

班级

姓名

成绩

题号	一(1-2)	一(3-4)	一(5-6)	一(7)	二	三	四	总分
分数								
评卷								

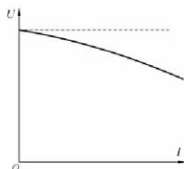
一、简要回答下列问题 (5×6+10×1=40 分)

得分	评卷人

1、一台同步发电机单独带感性负载, 在额定转速并保持某一励磁电流不变的情况下, 试画出其端电压随负载电流之间的变化关系曲线, 并说明端电压随负载电流变化的原因。(5 分)

答: 负载电流增加时, 漏阻抗压降增大, 电枢反应增强。

在感性负载下, 电枢反应是去磁的, 因此, 外特性是下降。



得分	评卷人

2、试说明同步电机的气隙增大时, 对 X_{σ} 、 X_d 以及短路比有何影响? (5 分)

答: 1) 由于漏磁路与气隙大小无关, 因此气隙增大时漏电抗 X_{σ} 不变。

2) 气隙增大时, 电枢反应磁通所经磁路的磁阻增大, 磁导减小, 因此电枢反应电抗 X_{ad} 减小。而同步电抗 $X_d = X_{\sigma} + X_{ad}$, 因此 X_d 减小;

3) 由于短路比与 X_d 标么值成反比, X_d 减小时, X_d 标么值亦减小, 故短路比增大。

得分	评卷人

3、并联在电网上运行的同步发电机过渡到电动机状态运行时, 定子电流、电磁转矩的方向有何变化? \dot{E}_o 与 \dot{U} 的相对相位关系又如何变化? (5 分)

答: 1) 同步发电机过渡到电动机状态运行时, 定子电流的有功分量反相, 输出功率变负, 表示电机从电网吸收有功。电磁转矩改变方向, 与转子转向相同, 成为拖动转矩;

2) 励磁电动势由滞后于端电压变为超前于端电压, 功率角 θ 变负, 电磁功率变负, 表示电机将电能转换为机械能。

得分	评卷人

4、同步电机的阻尼绕组对电机参数 X_{σ} 、 X_d 、 X_d'' 、 X_{-} 是否有影响? 有何影响? 在额定转速下稳态运行时, 阻尼绕组中是否存在感应电动势和电流? (5分)

答: 1) 定子漏电抗 X_{σ} 和直轴同步电抗 X_d 为电机的稳态参数, 阻尼绕组在电机稳态时不起作用, 因此对这两个参数无影响。直轴超瞬变电抗 X_d'' 和负序电抗 X_{-} 为电机的动态参数, 电机动态运行是, 阻尼绕组中存在感应电动势和电流, 将阻碍这两个参数对应的磁通穿过, 因此对这两个参数有影响。阻尼绕组的存在使得 X_d'' 和 X_{-} 变小;

2) 电机在额定转速下稳态运行时, 阻尼绕组中不存在感应电动势和电流。

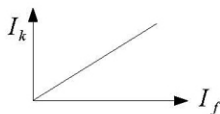
得分	评卷人

5、试画出同步电机的稳态短路特性, 在相同励磁电流情况下, 突然短路电流和稳态短路电流的大小是否相同? 为什么? (5分)

答: 突然短路电流远比稳态短路电流大, 因为:

$$\text{稳态短路电流 } I_k \propto \frac{1}{X_d}, \text{ 突然短路电流 } I_k'' \propto \frac{1}{X_d''} (\text{或 } \frac{1}{X_d'})$$

$$\text{而 } X_d'' \ll X_d$$



得分	评卷人

6、一台并励直流电动机, 若发现其旋转方向反了, 则可以采用哪些具体方法使其转向改变? 并说明其原理。(5分)

答: 对调励磁绕组接线端或对调电枢绕组接线端。因为电磁转矩 $T_{em} = C_T \Phi I_a$, 改变磁通的方向或改变电枢电流的方向就可电磁转矩的方向, 从而改变转子的转向。对调励磁绕组接线端即改变励磁电流方向, 对调电枢绕组接线端即改变电枢电流方向。

得分	评卷人

7、一台他励直流电动机与一台同步发电机同轴相联，进行同步发电机并网运行实验。(10分)

- (1) 发电机端电压应满足什么条件才能并入电网？
- (2) 在发电机与大电网并联之后，若保持发电机输出的有功功率基本不变，怎样调节发电机输出的无功功率？
- (3) 在发电机与大电网并联之后，若适当增加直流电动机励磁回路调节电阻，发电机稳态转速、功率角、输出有功功率是否会变？若有变化，将怎样变？
- (4) 在上面第(3)项调节过程达到稳态后，直流电动机的 I_a 、 E_a 、 P_1 与调节前相比有何变化？

