

电动车电机驱动控制技术的研 究现状及其发展趋势

杨国良

(燕山大学, 电气工程学院 电力工程系, 河北 秦皇岛 066004)

摘 要: 当今世界上节能和环保日益受到重视, 因此电动车技术的发展步伐正在加快。本文综合评述了电动车的关键技术——电机驱动技术, 并对未来的发展趋势作了展望。

关键词: 电动车; 电机; 驱动

中图分类号: X37

文献标识码: B

文章编号: 1006-7167(2005)11-0019-04

Study Status and Development Trend of Electric Vehicle Control Technology of Motor Driving

YANG Guo-liang

(Dept. of Elec. Power Eng., School of Elec. Eng., Yanshan Univ., Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: The development of the technology for electric vehicle is speeding up, as more attentions have been paid to the world energy saving and environment protection. This article described the key technology to electric vehicle—the motor driving control system, and made a prospect for the future technology.

Key words: electric vehicle; motor; driving

1 引 言

电动汽车是二十一世纪的绿色交通工具, 是当前国际上正在进行研究的一项高新技术。它集光、电、化各学科领域的最新技术于一体, 是车辆、电力拖动、功率电子、智能控制、化学电源、计算机、新能源、新材料等工程技术的集成产物。它以电力为动力解除了人们对石油资源日渐枯竭的担心; 作为清洁、节能的新型交通工具电动车可以做到“零排放”, 它在行驶过程中没有污染, 热辐射低, 噪音小, 不消耗汽油, 可应用多种能源, 结构简单, 使用维修方便, 因此受到广泛的欢迎。高效率、高性能电机驱动技术是其关键技术之一, 就各种不同的电机驱动, 作概略的回顾和展望。

2 电动车电机驱动系统

目前, 在电动汽车上有望采用的有交流异步电机驱动系统、无刷直流电机驱动系统、开关磁阻电机驱动系统和多态电机驱动系统等 4 种。

2.1 交流异步电机驱动系统

交流异步电机驱动系统由交流异步电动机、驱动控制器和速度传感器等组成。交流异步电动机的转子为笼型结构, 定子嵌有三相绕组。这种结构简单牢固, 适于高速旋转, 免维护, 成本低。三相异步电动机的电磁转矩:

$$T_D = C_m \phi_m I_2 \cos \alpha_2 \quad (1)$$

(1) 式形式上与直流电动机有共同之处, 式中 I_2 为转子折算电流; $\cos \alpha_2$ 为转子功率因数。由此可见, 要控制异步电动机的转矩就应对气隙磁通 ϕ_m 、转子电流和功率因数这 3 个物理量进行控制。要控制转子电流和功率因数不是一件容易的事, 一是转子电流是由感应产生的; 二是转子功率因数既是转子参数的函数, 同时它们都是转差率的函数; 产生气隙磁通的励磁电流分量和转矩电流分量都是定子电流的一部分, 很难将两者分开。所以, 异步电动机的转矩控制要比直流电动机困难得多。

正因为如此, 异步电动机的调速控制: 一是采用变频调速控制; 二是采用矢量控制。前者控制器结构简单, 成本低, 但控制精度低, 动态响应差; 后者控制器结构复杂, 成本高, 但控制精度高, 转速控制范围广, 动态性能好, 应用最普及。

收稿日期: 2005-03-11

作者简介: 杨国良(1973 -)男, 吉林公主岭人, 实验师硕士研究生, 研究方向交直流传动和电机控制。E-mail: y99ygl@yahoo.com.cn; Tel: 0335-805795

变频调速控制有恒压频比变频调速控制(包括恒磁通和恒功率控制)和转速闭环转差频率调速控制。

矢量控制就是要通过坐标变换这一新型控制思想和控制结构(即三相至二相坐标变换、旋转坐标变换和直角坐标(极坐标变换)将异步电动机模拟成直流电动机进行控制,使异步电动机得到与直流电动机一样优良的调速性能。

