II 交流绕组和同步电机习题课

主讲教师：马明晗

第七章 交流绕组电动势 知识点回顾

1、基本概念

①电角度 $\alpha_{el}=p\alpha_{mcc}$ ②每极每相槽数 $q=\dfrac{Z}{2pm}$ ③槽间角 $\alpha_1=\dfrac{p\times360}{Z}$ ④相带 $q\alpha_1$ 一般为 60°

⑤极距 $\tau=\dfrac{\pi D}{2p}$ 或 $\tau=\dfrac{Z}{2p}$ 或 $\tau=\pi$ ⑥节距 y $y=\tau$,整距绕组；$y<\tau$,短距绕组；$y>\tau$,长距绕组

⑦并联支路数 a 双层绕组最大可能并联支路数等于极数

⑧线圈（N_c 匝）、线圈组（qN_c 匝）、一相绕组（单层 $N=\dfrac{pqN_c}{a}$ 匝，双层 $N=\dfrac{2pqN_c}{a}$ 匝）

2、单层叠绕组和双层叠绕组的特点

单层叠绕组：

①每个线圈组由 q 个匝数为 N_c 的线圈串联而成；

②每对极每相仅有1个线圈组，则电机每相共有 p 个线圈组；

③每相 p 个线圈组可串可并，则最大并联支路数 $a=p$ 。

双层叠绕组：

①每个线圈组由 q 个匝数为 N_c 的线圈串联而成；

②每对极每相含2个线圈组，则电机每相共有 $2p$ 个线圈组；

③每相 $2p$ 个线圈组可串可并，则最大并联支路数 $a=2p$ 。

3、电动势计算公式

①电磁感应定律：导体感应电动势 $e=blv$ 基波 $E_{a1}=2.22f\Phi_1$ 谐波 $E_{av}=2.22\nu f\Phi_\nu$

②整距线圈感应电动势：基波 $E_{c1}=4.44fN_c\Phi_1$ 谐波 $E_{cv}=4.44\nu fN_c\Phi_\nu$

③短距线圈感应电动势：基波 $E_{c1}=4.44fN_ck_{y1}\Phi_1$ 谐波 $E_{cv}=4.44\nu fN_ck_{y\nu}\Phi_\nu$

④线圈组感应电动势：基波 $E_{q1}=4.44fqN_ck_{y1}k_{q1}\Phi_1=4.44fqN_ck_{w1}\Phi_1$ 谐波 $E_{cv}=4.44\nu fN_ck_{y\nu}k_{q\nu}\Phi_\nu=4.44\nu fN_ck_{w\nu}\Phi_\nu$

注：节距因数 $k_{y\nu}=\sin\nu\left(\frac{y}{\tau}\cdot 90^\circ\right)$ 分布因数 $k_{q\nu}=\dfrac{\sin\frac{\nu q\alpha_1}{2}}{q\sin\frac{\nu\alpha_1}{2}}$ 绕组因数：$k_{w\nu}=k_{y\nu}k_{q\nu}$

⑤相电动势：基波 $E_{\varphi 1}=4.44fNk_{w1}\Phi_1$ 谐波 $E_{\varphi\nu}=4.44\nu fNk_{w\nu}\Phi_\nu$ 相电动势 $E_\varphi=\sqrt{E_{\varphi1}^2+E_{\varphi3}^2+E_{\varphi5}^2+\cdots+E_{\varphi\nu}^2+\cdots}$

单：$N=\dfrac{pqN_c}{a}$ 双：$N=\dfrac{2pqN_c}{a}$

⑥线电动势：$Y:E_l=\sqrt{3}E_\varphi=\sqrt{3}\sqrt{E_{\varphi1}^2+E_{\varphi5}^2+E_{\varphi7}^2+\cdots}$ $\Delta:E_l=E_\varphi=\sqrt{E_{\varphi1}^2+E_{\varphi5}^2+E_{\varphi7}^2+\cdots}$

4、齿谐波电动势及其削弱方法

①磁性槽楔或半闭口槽；

②采用斜槽；

③增大每极每相槽数q。

习题十一

1. 试求一台 $f=50\text{Hz}$，$n=3000$ r/min的汽轮发电机的极数为多少？一台 $f=50$ Hz，$2p=110$的水轮发电机的转速为多少？

解：（1）

$$p=\frac{60f}{n}=\frac{60\times50}{3000}=1$$

极数为2

（2）

$$n=\frac{60f}{p}=\frac{60\times50}{55}=54.55\text{ r/min}$$

考察内容：

1、$f=\dfrac{pn}{60}$

汽轮发电机：

1对极 3000rpm

2对极 1500rpm

3对极 1000rpm

习题十一

3. 有一台同步发电机，定子槽数Z=36，极数$2p$=4，如图所示，若已知第1槽中导体感应电动势基波瞬时值为$e_1=E_{1m}\sin\omega t$，分别写出第2槽，第10槽，第19槽，第28槽和第36槽中导体感应电动势基波瞬时值的表达式，并作出相应的基波电动势相量。

解：

$$\alpha_1=\frac{p\cdot 360^\circ}{Z}=\frac{2\times 360^\circ}{36}=20^\circ$$

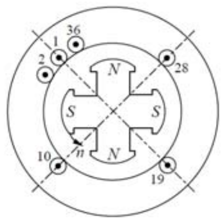
$$e_2=E_{1m}\sin(\omega t-20^\circ)$$

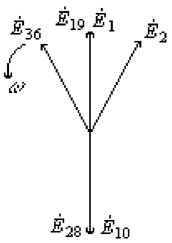
$$e_{10}=E_{1m}\sin(\omega t-180^\circ)=-E_{1m}\sin\omega t$$

$$e_{19}=E_{1m}\sin(\omega t-360^\circ)=E_{1m}\sin\omega t$$

$$e_{28}=E_{1m}\sin(\omega t-540^\circ)=-E_{1m}\sin\omega t$$

$$e_{36}=E_{1m}\sin(\omega t-700^\circ)=E_{1m}\sin(\omega t+20^\circ)$$





考察内容：

1、槽间角公式

$$\alpha_1=\frac{p\times 360}{Z}$$

2、各槽电动势相位关系

回顾：

①电角度

$$\alpha_{el}=p\alpha_{mcc}$$

②每极每相槽数

$$q=\frac{Z}{2pm}$$

③槽间角

$$\alpha_1=\frac{p\times 360}{Z}$$

④相带

$q\alpha_1$ 一般为60°

⑤极距

$\tau=\dfrac{\pi D}{2p}$ 或 $\tau=\dfrac{Z}{2p}$ 或 $\tau=\pi$

⑥节距

习题十二

3. 有一三相同步发电机，$2p$=2，3000r/min，电枢的总槽数Z=30，绕组为双层绕组，每相的总串联匝数N=20，气隙基波磁通 $\Phi_1=1.505\text{Wb}$，试求：

（1）基波电动势的频率，整距时基波的绕组因数和相电动势？

（2）整距时五次谐波的绕组因数；

（3）如要消除五次谐波，绕组的节距应选多少？此时基波电动势变为多少？

解：（1）$f=\dfrac{pn}{60}=\dfrac{1\times 3000}{60}=50\text{ Hz}$

$$q=\frac{Z}{2pm}=\frac{30}{2\times 3}=5$$

$$\alpha_1=\frac{p\cdot 360^\circ}{Z}=\frac{1\times 360^\circ}{30}=12^\circ$$

$$k_{q1}=\frac{\sin\dfrac{q\alpha_1}{2}}{q\sin\dfrac{\alpha_1}{2}}=\frac{\sin\dfrac{5\times 12^\circ}{2}}{5\times\sin\dfrac{12^\circ}{2}}=\frac{0.5}{0.5226}=0.9567$$

$$k_{w1}=k_{q1}=0.9567$$

$$E_1=4.44fNk_{w1}\Phi_1$$

$$=4.44\times 50\times 20\times 0.9567\times 1.505=6392.9\text{ V}$$

（2）

$$k_{q5}=\frac{\sin\dfrac{q\nu\alpha_1}{2}}{q\sin\dfrac{\nu\alpha_1}{2}}=\frac{\sin\dfrac{5\times 5\times 12^\circ}{2}}{5\times\sin\dfrac{5\times 12^\circ}{2}}=\frac{0.5}{2.5}=0.2$$

（3）要消除五次谐波，

$$y=\frac{\nu-1}{\nu}\tau=\frac{5-1}{5}\tau=\frac{4}{5}\times\frac{Z}{2p}=\frac{4}{5}\times\frac{30}{2}=12$$

