

纯电动汽车驱动电机应用概述

郑金凤 胡冰乐 张翔

(福建农林大学机电工程学院, 福建 福州 350002)

摘 要: 介绍了目前纯电动汽车的发展状况, 叙述了纯电动汽车驱动电机不同类型的特点及相关的控制方法。还介绍了一些目前应用比较广泛的驱动电机控制方法的主要内容及其所解决的相关问题。

关键词: 纯电动汽车 驱动电机 矢量控制 直接转矩控制

中图分类号: TP202 **文献标识码:** A

Driving Motor for Electric Vehicles Application Overview

Zheng Jinfeng Hu Bingle Zhang Xiang

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: the current state of development of electric vehicles and features of the electric vehicles are described. Otherwise, driving motors and its control methods are narrated. Also major contents of some driving motor control methods applied extensively at present and its related issues are discussed.

Key words: Electric vehicle, Drive motor, Vector control, Direct Torque Control

引言

由于环境保护越来越受消费者和政府的重视, 以及能源价格的不断上涨, 使得世界的汽车制造商都纷纷加大开新能源汽车开发力度。在去年金融危机的影响下, 今年以来, 由于全球大多主流的汽车市场纷纷出现衰退, 尤其以美国和日本为代表的两大汽车市场出现了急剧下滑, 使得美国和日本汽车厂家不得不加速原本保守的计划, 从而重新刺激美国和日本等原有核心市场。而电动汽车以电能为能源, 具有零排放无污染的突出优点, 因此备受汽车界的推崇。在中国, 政府今年也不断的推出各种政策来促进纯电动汽车的发展。回顾一下国际上电动汽车的发展史, 连这次至少有四次, 世界汽车工业界要启动纯电动汽车, 但是前三次都失败了。前三次失败主要是因为电池。前三次基本上都是以铅酸电池为基础, 由于他的比能量和比价格都比较差, 所以没有得到推广。现在随着电池技术的不断发展, 使得纯电动汽车的推广得以实现。现在纯电动汽车主要采用的是锂电池, 锂电池的比能量是铅酸电池的八到十倍, 且质量轻。今年比亚迪、丰田、奇瑞等汽车公司都将推出各自的纯电动汽车。并且电动汽车将可能慢慢成为汽车发展的一种趋势和必然^[1, 2, 3]。

1 各种电动汽车驱动电机的性能^[4-11]

纯电动汽车关键的难点重点在于电池技术和驱动电机。电池技术已经在一定程度上得到了突破。下面主要讨论一下驱动电机的相关状况。

1.1 电动汽车驱动电机控制的关键问题

电动汽车是以车载电源为动力, 并采用电动机驱动的一种交通工具。电机及其驱动系统是电动汽车的核心部件之一, 由于电动汽车在运行过程中频繁起动和加减速操作, 对驱动系统的有着很高的要求。下面主要阐述控制过程中的一些关键问题:

(1) 用在电动汽车的电动机应具有瞬时功率大、过载能力强(过载 3~4 倍)、加速性能好, 使用寿命长的特点。

(2) 电动汽车用电动机调速范围应该宽广, 包括恒转矩区和恒功率区。要求在低速运行时可以输出大恒定转矩, 来适应快速起动、加速、负荷爬坡等要求; 高速时能够输出恒定功率, 能有较大的调速范围, 以适应平坦的路面、超车等高速行驶要求。

(3) 在汽车减速时,电动汽车用电动机应能够实现再生制动,将能量回收并反馈回电池,使得电动汽车具有最佳能量的利用率。

(4) 在整个运行范围内,电动汽车用电动机应使驱动系统效率达到最优化,以降低驱动系统损耗,提高一次充电的续驶里程。

(5) 要求电动汽车用电动机可靠性好,能够在较恶劣的环境下长期工作,结构简单适应大批量生产,运行时噪声低,使用维修方便,价格便宜,体积小、重量轻,省维护,抗震动等。

