

中國電源學會

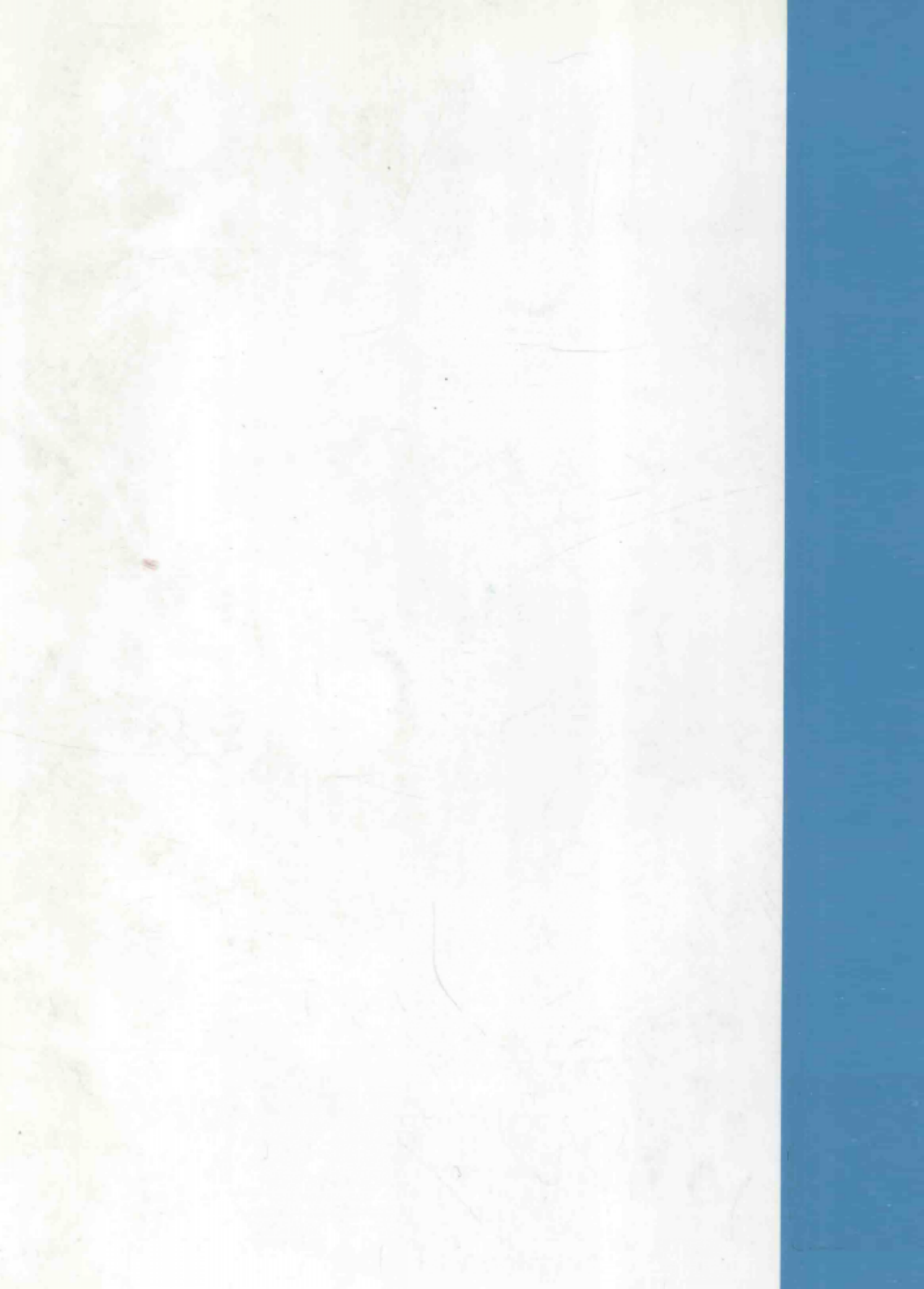
全國電源技術年會論文集

第 13 屆

1999 年 11 月 15 日 - 18 日

(深圳)

中國電源學會編輯委員會 編



中國電源學會

全國電源技術年會論文集

第 13 屆

1999 年 11 月 15 日 - 18 日

(深圳)

中國電源學會編輯委員會 編

前 言

中国电源学会第十三届年会于1999年11月15日至18日在深圳西丽湖渡假村隆重举行。学会理事长、南京航空航天大学丁道宏教授主持开幕式,与会代表、学会理事、团体会员代表约350人出席了会议。著名学者美国弗吉尼亚大学电力电子中心李泽元教授、工程院院士香港大学陈清泉教授应邀参加年会并作了学术报告。

年会收到180余篇论文,经中国电源学会学术委员会评审录用160篇。并经中国电源学会编辑委员会、《全国电源技术年会论文集》编辑委员会审定,在本届年会论文集中全文发表135篇,摘要发表25篇。论文反映了我国电源技术近期的发展状况,高频变换特别是软性开关高频变换技术已成主流,并且以较大力度向产业渗透。电源与各行各业都息息相关,电源的高频化、高功率密度化、微型化、智能化、绿色化等技术进展对许多技术领域的发展起到积极的推动作用,诸如通信现代化、铁路及城市轻轨列车、汽车业、电力现代化、绿色照明、民用和商用电子业、工业控制现代化、信息产业、国防现代化等等革命性的发展,都少不了电源技术的支持。我们期待着电源技术在即将到来的新世纪获得更大的发展。

