

永磁无刷直流电机控制与无刷直流电机控制的比对

雷跃荣

(四川理工学院电子与信息工程系, 自贡, 643000)

[摘要] 首先对无刷直流电机的工作原理和它在应用中的优缺点进行了阐述, 又对永磁无刷直流电机的工作原理和它在应用中的优缺点进行了阐述, 通过比对研究加深对它们的理解。

[关键词] 永磁无刷直流电机控制 无刷直流电机控制 对比研究

中图分类号: TM3 文献标识码: A

无刷直流电机发展至今已有40多年的历史了, 它首先被应用于军事领域, 由于其独特的魅力, 因此, 从它一出现就吸引着民用领域的注意, 但是它真正得到普及应用, 在国外一些国家始于80年代中期, 在我国要晚一些。其中永磁材料是无刷直流电机中使用的关键材料之一, 它的使用直接影响电机的性能与成本[1], 也使得它的优良性能得到充分的发挥, 例如, TYWZ稀土永磁无刷直流电机以高性能稀土永磁材料作转子材料, 以位置传感器取代碳刷换向器, 以电子控制线路实现电子换向。它保留了传统直流电机的所有优点, 同时又克服了碳刷、滑环结构复杂和故障率高的缺点。而目前又在研制磁性能、温度特性和防蚀性能等更好的、价格更便宜的稀土永磁材料, 这将使无刷直流电机在民用领域的应用越来越广泛。目前无刷直流电机在国外的应用已形成了产业化、多样化、多功能、智能化和普及化, 这主要表现在 国外小功率的无刷直流电机产品在信息处理器中占主导地位 工业自动化领域中已应用了几百瓦至几千瓦的无刷直流电机, 目前国外热门的电动车的主轴驱动, 大多数也首选无刷直流电机, 因为其功率在几百瓦至几千瓦[2]。

相比之下, 永磁无刷直流电机具有效率高, 功率密度大, 功率因数高, 体积小, 控制精度高等明显特点“所以从上世纪70年代末开始引起了从事电机及其驱动系统技术学者的重视, 其控制结构已经有很多形式, ”近年来国内外学者主要集中于对永磁电机的转矩波动及其控制问题进行研究“例如, 以单片机为核心的数字控制电路调速控制能力增强, [3]原来只能实现系统的外环数字控制, 现在通过DSP则可以实现全数字化的控制”, 可使用TMS320F2407A建立数字控制器[4, 5], 它不但集成了电机控制的外围器件, 而且具有很强的计算能力。

一、无刷直流电机

1. 无刷直流电机的工作原理

无刷直流电机是同步电机的一种, 无刷直流电机包含两个同轴的磁性电枢: 外部电枢, 即固定的定子, 定子是电机的引导部分; 内部电枢, 即可动的转子, 转子是电机的感应部分。无刷直流电机内部电枢的转子是一个永磁体, 这个电枢由恒流源供电, 而定子可以有多相, 电机是通过转子位置传感器控制逆变器的触发信号来实现同步的。逆变器响应触发信号使电流以一定的顺序流过定子绕组。而且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)影响关系为 $N=120 \cdot f / P$ 。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。我们可以把无刷直流电机看成是将同步电机加上电子式的控制, 即驱动器, 这样可以控制定子旋转磁场的频率并将电机转子的转速回传至控制中心反复校正, 以期达到接近直流电机特性。无刷直流驱动器包括电源部及控制部 电源部提供三相电源给电机, 控制部则按需求转换输入电源的频率, 以及提

供脉冲宽度调制来决定功率晶体管开关频率及换流器换相。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), 如果输入的是交流电就得先经转换器转成直流。不论输入的是直流电还是交流电, 要转入电机线圈前须先将直流电压经换流器转成三相电压来驱动电机。换流器一般由6个功率晶体管构成, 分为上臂(T1, T2, T3)和下臂(T3, T4, T5), 连接电机作为控制流经电机线圈的开关, 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(或逆时)转动。当电机转子转动到感应出另一组信号的位置时, 控制部又开启下一组功率晶体管, 如此循环电机就可以沿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, 要电机转子反向则功率晶体管开启顺序相反。无刷直流电机一般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控制中, 所以电机内部装有能感应磁场的霍尔传感器, 做为速度的闭回路控制, 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。

2. 实例 三相半波无刷直流电机

图1是一个基本三相半波无刷直流电机及其电子控制器电路。三相定子绕组是星形联接的, 中性点与电源的正极性端连接。晶体管TR1, TR2, TR3流过受转子位置传感器控制的基极驱。动信号控制的单向电流。假设电路中流过的电流较小, 在晶体管关断时, 由绕组产生的感应能量不会损坏管子, 电路中没有接续流二极管。

