

# 电机学（下） 复习资料

## A 卷

### 一、简答题（55 分）

1、电枢反应电抗和同步电抗的物理意义是什么，两者有什么不同？它们之间有什么关系？其大小都与什么因素有关？（15 分）

答：电枢反应电抗反映三相电流产生三相合成基波磁动势，合成基波磁动势产生气隙磁通，在一相绕组中感应基波电动势的物理过程。同步电抗反映的是三相电流产生三相合成磁动势，合成磁动势产生磁通，包括气隙磁通和漏磁通在一起的全部磁通在一相绕组中感应电动势的物理过程。可见，电枢反应电抗反映仅是基波气隙磁通的作用，同步电抗不仅包括了气隙磁通，还包括了漏磁通的作用。

同步电抗包括电枢电抗和电枢漏抗，同步电抗大于电枢电抗。电枢反应电抗与角频率、绕组有效匝数的平方以及气隙磁通所经过磁路的磁导成正比。同步电抗包括的漏电抗与漏磁路的磁导成正比。

2、异步电机的气隙比同容量同步电机的大还是小，为什么？（15 分）

答：异步电机的气隙比同容量同步电机的要小。因为异步电机的励磁电流由三相交流电源提供，如果气隙大，则磁导小，产生一定的气隙磁通所需的励磁电流就大。由于励磁电流基本是无功电流，因此励磁电流大就使电动机的功率因素降低，使电源或电网的无功功率负担增加。而同步电机的励磁电流由独立的直流电源提供，可以通过调节励磁电流来改变其功率因数的大小和性质。

3、如何判断一台同步电机处于发电机状态还是电动机状态？（10 分）

答：决定同步电动机运行处于发电机状态的依据是转子励磁磁动势波与气隙磁通密度波的相对位置。当转子励磁磁动势波超前气隙磁通密度波时，同步电机运行于发电机状态；相反滞后时，同步电机运行处于电动机状态。

4、比较他励直流发电机和并励直流发电机短路电流的情况。（15 分）

答：他励直流发电机的励磁电流由其他直流电源供给，因此短路电流时他励发电机能输出的最大电流，它等于电枢电动势除以电枢回路总电阻，其值很大。并励发电机则不同，由于励磁绕组并联在电枢两端，当电枢短路，即端电压为零时，励磁电流也为零，因此短路电流不大，仅等于剩磁电动势除以电枢回路总电阻。

## 二、计算题 (45 分)

1、一台三相电力变压器， $S_N=1000\text{kV}\cdot\text{A}$ ， $U_{1N}/U_{2N}=10000\text{V}/3300\text{V}$ ，一、二次绕组分别为星形、三角形联结，短路阻抗标幺值  $\underline{Z}_k=0.015+j0.053$ ，带三相三角形联结的对称负载，每相负载阻抗  $Z_L=(50+j85)\Omega$ ，求一次、二次电流和二次电压。(10 分)

取解：二次侧阻抗基值为

$$\underline{Z}_{2N} = \frac{U_{2N\phi}}{I_{2N\phi}} = \frac{U_{2N}}{I_{2N}/\sqrt{3}} = \frac{3U_{2N}^2}{S_N} = \frac{3 \times 3300^2}{1000 \times 10^3} = 32.67\Omega$$

二次绕组每相负载阻抗的标幺值为：

$$\underline{Z}_L = \frac{Z_L}{Z_{2N}} = \frac{(50+j85)}{32.67} = 1.53 + j2.602$$

一、二次电流和二次电压标幺值分别为

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_{1N\phi}}{|\underline{Z}_K + \underline{Z}_L|} = \frac{1}{|(0.015 + j0.053) + (1.5 + j2.602)|} = 0.3255$$

$$\underline{U}_2 = \underline{I}_2 \cdot |\underline{Z}_L| = 0.3255 \times |1.53 + j2.602| = 0.9825$$