本届年会得到深圳华为公司赞助,北京奥米伽电源技术服务中心帮助出版了论文集,在此一并致谢。

中国电源学会编辑委员会
《全国电源技术年会论文集》编辑委员会
一九九九年十一月

《全国电源技术年会论文集》编辑委员会

主任委员 丁道宏

副主任委员 倪本来

委 员

丁道宏	刁成明	马传添	马鹤亭	于百江	万桂敏	卞敬明
方资端	王其英	王鸿麟	区健昌	宁鸿钧	冯桂山	史平君
李厚福	李朔生	李允武	李道凯	李宗光	李中江	李占师
李龙文	庄蓄田	关力更	汤佩娥	严家耀	刘守智	刘冬立
陈翔龙	陈 坚	陈永真	杨贵生	张建荣	张广明	张乃国
张承志	张志国	张 立	张占松	张为佐	张忠相	张汝海
张谷勋	陆 鸣	郑秋白	季幼章	周庭光	周祖明	胡守约
赵良炳	赵修科	赵建统	赵德闻	倪诗镛	倪本来	徐泽玮
徐兰筠	徐会明	徐德鸿	徐彦清	徐世六	侯振程	黄汉生
黄济青	惠绍棠	陈兆发	程仁杰	葛有信	董 良	谭 信

《全国电源技术年会论文集》编辑部

总 编 辑 倪本来

副总编辑 张志国 张建荣

编 辑 张忠相 张道扬 张汝海 张 嵘

李振江 路秋生 于百江 倪海东

第十三届《全国电源技术年会论文集》

目 录

专题论述

从 APEC'98 看电源工业的发展趋势	钱照明 张兴柱 何湘宁(1)
三相高功率因数整流器的发展与现状	徐德鸿(5)
模糊控制应用简介	俞仕群(8)
从一个侧面看功率电子学的研究进展	吴新余 许文龙(10)
电力电子的发展现状及动向	李琰枢(13)
能源、社会和环境	陈清泉(16)

方法 模型 分析 仿真

超导储能系统交流侧滤波器设计的几何方法	徐德鸿 马 皓(23)
基于门电路的矩形脉冲源设计原理	汪鹏君 吴训威(28)
应用轨迹法分析功率管的开关损耗	杨玉玠(31)
开关电源印刷电路板 EMC 辅助设计的软件方法	吴 昕 钱照明 庞敏熙 李俊明(34)
多模块交错准方波(QSW)DC/DC 功率变换器的平面化集成电感方案研究	陈 为 罗恒廉 李哲元 周迅伟 徐 鹏(37)
多模块直流电源的静、动态均流	杨 勇 秦荃华(41)
开关变流器仿真模型的改进算法	沈 斐(45)
统一开关过程理论初探及其应用	周谦之 张相军 许海斌(51)
利用无芯 PCB 变压器传输功率	S. Y. R Hui (54)
功率变换器建模技术综述	张卫平 吴兆麟(58)

开关电源 DC/DC 变换

宽输入范围、多隔离输出计算机电源设计方法	尚瑞秋 丁 洁(68)
全桥双向电流源高频链逆变器	黄敏超 林渭勋(71)
斩控式整流电源的单片机控制系统	潘 岚 吴 霞(75)

一种用于 APFC 的改进型 ZVT-BOOST 电路	王正仕	方红兴	徐德鸿(78)
全桥电流源高频链逆变器	黄敏超	徐德鸿 应建平	林渭勋(82)
双管正激变换器交错并联的方法比较		冯瀚	徐德鸿(87)
中、大功率高频隔离 PWM DC/DC 变换器拓扑			徐德鸿(93)
零过渡技术及采用该技术设计的 DC/DC 变换器			李龙文(97)
移相全桥零电压 PWM 软开关变换器的研究			佟首峰(99)
新型 ZVZCT 软开关 PWM 变换器的研究	林国庆	张冠生 陈为	黄是鹏(103)
Boost 电路具有动态修正误差的滑模变结构控制	伍言真	丘水生	陈艳峰(108)
移相 FB-ZVS PWM 变换器的分析与设计	林荫宇	侯振程	肖学礼(112)
高可靠性 BUCK 高频直流变换器中的设计考虑		郭长林	刘军军(116)
软开关移相控制全桥变换器一周期十二个工作过程分析		刘胜利	严仰光(118)
零电压零电流开关 PWM DC/DC 全桥变换器的分析		阮新波	严仰光(128)
DC/DC PWM 全桥变换器的软开关技术(理论基础)		阮新波	严仰光(134)
DC/DC PWM 全桥变换器的软开关技术(实现策略)		阮新波	严仰光(141)
基于双管反激 DC/DC 变换器的双向电流源逆变器研究		成本茂	解永辉(146)
一类新型辅助开关零电流关断的零电压过渡 PWM 电路		杨旭	王兆安(150)
准固定频率滞环 PWM 电流模式控制方法的研究		杨旭	王兆安(155)
罗氏变换器的实用电路	叶虹	叶治政	罗方林(158)
利用开关电容器做成的二象限直流电压变换器		罗方林	叶虹(164)
带有输出功率限制特性的软开关变换器	庞敏熙	何永财	潘毅杰(168)

不间断电源 逆变器

特定消谐逆变技术在 UPS 中的应用	王宇红	张文义 陈向阳	袁瑞铭 徐会明(176)
全数字化大功率 UPS		赵杰雄	徐永福(178)
如何为计算机网络选配 UPS 电源			李成章(181)
采用大规模集成电路 HEF4752 的逆变器			鞠文耀(185)
谐振直流环节逆变器的发展	肖岚	王勤	严仰光(188)
5Hz/50V 60V 70V 三档三相 SPWM 波形的生成方法	林建伟	张锡庚	史生计(193)
谐振直流环节逆变器及其应用	严仰光	阮新波	赵宇(196)
逆变器两种双环瞬时反馈控制方式的分析比较	邢岩		严仰光(207)
逆变器并联运行技术	王欣亚	邢岩	赵修科(210)
一种新颖的自适应 PWM 逆变电源	张俊		胡育文(213)

交流电源

微机控制的多功能交流稳压电源 刘振亚 朱励行(216)

工业电源 变频电源 特种电源

多路输出的冗余式高可靠电源供应系统 蔡 荣 陆剑波 叶奇放(218)

三相开关磁阻电动机低速驱动电源的研究 史旦旦(220)

