

期中复习

$$\Phi = BA / BA_{\text{core}} = \frac{B}{\mu_0 \mu_r} \cdot A$$

$$B = \mu_0 \mu_r H = \mu_0 \mu_r \frac{NI}{l}$$

$$R_m = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A}$$

$$F = \Phi H = NI = \Phi R_m = Hl$$

$$U_m = R_m \Phi = \int H dl$$

2、恒定磁通通过 R_m 不消耗能量 (f 会, $f \uparrow$, 耗电个)
铁心损耗 $\propto f^{1.7 \sim 1.8}$, 与 B/μ 也有关.

3、自感 $L =$ 一个线圈通过单位电流形成的磁链

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{N\Phi}{I} = \frac{N \Lambda F}{I} = \frac{N \Lambda NI}{I} = N^2 \Lambda$$

$$\text{互感 } M =$$

$$M_{21} = \frac{\Psi_{21}}{I_1} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{I_1} = \frac{N_2 \Lambda_{12} F_{21}}{I_1} = \frac{N_2 \Lambda_{12} N_1 I_1}{I_1} = N_1 N_2 \Lambda_{12}$$

$$M_{12} = N_1 N_2 \Lambda_{21} = M_{21}$$

4、为什么要使用薄硅钢片叠成铁心.

① 薄硅钢片磁导率高, 磁阻小

② 增大涡流回路的电阻以减小涡流损耗.

变
压
器

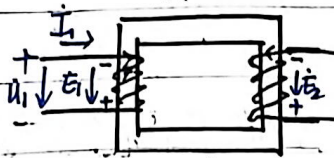
1. 分类 { 按绕组在铁心排列 { 心式
组式
三相按磁路 { 心式

2. 额定值 { 单相 $I_N = \frac{S_N}{U_{1N}}$ $I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}}$
三相 $I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}}$ $I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}}$

$$\rightarrow S = 3U_p I_p = \sqrt{3}U_L I_L = \sqrt{3}U_N I_N$$

$$P = \sqrt{3}U_N I_N \cos\varphi = 3U_p I_p \cos\varphi \quad (\varphi \text{ 为 } U_p, I_p \text{ 夹角})$$

3. 空载运行

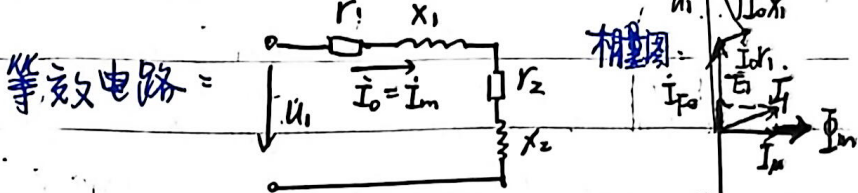


$$E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_m$$

$$E_2 = 4.44 f N_2 \Phi_m$$

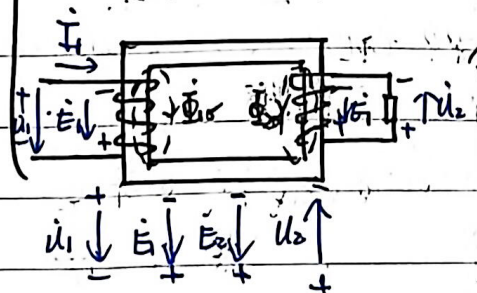
电磁关系: $U_1 \rightarrow i_0 \rightarrow \begin{cases} F_1 = N_1 i_0 \rightarrow \Phi \rightarrow \Phi_{10} \rightarrow E_{10} \rightarrow U_2 \end{cases}$
 $i_0 r_1$

平衡方程: $U_1 = -E_1 + I_0 r_1 + j I_0 X_{10}$



变压器铁耗: $I_m^2 R_m$ (R_m 为铁心电阻)

4. 负载运行



电磁关系: $U_1 \rightarrow I_1 \rightarrow F_1 = N_1 I_1$
 $U_2 \rightarrow I_2 \rightarrow F_2 = N_2 I_2$
 $\Phi \rightarrow E_1, E_2$

