

电力电子技术应用系统发展热点综述

Survey of Hot Topics Concerning the Development of Power Electronics Technology Application

清华大学电机工程与应用电子技术系 赵争鸣

Zhao Zhengming

摘要: 电力电子技术的应用正日新月异的发展。本文重点介绍了当前我国电力电子技术应用系统的四个热点方向: 电气节能、新能源发电、电力牵引和智能电网。分别从应用背景、主要内容、应用特点、存在问题及其发展方向等多方面予以简要综述。展现了我国电力电子技术广阔的应用前景。

关键词: 电力电子 应用系统 发展热点

Abstract: The development of power electronics is rapidly changed. This paper introduces the current direction of four hot spots, such as electrical energy saving, new energy power generation, electric traction and smart grid. This paper give a brief survey from application background, main content, application characteristics, problems and development direction. This paper shows the application prospects of power electronics technology in China.

Key words: Power electronics Application Development hot topic

[中图分类号] TP273

[文献标识码] B

文章编号 1561-0330(2010)01-0041-04

1 引言

电力电子技术已经成为国民经济建设中的关键基础性技术之一。近几年来, 随着我国社会经济的快速发展, 电力电子技术在应用上呈现出快速发展趋势。当前, 面对全球性的能源危机和环境问题, 电力电子技术更是利用其独有的特点, 发挥出不可替代的作用。在电气工程领域呈现四大应用热点: 电气节能、新能源发电、电力牵引和智能电网。下面分别予以简要介绍。

2 电气节能

电气节能包括变频调速、电能质

量、有源滤波等, 尤其以变频调速为主要内容。2001年, 受当时的国家经委节能处委托, 一批国内电机系统节能学者经过两年的调研分析, 写出了一份分析报告《中国电机系统能源效率与市场潜力分析》, 见图1所示。2006年国家发改委启动规划, 提出十大重点节能工程, 其中第五项为电机系统节能。自2006年以来, 每年国家资助约100多个电机系统节能项目。在该项目中, 电机系统“十一五”节能规划目标为: 电机系统运行效率提高2个百分点, 年节电200亿千瓦时(相当于两个三峡电站发电量)。而其中主要以改善风机、泵类电机系统调节方

式为主要内容, 采用变频调速方式, 改变风机、水泵、压缩机等驱动电机运行速度, 效率提高15~30%。

这种变频调速节能方式涉及到我国主要基础工业行业, 如冶金系统,

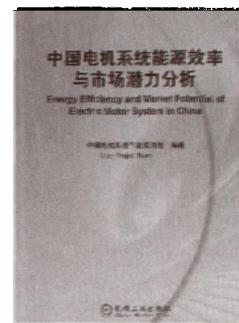


图1 2001年出版的报告书

其中的焦化、烧结、炼铁、轧钢中的鼓风机、除尘风机、冷却水泵等变频调速改造；有色金属冶炼炉风机调速改造；电力系统中的20万千瓦以上火力发电机组低效运行的风机、水泵系统进行变频调速改造；石油、石化：工艺流程泵进行变频调速改造；煤炭：矿井通风机、排水泵实施调速改造；轻工行业中的注塑机、液压油泵实施变频调速改造等。据统计^[1]，在这些工业应用中，各类电动机总装机容量约为4.2亿千瓦，年耗电1万亿千瓦时以上，约占全国工业用电量的60%以上，其节能量是相当可观的。

