

中国电工技术学会电力电子学会
第七次全国学术会议

论文集

合办单位：中国电工技术学会电力电子学会
四川省电工技术学会电力电子专委会
成都电力电子学会
三联科技公司

二000年十月 中国·成都

中国电工技术学会电力电子学会

第七次全国学术会议

论文集

合办单位：中国电工技术学会电力电子学会
四川省电工技术学会电力电子专委会
成都电力电子学会
三联科技公司

二〇〇〇年十月 中国·成都

中国电工技术学会电力电子学会 第七次全国学术会议论文集

编辑:中国电工技术学会电力电子学会

审稿:王兆安 钟彦儒 盛祖权

张石安 田竹标 陈守良

印制:西安三联科技制作室

发行:中国电工技术学会电力电子学会

(710061 西安市朱雀大街202号)

开本:787×1092 字数:700千字 印数:1000

本次学术会议友情支持单位

西安电力电子技术研究所	浙江大学电力电子技术研究所
珠海华维机电实业公司	上海美高森美半导体有限公司
清华大学电力电子厂	青岛整流器总厂
上海大学	机械科技信息研究院
淮海工学院	株洲电力机车研究所半导体厂
华中理工大学	天津大学
西安理工大学	浙江台州通达机电有限公司
淄博市临淄银河技术开发有限公司	四川广林电器集团有限公司
西南交通大学	深圳华能电子有限公司
冶金部自动化研究院	西安交通大学
九江整流器厂	北京电力电子新技术研究开发中心
广西工学院	山西永济电机厂
北京椿树整流器厂	上海电气自动化研究所
哈尔滨特通电气有限公司	襄樊市仪表元件厂
陕西高科电力电子有限责任公司	西安三联科技公司
沈阳自动控制研究设计院	燕山大学
美国联达公司	西安凯顺电气有限责任公司
清华大学电力电子工程中心	西安春日电气有限公司
浙江缙云四方电子有限公司	山东工业大学
首钢电子公司控制设备公司	美国国际整流器公司
江阴九华集团公司	天水电气传动研究所
深圳同牧机电有限公司	深圳华为电气公司
武汉洲际通信电源集团有限公司	深圳华瑞特系统有限公司
张家港市金帆电源厂	

前 言

“中国电工技术学会电力电子学会第七届全国学术年会”是由中国电工技术学会电力电子学会、四川省电工技术学会电力电子专委会、成都电力电子学会、西安三联科技公司友好合作共同举办的又一次学术盛会。此次学术会议的筹备与组织工作是在总会的指导关怀下进行的,至今筹备工作已基本完成,即将在成都召开会议。此次学术会议,得到了西安三联科技公司及该公司总经理卫军水高级工程师的鼎力支持,在此深致谢意。本次年会还得到了珠海华维机电实业公司、清华大学电力电子厂、淄博临淄银河高技术开发公司、西安交通大学电气工程学院、西南交通大学电气工程学院、冶金自动化研究院、广西工学院、哈尔滨特通电气公司、西安凯顺电气公司、山东工业大学自动化学院等等诸多理事单位与兄弟单位的友情支助,《电力电子技术期刊社》、《电源技术应用编辑部》在征文组稿中给予了积极帮助,在此一并致谢。

众所周知,电子技术将是 21 世纪主要应用和发展的技术,它对生产力的巨大推动作用将能与电能运用在 20 世纪的作用相当。电子技术中以计算机为核心的信息技术将成了 21 世纪主导技术之一已成为大家的共识;电子技术中的另一个支柱——电力电子技术在人们认识上还远没有与它已在实际生产中起到的巨大作用以及在解决 21 世纪三大全球性问题(能源危机、资源短缺和环境污染),推动生产发展中的巨大潜力相适应。这是需要我们共同努力的。

自 1997 年召开本学会第六次全国学术会议至今三年过去了。如同电子技术其它领域一样电力电子技术也有了迅速的发展。有必要回顾三年来本领域的进步,展望未来的发展趋势。

电力电子技术的基础是电力电子器件。提高器件的电流、电压、工作频率并根据电力电子装置的需要协调三者的关系仍是器件工作者孜孜以求的目标,过去三年如此,今后一段时间仍会如此。

在提高工作频率方面:用三维集成新工艺、新结构已经制成工作频率达 100MHz,功率为 300W,电压为 300V 的功率 MOSFET 和 25A/1200V, 225A/100V,工作频率达到 MHz 的 MOSFET。具备了在射频领域的中、短波,超短波低频段替代电子管的能力,继续向超短波高频段和微波方向前进。在传统的电力电子

装置用电力电子器件方面,不必串并联,电力电子装置已达到:频率 50kHz,输出功率达 500kVA;频率为数 kHz,功率达 10MVA 量级。这些电力电子器件已进入市场。

