

中國電工技術學會電力電子學會

第四次全國學術會議

論文集



1990年 桂林

中國電工技術學會電力電子學會

第四次全國學術會議

論 文 集



1990年 桂林

前 言

电力电子技术是联结电子器件、电力和控制的边缘学科，由于近几年来功率半导体器件和微电子半导体器件的飞快发展以及它们之间的相互结合，由于微电子技术向电力电子技术专用集成电路的发展和现代控制技术在电力电子技术中的应用，使电力电子技术这门学科得以飞跃发展，电力电子设备愈向高性能、高精度、自保护、自诊断的方向发展，在国民经济中已成为节能、机电一体化、智能化和精密控制的关键技术。

电力半导体器件是电力半导体装置的心脏，是电力电子技术发展的基础，我国电力半导体器件产业建于六十年代初，五十年代末、六十年代初分别试制出第一个硅整流器和第一个逆阻型普通晶闸管后，随即开始投入小批量生产，并在技术革新中很快得到应用，特别是七十年代初期，全国掀起制造和应用硅整流器和普通晶闸管的热潮，电力半导体器件得到广泛的应用，几乎遍及各工农业部门，以电解电镀电源，牵引电源和直流传动电源为三大支柱的电力半导体装置得到较快发展。与此同时，快速硅整流器，双向晶闸管，逆导晶闸管，快速晶闸管和可关断晶闸管亦相继试制成功，并向电压、电流和频率三个方向发展，这使我国电力电子技术由单一的整流器向逆变器方向发展，中频感应加热电源在当时的研制成功和得到相应的快速发展，就是一个明显的实例。但是由于当时元件质量，元件容量以及技术应用中存在一定问题，因此使发展受到很大影响，许多装置停留在技术革新阶段，未能很快发展成定型产品，这种只重视数量，而忽视质量的教训是我们今后工作中值得引以借鉴的。

党的开放政策，给我国电力电子技术带来了生机，在自力更生发展的基础上，引进了一些晶闸管、可关断晶闸管和巨型晶体管的生产制造专用技术以及交流传动、直流输电、静止无功补偿等单项电力半导体装置制造技术，使我国电力电子技术在某些领域达到国外八十年代初的水平，已能生产电流达 2500A，电压达 5000V 的晶闸管和电流达 3000A，电压达 5000V 的整流管以及大容量、高电压的快速晶闸管，双向晶闸管和逆导晶闸管，同时还能生产 600KVA 的大功率 PWM 变频装置和单机容量达 750KW~1000KW，频率达 8KHZ 的中频电源装置以及各种电力半导体装置。我国电力电子产业经过 28 年的发展，目前已形成了由专业和兼业生产厂，配套件厂和专用测试设备厂以及专业和兼业研究所组成的一个完整的电力电子行业，据全行业近年统计，已有 5 万多职工，近 6 千名工程技术人员，年产值约 9 亿元，已年产各系列晶闸管及其派生器件 630 多万只，各系列整流管及其派生管 3081 万只，14 个系列整流管装置 12553 台，144.2 万 KW，19 个系列晶闸管装置 35508 台，96 万 KW，基本上能满足国内目前国民经济需要，并能为引进设备提供所需配套件。但是，国外电力电子技术突飞猛进的发展，使电力半导体器件已由晶闸管为代表的顺变器阶段发展到以 GTO、GTR 为代表的逆变器阶段，并正向以场效应器件和功率集成电路为代表的高频化，集成化和智能化方向发展，各种各样的新型器件如 POWER MOSFET, IGBT, IGTO, SITH, MCT 等已有产品，并在国民经济各领域开始应用，在电力半导体装置方面，一种四象限工作，输入电流正弦且功率因数等于 1，输出电压电流正弦，无低频谐波的高性能 PWM 变频器已用于高速电梯；一种变换器和逆变器中的开关元件都被控制在电压（或电流）为零时动作，无开关损耗，频率高，效率高，滤波器小的谐振型 PWM 变换器已研制成功，并正用于传动用变频器上，而且高电压（高于

4000V) 大电流 (大于 2000A) 的晶闸管, GTO 和光控晶闸管已广泛用于 HVDC, 半导体直流断路器, 电力机车, 核聚变电源, 无功功率补偿装置, 闪烁抑制装置, 高压高频逆变器以及 PWM 型交流 / 直流电力变流装置, 所有这些大大提高了装置的效率和可靠性, 缩小了装置的体积, 减小了对电网的干扰。因此, 就总体来说, 我国电力电子行业与国外相比还存在很大差距, 我国已生产的器件的电流, 电压档次较低, 产量也偏低, 而且价格偏高, 特别是功率较小, 工艺精细, 产量大的器件, 往往因成本下不来而被国外大量进口器件所挤垮, 例如小双向晶闸管和方片整流管和晶闸管就是明显的实例; 国外已发展成熟的自关断器件 GTO, GTR, MOSFET, IGBT 以及电力电子技术专用集成电路, 在我国还属于开发初期, 虽已引进 3GTO 和 GTR 的生产线和制造技术, 但还尚未形成生产, 而且这些元件的逆变, 变频和智能控制等应用领域也属初始试制阶段, 有的尚待开发。所有这些逼使我们必须立即调整产业结构, 发展横向联合, 避免低水平的重复试制, 应集中有限的人力、财力, 建立产业集团, 引进先进技术, 消化吸收现已引进的技术, 使之发挥作用, 同时要加强科研的测试基地的建设, 加强国际合作, 打破部门之间的隔阂, 在国家统一的规划下, 形成一个先进、高效的电力电子行业, 把产品打入国际市场。同时, 结合我国国情, 我们一方面要看到更新型器件, 如双向 MOS, 双向光控晶闸管, IGTO 以及新半导体材料的器件等还会在国外不断涌现, 另一方面也要看到普通晶闸管及其派生器件以及 GTO, GTR 等国外已成熟的器件, 在一较长时期内还不会退出历史舞台, 还有很多工作要作, 例如新型冷却技术, 新型材料管壳, 新工艺以及利用结构铜材料等开发工作, 使这些器件的容量, 结构以及频率等有所提高。另外这些器件的组合化, 模块化, 光控化在我国还须大力发展, 特别还应大力发展小功率的、工艺精细、玻璃钝化的各种小方片器件。同时, 对新型器件的发展必须注意重视应用先行, 否则将会重现新器件滞销时期和配套件发展不协调, 而妨碍新器件应用发展的教训, 我国 GTO 元件开发较早, 而进展缓慢, 就是一个明显的教训, 必须引起充分重视。