异步电动机矢量控制主要有转差频率矢量控制、矢量控制、直接转矩控制、最大效率与最佳转矩综合控制等。

转差频率矢量控制是直接利用直流电机模型的数学关系来求得转差频率和转矩角,从而确定定子合成磁势的大小和空间位置。

转差频率矢量控制的优点是:不经坐标变换,控制结构简单,但由于计算 ω 时与转子时间常数 T_2 有关,故受电机参数的影响比较大。 R_2 数值要随电机温度变化而变化; L_2 要受电机饱和的影响,所以 ω 值不准,将导致定子磁势的空间位置不准,这样矢量控制就失去了意义。

矢量控制指的是转子磁链定向的矢量控制。其基本思路是将三相异步电动机的电压、电流量经坐标变换后变成等效直流电动机的磁通和电流量,对磁通和电流进行闭环控制,将控制后的输出量再反变换到三相异步电动机进行控制。

矢量控制比较复杂,且转子磁链的检测也较为困难,但由于有磁通观察和闭环控制,其控制性能达到了直流电动机的水平,转矩控制连续平滑,调速范围较宽。

直接转矩控制的思路是通过3/2相坐标变换直接计算出定子磁链和转矩,再通过直角坐标/极坐标变换,求得定子磁链的幅值和空间位置,并利用两个滞环比较器,通过调节定子磁链的空间位置,直接实现定子磁链和转矩的解耦控制。

直接转矩控制的优点是不经旋转坐标变换,转矩响应快,控制结构相对简单,且观察的是定子磁链,比观察转子磁链要容易,又不受转子参数变化的影响。缺点是由于定子磁链空间位置的检测是通过开关模块分区进行,因而转矩脉动大,调速范围也不够宽。

通常在传统控制中使系统效率最大的函数只能是在其运行的一点或一极小区域,但在电动汽车实际运行工况条件下,则要求在整个运行范围内每一个工作点都使系统效率最大。因此,要实现系统效率最大,必须在每一个工作点都有一个最佳转矩即最佳转子磁链与之相对应,所以异步电动机实施的是最大效率与最佳转矩综合控制。

但是,最大效率与最佳转矩综合控制是基于矢量控制来保证对转矩的控制的,所以,最大效率与最佳转矩综合控制是在跟踪转子磁链变化规律的基础上,以

矢量控制作内环,而以最大效率控制作外环的双闭环控制,既可实现效率的提高,又可对转矩实施准确、有效和灵活的控制。该系统效率高,动态调速性能好,但控制系统复杂,成本高。

以上异步电动机矢量控制方案,在实际应用中应根据需要和性价比实时地综合加以选择。

2.2 无刷直流电机驱动系统

无刷直流电动机由永磁同步电动机和转子位置传感器组成。永磁同步电动机结构简单,其中尤以外转子结构极具特色,将其嵌装在电动汽车车轮轮毂内,即可实现直接驱动——轮驱。轮驱要用多台电动机,但取消了传动系统部件,使整车结构大为简化,质量大为减轻,且无机械磨损和噪声,提高了车辆运行效率和使用效益,降低了成本,提高了可靠性。