在提高功率容量方面:曾经引起广泛关注并寄以厚望的 MCT 已悄然引退,现在主要是在 IGBT 和 GTO 基础上发展大功率 IGBT 和 IGCT(集成门极换流晶闸管)。大功率 IGBT 已经突破了 1200V 电压台阶,并用多芯片并联扩大电流容量,目前商品水平为 1200A/350V,工作频率 50kHz,通态电压为 1.5~2.2V,再提高 IGBT 电流、电压的余地已经不多了。IGCT 是在 GTO 基础上采用缓冲层和透明发射极实现了开通时相当于晶闸管(低开通损耗,低通态电压),关断时相当于晶体管(均匀关断,不产生局部过热),有效地协调了通态电压和阻断电压的矛盾,IGCT 的商品水平是 2200A/4500V 和 1800A/5500V,工作频率可达到几 kHz。这种器件是应牵引驱动中的要求开发的,96 年才开始工业运行,在其它表明其应用潜力是很大的。目前国外还在开发一种将 IGBT 和 GTO 的优点结合起来的 IEGT(注入增强栅晶体管),已有 1000A/4500V 的样品问世。高压静电感应晶闸管(HSIT)的研究最近相当火爆,它以极高的 di/dt 耐量(达 3000A/ μ S 以上)特别适用于强窄脉冲应用,目前已经有了 50A/4500V 的样品。

值得引起充分注意的是电力二极管。以为电力二极管只是用于工频整流或最多加上一个快速软恢复续流的认识早已过时。随着全控器件(MOSFET, IGBT, IGCT)工作频率的提高,应用场合的迅速扩展,对与之配套的续流二极管要求也越来越高。针对不同应用开发了各种续流二极管,甚至在高频应用中肖特基二极管和 MOSFET(按同步整流方式工作)也加入了续流二极管行列。专门用于 GTO 吸收回路的二极管(快导通,快速软恢复),专门用于箝位的二极管(超快恢复),用于高频隔离的 Boost 二极管等均已进入市场。对二极管的开通瞬态特性正在深入的研究,其中开通峰值电压,开通正向恢复时间都是研究的热门,目的是寻找降低高频整流损耗的途径。

大功率器件普遍采用了平板压接双面散热的封装结构。这不但提高了散热能力而且由于避免了内部焊接引线,大大提高了器件的耐热疲劳能力,使器件的 Fit 指标($Fit = \text{故障次数}/10^9 \text{ 工作小时}$)大为降低。ABB 公司提供的数据:IGCT 为 2300Fit(约合工作寿命 45 年以上),IGBT 模块为 13000Fit。IGCT 的可靠性比 IGBT 高得多。

新的半导体材料研究工作也在如火如荼地进行。最有苗头的是碳化硅(SiC),

试制成的晶闸管为 6A/900V, 它的关断时间只有数百 nS, 能在 500°C 环境温度下连续正常工作。用 SiC 材料研发的 IGBT 器件样品已经测试。1200V 以下小电流二极管已经商品化。一旦解决了大直径单晶问题, 它将成为又一种良好的功率器件材料。

电力电子装置和器件的发展是相辅相成的。某种装置对器件提出了新的要求, 由此促进了新器件的发展, 开发成功的新器件应用到其它装置上, 又促进了新器件的发展。装置五花八门, 种类千千万万, 现从以下几方面粗略地探索一下它的发展轨迹。

电磁兼容和谐波抑制是电力电子技术研究的热点。随着电力电子装置应用领域的迅速扩展和大功率, 超大功率装置的急剧增加, 电力电子装置对电网的污染越来越严重。电磁干扰和谐波干扰已引起世界的普遍重视, 相继制订了相应的强制性标准。其中以欧共体的标准最为典型。不但要求欧共体各国强制执行, 而且规定了凡不符合该标准的设备不能进入欧共体市场。我国电网相对欧洲比较薄弱, 这个问题将更加突出。我国电力电子装置要走出世界必须尽早解决电网污染问题。

整流器是大多数电力电子装置与电网的连接电路。传统的二极管整流和晶闸管相控整流不但有谐波很高的输入电流, 而且从电网吸收无功功率。解决整流器的谐波抑制和提高整流器的功率因数是治理电网污染的重点。

在中、小装置中采 PWM 整流和有源功率因数校正(PFC)可以取得相当满意的效果。PWM 整流和单相 PFC 的理论和技術都已相当成熟。三相 PFC 则仍在不断探索降低成本, 简化电路的途径。

在大功率装置中多脉波系统引起高度重视。一种双桥 12 脉波整流器加中抽电抗器的准 24 脉波整流器可以消除 19 次以下的谐波, 是有前途的方案。有源电力滤波器已进入实用阶段, 容量已可达几十兆伏安, 逐步具备了用户补偿自身谐波转向改善整个电力系统供电质量的方向发展的条件。

电磁干扰主要是传导干扰, 近来电力电子装置的频率和容量不断增大, 辐射干扰也日见显现。由于这个问题涉及的学科较多, 至今还是分散地各自从自己学科角度进行研究, 尚无突破性的进展。实际装置中多以软开关、加强吸收、尽量合理布置元件及合理布线等办法努力降低电磁干扰的产生, 用加强退耦滤波, 加强屏蔽来减弱对外干扰。