随着电力电子技术的蓬勃发展以及该技术在国民经济中起的重要作用, 使电工技术学会电力电子学会也得到了进一步的发展, 学会成立十年来开展了各种各样的学术活动, 进行了三次全国性的学术会议和几十次全国性的专业专题学术会议, 使电力电子技术的学术交流活动生气蓬勃, 此外, 学会还组织技术咨询, 科技普及活动, 出编电力电子技术丛书、手册、字典, 定期出版“电力电子技术”和“国外电力电子技术”学会专刊, 组织成果鉴定, 专业教育等工作, 还加强了与国外学会, 如日本电力电子学会和 IPEC, 欧洲 EPC, 美国电力电子学会的联系。学会也注意同兄弟学会的横向联合, 组织开展各种学术活动, 同时学会还组织科技人员协助中小企业发展生产, 搞好技术咨询工作, 开展技术服务, 大大加强学会在行业中的学术威信, 目前学会已发展到有会员 2600 余人, 团体会员 25 个, 地方学会 10 个, 已成为一个技术力量雄厚的学术团体, 促进了我国电力电子技术的发展。在此基础上, 我们迎来了第 4 次全国学术会议暨学会成立十周年纪念会, 在广大会员, 有关科技工作者的踊跃投稿和大力支持, 现已收到学术论文 264 篇, 经专家审查和评议, 由于论文集篇幅有限, 将刊登经删编的全文 158 篇和摘要 73 篇。部份稿件, 因来稿时间较迟已来不及审编, 故未能采用, 在此一并表示歉意, 不妥之外, 望请作者们谅解。此次学术活动还得到行业许多厂家的热情支持和帮助, 赞助经费, 承担学会委托的工作, 特别是中南学会, 积极协助论文集的出版和本会议的筹备工作, 桂林新技术产业开发区管理委员会对本次会议的如开在各方面给予很多支持, 在此一并致谢。

电力电子技术以一门崭新和富有生气的学科在近十年内得到蓬勃发展, 它已在国民经济领域的节能、机电一体化, 智能化和精密控制等方面起着重要作用, 相信通过本次年会的学术交

流，把广大从事电力电子技术的科学工作者联系在一起，取长补短，互通有无，为我国在本世纪末实现国民经济总产值翻两番的宏伟目标作出应有的贡献。

中国电工技术学会电力电子学会 吴济钧

目 录

前 言	吴济钧 (1)
-----------	---------

第一部分 综述

1. 电力电子技术的发展动向和建议	张明勋 (4)
2. 八十年代电力电子技术的回顾	张秀澹 (6)
3. 电力电子电路拓扑研究及综合分析	李永东 (8)
4. 一种新型的功率器件——MCT	俞 革 (12)
5. 静电感应晶闸管的新结构	许文侠 (16)

第二部分 功率半导体器件

6. 光触发晶闸管光开启特性的研究	陈 涛等 (20)
7. 中小功率二极管的正六方形周边设计	余岳辉 蔡舜尧 (22)
8. 聚酰亚胺钝化硅功率器件台面的研究	彭昭廉等 (24)
9. 晶闸管关断过程及关断时间公式的修正	赵善麒等 (27)
10. 引进与国产功率晶体管的剖析	邱凌苗 (30)
11. PECVD 法氮化硅钝化膜应用于大功率器件的工艺研究	杨林安 张文敏 (33)
12. 10MEV 电子对晶闸管的辐照研究	李泉凤等 (34)
13. 超薄发射区晶闸管通态特性的理论研究	罗文明 (36)
14. 逆导晶闸管的换流和关断特性	时俭新 (39)
15. 功率 SIT 及提高其耐压能力的途径	张少云 徐传骧 (42)
16. 提高大功率晶闸管高温特性的研究	王雪薇 (44)
17. 大功率转折二极管——限压二极管	黄守南 凌伟 (46)
18. 硅器件表面钝化膜的红外光谱研究	张德贤 (48)
19. 高压 PN 结二维电场分析及其获得	张安康等 (50)
20. BCD 工艺的外延层最佳参数选择	谢世健等 (53)
21. 高压硅器件表面穿机理与耐压稳定性的研究	徐传骧 (55)
22. ZP800-30 整流管正向特性的改善实验	金兰香 (57)
23. 提高挖槽工艺晶闸管元件 di/dt 能力的探讨	刘荡波 (61)
24. 场板反偏 P-N 结中峰值电场的二维数值分析	陆景唐 (63)
25. 环化橡胶型负型光刻胶的性能及应用	韩 琳 (65)
26. 500 伏 8 安培功率 VDMOS 场效应晶体管的试制	李中江等 (67)
27. 高阻 NTD 硅电子辐照后的少子寿命	刘锦成等 (70)
28. 机车用 2000A / 3200V 硅整流管的设计与几个技术问题	邓世虎 (71)