变频调速系统主要是采用了电力电子变频器作为电机驱动电源，变频调速技术已经比较成熟，市场量大面广，



图2 电力电子与电机系统集成

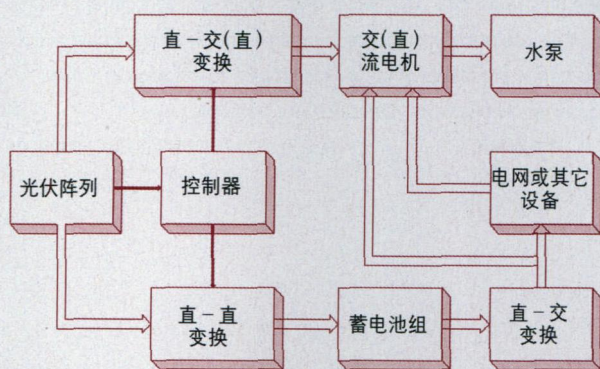


图3 典型的光伏发电系统框图

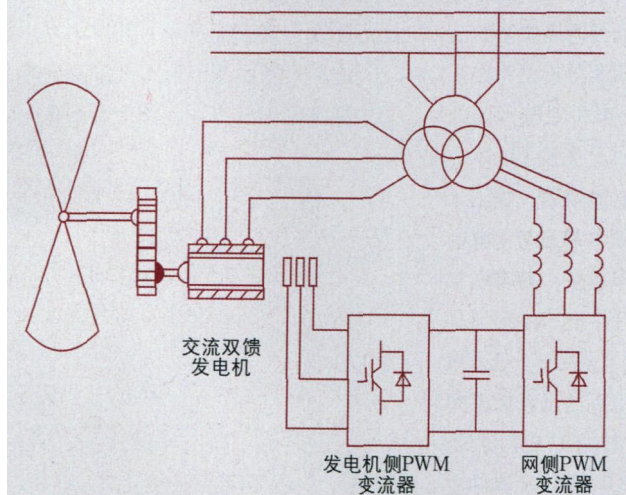


图4 典型的双馈式风力发电系统

并且可持续发展(设备需要更新换代周期约为10年)。目前在低压电机系统中，约有30%采用了变频调速技术，高压电机系统中亦有约15%采用了变频调速技术。发展的空间仍然很大。但主要的问题仍然是：变频器可靠性需进一步提高，价格还是偏贵，操作复杂，现场操作人员掌握程度参差不齐。今后进一步的发展主要集中在：

(1)专用型。主要为专门的应用进行专门的设计和制作，以提高性能，简化功能，降低成本为主要目的。

(2)集成型。越来越多的电力传动系统将电机、变频器及其控制集成于一体，形成一个系统产品，如图2所示：图2(a)为集成式无线通讯的风机系统；图2(b)为集成式水泵。

(3)高性能。包括高效率，主要在精细化入手；高精度，增加闭环控制；高容错性能，充分利用电力电子装置可调可控的特点，来达到系统容错的目的。

3 新能源发电

全球范围内能源环境正面临巨大危机，石油储量、煤储量均在减少，环境污染日趋严重，生态平衡严重破坏。新能源的应用正受到世界各国的普遍关注。新能源发电主要包括太阳能、风能、生物质能发电等。2008年美国奥巴马政府一上台就启动了“21世纪新能源振兴计划”；欧盟各国也相继启动了“绿色能源计划”；2009年10月日本政府又重新开始了“屋顶阳光工程”；一些典型的发展中国家，如印度也开启了“太阳能计划”，我国政府于2009年分别启动了“屋顶阳光工程”和“金太阳工程”等。正是为了应对这种发展的需要，据统计，截止到2008年底，全国高校电力电子与电力传动学科95%以上都开展了有关新能源发电中的电力电子应用技术的研究。新能源发电已经成为电力电子技术的主要应用领域。

图3所示为一个典型的太阳能光伏发电系统，它包括DC-AC逆变、DC-DC直流变换、AC-DC整流等多个电力电子变换环节。显然，除了光伏阵列之外，其他部分都与电力电子有关。图4为一典型的双馈式风力发电系统，它包括发电机侧PWM变换器、网侧PWM变换器、系统控制器、变桨控制器等多个电力电子变换环节。由此可见，新能源发电系统与电力电子应用技术密切相关。

新能源发电中的电力电子技术应用特点为：一次能源供给随机性大，风能、太阳能都随天气情况而有很大变化；并网发电要求高，电网侧要求输入电能波动小，电能质量高等。而目前我国现状为：并网变换器以进口产品为主，普遍运行经验不够，国产产品仍在摸索中前进。其中主要的问题是装备可靠性差，有关功能和性能还满足不

了要求,标准不统一。进一步的发展包括:

(1)向大容量发展。风机发电系统单机容量已经达到5兆瓦,且正在向更大容量发展,光伏并网发电系统也开始向兆瓦级方向发展;

(2)直接变换。如双馈式风机系统正在向直驱式或混合式系统方向发展;

(3)高性能。主要体现在高效率、高可靠性,以及为适应电网需求的低电压穿越和孤岛保护等。

4 电力牵引

电力牵引正成为世界各国交通发展重点。电力牵引主要包括高铁、地铁、城市轻轨、电动汽车等。2008年底国家发改委启动4万亿元拉动内需的经济振兴规划,其中主要部分将用于发展高速列车、地铁、城际列车等电力牵引项目之中。我国计划到2011年将形成50万辆纯电动、充电式混合动力和普通型混合动力等新能源汽车产能^[2]。美国也把电动汽车作为国家战略的重要组成部分,计划到2015年普及100万辆插入式电动汽车^[3]。