高压、大功率逆变技术是许多大功率电力电子装置的重要组成部分。器件水平的提高大功率装置创造了条件。ABB 公司的 IGCT 在有效值 3kV 电压水平的电网

上不必串并联即可制成数 MVA 的大功率逆变器,利用其易于串并联的优点制成了 100MVA 的牵引驱动电源已投入工业运行。串联多电平电压型功率逆变器引起普遍地重视。这种电路特别适用于高电压、大功率。它的谐波小,电磁兼容性好。98 年国外报导的组合多电平逆变器将 IGBT 全桥逆变器和 GTO 全桥逆变器串联, GTO 以基波频率工作, IGBT 则在 1.5kV 母线上以 PWM 方式工作。电压高于 1.5kV 时 PWM 迭加到 GTO 的基波电压上。这种电路将低速和高速器件的长处结合起来,很有创造性。

灵活交流输电是采用电力电子装置和技术对电力系统的电压、相位差、阻抗、潮流等参数以及网路结构进行快速控制以提高现有输电线路的输电能力、提高系统稳定性。灵活交流输电的优点十分突出:容易控制输电功率,使功率潮流按计划的线路流动;线路输电能力几乎可达到导线的热极限,使现有线路的输电能力提高 50%-100%;减小备用发电机组容量;限制电网和设备故障的影响,防止事故扩大;易于消除电力系统的振荡,提高稳定性。这项技术涉及多项高压设备,其中引人注目的有固态高压断路器(动作延时短)、动态电压限制器(高能量的过压保护)和综合潮流控制器等。灵活交流输电是目前全国发展研究的重点之一。

小功率大批量的电力电子装置发展突飞猛进。气体放电灯启动镇流器(荧光灯、钠灯、弧光灯等),各种家电的调速、调光、控温等、汽车电器(整流、点火、调光、充电、稳压)以及其它应用领域,不胜枚举。特点是量大面广,节能显著,容易形成产业。

控制和驱动:电力电子装置的发展离不开控制和驱动。

不同的电力电子器件对驱动电路有不同的要求。现在的主要动向是针对不同的器件发展专用的集成块。集成的各种脉冲发生器、变换器几乎都有产品。美国 IR(国际整流器)公司是世界电力电子器件主要的生产和供应企业,他们现在在推出新的电力电子器件的同时一起推出器件的专用驱动集成电路。

控制电路经历了由模拟控制,数字控制到计算机网络控制;由定时(定状态)到实时在线控制;由硬件一对一台装置控制到软件一对一批装置控制。大装置和复杂系统则用 PLC,单片机和计算机网络构成的计算机网络控制。这样一种格局能够将现代控制理论引入到电力电子装置中,为控制方法提供了无限广阔的发展空间,新的各具特色的控制策略和控制算法层出不穷,成为研究的一个重点。

计算机辅助设计软件已经从单纯地绘制电路图、多层印制板自动布线发展到电路瞬态过程分析、热场分析、电磁干扰分析、谐波分析、模拟实验等。这使得电力电

子装置在设计阶段就能对装置进行优化并对其运行情况心中有数。

功能优越、种类繁多的通用的、专用的集成块,功能越来越强大的 PLC、单片机、微型计算机,日益完善的计算机辅助设计软件正在改变人们传统的设计模式。电力电子领域的设计革命已经开始。

如此绚丽多彩,迅猛发展的电力电子技术使每个置身其中并为之作出哪怕是微小贡献的科技工作者感到骄傲自豪。我国电力电子技术与世界水平还有不小的差距,这又实实在在地使从事电力电子技术的科技工作者感到肩上担子的沉重。唯有齐心协力,以改革开放精神,要有所为与有所不为,发展中国特色的电力电子技术。我们有能力也有信心缩小差距逐步赶上。

本次学术会议编印“论文集”中共收录论文 107 篇,内容涉及“综述”、“电力电子器件、驱动与保护”、“电力电子变流技术”、“电气传动、系统控制”、“工业应用及其它”五个大类,内容新颖丰实,是国内近年来电力电子技术理论科技成果的展现,对业内读者有着较强的实际指导意义。我们相信通过本次学术交流,会进一步推动电力电子技术学者、专家、企业家的密切联系和广泛合作,为国家电力电子技术进步,为国家建设作出贡献。

中国电工技术学会电力电子学会理事长:徐南屏

2000 年 8 月

目 录

前言	徐南屏
----------	-----

第一部分 综述

1. 面向新世纪的电力电子技术	王正元(1)
2. 电力半导体模块及其工艺技术	吴济钧(5)
3. 电力电子器件的最新发展	钱照明等(10)
4. 交流电机变频调速是迈入 21 世纪的首要传动技术	王占奎(20)
5. 软开关技术发展现状述评	黄宇清等(25)
6. 高压 IGBT 变频器及应用	孙伟远等(31)
7. 有源电力滤波器技术的发展与应用	卓放等(35)
8. 中压变频器及应用综述	刘虹等(41)
9. 电能质量控制技术的发展	肖国春等(45)
10. 国内外电化学整流电源最新发展动态	朱典旭(49)
11. 电力电子技术在电力系统的应用	周观允(53)
12. PESC'99 电力电子技术专家会议归来	张昌利(57)

