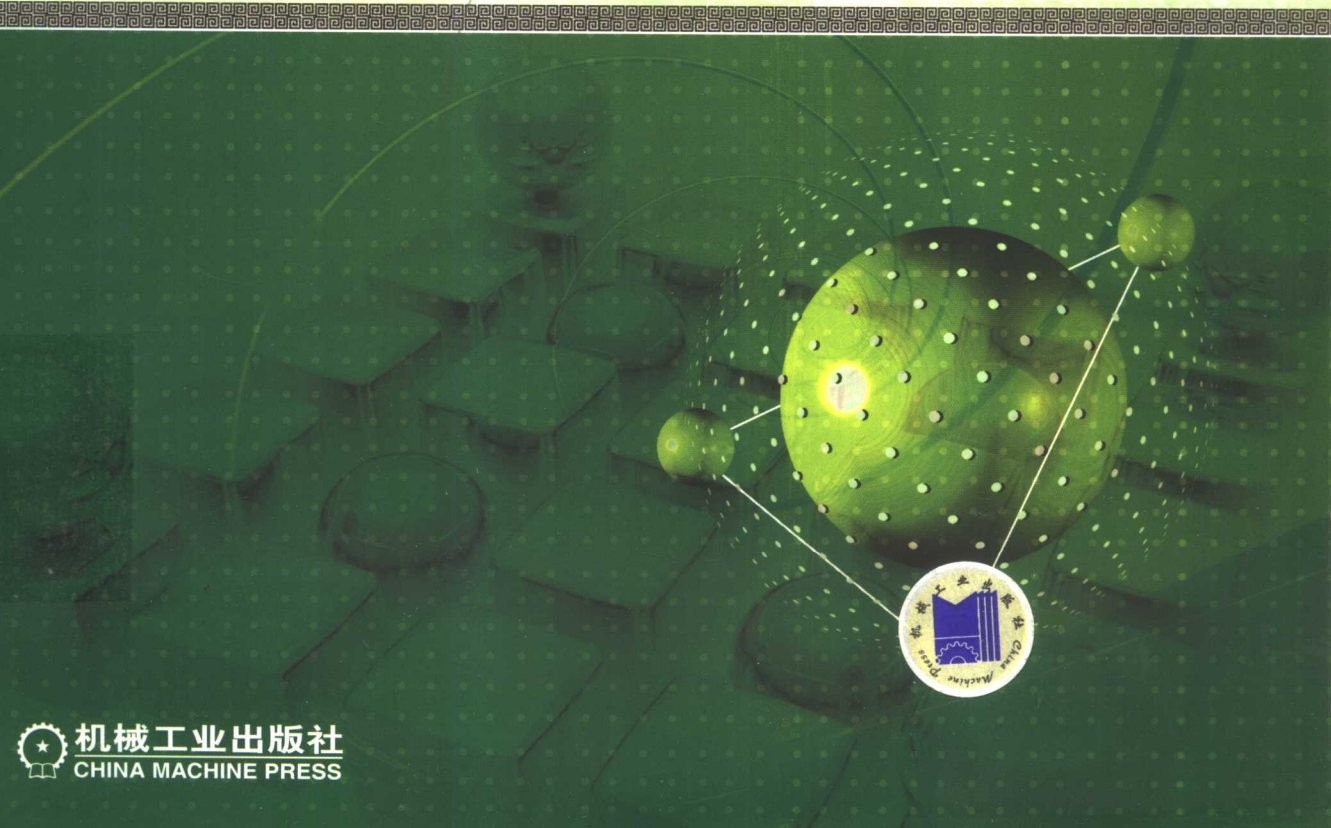
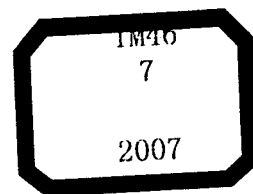


DIAN YUAN BIAN HUAN YING YONG JI SHU

电源变换应用技术

沈锦飞 主编





电源变换应用技术

主 编 沈锦飞
副主编 吴 雷
参 编 黄建兵 陈 剑

机械工业出版社

“电源变换技术”研究电能变换和功率传递,是一门综合电力电子技术、现代电子技术、计算机技术、自动控制技术等多学科的边缘交叉技术课程。目前电源变换技术已广泛应用到工业、能源、交通、运输、信息、航空、航天、国防、教育、文化等领域。电源变换技术也正是在这种环境中一步步发展起来的。本书主要包括:电源变换技术基础;高功率因数 AC—DC 变换电路;开关电源应用电路;变频器应用电路;不间断电源(UPS)应用技术;负载谐振式逆变电源;新能源发电与电源变换技术;电源变换电路的仿真技术。本书对电源变换应用技术的内容进行了精选,展示了其最新发展。

本书可作为电气工程及其自动化专业、自动化专业和其他相关专业的本科生教材,也可供相近专业选用或工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电源变换应用技术/沈锦飞主编. —北京:机械工业出版社, 2007.8

ISBN 978-7-111-21267-6

I. 电... II. 沈... III. 电源—变流 IV. TM46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 047581 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:苏颖杰 责任编辑:王小东 版式设计:霍永明