短距后，$k_{y1}=\sin(\dfrac{y}{\tau}\cdot 90^\circ)=\sin(\dfrac{4}{5}\times 90^\circ)=0.951$

$$k_{w1}=k_{y1}k_{q1}=0.951\times 0.9567=0.9098$$

$$E_1=4.44fNk_{w1}\Phi_1=4.44\times 50\times 20\times 0.9098\times 1.505$$

$$=6079.61\text{ V}$$

考察内容：

1、绕组因数

$$k_w=k_y\cdot k_q$$

2、基波电动势

$$E_1=4.44fNk_{w1}\Phi_1$$

3、谐波绕组因数

$$k_{y\nu}=\sin\nu\left(\frac{y}{\tau}.90^\circ\right)$$

$$k_{q\nu}=\frac{\sin\dfrac{\nu q\alpha_1}{2}}{q\sin\dfrac{\nu\alpha_1}{2}}$$

$$k_{w\nu}=k_{y\nu}\cdot k_{q\nu}$$

4、消除某次谐波

$$y=\frac{\nu-1}{\nu}\tau$$

第八章 交流绕组磁动势 知识点回顾

1、磁动势公式

①整距线圈磁动势（脉振） $f_c(\alpha,t)=F_{cm}(\alpha)\cos\omega t$ 其中 $\begin{cases} F_{cm}(\alpha)=\dfrac{\sqrt{2}}{2}I_cN_c=F_{cm} & \left(-\dfrac{\pi}{2}\le\alpha\le\dfrac{\pi}{2}\right) \\ F_{cm}(\alpha)=-\dfrac{\sqrt{2}}{2}I_cN_c=-F_{cm} & \left(\dfrac{\pi}{2}\le\alpha\le\dfrac{3\pi}{2}\right) \end{cases}$

基波：$f_{c1}=\dfrac{4}{\pi}\dfrac{\sqrt{2}}{2}I_cN_c\cos\omega t\cos\alpha=0.9I_cN_c\cos\omega t\cos\alpha=F_{cm1}\cos\omega t\cos\alpha=F_{c1}\cos\alpha$

ν次谐波：$f_{c\nu}=\dfrac{4}{\pi}\dfrac{\sqrt{2}}{2}\dfrac{1}{\nu}I_cN_c\sin\nu\dfrac{\pi}{2}\cos\omega t\cos\nu\alpha=\dfrac{0.9}{\nu}I_cN_c\sin\nu\dfrac{\pi}{2}\cos\omega t\cos\nu\alpha=F_{cm\nu}\cos\omega t\cos\nu\alpha==F_{c\nu}\cos\nu\alpha$

其中，F_{cm1} 、$F_{cm\nu}$ 为基波 、ν 次谐波磁动势最大幅值；F_{c1}、$F_{c\nu}$ 为基波、ν 次谐波磁动势幅值

②整距线圈组磁动势（脉振）

基波：$f_{q1}=\dfrac{4}{\pi}\dfrac{\sqrt{2}}{2}I_c(qN_c)k_{q1}\cos\omega t\cos\alpha=0.9I_c(qN_c)k_{q1}\cos\omega t\cos\alpha=F_{qm1}\cos\omega t\cos\alpha=F_{q1}\cos\alpha$

ν次谐波：$f_{q\nu}=\dfrac{4}{\pi}\dfrac{\sqrt{2}}{2}\dfrac{1}{\nu}I_c(qN_c)k_{q\nu}\sin\nu\dfrac{\pi}{2}\cos\omega t\cos\nu\alpha=\dfrac{0.9}{\nu}I_c(qN_c)k_{q\nu}\sin\nu\dfrac{\pi}{2}\cos\omega t\cos\nu\alpha=F_{qm\nu}\cos\omega t\cos\nu\alpha==F_{q\nu}\cos\nu\alpha$

③双层短距线圈组磁动势（脉振）

基波：$f_{q1}=\dfrac{4}{\pi}\dfrac{\sqrt{2}}{2}I_c(2qN_c)k_{y1}k_{q1}\cos\omega t\cos\alpha=0.9I_c(2qN_c)k_{w1}\cos\omega t\cos\alpha=F_{qm1}\cos\omega t\cos\alpha=F_{q1}\cos\alpha$

ν次谐波：$f_{q\nu}=\dfrac{4}{\pi}\dfrac{\sqrt{2}}{2}\dfrac{1}{\nu}I_c(2qN_c)k_{y\nu}k_{q\nu}\cos\omega t\cos\nu\alpha=\dfrac{0.9}{\nu}I_c(2qN_c)k_{w\nu}\cos\omega t\cos\nu\alpha=F_{qm\nu}\cos\omega t\cos\nu\alpha==F_{q\nu}\cos\nu\alpha$

④一相绕组磁动势（脉振）

基波：$f_{\varphi1}=0.9\dfrac{NI}{p}k_{w1}\cos\omega t\cos\alpha=F_{\varphi m1}\cos\omega t\cos\alpha=F_{\varphi1}\cos\alpha$

ν次谐波：$f_{\varphi\nu}=\dfrac{0.9}{\nu}\dfrac{NI}{p}k_{w\nu}\cos\omega t\cos\nu\alpha=F_{\varphi m\nu}\cos\omega t\cos\alpha=F_{\varphi\nu}\cos\nu\alpha$

⑤三相绕组磁动势（旋转）

基波：$f_1=f_{A1}+f_{B1}+f_{C1}=\dfrac{3}{2}F_{\varphi m1}\cos(\omega t-\alpha)=F_1\cos(\omega t-\alpha)=1.35\dfrac{NI}{p}k_{w1}\cos(\omega t-\alpha)$

ν次谐波： 1）三的倍数次谐波合成磁动势为零；

2）$\nu=6k-1$次谐波磁动势旋转方向与基波相反，转速为基波 $\dfrac{1}{6k-1}$ 例：$f_5=\dfrac{3}{2}F_{\varphi m5}\cos(\omega t+5\alpha)$

3）$\nu=6k+1$次谐波磁动势旋转方向与基波相同，转速为基波 $\dfrac{1}{6k+1}$ 例：$f_7=\dfrac{3}{2}F_{\varphi m7}\cos(\omega t-7\alpha)$

2、三相合成磁动势波形图

磁动势积分法：槽电流为$\odot$时上升一个高度；　槽电流为$\otimes$时下降一个高度

3、绕组漏磁通和漏抗$\dot{E}_\sigma = -j\dot{I}x_\sigma$

漏磁通：仅与定子绕组交链或即使进入转子也不产生有用转矩的磁通

包含：*a*.槽漏磁通；*b*.端部漏磁通；*c*.谐波漏磁通。

习题十三

1．一台两极电机中一个100 匝的整距线圈。

（1）若通入正弦电流 $i = \sqrt{2} \times 5\sin\omega t$ A，试求出基波和三次谐波脉振磁动势的幅值；

（2）若通入一平顶波形的交流电流，其中除了有$i_1 = \sqrt{2} \times 5\sin\omega t$ A 的基波电流外，还有一个幅值为基波幅值的1/3的三次谐波电流。试写出这个平顶电流所产生的基波和三次谐波脉振磁动势的表达式，并说明三次谐波电流能否产生基波磁动势。

（3）若通入5 A的直流电，此时产生的磁动势的性质如何？这时基波的三次谐波磁动势幅值又各为多少？

解：（1）
$$F_1 = \frac{4}{\pi}\frac{\sqrt{2}}{2} \times 100 \times 5\sin\omega t = 450.16\sin\omega t\text{安匝/极}$$
$$F_3 = -\frac{1}{3}F_1\sin\omega t = -150.1\sin\omega t\text{安匝/极}$$

（2）
$$i = \sqrt{2} \times 5\sin\omega t + \frac{1}{3} \times \sqrt{2} \times 5\sin 3\omega t$$
$$f_\nu(\alpha) = \frac{4}{\pi}\frac{\sqrt{2}}{2}\frac{1}{\nu} \times 100 \times \left(5\sin\omega t + \frac{5}{3}\sin 3\omega t\right)\sin\nu\frac{\pi}{2}\cos\nu\alpha$$
$$= \frac{1}{\nu} \times 90 \times \left(5\sin\omega t + \frac{5}{3}\sin 3\omega t\right)\sin\nu\frac{\pi}{2}\cos\nu\alpha$$
$$f_1(\alpha) = 90 \times \left(5\sin\omega t + \frac{5}{3}\sin 3\omega t\right)\cos\alpha$$
$$= \left(450\sin\omega t + 150\sin 3\omega t\right)\cos\alpha$$
$$f_3(\alpha) = 30 \times \left(5\sin\omega t + \frac{5}{3}\sin 3\omega t\right)\sin\frac{3}{2}\pi\cos 3\alpha$$
$$= -\left(150\sin\omega t + 50\sin 3\omega t\right)\cos 3\alpha$$