实验稳压电源的新设计 刘喜甫 朱春起(223)

SPWM 铃流信号发生器的设计 刘喜甫 朱春起(225)

介绍一种新型的变频器—特定消谐式变频器 陈向阳 袁瑞铭 王宇红 张文义 徐会明(230)

高压内反串级调速电机及其控制装置在水厂的应用 王励涛 何瑞峰(232)

一种计算机电源的新模式 张谷勋(234)

一种大功率高稳定度的稳流电源 孙孟大 王德泰 叶是杰 吴光华(238)

微型 RF CO₂ 激光电源 滕学顺 刘培荣(241)

高频直流脉冲环节静止变流器研究 陈道炼 刘志政 严仰光 胡育文(243)

航空静止变流器的发展 王 勤 肖 岚 严仰光(248)

48V/3KVA 正激直流环节软开关静止变流器的分析与实现 肖 岚 龚春英 姜志强 严仰光(251)

开关点预置 VSCF 电源电压调节方案研究 陈 新 谢少军(255)

用于无刷直流电动机的电容储能型变换器的设计与分析 傅 颖 周 波(258)

IGBT 高压变频调速电源 冷增祥(263)

小功率通信电源的控制电路 倪云龙 崔海安(267)

高可靠性稳压电源的设计 欧寿春 黄勇涛 王玉(270)

电力系统用 5KVA UPS 的研制 高 军 冯爱刚 杨 旭 王兆安(274)

HL-1M 中性束注入器等离子体发生器电源 王德泰 等(277)

HL-1M 中性束注入器加速极电源 王德泰 等(282)

一种新型数控高压电源 王 斌(287)

基于 87C196MC 控制的大功率 EGBT 超声波逆变电源 张聂荣(289)

HL-1M 中性束注入器加速极电源的调制和初步运行 王德泰 等(291)

高压微波激励开关电源的研制 杜心林(295)

相控阵雷达电源动态特性的改善 鲁 丁 杨启明(298)

高效、低应力、低污染、低输出纹波通信开关电源的研制 杜中义(301)

基于 DSP 的变速恒频电源数字变换器 陈 新 谢少军(304)

大容量 400Hz 静止变频电源研制 白小青 石 涛 李 辉 卢加林 苏彦民 谢力华(308)

一个实用的智能化自然能供电系统 刘 荣 钱希森 刘安才 喻 翔(313)

一种新颖的精密陀螺电源	江 涛 赵振民 王 聪(316)
-------------------	------------------

电子镇流器 照明电源

荧光灯电子镇流器的发展	沈向军(318)
荧光灯动态 PSpice 模型	戴国骏 高济平(321)
荧光灯的小信号模型	戴国骏 钱照明 袁攀虞(326)
高性能电子镇流器及其专用集成控制器	陆 鸣(329)

化学物理电源 充电器

废旧电池的危害及回收利用	张俊喜 陈 健 乔亦男 曹楚南(338)
铅酸蓄电池的失效机理及检测	徐剑虹(341)
一种新型密封铅酸蓄电池用胶粘剂	李 寅 张忠林 何晓郁 李耀庚 王 东(344)
阀控式密封铅酸蓄电池负极汇流排腐蚀	张忠林 何晓郁 王 东(346)
电力用智能高频开关整流式充电电源的研制	冯兴海 李景丰 郭长林(348)
热电池在空空导弹中的应用	谢 翔 刘爱军(352)
国内外直流电池柜发展概况	刘忠云(356)

功率因数校正 驱动 保护 控制

<u>无源吸收技术的原理与典型电路</u>	邓 焰 何湘宁 钱照明(358)
大功率功率因数校正电路的设计	虞利民(363)
一种实用的三相有源滤波器控制策略的研究	徐玲玲 应建平 陆 冰(366)
双半波整流技术	张 莹 陈永真 王晓龙(372)
线性稳压电源的开关型过电流保护	陈永真 王晓龙 王 智 曹永刚 乌恩其(374)
改进 PWM 开关变换器输出电压动态特性的控制新方法	林维明 张冠生 陈 为 林国庆 黄是鹏(378)
PFC 电路的计算机仿真模拟	宋 铮 钟洪声(382)
开关电源驱动与保护线路	张益平(386)
MOSFET 驱动电路研究	王 勤 肖 岚 严仰光(388)
几种高频驱动电路的研究	刘 煜 龚春英(392)
30KVA 逆变电源中 IGBT 的驱动与保护	卢家林 苏彦民 白小青 石 涛(394)
IR2130 保护功能的扩展	叶治政 史平君(397)
IGBT 的驱动与保护技术	盛祖权(399)
全控制型电力电子器件驱动技术的新进展	李 宏(404)
单相桥式整流滤波负载的功率因数分析	谢章贵(408)

使用双 CPU 工作的电力直流电源系统控制器	张志刚 王 聪 王汝琳 赵 钢(410)
------------------------------	----------------------

电磁兼容 测量 标准 安全加固

非正弦波功率的测量	陈 宏 任国海 徐德鸿 程肇基(412)
关于 UL 认证灯降低温升的探索	朱树建(415)
局用交换机电磁兼容和电气安全测试	雷海强 王振英(418)
局用交换设备电源接志及系统接地	王振英(423)
开关电源设备的可靠性工程设计研究	陈善华(426)
一种智能化伏安特性测试仪	周洁敏 陶云刚 姚志峰 姚宗信(430)
电源防雷及过压保护	季振山 冯土芬 季幼章(433)
电源系统电磁干扰的抑制	郭 凤(437)
DC/DC 转换模块的电磁兼容设计	骆云飞 周晓波(440)
低通无源 EMI 电源滤波器的设计	王清洲(442)