责任校对:申春香 封面设计:陈沛 责任印制:李妍

北京中兴印刷有限公司印刷

2007 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·17 印张·415 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-21267-6

定价:25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379727

封面无防伪标均为盗版

前 言

“电源变换技术”是电力电子的一门应用技术课程。电源变换设备用来实现电能变换和功率传递,是一种技术含量高、知识面宽、更新换代快的电力电子装置,从日常生活到最尖端的科学技术都离不开电源技术。目前电源变换技术已广泛应用到工业、能源、交通、运输、信息、航空、航天、国防、教育、文化等领域。

电源变换设备是位于供电电源与负载之间,向负载提供优质电能的供电设备。电源变换技术是一种应用功率半导体器件,综合电力电子技术、现代电子技术、计算机技术、自动控制技术等多学科的边缘交叉技术。随着科学技术的发展,电源变换技术又与现代控制理论、材料科学、电机工程、微电子技术等许多领域密切相关。电源变换技术已逐步发展成为一门多学科互相渗透的综合性技术学科。

目前许多高新技术均与电网的电压、电流、频率、相位和波形等基本参数的变换与控制相关。电源变换技术能够实现对这些参数的精确控制和高效率的处理,特别是能够实现大功率电能的频率变换,从而为多项高新技术的发展提供了有力的支持。电源变换技术及其产业的进一步发展必将为大幅度节约电能、降低材料消耗以及提高生产效率提供重要的手段。

电源变换技术的发展离不开新理论、新技术的指导,谐振变换、移相谐振、零开关 PWM、零转换 PWM 等电路拓扑理论以及功率因数校正、有源钳位、并联均流、同步整流、高频磁放大器、高速编程、遥感遥控、计算机监控等新技术,指导了现代电源技术的发展。

电源变换技术的发展离不开新器件、新材料的支撑,绝缘栅双极型晶体管(IGBT)、功率场效应晶体管(MOSFET)、智能 IGBT 功率模块(IPM)、MOS 栅控晶闸管(MCT)、静电感应晶体管(SIT)、超快恢复二极管、无感电容器、无感电阻器、新型铁氧体、非晶和微晶软磁合金、纳米晶软磁合金等元器件,装备了现代电源技术,促进电源的升级换代。

电源变换技术的发展离不开控制的智能化,控制电路、驱动电路、保护电路采用集成组件,控制电路采用全数字化,控制手段用微处理器和单片机组成的软件控制方式,达到了较高的智能化程度,并且进一步提高了电源设备的可靠性。

电源变换技术的发展离不开电源电路的模块化、集成化,单片电源和模块电源取代整机电源,功率集成技术简化了电源的结构。

作为电力电子技术的后续课程,介绍电源变换技术及其应用已经成为必要。

本教材是作者在多年电源变换技术教学的基础上综合电源变换技术的发展编写而成

的。第1章电源变换技术基础,介绍电源变换技术的常用电路;第2章高功率因数AC—DC转换电路,介绍单相和三相功率因数校正电路、高频PWM整流电路;第3章开关电源应用电路,介绍开关电源的结构以及反激式开关电源、半桥开关电源、全桥开关电源应用电路;第4章变频器应用电路,介绍变频器的结构、主电路工作原理、控制电路组成及电路形式;第5章不间断电源(UPS)应用技术,介绍UPS的类型、电路形式、在线式UPS、串并联调整在线式UPS;第6章负载谐振式逆变电源,介绍谐振负载、串联谐振式逆变电源、并联谐振式逆变电源、串并联谐振式逆变电源;第7章新能源发电与电源变换技术,介绍太阳能发电与电源变换技术、风力发电技术、燃料电池发电技术;第8章电源变换电路的仿真技术,介绍MATLAB仿真技术和Pspice仿真技术。

