

交流伺服电机编码器原理及相关知识简介



王俊
Festo 技术支持
2020年7月2日

关键词:

交流伺服电机，编码器原理

摘要:

本文描述了交流伺服电机常用编码器的基本原理，并对 FESTO 伺服电机编码器的参数进行了简要归纳。

声明:

本文档为技术工程师根据官方资料和相关原理编写，旨在使用户对于常用的伺服编码器基本原理有所了解，如果发现描述与官方正式出版物冲突，请以正式出版物为准。

目录

1 简介.....	4
2 光电编码器与磁编码器.....	4
2.1 光电编码器.....	4
2.2 磁编码器.....	4
3 数字量编码器与模拟量编码器.....	5
3.1 数字量编码器.....	5
3.1.1 增量式编码器.....	5
3.1.2 绝对值编码器.....	6
3.2 模拟量编码器.....	7
3.2.1 旋转变压器.....	7
3.2.2 正余弦编码器.....	7
4 FESTO 电机产品所用编码器.....	8
4.1 EMMT-AS.....	8
4.2 EMMB-AS.....	8
4.3 EMME-AS.....	9
4.4 EMMS-AS.....	9
5 交流伺服编码器相关设置介绍.....	9
5.1 关于电子齿轮比的设置问题.....	9
5.2 交流伺服电机运行位置的分析.....	10
5.3 交流伺服电机运行扭矩的分析.....	11

1 编码器简介

编码器作为传感器的一种，主要用来检测机械运动的速度、位置、角度、距离等。除了应用在机械装置外，许多电机比如伺服电机需配备编码器以作为换向、速度及位置的检测。

编码器分类：

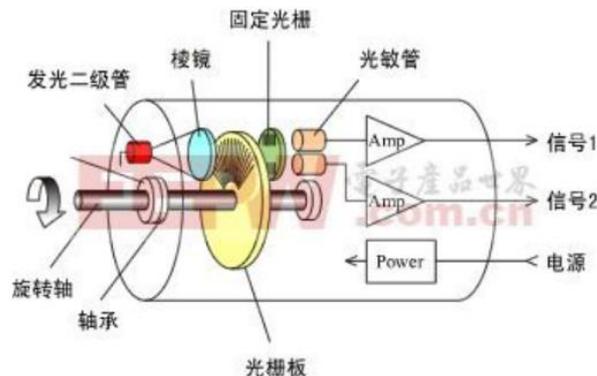
- (1) 按外形可分为：轴型编码器、通孔型编码器、盲孔编码器；
- (2) 按工作原理可分为：光电编码器、磁编码器、电感编码器、电容编码器；
- (3) 按输出信号可分为：模拟量编码器、数字量编码器。模拟量编码器可分为旋转变压器和正余弦编码器。数字量编码器可分为增量式编码器、绝对值编码器和混合式绝对值编码器，其中绝对值编码器又可分为单圈绝对值编码器和多圈绝对值编码器。

本文介绍了一些常用的伺服电机编码器的工作原理。

2 光电编码器与磁编码器

2.1 光电编码器

光电编码器是利用光栅衍射原理实现位移、数字转换，通过光电转换，将输出轴上的机械集合位移量转换成脉冲数字量的传感器。



常见的光电编码器由光栅盘、发光元件和光敏元件组成。光栅实际上是一个刻有规则透光和不透光线条的圆盘，当旋转轴转动时，光敏元件接收的光通量随透光线条的变化而同步变化，光敏元件输出波形经放大整形后，变为脉冲信号，旋转轴每转一圈输出相应脉冲。根据脉冲数量的变化，可以精确测量和控制设备位移量。

光电编码器优点：

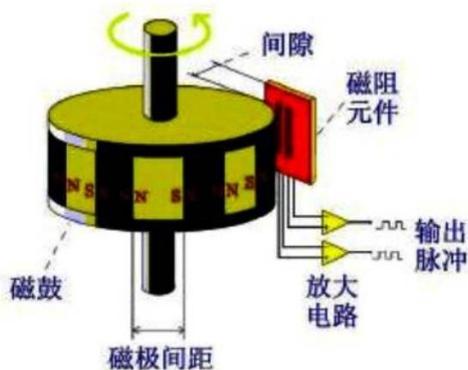
- (1) 体积小，本身分辨率很高，无接触、无磨损；
- (2) 同一编码器既可检测角度位移，又可以结合机械转换装置检测直线位移；
- (3) 寿命长，接口形式丰富，价格适中。

