

伺服电机技术解答

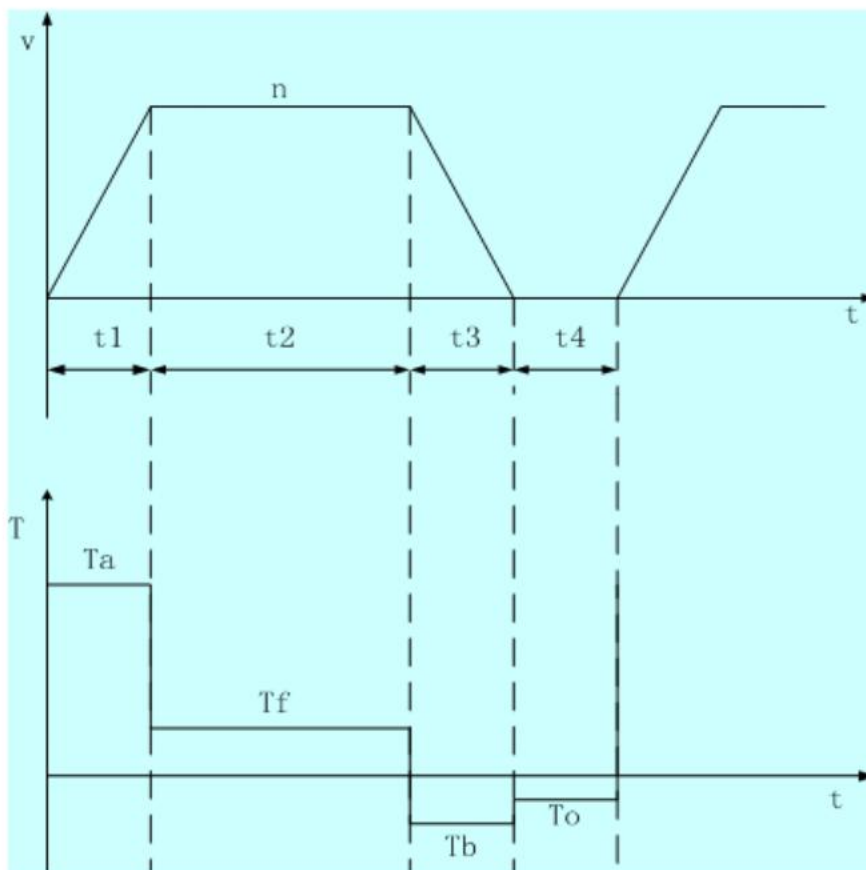
三相交流永磁同步伺服电机简称交流伺服电机 (AC server motor)或伺服电机，由于它具有高响应、高精度、运行平稳、恒转矩输出、能过载、低噪声、结构简介、可靠性高、免维护等优点，是目前旋转电机中最佳的控制电机。

本章以 EDB 驱动器及其配套伺服电机为例，简述伺服电机在应用中的有关问题及注意事项，其原则和方法同样适用于其它型号的驱动器配伺服电机。

伺服电机选型：伺服电机的选型是多个因素综合考虑、合理选择的过程，一般应着重注意这几个参数的选择：电机的额定转矩、电机运行的最高转速、负载惯量及电机转子惯量、加减速时所需要的过载能力、电机起停频率等。

通过机械传动机构加在电机上的负载有二种，即负载转矩和负载惯量。

负载转矩如由下图运动方式形成：



则：图中 T_a 为因加速时间 t_1 形成的加速转矩， T_b 为由于减速时间 t_3 形成的制动转矩， T_f 为在 t_2 时间内产生的负载转矩， T_0 为在停止时间 t_4 产生的锁定转矩， n 为工作时电机的转速。 T_a 、 T_b 、 T_f 、 T_0 、 n 均为通过机械传动装置折算到电机轴上的参数。 T_a 、 T_b 可参见下式确定：

$$T_a = \frac{2 \times \pi \times n (J_m + J_l)}{60 t_1} + T_f$$

$$T_b = \frac{2 \times \pi \times n (J_m + J_l)}{60 t_2} - T_f$$

式中：J_m—电机转子惯量 (Kg·m²)，J_l—折算到电机轴上的负载惯量 (Kg·m²)，t 单位：sec，n 单位：rpm，T_a、T_f 单位：Nm。

由下式确定一个周期电机转矩的均方根值：

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{T_a^2 t_1 + T_f^2 t_2 + T_b^2 t_3 + T_0^2 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}$$