第二部分 电力电子器件、驱动与保护

13. Semiconductor Devices for High Power Electronics	Esie Ramezani, Jürg Waldmeyer(60)
14. IGBT 栅驱动用 MIGC-A 型智能模块的研制	张华曹等(70)
15. 集成门极换流晶闸管 IGCT——一种适用于中等电压超大功率装置的新器件	张石安等(73)
16. NPT 型 IGBT 技术特点	王晓宝(76)
17. IGBT 特性曲线解读	李明(80)
18. 快速软恢复二极管工艺述评	张斌等(85)
19. 具有 SOI RESURF 结构的电场分布	方健等(89)
20. SiC 功率器件的特性及开发现状	余岳辉等(93)
21. 4H-SiC ACCUFET 结构特性研究	聂国健等(96)
22. SiC 高压肖特基二极管特性研究	罗卢杨等(100)
23. 半导体雷浪涌防护器多元胞结构研究	余岳辉等(104)
24. 含表面活性剂和螯合剂的清洗液对硅片表面的影响	曹宝成等(107)
25. 百个功率晶体管的并联应用	王耀德(111)
26. 晶闸管触发器技术的新进展	李宏(114)
27. IGBT 模块驱动及保护技术	盛祖权等(117)

28. IGBT 的过电流及其保护	秦祖荫(125)
29. IGBT 高温闭锁的研究分析	张华曹(128)
30. 瞬态保护器件的几种结构	彭昭廉等(131)
31. 有效抑制 IGBT 模块应用中的过电压	李明等(134)
32. IGBT 功率模块的电热模型建立及在线结温测试	耿莉等(138)
33. 大功率晶闸管静态参数的计算机测试实现	刘斌等(142)
34. 新型热沉用复合金属材料	徐卓辉等(146)

第三部分 电力电子变流技术

35. 能量双向流动的 DC-AC 变流器控制方法的研究	赵向华等(150)
36. 雷达谐振中频电源的研制	鞠志忠等(154)
37. 一种新型 SPWM 中频电源的研制	黄宏(157)
38. 某半导体致冷装置电源系统的设计与实现	冀捐灶等(162)
39. PWM 逆变器死区效应的补偿	刘陵顺等(166)
40. 一种基于 L4970A 的双路 10A 输出的开关稳压电源的设计	冀捐灶等(169)
41. 开关稳压电源的功率合成	陈永真等(173)
42. 高稳定度大功率脉冲稳流电源	孙孟大等(176)
43. DSP 控制 SPWM 全桥逆变器直流偏磁的研究	李剑等(178)
44. 新型 PWM 产生器 SA866 及其在通用变频器上的应用	毛明等(182)
45. 一种新的用于三相电机驱动的直流母线并联谐振零电压过渡电压源逆变器	明正峰等(186)
46. 一种 ZVT-PWM Buck 变换器的改进电路	李洁等(191)
47. 采用大规模集成电路 HEF4752V 的逆变器	鞠文耀(195)
48. 一种新型软开关 PWM 逆变器	单庆晓等(199)
49. 谐振软开关技术在逆变电源中的应用	明正峰等(203)
50. 三电平 GTO 逆变器的过压尖峰吸收回路	王彤等(210)
51. SPWM 逆变器死区影响的几种补偿方法	刘凤君(213)
52. 大功率变频器的实现——功率合成技术	陈永真(223)
53. 逆变器的并联运行技术	邢岩等(226)
54. UC1907 在模块电源均流系统中的应用	史贤俊等(230)
55. 模糊神经锁相环复合控制在感应加热电源中的应用	王华民等(233)
56. 单相 UPS 中锁相技术的研究	高军等(237)
57. 电压型双向变流器的 MATLAB 闭环仿真研究	郭伟扬等(240)
58. 逆变器的两种电流型控制方式的比较	邢岩等(244)
59. DC/DC 变换器与 DC/AC 逆变器连接问题的研究	高军等(248)
60. 静止逆变电源输出滤波对交流输入侧的影响	杜齐福等(252)
61. 一种新型串联谐振单相逆变电路的分析、仿真及实验	吴保芳等(256)
62. 高压直注 LCC 谐振变换器的分析与设计	段龙等(261)