缺点：

- (1) 对户外及恶劣环境下使用提出较高的保护要求；
- (2) 量测直线位移依赖机械装置转换，需消除机械间隙带来的误差；
- (3) 检测轨道运行物体难以克服滑差。

2.2 磁编码器

磁编码器一般指磁传感器，是把磁场、电流、应力应变、温度、光等外界因素引起敏感元件磁性能变化转换成电信号，来检测相应物理量的器件。



如上图所示，磁性编码器主要部分由磁阻传感器、磁鼓、信号处理电路组成。将磁鼓刻录成等间距的小磁极，磁极被磁化后，旋转时产生周期分布的空间漏磁场。磁传感器探头通过磁电阻效应将变化着的磁场信号转化为电阻阻值的变化，在外加电势的作用下，变化的电阻值转化成电压的变化，经过后续信号处理电路的处理，模拟的电压信号转化成计算机可以识别的数字信号，实现磁旋转编码器的编码功能。

磁编码器优点：

- (1) 在户外及恶劣环境下的适应性比光电编码器要好；
- (2) 与光电编码器相比，成本更低；

缺点：

- (1) 与光电编码器相比，精度和响应时间要差一些；
- (2) 容易受到电磁干扰，需要采取补偿和保护措施避免温度漂移。

3 数字量和模拟量编码器

3.1 数字量编码器

数字量编码器输出波形为方波，下面主要通过光电式编码器来阐明增量式编码器与绝对值编码器的区别。

3.1.1 增量式编码器

增量式光电编码器的特点是每产生一个输出脉冲信号就对应于一个增量位移，但是不能通过输出脉冲区别出在哪个位置上的增量。它能够产生与位移增量等值的脉冲信号，其作用是提供一种对位移量以及位移变化（速度）的传感方法，它是相对于某个基准点的相对位置增量，不能够直接检测出轴的绝对位置信息。一般来说，增量式光电编码器输出 A、B 两相有 90° 相位差的脉冲信号（即所谓的两组正交输出信号），从而可方便地判断出旋转方向。同时还有用作参考零位的 Z 相标志（指示）脉冲信号，码盘每旋转一周，只发出一个标志信号。

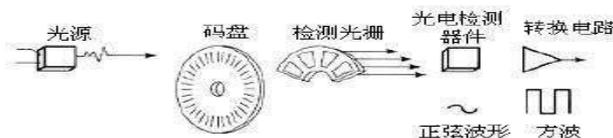
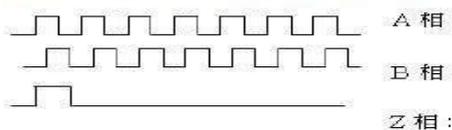


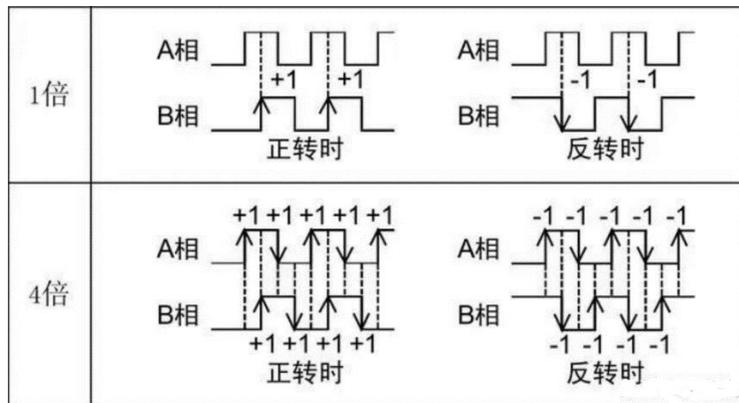
图 1-1 增量式光电编码器的组成



增量式光电编码器主要由光源、码盘、检测光栅、光电检测器件和转换电路组成，如上图。码盘上刻有节距相等的辐射状透光间隙，相邻两个透光间隙之间代表一个增量周期，检测光栅上刻有 A、B 两组与码盘相对应得透光缝隙，用以通过或阻挡光源和光电检测器件之间的光线。它们的节距和码盘上的节距相等，并且两组透光缝隙错开 $1/4$ 节距，使得光电检测器件输出的信号在相位上相差 90° 。当码盘随着被测转轴转动时，检测光栅不动，光线透过码盘和检测光栅