三次谐波电流可以产生在空间上基波分布的脉动磁动势，只是其脉动频率为基波电流产生的基波磁动势的三倍。

（3）若通以5A直流电流，磁动势为幅值固定的矩形波
$$F_{m\nu} = \frac{4}{\pi} \times \frac{1}{2} \times 5 \times 100 \times \frac{1}{\nu}\sin\nu\frac{\pi}{2} = \frac{1000}{\pi\nu}\sin\nu\frac{\pi}{2}$$
$$F_1 = \frac{1000}{\pi} = 318\text{安匝/极}$$
$$F_3 = -\frac{1000}{3\pi} = -106\text{安匝/极}$$

考察内容：

整距线圈磁动势

1、磁动势最大幅值
$$F_{cm1} = \frac{4}{\pi}\frac{\sqrt{2}}{2}I_cN_c = 0.9I_cN_c$$
$$F_{cm\nu} = \frac{4}{\pi}\frac{\sqrt{2}}{2}\frac{1}{\nu}I_cN_c\sin\nu\frac{\pi}{2}$$
$$= \frac{0.9}{\nu}I_cN_c\sin\nu\frac{\pi}{2}$$

2、磁动势幅值
$$F_{c1} = F_{cm1}\cos\omega t$$
$$F_{c\nu} = F_{cm\nu}\cos\omega t$$

3、磁动势
$$f_{c1} = F_{cm1}\cos\omega t\cos\alpha$$
$$= F_{c1}\cos\alpha$$
$$f_{c\nu} = F_{cm\nu}\cos\omega t\cos\nu\alpha$$
$$= F_{c\nu}\cos\nu\alpha$$

习题十四

1. 把三个线圈A—X，B—Y和C—Z 叠在一起，如图所示。分别在A—X 线圈通入电流 $i_a=\sqrt{2}I\sin\omega t$ A，在B—Y线圈里通入电流 $i_b=\sqrt{2}I\sin\left(\omega t-120^\circ\right)$A，在$C$—$Z$ 线圈里通入电流 $i_c=\sqrt{2}I\sin\left(\omega t-240^\circ\right)$A，求三相合成的基波和三次谐波磁动势。

解：　设一相磁动势基波和三次谐波最大幅值为$F_{\varphi m1}$ 和 $F_{\varphi m3}$

则 $f_{a1}=F_{\varphi m1}\sin\omega t\cos\alpha=\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\sin(\omega t-\alpha)+\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\sin(\omega t+\alpha)$

$f_{b1}=F_{\varphi m1}\sin(\omega t-120^\circ)\cos\alpha=\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\sin(\omega t-120^\circ-\alpha)+\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\sin(\omega t-120^\circ+\alpha)$

$f_{c1}=F_{\varphi m1}\sin(\omega t-240^\circ)\cos\alpha=\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\sin(\omega t-240^\circ-\alpha)+\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\sin(\omega t-240^\circ+\alpha)$

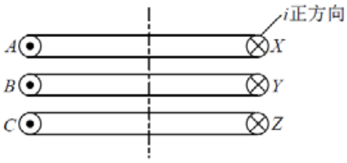
$f_1=f_{a1}+f_{b1}+f_{c1}=0$

$f_{a3}=F_{\varphi m3}\sin\omega t\cos 3\alpha$

$f_{b3}=F_{\varphi m3}\sin(\omega t-120^\circ)\cos 3\alpha$

$f_{c3}=F_{\varphi m3}\sin(\omega t-240^\circ)\cos 3\alpha$

$f_3=f_{a3}+f_{b3}+f_{c3}=0$



考察内容：

1、一相磁动势

$F_{\varphi m1}=0.9\frac{IN}{p}k_{w1}$

$F_{\varphi m\nu}=\frac{0.9}{\nu}\frac{IN}{p}k_{w\nu}$

$f_{\varphi 1}=F_{\varphi m1}\cos\omega t\cos\alpha$

$f_{\varphi\nu}=F_{\varphi m\nu}\cos\omega t\cos\nu\alpha$

2、脉振磁动势分解

$f_{\varphi 1}=\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\cos\left(\omega t-\alpha\right)+\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\cos\left(\omega t+\alpha\right)$

3、三相合成磁动势

$f_1=f_{A1}+f_{B1}+f_{C1}=\frac{3}{2}F_{\varphi m1}\cos\left(\omega t-\alpha\right)=1.35\frac{IN}{p}k_{w1}\cos\left(\omega t-\alpha\right)$

习题十四

2. 在图所示的三相对称绕组中，通以电流为 $i_a=i_b=i_c\sqrt{2}I\sin\omega t$ A，求三相合成的基波和三次谐波磁动势。

解：设一相磁动势基波和三次谐波最大幅值为$F_{\varphi m1}$和$F_{\varphi m3}$

则 $f_{a1}=F_{\varphi m1}\sin\omega t\cos\alpha$

$f_{b1}=F_{\varphi m1}\sin\omega t\cos(\alpha+120^\circ)$

$f_{c1}=F_{\varphi m1}\sin\omega t\cos(\alpha+240^\circ)$

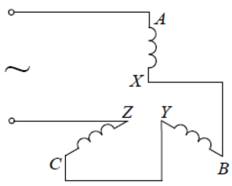
$f_1=f_{a1}+f_{b1}+f_{c1}=0$

$f_{a3}=F_{\varphi m3}\sin\omega t\cos 3\alpha$

$f_{b3}=F_{\varphi m3}\sin\omega t\cos 3(\alpha+120^\circ)=F_{\varphi m3}\sin\omega t\cos 3\alpha$

$f_{c3}=F_{\varphi m3}\sin\omega t\cos 3(\alpha+240^\circ)=F_{\varphi m3}\sin\omega t\cos 3\alpha$

$f_3=f_{a3}+f_{b3}+f_{c3}=3F_{\varphi m3}\sin\omega t\cos 3\alpha$



考察内容：

1、一相磁动势

$F_{\varphi m1}=0.9\frac{IN}{p}k_{w1}$

$F_{\varphi m\nu}=\frac{0.9}{\nu}\frac{IN}{p}k_{w\nu}$

$f_{\varphi 1}=F_{\varphi m1}\cos\omega t\cos\alpha$

$f_{\varphi\nu}=F_{\varphi m\nu}\cos\omega t\cos\nu\alpha$

2、脉振磁动势分解

$f_{\varphi 1}=\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\cos\left(\omega t-\alpha\right)+\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\cos\left(\omega t+\alpha\right)$

3、三相合成磁动势

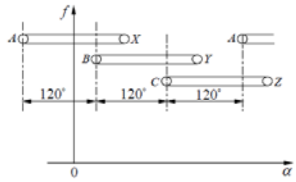
$f_1=f_{A1}+f_{B1}+f_{C1}=\frac{3}{2}F_{\varphi m1}\cos\left(\omega t-\alpha\right)=1.35\frac{IN}{p}k_{w1}\cos\left(\omega t-\alpha\right)$

习题十五

1. 用三个等值线圈A—X、B—Y、C—Z 代表的三相绕组，如图（a）所示，现通以电流 $i_a=10\sin\omega t$ A，$i_b=10\sin\left(\omega t-120^{\circ}\right)$A 和 $i_c=10\sin\left(\omega t-240^{\circ}\right)$A 。

（1）当i_A=10A 时，在图（a）坐标上画出三相合成基波磁动势波形；

（2）当i_A=5A （如图（b）所示）时，在图a 坐标上画出三相合成基波磁动势波形。



(a)

解：（1）令 $F_{\varphi m1}=0.9\dfrac{IN}{p}k_{w1}$

$i_A=10\ A$时，$\omega t=\dfrac{\pi}{2}$

$$f_{A1}=F_{\varphi m1}\sin\omega t\cos\alpha=F_{\varphi m1}\cos\alpha=\frac{3}{2}F_{\varphi m1}\cos\alpha-\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\cos\alpha$$

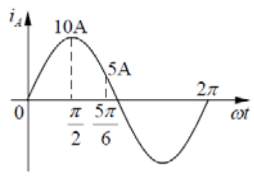
$$f_{B1}=F_{\varphi m1}\sin(\omega t-120^{\circ})\cos(\alpha-120^{\circ})=-\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\cos(\alpha-120^{\circ})$$

$$f_{C1}=F_{\varphi m1}\sin(\omega t-240^{\circ})\cos(\alpha-240^{\circ})=-\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\cos(\alpha-240^{\circ})$$

$$\begin{aligned}f_1&=f_{A1}+f_{B1}+f_{C1}\\&=\frac{3}{2}F_{\varphi m1}\cos\alpha-[\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\cos\alpha+\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\cos(\alpha-120^{\circ})+\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\cos(\alpha-240^{\circ})]\\&=\frac{3}{2}F_{\varphi m1}\cos\alpha\end{aligned}$$

习题十五

（2）当i_A=5A （如图b所示）时，在图a 坐标上画出三相合成基波磁动势波形。



(b)