63. 移相全桥(FB)ZVS 变换器的原理与设计	郭 麦 芳(265)
64. 单极隔离式功率因数校正(PFC)变换器	李云秀等(269)
65. 一种带不完全微分的状态反馈控制逆变电源的研究	赵 韶等(273)
66. 基于 CTA 技术的单相变三相优波电源	庄 凯等(278)
67. 方波有源滤波器谐波电流检测的一种新方法	秦志海等(281)
68. 数字信号处理器(DSP)在串联型电力有源滤波器中的应用	曹 然等(286)
69. 用滞环比较控制方式实现的直流输电用有源电力滤波器	张晓莉等(289)
70. 基于 DSP 的并联电力有源滤波器的仿真研究	曾雨竹等(293)
71. 三相四线制电路瞬时无功功率理论的研究	卓 放等(297)
72. $\pm 500\text{kVA}$ GTO-SVG 中 GTO 死区补偿的研究	王小红等(302)
73. 基于 FPGA 的静止无功补偿器 PWM 脉冲发生器设计	田 杰等(307)
74. 一种新型的功率因数校正电路	张 权等(310)
75. 谐波电流的离散化及补偿指令电流信号的获取	何益宏等(314)
76. 基于 DSP 的数字伺服电源实现	王 伟等(318)
77. 基于双 DSP 控制系统的电能质量调节器	王 跃 等(322)
78. 一种简捷的 APFC 的实现方式	于 丹等(326)
79. TOPSwitch 的设计要点	阙玉红等(331)
80. 高功率密度 AC/DC 变换器	于 玲等(334)
81. 一种两相 ZVT-PWM DC/DC 变换器的分析与设计	李 洁等(338)
82. 浅谈开关型直流电源的纹波抑制问题	李 宏(343)
83. 恒压/恒流输出式单片开关电源的设计原理	沙占友等(347)
84. 零压零流开关电源的研究与应用	张 波等(351)
85. 单片开关电源模块的电路设计	沙占友等(355)
86. 多路输出式单片开关电源的电路设计	沙占友等(359)
87. 开关电源可靠性设计研究	陈 善 华(363)
88. 具有自对相及相位自适应触发器的高精度低纹波晶闸管直流稳流电源	李 宏等(368)
89. 一种新颖的零电压过渡 PWM 整流电路	谭秀云等(372)
90. 高压变频调速系统	张 浩(376)

第四部分 电气传动、系统控制

91. 异步电动机按定子磁链定向的电流矢量控制	陈伯时等(381)
92. 采用 3CPU 协调控制矢量控制型变频调速系统的研究	孙向东等(386)
93. 同步变频调速系统在大型烧结鼓风机上的应用	胡纲衡等(390)
94. 泵站双馈电机交流励磁调速控制系统设计	廖冬初等(393)
95. 双 CPU 直接转矩控制交流调速系统的研究	姜仲文等(398)
96. 双单片机控制的双馈电机“超同步”运行试验	刘 群等(403)
97. 滤波器对 PWM 变频调速电动机端子上电压波形的影响	刘学忠等(406)

98. PWM 逆变器对电机端子过电压的影响	万健如等(410)
99. 二次性能指标在多环调速系统应用中权阵 $Q(t)$ 的作用和最优区	陆 兴 本(414)
100. 高压变频器及其应用	张 浩(420)
101. 带有电流微分闭环控制的 20kA 电弧炉直流电源	李 宏(424)
102. DSP、FPGA 在 IGBT 模块数字控制中的应用	卢 刚(427)
103. 应用模糊控制理论对同步扰动随机逼近算法 (SPSA) 的改进	陈 宇等(432)
104. FACTS 电能质量调节器的控制方法及其计算机仿真研究	谭智力等(436)
105. 功率因数校正系统的非线性控制新方法	林维明等(443)

第五部分 工业应用及其它

106. 航空仪器用高精度开关电源	张维平等(447)
107. 电力电子火灾科学控制思想与策略	张庆范等(451)
108. 毛巾平漂洗联合机控制系统的研制	鞠志忠等(453)
109. IGBT 在激光电源中的应用	刘 斌等(456)
110. 双极性推挽电路应用于风、光发电系统	赵向华等(459)
111. 超导磁储能系统及其研究现状	张 辉等(462)
112. 开关磁阻电动机转矩波动最小化仿真分析	王旭东等(468)
113. 一种节能型电机试验装置的研制和应用	李 宏等(472)
114. 高频开关电力直流操作电源系统	张国君等(475)
115. 电力变压器动态供电的电力电子控制策略	陈阿莲等(479)
116. 用面向对象技术开发基于 DOS 系统的电力直流电源微机监控软件	王俊梅等(482)
117. 整流变压器的智能 CAD 系统	崔杜武等(486)
118. 基于 MATLAB 的弧焊逆变电源的大信号分析与设计	朱锦洪等(489)
119. 逆变电源变压器的计算机辅助优化设计	胡庆彬等(493)
120. 变压器的偏磁与防护	钟炎平等(498)
121. 在开关电源中应用的耦合电感	陈 亚 宁(501)
122. 非晶磁芯材料在开关电源中的应用	李定宣等(503)
123. 一种补偿光耦温漂的直流高压隔离检测电路	张胜发等(507)
124. 变频器在多台风机起动、调速系统中的应用	戴 晔等(511)
125. 应用 UC3909 实现对航空铅酸蓄电池的快速充电	姜忠山等(514)
126. 基于观测器的方法在三相逆变器故障诊断中的应用	王 江等(517)
127. IGBT 在电机中的应用	李 声 晋(521)
128. PLC 在工程水处理控制系统中的应用	杨 媛等(525)
129. 变频器电磁兼容 (EMC) 标准的探讨及实施	吴忠智等(528)
130. 电力电子器件在现代民航飞机上的应用及启示	赵 文 智(531)

第一部分 综述

面向新世纪的电力电子技术

北京电力电子新技术研究开发中心 王正元

以信息处理为对象的微电子技术及其在计算机和通信领域中扩展的飞速进步,是20世纪科学技术实用化的一大盛事:古人幻想的“千里眼”、“顺风耳”已成现实,创造了许多奇迹。然而,人类文明赖以存在所需的能源、资源(原材料)和环境问题将向生活在新世纪的地球居民提出挑战。以功率处理为对象、以实现“高效率用电和高品质用电”为目标的电力电子技术,在同微电子—计算机技术相结合的过程中,深入物质生产,将成为缓解或克服这三大危机、迎接这种挑战的重要技术手段。