29.硅片直接键合技术及其应用	张秀澹(73)
30.电子辐照 NTD 硅中的缺陷能级	戴培英等(75)
31.Φ50 毫米 2000 伏快速非对称晶闸管	卞 抗(78)
32.表面保护工艺对大功率整流管高温耐压特性的影响	钟力生等(80)
33.晶闸管短基区薄层电阻的数字分析	刘荡波(83)
34.硅器件少子寿命及其均匀性对正向导电的影响	李仰平(84)
35.功率 VMOSFET 击穿电压和导通电阻的温度特性	潘志斌(87)
36.三重扩散 IGBT 的 CAD 研究	李超仁 吴召平(89)
37.平面器件 1000 伏终端结构的 CAD 研究	徐志平等(92)
38.功率肖特基势垒二极管的研制	田敬民等(95)
39.高压硅器件过压保护用氧化锌压敏电阻器	刘辅宜等(97)
40.开管铝镓一步扩散法的应用研究	刘秀喜等(99)
41.含氧非晶硅在高压硅器件表面保护上的应用	刘 迪(102)
42.DKM 系列巨型晶体管模块的研制	陈明琪等(106)
43.用于大功率 GTO 挖槽的改进的酸腐蚀工艺	张德贤(108)
44.功率 MOS 器件中的功率问题探讨	李富宇(112)
45.制造高压大电流晶体管中存在的问题及其分析	潘骏业(115)
46.用开链王冠化合物清除硅器件表面的碱金属杂质	胡绪洲(117)
47.硅干扰抑制器	余岳辉等(121)

第三部分 功率器件测试及其它有关技术

48.晶闸管和整流管特性曲线的计算	张石安(123)
49.型材散热器瞬态热阻抗及测试方法的研究	殷纯华 胡槐林(125)
50.双面抛光单晶硅片少子扩散长度的测量	杨恒青等(130)
51.微机辅助测试晶闸管关断时间	白祖林(133)
52.浪涌电平下晶闸管内部温度场分布的数值计算	曾鸿平 曾昭昭(137)
53.利用 SPICE 和热网络法计算 SCR 的瞬态热阻抗和结温	赵旭东等(141)
54.GTO 直流放大系数测试方法的研究	田敬民 聂代 (146)
55.大功率晶闸管额定载流值的分析与确定	苏文成等(149)
56.型材散热器稳态热阻计算方法	胡槐林 宋扬(152)
57.氟利昂沸腾冷却技术	田景耀(156)
58.测试条件对晶闸管反向恢复特性的影响	杜 凯(156)
59.高电压器件管芯真空测试技术	程秀兰(163)

第四部分 电力变换器及其驱动技术

60.单片微机控制的直流 PWM 定位系统	赵德安(166)
61.中大容量 UPS 方案设计探讨	戴天鸿(169)
62.单相 3KVA 不停电电源	赵永健 王珏玮(172)

63. GTR 驱动电路技术	侯振义(176)
64. 采用非线性电感提高晶闸管的高频载流能力	张仲超(179)
65. GTR 桥式逆变器的互锁保护方法	李序葆(182)
66. 用微机实现直流斩波器的电流瞬时值控制	郭世明(185)
67. 电流型有源电力滤波器用电流波形控制新方法	毛恒春等(188)
68. 新型电流换相桥式逆变电路研究	许雪生(191)
69. UPS 应用微处理器的探讨	王彝叔(194)
70. 智能型 MOS 开关电源功率集成电路	谢世健等(195)
71. 大规模集成电路控制 GTO 逆变器的一种新方案	何湘宁 林渭勋(198)
72. 晶体管并联斩波器及其应用	张正延(200)
73. 大功率晶体管的保护驱动电路	陈为匡(203)
74. 采用 C 缓冲器高频高效率的 DC/DC 变换器	翁大丰(205)
75. 数字式三相交流电源相序鉴别及缺相报警电路	官毅(208)
76. PWM 控制与谐波电路	张立(213)
77. 并联、磁饱和逆变器中几个问题的探讨	张年慧(217)
78. 微机控制晶闸管静止变频电源	彭永进等(220)
79. 并联供电整流系统的运行优化	赵维成(223)
80. 单板机控制的改进型三相全控桥整流电路数字化触发器	方昌始(226)
81. 一种新结构的 UPS	冷增祥(230)
82. 锁相技术在 DC/DC 变换器中的应用	陈道炼(233)
83. 大功率中频电源的双单片机控制系统	谢世辉等(236)
84. 大功率晶体管 PWM 性能的改善	容实才 袁德芳(240)
85. 开关脉冲双弧焊用晶体管电源设计及其动静态特性	何德孚等(242)
86. 一种简单可靠的 SPWM 生成法	崔葛瑾 徐银泉(247)
87. 高功率因数 GTO 逆变器	秦祖荫(257)
88. 两种功率 MOSFET 驱动电路分析与比较	蔡晓等(256)
89. 高频耦合不停电电源用的变换器	黄济青 杨俊(259)
90. HEF4752V 构成的 PWM 逆变器	毛宗源等(262)
91. 一种改进的 GTR 基极驱动器	沈德全等(266)
92. 单管感应淬火逆变电路的研究	赵良炳等(269)
93. 桥全可控整流电路的研究	龚秋声(272)
94. 一种改进型 GTO 驱动电路	章进法 林渭勋(275)
95. 应用 MOSFET 改善 UPS 电源的性能	许伟华(279)

第五部分 电机传动与控制

96. 由 GTR 组成的高速三相异步电动机 PWM 变频调速电源	苏彦民等(284)
97. 用单片微机实现交—交变频控制系统	汪启忻(287)
98. 交—交变频器逻辑控制电路的设计	张杭 秦祖荫(291)
99. 双单片机 SF 型矢量控制系统	徐银泉 崔葛瑾(295)