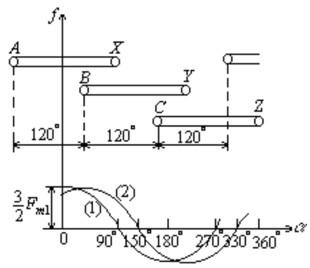
解：（2）如图i_A=5A时，$\omega t=\dfrac{5\pi}{6}$

$$f_{A1}=F_{\varphi m1}\sin\omega t\cos\alpha=\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\cos\alpha$$

$$f_{B1}=F_{\varphi m1}\sin(\omega t-120^{\circ})\cos(\alpha-120^{\circ})=\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\cos(\alpha-120^{\circ})$$

$$\begin{aligned}f_{C1}&=F_{\varphi m1}\sin(\omega t-240^{\circ})\cos(\alpha-240^{\circ})=-F_{\varphi m1}\cos(\alpha-240^{\circ})\\&=\frac{1}{2}F_{\varphi m1}\cos(\alpha-240^{\circ})-\frac{3}{2}F_{\varphi m1}\cos(\alpha-240^{\circ})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_1&=f_{A1}+f_{B1}+f_{C1}\\&=-\frac{3}{2}F_{\varphi m1}\cos(\alpha-240^{\circ})=\frac{3}{2}F_{\varphi m1}\cos(\alpha-60^{\circ})\end{aligned}$$



习题十五

2．一台极对数p=2的三相同步电机，定子上的A相绕组如图(a)。今在此绕组里通入单相电流，问产生的基波磁动势为几对极？如果把其中的一线圈反接，如图(b)所示，再通入单相电流，问产生的基波磁动势为几对极？（可以根据磁动势积分法作出磁动势波形，然后决定极对数）。

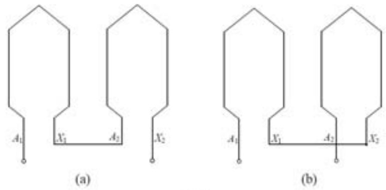
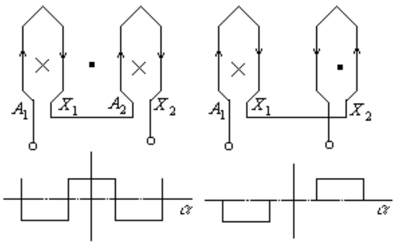


图 30

解：



P=2　　P=1

考察内容：

1、磁动势波形图画法

磁动势积分叠加法 p147

槽电流为⊙时上升一个高度

槽电流为⊗时下降一个高度

第十章　同步电机基本电磁关系　知识点回顾

1、时空相矢图（$+A$ 与 $+t$ 轴重合）

空间矢量：①基波励磁磁动势$\bar F_{f1}$和磁密$\bar B_0$ ⇒ 位于转子磁极轴线上

②电枢磁动势$\bar F_a$ ⇒ 某相电流达到最大时，$\bar F_a$ 刚好转到该相绕组的轴线上，与电流方向符合右手螺旋定则

时间相量：①同步电机电动势$\dot E_0$、$\dot E_a$ ⇒ 规定正方向一致时，落后$\bar F_{f1}$、$\bar F_a$ 一个90°

②电流$\dot I$ ⇒ 与$\dot E_0$夹角为ψ

2、几个角的区分：①ψ（内功率因数角）→ $\dot E_0$ 与$\dot I$ 的夹角；

②φ （功率因数角）→ $\dot U$ 与$\dot I$ 的夹角；

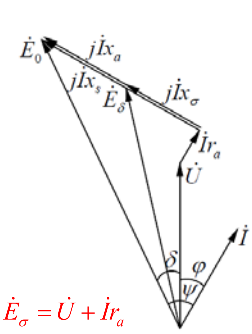
③δ （功角）→ $\dot E_0$与$\dot U$ 的夹角

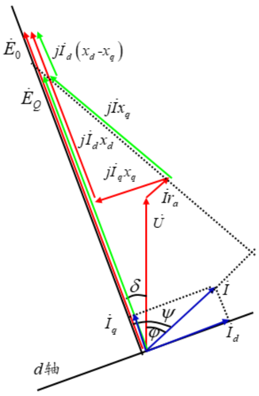
3、电枢反应的性质，直轴和交轴电枢反应的作用

1）交轴电枢反应磁动势使气隙磁场扭斜，实现机电能量转换。

2）直轴电枢反应磁动势对励磁破动势起去磁或加磁作用。

4、隐极和凸极机的电磁关系、电动势方程、等效电路和相量图





隐极机

$$\dot E_0 + \dot E_a + \dot E_\sigma = \dot U + \dot I r_a$$

$$\dot E_0 = \dot U + \dot I r_a + j\dot I x_a + j\dot I x_\sigma$$

$$= \dot U + \dot I r_a + j\dot I x_s$$

$$\dot E_\delta = \dot E_0 + \dot E_a = \dot U + \dot I r_a + j\dot I x_\sigma$$

凸极机

$$\dot E_0 + \dot E_{ad} + \dot E_{aq} + \dot E_\sigma = \dot U + \dot I r_a$$

$$\dot E_0 = \dot U + \dot I r_a + j\dot I x_\sigma + j\dot I_d x_{ad} + j\dot I_q x_{aq}$$

$$\dot E_0 = \dot U + \dot I r_a + j\dot I_d x_d + j\dot I_q x_q$$

$$\dot E_0 = \dot U + \dot I r_a + j\dot I x_q + j\dot I_d\left(x_d - x_q\right) = \dot E_Q + j\dot I_d\left(x_d - x_q\right)$$

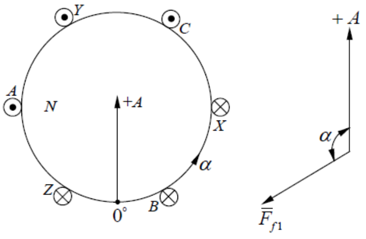
习题十六

1. 有一台同步电机，定子绕组里电动势和电流的正方向已标出，如图所示。

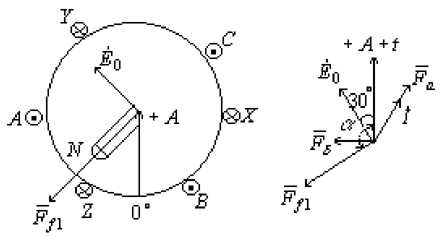
（1）画出当 α=120° 瞬间，电动势$\dot{E}_0$的相量，并把这个瞬间转子位置画在图里。

（2）若定子电流落后于电动势 60°电角度，画出定子绕组产生的合成基波磁动势$\bar{F}_a$ 的位置。

（3）如果 $F_a=\frac{1}{3}F_{f1}$，画出磁动势 $\bar{F}_\delta$ 的位置来。



解：



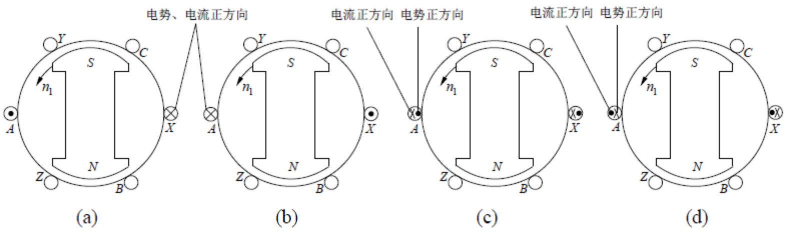
考察内容：

1、时空矢量图画法

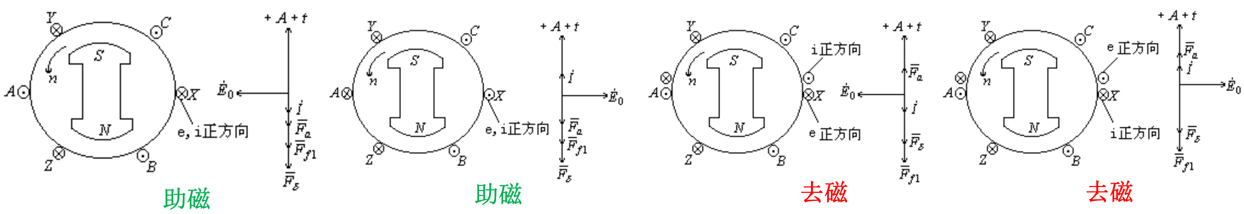
见课本p203

习题十六

2. 有一台同步发电机，定子绕组里电动势和电流的正方向分别标在图33(a)、(b)、(c)、(d)里。<u>假设定子电流领先电动势 $\dot{E}_0$以 90°电角度</u>。根据图(a)、(b)、(c)和(d)所示的转子位置，作出$\dot{E}_0$、$\dot{I}$ 相量和$\bar{F}_{f1}$、$\bar{F}_a$ 矢量。并说明$\bar{F}_a$是去磁还是助磁性质。