电力牵引的核心部分是电力电子与电力传动。如图5所示的串联式混合动力电动汽车结构图,其主要组成部分包括:AC-DC整流器、控制器,DC-DC直流变换等多个电力电子变换环节。图6所示的为混联式混合动力电动汽车,其主要组成部分同样也是为电力电子及其电力传动环节,包括:DC-AC逆变器、控制器、AC-DC充电器等。

电力牵引的主要特点为:蓄电池供电,四象限运行,恒力矩控制,高温、强振动环境等。这些特点对电力电子设备要求较高,目前我国用在电力牵引的电力电子变换器仍以进口产品为主,国产产品也正在快速成长之中。但主要问题仍然是适应性差,动态性能不够,可靠性差。当前在电力牵引中的电力电子技术主要发展方向包括:

(1)提高电力电子变换器装置的效率和功率密度,主要发展集成技术和冷却技术;

(2)实施精确控制,应用高性能的闭环控制,特别是针对低速和高速下的矢量控制和直接转矩控制一直是热点研究课题;

(3)保证可靠运行,采用冗余控制以及能量综合管理技术等。

5 智能电网

智能电网是最近几年新起来的一个概念,目前定义很多,说法不一。但一般共识都认为:“智能电网”在技术上的驱动力应该主要源于电力电子技术、新能源发电技术、传感技术、通讯技术(尤其是无线通讯技术)以及相

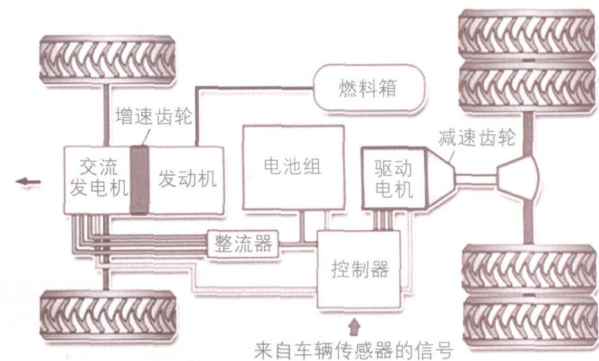


图5 串联式混合动力电动汽车结构图

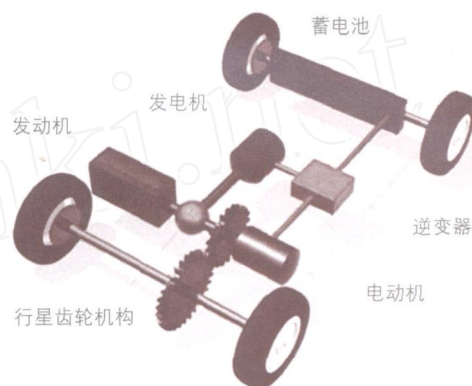


图6 混联式混合动力电动汽车结构图

应的电网控制技术。在电力电子技术方面,包括新型储能、灵活输电、先进的信息、控制、传感等技术,承载大规模可再生能源并网发电,最终实现电网高效、稳定、安全运行。美国政府于2008年提出的智能电网计划,将逐步实现太阳能、风能和地热能统一入网管理;全面推进分布式能源管理,试图创造世界上最高的能源使用效率。我国于2007年10月,也正式启动了智能电网可行性研究项目,并规划了“三步走”战略,即:在2010年初步建成电网高级调度中心,2020年全面建成具有初步智能特性的数字化电网,2030年真正建成具有自愈能力的智能电网^[4]。

智能电网中的电力电子应用系统包括:以SVC为代表的柔性交流输电技术、以高压直流输电为代表的新型超高压输电技术、以智能开关为代表的同步开断技术,以静止无功发生器、动态电压恢复器为代表的用户电力技术,以及以用户端分布式发电系统为代表的终端电能变换技术等。图7为一典型的采用电力电子技术的高压直流输电网络。

智能电网中的电力电子技术特点是:容量大、电压高、组合结构、分布广。目前正在发展之中,有个别样机运行,主要作为示范工程,大部分要与变压器组合。存

(下转第52页)

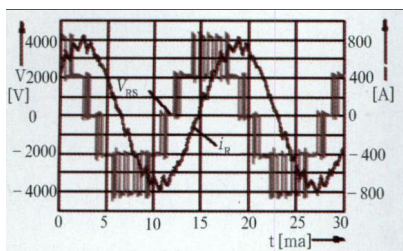


图11 1800kW, 2400V逆变器试验结果

电压偏差量达不到门限值, 该环节不工作。

7 仿真及试验结果

本三电平PWM生成方法用于西门子的中压变频器产品^[2,3], 其仿真和试验结果示于图9~11。图9是模式I的仿真结果。图10是模式II的仿真结果, 图中 V_{out} 是逆变器输出相电压(a), V_{outll} 是线电压(b)。图11是1800kW, 2400V逆变器的试验结果^[3], 试验时开关频率为300Hz。