器件 磁性材料 其他

新型纳米晶合金及其在电力电子技术领域中的应用研究	顾雪辉(445)
滤波电感在电源抗干扰中的应用	姚 中 虞维扬 张湘虹 赵海燕(451)
新一代电源模块	庚 雷(456)
IGBT 的抗短路能力	陈永真 张 莹 曹永刚 郭 涛 王 智(460)
BSIT 的开关特性	王 智 陈永真 栾德宝 王成武(463)
快速二极管的反向恢复特性	王 智 陈永真 张 莹 王晓龙(466)
磁芯材料特性测试技术	李智华 罗恒廉 费鸿俊(468)
高频低造型电源变压器的设计与应用	胡跃全 何多慧 金泰义 Ki-wai cheng Yim-shu Lee(472)
关于 UC3842 的供电问题	陈义怀 胡卫华 李 超 史平君(480)
TOP Switch 器件在电源中的应用	柏 松 陆 鸣(482)
电流型 PWM 控制器 LT1846 的原理与应用	叶治政 史平君(488)
APFC 电感的设计和磁芯选择	黄永富(491)
高频电力电子互补式开关的应用研究	林周布(495)
传递 SPWM 波的逆变电源变压器的设计	卢家林(499)
用 TOPswitch 器件研制微功率开关电源	徐顺尤(503)
用 TOP 智能开关设计反激电源	黄汉生(506)

摘要部分

国外开关电源技术现状和趋势	张兴柱(513)
开关电源的发展动态与发展趋势	李 忠 王笑君 关德荣 泰世才(513)
蓬勃发展的电子电源技术	李 宏(513)
电路仿真软件 SPICE 在电源设计中的使用技巧	陈大科(513)
广义软开关变换器的技术原理与应用	张益平 饶国才(514)
应用 PWM - ZVS 和同步整流技术的正激变换器	庞 菁 邹怀虚(514)
四象限开关电容直流电压变换器	罗方林 叶 虹(514)
UPS 在广播电视系统中的应用	刘亚平 董建华(515)
西德光端机电源的维修及替代产品	董建华 孙晓宁(515)
电力机车空调变频电源系统	王映波 段善旭(515)
全桥弧焊逆变器可靠性实验研究	蔡 晓 文保平(516)
晶闸管等离子电源的实验与研究	那 娜 程跃中 刘世斌 刘志宏(516)
大功率 IGBT 蓄电池智能充电模块	杨 宁 杨 旭 王兆安(516)
300KV 脉冲调制器的研制	张 冰 马文多 梁 正 杨梓强 胡绍湘(517)
多波束集中供电高压电源	黄福伦 赵伟刚(517)
即时网络与 DSP 在电机控制的应用与展望	邹应屿(517)
GZ 系列隔镍电池免维护电池直流电源柜	刘忠云(518)
开关式充电装置简介	徐宝丰(518)
用于通信电源谐波抑制的三相串联型电力有源滤波器	姚为正 刘进军 王 群 王兆安(518)
IGBT 驱动及富士 EXB 系列驱动器的使用	史平君(519)
串联型和并联型有源电力滤波器补偿特性的对比研究	姚为正 王 群 刘进军 王兆安(519)
电源控制保护技术新述	王忠林(519)
应用 BP 神经网络诊断电力电子电路故障	马 皓 徐德鸿 卞敬明(520)
第三代 IGBT 及其并联使用技术	史平君(520)
电子电源用功率半导体器件的新动向	李 宏(520)

从 APEC'98 看电源工业的发展趋势

钱照明 张兴柱 何湘宁

浙江大学电机系 (杭州 310027)

IEEE 应用电子技术第十三届年会(IEEE 13th Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition),于 1998 年 2 月 15 日-19 日在美国加州阿拉海姆举行。技术专题报告会包括 15 个与电力电子技术实际应用密切相关的专题,其中主要内容有:矢量控制感应,同步电机调速装置基础,交流电机的伺服系统和控制,调速装置相关的电磁环境问题,开关电源的设计和布置,减小电网谐波,磁性元件设计,集成磁性元件,电力电子技术中的混合封装,变流系统动态瞬态过程分析,印刷板上功率模块的选用指南等。这次会议录用的学术论文共 179 篇,会议期间,十几家公司还分别举行了 12 场技术报告会。

基于这次会议,就电源行业有关的最新技术和市场发展动态简单概述如下:

1 美国电源市场预测

美国开关电源商业市场是与台式计算机、电话机产品市场同步发展的。随着计算机及通讯设备市场迅速、持续稳定的增长以及新的 IT 网络产品市场的迅速增长,未来的电源市场是非常乐观的。基于对 VDC'S“美国商业市场和机内 AC/DC 开关电源及 DC/DC 变换器应用”研究报告的分析,基于对美国主要电源应用领域大、中型 OEM 的主要决策者和对美国大、中型电源制造厂市场部人员的调查,以及根据来自其它渠道的信息,文献[1]对美国电源工业的过去,现在和将来的市场趋势作了比较全面的综述。

当前美国电源工业市场的结构和分布如图 1 所示:

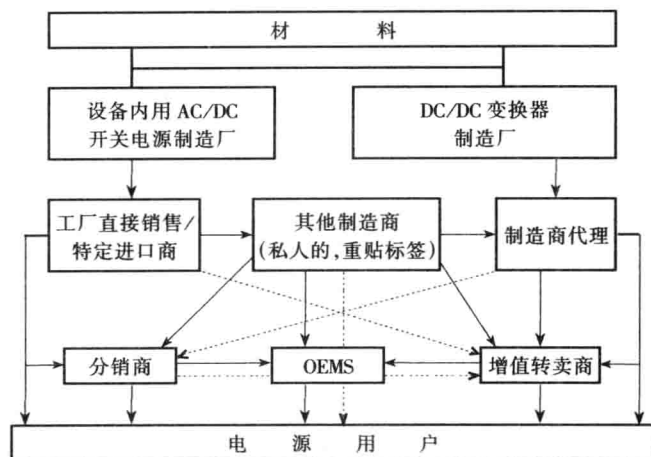


图 1 美国电源工业市场的结构和分布

图 1 中所示电源制造厂生产的大多数电源是直接运给 OEMS 和分销商的。目前增值转卖商销售量尚不大,但是将变得日渐重要起来。

1.1 AC/DC 开关电源市场预测

(1) 额定功率

按 AC/DC 开关电源的额定功率大小分类,各类电源市场占有率及年增长率示于表 1。从表 1 数据可见,251-500W 电源在 1992 年占 21.5%,而到了 1996 年却下降到 15.8%。近年来低功率及高功率电源所占比例上升较快,其中 1001-1500W 电源增长率最高,预见年增长率可达 16.5%,主要需求是非军用的、商用的要求大量输出电压较低而输出功率较高的 AC/DC 开关电源。