1.2 驱动电机的种类

电动汽车驱动系统研究的重点是各种类型的驱动电机及其控制,按电机的类型来划分,电驱动系统可分为直流驱动系统和交流驱动系统两大类。早期时由于直流电机控制比较简单,电动汽车多数采用直流电机。然而,目前随着现代交流调速技术的发展,其动态性能已经达到或者超过直流电机的水平,并且交流电机本身具有体积小、功率大、效率高、结构简单、易于维护等优点。由于交流电机没有了电刷和滑环等,克服了直流电机因换向器带来的缺点,因此交流驱动系统将逐渐成为电动汽车的主流驱动系统。在交流驱动中,驱动电机主要采用异步电机、永磁同步电机(包括无刷直流电机)以及开关磁阻电机。

1.3 直流有刷电动机

早期时,直流电机控制方法和结构简单,只需要用电压控制,不需检测磁极位置,并且小容量系统造价低,技术也成熟,它所拥有电磁转矩控制特性是交流电动机所不可比拟的,因此电动汽车广泛的采用直流电机;但是直流电动机价格高、体积和质量大,在电动汽车上的应用受到了限制,目前电动汽车已经很少应用了,但是仍然有一些电动汽车采用有刷直流电动机驱动系统。如日本东京大学的 UOT 电动汽车采用直流串励电动机,意大利菲亚特公司的 900E/E2 电动汽车用直流他励电动机驱动,日本马自达汽车公司的 BANGO 电动汽车则采用直流并励电动机

1.4 交流感应电动机(三相异步电机)

三相异步电机转子结构简单,与定子无直接接触部件,运行可靠,转速高,成本低,在蓄电池供电的条件下,可以实现四象限运行,所以目前在电动汽车中交流异步电机应用较多。美国制造的电动汽车普遍采用感应电动机驱动,如 Chrysler 公司生产的 Epic Van; Ford 公司生产的 Ranger EV,通用汽车公司生产的 IMPACT 和 EVI 电动汽车。国内也采用感应电动机作为电动汽车的驱动电机也比较多,如胜利 SL6700DD 电动客车,郑州华联 ZK6820HG-1 电动轻型客车。电动汽车用感应电动机系统的研究重点主要是控制方面,其控制方法有矢量控制、模糊逻辑控制、串联铁耗模型的矢量控制及最大效率控制等。

1.5 开关磁阻电动机

开关磁阻电机结构和控制简单、出力大,可靠性高,成本低,起动制动性能好,运行效率高,但电机噪声高,转矩脉动严重,非线性严重,在电动汽车驱动中有利有弊,目前电动汽车应用较少。它的主要研究方向是模型研究。

1.6 无刷直流电动机及永磁同步电机

永磁同步电机体积小、重量轻、功率密度大、低速输出转矩大,精度高、效率高、噪声小、维护简单的优点。因此在各个国家都有应用。但是他在高速运行时比异步电机复杂,需要检测转子磁极位置,另外永磁体还有退磁问题,造价也较高。主要研究重点是位置检测、换向和控制,可以表现为以下几方面:换向逻辑的分析和确定、脉动转矩的削弱、无位置传感系统、新型控制策略。控制策略的研究包括变结构控制、模糊控制与 PID 控制相结合的控制,以及各种全局优化的方法与模糊控制方法的结合。

2 驱动电机的控制策略简述^[12-20]

一种良好的电机设计必须与合理的控制策略相配合,才能使电机发挥出其优良的性能。下面主要讨论交流驱动电机。

对于永磁同步电机,主要考虑的是在不同的供电场合下永磁同步电机极数怎么选择,外转子直接驱动永磁同步电机减少转矩脉动的磁极形状怎么优化,还有一些磁饱和影响的问题。其控制策略有矢量控制、直接转矩控制、内模控制、自适应滑模控制、新型鲁棒性动态偏转矩控制及神经网络控制等。

应用于异步电动机控制技术主要有三种:V/F 控制、转差频率控制、矢量控制、直接转矩控制(DTC)。二十世纪九十年代以前控制方式主要是 V/F 控制和转差频率控制,但这两种控制技术因转速控制范围小,转矩特性不理想,对于需频繁起动、加减速的电动车不太适宜。矢量控制方法,也称磁场定向控制,实现了异步电机的转矩和磁场的解耦控制,使得异步电动机的控制运行既能保持稳态精度又具有很好的动态性能。近几年来,在国内,矢量控制技术在研制的电动汽车感应电动机控制系统中正逐渐的推广。下面着重叙述几种近年来比较受关注的几种控制方法的特点及到目前为止的应用现状。

