伺服电机程序的编程思路

1 矢量控制下的电机工作特性

伺服电机作为伺服系统的执行元件，通常是在矢量控制状态下运行。所以电机的运行特性必须满足矢量控制的模型。直轴电流$I_d=0$是一种非常重要的控制方式，在控制器的作用下，绕组的电流只有纯转矩电流I_q，而没有励磁电流I_d。所以外加电压是根据负载转矩随时变化的，通过电机在矢量控制状态下的相量图，就可以计算出电机在不同负载时的外加电压。

在矢量控制状态下，电机的相量图如图 1：

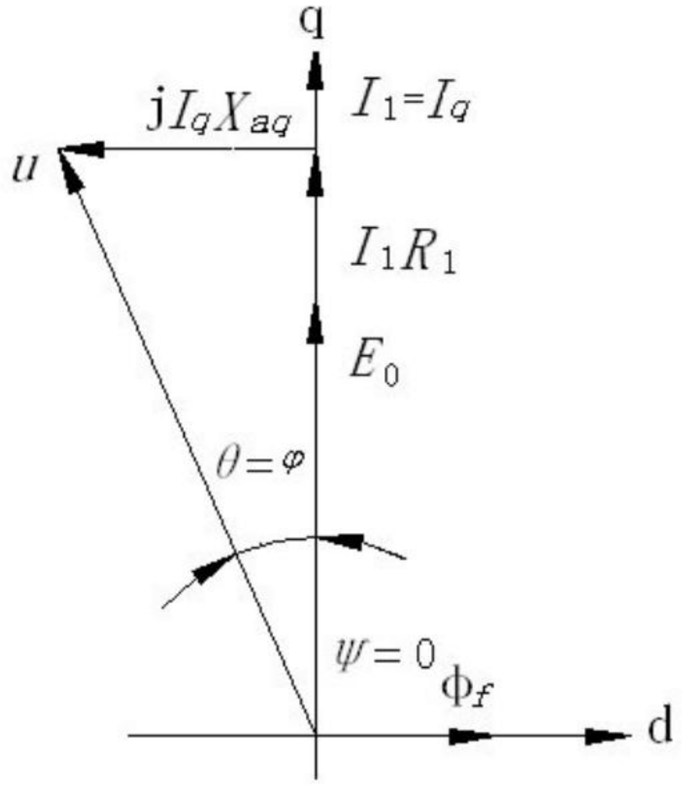

图 1 矢量控制下电机的相量图

根据上面的相量图可得：

$$U\sin\theta=I_qX_{aq} \tag{1}$$

$$U\cos\theta=E_0+I_1R_1 \tag{2}$$

转化的电磁功率为：

$$P_{em}=mI_qE_0 \tag{3}$$

相应的电磁转矩为：

$$T_{em}=\frac{P_{em}}{\frac{2\pi}{60}n}=\frac{30mI_qE_0}{\pi n} \tag{4}$$

根据电机学的基本原理可知：

$$E_0=\sqrt{2}\pi fK_{dp}N\Phi_{\delta 0}K_\Phi=\sqrt{2}\pi\frac{np}{60}K_{dp}N\Phi_{\delta 0}K_\Phi=K_e n \tag{5}$$

式中：$K_e=\sqrt{2}\pi\frac{p}{60}K_{dp}N\Phi_{\delta 0}K_\Phi$ 为反电动势常数

把（5）式代入（4）式中可得：

$$T_{em}=\frac{\sqrt{2}}{2}mpK_{dp}N\Phi_{\delta 0}K_\Phi I_q=K_tI_q \tag{6}$$

式中：$K_t=\frac{\sqrt{2}}{2}mpK_{dp}N\Phi_{\delta 0}K_\Phi$ 为转矩常数

转矩常数是考核伺服电机的力能指标的重要参数。为了增大伺服电机的出力，需要努力提高伺服电机的推力常数。机床伺服电机的工作方式为短时工作制，即工作时间短、歇息时间长。在保证工作温度的情况下，应尽量提高电机的磁负荷和线负荷。通常情况下，一个合理的设计磁路应该在饱和的状态下，所以需要提高电机的线负荷来增大出力，从电机的相量图可知，在矢量控制的状态下，绕组电流的增加，电阻压降和电枢反应压降将增大，从而导致外加电压和空载反电动势的差值增大。同时，电机的铜耗增大，效率降低。所以伺服电机的考核标准不是效率，而是电机的力特性。

2 矢量控制下电机的空载特性

空载的情况下，电机转轴输出的机械功率为 0，因此机械转矩等于 0，电磁转矩只是克服了空载转矩。在矢量控制下，电机的相量图如图 1 所示，绕组电流只有纯转矩电流 I_q（$I_1=I_q$），利用前面推导出的电机的转矩常数 K_t，就可以计算矢量控制下电机的空载特性。

首先，计算电机的空载转矩 T_0。参考同类电机的机械损耗 p_{mec}、附加损耗 p_{ad}，就可以下式求出空载转矩：

$$T_0=\frac{p_{mec}+p_{ad}}{\Omega} \tag{7}$$

又在空载状态下： $$T_{em}=T_0=K_tI_q \tag{8}$$

所以电机的每相绕组电流 $$I_q=\frac{T_0}{K_t} \tag{9}$$

有了绕组电流就可以计算铜耗：$p_{cu} = mI_q{}^2 R_1$ （10）

再加上电机的铁耗 p_{fe}，就可以求出从电源输入的功率 P_1：

$$P_1 = p_{mec} + p_{ad} + p_{cu} + p_{fe} \tag{11}$$

又
$$P_1 = mU_0 I_q \cos\varphi \tag{12}$$

式中：U_0 为空载时的外加电压。

根据相量图可知
$$U_0 = E_0 + I_q R_1 + jI_q X_{aq} \tag{13}$$

把（13）式代入到（12）式中，就可以求出电机的功率因数：

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{mU_0 I_q} \tag{14}$$

因为在矢量控制下，功率因数角 φ 等于功率角 θ，所以可以得出电机的功角：

$$\varphi = \theta = \arccos\frac{P_1}{mU_0 I_q} \tag{15}$$

3 矢量控制下负载的工作特性

在矢量控制下，外加电压是根据负载变化而变化的。在编制程序时，可以根据相量图计算出不同负载时的外加电压。首先，给定不同的负载转矩 T_2，电磁转矩就等于负载转矩加上空载转矩(认为空载转矩不变)：

$$T_{em} = T_2 + T_0 \tag{16}$$

又根据（6）式可得在这个负载转矩下的每相绕组电流 I_1（$= I_q$）

$$I_q = \frac{T_{em}}{K_t} \tag{17}$$

有了每相绕组电流，就可以根据（10）式计算这个负载转矩下的铜耗 p_{cu}，再加上铁耗 p_{fe}，就可以计算出电机在此负载下的输入功率。

$$P_1 = p_{mec} + p_{ad} + p_{cu} + p_{fe} + P_2 \tag{18}$$

式中：$P_2 = T_2\Omega$ 为机械功率，$\Omega = \frac{2\pi}{60}n$

又根据相量图可得此时的外加电压：

$$U_1 = E_0 + I_q R_1 + jI_q X_{aq} \quad （19）$$

式中：U_1为负载情况下的外加电压。

又根据（14）式，可以求出此时的功率因数$\cos\varphi$，再根据（15）式，求出功率因素角φ和功角θ。

注：本文出现的I_d和I_q不要和矢量控制的$3\backslash 2$变换后的i_d和i_q混淆，注意区分。