基本方程: $U_1 = -E_1 + I_1 (r_1 + jX_1)$

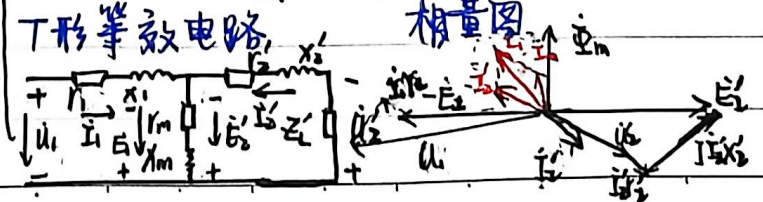
$$U_2 = E_2 - I_2 (r_2 + jX_2)$$

$$E_1 = -k E_2$$

$$-E_1 = I_m Z_m = I_m (r_m + jX_m)$$

$$U_2 = I_2 Z_L$$

$$I_1 = I_m + (-\frac{N_2}{N_1} I_2)$$



\rightarrow 折算后方程

$$U_1 = -E_1 + I_1 (r_1 + jX_1)$$

$$U_2' = E_2' - I_2' (r_2' + jX_2')$$

$$E_1 = E_2'$$

$$I_1 = I_m + I_2'$$

$$U_2' = I_2' Z_L'$$

$$-E_1 = I_m Z_m$$

上接

空载实验
测 R_m, X_m 低压侧
 $U_1 = U_{1N}$

(高压侧也能做, 但电源难找+安全隐

$$Z_0 = \frac{U_1}{I_0} = Z_1 + Z_m$$

$$R_0 = \frac{P_0}{I_0^2} \approx R_m$$

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2} \approx X_m$$

$$k = \frac{U_1}{U_{20}} = \frac{U_{1N}}{U_{2N}} \quad (\text{二次侧额定电压为一次侧加 } U_{1N} \text{ 空载})$$

若为降压变压器, 则乘 k^2 进行阻抗变换

高压侧

(由0增加U直到 $I_1 = I_{1N}$; 低压侧 I_{2N} 大, ①、②要大, 而高压侧所加电压不大且 I_{1N} 小) $I_1 = I_{1N}$

$$\frac{U_k}{I_k} \approx Z_k = Z_1 + Z_2'$$

$$\frac{P_k}{I_k} \approx R_k = R_1 + R_2' \quad R_1 = R_2' = \frac{R_k}{2}$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = X_1 + X_2'$$

5. 参数测定
损耗

空载

短路

主要为 P_{Fe}
 I_0 很小,
 P_{Cu} 忽略 $U \approx U_{1N}$
 B 小, P_{Fe}
小, P_{Fe}
忽略

短路实验

测 R_1, X_1, R_2, X_2 \Rightarrow 温度折算 = 针对电阻, X_m 无需折算 $I_1 = I_{1N}$, U_k 为短路电压

$$U_{kN} = I_{1N} Z_k \rightarrow U_{k*} = \frac{U_k}{U_{1N}} = Z_{k*}$$

$$U_{kr*} = \frac{U_{k*}}{U_{1N}} = \frac{I_{1N} R_k}{U_{1N}} = R_{k*}$$

$$U_{kx*} = X_{k*}$$

$$\Delta U = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \times 100\% = \frac{U_{2N} - U_2}{U_{2N}} \times 100\% = (1 - U_{2*}) \times 100\%$$

$$= \frac{(U_{kr*} \cos \varphi_2 + U_{kx*} \sin \varphi_2) \times 100\%}{1}$$

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2N}} = I_{2*} = \frac{I_2/k}{I_{2N}/k} = \frac{I_2}{I_{1N}}$$

$$\eta = \left(1 - \frac{\beta^2 P_{kN} + P_0}{\beta S_N \cos \varphi_2 + \beta^2 P_{kN} + P_0} \right) \times 100\%$$

6. 短路电压

阻抗电压

电压调整率

效率

7. 变压器联结组

分针: 高压绕组线电势 E_{AB} 时针: 低 ~ 线 ~ E_{ab} 组式 \times (已尖顶波 = 幅值增大 + 过电压)心式 \vee 小容量

8. 绕组

 Yy $Y\Delta$ Yd 大变压器 I_{2N} 

9. 容量分配

$$S_1 = S_2 = \dots = \frac{S_{1N}}{Z_{1*}} = \frac{S_{2N}}{Z_{2*}} = \dots$$

10. 特种变压器

三绕组: 升压变: 高-低-中 (中) 降压变: 高-中-低

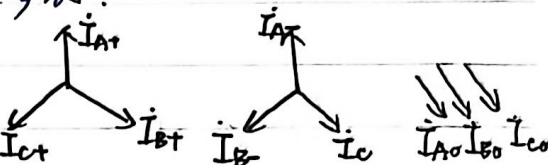
TA: 副方不能开路 (原本 I_m 小, 一开路 I 全用于励磁, 铁心饱和)TV: 副方不能短路 (外加 U_N , I_k 巨大)

KDK ② 突然开路 高电压

上接

TA = 不允许加 Fuse, 可短路
检修时先短路再修表.