解：



考察内容：

1、时空矢量图画法

见课本p203

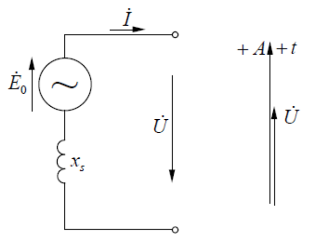
2、规定正方向与习惯一致时

$\dot{E}_0$ 落后$\bar{F}_{f1}$ 90°

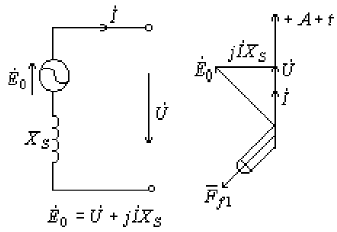
$\bar{F}_a$与I同方向

习题十六

3．已知一台隐极同发电机的端电压$U^*=1$，电流$I^*=1$，同步电抗$x_s^*=1$，功率因数$\cos\varphi=1$（忽略定子电阻），用画时空相（矢）量图的办法找出图中所示瞬间同步电机转子的位置（用发电机惯例）。



解：



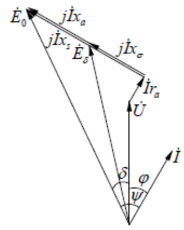
考察内容：

1、时空相矢图画法见课本*p*203

2、电动势方程

$\dot{E}_0 = \dot{U} + \dot{I}r_a + j\dot{I}x_s$

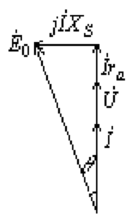
3、相量图



习题十七

2．一台隐极同步发电机运行于恒定电压下，其励磁可随时调整，使其线端功率因数在不同情况下经常等于1，试导出此时电枢电流I和励磁电动势E_0之间的关系。

解：由相量图可以看出：
$$\dot{E}_0 = \dot{U} + \dot{I}r_a + j\dot{I}x_s$$
$$E_0 = \sqrt{(U + Ir_a)^2 + (Ix_s)^2}$$



或：$$\sin\theta = \frac{Ix_s}{E_0}$$
$$I = \frac{E_0}{x_s}\sin\theta$$

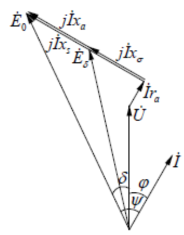
考察内容：

1、时空相矢图画法见课本*p*203

2、电动势方程

$\dot{E}_0 = \dot{U} + \dot{I}r_a + j\dot{I}x_s$

3、相量图



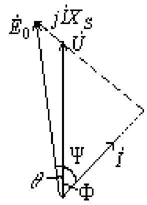
习题十七

3. 一台三相汽轮发电机 S_N=30000kVA，U_N=11000V，I_N=1570A，Y 接法。

（1）x_s=2.35Ω，用相量图求出cosφ=0.855（滞后）时I=I_N的ψ角和δ角。

（2）x_σ =0.661Ω，r_a不计，画出cosφ= 0.5（超前）时的电动势相量图，并求出E_δ、E_a和E_0。

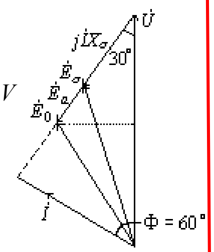
解：（1）忽略r_a，$\dot{E}_0=\dot{U}+j\dot{I}X_s$，由相量图得：



$$\psi = tg^{-1}\frac{Ix_s+U\sin\varphi}{U\cos\varphi}=tg^{-1}\frac{1570\times 2.35+\dfrac{11000}{\sqrt{3}}\times\sqrt{1-0.855^2}}{\dfrac{11000}{\sqrt{3}}\times 0.855}=52.14^\circ$$

$$\theta=\psi-\varphi=52.14^\circ-\cos^{-1}(0.855)=52.14^\circ-31.24^\circ=20.9^\circ$$

（2）$\dot{E}_\delta=\dot{U}+j\dot{I}x_\sigma$，$\dot{E}_0=\dot{U}+j\dot{I}x_\sigma+j\dot{I}x_a$ ，由相量图得：



$$E_\delta=\sqrt{(Ix_\sigma)^2+U^2-2Ix_\sigma U\cos 30^\circ}$$
$$=\sqrt{(1570\times 0.661)^2+(11000/\sqrt{3})^2-2\times 1570\times 0.661\times(11000/\sqrt{3})\cos 30^\circ}=5476.9\,V$$
$$E_0=\sqrt{(Ix_s\cos 60^\circ)^2+(U-Ix_s\sin 60^\circ)^2}$$
$$=\sqrt{(1570\times 2.35\times 0.5)^2+(11000/\sqrt{3}-1570\times 2.35\times\sqrt{3}/2)^2}=3655.4\,V$$
$$E_a=Ix_a=I(x_s-x_\delta)=1570\times(2.35-0.661)=2651.73V$$

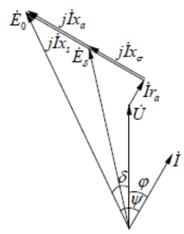
考察内容：

1、时空相矢图画法见课本$p203$

2、电动势方程

$\dot{E}_0=\dot{U}+\dot{I}r_a+j\dot{I}x_s$

3、相量图

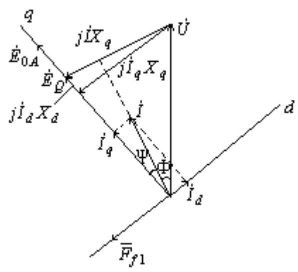


习题十七

5．已知一台凸极同步电机U*=1，I*=1，x_d*=0.6，x_q*=0.6，r_a=0，φ=20°（领先），当t=0时，u_A最大。

（1）用电动势相量图求 $\dot{E}_{A0}$

（2）判断电枢反应是去磁还是助磁。



解：（1） $\dot{E}_Q=\dot{U}+j\dot{I}x_q,\dot{E}_0=\dot{U}+j\dot{I}_dx_d+j\dot{I}_qx_q$ 由相量图得：

$$\psi=tg^{-1}\frac{I^*x_q^*-U^*\sin\varphi}{U^*\cos\varphi}=tg^{-1}\frac{0.6-\sin 20^\circ}{\cos 20^\circ}=15.35^\circ$$

$$\delta=\psi+\varphi=20^\circ+15.35^\circ=35.35^\circ$$

$$E_{A0}^*=U^*\cos\delta+I_d^*x_d^*=U^*\cos\delta+I^*\sin\psi x_d^*=\cos 35.35^\circ+\sin 15.35^\circ\times 0.6=1.16$$

$$\dot{E}_{A0}^*=1.16\angle 35.35^\circ$$

（2）电枢反应是去磁性质（交轴电枢反应使气隙磁场扭斜，直轴电枢反应起去磁作用。）

考察内容：

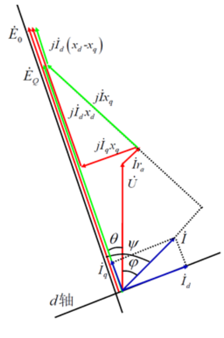
1、时空相矢图画法见课本$p203$

2、凸极机电动势方程

$\dot{E}_Q=\dot{U}+j\dot{I}x_q$

$\dot{E}_0=\dot{U}+j\dot{I}_dx_d+j\dot{I}_qx_q$

3、凸极机相量图



习题十八

1．一台三相、Y接法凸极同步发电机，运行数据是：U=230V（相电压），I=10A，$\cos\varphi$=0.8(滞后)，ψ=60°，r_a=0.4Ω，励磁相电动势E_0=400V，忽略磁路饱和影响，画出电机此时电动势相量图，并求出I_d、I_q、x_d、x_q的数值。

解：

$$I_d = I\sin\psi = 10\sin 60^\circ = 8.66A$$

$$I_q = I\cos\psi = 10\cos 60^\circ = 5A$$

$$\because \psi = tg^{-1}\frac{Ix_q + U\sin\varphi}{U\cos\varphi + Ir_a} = tg^{-1}\frac{10x_q + 230\times 0.6}{230\times 0.8 + 10\times 0.4} = 60^\circ$$

$$\therefore x_q = 18.762\Omega$$

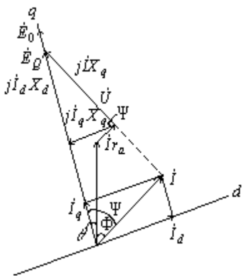
$$\because \cos\varphi = 0.8$$

$$\therefore \varphi = 36.87^\circ$$

$$\because E_0 = U\cos(\psi-\varphi) + Ir_a\cos\psi + I_d x_d$$

$$= U\cos(\psi-\varphi) + Ir_a\cos\psi + I\sin\psi x_d$$

$$\therefore x_d = \frac{E_0 - U\cos(\psi-\varphi) - Ir_a\cos\psi}{I\sin\psi} = 21.53\Omega$$



