_2 > 0 \\ \sin \varphi_2 > 0 \end{cases} \rightarrow \Delta U > 0 \rightarrow U_2 < U_{20}$$

容性负载

$$\varphi_2 < 0 \rightarrow \begin{cases} \cos \varphi_2 > 0 \\ \sin \varphi_2 < 0 \end{cases} \rightarrow \begin{matrix} \Delta U < 0 \\ \Delta U = 0 \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} U_2 > U_{20} \\ U_2 = U_{20} \end{matrix}$$

纯电阻负载

$$\varphi_2 = 0 \rightarrow \begin{cases} \cos \varphi_2 = 1 \\ \sin \varphi_2 = 0 \end{cases} \rightarrow \Delta U > 0 \rightarrow U_2 < U_{20}$$

➤ 与漏阻抗大小有关, 即与 Z_k 有关。

Z_k^* 越大, ΔU 越大。



例题5-6 某台三相电力变压器 $S_N=600$ kVA, $U_{1N}/U_{2N}=10000/400$ V, **Y/Y0**接法, $Z_k=(1.8+j5)\Omega$ 。一次绕组接额定电压、二次绕组带额定负载运行, 负载功率因数0.9 (滞后), 计算该变压器**额定电压调整率**及二次绕组电压值。

解题思路:

$$\Delta U = R_k^* \cos \varphi_2 + X_k^* \sin \varphi_2$$

先求 $\sin \varphi_2$ 和阻抗基值

$$Z_{1N} = \frac{U_{1\phi}}{I_{1N}} = \frac{U_{1N}}{\sqrt{3}I_{1N}} \frac{U_{1N}}{U_{1N}} = \frac{U_{1N}^2}{S_N}$$

再求



解：负载功率因数： $\cos \varphi_2 = 0.9$ 时， $\sin \varphi_2 = 0.436$

所以额定电压调整率：

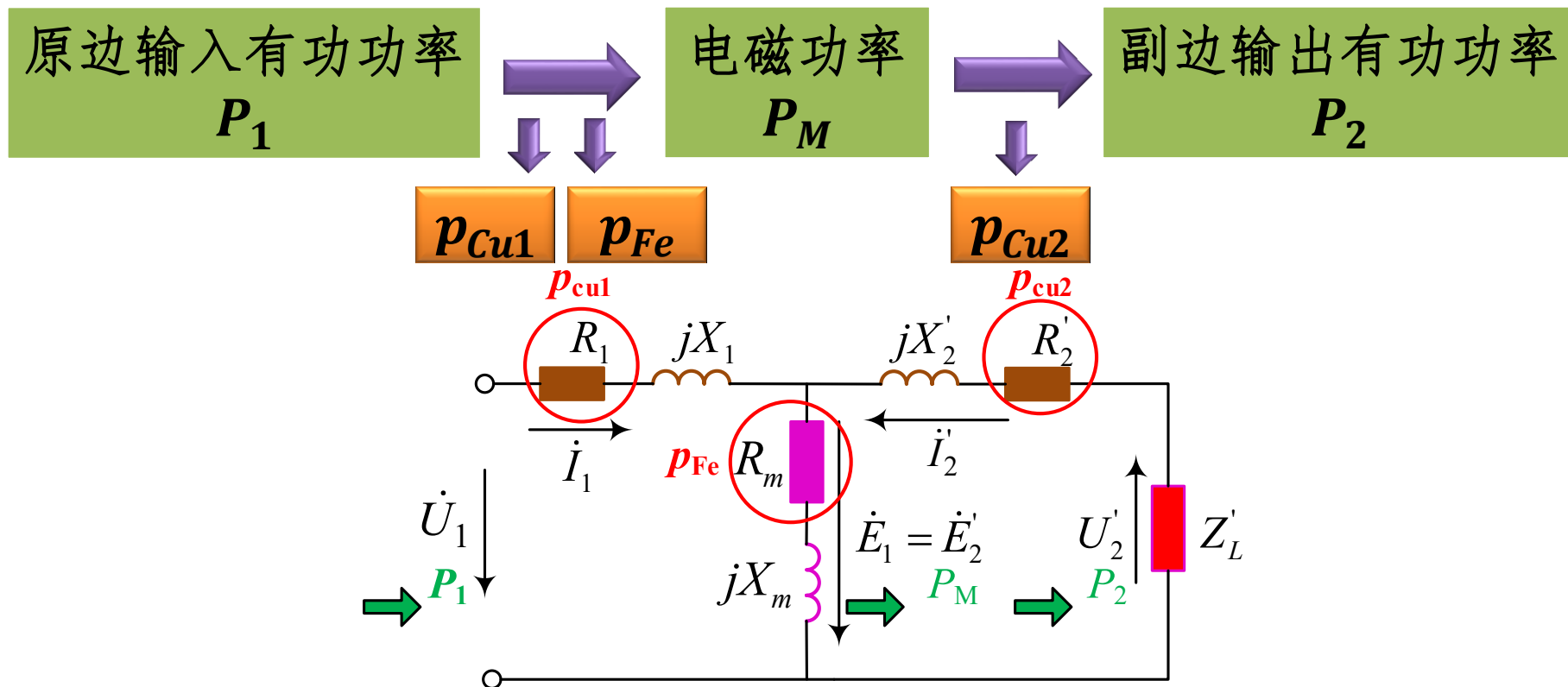
$$\begin{aligned}\Delta U &= R_k^* \cos \varphi_2 + X_k^* \sin \varphi_2 = \frac{R_k \cos \varphi_2 + X_k \sin \varphi_2}{U_{1N}^2 / S_N} \\ &= \frac{1.8 \times 0.9 + 5 \times 0.436}{10000^2 / 600 \times 10^3} = 0.0228\end{aligned}$$