无刷直流电动机与相同功率的其他类型电动机相比,体积小,质量轻,可以实现低速大转矩,高效,高速旋转,免维护。在质量、性能、价格等方面有相当明显的优势。

无刷直流电动机的电磁转矩,在每相绕组的感应电量大为减轻,且无机械磨损和噪声,提高了车辆运行效率和使用效益,降低了成本,提高了可靠性。

无刷直流电动机的电磁转矩,在每相绕组的感应电动势和电流同相位的情况下,其值等于

$$T_D = C_m \phi_m I_m \quad (2)$$

该式与直流电动机是相同的,因此调速控制较异步电动机要简单容易,是当前电动汽车领域应用最多的一种交流电机驱动系统。

为了控制和改变无刷直流电动机端电压的大小和波形,逆变器常采用单侧斩波 PWM 控制。

无刷直流电动机的三相绕组电流经处理后得到了反馈电流,该电流与给定电流进行比较经 PI 调节后输入 PWM 脉宽调制器,其输出信号与通过换向电路来的转子位置信号进行调制就可得到多路 PWM 驱动信号,用此信号控制逆变器桥臂一侧即可实现单侧斩波 PWM 控制。单侧斩波 PWM 控制,它比双侧斩波 PWM 控制有更高的效率和更小的电枢纹波电流,控制灵活,但其缺点是转矩脉动大和调速范围不广。

转矩脉动产生的原因主要有:高次谐波引起的转矩脉动;定子齿槽效应和磁场畸变引起的转矩脉动;由于电枢绕组电感的影响,由换相电流引起的转矩脉动等。目前,减小转矩脉动采取的措施有:从电机本体来看,对于方波电机定子采用集中式绕组;对于正弦波电机定子则采用分布式绕组,并在绕组连接上采用 Y-混合连接代替 Y 形连接,以大大减少高次谐波的影响,提高绕组利用率;另外采用永磁无刷无槽或轴向磁场无铁心无刷盘式电动机结构,以减少齿槽效应的影响也是一条途径;从逆变器来看,就是要求

其输出 PWM 脉宽调制信号要有高质量,使其输出波形满足需要的方波或正弦波;从控制电路入手,采用定频采样与重叠换相结合的电流感应控制以消除换相电流的影响。

无刷直流电动机在额定转速以下,可以实现恒转矩调速,但在额定转速以上时,必须采用弱磁扩速。在电机极数少(2P=6)的情况下,可通过改变逆变器的导通角来实现,使定子电流的相位提前,从而达到弱磁升速的目的,实现恒功率调速。

在电机极数多(2P=6)的情况下,用上述改变逆变器导通角造成大范围弱磁是不能实现的,这样就出现了具有励磁附加轴向磁场混合式永磁同步电动机。该电机的转子仍为永磁转子,但其定子分为两段,中间放一个励磁线圈,通入直流电流产生一个附加轴向磁场。根据需要可以增磁,使转矩增大,也可以是去磁以削弱永磁转子磁场,达到弱磁升速的目的。

2.3 开关磁阻电机驱动系统

开关磁阻电机驱动系统由开关磁阻电动机、转子位置传感器和驱动控制器三部分组成。开关磁阻电动机系双凸(定、转子)结构。该电机结构最简单坚固,适于高速旋转,免维护,成本低,所以备受人们的重视。

开关磁阻电动机的电磁转矩

$$T_b = \frac{1}{2} I_N^2 \frac{dL}{d} \quad (3)$$

其值正比于电流 I_N 的平方,也正比于电感对转子位置角的度化率 $\frac{dL}{d}$ 。转矩的方向由 $\frac{dL}{d}$ 的正负来决定。在转矩方向不变的情况下,平均转矩的调节可通过对电流的调节来实现,即实现对转矩的单一控制,因而控制相对容易;同时由于开关磁阻电动机有转子位置传感器,所以可使电机始终工作于大的转矩下不会产生丢步,这是它的优点。其不足之处就在于电机双凸结构和与无刷直流电动机相类似的原因,所以,转矩脉动及其引起的振动和噪声是其最大难点。

驱动控制器中的逆变器可实现零相电流开关,无开关损耗,因而系统具有高功率密度。同时它的转矩可通过相电流来调节,实现低速大转矩和高速高效率控制。特别是采用电压 PWM 控制和电流跟踪控制两种混合控制后,大大提高开关磁阻电动机运行效率,降低噪声和转矩脉动,提高系统动态性能。由于其结构最简单,高速工作能力,低成本,无开关损耗,控制柔性好,故障容错率高等使其具有极大的竞争潜力,成为电动汽车领域的最佳选择。