表 1 按额定功率大小分类,AC/DC 开关电源市场 (百万美元)及年增长率

功率范围	预 计			平均年增长率
	1996	1998	2001	
2000W 以上	261.1	328.2	456.6	11.8%
1501-2000W	189.4	234.8	325.2	11.4%
1001-1500W	239.5	324.7	514.7	16.5%
751-1000W	196.7	251.4	364.4	13.1%
501-750W	300.8	384.0	554.8	13.0%
251-500W	425.2	542.7	785.4	13.1%
151-250W	426.3	534.5	752.2	12.0%
76-150W	274.8	347.4	495.8	12.5%
25-75W	232.6	291.1	408.4	11.9%
小于 25W	125.3	152.2	204.1	10.2%
总计	2,671.7	3,389.0	4,861.6	12.7%

(2) 用户应用领域

按 AC/DC 开关电源的用户应用领域分类,各类电源市场占有率及年增长率如表 2 所示。从表 2 数据可见,远距离通讯和数字网络交叉应用领域的蓬勃发展,包括发射装置、专用交换机异步传送开关(ATM)、远程存取 LAN 设备、电视会议设备的发

展,均会促进对机内 AC/DC 开关电源的需求。因此,用于远距离通讯和数据通讯机内的 AC/DC 开关电源的年增长率可达 15.1%。而计算机和办公自动化用的机内 AC/DC 开关电源将继续保持最大的消费份额,但是增长率将不如前者。在工业和仪表市场消费领域,国内外对新型、先进医疗和实验室设备,包括医用监视器,通风和验血设备用的 AC/DC 开关电源需求将日益增长。除此以外,工业过程控制机、操作控制台、测试和测量仪器用的电源将在工业应用领域中占领领先地位。与人们想象相反,军用/航空领域对 AC/DC 电源需求下降。总的说来,到 2001 年,对 AC/DC 开关电源的需求平均每年增长 12.7%。

表 2 按用户应用领域分类,各类 AC/DC 开关电源市场
(百万美元)及年增长率

用户应用领域	预 计			平 均 年增长率
	1996	1998	2001	
计算机/办公自动化	1,417.5	1,807.1	2,600.8	12.9%
远程及数据通讯	761.9	1,035.8	1,579.9	15.1%
工业/仪器	333.3	399.8	522.5	9.4%
军事/航天	124.4	129.4	137.3	2.0%
其 它	14.6	16.9	21.1	7.5%
总 计	2,671.7	3,389.0	4,861.6	12.7%

1.2 DC/DC 变换器市场预测

(1) 功率定额

按 DC/DC 开关电源的额定功率大小分类,各类电源市场占有比例及年增长率如表 3 所示。从表 3 数据可见,51 - 250W DC/DC 开关电源在过去四年中占的份额最大。由于微处理器的高速化,DC/DC 开关电源由低功率向中功率方向发展是总的趋势。一般说来,DC/DC 开关电源在低功率范围增长率最快,其中,16 - 25W DC/DC 开关电源的增长率最高,这是因为它们大量用于直流分布式电源,而直流分布式电源正广泛地用于测试和测量设备、计算机显示系统、坚固可靠的计算机和军用通讯系统。251 - 500W DC/DC 开关电源增长率则居于第二位,它们主要用于服务性的医疗和实验室设备、工业控制设备、远程通讯设备、多路通讯及其它发送设备。51 - 100W DC/DC 开关电源在 1996 年占的份额最高,但预见增长率较低。

表 3 按额定功率大小分类,DC/DC 开关电源的市场
(百万美元)及年增长率

功率范围	预 计			平 均 年增长率
	1996	1998	2001	
750W 以上	81.3	99.6	134.9	10.7%
501 - 750W	70.0	92.4	140.7	15.0%

251 - 500W	70.4	94.5	149.3	16.2%
151 - 250W	91.3	120.7	184.5	15.1%
101 - 150W	95.9	118.7	164.2	11.4%
51 - 100W	130.2	174.2	244.5	11.0%
26 - 50W	62.5	80.5	118.3	13.6%
16 - 25W	51.0	69.7	111.3	16.9%
6 - 15W	31.7	42.7	66.9	16.1%
1 - 5W	43.3	55.0	78.8	12.7%
小于 1W	8.2	10.6	15.3	13.3%
总 计	744.8	958.6	1,408.7	13.6%

(2) 用户应用领域

按 DC/DC 开关电源的用户应用领域分类,各类电源市场占有比例及年增长率如表 4 所示。从表 4 数据可见,与 AC/DC 电源情况类似,DC/DC 开关电源在远程通讯和数字通讯领域,年增长最高,达 15.2%。

表 4 按用户应用领域分类,各类 DC/DC 开关电源市场
占有比例及年增长率

用户应用领域	预 计			平 均 年增长率
	1996	1998	2001	
远程及数据通讯	304.6	404.0	618.0	15.2%
计算机/办公自动化	277.1	363.1	545.3	14.5%
工业/仪器	85.0	105.2	145.2	11.3%
军事/航天	78.1	86.3	100.2	5.1%
总 计	744.8	958.6	1,408.7	13.6%