一、二次电流和二次电压实际值分别为：

$$I_1 = \underline{I}_1 \cdot I_{1N} = \underline{I}_1 \times \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_{1N}} = 0.3255 \times \frac{1000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 10000} = 18.79\text{A}$$

$$I_2 = \underline{I}_2 \cdot I_{2N} = \underline{I}_2 \times \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_{2N}} = 0.3255 \times \frac{1000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 3300} = 56.95\text{A}$$

$$U_2 = \underline{U}_2 \cdot U_{2N} = 0.9825 \times 3300 = 3242\text{V}$$

2、一台装有换向极的复励直流发电机，串励绕组与电枢绕组串联，并励绕组并联在电机出线端。额定值为  $P_N=6\text{kW}$ ， $U_N=230\text{V}$ ， $n_N=1450\text{r}/\text{min}$ ，电枢绕组电阻为  $0.57\Omega$ ，串励绕组电阻为  $0.076\Omega$ ，换向极绕组电阻为  $0.255\Omega$ ，并励绕组电阻为  $177\Omega$ ，一对电刷上的电压降为  $2\text{V}$ 。额定运行时，铁耗  $P_{Fe}=234\text{W}$ ，机械损耗  $P_m=61\text{W}$ ，不计附加损耗。求该发电机额定运行时的电磁功率、电磁转矩和效率。(10 分)

解 串励绕组和换向极绕组都与电枢绕组串联，因此电枢绕组回路的总电阻为：

$$\sum r_a = 0.57 + 0.076 + 0.255 = 0.901\Omega$$

额定电流、并励绕组电流和额定电枢电流分别为：

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{6000}{230} = 26.09\text{A}$$

$$I_{fN} = \frac{U_N}{R_f} = \frac{230}{177} = 1.299A$$

$$I_{aN} = I_N + I_{fN} = 26.09 + 1.299 = 27.39A$$

则

$$E_{aN} = U_N + I_{aN} \sum r_a + 2\Delta U_b = 230 + 27.39 \times 0.901 + 2 = 256.7V$$

$$P_{emN} = E_{aN} \cdot I_{aN} = 256.7 \times 27.39 = 7031W$$

$$T_N = \frac{P_{emN}}{\Omega} = \frac{P_{emN}}{2\pi n_N / 60} = 46.3N \cdot m$$

$$P_{1N} = P_{emN} + p_{Fe} + p_m = 7031 + 234 + 61 = 7326W$$

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_{1N}} = \frac{6000}{7326} = 81.9\%$$

3、一台同步发电机采用星形联结，三相电流不对称， $I_A = I_N$ ， $I_B = I_C = 0.8I_N$ ，试用对称分量法求出负序电流。（10分）

解：设  $\dot{I}_A = I_N \angle 0^\circ$ ，则  $\dot{I}_B = 0.8I_N \angle -120^\circ$ ， $\dot{I}_C = 0.8I_N \angle 120^\circ$ ，于是

$$\begin{aligned} \dot{I}_{\bar{A}} &= \frac{1}{3}(\dot{I}_A + a^2 \dot{I}_B + a \dot{I}_C) \\ &= \frac{1}{3}(I_N + e^{-j120^\circ} \times 0.8I_N \angle -120^\circ + e^{j120^\circ} \times 0.8I_N \angle 120^\circ) \\ &= \frac{I_N}{3}(1 + 0.8e^{j120^\circ} + 0.8e^{j240^\circ}) \\ &= \frac{I_N}{3} \left[ 1 + 0.8\left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) + 0.8\left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \right] \\ &= \frac{I_N}{15} \end{aligned}$$

同理， $\dot{I}_{\bar{B}} = a \dot{I}_{\bar{A}} = \frac{I_N}{15} \angle 120^\circ$

$$\dot{I}_{\bar{C}} = a^2 \dot{I}_{\bar{A}} = \frac{I_N}{15} \angle -120^\circ$$

4、一台  $6000kV \cdot A$ 、 $2400V$ 、 $50Hz$ 、星形联结的三相 8 极凸极同步发电机，并联额定运行时的功率因数为 0.9（滞后），电机参数为  $X_d=1 \Omega$ ， $X_q=0.667 \Omega$ ，不计磁路饱和及电枢绕组电阻。

(1) 求额定运行时的每相空载电动势  $E_0$ 、基波励磁磁动势与电枢反应磁动势的夹角；（5分）

(2) 分别通过电机参数与功角、电压与电流或电磁功率求额定运行时的电磁转矩，并对结果作比较。(10分)

解 (1) 额定运行时，相电压为

$$U = \frac{U_N}{\sqrt{3}} = \frac{2400}{\sqrt{3}} = 1385.64V$$

相电流为

$$I = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_N} = \frac{6000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 2400} = 1443.38A$$