本书由沈锦飞担任主编,吴雷担任副主编。绪论、第1章、第2章、第3章、第5章、第6章由沈锦飞编写,第4章由黄建兵编写,第7章由吴雷编写,第8章由陈剑编写。

在本书完稿之际,对本书所附参考文献的作者致以衷心的感谢。

由于作者学识有限,时间仓促,书中难免有错误之处,殷切希望读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
绪论	1
0.1 电源变换技术的发展趋势	1
0.2 电源的类型及电源变换系统	3
第1章 电源变换技术基础	7
1.1 常用电源变换电路	7
1.2 功率器件的驱动与保护电路	26
1.3 软开关技术基础	38
本章小结	44
习题与思考题	44
第2章 高功率因数 AC—DC 变换电路	46
2.1 功率因数校正原理	46
2.2 单相功率因数校正电路	49
2.3 三相功率因数校正电路	63
2.4 PWM 高功率因数整流电路	67
本章小结	71
习题与思考题	71
第3章 开关电源应用电路	72
3.1 概述	72
3.2 单端反激式开关电源电路	78
3.3 半桥变换式开关电源电路	82
3.4 全桥移相变换器开关电源电路	89
3.5 全桥移相高功率因数开关电源	100
本章小结	103
习题与思考题	103
第4章 变频器应用电路	104
4.1 变频器的发展动向及技术指标	104
4.2 变频器结构与功能	108
4.3 PWM 脉冲生成方式	122
4.4 典型变频器原理电路分析	135
本章小结	139
习题与思考题	140
第5章 不间断电源 (UPS) 应用技术	141
5.1 概述	141
5.2 在线式 UPS 的结构及工作原理	145
5.3 串并联调整在线式 UPS	153
本章小结	167
习题与思考题	168
第6章 负载谐振式逆变电源	169
6.1 概述	169
6.2 串联谐振式逆变电源	174
6.3 并联谐振式逆变电源	195
6.4 串并联谐振式逆变电源	201
6.5 超声波电源	202
本章小结	207
习题与思考题	208
第7章 新能源发电与电源变换技术	209
7.1 概述	209
7.2 太阳能光伏发电与电源变换技术	210
7.3 风力发电技术	220
7.4 燃料电池发电技术	228
本章小结	234
习题与思考题	235
第8章 电源变换电路的仿真技术	236
8.1 MATLAB 仿真软件及应用	237
8.2 Pspice 仿真软件及应用	247
本章小结	257
习题与思考题	257
附录 SLE4520 三相 PWM 集成电路	258
参考文献	263

绪 论

电力电子技术已发展成为一门完整的、自成体系的学科，电源变换技术属于电力电子技术的范畴。电源变换技术为工业技术服务，工业技术的发展又对电源变换技术提出了更高的要求，从而促进了电源变换技术的发展。从日常生活到最尖端的科学研究都离不开电源变换技术，而电源变换技术对提高一个国家劳动生产率的水平，即提高一个国家单位能耗的产出水平具有举足轻重的作用。目前发达国家的电源 80% 以上是通过变换后才应用的。

0.1 电源变换技术的发展趋势

0.1.1 电源变换技术的多元化

在信息时代，各行各业都在迅猛地发展，发展的同时对电源变换技术提出了更多更高的要求，如节约能源、提高效率、减小体积、减轻重量、防止污染，改善环境、运行可靠、使用安全等。当前在电源变换技术领域，占主导地位的有各种线性稳压电源、AC—DC 开关电源、DC—DC 开关电源、交流变频调速电源、电解电镀电源、高频逆变式直流焊接电源、中高频感应加热电源、电力操作电源、正弦波逆变电源、大功率高频高压直流稳压电源、绿色照明电源、化学电源、不间断电源（UPS）、可靠高效低污染的光伏逆变电源、风光互补型电源等。而与电源相关的技术有高频变换技术、功率转换技术、数字化控制技术、全谐振高频软开关变换技术、同步整流技术、高度智能化技术、电磁兼容技术、功率因数校正技术、保护技术、并联均流控制技术、脉宽调制技术、变频调速技术、智能监测技术、智能化充电技术、微型计算机控制技术、集成化技术、网络技术、各种形式的驱动技术和先进的工艺技术等。

电源变换装置的性能指标包括：

1) 电气性能指标。最常用的指标有输出电压精度、电网调整率、负载调整率、温度系数、输出纹波及噪声、输入反射纹波电流、输入共模噪声电流、保护性能及效率等。

2) 可靠性、安全性与质量。可靠性和安全性是电源变换技术的最重要的性能指标，它是电源能正常工作的质量保证。

3) EMC 设计水平。电磁兼容（Electro Magnetic Compatibility——EMC）是研究在有限空间、时间以及频谱资源条件下，各种电气、电子设备可以共存，并不引起性能降低的专门学科。它是伴随着电子学中高频、特高频应用的发展而发展起来的。电磁兼容其实质含义是：一方面设备或系统产生的电磁干扰，不应对外围设备造成不能承受的干扰，也不应对外围环境造成不能承受的污染；另一方面设备或系统对来自周围环境中的电磁干扰应具有足够的抗御能力。应采取有效措施进行 EMC 设计，如：加电网滤波器，采取无源补偿方案，以有效地抑制传导干扰；加各种屏蔽措施，以抑制辐射干扰；加 RC 吸收网络于电路的适当部位，以吸收开关尖峰；利用各种软开关技术，保证开关器件在零电压下导通，零电流下关

断,以减小过高的电流、电压梯度所带来的严重电磁干扰;合理设计印制板,合理的地线布局等都会减小电磁干扰。

4) 保护功能。目前,电源所使用的功率器件价格较贵,控制电路也比较复杂,电源的负载中一般都含有大量的集成化程度很高的器件,这些器件一般承受电、热、冲击能力都较差,因此,电源的保护应兼顾本身和负载的安全。目前保护的种类很多,如:极性保护、程序保护、过电流保护、过电压保护、欠电压保护、过热保护等。由于电源的种类很多,用途各异,所以,对保护的要求也各有侧重,具体保护的设置应按具体要求而定。电源中加了保护电路后,势必增加元器件,反过来又会影响系统的可靠性,为此要求保护电路本身的可靠性一定要高,以提高整个系统的可靠性,这就要求保护的逻辑严密,电路简单,元器件最少,确保电源的正常工作和高可靠性。