1 电力电子技术的主要内容

电力电子技术以实现功率变频为主,传递的是电能,微电子技术则以实现信号变频为主,传递的是信息。如果说微电子技术是弱电电子的话,电力电子技术则是强电电子,是现代工业电子。电力电子技术的应用贯穿在电能的获取、传输、变换和利用的几乎每个环节,将在新世纪发挥越来越重要的作用。概括地说,电力电子技术就是在采用电力半导体器件实现各种频率变换的基础上,完成运用控制(Motion Control)和功率变换(Power Conversion),提供各种变频器和功率控制电源。

1.1 发电领域中的电力电子技术

1.1.1 发电机的直流励磁

常规发电机中,强大磁场的建立,已经从直流励磁机转变为中频交流励磁机的输出,再经电力电子整流的方法来提供,已取得较好的技术经济效益,可靠性大为改善。

1.1.2 水轮发电机的低频交流变频励磁

发电频率取决于发电机的转速。水力发电受水充量随季节的变化,特别是枯水期水流量明显减少的影响,频率无法调节到额定(50赫兹),只好放弃发电

并网,缩短其发电工作时间,浪费了许多电能。现在,采用电力电子技术,把直流励磁转变为低频交流变频励磁:当水流量减少时,提高励磁频率,可以把发电频率补偿到额定,使水轮发电机的发电周期大大延长。这对三峡电站等大型水力发电设施来说,将带来巨大的经济效益。

1.1.3 可再生能源发电中的电力电子技术

利用风能、太阳能、潮汐能、地热能等新能源发电,是克服能源危机(煤、石油、天然气等化石类能源匮乏)的重要措施,它们是可再生的绿色能源,对环境和气候的影响也会得到缓解。但是这些能源转换的电能,其电压、频率难免波动,也无法并网应用。通过电力电子变换装置,能使这些波动的电能以恒压恒频方式输出,以便这些新能源发电实用化。

1.2 储电领域中的电力电子技术

电能的使用受昼夜变更的影响,如果能把晚间的发电量储存起来,到白天再放到电网中来应用,相当于无偿地多盖了至少三分之一的发电厂,其经济价值是明显的。

1.2.1 水库储能发电

白天,水库泄水而发电;晚间,水库发电机利用多余的电网电能转变成电动机运行,把下泄的水抽进水库,增加水库蓄水;再到白天时,因水库蓄水增多,因而可以更多地发电。当然,这种电能转为机械能,消耗动能增加势能,再反过来变成电能的能量变换过程,效率是比较低的。

1.2.2 地下室内的蓄电池与电容器组储能

把夜间电网提供的多余交流电整流成直流电,储存在建筑物地下的“蓄电池—电容器组”内;第二天白天,再把这些储存的直流电逆变成标准的交流电供给整个建筑物内的用电,已经成为某些地方的时尚。整流器、逆变器都是电力电子产品。

1.2.3 超导线圈的磁场储能

上述变换还是有相当能耗的。在超导体线圈中,成十万安培的直流电流在其中流动是不会损耗的,这种储能器体积大为缩小,转换效率很高。但是,如何实现常规交流电能同这种低电压超大电流的直流电能的互相转换,给电力电子技术提出更新的课题。

1.3 输电领域中的电力电子技术

1.3.1 高压直流输电(HVDC)技术

现代分析和实践都证明,采用高压直流输电比用高压交流输出具有更为可靠和更高技术经济效益的长处。这在葛洲坝和三峡电站的远距离输电中得到和即将得到印证。把发电机发出的交流电通过变压器升到高压,再经过变频器使之变为直流,跨过几百、几千公里再被终端接收,把它再转换成交流电,通过变压器转换成正常电压。这里需要几十、乃至数百万千伏安的超大功率电力电子装置。

1.3.2 动态无功功率补偿

发电厂发出的全部电能,只有一部分能有效地做功,称为有功功率,它占总发电量的比例称功率因数;另一部分能量或者因为电感(储磁能)、电容(储电能)的存在而与电源间发生能量交换,或者因为非正弦即谐波存在而形成基波与谐波的能量交换而没能直接做功,这部分称之为无功功率。对无功功率进行补偿,提高发电能力转换做功的比例,即提高发电利用率,在运行中有明显利益。用电力电子技术制备的动态无功功率补偿装置在这方面起着重要作用。

1.3.3 消除谐波、毛刺,改善电网供电品质

计算机、电视机、电子镇流器等用电器的广泛采用,其开关电源的输入电流有极高的谐波成份,现在国内的电力机车、轧钢设备、电弧炉等直流相控设备也发生严重的畸变谐波电流,带来电力品质的恶化,发电电磁干扰(EMI),危及电网安全运行。采用电力电子技术,特别是有源滤波技术,抑制谐波发生,实现高品质用电,是新世纪不可缺少的供电环节。