因  $\cos \varphi = 0.9$ ，滞后，则  $\varphi = 25.84^\circ$ ,  $\sin \varphi = 0.4359$

$$\tan \psi = \frac{I \cdot X_q + U \cdot \sin \varphi}{U \cos \varphi} = \frac{1443.38 \times 0.667 + 1385.64 \times 0.4359}{1385.64 \times 0.9} = 1.2563$$

则得出：

$$\psi = 51.48^\circ$$

$$\theta = \psi - \varphi = 51.48^\circ - 25.84^\circ = 25.64^\circ$$

基波励磁磁动势与电枢反应磁动势的夹角为

$$90^\circ + \psi = 90^\circ + 51.48^\circ = 141.48^\circ$$

$$I_d = I \cdot \sin \psi = 1443.38 \times \sin 51.48^\circ = 1129.29A$$

$$E_o = U \cdot \cos \theta + I_d \cdot X_d = 1385.64 \cos 25.64^\circ + 1129.29 \times 1 = 2378.5V$$

$$(2) \Omega = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2\pi \times 50}{4} = 78.54 \text{ rad/s}$$

第一种方法：

$$P_{em} = P_2 = S_N \times \cos \varphi = 6000 \times 0.9 = 5400 \text{ kW}$$

$$T = \frac{P_{em}}{\Omega} = \frac{5400 \times 10^3}{78.54} = 68755 \text{ N} \cdot \text{m}$$

第二种方法：

$$\begin{aligned} T &= \frac{mU}{\Omega} \left[ \frac{E_o}{X_d} \sin \theta + U \frac{X_d - X_q}{2X_d X_q} \sin 2\theta \right] \\ &= \frac{3 \times 1385.64}{78.54} \left[ \frac{2378.5}{1} \times \sin 25.64^\circ + \frac{1385.64 \times (1 - 0.667)}{2 \times 1 \times 0.667} \times \sin(2 \times 25.64^\circ) \right] \\ &= 68757 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

可见，两种方法计算出结果是一致的，但是第一种方法简单得多。

## B 卷

### 一、简答题（55 分）

1、如何判断一台同步电机处于发电机状态还是电动机状态？（10 分）

答：决定同步电动机运行处于发电机状态的依据是转子励磁磁动势波与气隙磁通密度波的相对位置。当转子励磁磁动势波超前气隙磁通密度波时，同步电机运行于发电机状态；相反滞后时，同步电机运行处于电动机状态。

2、比较他励直流发电机和并励直流发电机短路电流的情况。（15 分）

答：他励直流发电机的励磁电流由其他直流电源供给，因此短路电流时他励发电机能输出的最大电流，它等于电枢电动势除以电枢回路总电阻，其值很大。并励发电机则不同，由于励磁绕组并联在电枢两端，当电枢短路，即端电压为零时，励磁电流也为零，因此短路电流不大，仅等于剩磁电动势除以电枢回路总电阻。

3、电枢反应电抗和同步电抗的物理意义是什么，两者有什么不同？它们之间有什么关系？其大小都与什么因素有关？（15 分）

答：电枢反应电抗反映三相电流产生三相合成基波磁动势，合成基波磁动势产生气隙磁通，在一相绕组中感应基波电动势的物理过程。同步电抗反映的是三相电流产生三相合成磁动势，合成磁动势产生磁通，包括气隙磁通和漏磁通在一起的全部磁通在一相绕组中感应电动势的物理过程。可见，电枢反应电抗反映仅是基波气隙磁通的作用，同步电抗不仅包括了气隙磁通，还包括了漏磁通的作用。

同步电抗包括电枢电抗和电枢漏抗，同步电抗大于电枢电抗。电枢反应电抗与角频率、绕组有效匝数的平方以及气隙磁通所经过磁路的磁导成正比。同步电抗包括的漏电抗与漏磁路的磁导成正比。

4、异步电机的气隙比同容量同步电机的大还是小，为什么？（15 分）

答：异步电机的气隙比同容量同步电机的要小。因为异步电机的励磁电流由三相交流电源提供，如果气隙大，则磁导小，产生一定的气隙磁通所需的励磁电流就大。由于励磁电流基本是无功电流，因此励磁电流大就使电动机的功率因素降低，使电源或电网的无功功率负担增加。而同步电机的励磁电流由独立的直流电源提供，可以通过调节励磁电流来改变其功率因数的大小和性质。