图2是各相理想静态转矩-角度特性。这些梯形的转矩函数有一个120°的平顶区, 产生有用的轴转矩。如果在电机的各相中, 以每120°不变正转矩的间隔, 供给恒定的电流, 电机产生的稳定正转矩和轴的位置是互相独立的。有关晶体管或相中流过的电流也在图2中给出。每相电流导通120°的电角度, 电流幅值为1, 得到电机转矩为:

$$T=KI$$

式中T为转矩, K为转矩常数。当晶体管的导通间隔向后延迟180°的电角度时, 转矩将改变方向, 而电流的方向不改变, 每相导通为120°电角度。

图1三相半波电路结构适合于功率从几瓦到100瓦的小型无刷直流电机。小型无刷直流电机主要应用于录像机的转盘驱动, 计算机硬盘的芯轴驱动, 以及各种低值仪器和计算机外部设备。

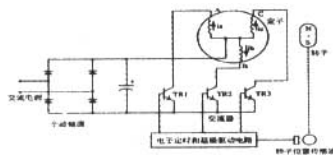


图1 三相半波无刷直流电机电路

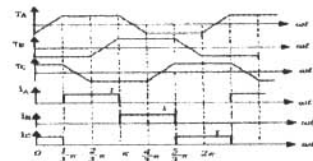


图2 三相半波无刷直流电机转矩特性和电流波形

3. 无刷直流电机的可靠性预计

由于无刷直流电机的失效主要表现为绕组失效、轴承失效和驱动控制线路失效三个方面,且可靠性模型为串联模型。根据电机设计的不同阶段,可以采用不同的可靠性预计方法:(1)在研究和方案设计阶段采用相似设备法(2)在设计阶段采用元器件计数法(3)在详细设计阶段采用应力分析法。其中元器件计数法用于无刷直流电机设计的早期阶段[6],这时电机的结构、元器件数都已确定,但元器件和部件的工作仍不确定[7]。

4. 无刷直流电机在应用中的优缺点

普通直流电机在使用中有很大的缺点,如结构复杂、换相器及电刷易损坏、维护维修困难、重量大等。随着科技的发展进步,目前,无刷直流电机正在得到越来越多的推广和使用,与普通直流电机相比,它具有快速性、可控性、高效率、低噪声、无干扰、耐环境、长寿命和高可靠等方面的优点,这是由于它用电子换相器取代了普通直流电机电刷和换相器的机械换相,而且拥有普通直流电机的控制性能和调速性能,没有了由于机械换相带来的诸多限制。因此,它优良的控制性能和调速性能,如响应快速、有较大的起动转矩、从零转速至额定转速具备可提供额定转矩等性能,这是它一直受到重用的主要原因。但是,这些优点由于某些原因也成了它的缺点,由于直流电机要保持额定负载下产生恒定转矩的性能,则电枢磁场与转子磁场须一直维持 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要用复杂控制技术才能达到。如今半导体发展迅速功率组件切换频率加快了许多,提升了驱动电机的性能,微处理机的速度也越来越快,可实现将交流电机控制置于一旋转的两轴直交坐标系中,适当控制交流电机在两轴的电流分量,达到类似直流电机控制并有与直流电机相当的性能。

无刷直流电机控制系统广泛应用于通信过程中,在恶劣的环境中,现场的各种干扰对控制系统及通讯网络的影响较大[8],上述方法可以在基本不降低通信效率、不显著增加DSP处理时间的同时,有效的提高系统的可靠性。其结果可以满足无刷直流电机DSP控制器与PC机通信的传输速率和可靠性的要求[9,10],保证了该控制系统在较强电磁干扰的情况下的动态性能。