0.1.2 电源变换技术的发展趋势

高频、高效、低压大电流、标准化是电源变换技术的发展趋势。主要表现在:

1. 封装结构正朝着薄型和超薄型方向发展

外形尺寸趋于国际标准化,输出端子相互兼容的设计日趋明显。模块内部控制电路倾向于采用数字控制方式,非隔离式 DC—DC 变换器比隔离式增长速度快,分布式电源比集中式电源发展快。

2. 低电压大电流

随着半导体工艺等级未来十年将从 $0.18\mu\text{m}$ 向 50nm 迈进,芯片所需最低电压最终将变为 0.6V ,但输出电流将朝着大电流方向发展。

3. 高效化

应用各种软开关技术,包括无源无损软开关技术、有源软开关技术(如 ZVS/ZCS 谐振、准谐振)、恒频零开关技术、零电压及零电流转换技术,目前同步整流用 MOSFET 代替整流二极管都能大大地提高模块在低输出电压时的效率,而效率的提高使得敞开式无散热器的电源模块有了实现的可能。

4. 大电流和高密度化

1991 年高功率密度定义为每立方英寸输出功率 25W ,以后逐年增加,1994 年为每立方英寸 36W ,1999 年为每立方英寸 52W ,到 2001 年为每立方英寸 96W ,现在每立方英寸达数百瓦。在全球范围内高功率密度直流转换模块市场以每年 16.8% 的增长速度向前发展。

5. 高频化

为了缩小开关电源的体积,提高电源的功率密度并改善动态响应,小功率 DC—DC 变换器的开关频率已由现在的 $200 \sim 500\text{kHz}$ 提高到 1MHz 以上,但高频化又会产生新的问题,如开关损耗以及无源元件的损耗增大,高频寄生参数的影响以及高频电磁干扰增大等。

0.1.3 功率器件的发展

1. 功率器件的发展和应用

功率 MOSFET 是目前最快速度的功率器件。目前较先进的水平电压可达 1200V ,电流可达 60A ,频率可达 2MHz ,导通电阻可达 0.1Ω 左右。提高器件耐压,同时减小其导通电阻仍是今后 MOSFET 的主要研究方向。

绝缘栅双极型晶体管 IGBT 是由 MOSFET 和双极型晶体管复合而成的电力电子器件, 它的门极为绝缘栅场效应晶体管, 输出极为 PNP 双极型功率晶体管, 因而具有两者的优点, 同时克服了两者的缺点。目前耐压可达 6.5kV, 电流可达 1.2kA, 今后的主攻方向仍是扩大容量, 减小内阻, 以减小导通损耗。由于 IGBT 经常工作在高频、高压、大电流状态下, 又由于电源作为系统的前级, 易受电网波动、雷击影响, 容易损坏, 故 IGBT 的可靠性直接影响电源可靠性, 所以, 在选择 IGBT 时, 除了增加电压和电流裕量, 对 IGBT 的保护设计也极为重要。

IGCT 是 GTO 的更新换代产品, 它应用了分布集成门极驱动, 浅层发射极等技术。器件的开关速度有一定提高, 同时减少了门极驱动功率, 应用方便, IGCT 的应用是高电压、大容量。

2. 变压器与磁性元件

随着电力电子技术的发展和成熟, 人们逐渐认识到磁性元件不仅是电源中的功能元件, 同时其体积、重量、损耗在整机中也占相当比例。磁性元件的重量一般占变换器总重量的 30% ~ 40%, 体积占总体积的 20% ~ 30%, 对于模块化设计的高频电源, 磁性元件的体积、重量所占的比例还会更高。另外, 磁性元件还是影响电源输出动态性能和输出纹波的一个重要因素。因此, 要提高电源的功率密度、效率和输出品质, 就应对减小磁性元件的体积、重量及损耗的相关技术进行深入研究, 以满足电源发展的需要。

对于高频变压器, 频率为 20 ~ 500kHz, 功率可做到数百千瓦, 所用材料主要是非晶、微晶、超微晶、软磁铁氧体材料。当变压器工作频率大于 700kHz 时, 变压器中的涡流损耗将急剧增加, 约占总损耗的 80%, 为减小其损耗, 必须在功率铁氧体材料中加纳米添加剂, 从而出现了用纳米晶软磁合金和纳米晶磁材制成的各种变压器。以上这些材料所制成的变压器有贴片式变压器、印制焊接式变压器、变压器模块、各种形式的分体式变压器、插入式变压器、PCB 平面变压器及多层电路板平面变压器。电子变压器未来发展的目标是轻量、高效、高密度化, 电源变压器发展的目标是表面安装、高功率和高压化。

3. 磁集成技术的发展和應用

所谓磁集成技术, 就是将变换器中的两个或多个分立磁体绕制在一副磁心中, 从结构上集中在一起。集中后的磁件拟称为集成磁件, 通过一定的耦合方式, 合理地参数设计, 能有效地减小磁体的体积和损耗。在一定应用场合, 还可以减小电源输出纹波, 提高电源输出的动态性能。另外, 磁集成技术明显能减小连接端, 可有效地减少大电流场合端子的损耗。