### 三、计算题（45分）

1、一台装有换向极的复励直流发电机，串励绕组与电枢绕组串联，并励绕组并联在电机出线端。额定值为  $P_N=6\text{kW}$ ， $U_N=230\text{V}$ ， $n_N=1450\text{r/min}$ ，电枢绕组电阻为  $0.57\Omega$ ，串励绕组电阻为  $0.076\Omega$ ，换向极绕组电阻为  $0.255\Omega$ ，并励绕组电阻为  $177\Omega$ ，一对电刷上的电压降为  $2\text{V}$ 。额定运行时，铁耗  $P_{Fe}=234\text{W}$ ，机械损耗  $P_m=61\text{W}$ ，不计附加损耗。求该发电机额定运行时的电磁功率、电磁转矩和效率。（10分）

解 串励绕组和换向极绕组都与电枢绕组串联，因此电枢绕组回路的总电阻为：

$$\sum r_a = 0.57 + 0.076 + 0.255 = 0.901\Omega$$

额定电流、并励绕组电流和额定电枢电流分别为：

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{6000}{230} = 26.09\text{A}$$

$$I_{fN} = \frac{U_N}{R_f} = \frac{230}{177} = 1.299\text{A}$$

$$I_{aN} = I_N + I_{fN} = 26.09 + 1.299 = 27.39\text{A}$$

则

$$E_{aN} = U_N + I_{aN} \sum r_a + 2\Delta U_b = 230 + 27.39 \times 0.901 + 2 = 256.7\text{V}$$

$$P_{emN} = E_{aN} \cdot I_{aN} = 256.7 \times 27.39 = 7031\text{W}$$

$$T_N = \frac{P_{emN}}{\Omega} = \frac{P_{emN}}{2\pi n_N / 60} = 46.3\text{N} \cdot \text{m}$$

$$P_{1N} = P_{emN} + p_{Fe} + p_m = 7031 + 234 + 61 = 7326\text{W}$$

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_{1N}} = \frac{6000}{7326} = 81.9\%$$

2、一台三相电力变压器， $S_N=1000\text{kV} \cdot \text{A}$ ， $U_{1N}/U_{2N} = 10000\text{V}/3300\text{V}$ ，一、二次绕组分别为星形、三角形联结，短路阻抗标幺值  $Z_k=0.015+j0.053$ ，带三相三角形联结的对称负载，每相负载阻抗  $Z_L=(50+j85)\Omega$ ，求一次、二次电流和二次电压。（10分）

取解：二次侧阻抗基值为

$$Z_{2N} = \frac{U_{2N\phi}}{I_{2N\phi}} = \frac{U_{2N}}{I_{2N}/\sqrt{3}} = \frac{3U_{2N}^2}{S_N} = \frac{3 \times 3300^2}{1000 \times 10^3} = 32.67\Omega$$

二次绕组每相负载阻抗的标幺值为：

$$\underline{Z}_L = \frac{Z_L}{Z_{2N}} = \frac{(50 + j85)}{32.67} = 1.53 + j2.602$$

一、二次电流和二次电压标么值分别为

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_{1N\phi}}{|\underline{Z}_K + \underline{Z}_L|} = \frac{1}{|(0.015 + j0.053) + (1.5 + j2.602)|} = 0.3255$$

$$\underline{U}_2 = \underline{I}_2 \cdot |\underline{Z}_L| = 0.3255 \times |1.53 + j2.602| = 0.9825$$

一、二次电流和二次电压实际值分别为：

$$I_1 = \underline{I}_1 \cdot I_{1N} = \underline{I}_1 \times \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_{1N}} = 0.3255 \times \frac{1000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 10000} = 18.79 \text{ A}$$

$$I_2 = \underline{I}_2 \cdot I_{2N} = \underline{I}_2 \times \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_{2N}} = 0.3255 \times \frac{1000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 3300} = 56.95 \text{ A}$$

$$U_2 = \underline{U}_2 \cdot U_{2N} = 0.9825 \times 3300 = 3242 \text{ V}$$

3、一台同步发电机采用星形联结，三相电流不对称， $I_A = I_N$ ， $I_B = I_C = 0.8I_N$ ，试用对称分量法求出负序电流。（10分）

解：设  $\dot{I}_A = I_N \angle 0^\circ$ ，则  $\dot{I}_B = 0.8I_N \angle -120^\circ$ ， $\dot{I}_C = 0.8I_N \angle 120^\circ$ ，于是