2 小功率变换器在今后五年内的发展趋势

论文[2]就美国 10 - 25W 及 50 - 200W DC/DC 变换器及 500W 以内的 AC/DC 变换器等三类变换器的技术、价格现状和未来发展趋势作了综合的对比,分别如表 5、表 6 和表 7 所示。从中我们可以看出,小功率变换器在今后五年内的主要发展趋势是:

为适应超高速 CPU 芯片的迅速发展,DC/DC 类变换器向低输出电压(最低将低到 1.2V)、低成本、高输出电流、高频化(400 - 500KHz)、高功率密度、高可靠性(MTBF $\geq 10^6$ 小时)、高效率的方向发展。

表 5 500W 以内的 AC/DC 变换器技术的主要发展趋势

技术要求	目前水平	预计 2002 年水平
成本	0.25 - 0.6 美元/瓦	0.15 - 0.5 美元/瓦
功率密度	2 - 4 瓦/立方英寸	3.5 - 6.0 瓦/立方英寸
输出电压	3.3 - 50 伏	2.5 - 50 伏
可靠性(MTBF)	5×10^5 小时(0.5 兆小时)	10^6 小时(1 兆小时)
控制	200kHz, 带 PFC	400kHz, 带 PFC
功率拓扑	两级正激	单级 PFC

表 6 10 - 25W DC/DC 变换器技术的主要发展趋势

技术要求	目前水平	预计 2002 年水平
成本	0.25 - 0.5 美元/瓦	0.1 - 0.25 美元/瓦
输入电压	9 - 12 伏	1.5 - 12 伏
输出电压	3.3 - 12 伏	- 1.2, 3.3 伏
可靠性(MTBF)	数兆小时	数兆小时
控制		同步整流器
功率拓扑	Buck/线性	同步开关电容
效率	85 - 90%	> 90%

表 7 50 - 300W DC/DC 变换器技术的主要发展趋势

技术要求	目前水平	预计 2002 年水平
成本	0.25 - 1.0 美元/瓦	0.15 - 0.5 美元/瓦
功率密度	54.3 瓦/立方英寸(300 瓦)	> 108.6 瓦/立方英寸
功率密度	29.6 瓦/立方英寸(50 瓦)	> 59.2 瓦/立方英寸
输入电压	24, 48 伏	24, 48 伏
输出电压	3.3, 5, 15 伏	- 1.5, 2.2, 3.3, 5, 15 伏
可靠性(MTBF)	1 - 10 兆小时	20 兆小时
控制	400 - 500kHz	400 - 500kHz
功率拓扑	400 - 500kHz	400 - 500kHz
效率	85 - 90%	> 90%

3 低压大电流 DC/DC 变换器的技术动向

如前所述,现代微处理器和一些超高速的超大规模集成电路芯片,如 Intel Pentium Pro 等,要求运行在低电压(2.4 - 3.3 伏 V)、大电流(> 13A)状态,而直流母线电压通常为 5 - 12 伏。这样,就对其供电电源(电压调整模块 - VRM)提出了新的挑战^[3,4]:要求 VRM 具有非常快速的负载电流动态响应,在保证足够小的体积的同时,具有高效率。表 8 给出了现代微处理器对

VRM 的要求:

表 8 现代微处理对 VRM 的要求

	目前	将来
输出电压	2.1 - 3.5V	1 - 3V
负载电流	0.3 - 13A	1 - 50A
允许输出电压的变化	$\pm 5\%$	$\pm 2\%$
去耦电容器电流变化率	1A/ns	5A/ns

为了使 VRM 具有快速的负载电流动态响应,传统的解决办法是在 VRM 的输出端并联很多容量很大、等效串联电阻很小的退耦电容器。显然,该方法存在如下问题:

① 退耦电容器体积很大,而现代微处理器对 VRM 的体积有严格的要求;

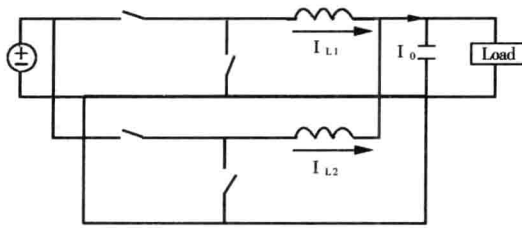


图 2 交错叠加型准方波抵消纹波的变换拓扑原理方框图

② 退耦电容只能改善动态响应的最初阶段,对后阶段及总的动态响应时间没有作用。

为此,论文[3]提出了一种交错叠加型准方波抵消纹波的变换拓扑结构。其原理方框图如图 2 所示。

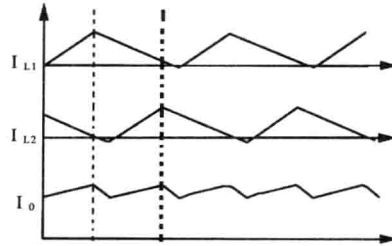


表 9 比较了该方案与传统采用大容量退耦电容器方案的结果。结果表明,该结构在保证要求输出纹波的前提下,不但可以大大减小输出滤波电容器的容量,而且能大大减小 VRM 的输出滤波电感的电感量。

表 9 与传统大容量退耦电容器方案的比较结果

	交错叠架型准方波 VRM	传统 VRM
总电容量	1520 μ F	7000 μ F
输出滤波电感的电感量	320nH($\times 2$)	3.8 μ H
动态电压跌落	100mV	150mV

除此以外,为了提高 VRM 的动态响应,还必须力求减小供电母线的引线电感。最有效的办法是将 VRM 作成“装在印刷板上”的形式,直接装在负载附近,而不采取集中电源供电的形式。另一方面,还要求 VRM 本身具有十分小的引线电感。为了保证 VRM 具有足够高的效率,必须采用同步整流器和漏感很小的平面超薄型的变压器^[3]。目前,美国能生产这类新型 DC/DC 变换器 - VRMs(Voltage Regulator Modules)的生产厂主要有 Astec, Celestica 和 VXI。