上的透过缝隙照射到光电检测器件上，光电检测器件就输出两组相位相差 90° 的近似于正弦波的电信号，电信号经过转换电路的信号处理，可以得到被测轴的转角和速度信息。增量式光电编码器输出信号波形如上图所示。

光电编码器的分辨率是以编码器轴转动一周所产生的输出信号基本周期数来表示的，即脉冲数/转（PPR）。码盘上的透光缝隙的数目就等于编码器的分辨率，码盘上刻的缝隙越多，编码器的分辨率就越高。为了提高编码器分辨率，有时会采用倍频技术。比如常见的 2500 线编码器，通常采用 4 倍频输出，即对 A 相方波上升沿和下降沿、B 相方波上升沿和下降沿进行分别计数输出，从而使得编码器分辨率为 10000p/r, 如下图所示。



增量式光电编码器的优点：

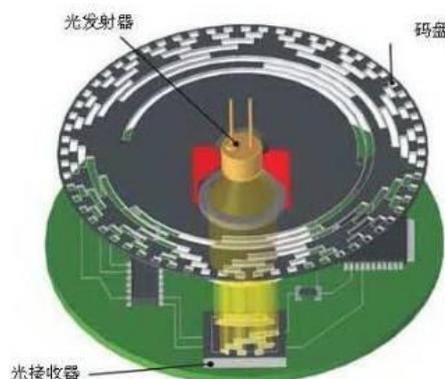
- (1) 原理构造简单、易于实现；
- (2) 机械平均寿命长，可达到几万小时以上；
- (3) 分辨率高；
- (4) 抗干扰能力较强，信号传输距离较长，可靠性较高。

缺点：

- (1) 无法直接读出转动轴的绝对位置信息。

3.1.2 绝对值编码器

绝对值光电编码器的码盘上有许多道光通道刻线，每道刻线依次以 2 线、4 线、8 线、16 线编排，这样在编码器的每一个位置，通过读取每道刻线的明、暗，获得一组从 2 的 0 次方到 2 的 n-1 次方的唯一 2 进制编码（格雷码），这就称为 n 位绝对值编码器。这样的编码器位置是由光电码盘进行记忆的。



单圈绝对值编码器在转动中测量光电码盘各道刻线，以获取唯一的编码，当转动超过 360 度时，编码又回到原点，这样就不符合绝对编码唯一的原则，这样的编码只能用于旋转范围 360 度以内的测量，称为单圈绝对值编码器。

多圈绝对值编码器常见的有电子增量计圈与机械绝对计圈。编码器生产厂家运用钟表齿轮机械的原理，当中心码盘旋转时，通过齿轮传动另一组码盘（或多组齿轮，多组码盘），在单圈编码的基础上再增加圈数的编码，以扩大编码器的测量范围，这样的绝对值编码器就是机械绝对计圈的多圈式绝对值编码器，它是由机械位置确定编码，每个位置编码唯一不重复而无需记忆，如下图所示。



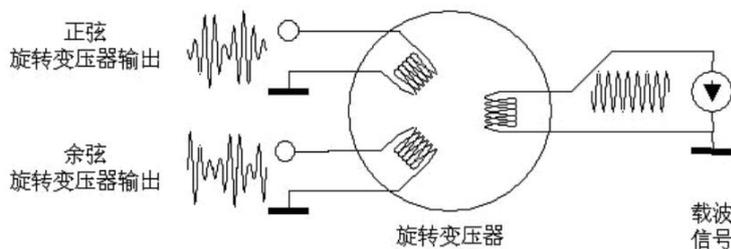
机械绝对计圈的编码器每圈位置和圈数都是绝对值，现在常见的是 4096 圈和 65536 圈两种。

电子增量计圈是通过电池记忆圈数，实际上是单圈绝对、多圈增量，好处是省掉了一组机械齿轮，经济、体积小而且没有圈数限制，但是其计数依赖于前次历史的直接读数，所以不是真正意义上的绝对值编码器。在停电后，由于电池低功耗的要求，移动的速度与范围其实是有限制的，另外加上电池的因素，导致其可靠性不够。尤其是如果计圈失误会导致其无法找到原来的绝对位置。

3.2 模拟量编码器

3.2.1 旋转变压器

旋转变压器是一种电磁式传感器，又称同步分解器。它是一种测量角度用的小型交流电动机，用来测量旋转物体的转轴角位移和角速度，包含三个绕组，即一个转子绕组和两个定子绕组。转子绕组随马达旋转，定子绕组位置固定且两个定子互为 90 度角。这样，绕组形成了一个具有角度依赖系数的变压器。