$$\begin{aligned} \dot{I}_{\bar{A}} &= \frac{1}{3}(\dot{I}_A + a^2 \dot{I}_B + a \dot{I}_C) \\ &= \frac{1}{3}(I_N + e^{-j120^\circ} \times 0.8I_N \angle -120^\circ + e^{j120^\circ} \times 0.8I_N \angle 120^\circ) \\ &= \frac{I_N}{3}(1 + 0.8e^{j120^\circ} + 0.8e^{j240^\circ}) \\ &= \frac{I_N}{3} \left[ 1 + 0.8 \left( -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) + 0.8 \left( -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \right] \\ &= \frac{I_N}{15} \end{aligned}$$

同理，

$$\dot{I}_{\bar{B}} = a \dot{I}_{\bar{A}} = \frac{I_N}{15} \angle 120^\circ$$

$$\dot{I}_{\bar{C}} = a^2 \dot{I}_{\bar{A}} = \frac{I_N}{15} \angle -120^\circ$$

4、一台  $6000\text{kV}\cdot\text{A}$ 、 $2400\text{V}$ 、 $50\text{Hz}$ 、星形联结的三相 8 极凸极同步发电机，并联额定运行时的功率因数为 0.9（滞后），电机参数为  $X_d=1\ \Omega$ ， $X_q=0.667\ \Omega$ ，不计磁路饱和及电枢绕组电阻。

(1) 求额定运行时的每相空载电动势  $E_0$ 、基波励磁磁动势与电枢反应磁动势的夹角；(5 分)

(2) 分别通过电机参数与功角、电压与电流或电磁功率求额定运行时的电磁转矩，并对结果作比较。(10 分)

解 (1) 额定运行时，相电压为

$$U = \frac{U_N}{\sqrt{3}} = \frac{2400}{\sqrt{3}} = 1385.64\text{V}$$

相电流为

$$I = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_N} = \frac{6000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 2400} = 1443.38\text{A}$$

因  $\cos \varphi = 0.9$ ，滞后，则  $\varphi = 25.84^\circ$ ， $\sin \varphi = 0.4359$

$$\tan \psi = \frac{I \cdot X_q + U \cdot \sin \varphi}{U \cos \varphi} = \frac{1443.38 \times 0.667 + 1385.64 \times 0.4359}{1385.64 \times 0.9} = 1.2563$$

则得出：

$$\psi = 51.48^\circ$$

$$\theta = \psi - \varphi = 51.48^\circ - 25.84^\circ = 25.64^\circ$$

基波励磁磁动势与电枢反应磁动势的夹角为

$$90^\circ + \psi = 90^\circ + 51.48^\circ = 141.48^\circ$$

$$I_d = I \cdot \sin \psi = 1443.38 \times \sin 51.48^\circ = 1129.29\text{A}$$

$$E_0 = U \cdot \cos \theta + I_d \cdot X_d = 1385.64 \cos 25.64^\circ + 1129.29 \times 1 = 2378.5\text{V}$$

$$(2) \Omega = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2\pi \times 50}{4} = 78.54\text{rad/s}$$

第一种方法：

$$P_{em} = P_2 = S_N \times \cos \varphi = 6000 \times 0.9 = 5400\text{kW}$$

$$T = \frac{P_{em}}{\Omega} = \frac{5400 \times 10^3}{78.54} = 68755\text{N}\cdot\text{m}$$

第二种方法：

$$\begin{aligned}
T &= \frac{mU}{\Omega} \left[ \frac{E_o}{X_d} \sin \theta + U \frac{X_d - X_q}{2X_d X_q} \sin 2\theta \right] \\
&= \frac{3 \times 1385.64}{78.54} \left[ \frac{2378.5}{1} \times \sin 25.64^\circ + \frac{1385.64 \times (1 - 0.667)}{2 \times 1 \times 0.667} \times \sin(2 \times 25.64^\circ) \right] \\
&= 68757 N \cdot m
\end{aligned}$$

可见，两种方法计算出结果是一致的，但是第一种方法简单得多。