2.4 多态电机驱动系统

多态电机驱动系统中的多态电动机是我国哈尔滨工业大学主持开发和研制的一种专用电动机。该电动机集混合式步进电动机与异步电动机结构特点于一

身,通过专用驱动控制器,使电动机在低速时按混合式步进电动机方式驱动运行;高速时则按异步电动机方式驱动运行,从而发挥步进电动机低速大转矩和异步电动机高速高效率的作用,大大提高多态电机驱动系统的高低速综合效率和瞬时功率密度,控制性能优异,在电动汽车领域有着极其潜在的应用前景。

3 电动车电机驱动控制技术的发展趋势^[1]

电动车电机驱动目前基本上形成主流,但并不单一,而是呈多样化趋势。各电机驱动系统综合指标,各有侧重。各系统在现有的电动车驱动中都有应用。以异步电机和永磁无刷直流电机居多,同时也有尝试永磁同步电机和开关磁阻电机。值得指出的是,永磁无刷直流电机集电力电子技术、微电子技术、数字技术、自控技术以及材料科学等多门学科于一体,体现多学科的综合应用,发展前景十分广阔,在电动车电机中是强有力的竞争者。各种电机要想在未来的电动车中占有一席之地,除了要对电机结构进行优化外,还可大胆尝试从反传统的观念对电机本体包括绕组进行改进,使之更适合与电动车,如转子分割型混合励磁同步电机^[2]、槽数多于极数的电机,绕组极数可变的电机^[3]、混合电机(如永磁磁阻同步电机,永磁式开关磁阻电机等)等多种形态电机。

3.1 控制系统趋于智能化

变结构控制、模糊控制、神经网络、自适应控制、专家系统、遗传算法等非线性智能控制技术,都将各自或结合应用于电动车电机控制系统。这些技术或者不求系统精确建模,或者善于处理非线性问题。它们的应用,将使系统结构简单,响应迅速,抗干扰力强,对参数变化具有鲁棒性,将大大提高整个系统的综合性能。目前这些智能化技术也有用于电动车控制中,但还仅仅用于改善系统的局部性能,也就是局部实现智能化,如模糊控制器^[4]、神经网络观测器^[5]、模糊参数辨识等。然而完全智能化是必然的,也需要很大的努力。

3.2 控制系统的全数字化^[6]

微电子学及计算机技术的发展,高速、高集成度、低成本的微机专用芯片以及 DSP 等的问世及商品化,使全数字的控制系统成为可能。用软件代替硬件,除完成要求的控制功能外,还可以具有保护、故障监视、自诊断等其它功能。另外,为提高控制系统的可靠性和实用性,应使得改变控制策略、修正控制参数和模型也简单易行。全数字化是电动车控制乃至交流传动系统的重要发展方向之一。

4 结 语

仅将电机理论、电力电子理论和现代控制理论积
(下转第 39 页)

功能是否满足用户要求?调试完毕,利用 Authorware 的打包功能(选取 File/package)将课件制作成为一个能独立运行于 Windows 系统环境下的应用程序—RTCAI.exe(一个可执行文件),刻成光盘,交付使用。

3 服装人体功效学 CAI 课件的特点:

课件内容完整,系统性强,整个课件共分为 4 大部分的教学内容:人体功效学概述、人体造型特征、人体与服装设计、人体测量构成,各部分有详细的学习内容,其内容涵盖了服装人体功效学的所有教学内容。

课件采用了树状结构逻辑关系,具有很好的交互性,学习者可以任意选择学习内容,避免了传统的线性结构的非选择性问题。

课件媒体内容丰富,图、文、声、影、像并媾。

课件界面友好,视觉效果良好。

课件融知识性、趣味性、可视性于一体,既可以用于学生自学也可以用于教师辅助教学,可以极大地激发学生的学习兴趣。

课件适应性强,操作简单,无需专门学习就可以使用。

4 课件使用效果

课件研制成功后曾得到同行们的认可。在校内服装 0031 班和 0032 班、0131 班和 0231 班服装人体功效学教学中使用,现就服装专业教师和同学的意见摘录如下。