将施加在转子绕组上的正弦载波耦合至定子绕组，对定子套装输出进行与转子绕组角度相关的幅度调制。由于安装位置的原因，两个定子绕组的调制输出信号的相位差为 90 度。通过解调两个信号可以获得马达的角度位置信息。

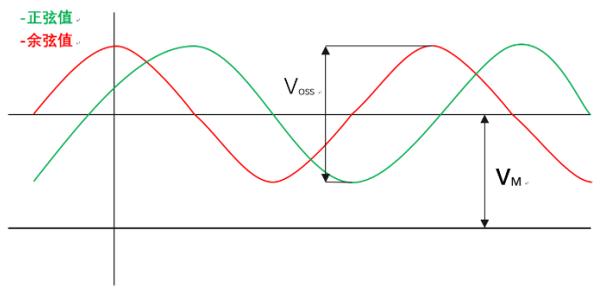
旋转变压器结构简单价格便宜，信号输出不受震动粉尘油污的影响，适合在恶劣环境下使用。但是因为输出的是调制的模拟信号，需要额外的电子装置进行输出信号解算。

3.2.2 正余弦编码器

如之前所介绍，方波增量编码器的输出为正交的 A、B 脉冲信号，即高电平或者低电平。我们把信号从低电平到高电平的变化，称作一个上升沿，编码器的输出，就是从一个上升沿到另一个上升沿周期性的重复。编码器的分辨率与磁盘刻线一一对应，在编码器旋转一圈的过程中，这样的 A、B 信号会周期性重复多次。为了提高增量编码器的分辨率，有时候还会用到四倍频，即：计算上升沿的同时，也计算下降沿，这样每个周期可以细分为四步。

为了进一步提高编码器的分辨率，则需要增加磁盘刻线的密度。然而方波增量编码器的分辨率会受到两方面的制约。一方面受到码盘尺寸的限制，另一方面，输出频率与编码器的转速和分辨率成正比。更高分辨率意味着更高的输出频率，而高频率无法实现长距离传输。

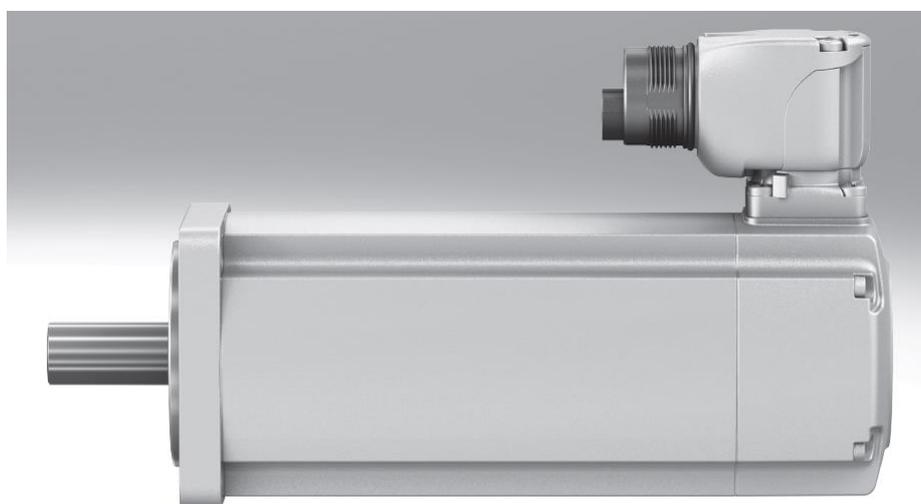
正余弦编码器的输出与普通方波增量式编码器的 AB 正交脉冲信号类似，不同的是正余弦编码器通过 A 和 B 通道输出的是峰-峰值为 1V 或 2V 的正弦波和余弦波信号。编码器旋转一圈，也会周期性的产生多个正余弦周期，如下图所示。



虽然正余弦周期数（物理分辨率）看上去也不是很高，但是在控制器或者驱动器中，通过编码器输入电路处理和计算，每个正余弦周期都可以通过反正切插值运算细分为很多步，从而达到很高的分辨率。

