



## 伺服电机

伺服电机（servo motor）是指在伺服系统中控制机械元件运转的发动机，是一种辅助马达间接变速装置。伺服电机可使控制速度，位置精度非常准确，可以将电压信号转化为转矩和转速以驱动控制对象。在自动控制系统中，用作执行元件，把所收到的电信号转换成电动机轴上的角位移或角速度输出。分为直流和交流伺服电动机两大类，其主要特点是，当信号电压为零时无自转现象，转速随着转矩的增加而匀速下降。

### 工作原理

1. 伺服系统(servomechanism)是使物体的位置、方位、状态等输出被控量能够跟随输入目标（或给定值）的任意变化的自动控制系统。伺服主要靠脉冲来定位，基本上可以这样理解，伺服电机接收到1个脉冲，就会旋转1个脉冲对应的角度，从而实现位移，因为，伺服电机本身具备发出脉冲的功能，所以伺服电机每旋转一个角度，都会发出对应数量的脉冲，这样，和伺服电机接受的脉冲形成了呼应，或者叫闭环，如此一来，系统就会知道发了多少脉冲给伺服电机，同时又收了多少脉冲回来，这样，就能够很精确的控制电机的转动，从而实现精确的定位，可以达到0.001mm。



直流伺服电机分为有刷和无刷电机。有刷电机成本低，结构简单，启动转矩大，调速范围宽，控制容易，需要维护，但维护不方便（换碳刷），产生电磁干扰，对环境有要求。因此它可以用于对成本敏感的普通工业和民用场合。

无刷电机体积小，重量轻，出力大，响应快，速度高，惯量小，转动平滑，力矩稳定。控制复杂，容易实现智能化，其电子换相方式灵活，可以方波换相或正弦波换相。电机免维护，效率很高，运行温度低，电磁辐射很小，长寿命，可用于各种环境。

2. 交流伺服电机也是无刷电机，分为同步和异步电机，目前运动控制中一般都用同步电机，它的功率范围大，可以做到很大的功率。大惯量，最高转动速度低，且随着功率增大而快速降低。因而适合做低速平稳运行的应用。

3. 伺服电机内部的转子是永磁铁，驱动器控制的 U/V/W 三相电形成电磁场，转子在此磁场的作用下转动，同时电机自带的编码器反馈信号给驱动器，驱动器根据反馈值与目标值进行比较，调整转子转动的角度。伺服电机的精度决定于编码器的精度（线数）。

请问交流伺服电机和无刷直流伺服电机在功能上有什么区别？

答：交流伺服要好一些，因为是正弦波控制，转矩脉动小。直流伺服是梯形波。但直流伺服比较简单，便宜。

## 伺服电机原理

### 一、交流伺服电动机

交流伺服电动机定子的构造基本上与电容分相式单相异步电动机相似。其定子上装有两个位置互差  $90^\circ$  的绕组，一个是励磁绕组  $R_f$ ，它始终接在交流电压  $U_f$  上；另一个是控制绕组  $L$ ，联接控制信号电压  $U_c$ 。所以交流伺服电动机又称两个伺服电动机。

交流伺服电动机的转子通常做成鼠笼式，但为了使伺服电动机具有较宽的调速范围、线性的机械特性，无“自转”现象和快速响应的性能，它与普通电动机相比，应具有转子电阻大和转动惯量小这两个特点。目前应用较多的转子结构有两种形式：一种是采用高电阻率的导电材料做成的高电阻率导条的鼠笼转子，为了减小转子的转动惯量，转子做得细长；另一种是采用铝合金制成的空心杯形转子，杯壁很薄，仅  $0.2-0.3\text{mm}$ ，为了减小磁路的磁阻，要在空心杯形转子内放置固定的内定子。空心杯形转子的转动惯量很小，反应迅速，而且运转平稳，因此被广泛采用。

交流伺服电动机在没有控制电压时，定子内只有励磁绕组产生的脉动磁场，转子静止不动。当有控制电压时，定子内便产生一个旋转磁场，转子沿旋转磁场的方向旋转，在负载恒定的情况下，电动机的转速随控制电压的大小而变化，当控制电压的相位相反时，伺服电动机将反转。

### 伺服电动机与单相异步电动机比较

交流伺服电动机的工作原理与分相式单相异步电动机虽然相似，但前者的转子电阻比后者大得多，所以伺服电动机与单相异步电动机相比，有三个显著特点：

#### 1、起动转矩大

由于转子电阻大，其转矩特性曲线如图 3 中曲线 1 所示，与普通异步电动机的转矩特性曲线 2 相比，有明显的区别。它可使临界转差率  $S_0 > 1$ ，这样不仅使转矩特性（机械特性）更接近于线性，而且具有较大的起动转矩。因此，当定子一有控制电压，转子立即转动，即具有起动快、灵敏度高的特点。