0.2 电源的类型及电源变换系统

0.2.1 电源的类型

一切用电设备都离不开电源, 而用电设备对供电电源的要求随着科学技术的发展不断提高。供电电源总体上分为交流电源和直流电源两大类。

从发电厂生产的交流电源经变压器升压后, 有交流和直流两种高压输电方式。交流输电方式是直接将升压后的交流电通过三相三线传输, 终端通过变压器降压后供给用户; 直流输电方式是将升压后的高压经过整流 (AC—DC 变换) 变成直流电压, 通过正负两线传输, 终

端再将直流逆变成交流电压 (DC—AC 变换), 通过变压器降压后供给用户。直流输电的优点是节约输电成本, 减小无功损耗。直流输电方式就是电源变换的实际应用之一。无论是交流输电还是直流输电, 在用户终端都是交流电源。

蓄电池作为一种直流电源的应用也越来越广泛, 大到电动机车、电动汽车、电动自行车、用电设备的备用电源等, 小到手机、数字式照相机等, 都采用蓄电池作为供电电源。蓄电池需要充电, 充电电源一般都采用电网交流电源, 因此充电器将交流电通过整流 (AC—DC 变换) 变换成直流电作为蓄电池的充电电源。

太阳能光伏电池作为一种新的能源近几年得到迅速发展, 由于太阳光的强度受季节、天气、白昼的影响很大, 因此太阳能光伏电源不是一种稳定的电源, 需要经过直流变换 (DC—DC 变换), 蓄电池储能, 变成稳定的直流电源。

风能发电也是近几年迅速发展的一种新能源, 由于风的强度受地域、季节、天气的影响很大, 因此风能发电电源也不是一种稳定的电源, 需要经过电源变换变成稳定的交流电源。

燃料电池目前已发展成为固定式的燃料电池和专用的汽车用燃料电池。燃料电池的特点是变换效率高, 对环境的污染几乎为零, 体积小, 可以在任何时候和地方方便地使用。燃料电池发出的是直流电, 需要经过变换装置变成稳定的交流电源。

用电设备总体上也分为直流和交流两大类。

直流用电设备主要有直流电动机、直流弧焊、蓄电池充电器、各种电子设备的稳压电源等。直流用电设备对电源的要求主要有两种类型: 一类是电压可调型, 如直流电动机调压调速、直流弧焊, 要求调压范围大; 另一类是固定电压型, 如电子设备用的稳压电源, 要求电压纹波小, 稳定性好。

交流用电设备对电源的要求主要是频率和输出功率的调节, 还有单相和三相之分。交流用电设备的频率有工频 (电网电源频率)、中频 (20kHz 以下)、超音频 (20 ~ 50kHz)、高频 (50kHz 以上)。工频电源主要用于大型熔炼炉等领域, 中频电源主要用于中小型熔炼炉、大型金属工件热处理和焊接等领域, 超音频电源主要用于中型金属工件热处理和焊接领域, 高频电源主要用于金属工件的热处理和焊接等领域, 三相变频电源主要用于交流电动机的变频调速, 它要求电源的输出频率可调。由于用电设备随负载的变化需要对输出功率进行调节, 因此要求供电电源有功率调节的功能。

由于供电电源不能直接满足用电设备的要求, 必须有一个中间环节将供电电源转变成用电设备需要的电源, 这个环节就是电源变换。

AC—DC 变换已经是很成熟的电源变换技术, 它包括二极管整流和晶闸管可控整流技术, 由于它的结构简单, 因此得到了广泛的应用。但它有一个很大的缺点, 就是输入电流含有大量谐波, 波形严重失真, 降低了电网的功率因数。特别是晶闸管可控整流技术, 对电网造成严重的污染。提高 AC—DC 变换电路的功率因数, 减小谐波干扰, 是电源变换技术的发展方向。将软开关技术和功率因数校正技术应用到 AC—DC 变换电路中, 是近年来主要研究领域。

DC—DC 变换将一种固定的直流电压变换成可调的直流电压或者是另一种固定的直流电压, 由于电源变换都采用开关电路, 开关器件在导通和关断时有电压和电流作用在开关器件上, 造成了很大的开关损耗和高次谐波, 特别是在高频情况下更为严重。将软开关技术应用到 DC—DC 变换电路中, 也是近年来主要研究领域。

DC—AC 变换将直流电源变换成频率可调或固定的交流电源。三相变频电源一般用于驱动三相交流电动机,频率变化范围从几赫兹到几百赫兹,高速交流变频电源有的达到几千赫兹。单相变频电源根据负载的类型决定频率的范围,有的固定在某一个很小的频率范围内。DC—AC 变换电路也是开关电路,为了减小开关损耗,减小谐波干扰,也要研究软开关技术。DC—AC 变换电路有采用负载谐振创造软开关条件,有采用直流输入侧谐振创造软开关条件,有在变换电路内部产生部分谐振创造软开关条件。将软开关技术应用到 DC—AC 变换电路中,也是近年来主要研究领域。