4 FESTO 电机产品所用编码器

4.1 EMMT-AS



EMMT-AS 电机编码器为数字量绝对值位移编码器，采用电感式测量原理，单圈编码器分辨率为 18 位，多圈编码器分辨率为 19 位，圈数为 4096 圈。

4.1 EMMB-AS



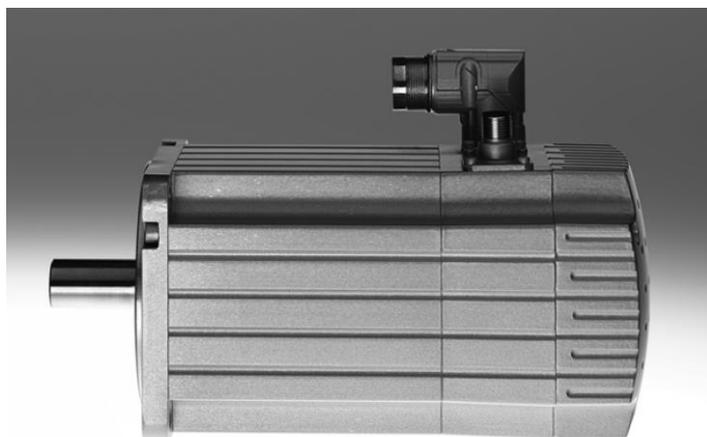
EMMB-AS 电机编码器是数字量绝对值位移编码器，采用光电式测量原理，单圈编码器分辨率为 20 位，多圈编码器分辨率为 20 位，圈数为 65536 圈。

4.2 EMME-AS



EMME-AS 电机编码器是数字量绝对值位移编码器，采用电容式测量原理，单圈编码器分辨率为 9 位，多圈编码器分辨率为 9 位，圈数为 4096 圈。

4.3 EMMS-AS

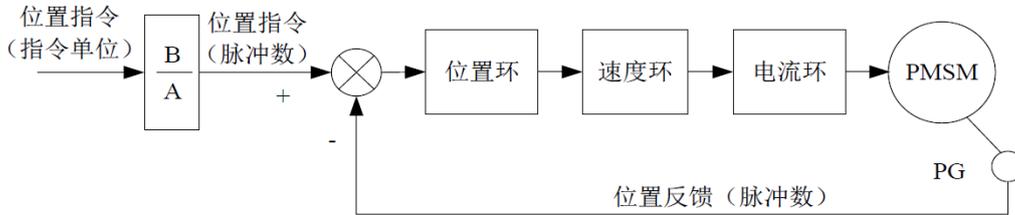


EMMS-AS 电机编码器分为数字量绝对值位移编码器和旋转变压器。数字量绝对值位移编码器单圈分辨率为 18 位，多圈编码器分辨率为 18 位，圈数为 4096 圈。旋转变压器载波频率为 3.4~8.0kHz。

5 交流伺服电机的相关介绍

5.1 关于电子齿轮比的设置问题

电子齿轮比原理如下图所示：



电子齿轮比计算公式如下：

$$\frac{\text{电子齿轮比分子B}}{\text{电子齿轮比分母A}} = \frac{\text{编码器分辨率}}{\text{负载轴旋转一圈的位移量(指令单位)}} \times \frac{m}{n}$$

其中，m/n 为电机轴与负载机械侧的减速比（电机轴旋转 m 圈，负载轴旋转 n 圈），负载轴旋转一圈的位移量为设定值，举例：假设减速机减速比为 5:1，则 m/n 为 5:1，另外假设编码器分辨率为 17 位，设定 10000 个脉冲负载机械侧转一圈，则电子齿轮比为：

$$\frac{\text{电子齿轮比分子}}{\text{电子齿轮比分母}} = \frac{131072}{10000} \times \frac{5}{1} = \frac{8192}{125}$$