答：(1) 发电机的空载电压的大小、频率、相位与电网电压相等，波形和相序相同。

(2) 调节发同步发电机的励磁电流。

(3) n 不变， θ 增加， P_2 增加。

(4) $R_f \uparrow \rightarrow I_f \downarrow \rightarrow \Phi \downarrow \Rightarrow n$ 不变， $E_a \downarrow$ ， $I_a \uparrow$ ， $P_1 \uparrow$

得分	评卷人

二、一台 4 极三相隐极同步发电机， $P_N=125000\text{kW}$ ， $U_N=10.5\text{kV}$ ，定子 Y 接法， $f_N=50\text{Hz}$ ，

$\cos\varphi=0.8$ (滞后)， $X_{t1}^*=2.0$ ，电枢电阻忽略不计，试计算：(20 分)

1. 额定电流、额定转速；
2. X_{t1} 的实际值；
3. 励磁电流产生的磁场分别相对定子和转子绕组之间的旋转速度；
4. 稳态负载运行时，励磁电流产生的磁场与电枢电流产生的磁场的相对速度；
5. 单机空载运行时，保持在额定转速产生定子额定端电压对应的励磁电流不变，若转速变为 1200r/min ，此时定子端电压的大小和频率；
6. 若题目给定的同步电抗为不饱和值，且负序电抗的标么值 $X_{-}^*=0.15$ ，忽略零序电抗，空载电压等于额定电压，试求该发电机发生机端三相、二相、单相稳态短路时的电流标么值。

解：1. 额定电流
$$I_N = \frac{P_N}{\sqrt{3}U_N \cos\varphi} = \frac{125000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 10.5 \times 10^3 \times 0.8} = 8591.52\text{A}$$

$$\text{额定转速 } n_N = \frac{60f_N}{p} = \frac{3000}{2} = 1500 \text{ r/min}$$

$$2. \text{ 额定相电压 } U_{N\phi} = \frac{U_N}{\sqrt{3}} = \frac{10050}{\sqrt{3}} = 6062.18\text{V}$$

$$\text{额定相电流 } I_{N\phi} = I_N = 8591.52 \text{ A}$$

$$\text{阻抗基值} \quad Z_N = \frac{U_{N\phi}}{I_{N\phi}} = \frac{6062.18}{8591.52} = 0.7056 \, \Omega$$

$$X_t \text{ 的实际值} \quad X_t = Z_N X_t^* = 0.7056 \times 2 = 1.4112 \, \Omega$$

$$3. \text{ 相对定子转速} \quad n_1 = n_N = 1500 \, \text{r/min}$$

$$\text{相对转子转速} \quad n_2 = 0$$

4. 定转子磁场相对速度为 0

$$5. \text{ 空载电压 } U_0 \propto n \quad U_0 = \frac{n}{n_N} U_N = \frac{1200}{1500} \times 10.5 = 8.4 \, \text{kV}$$

$$\text{频率} \quad f = \frac{pn}{60} = \frac{2 \times 1200}{60} = 40 \, \text{Hz}$$

$$6. \text{ 三相稳态短路电流} \quad I_{k3}^* = \frac{1}{X_t^*} = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$\text{二相稳态短路电流} \quad I_{k2}^* = \frac{\sqrt{3}}{X_t^* + X_-^*} = \frac{\sqrt{3}}{2 + 0.15} = 0.8056$$

$$\text{单相稳态短路电流} \quad I_{k1}^* = \frac{3}{X_t^* + X_-^*} = \frac{3}{2 + 0.15} = 1.39535$$

得分	评卷人

三、一台 4 极三相隐极同步发电机, $P_N=125000\text{kW}$, $U_N=10.5\text{kV}$, 定子 Y 接法, $f_N=50\text{Hz}$, $\cos\varphi=0.8$ (滞后), $X_t^*=2.0$, 电枢电阻忽略不计, 该发电机与无穷大电网并联运行, 试计算: (20 分)

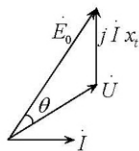
1. 额定运行时, E_{0N} 、 θ_N 以及电磁功率 P_{emN} ;
2. 画出额定运行时的相量图 (示意图);
3. 若输出有功功率为额定功率的一半, 逐渐减小励磁到额定励磁电流的一半, 不考虑磁路饱和的影响, 发电机是否还能保持静态稳定运行? 为什么?
4. 若保持额定励磁电流不变, 逐渐减小原动机功率输出直至发电机输出有功功率为 0, 求此时发电机的 θ 、 $\cos\varphi$ 和定子电流标么值。

解: 1. 额定运行时 $E_{0N}^* = U^* + j I_t^* X_t^* = 1 \angle 0^\circ + j 1 \angle -36.87^\circ \times 2 = 2.72 \angle 36^\circ$

$$E_{0N} = E_{0N}^* \frac{U_N}{\sqrt{3}} = 2.72 \times \frac{10500}{\sqrt{3}} = 16489.1 \text{ V}$$