(1) 专业教师的意见:课件具有很强的直观性、实用性、科学性,课件内容符合教学规律,教学效果好,值得推广,其它课程也应陆续开发成这样的软件。

(2) 服装专业同学的感受:老师们的辛勤劳动,研制成了这个课件,在课堂教学中使用,对我们关于某些问题的理解给予了很大的帮助,一些难以理解的抽象

的教学内容,通过图象和动画辅助声音解释,都明朗化、清晰化了,我们认为可以不要课本就靠课件就能学好,课件的使用增加了我们的学习兴趣,使本来枯燥无味的教学内容变的有声有色了。

我们在教学中应用这个课件,总体感最深的是。

(1) 耳目一新的教学手段和方法,极大地激发了学生学习兴趣(以前上课有爬在桌子上睡觉的,现在几乎没有了)。

(2) 直观的教学内容表达,使过去老师难于讲清、讲透的内容,变的很容易理解,一句话使抽象概念简单化,复杂的结构直观化,加深学生对于理论知识的理解与掌握。

(3) 由于课件制作采取了非线性网状结构,教师操作控制简单、快捷,省去了过去老师上课过程中要在黑板上画图花费时间。

(4) 因为课件所包含的教学信息量大,这是传统书本教材无法比拟,应用课件教学实现了用比以前少的时间,向学生传达了比以前多数倍的知识。

参考文献:

- [1] 梁其程,等. Authorware3.5 开发使用手册[M]. 北京:机械工业出版社,1998.
- [2] 何木兰. 多媒体教育软件的表达策略[J]. 多媒体世界,1997,(5):52-53.
- [3] 潘建华. 服装人体工效学与服装设计[M]. 北京:中国轻工业出版社,2000.
- [4] 任长虹,何维森. 如何设计 CAI 课件[J]. 长春工程学院学报(社会科学版),2000,(1):61-62.
- [5] 王琦,李霞. 三维片头动画设计[M]. 北京:希望电子出版社,2000.
- [6] 周国韬. 现代信息教育理论与技术[M]. 长春:吉林教育出版社,1999.29-33.
- [7] 郭建波. CAI 课件在教学中的开发与利用[J]. 唐山高等专科学校学报,1999,(12):45-46.
- [8] 陆为民. 多媒体技术[M]. 北京:清华大学出版社,1998.

(上接第 21 页)

木式地组合在一起的研究方法和生产方式将不再适应系统高性能的要求^[6]。电机驱动系统将多门学科的理论和技术有机地熔融与交叉,电力电子理论、现代控制理论、材料科学和制造技术的发展,都将对电机驱动系统产生深刻的影响,并提供有力的支持。

整个电机驱动系统将趋向小型化,轻量、简单,低成本,大容量,高效节能,反应迅速,调速性能好,运行稳定可靠,无须维护,对环境影响不大。

参考文献:

- [1] 游琳娟,吴汉光,雷德森. 电动车电机及其控制技术的发展[J].

中小型电机.2001,28(1)

- [2] (日)电气学会技术报告[Z].1997,第 637 号.
- [3] Zhang Fengge, etc. Design and comparison of doubly-fedbrushless machine with ALAre luctance and cagerotor[A]. Proc. 3 of CICE M99 [C],Aug,1999. Xian,CHINA.
- [4] 李艳,邵日祥. 模糊控制在电气传动中的运用现状及前景[J]. 电气传动,1997(2)
- [5] 李艳,邵日祥. 带有神经网络估计器的模糊控制直接转矩控制[J]. 电气传动,1997(1).
- [6] 程树康. 电驱动系统及其相关技术发展展望随笔[J]. 微特电机,1999(1).