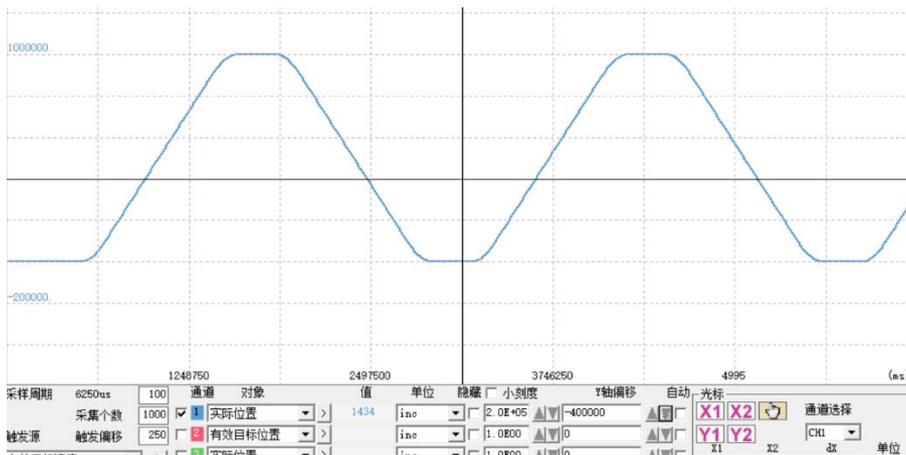
上式可理解为，10000 个脉冲经电子齿轮比放大后可使编码器为 17 位的伺服电机旋转 5 圈，从而使得负载机械侧旋转 1 圈。假定负载机械侧连接的是滚珠丝杠，导程为 10mm，即滚珠丝杠旋转一圈连接的负载前进 10mm，此时 1 个脉冲负载前进 0.001mm，但是实际运行能否达到该精度由机械结构决定。其他结构（比如皮带轮、齿轮）可同理计算出 1 个脉冲的前进距离。

注意：

- (1) 脉冲型伺服驱动器还有另外一种设置方式，即设置多少个脉冲一圈，此时的一圈是指伺服电机旋转一圈。
- (2) 高分辨率编码器可在伺服驱动器内部进行处理后降低分辨率进行使用。

5.2 交流伺服电机运行位置的分析

交流伺服电机设定运行位置值后，可依据设定运行位置值、实际到达位置值、实际运行距离来判定机构是否运行正常，设定运行位置值和实际到达位置值可以通过波形图来观察，如下图所示：



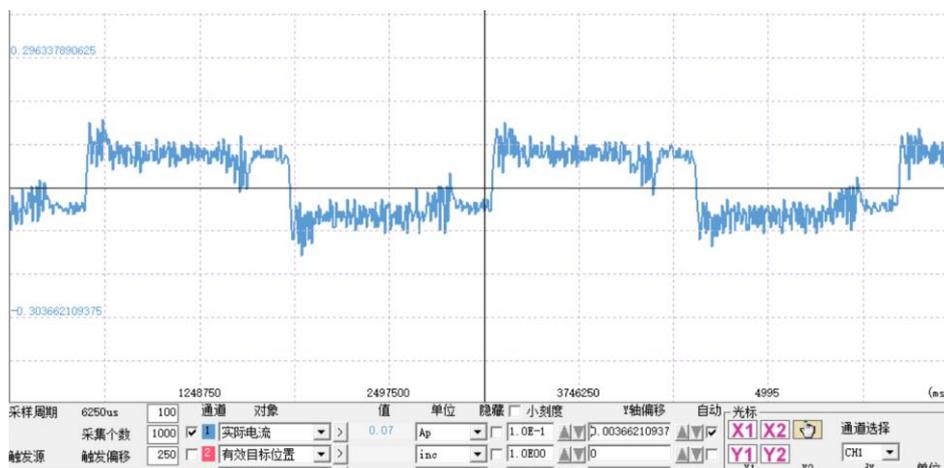
如上图所示，设定运行位置值为 1000000，实际到达位置值也是 1000000，表明电机运行正常。此时如果实际运行距离不匹配，则可能是：

- (1) 设定的电子齿轮比不合适，导致实际运行距离出现误差；
- (2) 机械结构装配出现问题，比如皮带轮打滑或者机械卡死导致电机空转等；

实际运行过程中，如果由于机械结构卡住导致电机无法正常运行，实际到达位置值会偏小，从而触发位置偏差过大报警；如果出现电磁干扰问题，会导致实际到达位置值偏大，同样会触发位置偏差过大报警。

5.3 交流伺服电机运行扭矩的分析

交流伺服电机的额定电流与额定扭矩成正比，因此在实际运行过程中，可以通过观察实际电流确定实际扭矩，如下图所示：



上图中搭配电机为 EMMB-AS-40-01-S，额定电流为 1.3A，额定扭矩为 0.32Nm，图中最大电流大概在 0.15A 左右，根据比例换算成实际扭矩为 0.037Nm 左右，由此可以大致判定电机的负载情况，以便于电机参数的调整。

交流伺服电机一般具有最大 3 倍额定扭矩的过载能力，但在 3 倍额定扭矩下只能短时间运行，超过一定时间后电机就会出现过载报警。