确定预选电机的额定转矩大于 T_{rms} 值；确定预选电机的额定转速大于实际运行的最高转速；其过载转矩大于 T_a、T_b 中最大值，即可选定伺服电机。

加在电机轴上的负载惯量，对伺服电机的灵敏度及快速移动、精确定位有很大的影响。较大的负载惯量，当指令速度发生变化时，电机达到指令速度的时间会较长；多轴同时运动时，会使形成的轨迹偏离指令轨迹过大，造成较大的误差。所以，选择机械传动机械，使折算到电机轴上的负载惯量合适，是伺服电机选型中重要的过程。机械传动不仅要满足脉冲当量、转矩（功率）放大等技术要求，更要注重负载惯量与电机的适配。

负载惯量是否与电机相适配的标准，是指负载惯量折算到电机轴上的负载惯量 J_l，其数值与电机转子惯量的倍数关系。最佳的倍数关系是，折算到电机轴上的负载惯量 J_l，与选用的电机转子惯量 (J_m) 相当，即：

$$J_l = J_m$$

依据这个倍数关系，机械传动比的最佳比例为：

$$\frac{n}{n_0} = \sqrt{\frac{J_{l0}}{J_m}}$$

式中：n—电机轴的转数，n₀—实际负载轴的转数，J_{l0}—实际负载惯量，J_m—电机转子惯量。

在实际应用中，机械传动比不容易满足 J_l=J_m 惯量比的倍数关系，但一般不要超过 5 倍的倍数关系。J_l 值过大，不仅使 T_a、T_b、T_{rms} 值增大，电机选定的额定转矩大，还会使起停频率受到影响。J_l 与电机起停关系参见下表所示：

负载惯量倍数	允许的启停频率
m ≤ 3	>100 次/分钟；加减速时间 60ms 或更少
m ≤ 5	60~100 次/分钟；加减速时间 150ms 或更少
m > 5	<60 次/分钟；加减速时间 150ms 以上

埃斯顿公司的 EDB 系列伺服电机，有相同的功率等级但转矩 惯量 转速都不相同，其设计意图就是给客户在负载惯量方面有所选择。不同转子惯量的伺服电机见下表：

功率 1KW	法兰	转矩	转速	惯量
EMJ-10APA	80	3.18	3000	0.19
EMG-10APA	130	4.73	2000	10.0
EML-10APA	130	9.55	1000	19.0

附：园柱体的转动惯量可由下式计算：

$$J = \frac{\pi \times \gamma}{32 \times 980} \times D^4 \times L \times 10^{-3}$$

式中：D—园柱体直径（cm），L—园柱体长度（cm），J—园柱体转动惯量（ $\text{kg} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}^2$ ），
因钢的比重 $\gamma = 7.8 \text{g/cm}^3$ ，同时 $1 \text{kgm}^2 = 10.2 \text{kg} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}^2$ ，故对于钢园柱体可近似计算如下：

$$J = 7.8 \times D^4 \times L \times 10^{-8} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^2)$$

综上所述，合理地确定指标参数，综合机械传动装置设计，可选择高性价比的伺服电机与适配的伺服驱动器。埃斯顿公司的选型彩页，正是基于公司对客户使用环境和使用条件长期调查分析，为客户提出的合理配置的全套产品。

伺服电机安装：伺服电机采用立式方形凸缘安装方式，通过法兰盘和止口固定在机械装置上。电机轴伸标准形式为光轴，客户可通过弹性连接器或涨紧套，与负载相联。如果电机轴伸端安装刚性联轴器时，应确保安装电机的法兰盘止口与平面垂直，同时应确保法兰盘与刚性联轴器同心，以防损坏和磨损电机的轴伸端和轴承。

电机轴伸采用光轴形式，是因为电机尾部装有光电编码器，利用弹性连接器或涨紧套来与负载联接，可避免重力敲打轴伸端，保护编码器。我们也可为客户提供其它形式的轴伸，但请注意：

伺服电机尾部装有光电编码器，在安装或拆卸连接器时，严禁用锤子重力直接敲打电机轴伸端，以防光电编码器损坏。

伺服电机安装的光电编码器，编码器的信号与安装的机械位置、角度有严格的要求，客户不要自行装卸编码器。

伺服电机有二个插座，插座出线方向可朝几个方向，如[插头出线方式朝后](#)、[插头出线方式前后](#)、[插头出线方式朝一边](#)，客户可依据实际情况，改变插头出线方向。改变插头出线方向的方法，是打开插头外壳，将外壳的定位槽定位于插头本体不同的角度上，即可改变插头出线方向。