2.1 矢量控制

现在使用的矢量控制系统,分为有传感器和无传感器的矢量控制方法。有传感器的成本比较高,对安装精度要求也很高,与电机本身参数关系密切,有些问题难以解决;在高温高湿的情况下,他的输出精度会受到影响,其信号线也容易受到电磁干扰。在电动汽车中,使用速度传感器的速度反馈成为不可靠环节。所以,在电动汽车中使用无速度传感器交流电机控制系统成为研究的热点,它的优点主要有:增加可靠性、降低硬件成本、减少接线同时还可以减小电动机。然而,实际系统中,由于其转子磁链难以准确观测,以及矢量旋转变换的复杂性,使得实际的控制效果不如理论分析的好。这是矢量控制技术在实践上的不足之处,而且交流传动领域的专家学者也都针对矢量控制上的缺陷做过许多研究,诸如由于在矢量控制中进行了参数辨识以及使用状态观测器等现代控制理论,这些方案的引入使系统更加复杂,使控制的实时性和可靠性降低。正是由于矢量控制方案的复杂性,所以要使用高级的核心控制芯片来实现矢量控制算法,目前随着各种高级核心芯片性价比的不断提高,矢量控制的应用也将越来越广泛。

2.2 直接转矩控制

近年来继矢量控制变频调速技术之后,直接转矩控制也慢慢发展成为一种新型的具有高性能的交流变频调速技术。1985 年德国鲁尔大学 Depenbrock 教授首次提出了直接转矩控制的理论,接着 1987 年把它推广到弱磁调速范围。它的控制方式主要有两种。其一是使定子磁链依照正六边形轨迹运动,由于正六边形的六条边分别与六个非零电压空间矢量对应,因此可以通过三个施密特触发器来简单切换逆变器的六个工作状态,直接通过六个非零电压空间矢量实现磁链轨迹控制。与其它方式相比,它的主要优点是控制方式结构简单,容易实现,在输出同样的频率时元器件开关次数最少,开关损耗也小,因而广泛应用于要求元器件开关频率不能太高的大功率场合得到。其缺点是由于在这种方法中定子磁链是按照六边形轨迹运动的,故电压、电流波形畸变比较严重,低速时转矩脉动较大,会在一定程度上限制直接转矩控制的性能发挥。其二是由日本学者 Takahashi 提出的,是一种定子磁链运动轨迹近似为圆形的控制方案。这种方法通过实时计算电机转矩和磁链的误差,结合电机定子磁链的空间位置来选择相应的开关矢量。由于磁链运动轨迹近似为圆形,电压、电流中的谐波含量在一定程度上减少了,但控制系统显得复杂一些,这种控制方式能充分发挥新型电力电子器件的开关频率优势,因而在中小功率场合获得广泛应用。

直接转矩控制方案经过近二十年的发展,各方面性能都在不断提高,并已进入到实用阶段,国外目前已成功应用于大功率高速电力机车、地铁和城市有轨电车等主传动系统中。其中穿越英吉利海峡的高速列车采用的就是直接转矩控制系统。德国和日本在这方面的研究居于领先地位。但是直接转矩控制作为一种诞生不久的新理论、新技术,又有其不完善、不成熟之处,有些问题甚至成为它发展难以逾越的障碍。正是由于以上原因,直接转矩控制技术成为当今世界范围内交流调速控制技术研究的重点。下面介绍直接转矩控制技术的几个研究热点问题。

3 国内电动汽车驱动电机研究状况

在国内,有学者通过 SVPWM 过调制策略提高了电机在弱磁运行区域的定子电压、输出转矩和功率,

消除过调制引起的逆变器输出电压控制规律非线性影响。另外对基于转子磁场定向的电动汽车无速度传感器矢量控制系统进行了研究,强调了电动汽车对电机控制系统的一些特殊要求及磁链估计模型的重要性。还有通过异步电动机矢量控制和模糊 PID 控制器地基础上建立了电动汽车用异步电动机模糊矢量控制系统的仿真模型,基于电流偏差的解耦控制方法,有效提高了解耦控制的参数鲁棒性,保证了电流调节器在宽调速的性能。

