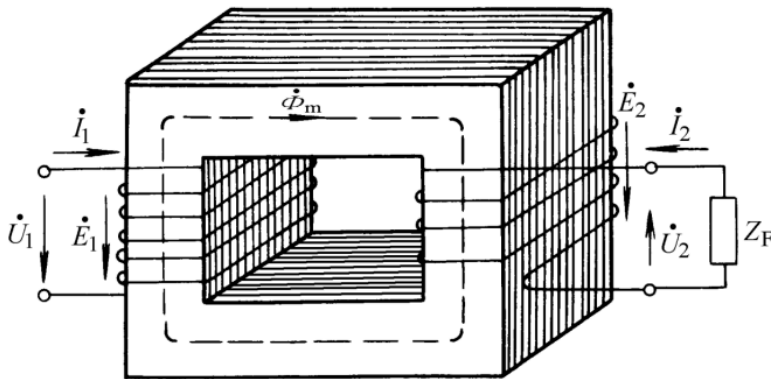


第三章 变压器

变压器的工作原理、分类及结构

变压器的工作原理

原理:利用电磁感应原理从一个电路向另一个电路传递电能或传输信号的一种电器



电动势平衡方程式:

$$u_1 = -e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$$u_2 = e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

若一次、二次绕组的电压、电动势的瞬时值均按正弦规律变化:

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

若不计能量损失,根据能量守恒定律,有:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

变压器的分类

一般分为: 电力变压器 和 特种变压器

按用途分:升压变压器, 降压变压器, 配电变压器, 联络变压器和厂用变压器

变压器的结构

主要结构部件: 铁心和绕组

铁心——变压器中主要的磁路部分

结构: 铁心分为铁心柱和铁轭

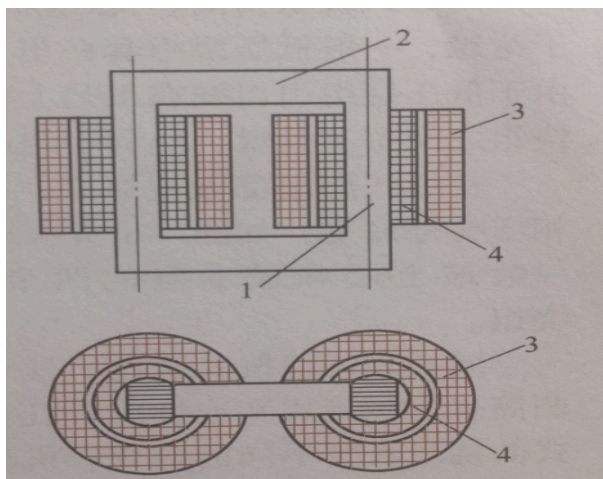


图 3-3 单相心式变压器

1—铁心柱 2—铁轭
3—高压绕组 4—低压绕组

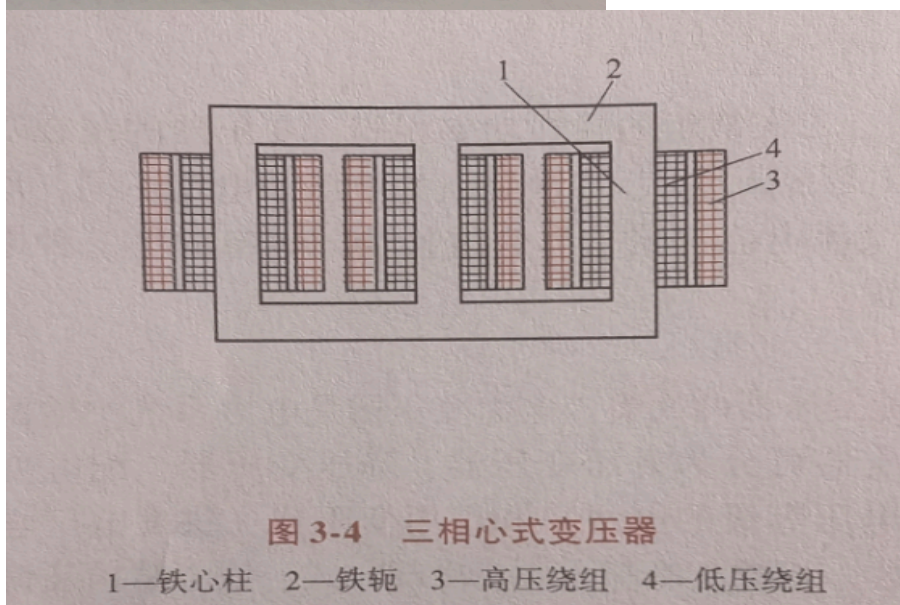


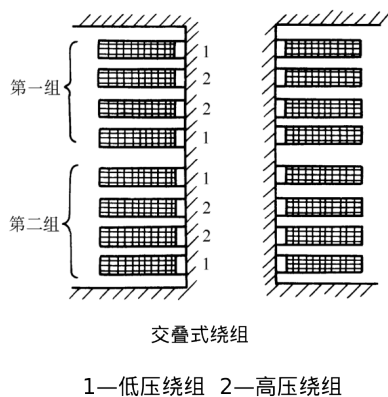
图 3-4 三相心式变压器

1—铁心柱 2—铁轭 3—高压绕组 4—低压绕组

绕组——变压器中的电路部分

高压绕组: 变压器中接于高压电网的绕组称为高压绕组

低压绕组: 变压器中接于低压电网的绕组称为低压绕组



变压器的额定值

1. 额定容量 S_N : 变压器是在功率的惯用数值,单位常为 $V \cdot A$, $kV \cdot A$, $MV \cdot A$
2. 额定电压 U_N : 一次和二次绕组上分别为 $U_{1N} U_{2N}$ 单位V, kV
3. 额定电流 I_N : 一次和二次绕组上分别为 $I_{1N} I_{2N}$ 单位A, kA

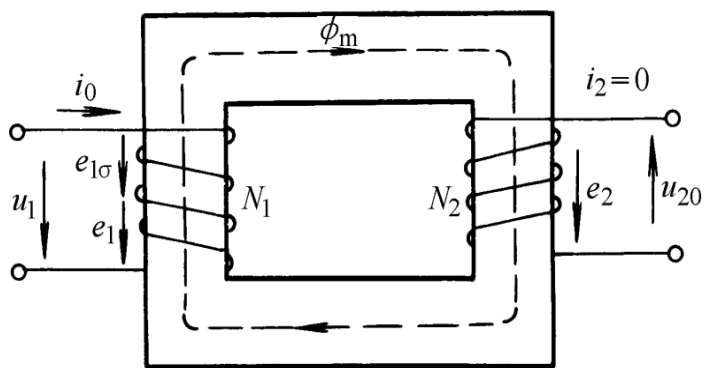
单相变压器: $S_N = U_{1N} I_{1N} = U_{2N} I_{2N}$

三相变压器: $S_N = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N}$

额定频率: $f_N = 40 \text{ Hz}$

单相变压器的空载运行

空载运行时的物理情况



空载运行: 一次绕组加上交流电压, 二次绕组开路

电动势平衡方程式:

$$\begin{cases} u_1 = i_0 r_1 + (-e_{1\sigma}) + (-e_1) = i_0 R_1 + N_1 \frac{d\phi_{1\sigma}}{dt} + N_1 \frac{d\phi}{dt} \\ u_{20} = e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} \end{cases}$$

- ϕ : 主磁通

- ϕ_{σ} : 一次绕组漏磁通

感应电动势与主磁通

背景: 空载运行时, 忽略 $i_1 R_1$, $e_{1\sigma}$, 有 $u_1 = e_1$

设: $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$

得感应电动势表达式:

$$\begin{cases} e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} = -\omega N_1 \Phi_m \sin(\omega t - \pi/2) = E_{1m} \sin(\omega t - \pi/2) \\ e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -\omega N_2 \Phi_m \sin(\omega t - \pi/2) = E_{2m} \sin(\omega t - \pi/2) \end{cases}$$

电动势 e_1, e_2 在相位上滞后于 Φ 的电角度 90 度

得感应电动势有效值如下:

$$\begin{cases} E_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega N_1 \Phi_M}{\sqrt{2}} = 4.44 f N_1 \Phi_M \\ E_2 = \frac{E_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega N_2 \Phi_M}{\sqrt{2}} = 4.44 f N_2 \Phi_M \end{cases}$$

得 E_1, E_2 的相量表达式:

$$\begin{cases} \dot{E}_1 = -j 4.44 f N_1 \dot{\Phi}_M \\ \dot{E}_2 = -j 4.44 f N_2 \dot{\Phi}_M \end{cases}$$

空载电流——一次绕组中的电流

作用: 在铁心中建立磁场, 产生主磁通

漏磁通和漏电抗

$$\dot{E}_{1\sigma} = -j X_1 \dot{I}_m$$

空载运行时的电动势平衡方程式、相量图及等效电路

....之后学

单相变压器的基本方程式(先不学)