100.交—交变频器同步电动机调速系统低速特性	袁国华等(298)
101.单片微机控制的大功率晶体管变频调速系统	王明彦等(301)
102.60KW GTO 斩波器的试验研究	袁维慈(304)
103.交流伺服系统的滑模控制	张昌凡(309)
104.多微机矢量控制高速电梯传动系统	徐梓华(311)
105.一种新型的交—交变频传动的方案	朱世良(316)
106.感应电动机低同步转速恒转矩调速装置的实验研究	王 灏等(318)
107.MCS51 单片机控制的自控式同步电动机调速系统仿真计算	李发海(320)
108.快速换向、无环流双桥直流电机控制	鲍敏中(326)
109.转子斩波调速在行车遥控中的应用	沈小弟 元锦台(328)
110.起重机用晶闸管调速装置	吴泰龙(332)
111.一种使电动机转矩脉动最小的 SPWM 逆变器研究	钟彦儒等(335)
112.ITAE 最佳控制的直流双闭调速系统	赵凤金(340)
113.晶闸管并联斩波器及其应用	张正延(343)
114.功率 MOSFET-PWM 逆变器的研究	胡卫平等(347)
115.8031 单片机控制卷取机恒张力 PWM 系统	蔡玉干(349)
116.锁相系统在 90KW 四连棍同步调速装置的应用	吴建新 周德贤(357)
117.变结构交流伺服系统滑模存在的边界条件	张琳君等(360)
118.无刷起动的绕线型异步电动机	由学新(363)
119.矢量控制电流跟踪系统的研究	巴 钢 朱仁初(367)
120.微处理器控制自控式同步电机	曹立宇等(371)
121.MCS-96 单片机在高精度交流伺服系统中的应用	邱文渊(374)

第六部分 工业应用

122.非正弦电路有功、无功电流的分离方法	王溥仁(378)
123.MCCKY11 —— 电除尘脉冲供电装置	杜金煌(381)
124.降低开关电源纹波的一种方法	任天良 朱双鹤(385)
125.脉冲变压器的小型化与高效	陈永真(388)
126.节能自动开关电路	黄金杰(390)
127.LTT 光传输系统中 LED 与光纤束的耦合	翁保国等(391)
128.压敏电阻应用 —— 例故障分析	林国雨(394)
129.高频逆变式气体激光电源	段 军等(396)
130.光控晶闸管在检测中的应用	陈华山(398)
131.大型烧结 PC-984 控制系统	钟广有(400)
132.一种高精度全数字式 PWM 控制器	路洪朝等(402)
133.减小大功率晶闸管变流装置直流成分的新方法	宁震寰 周素珍(406)
134.晶闸管—微机调功群控系统	吕荣清(408)
135.快速充电机控制电路和停充检测电路的研讨	张志清(410)
136.能耗双向晶闸管电子开关	邹 杰(413)

137.PWM 伺服控制及钨极自动氩弧焊 AVC 系统设计.....	何德孚等(417)
------------------------------------	-----------

第七部分 谐波抑制和电力装置的保护

138.用于保护大功率电力电子器件的高速霍尔电流传感器	郑一阳(419)
139.整流电路故障 I^2t 计算与保护	程世伦(422)
140.派生性“公害”及现代电力电子技术抑制之对策	田泰玉(426)
141.高速可编程序控制器及其在静止补偿控制中的应用	田广青(430)
142.变频器中微机系统的抗干扰措施	邱文渊 谭文彬(433)
143.TGG-I 型斩波调速无轨电车反线二极管 D_r 损坏原因分析	王志雄(435)
144.无功功率和高次谐波的瞬时检测	李 民等(437)
145.电压型功率有源滤波器	王兆安等(441)
146.磁流体发电机逆变系统的谐波电流补偿	王耀德等(444)
147.PGJ-5 型功率因数自动补偿柜	王庆林(447)
148.交流装置谐波的时域特性	贺守正(451)

第八部分 分析与模拟

149.一种通用的电力电子电路计算机辅助分析方法和应用软件	张 杭 秦祖荫(453)
150.相控整流电路通用公式的推导	刘 群 刘耀如(456)
151.可控硅逆变式弧焊电源的一种等效算法	何树治等(458)
152.时间序列建模理论用于预报电弧炉引起的电压闪变	康浩亮(460)
153.如何提高 4752 集成电路的功能	梁任秋等(462)
154.集成脉宽调制控制器的 CAD 与研制	高 勇(465)
155.用于微机的电力电子电路仿真软件包 PECS2	杨 君等(469)
156.电力电子电路机辅分析中建立状态方程的系统方法	董慧安等(472)
157.PWM 电压型逆变器—感应电动机系统的计算机辅助分析	杨正堂(476)
158.晶闸管短基区计算机辅助设计制造	王正鸣(479)

第九部分 摘 要

1.电力电子学中的电能变换器	刘 群 刘耀和(482)
2.大功率晶闸管工艺技术综述	刘荡波(482)
3.UPS 的分代和发展现状	王彝叔(482)
4.工业用电除尘供电装置发展方向	李公平 杨保太(483)
5.PWM 技术发展现状	刘金文(483)
6.内圆磨床砂轮恒线度的自适应控制	刘金文(483)
7.达林顿管子台面钝化工艺的研究	周春英 吕亦梅(484)
8.国产磨料的含杂及研磨对硅片的沾污分析	张德贤 王昌华 樊 彬(484)
9.小注入少子寿命的计算方法	徐志文(484)