考察内容：

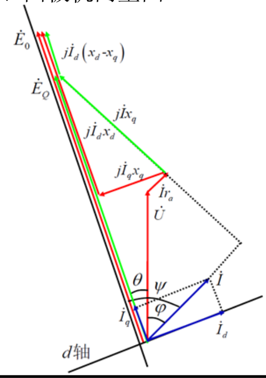
1、基本方程式

$$\dot{E}_0 = \dot{U} + \dot{I}r_a + j\dot{I}_d x_d + j\dot{I}_q x_q$$
$$= \dot{U} + \dot{I}r_a + j\dot{I}x_q + j\dot{I}_d(x_d - x_q)$$
$$= \dot{E}_Q + j\dot{I}_d(x_d - x_q)$$

2、ψ的计算

$$\psi = tg^{-1}\frac{Ix_q + U\sin\varphi}{Ir_a + U\cos\varphi}$$

3、凸极机向量图



习题十八

2．设有一台凸极式发电机接在电压为额定值的电网上，电网电压保持不变，同步电抗标幺值 x_d^*=1.0，x_q^*=0.6，r_a≈0，当该机供给额定电流且功率因数为1时，空载电动势E_0^*为多少？当该机供给额定电流且内功率因数为1时，空载电动势E_0^*为多少？

解：

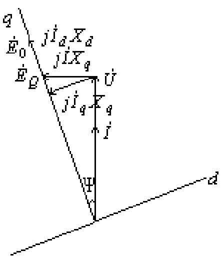
1）$\cos\varphi$=1

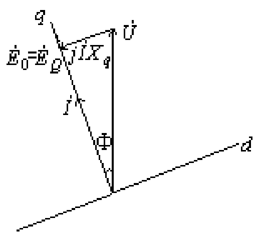
$$\psi = tg^{-1}\frac{I^* x_q^*}{U^*} = 30.96^\circ$$

$$E_0^* = U^*\cos\psi + I_d^* x_d^* = U^*\cos\psi + I^*\sin\psi x_d^* = 1\times\cos 30.96^\circ + 1\times\sin 30.96^\circ\times 1 = 1.372$$

2）$\cos\psi$=1

$$E_0^* = \sqrt{U^{*2} - (I^* x_q^*)^2} = \sqrt{1-0.6^2} = 0.8$$





考察内容：

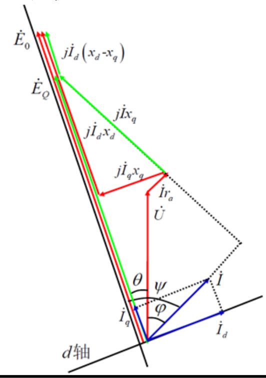
1、基本方程式

$$\dot{E}_0 = \dot{U} + \dot{I}r_a + j\dot{I}_d x_d + j\dot{I}_q x_q$$
$$= \dot{U} + \dot{I}r_a + j\dot{I}x_q + j\dot{I}_d(x_d - x_q)$$
$$= \dot{E}_Q + j\dot{I}_d(x_d - x_q)$$

2、ψ的计算

$$\psi = tg^{-1}\frac{Ix_q + U\sin\varphi}{Ir_a + U\cos\varphi}$$

3、凸极机向量图



习题十八

3. 一台三相凸极同步发电机的额定数据如下：Y 接法，P_N=400kW，U_N=6300V，$\cos\varphi$=0.8（滞后），f=50Hz，n_N=750r/min，x_d=103.1Ω，x_q=62Ω，忽略电枢电阻，试求额定运行时的功率因数角δ以及励磁电动势E_0的大小。

解：

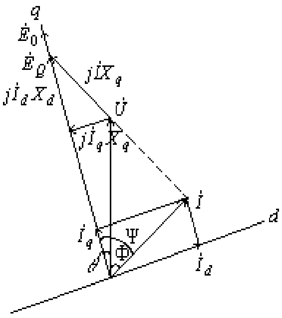
$$I_N=\frac{P_N}{\sqrt{3}U_N\cos\varphi_N}=\frac{400\times10^3}{\sqrt{3}\times6300\times0.8}=45.82\ A$$

$$\psi=tg^{-1}\frac{Ix_q+U\sin\varphi}{U\cos\varphi}=tg^{-1}\frac{45.82\times62+\frac{6300}{\sqrt{3}}\times0.6}{\frac{6300}{\sqrt{3}}\times0.8}=59.92^\circ$$

$$\delta=\psi-\varphi=59.92^\circ-\cos^{-1}0.8=59.92^\circ-36.87^\circ=23.05^\circ$$

$$E_0=U\cos\delta+I_dx_d=U\cos\delta+I\sin\psi x_d$$

$$=\frac{6300}{\sqrt{3}}\times\cos23.05^\circ+45.82\times\sin59.92^\circ\times103.1=7434.76\,V$$



考察内容：

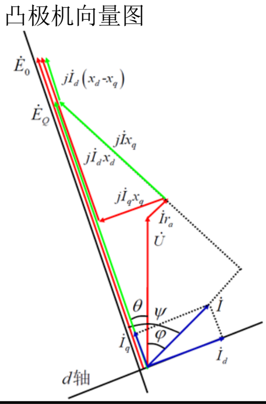
1、基本方程式

$$\dot{E}_0=\dot{U}+\dot{I}r_a+j\dot{I}_dx_d+j\dot{I}_qx_q$$
$$=\dot{U}+\dot{I}r_a+j\dot{I}x_q+j\dot{I}_d\left(x_d-x_q\right)$$
$$=\dot{E}_Q+j\dot{I}_d\left(x_d-x_q\right)$$

2、ψ的计算

$$\psi=tg^{-1}\frac{Ix_q+U\sin\varphi}{Ir_a+U\cos\varphi}$$

3、凸极机向量图



习题十九

2. 国产三相72500kW水轮发电机，U_N=10.5kV，Y接，$\cos\varphi_N$=0.8（滞后），x_q^*=0.554，电机的空载、短路和零功率因数负载实验数据如下：

空载特性

U_0^*	0.55	1.0	1.21	1.27	1.33
i_f^*	0.52	1.0	1.51	1.76	2.09

短路特性

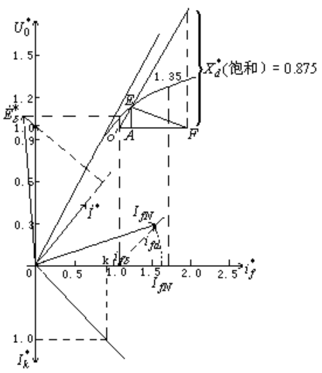
I_k^*	0	1
i_f^*	0	0.965

零功率因数特性（I=I_N）

U^*	1
i_f^*	2.115

设$x_\sigma^*=0.9x_p^*$，试求：（1）x_d^* 的不饱和值；（2）短路比K_c；（3）x_p^*；（4）x_{aq}^*；

解：



（1）当$I_k^*=1.0$时，短路实验对应的$I_f^*=0.965$

由空载特性可得，气隙线$U_0^*=\frac{0.55}{0.52}I_f^*$

$$\therefore E_0^*=\frac{0.55}{0.52}\times0.965=1.02\Rightarrow x_d^*=\frac{E_0^*}{I_k^*}=\frac{1.02}{1}=1.02$$

（2）$$K_c=\frac{I_{kN}^*}{I_N^*}=\frac{i_{f0}\left(U_0=U_N\right)}{i_{fk}\left(I_k=I_N\right)}=\frac{1}{0.965}=1.036$$

（3）$$x_p^*=\frac{EA^*}{I^*}=\frac{0.15}{1}=0.15$$

（4）$$x_{aq}^*=x_q^*-x_\sigma^*=0.554-0.15\times0.9=0.419$$

考察内容：

1、同步电抗不饱和值

$$x_s=\frac{E_0}{I_k}$$

2、短路比

$$K_c=\frac{I_{kN}(i_f=i_{f0})}{I_N}$$
$$=\frac{i_{f0}(U_0=U_N)}{i_{fk}(I_k=I_N)}$$

3、保梯电抗

$$x_p=\frac{EA}{I}$$

隐：$x_p=x_\sigma$ 凸：$x_p>x_\sigma$

4、凸极机同步电抗

直轴 $x_d=x_{ad}+x_\sigma$

交轴 $x_q=x_{aq}+x_\sigma$

第十一章 同步发电机的并联运行 知识点回顾

1、发电机并网

并联投入条件：①电压大小相同；②电压相位一致；③频率相同；④相序必须一致

并联投入方法：①准整步 $\begin{cases}\text{暗灯法：三组灯亮灭变化很慢} \rightarrow \text{三组灯同时熄灭} \\ \text{灯光旋转法：灯光旋转缓慢} \rightarrow \text{不交叉的相灯熄灭}\end{cases}$

