

无传感器步进电机控制

闭环步进电机替代直流伺服电机

长期以来，对于那些不需要高性能伺服电机的应用场合，步进电机技术经常被视为一种高性价比的替代方案。受益于其较低的价格和同等尺寸下的高转矩输出，步进电机一直在自动化设备领域占有一席之地。但是随着时代发展，越来越多的设备应用开始优先选择伺服系统。尽管采购成本更高，但相比于步进电机需要繁琐的测试以避免共振区域，以及由于缺乏有效的反馈而使得选型更加困难等诸多不利因素，伺服系统能快速地进行调试并投入使用，这也是小批量生产更偏爱选用伺服系统的原因。

近几年，这种趋势由于磁场定向控制“闭环”步进电机技术的发展而逐渐扭转。闭环技术的核心是高适应性电流调节和控制信号的反馈。此类步进电机控制方式与伺服电机完全一样，通过编码器信号检测转子位置，在电机绕组中产生对应的正弦波电流。磁场的矢量控制确保了定子的磁场方向总是垂直于转子磁场，而磁场强度则精确地对应于所要求的转矩。

因此，闭环步进电机本质上就是一个多极数的无刷直流伺服电机（BLDC）。传统步进电机技术的一系列缺点，例如共振和过热等，都得到消除。不仅如此，相比一个同尺寸的伺服电机，当转速维持在其额定转速的20%-50%时，我们所获得的持续扭矩是该伺服电机的2到3倍。

由于步进电机的价格低廉，闭环步进系统是替代伺服电机理想的经济型方案。然而，对于某些传统的开环步进电机应用领域，如实验室设备或小型数控铣床，闭环步进系统却往往不能成功取代。尽管闭环技术在这些场合也是有利的，但由于编码器的费用昂贵，通常远高于一台小电机，直接限制了该技术的推广应用。此外，通常在这些应用中，步进电机本身的定位精度就足够了，不需要再加装编码器。

“虚拟编码器”取代实体编码器

为了在这些应用场合发挥磁场定向控制的优势，纳诺达克公司把目标投向了无传感器技术的研发，即不需要真正的编码器，转而在“虚拟编码器”来获取转子当前的实际位置和转速。

无传感器技术在直流无刷电机中已经使用多年，特别是在风扇和水泵等不需要位置控制的场合。所有的无传感器技术均利用电机运转时会产生反电势（BEMF），并且反电势大小与速度成正比的物理效应。

最简单的无传感器控制是当线圈在换向周期内没有通电时，直接检测其反电动势。然而，这种方式需要专用硬件，并且只有当速度为额定转速的10-20%时才比较稳定，而低于该速度则信号太弱以至无法检测。因此，要求苛刻的应用必须依靠一位“观测员”，通过控制器检测到的其他数据，来重建那些不能被直接检测的参数，如速度和反电势。这种系统的核心是在真实电机的基础上建立精确的模型，通过已知的输入值，计算相关数据量。比如用设定的PWM值计算绕组的电流等。在建模过程中，这些计算值会通过其他方法进行测量，然后在每一个周期内将计算值

与实测值进行比较，通过这样的方法来确定观测误差，并修正模型内部的参数值。这样一来，那些不能被直接检测的参数，比如转速，就有了正确的估值。

虽然这种方法必须依赖电机转速改变所带来的绕组感应电压变化，但是实际效果显示即便在低速下，所需的数据也能被轻易检测到。结果就是只要转速高于某一最低值，这个“虚拟编码器”就可以提供位置和速度信息，并且其精度与真正的光学编码器或磁性编码器相当。

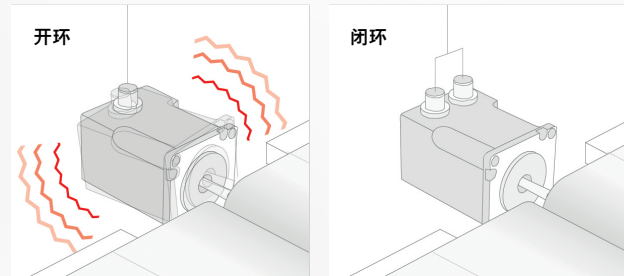
ClosedLoop 磁场定向控制 领先一步

纳诺达克公司所有即插即用型一体化电机均采用磁场定向控制（闭环）。直流无刷电机和步进电机均基于负载进行定向磁场控制，两者的区别仅仅是极对数不同造成的工作点不同。因此，步进电机和直流无刷电机都像直流伺服电机一样工作。另外，转子的实际位置或者磁场角度控制，可以通过编码器或无传感器的方法建立。其特性如下：

操作流畅
没有共振
精确定位
没有失步

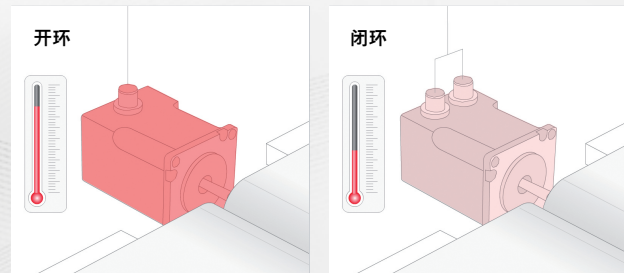
我们cn.nanotec.com网站提供的白皮书和动画演示形象地展示了步进电机和直流无刷电机的闭环控制原理。