10. 三种少子寿命测试仪的比较	许洪荣(485)
11. 快速整流管反向恢复特性的试验研究	马树魁(485)
12. 用于光触发晶闸管的 CaAs/LAD 红外脉冲光源	陈 涛(485)
13. 双向晶闸管第三象限门极触发电流探讨	顾安美 王根兴(486)
14. $\Phi 55$ 高强度掺氮区熔硅单晶研制	周金宝 顾龙根 吴宏宝(486)
15. 光触发晶闸管中的光传输	陈 涛(486)
16. 小电流晶闸管生产工艺的探讨	王文辉(487)
17. ZP 型大功率整流器件生产中的一次全扩散工艺	王希哲 吴桂弟(487)
18. 热交换定向凝固太阳级多晶硅锭研究	何笑明等(487)
19. 热处理对 $\text{P}_1\text{S}_1\text{-S}_1$ 肖特基势垒功率二极管电性能的影响	赵书兰等(487)
20. 提高 ZP1000A/3000V 硅整流管等极合格率的等极的几个问题	王世荣 卢连学(488)
21. 峰值电压电流表的简易制作方法	许洪荣(488)
22. 交流电动机软起动技术	刘亮喜(489)
23. 大功率可控硅整流装置近年来在电化学工业中的应用与若干问题等	黄平来(489)
24. 柴油机交流发电机组硅整流后并联运行的稳定性	王维均(489)
25. 彩色冲洗药液再生(电解)装置的单片机控制系统	王培锦等(490)
26. 船用功率晶体管逆变器的研究	陈三宝(490)
27. 二维速度——位置控制系统	陆建民(490)
28. 脉冲调宽功率放大器的设计	鲁延猛(491)
29. 半控桥可控硅励磁装置	彭春兴(491)
30. SCR 充电机设计运行中的几个概念	朱聪敬(491)
31. SCR 充电机平波电感计算方法的机辅分析	朱聪敬 张晓丽(492)
32. 新型大功率晶闸管电源装置	李海东(492)
33. 变流装置中的起动逻辑及电子保护电路的分析	阮关庭(492)
34. 微机在电力电子学中的应用	赵永健 王珏玮(493)
35. 用于变频调速系统中的 GTO 模块和集成触发器	孔令甫(493)
36. 一个特殊的直流可逆调速系统	刘定建 朱丹霞(493)
37. 新一代晶闸管直流传动功能组件技术分析	金汤华(494)
38. 3CTU89 型超高灵敏度光晶闸管的特性与应用	张君和(494)
39. KKCZ 全自动快速充电装置	唐尚昆(494)
40. ZSKXYZ-2 高速数控钻床用电主轴驱动器	蔡 晓等(495)
41. 梅山热轧厂电系统无功功率的抑制及其容量	徐定全(495)
42. 风机水泵调速节能分析	郎黔山(495)
43. 一种新型的串级调速装置	梁慧冰等(496)
44. 单相可控硅电感滤波式 CO_2 激光器电源	段 军等(496)
45. 单相全波 SAC 整流电路	张庆范(496)
46. 直接自调整系统的效率最佳控制	全秋来(497)
47. 铝厂整流装置在电网中产生的谐波	王国平(497)
48. 氯碱整流系统有关问题的探讨	郎黔山(497)
49. 变压整流系统的效率函数(摘要)	赵维成(498)

50.具有“最佳”性能并适用于微机接口控制的锁相环数字触发器	田泰玉(498)
51.用于电梯的可控硅励磁系统分析	冯信华等(498)
52.一种新型三相 SPWM 触发控制电路	高秀文等(499)
53.单片微机控制的纸张复合分切机控制系统	贺建涛等(499)
54.用低速光电耦合器传送高频脉冲	张保林(500)
55.单相无反馈磁放大器并联电容式 CO ₂ 激光电源的研制	段 军等(500)
56.低电压大电流大功率可控变压整流装置的设计实践	葛剑铭(500)
57.离心式压缩机串级调速中晶闸管元件选定的探讨	张治正(501)
58.并联晶闸管动态过程控制及相关参数推算	葛 焱(501)
59.单相交流供电无轨电车系统初探	龚秋声(501)

前 言

电力电子技术是联结电子器件、电力和控制的边缘学科，由于近几年来功率半导体器件和微电子半导体器件的飞快发展以及它们之间的相互结合，由于微电子技术向电力电子技术专用集成电路的发展和现代控制技术在电力电子技术中的应用，使电力电子技术这门学科得以飞跃发展，电力电子设备愈向高性能、高精度、自保护、自诊断的方向发展，在国民经济中已成为节能、机电一体化、智能化和精密控制的关键技术。

电力半导体器件是电力半导体装置的心脏，是电力电子技术发展的基础，我国电力半导体器件产业建于六十年代初，五十年代末、六十年代初分别试制出第一个硅整流器和第一个逆阻型普通晶闸管后，随即开始投入小批量生产，并在技术革新中很快得到应用，特别是七十年代初期，全国掀起制造和应用硅整流器和普通晶闸管的热潮，电力半导体器件得到广泛的应用，几乎遍及各工农业部门，以电解电镀电源，牵引电源和直传动电源为三大支柱的电力半导体装置得到较快发展。与此同时，快速硅整流器，双向晶闸管，逆导晶闸管，快速晶闸管和可关断晶闸管亦相继试制成功，并向电压、电流和频率三个方向发展，这使我国电力电子技术由单一的整流器向逆变器方向发展，中频感应加热电源在当时的研制成功和得到相应的快速发展，就是一个明显的实例。但是由于当时元件质量，元件容量以及技术应用中存在一定问题，因此使发展受到很大影响，许多装置停留在技术革新阶段，未能很快发展成定型产品，这种只重视数量，而忽视质量的教训是我们今后工作中值得引以借鉴的。