11. 三相变压器的: 对称分量法
不对称运行 (正序、负序、零序)



1. 基本术语:

每极每相槽数 $q = \frac{Z}{2pm}$
槽距角 $\alpha = \frac{p \times 360^\circ}{Z}$
极距 $\tau = \frac{Z}{2p}$
节距(跨距) y
每相串联匝数 $N = \frac{2p \cdot q \cdot N_k}{a}$

交流电机

2. 三相定子绕组的电动势

谐波

相电动势: $E_{\phi} = 4.44 f N k_{w1} \Phi_1$
 $k_{w1} = \sin(\frac{y}{\tau} \times 90^\circ) \times \frac{\sin \frac{q\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}}$

整距绕组: $E_{y(y=\tau)} = 4.44 f N_y \Phi_1$
短距: $E_{y(y<\tau)} = 4.44 f N_y k_{y1} \Phi_1$
线圈组: $E_{q1}(y<\tau) = 4.44 f N_y k_{q1} q \Phi_1$
相绕组: $E_{\phi 1} = 4.44 f N k_{w1} \Phi_1$
 $k_{w1} = k_{d1} k_{q1} = \sin(\frac{y}{\tau} \times 90^\circ) \times \frac{\sin \frac{q\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}}$

基本原理

3. 减小谐波电势:

使气隙磁场接近正弦分布
短距、分布绕组
采用Y连接.

4. 单相绕组磁势(脉振磁势).

可分解为幅值均为
原值的两个旋转磁势
转速同, 转向反.

整距绕组: $f_y(x,t) = 0.9 N_y I [\sin x + \frac{1}{3} \sin 3x + \dots] \sin \omega t$
→ 基波分量 $f_{y1}(x,t) = 0.9 N_y I \sin x \sin \omega t$
幅值 $F_{y1} = 0.9 N_y I$
线圈组: $F_{q1} = q F_{y1} k_{q1} = 0.9 N_y I q k_{q1}$
短距绕组: $F_{y1} = 2 F_{q1} k_{y1}$
相绕组: $F_{\phi 1} = 0.9 \frac{N k_{w1}}{p} I$ (基波)
→ $k_{w1} = k_{y1} k_{q1} = \sin(\frac{y}{\tau} \times 90^\circ) \times \frac{\sin \frac{q\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}}$
→ 谐波: $F_{\phi v} = 0.9 \frac{1}{v} \frac{N k_{wv}}{p} I$

上接

5、三相绕组磁势 = 幅值 $F_1 = \frac{3}{2} \times 0.9 \times \frac{N k_{w1}}{p} I$

某相 $I_p \max$, 旋转磁势幅值转到该相绕组轴线
 \rightarrow 谐波磁势 $F_{pv} = 0.9 \frac{1}{p} \frac{N k_{wv}}{p} I$

$$n_{0v} = \frac{n_0}{v}$$

$$v = 6k-1 \text{ (反相)}$$

$$k=0, v=1$$

$$v = 6k+1 \text{ (同相)}$$

6、不对称三相电流
 流过对称三相绕组的
 基波磁势

$$F_+ = F_- = \text{脉振磁势}$$

$$F_+ / F_- = 0 : \text{圆形}$$

$$F_+ \neq F_- = \text{椭圆形}$$

1、额定值: $P_N = \text{输出的机械功率}$

$U_N / I_N = \text{定子绕组线电压 / 线电流}$

2、异步电动机 = $\begin{cases} 0 < n < n_0 \\ 0 < s < 1 \end{cases}$ $\Delta n = n_0 - n$

~ 发电机 = $\begin{cases} n > n_0 \\ s < 0 \end{cases}$

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

电磁制动 = $\begin{cases} n < 0 \\ s > 1 \end{cases}$

3、主磁通: 与定转子绕组交链

漏 ~ = 不属于主磁通的磁通

异步电机
4.2