

矢量控制和直接转矩控制浅析

何山

北京金自天正智能控制股份有限公司

[摘要] 矢量控制和直接转矩控制是当前交流变频调速系统中两种主流的控制方式, 在工程实践中都得到了广泛的推广应用, 本文针对两者的优缺点及应用特色, 在转矩响应和稳态特性等方面进行了比较和阐述, 以供参考和讨论。

[关键词] 矢量控制; 直接转矩控制; 变频器; 转矩响应; 稳态特性

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-627X.2021.09.1921

引言

20世纪70年代德国西门子公司Blaschke等人发明了交流电机矢量控制(Vector Control, 简称VC)原理, 1985年德国鲁尔大学M. Depenbrock教授等人最先提出了直接转矩控制(Direct Torque Control, 简称DTC)原理。矢量控制和直接转矩控制是当前交流变频调速系统中两种主流的控制方式, 它们各自的优缺点和特色适应了不同的应用场合, 在工业领域中得到了越来越广泛的推广应用, 经过几十年的产品研发完善和工程实践, VC和DTC两种控制方式取长补短, 都已经在大功率交流调速领域中取得了显著地位。

1 市场背景

随着电力电子技术、微电子技术和现代控制理论的快速发展, 在大功率调速领域中交流调速系统已经成为主流, 以冶金轧钢机为典型代表的大功率交流调速系统要求具有更快的动态响应和更高的过载能力, 矢量控制和直接转矩控制之间的技术竞争和讨论愈演愈烈。20世纪90年代, 瑞士ABB公司开始了DTC的研究, 并把其首先应用到通用变频器产品上, 陆续推出了采用DTC的ACS系列工程型变频器产品; 西门子公司做为VC的发明者, 一如既往的坚持着VC的研究开发和应用。

对于交流调速系统来说, 用户最关心的是电机的速度控制精度和转矩脉动情况, 虽然DTC系统在转矩动态响应方面明显优于VC系统, 但是VC系统的动态响应已经满足了绝大多数的应用场合, 在交流电机变频调速装置中大多数采用了VC系统。

2 技术性能比较

正确评价和认识矢量控制与直接转矩控制, 需要从这两种不同技术流派各自的优缺点、技术性能、应用现状和应用场合等方面出发, 在一个客观公正的背景环境下互相的取长补短和相互融合, 才能有效促进交流调速控制理论与应用技术的进一步发展。

2.1 控制方式和转矩响应

交流电机要求具备快速的转矩响应, 必须实现电流的快速变化, 而电流的变化是由电压的快速变化来决定的。在交流调速系统中, DTC系统动态转矩响应要比VC系统快的多, DTC系统的转矩响应5ms左右, 最快可以达到1ms, 而VC系统的转矩响应10ms左右。

VC主要是通过旋转坐标变换, 按照转子磁链定向控制方式把交流电机等效成直流电机, 实现定子电流转矩分量与磁链分量的解耦并分别加以控制, 获得较宽的调速范围, 但是VC系统的输出电压由电流调节器的输出产生, 系统中存在电流调节的时间滞后。而与VC不同, DTC不需要旋转坐标变换, 通过电机的电压和电流计算出定子磁链和转矩, 在静止坐标系中采用转矩和定子磁链的砰-砰控制, 系统中没有电流控制环路, 砰-砰控制产生的输出电压没有电流限制, 电机可以获得较大的 du/dt 和加速电流从而实现更快的转矩响应。但是, DTC系统中当电机在弱磁范围内运行时, 电机电压没有更多的裕度空间, 为保护设备安全需要对电流加以限制; 为了减少砰-砰控制较大输出电压有 du/dt 对电机绝缘的不利影响, 需要在变频器输出

侧配置滤波器, 增加了线路电感, 所以, 在实际应用中DTC系统的转矩响应也就没有1ms那么高了。

2.2 稳态特性

DTC系统的稳态速度精度和低频脉动要比VC系统差, 这主要是由于DTC无法象VC那样, 在确定的开关频率条件下采用消除谐波的PWM控制方法。由于输出电压开关频率的不确定性带来不良影响, DTC系统低速性能差, 低频时的转矩脉动和电机噪音比较大, 在矿井提升这种带载零速启动的应用场景中体现的更为明显, 同时DTC变频器的输出谐波较大需要配置输出滤波器, 在相同功率器件情况下DTC变频器效率略低、输出容量略小, 例如西门子的SM150变频器和ABB公司的ACS6000变频器, 同样都采用4kA/4.5kV等级IGCT器件的三电平中压变频器, 西门子SM150变频器的标称容量为10MVA, 而ABB公司的ACS6000变频器的标称容量为9MVA。

VC系统按照转子磁链定向的控制模式容易受到电机转子参数变化的影响, 降低了系统鲁棒性, 而DTC系统控制的是定子磁链而不是转子磁链, 不受转子参数变化的影响, 系统鲁棒性好。

2.3 无速度传感器控制

无速度传感器控制以及零速时满负荷输出的技术特点是DTC和VC系统共同面对的理论控制研究课题。为了改善系统的低速性能, DTC变频器采用低速范围内依靠电机模型计算转子磁链来进行相应补偿, 在高速范围内切换到DTC, 也就是说DTC系统的低速特性改善是借助于VC来实现的。

矢量控制系统和直接转矩控制系统都是高性能的交流调速系统, 由于各自的优缺点和特色又有不同的侧重, VC系统更适用于要求低频特性好、速度精度高、调速范围宽和转矩响应要求并不苛刻的应用场合, 而DTC系统更适用于要求转矩响应要求高和速度精度一般的应用场合。

3 结语

矢量控制和直接转矩控制做为当前交流变频调速系统中最重要两种控制方式, 在工程实践中都得到了广泛的推广应用, 本文通过直接转矩控制与矢量控制的比较和阐述, 清楚认识两者在技术特点和优缺点等方面的区别, 希望对于进一步改进和完善对于不同场合工程应用中的系统鲁棒性、快速性和高精度的需要, 促进我国交流调速技术的理论发展和工程实用技术的推广做出一定的贡献。

参考文献

- [1] 马小亮. 对异步机矢量控制和直接转矩控制的思考[J]. 电力电子, 2004(1): 4.
- [2] 黄立培, 孙凯. 关于矢量控制与直接转矩控制比较的一些思考[J]. 电力电子, 2004, 2(2): 4.

作者简介:

何山(1975.10—), 男, 河北省井陘县, 汉族, 学士(1997年毕业于中南工业大学工业自动化专业), 高级工程师, 主要从事大功率交流调速传动系统的应用研究和工程应用。