功率角 $\theta_N = 36^\circ$

电磁功率 $P_{\text{em}N} = P_N = 125000 \text{ kW}$



2. 相量图如图所示

3. 输出功率减半 $P_2 = \frac{1}{2} P_N$

$$\text{电磁功率 } P_{\text{em}}^* = P_2^* = \frac{P_2}{S_N} = \frac{P_2}{P_N / \cos \varphi_N} = \frac{P_N / 2}{P_N / \cos \varphi_N} = \frac{\cos \varphi_N}{2} = \frac{0.8}{2} = 0.4$$

不考虑饱和时，励磁电动势正比于励磁电流。励磁电流减半时，励磁电动势亦减半。故得

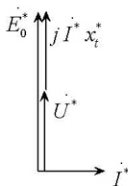
$$E_0^* = \frac{1}{2} E_{0N}^* = \frac{1}{2} \times 2.72 = 1.36$$

$$\text{极限电磁功率 } P_{\text{em max}}^* = \frac{E_0^* U^*}{X_t^*} = \frac{1.36 \times 1}{2} = 0.68$$

由于 $P_{\text{em}}^* < P_{\text{em max}}^*$ ，故可静态稳定运行。

4. 输出有功为 0 可得 $P_2 = 0 \Rightarrow \theta = 0, \varphi = 90^\circ \Rightarrow \cos \varphi = 0$

$$\text{由此时的相量图可得 } I^* = \frac{E_0^* - U^*}{X_t^*} = \frac{2.72 - 1}{2} = 0.86$$



得分	评卷人

四、一台并励直流电动机， $P_N = 10 \text{ kW}$ ， $U_N = 220 \text{ V}$ ， $\eta_N = 84.5\%$ ， $n_N = 1500 \text{ r/min}$ ， $I_N = 1.178 \text{ A}$ ，电枢回路总电阻 $R_a = 0.354 \Omega$ ，不考虑电枢反应的影响，试计算：（20 分）

1. 额定输入功率、额定电流、额定输出转矩；
2. 额定运行时，电枢电流、电动势、电磁功率、电磁转矩；
3. 直接启动电流和理想空载转速；
4. 若保持额定负载时总制动转矩不变，采用电枢回路串电阻的方法进行调速，要求调速后的稳态速度为 1000 r/min ，那么应串入多大的电阻？

解：1. 输入功率 $P_1 = \frac{P_N}{\eta_N} = \frac{10}{0.845} = 11.834 \text{ kW}$

$$\text{额定电流} \quad I_N = \frac{P_1}{U_N} = \frac{11.834 \times 10^3}{220} = 53.792 \text{ A}$$

$$\text{额定输出转矩} \quad T_N = \frac{P_N}{\Omega_N} = \frac{P_N}{2\pi n_N / 60} = \frac{10 \times 10^3}{2\pi \times 1500 / 60} = 63.66 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$2. \text{ 额定运行时的电枢电流} \quad I_{aN} = I_N - I_{fN} = 53.792 - 1.178 = 52.614 \text{ A}$$

$$\text{电动势} \quad E_{aN} = U_N - I_{aN} R_a = 220 - 52.614 \times 0.354 = 201.375 \text{ V}$$

$$\text{电磁功率} \quad P_{emN} = E_{aN} I_{aN} = 201.375 \times 52.614 = 10595.13 \text{ W}$$

$$\text{电磁转矩} \quad T_{emN} = \frac{P_{emN}}{\Omega_N} = \frac{P_{emN}}{2\pi n_N / 60} = \frac{10595.13}{2\pi \times 1500 / 60} = 67.45 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$3. \text{ 直接启动电流} \quad I_{st} = U_N / R_a = 220 / 0.354 = 621.47 \text{ A}$$

$$\text{理想空载转速} \quad n_0 = \frac{U_N}{C_E \Phi} = \frac{U_N}{E_{aN} / n_N} = \frac{220}{201.375 / 1500} = 1638.7 \text{ r/min}$$

4. 由于调速前后总制动转矩不变，即电磁转矩保持不变，根据 $T_{em} = C_T \Phi I_a$ 可知电枢电流保

持不变，即调速后 $I = I_{aN} = 52.614 \text{ A}$

$$\text{调速后的电动势} \quad E_a = \frac{n}{n_N} E_{aN} = \frac{1000}{1500} \times 201.375 = 134.25 \text{ V}$$

$$\text{应串入的电阻} \quad R_j = \frac{U_N - E_a}{I_a} - R_a = \frac{220 - 134.25}{52.614} - 0.354 = 1.2758 \Omega$$