8 结束语

本文介绍的优化三电平PWM信

号生成方法具有下列特点:

- (1) 基于三角载波比较法, 计算量少, 响应快, 实现简单;
- (2) 所有输出电压矢量都由最临近的三个基本电压空间矢量构成, 输出谐波小;
- (3) 具有直流母线中点电压自平衡能力;
- (4) 能消除最窄脉冲限制给输出电压波形带来的影响;
- (5) 允许开关频率小于500Hz, 每周开和关次数 ≤ 1 , 开关损耗小。

作者简介

马小亮 男 教授级高级工程师, 现任天津电气传动设计研究所副总工、天津大学博士生导师, 主要研究方向: 电力电子技术交流变频传动。

参考文献

- [1] 吴洪洋, 何湘宁. 多电平变换器三角载波法与空间矢量法之间的本质联系及其应用[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(5): 10-15.

- [2] F. Bauer, Quick Response Space Vector Control For A High Power Three-Level-Inverter Drive System, EPE 1989, Aachen, Vol. I: 417-421.
- [3] R. Sommer, Medium Voltage Drive System with NPC Three-Level Inverter Using IGBTs, IEE 2000, 3/1-3/5.
- [4] M. Lafoz, I.J. Iglesias, A Novel Double Hysteresis-Band Current Control for a Three-Level Voltage Source Inverter, 0-7803-5692-6/00/\$10.00 2000 IEEE: 21-26.
- [5] Vladimir Blasko, Analysis of a Hybrid PWM Based on Modified Space-Vector and Triangle-Comparison Methods, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 33, NO. 3, MAY/JUNE 1997: 756-764.
- [6] Jae Hyeon Seo. A New Simplified Space-Vector PWM Method for Three-Level Inverters. IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 16, NO. 4: 545-549.

(上接第43页)

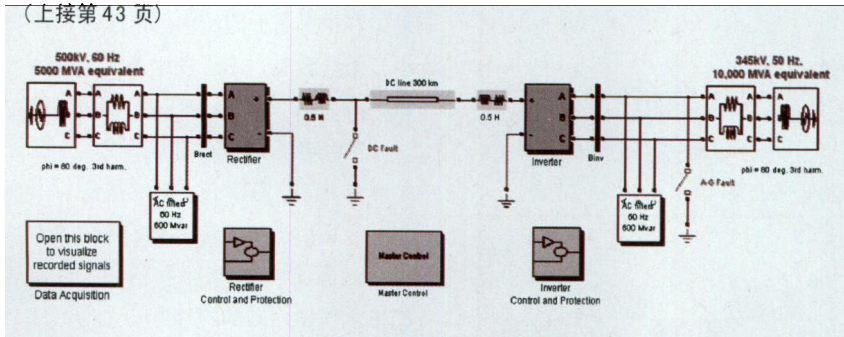


图7 典型的采用电力电子技术的高压直流输电网络

在的主要问题为: 功率半导体器件能力需要提升, 主要在承压和通流能力方面期待有新的功率半导体器件的出现, 现有器件和装置的功能和性能还满足不了要求。目前正在向更大容量, 直接变换, 可靠性, 保证电能质量等方面发展。

6 结束语

电力电子技术应用系统是当今高

新技术系统中不可缺少的关键支撑设备, 其应用领域几乎涉及到国民经济的各个工业部门。因此, 该应用领域是学科交叉最为广阔、存在着最为广阔的集成创新和二次创新的空间, 也是当前国际竞争最为激烈的领域。我国电力电子技术应用领域正面临空前的机遇和挑战, 抓住机遇, 勇于挑战, 我国电力电子应用技术领域将展现广阔的愿景。

作者简介

赵争鸣 男 清华大学电机系教授、博士生导师。主要从事专业研究方向有: 电力电子与电机集成系统, 大容量电力电子变换器, 太阳能光伏发电及其应用。

参考文献

- [1] 王正元, 戴林, 赵争鸣, 李崇坚. 中国电机系统能源效率与市场潜力分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001. 11.
- [2] 陈宗璋, 吴振军. 电动汽车现状与发展趋势[J]. 大众用电, 2008(2).
- [3] 辛克伟, 周宗祥, 卢国良. 国内外电动汽车发展及前景预测[J]. 电力需求侧管理, 2008, 10(1).
- [4] 王璇. 智能电网——新能源、新技术、新材料的应用平台. 智能电网深度研究报告, 2009年6月.