此外,未来的开关电源系统中另一个迅速发展的趋向是集成功率保护系统 - IPPS(Integrated Power Protection System)。目前,在这个方向市场做的最好的公司是加拿大的 Amsdell 公司,它的新的工艺使成本减到可与 PS/2 电源相比拟。

4 对我国电源行业发展的几点思考

鉴于前面对美国电源工业的综述和分析,我们可以得到许多有益的启示,特别是对我国电力电子行业今后的发展趋向,可以引起我们作一番认真的思考。

(1) 到 2001 年,美国开关电源的市场仍以百分之十几的平均增长率发展,而我国目前还是一个发展中国家,我国的开关

电源市场还远未开拓,相控电源仍在我国电源工业中占有相当大的比例。我们认为,从长远和战略的观点看,利用 PWM 技术的电源最终必将取代各类相控电源。所以集中力量自行开发、生产国产开关电源,全力开拓和占领我国国内的开关电源市场,必须引起我们足够的重视,以免重蹈国内中小功率通用型变频器市场几乎全为国外产品垄断的复辙。

(2) 从分析美国生产的各类开关电源可以看出,即使在美国,小功率(1-2KW 以下)的开关电源在美国电源工业总产值中占有比例最大。因此,我们应当全力加强对小功率开关电源的研究、开发和组织规模生产,以迅速形成我国自己的开关电源产业。

(3) 小功率开关电源是一种技术含量较高的电力电子产品。高可靠性是第一位重要的指标,其次 EMI、PFC、效率、体积和重量等指标,也是我国自己生产的产品能否参与国际市场竞争的重要因素。为此,提高我国电力电子行业技术、生产队伍的科技水平和素质变得非常重要和刻不容缓。

(4) 在开发和发展的电源产业过程中,必须同步发展高频磁性材料、元件以及模块制造技术,它们的研究、开发和生产对我国形成开关电源产业关系十分密切,不能掉以轻心。

参考资料

- [1] L. Bloom. Past, Present and Potential Dynamics within the Power Supply Industry. Proceedings of APEC'98, 1998:278 - 284
- [2] X. Zhou, et al. Investigation of Candidate VRM Topology for Future Microprocessors. Proceeding of APEC'98, 1998:145 - 150
- [3] J. Cobos, et al. Several Alternatives for Low Output Voltage on Board Converters. Proceeding of APEC'98, 1998:163 - 169
- [4] D. Staffiere, J. Sarjeant. Power Technology Roadmap. Proceeding of APEC'98, 1998:3 - 8

三相大功率因数整流器的发展与现状

徐德鸿 浙江大学电机系 (杭州 310027)

摘要:本文对近几年三相大功率因数整流电路的发展和现状作了系统和全面的回顾和介绍,对几种典型拓扑结构的优缺点作了比较和分析。

叙词:大功率因数 整流器 谐波

1 引言

近二十年来电力电子技术得到了飞速发展,广泛应用到电力、冶金、化工、煤炭、电力传动等许多工业领域。大多数电力电子电路都通过整流器与工业电网接口,经典的整流器是由二极管或晶闸管组成的一个非线性电路,存在如下缺点:

- (1)输入电流谐波含量高;
- (2)从电网吸取无功功率,输入功率因数低;
- (3)因为整流器输入电流额定值大,使整流器效率降低;
- (4)交流侧电网电压产生畸变。

电力电子装置已成为最主要的谐波源,传统整流器污染了电网,成为电网公害。我国国家技术监督局在1994年颁布了《电能质量公用电网谐波》标准(GB/T14549-93),国际电工学会也于1988年对谐波标准IEC555-2进行了修正,传统整流器已不再符合新的规定。因此,传统整流器将面临前所未有的挑战。

抑制电力电子装置产生的电流谐波的方法有两种:一是被动的,即采用无源滤波或有源滤波电路来旁路或补偿谐波;另一种方法是主动式的方法,设计新一代高性能整流器(UPF),具有输入电流为正弦、谐波含量低、功率因数高等优点。由于后一种方法在中小功率范围具有成本低、效率高、性能好等优点,并且符合新的谐波管理规定,因此,功率因数校正电路(PFC)得到了很大的发展,成为电力电子学目前研究的一个重要方向。

单相功率因数校正电路目前在电路拓扑和控制方面已相当成熟,而适合中高功率等级的三相变换器比单相整流器对电网产生的污染更大。因此,三相大功率因数整流电路的研究近年来成为研究热点。下面将简单介绍近几年三相PFC的主要拓扑结构。

2 三相PFC的基本拓扑

2.1 单开关三相PFC拓扑

单开关三相PFC按输入类型可分为电感输入型、电容输入型、谐振输入型和Buck-Boost输入型。电感输入型三相PFC是用图1(b)中的网络A1代替图1(a)中的网络A而构成的,它的



图 1(a) DC/DC Boost 型变换器

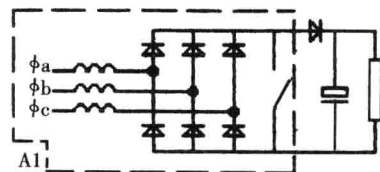


图 1(b) 电感输入型三相单开关 PFC

基本原理可认为是单相电流断续式(DCM)PFC在三相的延伸^[1]。假设开关频率远高于电网频率,在开关开通期间,输入电压近似不变,电感电流线性上升,电流峰值和平均值正比于相电压,开关关断期间,电感能量释放到负载,在此阶段,电感电流平均值是输入相电压和输出直流电压的非线性函数,平均相电流可表示如下:

$$\begin{cases} \left(\frac{V_m}{R_{eff}} \right) \cdot \frac{\sin(\omega t)}{1 - 2\mu \sin(\omega t)}; & \begin{cases} 0 \leq \omega t \leq \frac{\pi}{3} \\ \frac{2\pi}{3} \leq \omega t \leq \pi \end{cases} \\ \left(\frac{V_m}{R_{eff}} \right) \cdot \frac{\sin(\omega t)}{1 - \mu \sin(\omega t)}; & \frac{\pi}{3} \leq \omega t \leq \frac{2\pi}{3} \end{cases} \quad (1)$$