二、永磁无刷直流电机

1. 永磁无刷直流电机的工作原理

永磁无刷直流电机是用电子换相替代电刷换相的一种新型直流电机。它由驱动器和电机主体组成[11]。如图3,驱动器由功率电子器件和集成电路等构成,其功能是接受电机的启动、停止、制动信号,以控制电机的启动、停止和制动 接受位置传感器信号和正/反转信号,用来控制逆变桥各功率管的通断,产生连续转矩 接受速度指令和速度反馈信号,用来控制和调整转速,提供保护和显示等等。电机主体是一个典型的电压型交-直-交电路,逆变器提供等幅等频5-26KHZ调制波的对称交变矩形波。通过永磁体N-S交替变换,使位置传感器产生相位差 120° 的U、V、W方波,结合正/反转信号产生有效的六种状态编码信号:101、100、110、010、011、001,通过逻辑组件处理产生T1-T4导通、T1-T6导通、T3-T6导通、T3-T2导通、T5-T2导通、T5-T4导通,这样转子每转过一对N-S极,T1-T6功率管即按固定组合成六种状态的依次导通。每种状态下,仅有两相绕组通电,依次改变一种状态,定子绕组产生的磁场轴线在空间转动 60° 电角度,转子跟随定子磁场转动相当于 60° 电角度空间位置,转子在新位置上,使位置传感器U、V、W按约定产生一组新编码,新的编码又改变了功率管的导通组合,使定子绕组产生的磁场轴再前进 60° 电角度,如此循环,无刷直流电机将产生连续转矩,拖动负载作连续旋转[12]。

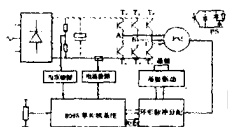


图3 永磁无刷直流电机及其控制系统原理

2. 永磁无刷直流电机在应用中的优缺点

永磁无刷直流电机具有结构简单、易维护、效率高、调速方便等优点,被广泛应用于工业、农业、国防和医疗器械等诸多方面。尤其是无位置传感器永磁无刷直流电机DSP控制器更由于其可靠性高、维护方便、抗干扰能力强,因此在恶劣环境(如潮湿、腐蚀、电磁干扰)和某些对系统要求较高(如机器人)的场合下得到应用[13]。在实际应用的控制中,一般通过采用较低的波特率来达到较低的电平变化频率,从而实现削弱干扰影响,减少通讯中的错误。但是同时较低的波特率会造成监测信号的采样时间较长,将影响系统整体的动态性能 而且,这种做法对于增加通信可靠性的效果也很有限。事实上,针对电机控制中通信的特点,采用适当的差错控制编码和差错控制方式,同样可以达到降低误码率、提高波特率和通讯可靠性。

另外,由于永磁无刷直流电机广泛应用于计算机外围设备、家用电器、伺服控制等领域,因此对电机在转矩波动和振动噪声方面提出了十分苛刻的要求。引起振动噪声的一个重要因素是电机的转矩波动,产生转矩波动的主要原因有:① 电磁转矩波动;② 定转子齿槽定位转矩;③ 绕组换相引起的转矩波动。可见,想改善永磁无刷直流电机的性能可以从电机的转矩波动入手。

结束语:通过以上对无刷直流电机和永磁无刷直流电机的介绍,加深了我们对无刷直流电机的理解。

参考文献:

- [1] 夏长亮,文德,王娟.基于自适应人工神经网络的无刷直流电机换相转矩波动抑制新方法[J].中国电机工程学报,2002,22(1):54-58.
- [2] 夏长亮,杨晓军,史娜娜,等.基于鲁棒调节器的无刷直流电机速度控制研究[J].电工电能新技术,2002,21(3):5-8.
- [3] 李颖宏.单片机在直流无刷电机驱动器中的应用[J].中国仪器仪表,2001,(4):35-36.
- [4] 陈明意.基于DSP方波无刷直流电动机控制系统[J].武汉工业学院学报,2003,(12):12-14.
- [5] 任海鹏.DSP在无刷直流电动机伺服系统中的应用[J].微电机,2000,(2):32-33. 5无刷直流电机可靠性预计.
- [6] 丁志刚.无刷直流电动机的研究和开发进展[J].微电机2000:23-24.
- [7] 谢世杰.数字PID算法在无刷直流电机控制器中的应用[J].现代电力电子技术,2004,(2):59-61.
- [8] 沈建新,罗佳,陈永校.无传感器无刷直流电机位置误差的分析与补偿[J].微特电机,1999(5):3-5.
- [9] 邹熙,陈静薇.应用串行通讯实现基于DSP的电机驱动系统的监控[J].电工电能新技术,2000,19(4):49-53.
- [10] 刘明基,王强,邹继斌等.高速无刷直流电机稳速系统中的速度检测[J].微特电机,1998,26(4):21-23.
- [11] 陈峻峰.永磁电机[M].北京:机械工业出版社1982 56-58.
- [12] 张春喜.永磁电动机的控制技术[J].电机与控制学报,2004,8(1):30-34.
- [13] 汪锐.基于DSP芯片的永磁无刷直流电机控制器[J].微电机,2000,(4):27-29.

作者介绍:雷跃荣(1964-)男 实验师,大专,1986年毕业于四川大学,主要从事电子技术实验工作