0.2.2 电源变换系统结构

电源变换系统的结构根据供电电源和用电设备的不同分为以下几种类型:

1. AC—DC 变换系统

这种系统的供电电源是交流电源,用电设备是直流电。此系统目前主要采用常规的二极管整流或晶闸管可控整流技术。近年来研究的高频 PWM 整流电路可提高功率因数,但输出直流电压高于输入交流电压的峰值近两倍,而且控制复杂,给实际应用带来一定困难。二极管整流加功率因数校正电路,同样可提高功率因数,也有输出直流电压高的问题。单相小功率电路已得到实际应用,三相大功率电路还处于应用研究阶段。

2. DC—DC 变换系统

这种系统的供电电源是固定电压的直流电源,用电设备要求电压可变,或者另一种电压等级。这种供电电源一般是蓄电池,变换电路根据用电设备的要求可采用降压型或升压型 DC—DC 变换电路。降压型可采用 Buck 直流斩波电路,升压型可采用 Boost 直流斩波电路。也可采用软开关 DC—DC 变换电路。

3. DC—AC 变换系统

这种系统的供电电源是固定电压的直流电源,用电设备是交流电。这种供电电源一般是蓄电池,用电设备是工频交流电,一般用在不间断电源(UPS)中。DC—AC 变换电路一般采用全桥逆变电路,正弦波脉宽调制(SPWM),输出加 LC 滤波电路,在负载上可得到正弦波电压。

4. AC—DC—AC 变换系统

这种系统的供电电源是交流电源,用电设备是某一频率范围的交流电。这种变换系统供电电源是电网,AC—DC 变换主要采用常规的二极管整流,DC—AC 变换一般采用全桥逆变电路,功率调节在逆变电路中实现,有脉宽调制方式、移相脉宽调制方式、负载谐振调频调功方式、负载谐振脉冲密度调节方式等,并将软开关技术应用到逆变过程中。

5. DC—AC—DC 变换系统

这种系统的供电电源是固定电压的直流电源,用电设备要求电压可变,或者另一种电压等级。这种变换系统和 DC—DC 变换的主要区别是通过插入 AC 环节,加入高频变压器隔离,使输入和输出之间有更大的电压变化范围,并使输入和输出电压之间完全隔离。这种变换电路有正激式、反激式、推挽式、半桥式、全桥移相变换式等。

6. AC—DC—AC—DC 变换系统

这种系统的供电电源是交流电源,用电设备是直流电。这种变换系统目前主要采用常规的二极管整流,即 AC—DC 变换,然后经 DC—AC 变换,变成高频交流电源,经高频变压

器变压，高频整流电路整流，变换成需要的直流电压。这种变换电路主要是减小变压器体积。开关电源就是采用了这种变换系统。

7. AC—DC—DC—AC 变换系统

这种系统的供电电源是交流电源，用电设备是某一频率范围的交流电。这种变换系统供电电源是电网，AC—DC 变换主要采用常规的二极管整流，DC—DC 变换电路采用 Buck 直流斩波电路，DC—AC 变换一般采用全桥逆变电路，功率调节在直流斩波电路中实现，采用脉宽调制方式，并将软开关技术应用到斩波电路中。

总之，电力电子技术的发展带动了电源变换技术的发展。迄今为止电源已成为非常重要的基础科学技术，应用越来越广泛，发展越来越迅速，地位越来越重要，值得引起人们的注意。

第 1 章 电源变换技术基础

在现代电源应用中,电力电子技术起到承上启下的作用。发电厂生产出来的电能通常是高压传输的,经过变电所将其变换成标准的交流电压。由于不同负载对电源的要求不同,很多负载要求的电源都需要加以变换才能应用,因此电力变换技术在实际电力应用中起到重要作用。在实际电力变换过程中,需要用电力电子器件构成电源变换电路来实现不同电源之间的转换。

基本的电源变换类型有直流—直流(DC—DC)变换、直流—交流(DC—AC)变换、交流—直流变换(AC—DC)变换和交流—交流(AC—AC)变换。

1.1 常用电源变换电路

1.1.1 AC—DC 变换电路

将交流电变换成直流的过程称为 AC—DC 变换,也叫作整流。整流电路就是利用二极管或晶闸管的单向导电性将交流电源转换成直流电源的电路。

1. 二极管整流电路

二极管整流电路的电路形式见表 1-1。二极管整流电路将输入的交流电源变换成不可控的直流电源,主要用于要求固定电压的负载。根据负载的要求不同,整流输出端采用的滤波电路也不同。要求电流稳定的负载一般只加电感滤波,要求电压稳定的负载一般只加电容滤波,既要稳定电压又要稳定电流的负载需要加电感、电容组成 LC 滤波电路。加电感滤波可提高输入交流电源的功率因数,减小谐波。