伺服电机接线：伺服电机 4 芯插头（U V W FG）应严格与驱动器相应端口相接。伺服电机改变旋转方向，必须通过改变驱动器方向命令来实现，不能象普通异步电机改变电机接线，来改变电机旋转方向。**PE 端应与驱动器的 PE 端相接，不可省略。**

伺服电机 9 芯插头连接线（编码器插头），使用优质的双绞屏蔽线，每对双绞线接相应编码器差分输出的+、-端。

驱动器为编码器提供+5V 电源，光电编码器最大工作电流为 250mA。

编码器连线不应和电机连线同走一个线槽或将它们捆扎在一起，以防电机连线对编码器信号干扰。

伺服电机的转矩与转速关系：埃斯顿提供的选型彩页里 T-S 图反映了电机转速与转矩的关系。A 区为连续工作区，B 区为电机短时工作区（过载）。B 区最大值除以 A 区最大值即为该配置的过载倍数。

制动器：制动器仅是在电机失电（断电）的情况下，保持电机位置，防止移位的制动装置。

制动器必须在电机已停止运行后才能制动！电机在运行时，制动器制动会急剧降低制动器的寿命，甚至会立即烧毁制动器。

请注意：制动器的制动力有限，并有动作时间要求。

制动器上电（不制动）时序的前提是，电机已通电锁住，在这种情况下，才能上电使制动器不制动；制动器断电（制动）时序的前提是，电机已停止运行并仍在通电，在这种情况下，才能断电使制动器制动，再断开电机（驱动器）的电源。

电机一旦出现故障，驱动器立即报警，并切断供给电机的电源，电机将不得电。建议客户使用驱动器的 BRK 控制端，来制动器进行控制。

请注意：BRK 信号只能用来控制中继，然后中继控制制动器的电源通断。

相关问答：

1. 伺服电机会丢步或走不准吗？

伺服电机是通过编码器的反馈，被驱动器进行闭环控制的。驱动器每接收到一个脉冲命令后，驱使电机旋转一个角度，并通过编码器检查电机是否按命令旋转到了给定的角度，如果电机没有按给定的命令旋转，驱动器会立即报警；同时驱动器对编码器在线按约定的编码器参数进行检查，一旦编码器信号出现异常，驱动器会立即报警。所以，当驱动器工作正常时（不报警），伺服电机不可能丢步或走不准。

2. 当机械运动装置运行的尺寸不对时，如何确定问题所在？

埃斯顿伺服驱动器提供了完善的监视方式，通过监视方式可方便地找出问题所在。

当机械运动装置运行的尺寸不对时，主要问题集中在三个方面：上位机发出的命令正确与否和驱动器命令接收的正确与否；机械间隙；驱动器参数及电子此轮比的设定正确与否。

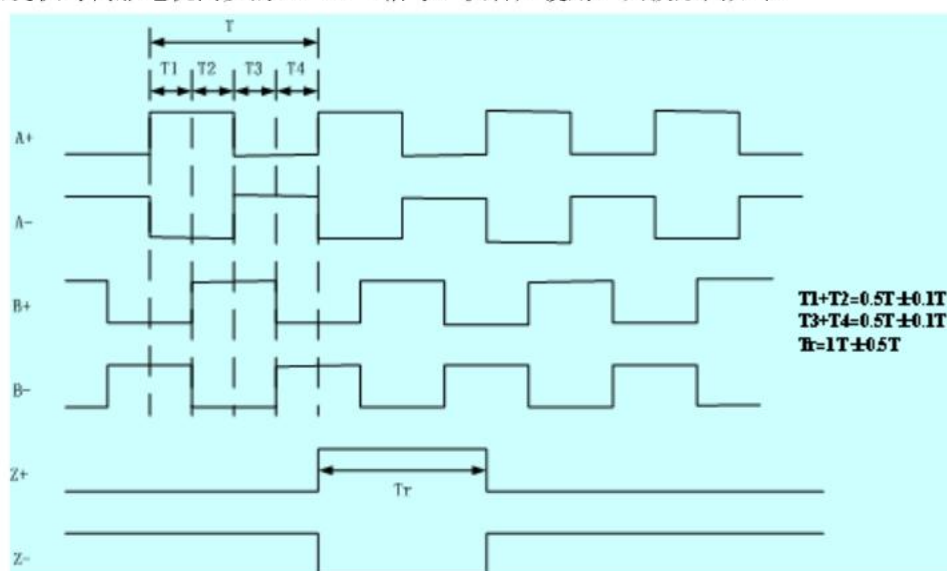
UN009=伺服电机实际运转脉冲数低位，UN=013 为上位机实际发送脉冲数低位。如果上位机在 N 个脉冲发完后，UN=009 和 UN013 显示的数据一致但实际运行结果不正确，则说明可能是上位机发出的脉冲有错误，或者驱动器没有收到全部的脉冲，甚至由于干扰多收了脉冲。检查上位机，检查信号线，检查驱动器，最后检查机械是否是间隙造成的实际距离不对。