党的开放政策，给我国电力电子技术带来了生机，在自力更生发展的基础上，引进了一些晶闸管、可关断晶闸管和巨型晶体管的生产制造专用技术以及交流传动、直流输电、静止无功补偿等单项电力半导体装置制造技术，使我国电力电子技术在某些领域达到国外八十年代初的水平，已能生产电流达 2500A，电压达 5000V 的晶闸管和电流达 3000A，电压达 5000V 的整流管以及大容量、高电压的快速晶闸管，双向晶闸管和逆导晶闸管，同时还能生产 600KVA 的大功率 PWM 变频装置和单机容量达 750KW~1000KW，频率达 8KHZ 的中频电源装置以及各种电力半导体装置。我国电力电子产业经过 28 年的发展，目前已形成了由专业和兼业生产厂，配套件厂和专用测试设备厂以及专业和兼业研究所组成的一个完整的电力电子行业，据全行业近年统计，已有 5 万多职工，近 6 千名工程技术人员，年产值约 9 亿元，已年产各系列晶闸管及其派生器件 630 多万只，各系列整流管及其派生管 3081 万只，14 个系列整流管装置 12553 台，144.2 万 KW，19 个系列晶闸管装置 35508 台，96 万 KW，基本上能满足国内目前国民经济需要，并能为引进设备提供所需配套件。但是，国外电力电子技术突飞猛进的发展，使电力半导体器件已由晶闸管为代表的顺变器阶段发展到以 GTO、GTR 为代表的逆变器阶段，并正向以场效应器件和功率集成电路为代表的高频化，集成化和智能化方向发展，各种各样的新型器件如 POWER MOSFET, IGBT, IGTO, SITH, MCT 等已有产品，并在国民经济各领域开始应用，在电力半导体装置方面，一种四象限工作，输入电流正弦且功率因数等于 1，输出电压电流正弦，无低频谐波的高性能 PWM 变频器已用于高速电梯；一种变换器和逆变器中的开关元件都被控制在电压（或电流）为零时动作，无开关损耗，频率高，效率高，滤波器小的谐振型 PWM 变换器已研制成功，并正用于传动用变频器上，而且高电压（高于

4000V) 大电流 (大于 2000A) 的晶闸管, GTO 和光控晶闸管已广泛用于 HVDC, 半导体直流断路器, 电力机车, 核聚变电源, 无功功率补偿装置, 闪烁抑制装置, 高压高频逆变器以及 PWM 型交流 / 直流电力变流装置, 所有这些大大提高了装置的效率和可靠性, 缩小了装置的体积, 减小了对电网的干扰。因此, 就总体来说, 我国电力电子行业与国外相比还存在很大差距, 我国已生产的器件的电流, 电压档次较低, 产量也偏低, 而且价格偏高, 特别是功率较小, 工艺精细, 产量大的器件, 往往因成本下不来而被国外大量进口器件所挤垮, 例如小双向晶闸管和方片整流管和晶闸管就是明显的实例; 国外已发展成熟的自关断器件 GTO, GTR, MOSFET, IGBT 以及电力电子技术专用集成电路, 在我国还属于开发初期, 虽已引进 3GTO 和 GTR 的生产线和制造技术, 但还尚未形成生产, 而且这些元件的逆变, 变频和智能控制等应用领域也属初始试制阶段, 有的尚待开发。所有这些逼使我们必须立即调整产业结构, 发展横向联合, 避免低水平的重复试制, 应集中有限的人力、财力, 建立产业集团, 引进先进技术, 消化吸收现已引进的技术, 使之发挥作用, 同时要加强科研的测试基地的建设, 加强国际合作, 打破部门之间的隔阂, 在国家统一的规划下, 形成一个先进、高效的电力电子行业, 把产品打入国际市场。同时, 结合我国国情, 我们一方面要看到更新型器件, 如双向 MOS, 双向光控晶闸管, IGBT 以及新半导体材料的器件等还会在国外不断涌现, 另一方面也要看到普通晶闸管及其派生器件以及 GTO, GTR 等国外已成熟的器件, 在一较长时期内还不会退出历史舞台, 还有很多工作要做, 例如新型冷却技术, 新型材料管壳, 新工艺以及利用结构铜材料等开发工作, 使这些器件的容量, 结构以及频率等有所提高。另外这些器件的组态化, 模块化, 光控化在我国还须大力发展, 特别还应大力发展小功率的、工艺精细、玻璃钝化的各种小方片器件。同时, 对新型器件的发展必须注意重视应用先行, 否则将会重现新器件滞销时期和配套件发展不协调, 而妨碍新器件应用发展的教训, 我国 GTO 元件开发较早, 而进展缓慢, 就是一个明显的教训, 必须引起充分重视。

