直流无刷电机的工作原理

直流无刷电机的优越性

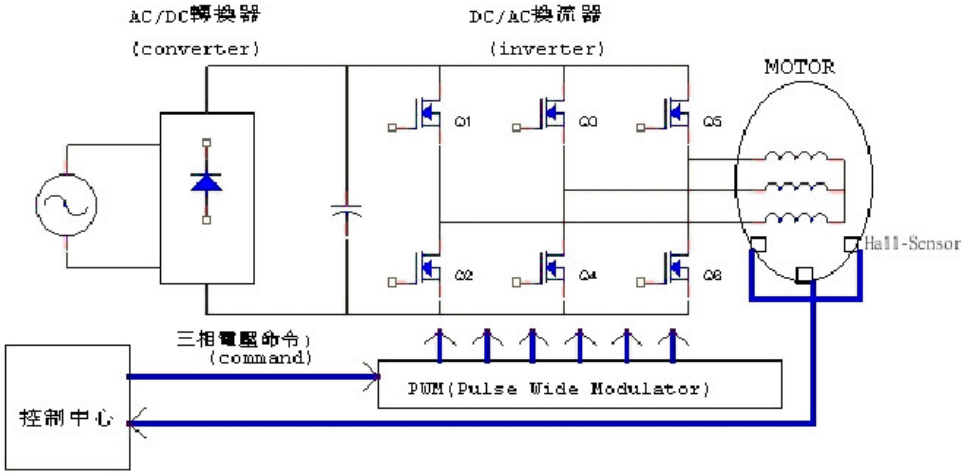
直流电机具有响应快速、较大的起动转矩、从零转速至额定转速具备可提供额定转矩的性能，但直流电机的优点也正是它的缺点，因为直流电机要产生额定负载下恒定转矩的性能，则电枢磁场与转子磁场须恒维持 90°，这就要藉由碳刷及整流子。碳刷及整流子在电机转动时会产生火花、碳粉因此除了会造成组件损坏之外，使用场合也受到限制。交流电机没有碳刷及整流子，免维护、坚固、应用广，但特性上若要达到相当于直流电机的性能须用复杂控制技术才能达到。现今半导体发展迅速功率组件切换频率加快许多，提升驱动电机的性能。微处理机速度亦越来越快，可实现将交流电机控制置于一旋转的两轴直交坐标系统中，适当控制交流电机在两轴电流分量，达到类似直流电机控制并有与直流电机相当的性能。

此外已有很多微处理机将控制电机必需的功能做在芯片中，而且体积越来越小；像模拟/数字转换器(Analog-to-digital converter，ADC)、脉冲宽度调制(pulse wide modulator，PWM)...等。直流无刷电机即是以电子方式控制交流电机换相，得到类似直流电机特性又没有直流电机机构上缺失的一种应用。

直流无刷电机的控制结构

直流无刷电机是同步电机的一种，也就是说电机转子的转速受电机定子旋转磁场的速度及转子极数(P)影响：N=120．f / P。在转子极数固定情况下，改变定子旋转磁场的频率就可以改变转子的转速。直流无刷电机即是将同步电机加上电子式控制(驱动器)，控制定子旋转磁场的频率并将电机转子的转速回授至控制中心反复校正，以期达到接近直流电机特性的方式。也就是说直流无刷电机能够在额定负载范围内当负载变化时仍可以控制电机转子维持一定的转速。

直流无刷驱动器包括电源部及控制部如图 (1) ：电源部提供三相电源给电机，控制部则依需求转换输入电源频率。

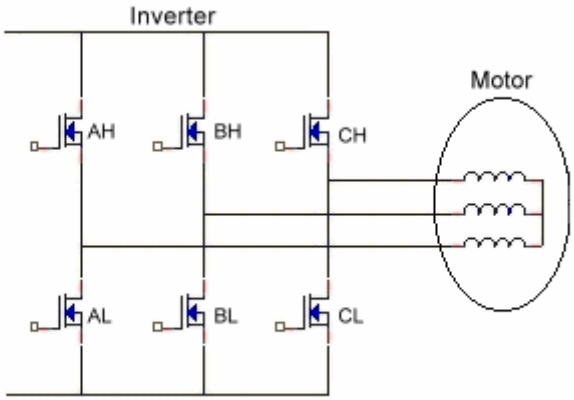


电源部可以直接以直流电输入(一般为 24V)或以交流电输入(110V/220 V)，如果输入是交流电就得先经转换器(converter)转成直流。不论是直流电输入或交流电输入要转入电机线圈前须先将直流电压由换流器(inverter)转成 3 相电压来驱动电机。换流器(inverter)一般由 6 个功率晶体管(Q1～Q6)分为上臂(Q1、Q3、Q5)/下臂(Q2、Q4、Q6)连接电机作为控制流经电机线圈的开关。控制部则提供 PWM(脉冲宽度调制)决定功率晶体管开关频度及换流器(inverter)换相的时机。直流无刷电机一般希望使用在当负载变动时速度可以稳定于设定值而不会变动太大的速度控制，所以电机内部装有能感应磁场的霍尔传感器(hall-sensor)，做为速度之闭回路控制，同时也做为相序控制的依据。但这只是用来做为速度控制并不能拿来做为定位控制