避振性能好



在闭环模式下，控制器根据外部负载需要提供恰当的输出来驱动电机运转，从而有效避免了振动的发生。

使用寿命长



高效的功率调节使得电机发热更小，相对于开环控制区别显著。电机发热小有利于保护其轴承，继而延长电机使用寿命。

无传感器步进电机控制

无失步，无共振

无传感器技术成败的关键因素在于所用电机模型的好坏，包括数学模型公式以及与电机相关的常数变量。

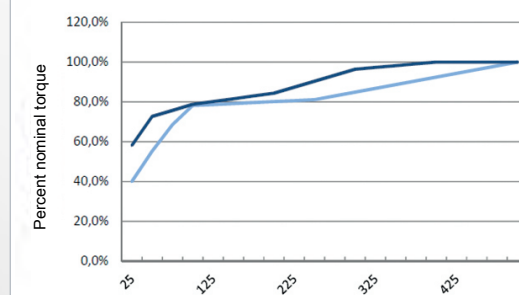
因此，首要任务是找到一个精确的电机数学模型，能够在每个控制周期内进行完整计算，并且可以由一枚微处理器完成。理论上步进电机和直流无刷电机的数学模型是相似的，不同点在于步进电机有两相，而直流无刷电机通常是三相的。并且由于其极对数多，在高速运行时会呈现出一些特别的特征。

无传感器控制在实际应用中的另一个重要方面是电机模型的参数识别。无刷电机控制器需要大量相关的电机参数，而这些参数在常见的数据表中往往不被提及。这使得某些控制系统只具备堵转检测机制或者依赖负载函数调节电机额定电流进行简化控制，而不是真正意义上的无传感器闭环控制。然而即便是这种简化控制，相关的电机阈值也需要检测和设置。

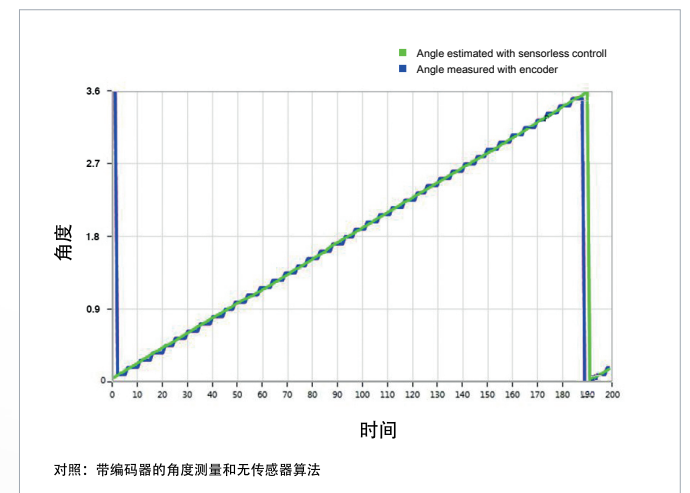
与之相对的，纳诺达克公司的无传感器系统需要操作的参数相当有限，并且可以通过自整定程序自动检测所连电机的相关数据，而不需要用户手动设置。

根据不同的电机类型，速度和位置信息可以在100-250转/分钟的转速下通过无传感器控制获得。此时的精度相当于500或1000线的光学编码器，从而获得和加装编码器方案一样的控制品质和扭矩输出。低于这一转速，甚至到了10-25转/分种，无传感器控制仍可工作。只是准确度会随速度下降而降低，同时可达到的转矩输出也相应降低了。

无传感器控制下的力矩输出



相比之下，无传感器系统在高转速下明显优于实体编码器。因为编码器的同心度公差会导致正弦角误差。不带轴承基座的标准编码器，这种误差可高达±1°，从而导致闭环模式在高速时产生振动。而虚拟编码器在高速运转时的误差始终和电机的步进角误差（±0.09°）一样。另外，实体编码器输出的数字信号是非连续的位置值，尤其在分辨率较低的情况下，会引起电机转速的波动。相反的，虚拟编码器的输出值，却是连续和稳定的。



基于无传感器技术的控制不需要使用反电势高的电机，电感越大，电机的动态性能越差。相反，具有低电感，低电阻和高额定电流的电机，拥有更好的工况。

开环和闭环的完美结合

无传感器闭环控制对于步进电机具有特殊的吸引力，因为不但可以应用在速度模式中，而且通过和开环控制相结合，也可以运用在定位模式中。当电机转速足够高时，无传感器算法能够精确计算相关数值。而当信号随着转速降低而变得不够精确时，系统将自动切换至开环模式，从而继续运行定位模式。此时开环模式在低速下运行，不存在共振问题。而当电机从静止状态重新启动时，只需要很小的角度就可过渡到闭环模式。因此，无传感器技术可以将定向磁场控制的优势发挥到几乎所有传统步进电机的应用领域中去。