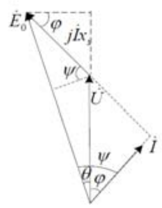
②自整步：将发电机拖动到接近同步速，励磁绕组通过一限流电阻短接，发电机投入电网立即加励磁，电网将电机拖入同步速（并网冲击电流稍大）

2、功率和转矩平衡

功率平衡：$P_1 = \left(p_m + p_{fe} + p_{ad}\right) + P_M = p_0 + P_M$

$P_2 = P_M - p_{cua} = mUI\cos\varphi$

转矩平衡：$T_1 = T_0 + T_M$ 其中，$T_1 = \dfrac{P_1}{\Omega_1}$，$T_0 = \dfrac{p_m + p_{fe} + p_{ad}}{\Omega_1}$，$T_M = \dfrac{P_M}{\Omega_1}$ $\quad \Omega_1 = \dfrac{2\pi n_1}{60}$



3、功角特性

隐：$P_M = \dfrac{mUE_0}{x_s}\sin\delta$ $\qquad Q = \dfrac{mUE_0}{x_s}\cos\delta - \dfrac{mU^2}{x_s}$

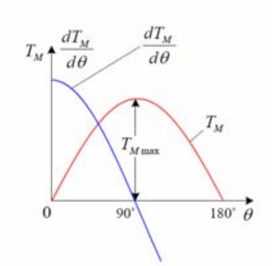
凸：$P_M = \dfrac{mUE_0}{x_d}\sin\delta + m\dfrac{U^2}{2}\left(\dfrac{1}{x_q} - \dfrac{1}{x_d}\right)\sin 2\delta$ $\qquad Q = \dfrac{mUE_0}{x_d}\cos\delta - m\dfrac{U^2}{2}\dfrac{x_d + x_q}{x_d x_q} + m\dfrac{U^2}{2}\dfrac{x_d - x_q}{x_d x_q}\cos 2\delta$

4、有功调节和静态稳定

增加原动机输入功率 $\rightarrow$ 增加有功

静态稳定性（隐极为例）：$T_M = \dfrac{mUE_0}{x_s\Omega_1}\sin\delta \Rightarrow \dfrac{dT_M}{d\delta} = \dfrac{mUE_0}{x_s\Omega_1}\cos\delta$

判据：$\begin{cases}\dfrac{dT_M}{d\delta} > 0 & \text{静态稳定} \\ \dfrac{dT_M}{d\delta} < 0 & \text{静态不稳定} \\ \dfrac{dT_M}{d\delta} = 0 & \text{静态稳定极限}\end{cases}$

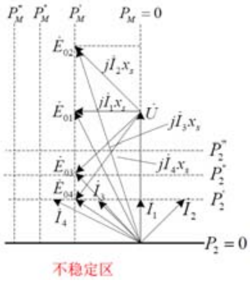


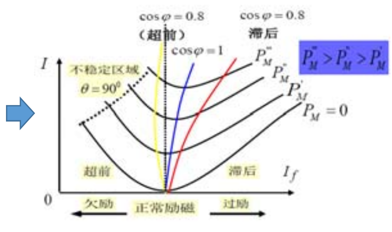
5、无功调节和 V 型曲线

调节励磁 $\rightarrow$ 调节无功

仅增加有功 $\rightarrow$ 无功相应下降

V 型曲线：电枢电流 I 与励磁电流 I_f 的关系 $I = f\left(I_f\right) \Rightarrow$





习题二十

3. 一台四极的隐极同步电机，端电压$U^*=1$ 和电流$I^*=1$ ，同步电抗$x_s^*=1$ ，功率因数$\cos\varphi=\sqrt{3}/2\left(\dot{I}落后\dot{U}\right)$，励磁磁动势的幅值$F_{f1}=1200$ 安/极，电枢反应基波磁动势的幅值$F_a=400$安/极，忽略定子电阻r_a ，试用时空相矢图求出功角δ 和θ' 。

解：

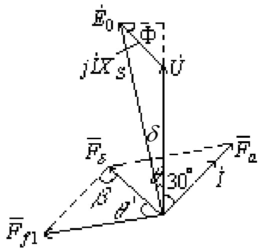
$$\cos\varphi=\frac{\sqrt{3}}{2}\Rightarrow\varphi=30^\circ$$

$$\delta=tg^{-1}\frac{I^*x_s^*\cos\varphi}{I^*x_s^*\sin\varphi+U^*}=tg^{-1}\frac{\sqrt{3}/2}{1/2+1}=30^\circ$$

$$\beta=90^\circ+\delta+\varphi-\theta'=150^\circ-\theta'$$

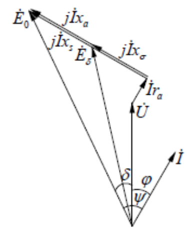
$$\because\frac{F_{f1}}{\sin\beta}=\frac{F_a}{\sin\theta'}$$

$$\therefore\frac{F_{f1}}{\sin\left(150^\circ-\theta'\right)}=\frac{F_a}{\sin\theta'}\Rightarrow\frac{1200}{\sin\left(150^\circ-\theta'\right)}=\frac{400_a}{\sin\theta'}\Rightarrow\theta'=13.2^\circ$$



考察内容：

1、相量图



习题二十一

1. 有一台两极50Hz 汽轮发电机数据如下：S_N=31250kVA，U_N=10.5kV（Y接法），cosφ=0.8（滞后），定子每相同步电抗x_s=7.0Ω（不饱和值），而定子电阻忽略不计，此发电机并联运行于无限大电网，试求：

（1）当发电机在额定状态下运行时，功率角δ_N，电磁功率P_N，同步转矩系数$\frac{dT_M}{d\delta}$，过载能力k_m为多大？

解：（1）$I_N=\frac{S_N}{\sqrt{3}U_N}=\frac{31250}{\sqrt{3}\times10.5}=1718.3\text{ A}$

由相量图可得

$$\delta_N=tg^{-1}\frac{I_Nx_s\cos\varphi}{I_Nx_s\sin\varphi+U_{N\varphi}}$$

$$=tg^{-1}\frac{1718.3\times7\times0.8}{1718.3\times7\times0.6+10500/\sqrt{3}}=35.93^\circ$$

$$E_{0N}=\frac{U_{N\varphi}+I_Nx_s\sin\varphi}{\cos\delta_N}=16399.25\text{V}$$

$$P_{MN}=\frac{mU_{N\varphi}E_{0N}}{x_s}\sin\delta_N=25000\text{kW}$$

$$P_{M\max}=\frac{mU_{N\varphi}E_{0N}}{x_s}=42606.5\text{kW}$$

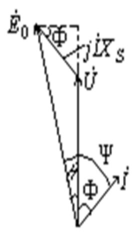
$$\frac{dT_M}{d\delta}=\frac{mU_{N\varphi}E_{0N}}{x_s\Omega_1}\cos\delta_N$$

$$=\frac{3\times\frac{10500}{\sqrt{3}}\times16399.25}{\frac{2\pi\times3000}{60}\times7}\times\cos35.93^\circ$$

$$=1.1\times10^5$$

$$k_m=\frac{P_{M\max}}{P_{MN}}=1.704$$

或$k_m=\frac{1}{\sin\delta_N}=1.704$



考察内容：

1、有功功率

$$P_M=\frac{mUE_0}{x_s}\sin\delta$$

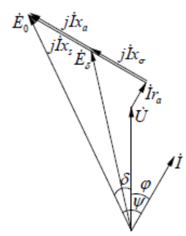
2、过载能力

$$k_m=\frac{T_{\max}}{T_N}=\frac{P_{M\max}}{P_{MN}}=\frac{1}{\sin\delta_N}$$

3、同步转矩系数

$$\frac{dT_M}{d\delta}=\frac{mUE_0}{x_s\Omega_1}\cos\delta$$

4、相量图



习题二十一

（2）若维持上述励磁电流不变，但输出有功功率减半时，δ、P_M 同步转矩系数 $\dfrac{dT_M}{d\delta}$ 及$\cos\varphi$将变为多少？输出无功功率将怎样变化？

由题得，

$\because I_f' = I_f$，

$\therefore E_0' = E_{0N} = 16399.25\text{V}$

$\because P_2' = \dfrac{1}{2}P_2$

$\therefore I'\cos\varphi' = \dfrac{1}{2}I_N\cos\varphi_N$

由相量图得：

$$\sin\delta' = \frac{I'x_s\cos\varphi'}{E_0'} = \frac{\frac{1}{2}I_N\cos\varphi_N x_s}{E_{0N}} = 0.2934$$