1.4 用电领域中的电力电子技术

1.4.1 电动机的优化运行

全世界的用电量中约有 60% 左右是通过电动机来消耗的。高效电动机只是在额定负载附近才是高效率的,但由于过载、安全系数的考虑等原因,高效电动机经常是在低效状态下运行。采用计算机—电力电子技术结合,使电动机经常处于高效状态,具有巨大的效益。

1.4.1.1 变负载电动机的调压节能

车床、冲床、剪床等许多机械中,作为动力源的电动机是按最大负载功率来选取的,而它们的大部分工

况是轻载。根据负载力矩大小的变化,采用电力电子技术自动改变电机的端电压——轻载时降低电压,就能使电动机轻载损耗降低。这就是所谓“马达节能器”。

1.4.1.2 通用机械的节能调速

风机、泵、压缩机等通用机械用电又占电动机用电的一半左右。采用电动机变频调速来调节它们的流量,比以往用挡板、阀门之类来调节,可节电 20—70%。

1.4.1.3 工业应用机器的工艺调速

轧钢、有色金属压延、造纸、榨糖、大型机床等工业应用,基于工艺需要,其拖动电动机应该能调速。采用变频调速,不仅效率高而节能,而且能使这些机器的生产产量提高,产品质量提高。

1.4.1.4 运输机械的牵引调速

电气机车、电传动的内燃机车、地下铁道、轻轨机车、无轨电车,乃至磁悬浮列车和电动汽车,都是水平运输的电动车辆;电梯、自动扶梯、矿井卷扬机和龙门吊等则是电动垂直牵引系统。这些运输工具在运行中要求及时调速。国际上交流电动机变频调速在牵引应用中已占了优势。

1.4.1.5 精密调速

数控机床、伺服传动、机器人的各种运动控制,要求很宽的调速范围和很高的调速精度,在国际上也有很多精密调速的需求。这里,采用永磁无刷电动机达到 1:50,000 到 100,000 的宽域高精度调速已经实现。

按照最保守的计算,全国现行保有电动机需要改造的变频器市场总价将是 1200—1800 亿元人民币,目前中国变频器市场的年销售额约为 15 亿元人民币,依此,需 100 年才能改造一遍,何况每年还有许多新机组投入。

1.4.2 高能量密度的电源应用

1.4.2.1 电解、电镀等电化学类电源

铜铝、锌、镍等有色金属,氯气、碱等化工原料,都是靠电解来实现的。现在几十万安培的直流电解装置早已实现国产化。一般说来,它们都是电老虎,又是国民经济的基础。

1.4.2.2 开关类电源

体积小、重量轻、效率高的各种开关电源已经从电视机、计算机、各种仪器仪表上的小功率应用,扩展到通讯电源、电焊电源、X 光电源和 CT 电源、加速器磁铁电源、军用电源等中功率应用。通过适度提高开关频率,这些电源的体积、重量会成数十倍地减小下来。

1.4.2.3 变频电源

适应各种应用需要的、许多原来采用电子管的高频化电源已越来越多地被采用电力电子技术的固态化电源替代。例如:超声波电源、臭氧发生器、负氧离子发生器、荧光灯电子镇流器、热处理电源、声纳电源、无线电(长、中、短波)发射电源,以至微波电源。在新世纪中,随着电力电子技术的发展,更高频率、更大功率的固态化电源将不断开拓出来。

1.4.2.4 特种电源

不停电电源(UPS)、稳压稳流电源、高精度洁净电源等特种电源,采用电力电子技术后,各方面指标均大大改善。

总而言之,在各种同电相关的地方,凡是要求调节控制以实现自动化、智能化的场合,电力电子技术将同微电子—计算机技术一起渗透进去,发挥巨大作用。

1.5 信息领域中的电力电子技术

信息技术的基础是微电子—计算机技术,它同电力电子技术是姐妹技术,互相密切结合,成为改造传统产业和各种高新技术发展的基础技术。反过来,电力电子技术信息技术提供先进的电源和运动控制产品,日益成为信息产品不可缺少的一部分。

信息产业要用到一系列电源,除了各种交直流稳压电源、开关电源、UPS电源以保证信息产品的正常运行之外,现代信息产品对电源的体积、重量、效率都提出了越来越高的要求。例如,通讯和计算机产品的小型化,明显地看到传统电源的不适应。笔记本计算机必须采用高能量密度的精密电源。通讯行业的一次电源(380V交流/48V直流)在采用现代电力电子技术后,相同功率产品同十年前比,已经缩小到十五分之一,它们在国内的销售额已达到近百亿元;其二次电源(由直流48V通过DC/DC变换器转换到36V、24V、12V、6V等)几乎全部模块化;特别是在新世纪计算机芯片的工作电压即将由6V、3V……向1V发展,要求电力电子技术提供如此低电压的高效率大电流直流电源。另一方面,广播电视和军事通讯(从超长波到短波,包括潜水艇不可缺少的声纳)需要很大功率、覆盖很宽频率范围的固态化小型化发射电源。所有这些新电源都是电力电子新技术的应用市场。