#### 2、运行范围较广

#### 3、无自转现象

正常运转的伺服电动机，只要失去控制电压，电机立即停止运转。当伺服电动机失去控制电压后，它处于单相运行状态，由于转子电阻大，定子中两个相反方向旋转

的旋转磁场与转子作用所产生的两个转矩特性（ $T_1-S_1$ 、 $T_2-S_2$  曲线）以及合成转矩特性（ $T-S$  曲线）

交流伺服电动机的输出功率一般是 0.1-100W。当电源频率为 50Hz，电压有 36V、110V、220、380V；当电源频率为 400Hz，电压有 20V、26V、36V、115V 等多种。

交流伺服电动机运行平稳、噪音小。但控制特性是非线性，并且由于转子电阻大，损耗大，效率低，因此与同容量直流伺服电动机相比，体积大、重量重，所以只适用于 0.5-100W 的小功率控制系统。

## 与步进电机的性能比较

步进电机作为一种开环控制的系统，和现代数字控制技术有着本质的联系。在目前国内的数字控制系统中，步进电机的应用十分广泛。随着全数字式交流伺服系统的出现，交流伺服电机也越来越多地应用于数字控制系统中。为了适应数字控制的发展趋势，运动控制系统中大多采用步进电机或全数字式交流伺服电机作为执行电动机。虽然两者在控制方式上相似（脉冲串和方向信号），但在使用性能和应用场合上存在着较大的差异。现就二者的使用性能作一比较。

### 一、控制精度不同

两相混合式步进电机步距角一般为  $1.8^\circ$ 、 $0.9^\circ$ ，五相混合式步进电机步距角一般为  $0.72^\circ$ 、 $0.36^\circ$ 。也有一些高性能的步进电机通过细分后步距角更小。如三洋公司（SANYO DENKI）生产的二相混合式步进电机其步距角可通过拨码开关设置为  $1.8^\circ$ 、 $0.9^\circ$ 、 $0.72^\circ$ 、 $0.36^\circ$ 、 $0.18^\circ$ 、 $0.09^\circ$ 、 $0.072^\circ$ 、 $0.036^\circ$ ，兼容了两相和五相混合式步进电机的步距角。

交流伺服电机的控制精度由电机轴后端的旋转编码器保证。以三洋全数字式交流伺服电机为例，对于带标准 2000 线编码器的电机而言，由于驱动器内部采用了四倍频技术，其脉冲当量为  $360^\circ / 8000 = 0.045^\circ$ 。对于带 17 位编码器的电机而言，驱动器每接收 131072 个脉冲电机转一圈，即其脉冲当量为  $360^\circ / 131072 = 0.0027466^\circ$ ，是步距角为  $1.8^\circ$  的步进电机的脉冲当量的 1/655。

### 二、低频特性不同

步进电机在低速时易出现低频振动现象。振动频率与负载情况和驱动器性能有关，一般认为振动频率为电机空载起跳频率的一半。这种由步进电机的工作原理所决定的低频振动现象对于机器的正常运转非常不利。当步进电机工作在低速时，一般应采用阻尼技术来克服低频振动现象，比如在电机上加阻尼器，或驱动器上采用细分技术等。

交流伺服电机运转非常平稳，即使在低速时也不会出现振动现象。交流伺服系统具有共振抑制功能，可涵盖机械的刚性不足，并且系统内部具有频率解析机能（FFT），可检测出机械的共振点，便于系统调整。

### 三、矩频特性不同

步进电机的输出力矩随转速升高而下降，且在较高转速时会急剧下降，所以其最高工作转速一般在 300~600RPM。交流伺服电机为恒力矩输出，即在其额定转速（一般为 2000RPM 或 3000RPM）以内，都能输出额定转矩，在额定转速以上为恒功率输出。

### 四、过载能力不同

步进电机一般不具有过载能力。交流伺服电机具有较强的过载能力。以山洋交流伺服系统为例，它具有速度过载和转矩过载能力。其最大转矩为额定转矩的二到三倍，可用于克服惯性负载在启动瞬间的惯性力矩。步进电机因为没有这种过载能力，在选型时为了克服这种惯性力矩，往往需要选取较大转矩的电机，而机器在正常工作期间又不需要那么大的转矩，便出现了力矩浪费的现象。

### 五、运行性能不同

步进电机的控制为开环控制，启动频率过高或负载过大易出现丢步或堵转的现象，停止时转速过高易出现过冲的现象，所以为保证其控制精度，应处理好升、降速问题。交流伺服驱动系统为闭环控制，驱动器可直接对电机编码器反馈信号进行采样，内部构成位置环和速度环，一般不会出现步进电机的丢步或过冲的现象，控制性能更为可靠。