二次绕组电压：

$$U_2 = (1 - \Delta U) U_{2N} = (1 - 0.0228) \times 400 = 390.9 \text{ V}$$

2. 变压器效率

☞ 变压器的能量传递与功率平衡方程式



功率平衡方程式:

$$P_1 = P_2 + p_{Fe} + p_{Cu1} + p_{Cu2} = P_2 + \sum p$$



变压器的损耗

变压器损耗

铁耗

基本铁耗:

滞磁、涡流

附加铁耗:

局部涡流损耗等, (15~20)%基本铁耗

铜耗

基本铜耗:

$$I_1^2 R_1, I_2^2 R_2$$

附加铜耗:

集肤效应引起有效电阻变大产生损耗(0.5~5)%基本铁耗

空载损耗:

$$p_0 = I_0^2 R_1 + I_0^2 R_m$$

$$p_0 \approx p_{Fe} \propto U_1^2$$

$$U_1 = U_{1N}$$

$$p_0 \approx const$$

可忽略

可忽略

不变损耗

短路损耗:

$$p_k = I_k^2 (R_1 + R'_2) + p_{Fe}$$

$$I_2 = I_{2N}$$

$$p_k \approx p_{Cu}$$

$$p_{Cu} = (I_2 / I_{2N})^2 p_k = I_2^{*2} p_k$$

总损耗:

$$\sum p = p_{Fe} + p_{Cu} = p_0 + I_2^{*2} p_k$$

可变损耗



☞ 变压器的效率

效率计算公式:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum p}{P_1} = 1 - \frac{\sum p}{P_2 + \sum p}$$

由于电网电压变化不大，忽略副边电压变化对效率的影响，则

单相变压器

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 \approx U_{2N} I_{2N} I_2^* \cos \varphi_2 = I_2^* S_N \cos \varphi_2$$

三相变压器

$$P_2 = \sqrt{3} U_2 I_2 \cos \varphi_2 \approx \sqrt{3} U_{2N} I_{2N} I_2^* \cos \varphi_2 = I_2^* S_N \cos \varphi_2$$

以上俩式最后形式是一样的！

$$\left. \begin{aligned} \sum p &= p_0 + I_2^{*2} p_k \\ P_2 &= I_2^* S_N \cos \varphi_2 \end{aligned} \right\}$$



$$\eta = 1 - \frac{p_0 + I_2^{*2} p_k}{I_2^* S_N \cos \varphi_2 + p_0 + I_2^{*2} p_k}$$

变压器的效率

结论

$$\eta = 1 - \frac{p_0 + I_2^{*2} p_k}{I_2^* S_N \cos \varphi_2 + p_0 + I_2^{*2} p_k}$$