在以下电路参数计算与器件选择中,假定滤波电感 L_f 很大。

(1) 单相半波二极管整流电路参数计算与器件选择 二极管 VD_1 、 VD_2 承受的最大反向电压为 $\sqrt{2} U_{in}$, 流过 VD_1 、 VD_2 的电流平均值为

$$I_d = \frac{1}{2} I_o \quad (1-1)$$

流过 VD_1 、 VD_2 的电流有效值为

$$I = \frac{\sqrt{2}}{2} I_o \quad (1-2)$$

选择二极管 VD_1 、 VD_2 的电压定额并留有裕量

$$U_D = (2 \sim 3) \sqrt{2} U_{in} \quad (1-3)$$

选择二极管 VD_1 、 VD_2 的通态平均电流定额并留有裕量

$$I_D = (1.5 \sim 2) \frac{I}{1.57} = (1.5 \sim 2) 0.45 I_o \quad (1-4)$$

式中, I_o 为输出负载电流。

(2) 单相全波二极管整流电路参数计算与器件选择 二极管 VD_1 、 VD_2 承受的最大反向电压为 $2\sqrt{2}U_{in}$, 流过 VD_1 、 VD_2 的电流平均值为

$$I_d = \frac{1}{2} I_o \quad (1-5)$$

流过 VD_1 、 VD_2 的电流有效值为

$$I = \frac{\sqrt{2}}{2} I_o \quad (1-6)$$

表 1-1 常用二极管整流电路

名 称	输出电压型	输出电流型
单相半波		
单相全波		
单相桥式		
三相半波		
三相桥式		

选择二极管 VD_1 、 VD_2 的电压定额并留有裕量

$$U_D = (2 \sim 3) 2\sqrt{2} U_{in} \quad (1-7)$$

选择二极管 VD_1 、 VD_2 的通态平均电流定额并留有裕量

$$I_D = (1.5 \sim 2) 0.45 I_o \quad (1-8)$$

式中, I_o 为输出负载电流。

(3) 单相桥式二极管整流电路参数计算与器件选择 二极管 $VD_1 \sim VD_4$ 承受的最大反

向电压为 $\sqrt{2} U_{in}$ ，流过 $VD_1 \sim VD_4$ 的电流平均值为

$$I_d = \frac{1}{2} I_o \quad (1-9)$$

流过 $VD_1 \sim VD_4$ 的电流有效值为

$$I = \frac{\sqrt{2}}{2} I_o \quad (1-10)$$

选择二极管 $VD_1 \sim VD_4$ 的电压定额并留有裕量

$$U_D = (2 \sim 3) \sqrt{2} U_{in} \quad (1-11)$$

选择二极管 $VD_1 \sim VD_4$ 的通态平均电流定额并留有裕量

$$I_D = (1.5 \sim 2) 0.45 I_o \quad (1-12)$$

式中， I_o 为输出负载电流。

(4) 三相半波二极管整流电路参数计算与器件选择 二极管 $VD_1 \sim VD_3$ 承受的最大反向电压为

$$U_D = \sqrt{2} \times \sqrt{3} U_2 = 2.45 U_2 \quad (1-13)$$

流过 $VD_1 \sim VD_3$ 的电流平均值为

$$I_d = \frac{1}{3} I_o \quad (1-14)$$

流过 $VD_1 \sim VD_3$ 的电流有效值为

$$I = \frac{1}{\sqrt{3}} I_o = 0.577 I_o \quad (1-15)$$

选择二极管 $VD_1 \sim VD_3$ 的电压定额并留有裕量

$$U_D = (2 \sim 3) \sqrt{6} U_2 = (2 \sim 3) 2.45 U_2 \quad (1-16)$$

选择二极管 $VD_1 \sim VD_3$ 的通态平均电流定额并留有裕量

$$I_D = (1.5 \sim 2) 0.368 I_o \quad (1-17)$$

式中， I_o 为输出负载电流； U_2 是输入变压器二次侧相电压。

(5) 三相桥式二极管整流电路参数计算与器件选择 二极管 $VD_1 \sim VD_6$ 承受的最大反向电压为

$$U_D = \sqrt{2} \times \sqrt{3} U_2 = 2.45 U_2 \quad (1-18)$$

流过 $VD_1 \sim VD_6$ 的电流平均值为

$$I_d = \frac{1}{3} I_o \quad (1-19)$$

流过 $VD_1 \sim VD_6$ 的电流有效值为

$$I = \frac{1}{\sqrt{3}} I_o = 0.577 I_o \quad (1-20)$$

选择二极管 $VD_1 \sim VD_6$ 的电压定额并留有裕量

$$U_D = (2 \sim 3) \sqrt{6} U_2 = (2 \sim 3) 2.45 U_2 \quad (1-21)$$

选择二极管 $VD_1 \sim VD_6$ 的通态平均电流定额并留有裕量

$$I_D = (1.5 \sim 2) 0.368 I_o \quad (1-22)$$

式中, I_o 为输出负载电流; U_2 是输入变压器二次侧相电压。

2. 晶闸管整流电路

晶闸管整流电路将输入的交流电源变换成可控的直流电源, 主要用于要求电压可调节的负载。根据负载的要求不同, 整流输出端采用的滤波电路也不同, 具体要求和二极管整流电路相似。电路形式见表 1-2。