#### 六、速度响应性能不同

步进电机从静止加速到工作转速（一般为每分钟几百转）需要 200~400 毫秒。交流伺服系统的加速性能较好，以山洋 400W 交流伺服电机为例，从静止加速到其额定转速 3000RPM 仅需几毫秒，可用于要求快速启停的控制场合。

综上所述，交流伺服系统在许多性能方面都优于步进电机。但在一些要求不高的场合也经常用步进电机来做执行电动机。所以，在控制系统的设计过程中要综合考虑控制要求、成本等多方面的因素，选用适当的控制电机。

### 选型计算方法

一、转速和编码器分辨率的确认。

二、电机轴上负载力矩的折算和加减速力矩的计算。

三、计算负载惯量，惯量的匹配，安川伺服电机为例，部分产品惯量匹配可达 50 倍，但实际越小越好，这样对精度和响应速度好。

四、再生电阻的计算和选择，对于伺服，一般 2kw 以上，要外配置。

五、电缆选择，编码器电缆双绞屏蔽的，对于安川伺服等日系产品绝对值编码器是 6 芯，增量式是 4 芯。

### 安装使用注意事项

一、伺服电机油和水的保护

A: 伺服电机可以用在会受水或油滴侵袭的场所，但是它不是全防水或防油的。因此，伺服电机不应当放置或使用在水中或油浸的环境中。

B: 如果伺服电机连接到一个减速齿轮，使用伺服电机时应当加油封，以防止减速齿轮的油进入伺服电机

C: 伺服电机的电缆不要浸没在油或水中。

二、伺服电机电缆→减轻应力

A: 确保电缆不因外部弯曲力或自身重量而受到力矩或垂直负荷，尤其是在电缆出口处或连接处。

B: 在伺服电机移动的情况下，应把电缆（就是随电机配置的那根）牢固地固定到一个静止的部分（相对电机），并且应当用一个装在电缆支座里的附加电缆来延长它，这样弯曲应力可以减到最小。

C: 电缆的弯头半径做到尽可能大。

三、伺服电机允许的轴端负载

A: 确保在安装和运转时加到伺服电机轴上的径向和轴向负载控制在每种型号的规定值以内。

B: 在安装一个刚性联轴器时要格外小心，特别是过度的弯曲负载可能导致轴端和轴承的损坏或磨损

C: 最好用柔性联轴器，以便使径向负载低于允许值，此物是专为高机械强度的伺服电机设计的。

D: 关于允许轴负载，请参阅“允许的轴负荷表”（使用说明书）。

#### 四、伺服电机安装注意

A: 在安装/拆卸耦合部件到伺服电机轴端时，不要用锤子直接敲打轴端。（锤子直接敲打轴端，伺服电机轴另一端的编码器要被敲坏）

B: 竭力使轴端对齐到最佳状态（对不好可能导致振动或轴承损坏）。

#### 直流无刷伺服电机特点

转动惯量小、启动电压低、空载电流小； 弃接触式换向系统，大大提高电机转速，最高转速高达 100 000rpm； 无刷伺服电机在执行伺服控制时，无须编码器也可实现速度、位置、扭矩等的控制； 不存在电刷磨损情况，除转速高之外，还具有寿命长、噪音低、无电磁干扰等特点。

#### 直流有刷伺服电机特点

1. 体积小、动作快反应快、过载能力大、调速范围宽
2. 低速力矩大，波动小，运行平稳
3. 低噪音, 高效率
4. 后端编码器反馈（选配）构成直流伺服等优点

#### 使用范围

直流伺服电机可应用在是火花机、机械手、精确的机器等。可同时配置 2500P/R 高分析度的标准编码器及测速器，更能加配减速机、令机械设备带来可靠的准确性及高扭力。 调速性好，单位重量和体积下，输出功率最高，大于交流电机，更远远超过步进电机。多级结构的力矩波动小。

#### 作用

伺服电机在封闭的环里面使用。就是说它随时把信号传给系统，同时把系统给出的信号来修正自己的运转。

伺服电机也可用单片机控制



#### 深圳市颢天成科技有限公司

公司地址：深圳市南山区高新科技园高新南七道深圳软件园 T3 栋 5 层 A#

电话：+86755-8302 1976

传真：+86755-8832 1399

#### 颢天成科技北京研发中心：

公司地址：北京市朝阳区东土城路 8 号林达大厦 B 座 12 层 H 室

电话：+8610-6446 2853

传真：+8610-6446 2851