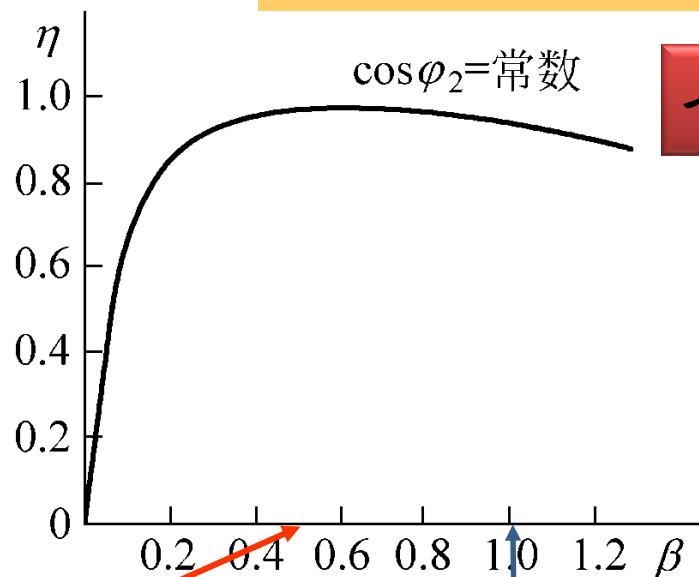
- ① 变压器额定运行时，效率不是定值，与负载性质($\cos \varphi_2$)有关；负载性质一定时，效率与负载大小(I_2^*)有关；
- ② 若变压器负载为纯电感或纯电容，即 $\cos \varphi_2 = 0$ ，则，变压器输出有功功率 $P_2=0$ ，此时 $\eta = 0$ 。
若变压器负载为纯电阻，则 $\cos \varphi_2 = 1$ ，一定负载电流下，效率最高。
- ③ 变压器为静止设备，没有机械损耗，故其效率比旋转电机高。
一般中小型电力变压器效率为 **(95~98)%**，
大型电力变压器效率可达 **99%**以上。



变压器的效率特性

定义： $U_1 = U_{1N}$, $\cos\varphi_2 = \text{const}$, $\eta = f(I_2)$
称**效率特性**。

求 η_{max}



令：

$$\eta = \frac{I_2^* S_N \cos \varphi_2}{I_2^* S_N \cos \varphi_2 + p_0 + I_2^{*2} p_k} = \frac{S_N \cos \varphi_2}{S_N \cos \varphi_2 + p_0 / I_2^* + I_2^* p_k}$$

$$\frac{d\eta}{dI_2^*} = - \frac{S_N \cos \varphi_2}{\left(S_N \cos \varphi_2 + \frac{p_0}{I_2^*} + I_2^* p_k \right)^2} \times \left(-\frac{p_0}{I_2^{*2}} + p_k \right) = 0$$

$$p_k I_2^{*2} = p_0$$

可变损耗 = 不变损耗

$$\eta_{max} = 1 - \frac{2p_0}{I_2^* S_N \cos \varphi_2 + 2p_0}$$

一般电力变压器通常设计值

适合于经常满载运行的情况



例题5-7 三相变压器额定数据为： $S_N=1000\text{ kVA}$ ， $U_{1N}/U_{2N}=10000/6300\text{ V}$ ，Y/ Δ 接法。已知空载损耗 $p_0=4.9\text{ kW}$ ，短路损耗 $p_{kN}=15\text{ kW}$ 。

求：（1）当该变压器供给额定负载，且 $\cos \varphi = 0.8$ 滞后时的效率；
（2）当负载 $\cos \varphi = 0.8$ 滞后时最高效率；（3）当负载 $\cos \varphi = 1$ 滞后时最高效率。

解题思路：（1）带额定负载 $I_2^*=1$ ，所以效率为：

$$\eta = \frac{I_2^* S_N \cos \varphi_2}{I_2^* S_N \cos \varphi_2 + p_0 + I_2^{*2} p_k}$$

（2）最高效率时，负载电流标么值： $p_k I_2^{*2} = p_0$ ，先求 I_2^* 。

（3）同（2）



解：（1）因为带额定负载，所以效率为：

$$\eta = \frac{S_N \cos \varphi}{S_N \cos \varphi + p_0 + p_k} = \frac{1000 \times 0.8}{1000 \times 0.8 + 4.9 + 15} = 97.57\%$$

（2）最高效率时，负载电流标么值： $I_2^* = \sqrt{p_0/p_k} = \sqrt{4.9/15} = 0.572$

负载 $\cos \varphi = 0.8$ 滞后时最高效率

$$\eta_{max} = \frac{I_2^* S_N \cos \varphi}{I_2^* S_N \cos \varphi + 2p_0} = \frac{0.572 \times 1000 \times 0.8}{0.572 \times 1000 \times 0.8 + 2 \times 4.9} = 97.9\%$$

（3）负载 $\cos \varphi = 1$ 滞后时最高效率

$$\eta_{max} = \frac{I_2^* S_N \cos \varphi}{I_2^* S_N \cos \varphi + 2p_0} = \frac{0.572 \times 1000}{0.572 \times 1000 + 2 \times 4.9} = 98.31\%$$



本章结束

作业： 5.8， 5.12 ， 5.13， 5.16