如果上位机在 N 个脉冲发完后，UN009 和 UN013 显示的数据是不一致的，则可以检查 1CN 信号线是否接线正确是否存在干扰如未用屏蔽双绞线，检查 2CN 编码器线是否正确是否存在干扰如强弱电未分开，检查机械部分是否存在问题造成伺服电机未完全走完或跳跃多走了，最后应检查电子齿轮比设定对否。

3. 伺服电机编码器 A、B、C 信号起什么作用？

伺服电机编码器提供的 A、B、C 信号，是提供给驱动器，用于测量电机转速和转角的。A、B 信号每转脉冲数（线数）是一样的 2500，C 信号每转一个脉冲，为基准信号。

驱动器提供与伺服电机同步的 A、B、C 信号，供客户使用，其波形图如下：



伺服电机编码器信号均为差分输出方式。差分输出方式是一种适用于长线驱动，并且抗干扰能力强的电路形式。EDB 驱动器 A、B 信号均为差分输出方式，C 信号输出有差分与集电极开路输出二种方式。请按输出方式接线及确定接收信号的器件。

4. 伺服电机“零点”是什么含义？

伺服电机是采用矢量控制原理来进行控制和驱动的。所以编码器在电机轴上的安装角度我们称为零点。不同系列的伺服电机角度值是不一样的。

伺服电机的零点如果误差太大，轻者电机无功电流增大，转矩并未与电流的增大而增大，电机表现转矩不够（无力），重者电机不能运行（A12 报警）。所以，请客户不要自行调整编码器的机械安装位置与角度。

5. 伺服电机的动力电缆线的 U V W 线为何要与驱动器的 U、V、W 端子相对应连接？

伺服电机的绕组引线与电机的零点有关，与驱动器反馈极性有关，如不对应相接，或者电机不运行 A04 报警（零点不对），或者电机会产生飞车 A03 报警（由负反馈变成正反馈）。所以，必须与驱动器相应端子连接。

6. 编码器线数为 2500 线，为何伺服电机的分辨率为 0.036 度？

由于 EDB 系列伺服驱动器采用了四倍频技术，使编码器的脉冲数倍频至 10000，所以，伺服电机的分辨率为 0.036 度。

7. 型号代码参数与伺服电机的关系

EDB 系列伺服电机内即驱动器的型号代码参数中电机型号，应是当前控制的电机型号，否则电机的运行效果会不佳。电机型号选择参是 PN218，驱动型号参数选择是 PN223。

8. 驱动器对电机的控制方式主要有几种？

EDB 系列伺服驱动对伺服电机的三种主要的控制方式为：位置控制、速度控和转矩控制。

位置控制方式的特点，是驱动器对电机的转速、转角和转矩均于控制，上位机对驱动器发脉冲串进行转速与转角控制，输入的脉冲频率控制电机的转速，输入的脉冲个数控制电机旋转的角度。脉冲频率 f 与电机转速 n (rpm)、脉冲个数 P 与电机旋转角度 β 的关系参见下式：

$$n = \frac{f \times G}{10000} \times 60 \quad (\text{rpm})$$
$$\beta = 0.036 \times P \times G \quad (\text{度})$$

式中：G—电子齿轮比

速度控制方式的特点，是驱动器仅对电机的转速和转矩进行控制，电机的转角由上位机取驱动器反馈的 A、B、C 编码器信号进行控制，上位机对驱动器发出的是模拟量（电压）信号，范围为 +10V~-10V，正电压控制电机正转，负电压控制电机反转，电压值的大小决定电机的转数。

转矩控制方式的特点，是驱动器仅对电机的转矩进行控制，电机输出的转矩不在随负载变，只听于输入的转矩命令，上位机对驱动器发出的是模拟量（电压）信号，范围为 +10V~-10V，正电压控制电机正转，负电压控制电机反转，电压值的大小决定电机输出的转矩。电机的转速与转角由上位机控制。