其中, $\mu = \frac{3V_m}{2V_d}$, $R_{eff} = \frac{2L}{D^2 \cdot T_s}$, L 为输入电感, T_s 为开关周期, V_d 为输出直流电压, V_m 为相电压。从(1)式看出,输入电流平均值强烈依赖于 μ ,只有 $\mu \rightarrow 0$,即 $V_d \gg V_m$ 时,输入电流才接近正弦,功率因数才为1。因此,此电路有如下缺点:

- (1)输入电流工作在DCM方式下,开关所受的电流应力大;
- (2)输出电压与占空比之间存在严重的非线性关系,这就造成系统闭环困难;
- (3)为了提高功率因数,需增大输出电压,导致开关电压应力增加;

(4)由于采用电流断续方式,EMI大。

尽管如此,由于此电路元件少,成本低,开关工作在零电流开通,开通损耗小等优点,在中小功率的三相 PFC 中仍有相当大的吸引力。

电容输入型三相 PFC^[2]是用图 2(b)中的网络 B1 代替图 2(a)中的网络 B,其工作原理可认为是电感输入型 PFC 的对偶,它适用于输出电压低于输入电压的场合。不同之处在于,输入电流的功率因数和谐波总量 THD 依赖于输出电流,输出电流越大,THD 越小,功率因数越高。但是,电容输入型 PFC 中开关工作在高电压、大电流方式,工作条件很差。

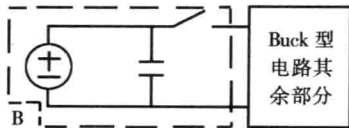


图 2(a) DC/DC Buck 型变换器

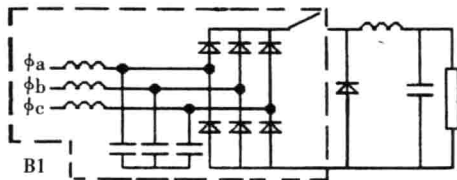


图 2(b) 电容输入型单开关三相 PFC 拓扑

谐振输入型 PFC 与上两种类似,以零电流开关谐振式(ZCS)Buck 型 PFC 为例,以图 3(b)中的三相谐振单元 C1 代替谐振型 DC/DC 变换器中的谐振单元 C 构成,它的优点是开关工作在 ZCS 状态,改善了开关的工作条件,缺点与 DC/DC 谐振型变换器一样,输出电压是负载的非线性函数,谐振频率与开关的寄生参数有关,系统闭环困难等。



图 3(a) ZCS DC/DC Buck 型直流谐振型变换器

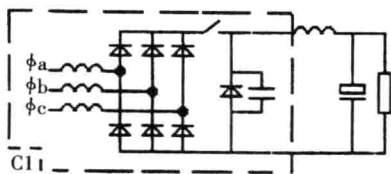


图 3(b) 三相谐振式 ZCS Buck 型单开关变换器

奥地利的 J.W.Kolar 教授等将 Buck-Boost 电路应用到三相 PFC 中,即产生 Buck-Boost 输入型 PFC^[3]。见图 4,这种电路可以认为是反激式单相 PFC 在三相中的延伸,此电路的基本原理是开关开通,电感电流线性上升,峰值和平均值正比于相电压,开关关断,电感电能通过变压器副边向负载释放。电路优点是

输入平均电流为纯正弦,功率因数为 1。缺点与单相反激式 PFC 相同,适合应用在小功率范围。

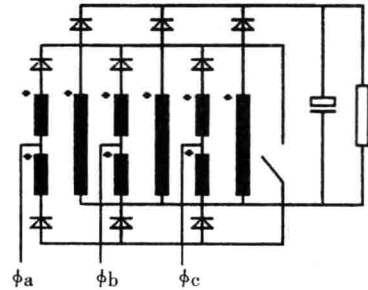


图 4 Buck-Boost 型单开关三相 PFC

2.2 多开关三相 PFC 拓扑

图 5 是六开关的整流器和逆变器,多用作电压源逆变器。由于它本身可完成功率反向传输,因此,它可作为三相 PFC,优点是输入电流可以连续,输入电流谐波含量小,功率因数高,可实现功率的反向传输。缺点是:

- (1)控制复杂,成本高;
- (2)三相 PWM 变换器/整流器有直通短路危险,可靠性差。

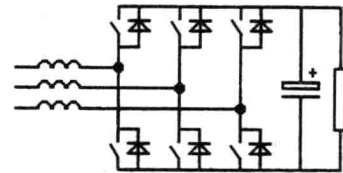


图 5 六开关整流器/逆变器

因此,采用六开关桥式整流器/逆变器来完成 PFC,需作一定的简化和改进,如采用滞环控制的六开关整流器,在很多文献都有记载。

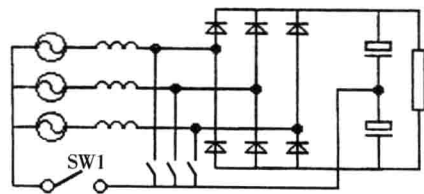


图 6 文献[4]中所提的三双向开关 PFC

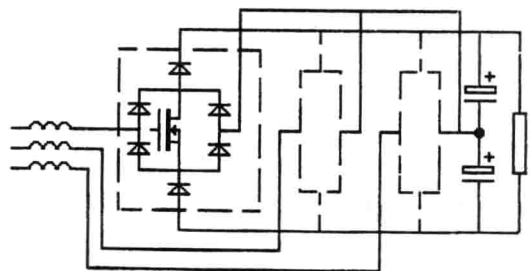


图 7 J.W.Kolar 所提的三开关三电平三相 PFC