另外以永磁同步电机为研究对象,通过模糊控制实时性好和预测控制的优点的结合,构造了模糊预测协调控制器,提高了控制系统的性能,并且一种基于模糊规则进行切换的控制规则,可以很好的解决了两种控制在切换时发生的扰动的问题。另一种是鲁棒性控制方法。在电流环,基于内模控制,设计了电流解耦控制器,改善了电流环性能,并且控制只有一个可调参数,简化了设计。在速度环采用鲁棒性控制方法,在所有的鲁棒控制方案中,这种基于直接扰动消除的方法是一种简单而且实用的方法。国内通过这些年的发展,已经解决了一些电动汽车驱动电机上问题。

4 结束语

近年来,电动汽车一直备受人们的关注,又由于在金融危机的背景下,汽车制造商加大了对电动汽车的投资开发力度,同时政府也出台相关政策鼓励人们购买这种属于新能源汽车的电动汽车,准备建立各种电动汽车相应的设施,这将很大程度的促进电动汽车的发展。而其驱动电机作为其核心部件,也将成为研究的重点。对于电动汽车,要求驱动电机要有优秀的机械综合特性。虽然目前驱动电机实际应用中还存在一些问题,但是市场上已经有相关的成功产品。并且在不久的将来,这些现存的一些问题也将可以不断的得以解决。

参考文献:

- [1] 陈清泉,詹宜君. 21世纪绿色交通工具—电动汽车[M]. 北京:清华大学出版社, 2001.
- [2] 房筱莉. 电动汽车发展动态[J]. 东北汽车运输, 2002 (1): 22-23.
- [3] 陈清泉,孙逢春,祝嘉光. 现代电动汽车技术[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2002.
- [4] 闯大伟,陈世元. 电动汽车驱动电机性能比较[J]. 汽车电器, 2004, (2).
- [5] 万沛霖. 电动汽车的关键技术[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1998.
- [6] 冯垛生,曾岳南. 无速度传感器矢量控制原理与实践[M]. 北京:机械工业出版社, 2001.
- [7] 王鑫,孙昌国. 基于模糊智能协调的永磁同步电机控制策略的研究[J]. 电气传动, 2007 (10).
- [8] 刘莉,王先进,全书海. 基于DSP的电动汽车驱动系统直接转矩控制器的研究[J]. 自动化技术与应用, 2005 (5).
- [9] 张文娟,李朗如. 电动汽车用永磁无刷直流电机的有限元分析[J]. 微电机, 2002, 35 (5): 7-10.
- [10] 王颖,王靖. 电动汽车电子驱动系统综述[J]. 电工技术杂志, 1998, 17(4): 8-12.
- [11] 梁振鸿. PWM过调制技术在电动汽车用永磁同步电机控制中的应用[D]. 北京:中国科学院电工研究所, 2007.
- [12] 王文森,李永东,王光辉等. 基于PI自适应法的无速度传感器异步电动机矢量控制系统[J]. 电工技术学报, 2002, 17(1): 1~6.
- [13] 刘莉,王先进,全书海. 基于DSP的电动汽车驱动系统直接转矩控制器的研究[J]. 自动化技术与应用, 2005, 24(5): 36-39.
- [14] 姜卫东,王群京等. 无刷直流电机神经网络控制器的仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(3): 1453-1456.
- [15] 王群京,姜卫东等. 基于小波分析的无刷直流电机PWM生成技术的研究[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(8): 1857-1860.
- [16] 邹熙. 电动汽车用永磁同步电机矢量控制研究[D]. 北京:中国科学院电工研究所, 2000.
- [17] 王俊. 电动汽车电气动力系统控制及效率研究[D]. 北京:中国科学院电工研究所, 2000.
- [18] 陈书锦,李华德,马保柱,冉正云. 电动汽车驱动系统广义预测控制[J]. 电机与控制学报, 2006, 10(6): 558-561.
- [19] 陈书锦,李华德,马保柱. 永磁同步电动机无速度传感器研究[J]. 煤矿机械, 2006(1): 23-26.
- [20] 李志强,钟勇. 纯电动汽车交流异步电机及整车总成控制器的开发技术研究[D]. 长沙:湖南大学, 2007.

作者简介: 郑金凤(1987年—),男,研究方向:机械设计及理论。

通讯作者: 张翔,博士,教授,福建农林大学硕士生导师。