9. 什么是电子齿轮比？

脉冲当量：数控装置的一个最小数字单位对应的机械装置设定的长度或角度，即一个脉冲对应长度和角度是多少，称为脉冲当量。

当机械装置的传动比不能满足数控装置脉冲当量的要求时，EDB 系列伺服驱动器可提供电子齿轮比，来配合数控装置与机械传动比之间的关系，满足数控装置所需要的脉冲当量。它起到了一个输入与输出变比的作用。电子齿轮比仅在位置控制中起作用。

电子齿轮比设置方法，请参见 [EDB 使用说明书](#)。

10. 驱动器输入的工作电压，是用三相 AC220V，还是单相 AC220V？

EDB 伺服驱动器的工作电压为 AC200V。驱动器在配置小转矩的伺服电机时（5Nm 以下或功率段 1KW 以下），可采用单相 AC220V 电源对驱动器供电，但驱动器驱动大转矩的伺服电机时，必须要三相 AC200V-230V 电源对驱动器供电。

为了提高驱动器工作的可靠性及防止驱动器对数控装置的干扰，请客户采用变压器，对驱动器提供三相 AC200V 电源。

11. 伺服驱动器速度环、位置环参数调整的原则是什么？

伺服电机使用效果如何，除了与电机和驱动器的性能有关外，驱动器参数的调整也是一个十分关键的因素。

伺服驱动器主要的性能参数调整有三个：速度环比例增益、速度环积分时间常数、位置环比例增益。EDB 伺服驱动器相应的参数编号为：速度环比例增益(PN013)、速度环积分时间常数(PN014)及位置环比例增益（PN015）。

速度环比例增益、积分时间常数仅对电机在运行时（有速度）起作用。速度环比例增益的大小，影响电机速度的响应快慢，速度环积分时间常数的大小，影响电机稳态速度误差的大小及速度环系统的稳定性。EDB 系列伺服驱动器在出厂时，都设有一个缺省值，并形成相应的速度环带宽。缺省值是按轻负载来设置的。当伺服电机带上实际负荷时，由于实际负载转矩和负载惯量与缺省值设置时并不相符，速度环的带宽会变窄，如果此时的速度环带宽满足需求，没有发生电机速度爬行或振荡等现象，可以不调整速度环的比例增益及积分时间常数。如果实际负荷使电机工作不稳定，发生爬行或振荡现象，或者现有的速度环带宽不理想，则需要对速度环的比例增益、积分时间常数进行调整。

速度环参数调整的原则，是保证速度环系统稳定（不振荡）的前提下，允许超调并只有一个超调量不大的波头，使速度环响应最快，并且系统稳定工作。

为了保证系统稳定的工作，应该调整速度环积分时间常数。调整的原则是，负载惯量折算到电机轴上的电机实际带载总惯量与电机转子惯量的倍数越大，速度环积分时间常数的值应增加越大。

速度环积分时间常数的倒数为积分增益。速度环积分时间常数增大，将导致速度环响应变慢。增大速度环比例增益，可在保证系统稳定的前提下，达到较快的响应速度。

速度环积分时间常数的提高，需相应的提高速度环比例增益，以提高速度环的响应时间。这两个参数的调整，是一个反复的过程，需要对负载准确的认知与经验。

速度环比例增益提高的上限是，系统临界振荡点以下。简单的方法是，提高速度环的比例增益，直至系统发生振荡，然后再降低一点速度环的比例增益，即为刚度较好速度环比例增益。

综上，在系统能稳定工作的前提下，较大的速度环比例增益和较小的速度环时间常数，可以获得较好的速度响应。较大的速度环比例增益和过小的速度环时间常数，较容易发生系统振荡，工作不稳定；较小的速度环比例增益和过大的速度环时间常数，电机速度响应低，电机运行易出现爬行状态。

位置环比例增益仅在驱动器工作在位置方式时有效。当伺服电机停止运行时，增加位置环比例增益，能提高伺服电机的锁定刚度。当伺服电机在位置环下运行时，增大与减小位置环比例增益时，位置滞后量将随之变化。

位置环比例增益调整的原则是，在保证位置环系统稳定工作，位置不超差（过冲）的前提下，增大位置环比例增益，以减小位置滞后量。简单的方法是，提高位置环的比例增益，直至系统发生位置超差（过冲），然后再降低一点位置环的比例增益，即为刚度较好位置环比例增益。

速度环比例增益和积分时间常数采用缺省值可以满足需要时，调整位置环比例增益，可以减小位置滞后量，提高位置跟随特性。建议调整位置环比例增益。

多轴同时进行插补运算时，各轴的位置比例增益值应调整为一样。