

三相异步电动机的转矩和机械特性

1. 电磁转矩

三相异步电动机的电磁转矩是由旋转磁场的每极磁通 ϕ_m 与转子电流 I_2 相互作用而产生的。因转子电路是电感性的，转子电流 I_2 比转子电动势 E_2 滞后，则转矩 T 与磁通 ϕ_m 及转子电流 I_2 的关系为

$$T = K_T \Phi I_2 \cos \psi_2 \quad (1)$$

式(1)中： K_T 是与电动机结构有关的常数， $\cos \psi_2$ 是转子电路的功率因数，转矩 T 的单位为牛·米(N·m)。

由上式可见，转矩 T 除于 Φ 成正比外，还与 $I_2 \cos \psi_2$ 成正比。由三相异步电动机电路分析知

$$I_2 = \frac{sE_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{20})^2}} \quad (2)$$

$$\cos \psi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{20})^2}} \quad (3)$$

$$U_1 = 4.44 f_1 N_1 \Phi_m \quad (4)$$

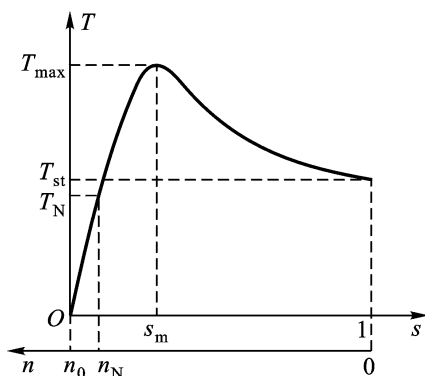
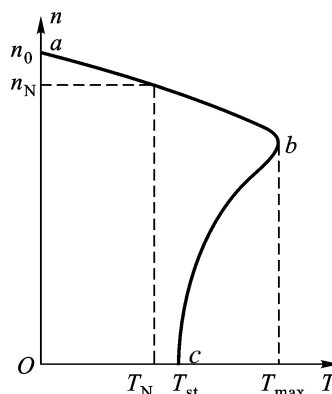
将(2)、(3)、(4)式代入(1)式，则得出转矩的另一个表示式

$$T = K \frac{sR_2}{R_2^2 + (sX_{20})^2} \cdot U_1^2 \quad (5)$$

由(5)式可见，转矩 T 还与定子绕组的每相电压 U_1 的平方成正比，所以当电源电压变化时，对转矩的影响很大。此外，转矩 T 还受转子电阻 R_2 的影响。

2 机械特性曲线

图1是电磁转矩和转差率之间的关系曲线即 $n=f(T)$ 曲线。虽然异步电动机的转差率 s 能反映电动机转速 n 的快慢，但不太直观，应用也不太方便，因此通常用机械特性分析有关的拖动问题。在电源电压不变的条件下，电动机的转速和电磁转矩之间的关系称为电动机的机械特性。异步电动机的 $n = f(T)$ 曲线是由图1所示的 $T-s$ 曲线经过坐标轴变换得出。当 $s = 0$ 时， $n=1$ ；当 $s=1$ 时， $n=0$ ，以转速 n 为纵坐标，以转矩 T 为横坐标，把 $T-s$ 曲线顺时针旋转 90° ，便可得到机械特性曲线 $n=f(T)$ ，如图2所示。


 图 1 三相异步电动机的 $T=f(s)$ 曲线

 图 2 三相异步电动机的 $n=f(T)$ 曲线

研究机械特性的目的是为了分析电动机的运行性能,首先在机械特性曲线上讨论三个转矩。

(1) 额定转矩 T_N

在电动机等速转动时,它的输出转矩必须与阻转矩相平衡,阻转矩主要是机械负载转矩 T_2 。此外,还包括空载损耗转矩(主要是机械损耗转矩) T_0 。由于 T_0 很小,常可忽略,所以: $T = T_2 + T_0 \approx T_2$

由此可见,电动机的电磁转矩 T 近似等于电动机轴上的输出机械转矩 T_2 。即

$$T = T_2 \approx \frac{P_2}{\frac{2\pi n}{60}}$$

式中: P_2 是电动机轴上输出的机械功率,单位是瓦(W);转矩的单位是牛·米(N.m);转速的单位是转每分(r/min)。功率如用工程上常用的千瓦为单位,则:

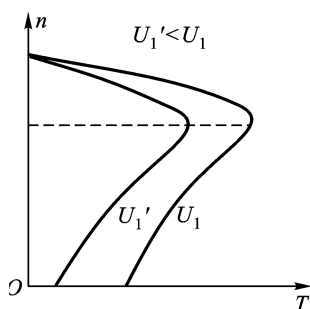
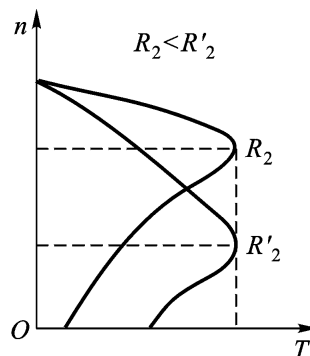
$$T = 9550 \frac{P_2}{n}$$

若电动机轴上输出的机械功率 P_2 是额定功率 P_{2N} ,则电动机的输出机械转矩 T_2 ,即为额定转矩 T_N 。

(2) 最大转矩 T_{\max}

由转矩公式得: 当 $s_m = \frac{R_2}{X_{20}}$ 时, $T_{\max} = K \frac{U_1^2}{2X_{20}}$

可见,最大转矩 T_{\max} 与 U_1^2 成正比,与转子电阻 R_2 无关; s_m 与 R_2 有关, R_2 愈大, s_m 也愈大。


 图3 电源电压 U_1 对机械特性的影响

 图4 电阻 R_2 对机械特性的影响

电动机的最大转矩 T_{\max} 与额定转矩 T_N 之比称为过载系数, 用 λ 表示。即 $\lambda = T_{\max}/T_N$ 表示电动机短时过载能力。

一般三相异步电动机的 λ 在 1.8~2.2 之间, 而冶金、起重等特殊电动机 λ 在 2.2~3.0 之间。

应该指出, 电动机在 $T_N < T < T_{\max}$ 运行时, 为过载状态。过载状态下电动机只能短时运行, 否则电流太大, 温升过高致使电动机绝缘老化, 寿命缩短。

(3) 起动转矩 T_{st} (电动机在起动 ($n=0$, $s=1$) 时的转矩称为起动转矩。)

$$T_{st} = K \frac{R_2 U_1^2}{R_2^2 + X_{20}^2}$$

T_{st} 与 U_1^2 及 R_2 成正比。当电源电压 U_1 降低时, 起动转矩会减小, 见图 3; 当转子电阻 R_2 适当增大时, 起动转矩会增大, 见图 4。当 $R_2 = X_{20}$ 时, $T_{st} = T_{\max}$, $s_m = 1$; 但继续增大 R_2 时, T_{st} 就要随着减小, 这时 $s_m > 1$ 。

电动机的起动转矩 T_{st} 与额定转矩 T_N 的比值 $K_{st} = \frac{T_{st}}{T_N}$, 表示电动机的起动能力。

一般异步电动机的 K_{st} 值在 1.4~2.2 之间。

3. 电动机的运行分析

见图 2, 各当电动机所带的负载转矩 T_2 小于起动转矩 T_{st} 时, 电动机可带负载起动。从 c 点 \rightarrow b 点, 电动机的转矩随转速的上升而增大, 促使电动机的转速迅速提高, 到达 b 点时转矩为最大值 T_{\max} 。拐过 b 点以后, 电动机的转矩则随转速的上升而减小, 但只要是电磁转矩 T 大于负载转矩 T_2 , 电动机的转速还保持继续上升, 直到 $T = T_2$ 时, 电动机的转速才稳定下来。所以, 电动机稳定运行的工作点位于 $n = f(T)$ 曲线 b、a 区间的某一点。故 ab 区称为稳定工作区。bc 区为不稳定工作区。

如果负载突然增加, 或电源电压突然降低使 $T_2 > T_{\max}$ 时, 则电动机转速迅速下降, 进入 bc 段, 电动机的电磁转矩随转速的下降而减小, 导致电动机迅速停止运转, 这种现象称为堵转。堵转后, 电动机中的电流立即升高为额定电流的数倍, 如果没有保护措施及时切断电源, 电动机将可能被烧毁。