变压器的等效电路及相量图

绕组归算

绕组归算:将变压器的二次(或一次)绕组的匝数用另一个绕组来等效,同时,对该绕组的电磁量做相应的变换,以保持两侧的电磁关系不变

归算原则:保持二次侧磁动势不变;保持二次侧各功率或损耗不变

电动势和电压的归算

二次绕组归算后,变压器一次和二次绕组具有相同的匝数,即 $N'_2 = N_1$

$$\bullet \frac{E'_2}{E_2} = \frac{N'_2}{N_2} = \frac{N_1}{N_2} = k$$

$$\bullet E'_2 = kE_2$$

$$\bullet E'_{20} = kE_{20}$$

$$\bullet U'_2 = kU_2$$

电流的归算

保证二次侧磁动势在归算前后不变,有 $N'_2 I'_2 = N_2 I_2$

$$\bullet I'_2 = \frac{N_2}{N'_2} I_2 = \frac{I_2}{k}$$

阻抗的归算

归算前后电阻铜耗及漏感中无功功率不变,可得:

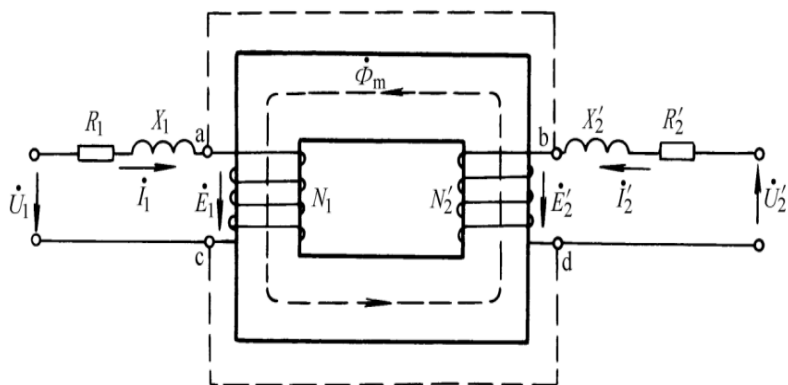
$$\bullet I'^2_2 R'_2 = I^2_2 R_2$$

$$\bullet R'_2 = \frac{I^2_2}{I'^2_2} R_2 = k^2 R_2$$

$$\bullet I'^2_2 X'_2 = I^2_2 X_2$$

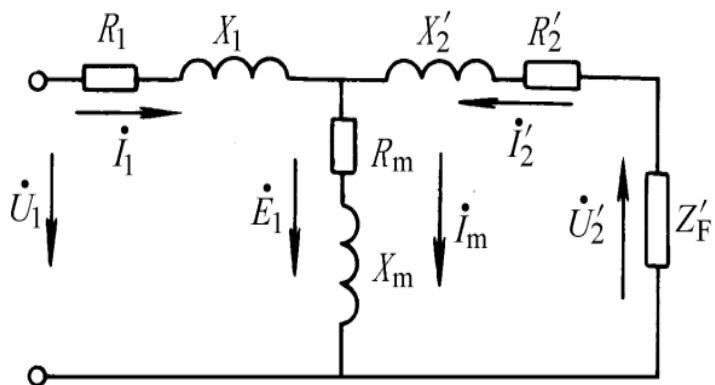
- $X'_2 = \frac{I_2^2}{I_1^2} X_2 = k^2 X_2$

等效电路



- 上图a,b和c,d分别是等电位点，可以连接起来不改变运行情况

合并后的绕组可以用一个等效阻抗 $Z_m = R_m + jX_m$ 代替,得T型等效电路:

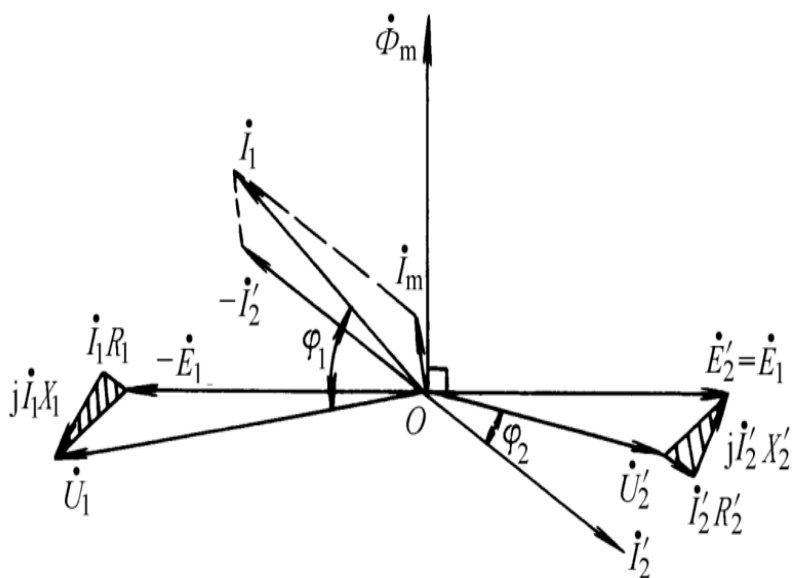


相量图

电感：电流滞后于电压

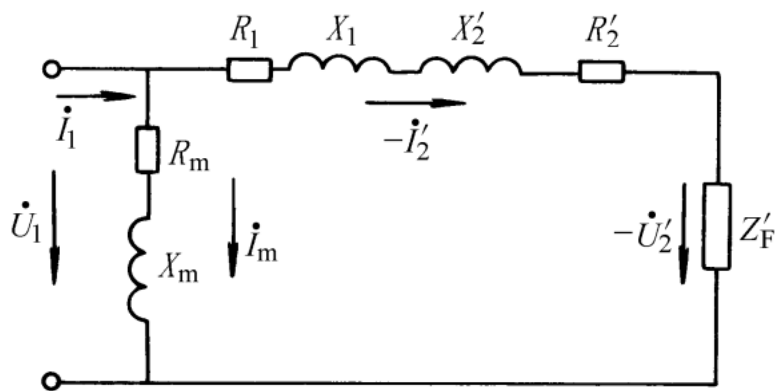
电容：电流超前与电压

以归算过的负载端电压 \dot{U}'_2 作为参考相量,根据T形等效电路画出相应的相量图:

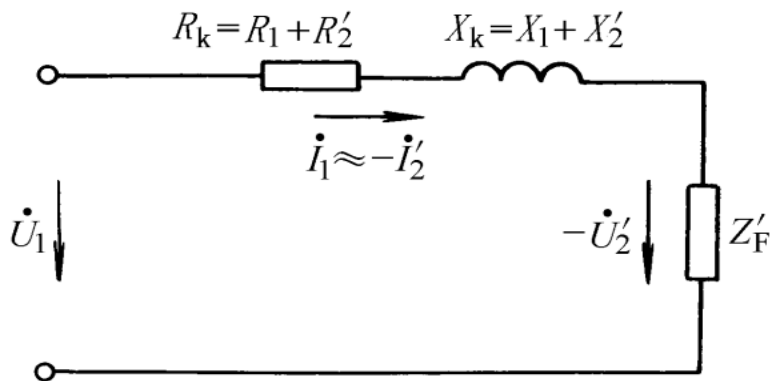


近似等效电路

一般变压器中 $Z_m \gg Z_1$: 可把励磁支路前移:



一般变压器 $I_m \ll I_N$, 可将励磁电流忽略不计:



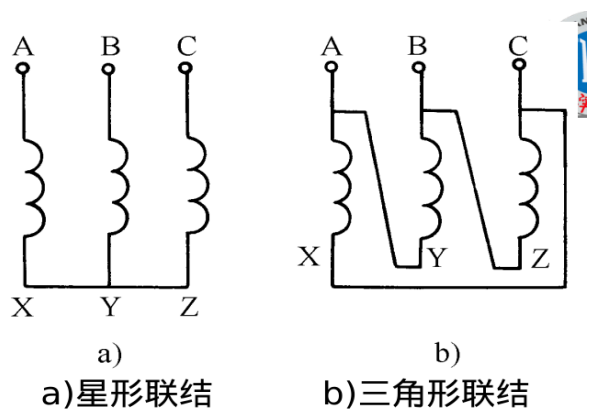
三相变压器

三相变压器的电路系统——联结组

联结法

分类: 星形, 三角形

星形: 用Y表示 三角形: 用D表示

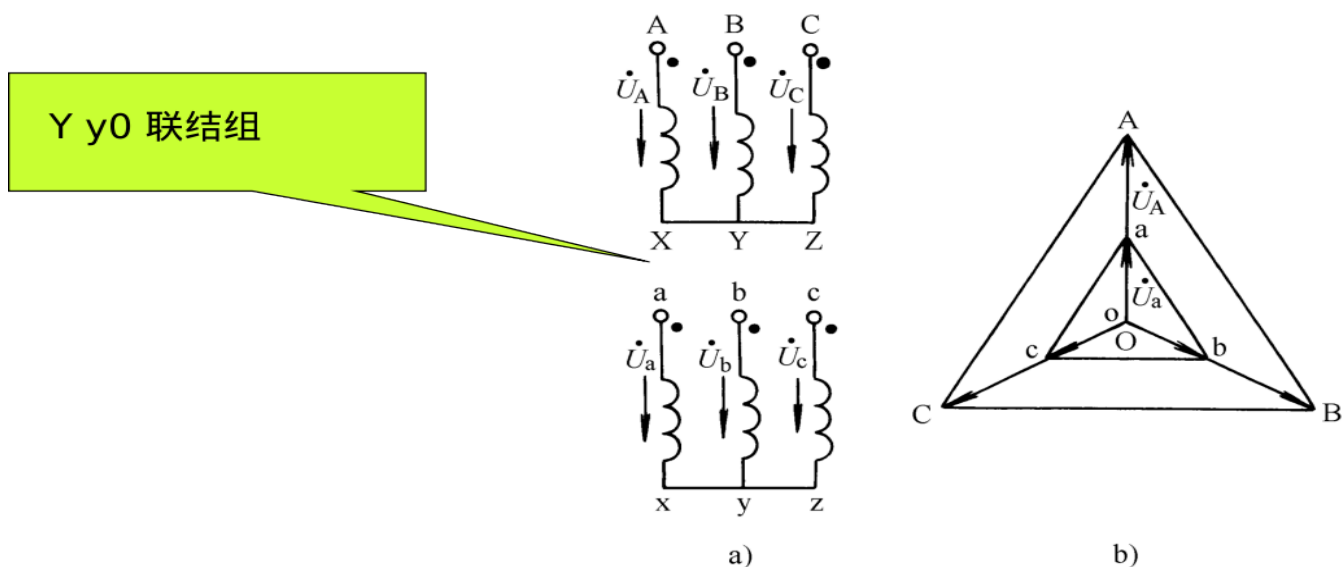


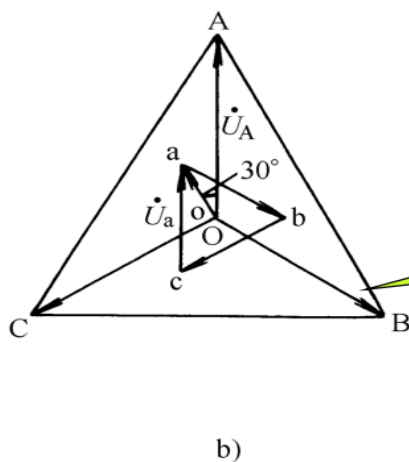
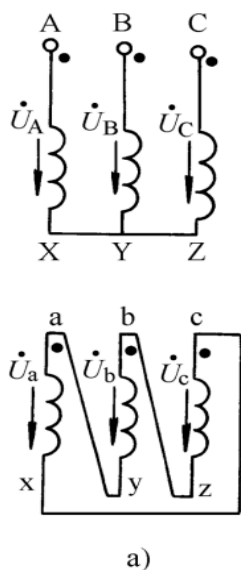
联结组

同名端: 同名端对应相的相位相等

高压端相量三角形的中线为长针指向12(0)

低压端相量三角形的中线为短针指向哪, 则为几号联结组





Yd11 联结组

对Yd11联结组分析:

1. 由图可得: $u_{ab} = \dot{U}_a + \dot{U}_c$ (三角形)
2. $\{a,b,c\}, \{A,B,C\}$ 为同名端,所以 $\{a,A\}, \{b,B\}, \{c,C\}$ 的相位分别相等
 - 若同名端为 $\{x,y,z\}, \{A,B,C\}$, 则 $\{a,A\}$ 的相位相差180度,则下面的结果会存在不同
3. $\phi_{u_{ab}} = \phi_{(U_A+U_c)}$
4. $U_A + U_c = \sin(\omega t + 60)$
5. $\phi_{u_{ab}} = \phi_{(U_A+U_c)} = 60$
6. $U_{AB} = U_A + U_B = \sin(\omega t + 30)$ (星形)
7. 所以可知, $\phi_{u_{ab}}$ 大于 U_{AB} 的角度30度
8. 所以画出低压端相量三角形后,其中线作为短针,指向了11点,可知该相量组标号为11