随着电力电子技术的蓬勃发展以及该技术在国民经济中起的重要作用, 使电工技术学会电力电子学会也得到了进一步的发展, 学会成立十年来开展了各种各样的学术活动, 进行了三次全国性的学术会议和几十次全国性的专业专题学术会议, 使电力电子技术的学术交流活动生气蓬勃, 此外, 学会还组织技术咨询, 科技普及活动, 出版电力电子技术丛书、手册、字典, 定期出版“电力电子技术”和“国外电力电子技术”学会专刊, 组织成果鉴定, 专业教育等工作, 还加强了与国外学会, 如日本电力电子学会和 IPEC, 欧洲 EPC, 美国电力电子学会的联系。学会也注意同兄弟学会的横向联合, 组织开展各种学术活动, 同时学会还组织科技人员协助中小企业发展生产, 搞好技术咨询工作, 开展技术服务, 大大加强学会在行业中的学术威信, 目前学会已发展到有会员 2600 余人, 团体会员 25 个, 地方学会 10 个, 已成为一个技术力量雄厚的学术团体, 促进了我国电力电子技术的发展。在此基础上, 我们迎来了第 4 次全国学术会议暨学会成立十周年纪念会, 在广大会员, 有关科技工作者的踊跃投稿和大力支持, 现已收到学术论文 264 篇, 经专家审查和评议, 由于论文集篇幅有限, 将刊登经删编的全文 158 篇和摘要 73 篇。部份稿件, 因来稿时间较迟已来不及审编, 故未能采用, 在此一并表示歉意, 不妥之外, 望请作者们谅解。此次学术活动还得到行业许多厂家的热情支持和帮助, 赞助经费, 承担学会委托的工作, 特别是中南学会, 积极协助论文集的出版和本会议的筹备工作, 桂林新技术产业开发区管理委员会对本次会议的如开在各方面给予很多支持, 在此一并致谢。

电力电子技术以一门崭新和富有生气的学科在近十年内得到蓬勃发展, 它已在国民经济领域的节能、机电一体化, 智能化和精密控制等方面起着重要作用, 相信通过本次年会的学术交

流，把广大从事电力电子技术的科学工作者联系在一起，取长补短，互通有无，为我国在本世纪末实现国民经济总产值翻两番的宏伟目标作出应有的贡献。

中国电工技术学会电力电子学会 吴济钧

第一部分 综述

电力电子技术的发展动向和建议

电力电子学会 张明勋 张为佐

从我国制出第一个晶闸管到现在已有二十多年。现在电力电子行业已发展到 125 个单位, 50000 多个职工的规模, 成为我国重要的工业部门。在此全国电力电子学会成立十周年之际, 对电力电子技术发展进行回顾与瞻望, 具有双重意义。

1. 电力电子技术的地位

电力电子器件的基本特点之一是都能以极弱的输入信号控制很大的输出, “放大倍数”极大, 这就是电力电子设备成为强、弱电之间理想接口的理论基础。微电子技术和计算机技术的新成就, 通过这一接口移植到传统产业部门, 可以促使后者产品的更新换代, 甚至产业结构的根本变化。所以当今机电产业部门要有所突破, 主要出路在于电子化。电力电子器件的另一个基本特点是全部工作于开关状态, 即正向压降极低, 而反向电流极小, 从而在理论上保证了各类电力电子设备所共有的节电性能。我国缺电严重, 长期以来已经成了谋求经济高速增长的“瓶颈”, 但是另一方面, 我国用电浪费严重, 每单位产值的耗电量为日本的 6 倍, 美国的 2~3 倍, 苏联的 1.7 倍, 矛盾十分尖锐。电力电子技术的应用, 正是解决这一矛盾的有力措施。

出于上述考虑, 国家科委已经将电力电子技术列为我国重点发展的高技术领域之一。此外电力电子行业和电气传动、电机行业, 分别将电力电子技术的相关内容作为重点项目列进各自专业的八五发展规划。电力电子技术的战略地位已被充分肯定。

2. 电力电子行业的结构现状和变迁动态

电力电子技术从一开始就围绕节电和强弱电接合这两个主题迅速发展, 在短短二十多年的时间内, 彻底淘汰了机械整流器和汞弧变流器, 将变流器的专业范畴从原来的整流、逆变和变频扩展到变相、交流电压调节和斩波, 进一步开拓了电子开关、调功器等内容, 使原来的变流器专业发展成为现在的电力电子专业。

为了说明我国电力电子设备的品种概貌及其应用领域, 根据年产千瓦数对产量最大的十二种类型进行排队, 其次序大致为: ①电解 (包括石墨化电源在内)、②铁道干线牵引、③直流传动 (直流电机调

速)、④城市矿山交通、⑤电镀 (包括阳极氧化和电蚀加工)、⑥交流传动 (交流电机调速)、⑦充电、⑧不间断电源 (包括稳流、稳压、稳频电源)、⑨感应加热、⑩同步电机励磁、⑪交流电子开关 (包括交流电子调压器和调功器) 和⑫直流斩波器。其中——

电解、干线牵引和直流传动的合计产量, 占全行业的 2/3 左右, 这三个领域, 从汞弧整流器时代起, 一直是我国变流器行业的支柱。在很大程度上左右着本行业的发展方向。

城市矿山交通、电镀、充电、交流调速、不间断电源和感应加热的产量合计为全行业的 20% 以上, 这是本行业的“第二世界”。其中交流传动在工业发达国家早已远远超过直流传动, 而国内还远远落后于直流, 估计今后会迅速发展成为我国量大面广的产品。其次不间断电源在本行业的产量中的百分比与国外相比相差甚远, 增长潜力很大, 仅次于交流调速。考虑到我国城市交通的发展动向^[1]和矿山开发需要, 预期也有较快发展。电镀、充电是我国多年来发展平稳的产品, 今后仍将平稳发展。

同步电机励磁、交流电子开关、直流斩波器和其余类型合计占 10% 左右, 其中交流电子开关和同步电机励磁已经成为定型产品, 直流斩波器和十二位以后的产品, 都是尚未定型或归并在其它行业的品种内, 目前产量有限, 但其中尚有不少具有潜力的新型领域。例如——

高压直流输电用变流器和静止无功补偿装置在我国起步较晚, 但已经建起两条线路。其中舟山的 20 万伏试验线路中的变流装置, 已于 1987 年投入运行; 葛洲坝到上海南桥的 50 万伏线路第一极的变流设备和静止无功补偿器也已于 1989 年 9 月投运。