直流无刷电机的控制原理

要让电机转动起来，首先控制部就必须根据 hall-sensor 感应到的电机转子目前所在位置，然后依照定子绕线决定开启(或关闭)换流器(inverter)中功率晶体管的顺序，如下（图二） inverter 中之 AH、BH、CH(这些称为上臂功率晶体管)及 AL、BL、CL(这些称为下臂功率晶体管)，使电流依序流经电机线圈产生顺向(或逆向)旋转磁场，并与转子的磁铁相互作用，如此就能使电机顺时/逆时转动。当电机转子转动到

hall-sensor 感应出另一组信号的位置时，控制部又再开启下一组功率晶体管，如此循环电机就可以依同一方向继续转动直到控制部决定要电机转子停止则关闭功率晶体管(或只开下臂功率晶体管)；要电机转子反向则功率晶体管开启顺序相反。



基本上功率晶体管的开法可举例如下：

AH、BL 一组→AH、CL 一组→BH、CL 一组→BH、AL 一组→CH、AL 一组→CH、BL 一组，

但绝不能开成 AH、AL 或 BH、BL 或 CH、CL。此外因为电子零件总有开关的响应时间，所以功率晶体管在关与开的交错时间要将零件的响应时间考虑进去，否则当上臂(或下臂)尚未完全关闭，下臂(或上臂)就已开启，结果就造成上、下臂短路而使功率晶体管烧毁。

当电机转动起来，控制部会再根据驱动器设定的速度及加/减速率所组成的命令(Command)与 hall-sensor 信号变化的速度加以比对(或由软件运算)再来决定由下一组(AH、BL 或 AH、CL 或 BH、CL 或.....)开关导通，以及导通时间长短。速度不够则开长，速度过头则减短，此部份工作就由 PWM 来完成。PWM 是决定电机转速快或慢的方式，如何产生这样的 PWM 才是要达到较精准速度控制的核心。高转速的速度控制必须考虑到系统的 CLOCK 分辨率是否足以掌握处理软件指令的时间，另外对于 hall-sensor 信号变化的资料存取方式也影响到处理器效能与判定正确性、实时性。至于低转速的速度控制尤其是低速起动则因为回传的 hall-sensor 信号变化变得更慢，怎样撷取信号方式、处理时机以及根据电机特性适当配置控制参数值就显得非常重要。或者速度回传改变以 encoder 变化为参考，使信号分辨率增加以期得到更佳的控制。电机能够运转顺畅而且响应良好，P.I.D.控制的恰当与否也无法忽视。之前提到直流无刷电机是闭回路控制，因此回授信号就等于是告诉控制部现在电机转速距离目标速度还差多少，这就是误差(Error)。知道了误差自然就要补偿，方式有传统的工程控制如 P.I.D.控制。但控制的状态及环境其实是复杂多变的，若要控制的坚固耐用则要考虑的因素恐怕不是传统的工程控制能完全掌握，所以模糊控制、专家系统及神经网络也将被纳入成为智能型 P.I.D.控制的重要理论。

直流无刷电机的应用

近三十年来针对异步电动机变频调速的研究，归根到底是在寻找控制异步电动机转矩的方法，稀土永磁无刷直流电动机必将以其宽调速、小体积、高效率和稳态转速误差小等特点在调速领域显现优势。

无刷直流电机因为具有直流有刷电机的特性,同时也是频率变化的装置,所以又名直流变频,国际通用名词为 BLDC.无刷直流电机的运转效率,低速转矩,转速精度等都比任何控制技术的变频器还要好,所以值得业界关注.本产品已经生产超过 55kW,可设计到 400kW,可以解决产业界节电与高性能驱动的需求。

汽车无刷直流电机应用的电子控制

机械动力汽车系统正逐渐被采用电动电机技术的系统所取代。目前，有越来越多的半导体产品用在汽车中，其中的部分原因是因为汽车系统开发人员期望利用电子电机控制来满足消费者对更加安全有效的汽车的要求。对于诸如燃油泵、水泵、冷却风扇和步进电机