$\delta' = 17.06^\circ$

$$P_M' = \frac{mU_{N\varphi}E_0'}{x_s}\sin\delta' = \frac{3\times\frac{10500}{\sqrt{3}}\times 16399.25}{7}\sin 17.06^\circ = 12500\text{kW}$$

$$\frac{dT_M}{d\delta} = \frac{mU_{N\varphi}E_0'}{x_s\Omega_1}\cos\delta' = \frac{3\times\frac{10500}{\sqrt{3}}\times 16399.25}{7\times\frac{2\pi\times 3000}{60}}\cos 17.06^\circ = 1.3\times 10^5$$

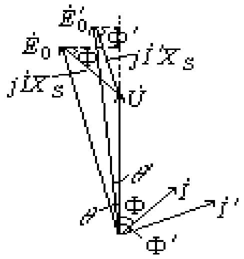
$$\tan\varphi' = \frac{E_0'\cos\delta' - U_{N\varphi}}{E_0'\sin\delta'} = 1.998$$

$\varphi' = 63.42^\circ$

$\cos\varphi' = 0.447$

$$Q' = \frac{mU_{N\varphi}E_0'}{x_s}\cos\delta' - \frac{mU_{N\varphi}^2}{x_s} = 24981.7\text{kvar}$$

有功减小，无功增加



考察内容：

1、同步转矩系数

$$\frac{dT_M}{d\delta} = \frac{mUE_0}{x_s\Omega_1}\cos\delta$$

2、有功功率与无功功率

$$P_M = \frac{mUE_0}{x_s}\sin\delta \quad P_2 = mUI\cos\varphi$$

$$Q = \frac{mUE_0}{x_s}\cos\delta - \frac{mU^2}{x_s}$$

3、相量图

习题二十一

（3）发电机原来在额定状态下运行，现在将其励磁电流加大10%，δ、P_M、$\cos\varphi$和I将变为多少？

由题得，

$E_0'' = 1.1E_{0N} = 1.1\times 16399.25 = 18039.18\text{V}$

$\because P_2'' = P_2$

$\therefore I''\cos\varphi'' = I_N\cos\varphi_N$

由相量图得，

$E_0''\sin\delta'' = I''x_s\cos\varphi'' = I_N x_s\cos\varphi_N$

$$\text{则}\sin\delta'' = \frac{I_N x_s\cos\varphi_N}{E_0''} = \frac{1718.3\times 7\times 0.8}{18039.18} = 0.5334$$

$\delta'' = 32.24^\circ$

$$P_M'' = \frac{mU_{N\varphi}E_0''}{x_s}\sin\delta'' = \frac{3\times\frac{10500}{\sqrt{3}}\times 18039.18}{7}\sin 32.24^\circ$$

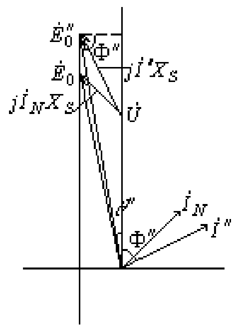
$= 25000\text{kW}$

$$\tan\varphi'' = \frac{E_0''\cos\delta'' - U_{N\varphi}}{E_0''\sin\delta''} = 0.9557$$

$\varphi'' = 43.7^\circ$

$\cos\varphi'' = 0.723$

$$I'' = \frac{I_N\cos\varphi_N}{\cos\varphi''} = \frac{1718.3\times 0.8}{\cos 43.7^\circ} = 1901.37\text{A}$$



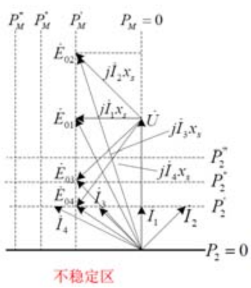
考察内容：

1、有功功率

$$P_M = \frac{mUE_0}{x_s}\sin\delta$$

$P_2 = mUI\cos\varphi$

2、相量图



习题二十一

2．一台50000kW、13800V（Y接法）、cosφ=0.8（滞后）的水轮发电机并联于一无限大电网上，其参数为r_a≈0，x_d*=1.15，x_q*=0.7，并假定其空载特性为一直线，试求：

（1）当输出功率为10000kW，cosφ=1时，发电机的励磁电流I_f*及功率角δ；

P_2=10000kW, $\cos\varphi=1$时，$\varphi=0^\circ$

$$I=\frac{P_2}{\sqrt{3}U\cos\varphi}=\frac{10000\times10^3}{\sqrt{3}\times13800\times1}=418.37\text{A}$$

$$I_N=\frac{S_N}{\sqrt{3}U_N}=\frac{P_N}{\sqrt{3}U_N\cos\varphi_N}=\frac{50000\times10^3}{\sqrt{3}\times13800\times0.8}=2614.81\text{A}$$

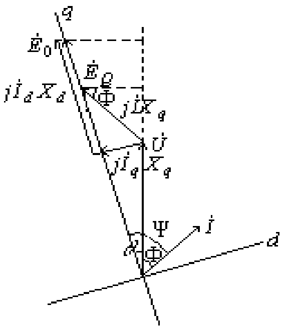
$$I^*=\frac{I}{I_N}=\frac{418.37}{2614.81}=0.16$$

$$U^*=1$$

$$\delta=tg^{-1}\frac{I^*x_q^*\cos\varphi}{U^*+I^*x_q^*\sin\varphi}=tg^{-1}\frac{0.16\times0.7\times1}{1+0.16\times0.7\times0}=6.39^\circ$$

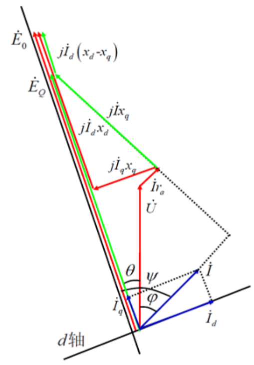
$$E_0^*=U^*\cos\delta+I_d^*x_d^*=U^*\cos\delta+I^*\cos\psi x_d^*$$
$$=U^*\cos\delta+I^*\cos(\delta+\varphi)x_d^*=1\times\cos6.39^\circ+0.16\times\sin6.39^\circ\times1.15=1.014$$

$$I_f^*=E_0^*=1.014$$



考察内容：

1、凸极机相量图



习题二十一

（2）若保持此输入有功功率不变，当发电机失去励磁时，δ=？发电机还能稳定运行吗？此时定子电流I=？cosφ=？

失磁后，$E_0'=0\Rightarrow E_0'^*=0$

有功不变$\Rightarrow P_M'=P_M=P_2$

由$P_M=\frac{mUE_0}{x_d}\sin\delta+m\frac{U^2}{2}\left(\frac{1}{x_q}-\frac{1}{x_d}\right)\sin2\delta$可得

$$P_M^*=\frac{U^{*2}}{2}\left(\frac{1}{x_q^*}-\frac{1}{x_d^*}\right)\sin2\delta'$$

$$\therefore\sin2\delta'=\frac{P_M^*}{\frac{U^{*2}}{2}\left(\frac{1}{x_q^*}-\frac{1}{x_d^*}\right)}=\frac{\frac{10000}{50000/0.8}}{\frac{1}{2}\left(\frac{1}{0.7}-\frac{1}{1.15}\right)}=0.5724$$

$\delta'=17.46^\circ<(20^\circ\sim30^\circ)$发电机还能稳定运行

$$E_0^*=0=U^*\cos\delta'+I_d'^*x_d^*\Rightarrow I_d'^*=\frac{U^*\cos\delta'}{x_d^*}=\frac{1\times\cos17.46^\circ}{1.15}=0.8295$$

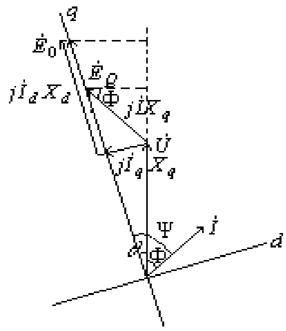
$$U^*\sin\delta'=I_q'^*x_q^*\Rightarrow I_q'^*=\frac{U^*\sin\delta'}{x_q^*}=\frac{1\times\sin17.46^\circ}{0.7}=0.4286$$

$$I'^*=\sqrt{I_d'^{*2}+I_q'^{*2}}=0.9337$$

$$I'=I'^*I_N=0.9337\times2614.81=2441.4A$$

$$\because P_2'=P_2=mUI'\cos\varphi'$$

$$\therefore\cos\varphi'=\frac{I\cos\varphi}{I'}=\frac{418.37}{2441.4}=0.1714$$



考察内容：

1、凸极极有功计算式

$$P_M=\frac{mUE_0}{x_d}\sin\delta+m\frac{U^2}{2}\left(\frac{1}{x_q}-\frac{1}{x_d}\right)\sin2\delta$$

2、凸极机相量图