(1) 单相半波晶闸管整流电路参数计算与器件选择 晶闸管 VT 承受的最大反向电压为 $\sqrt{2} U_2$, 流过 VT 的电流平均值为

$$I_d = \frac{\pi - \alpha}{2\pi} I_o \quad (1-23)$$

流过 VT 的电流有效值为

$$I = \frac{\sqrt{\pi - \alpha}}{\sqrt{2\pi}} I_o \quad (1-24)$$

选择晶闸管 VT 的电压定额并留有裕量

$$U_{VT} = (2 \sim 3) \sqrt{2} U_2 \quad (1-25)$$

选择晶闸管 VT 的通态平均电流定额并留有裕量 ($\alpha = 0$ 时最大)

$$I_D = (1.5 \sim 2) 0.45 I_o \quad (1-26)$$

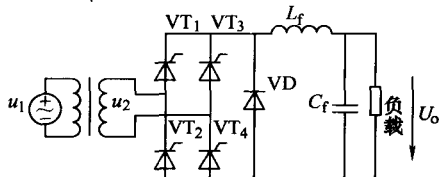
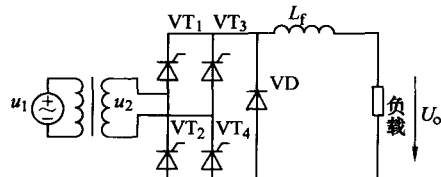
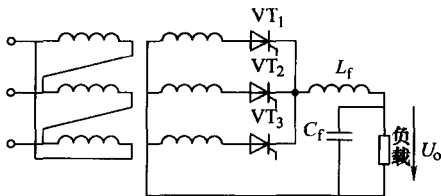
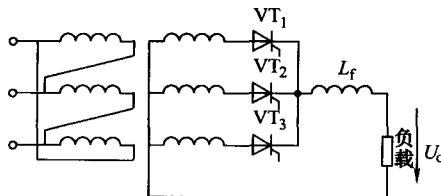
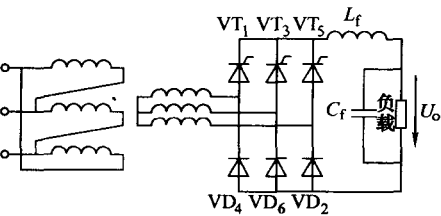
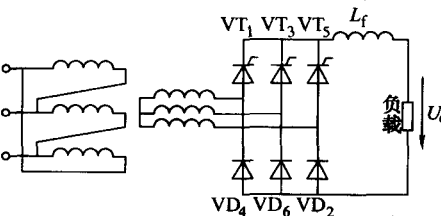
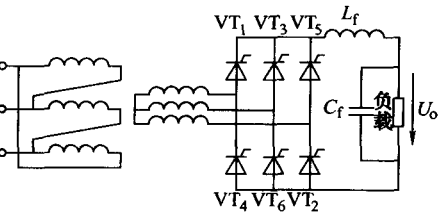
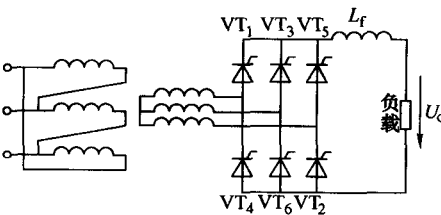
式中, I_o 为输出负载电流。

(2) 单相全波晶闸管整流电路参数计算与器件选择 晶闸管 VT₁、VT₂ 承受的最大反向电压为 $2\sqrt{2} U_2$, 流过 VT₁、VT₂ 的电流平均值为

表 1-2 常用晶闸管整流电路

名 称	输出电压型	输出电流型
单相半波		
单相全波		
单相桥式半控		

(续)

名 称	输出电压型	输出电流型
单相桥式全控		
三相半波		
三相桥式半控		
三相桥式全控		

$$I_d = \frac{1}{2} I_o \quad (1-27)$$

流过 VT_1 、 VT_2 的电流有效值为

$$I = \frac{\sqrt{2}}{2} I_o \quad (1-28)$$

选择晶闸管 VT_1 、 VT_2 的电压定额并留有裕量

$$U_{VT} = (1.8 \sim 2) \sqrt{2} V_{in} \quad (1-29)$$

选择晶闸管 VT_1 、 VT_2 的通态平均电流定额并留有裕量

$$I_D = (1.5 \sim 2) 0.45 I_o \quad (1-30)$$

式中, I_o 为输出负载电流。

(3) 单相桥式半控晶闸管整流电路参数计算与器件选择 晶闸管 VT_1 、 VT_3 和二极
管 VD_2 、 VD_4 承受的最大反向电压为 $\sqrt{2} U_2$, 流过 VT_1 、 VT_3 、 VD_2 、 VD_4 的电流平均值为

$$I_d = \frac{\pi - \alpha}{2\pi} I_o \quad (1-31)$$

流过 VT_1 、 VT_3 、 VD_2 、 VD_4 的电流有效值为