在信息产品的主电路中,用MOS场效应管取代双极晶体管来完成各种电路功能,其用量也越来越多,1998年的世界晶体管市场中,MOS场效应管的市场份额已超过了常规双极晶体管。

在信息产品,例如手机移动电话和笔记本式、掌

上式计算机等广泛推广使用之后,各种可充电电池也普及开来,于是各种规格、不同功能、要求小型化的快速充电电源的需求也应运而生。在不久后的未来推广的电动汽车中,蓄电池快速充电也是不可缺少的重要环节。这些都离不开电力电子新技术。

运动控制产品的在信息产业中也有很大的应用需要,FAX机、计算机、VCD、DVD等许多整机中都装备着多种电动机。尤其在各种打印机中,离开电动机运动的高精度控制,其打印效果是不可想象的。至于在信息工业(特别是微电子产业)的各种精密微细加工设备中,高精度的伺服控制、机器人、机械手的工作都对运动控制提出更高的要求。

信息产品中和其他产品中用VDMOS、IGBT做无触点开关的市场更大,程控交换机的每条线都至少用1个VDMOS管,为此,我国目前每年要进口几千万只;每辆现代轿车中要用七、八十只到一百五、六十只VDMOS管。所以,当前到未来的信息世界,是电力电子产品的巨大现实市场之一。

2 我国对电力电子技术发展的需求

2.1 发展电力电子技术是国民经济各行各业现代化技术改造,实现集约化、可持续发展的重要措施。

从以上介绍的应用可见,电力电子技术是高效节能、节约原材料的高新技术,有很强的渗透性、基础性。它有助于实现自动化、智能化控制,为国民经济许多重要行业服务。在新世纪里,它将是电力电子工业成长为国民经济支柱产业的重要组成部分,成为机电融合一体化的基本技术之一。

2.2 加速发展电力电子技术是实现国民经济信息化的关键接口

发达国家在实现高度工业化之后,通过国民经济信息化发展,如虎添翼,在研讨知识经济在新世纪中腾飞的问题。而中国等发展中国家则面临着国民经济工业化补课和信息化推广的双重任务。无论从发达国家的经验还是从发展中国家的体会,信息产业和物质生产产业之间,必须架起弱电控制到强电运行之间的桥梁。电力电子正是这两大产业之间的关键接口。如果这个接口得不到相应发展,这两大产业就会脱节,国民经济的信息化将会落空。

2.3 加速发展电力电子技术是促进高科技发展和国防现代化的基础

机器人和巡航导弹都是很轻巧的机电一体化系统。它们都包括了复杂的运动控制,也包含了各种功

率的变换,这正是电力电子技术的主要内容。信息工程、自动化工程、材料工程、航天工程、海洋工程、新能源工程等高科技的发展都离不开微电子和电力电子技术作为基础高科技。国防现代化则向电力电子技术提出了更高的要求。

3 必须重视电力电子器件的发展

3.1 电力半导体器件是电力电子应用装置的基础。国际上电力半导体器经历了晶闸管(SCR)、可关断晶闸管(GTO)和场控器件(IGBT 和功率 MOSFET)三个阶段。单管耐压 6.5kV、电流 1kA、工作频率在 20—50kHz 的功率 IGBT,耐压 600V、电流 100A、工作频率达 150(硬开关)到 300(软开关)kHz 的高频化 IGBT 均已问世。国产电力半导体器件基本停留在晶闸管阶段,严重限制了中国电力电子技术的发展。

3.2 根据美国、日本权威方面的估计,95 亿美元的电力电子器件(世界市场销售额)推动了 300 亿美元的电力电子装置市场的形成,它们又支持牵动着相关产业的 5700 亿美元市场。由此,电力电子器件和应用装置的基础作用和牵动力可见一般。即 1 元器件支持 3 元装置,牵动 57 元各种应用。

3.3 中国的半导体事业的落后,包括电力半导体器

件的止步不前,终将使中国的经济发展遭受惩罚,将使中国的实力落入二流乃至三流的境地。不少有识之士提出了这个警告。但是,仍然得不到实质上的重视,看不到得力的措施。用控制中国半导体制造技术和能力来控制中国现代化的进程是美国政府的一项公开国策,而中国拿不出相应的对策,把理应由政府承担的行为推交给企业执行,令人焦急。

3.4 关于“世界经济一体化”,认为花钱就可以买到先进的技术和先进的产品,充其量只是一般产品,某些国家始终把中国视为“敌对”,怎么能指望它们会把最先进的东西卖给你呢?更不必提那些与国家安全和国防建设相关的技术和产品了。一禁用、二卖高价、三控制关键部件(特别是半导体加工设备和制造技术)的史实不该忘记。弄不好,中国的电子工业只是国外产品的组装工业,十分脆弱。在新世纪国际电力电子崛起之时,中国电力半导体器件的被动状态将会拖拉中国振兴的进程。

总之,电力电子技术是实用性极强的、极具渗透性的电子技术分支。在新世纪内,这种技术将在能源危机、资源危机和环境危机的进程中发展成新的经济增长点,促成一个机电一体化新产业;而且它将牵动一系列传统机电产品升级换代、成为完成产品结构调整和产业结构调整的催进剂。