在焊接变流器方面, 除了可控和不可控整流焊机, 接触焊机中的通断比控制器和输出整流桥以外, 逆变焊机值得一提。所谓逆变焊机就是利用电子变频器将 380V 工频电源改变到 2000~20000Hz 以后用变压器降至弧焊所需的低电压。南京电焊机厂应用这一技术, 使重量降低到原来的 1/7, 效率和功率因数大幅度提高, 成了支撑该厂的换代产品。这是“最佳频率技术”, 在弧焊设备上取得节电、节材效果的

典型例子。推而广之可以将这一技术推广到那些变压器和重量、损耗、成本上占可观比重的设备。例如南京电影放映设备厂，用以改造传统放映电源制出所谓逆变放映电源。

其他如日光灯升频节电、降低异步电机轻载电流的电子节能器、家用电器和电动工具的节能调节器等，就技术进步而言，不值一提，但就节能而言，大有可为。

总的说来，电力电子设备发展极快，后劲很大。新一代电力电子器件的商品化，进一步给设备的开发和推广提供新的动力。

3. 电力半导体器件

* 晶闸管 (SCR) 和整流二极管 前述电力电子设备的发展完全依靠整流二极管、晶闸管及其派生器件。这种器件的国内水平可用国内直流输电所采用的，由西安电力电子技术研究所生产的 KP (晶闸管) 器件作为代表，其硅片直径为 77mm，电流达 1650~2500A，电压 4400~1800V。该生产线还可以制造直径达 100mm 的更大器件，但由于 100mm 直径单晶的供应有问题，未能充分发挥作用。其次，北京整流器厂从 ASEA 公司引进的生产线，技术水平在 1100~2500A，4500~5000V 左右。

* 巨型晶体管 (GTR) [2] [3]、门极可关断晶闸管 (GTO) 和模块，为了简化变频传动和其他带逆变环节的变频器的换相系统，提高关断速度，借以降低价格和体积，于是出现了具有自关断能力的 GTR 和 GTO，经过三十年缓慢而持续的发展，功率逐步增大并逐步模块化，满足了低压一般用变频器和其他逆变器的推广需要，终于兴起了变频调速的热潮。在国外低压小容量 (例如 200KVA 以下) 设备，主要采用 GTR。

我国在 GTR 生产方面的水平可用北京椿树整流器厂和上海海燕半导体器件厂的两条引进线作为代表，其水平为 50~800A，1200~600V。

在 GTO 方面的水平可用北京椿树整流器厂从马可尼公司和上海整流器厂从 ASEA 公司引进的生产线可作代表，预期电流 600~2500A，电压 1800~4500V。

在模块方面，北京椿树整流器厂从马可尼引进的 GTR 模块生产线可到 150A，1200V。襄樊市仪表元件厂从美国四达公司引进的晶闸管模块生产线可到 25~160A，1300V。

此外在中小功率晶闸管和二极管，快速晶闸管 (500A 以下)，和塑封二极管、三极管方面也有引进。

上述引进技术和设备，少数已经投产，其余大多已进入调试生产阶段，为电力电子设备的水平、品种

和产量的发展创造了有利条件。

* 场效应器件 场效应器件的基本类型有金属氧化物场效应管 (MOSFET) 和结构型场效应管两种。前者在国内已有 1000V 商品，低压的电流达 50A，频率达 MHz 级，由于驱动电流很小，可以与集成电路直接接口。结构型场效应器件是一种利用施加于栅极 PN 结的反电压电场来夹断各个 PN 结沟道的场控器件，即静电感应晶体管 (SIT)，其频率高达 kHz 级，其后在 MOS 和 SIT 的基础上又派生出通态电阻低得多的绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 和静电感应晶闸管 (SITH)，其频率虽然下降，但功率大大上升。在 IGBT 的基础上增加一个关断用栅极以后，形成一种 MOS 控制晶体管 (MCT)，SITH 及 MCT 在通过大功率方面潜力很大，是未来最有希望的大功率场控器件。使 MOS 或 IGBT 与 IC 相衔接，又引出了智能功率器件……。新一代电力电子器件发展之快，种类之多出于意料。在这一方面，国内还刚刚起步。

4. 建议

(1) 交流传动特别是变频传动，应是八五期间最重要的发展领域，不久将成为我国量大面广的产品。

(2) 变频传动的广大市场，在于低压一般用途。我国变频传动在很长时期内，都是局限于能够承受昂贵价格的“高技术”领域或中大功率产品。对低压一般用途，没有给予应有重视。扭转这一情况的关键之一，是采用自关断器件，以简化换相，提高关键速度，以降低价格，使低压一般用途的小型 (例如 200kVA 以下)，变频传动能为广大用户所接受，因此八五规划期间，除了“高技术”以外，更应注意低压一般用途。

(3) 节能需要是推动电力电子技术发展的重要动力，而风机水泵等用电大户，是节能技术优先考虑的领域。例如绕线型电机驱动的风机水泵是推广串级调速的理想场所而笼型电机驱动者，是一般用途变频调速或滑差调速的最好领域 (后者虽不理想，但由于价格便宜，目前尚有地位，据南京调速电机厂的试点运行总结，由于价格便宜，可以在 1~2 年内回收技改投资)。

又如电炉和电焊机是我国电工系统的节能改造的重点，成为推动中高频感应变频器、电阻炉调功器、逆变焊机和其他电力半导体焊机及其控制重要动力。荧光灯、家用电器、电动工具之类的小产品，由于耗用的总电量为数可观，成为推广高效灯高频节能器、家用电器及电动工具节能调节器的刺激因素。其余如电车用斩波调速、升频节能技术、降低电机轻载损耗的电子节能器等等，或大或小都是值得注意的领域。