

第2版

电力电子设备 设计和应用 手册

中国电工技术学会电力电子学会 组编

王兆安 张明勋 主编



电力电子设备设计 和应用手册

第 2 版

中国电工技术学会电力电子学会 组编

王兆安 张明勋 主编

机械工业出版社

本手册第1版出版于1990年6月,第2版是在第1版的基础上,按照“除旧布新”的原则,进行了大幅度修订后完成的。第2版删除了第1版中陈旧而已趋淘汰的内容,增加了IGBT、电力MOSFET以及开关电源、不间断电源、焊机电源、电子镇流器等全新的内容。

本手册内容包括各种电力电子设备的基本原理、设计方法和应用技术。全手册分为两大部分。第一部分包括有关电力电子设备的通用资料、基本元器件和单元、基本电路计算及设计、配套件等共性内容。第二部分为各类电力电子设备的原理与设计,包括各类交直流电机调速装置用变流器、牵引变流器、感应加热电源、交流电力控制器、开关电源、焊机电源、电子镇流器、不间断电源、无功补偿和谐波抑制装置等内容。书中配有大量计算实例,以便读者能很快掌握设计计算技能。

本手册主要供从事电力电子技术研究、设计和应用的工程技术人员使用。对于从事电力电子技术专业学习和研究的大专院校师生也有较大的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子设备设计 and 应用手册/王兆安,张明勋主编.—2版.—北京:机械工业出版社,2002.6
ISBN 7-111-02016-2

I. 电... II. ①王...②张... III. ①电力系统—电气设备—手册
②电子设备—手册 IV. ①TM7-62②TN05-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第024365号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:孙流芳 张沪光 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣
封面设计:姚毅 责任印制:路琳
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2002年7月第2版第1次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·59.75印张·3插页·2061千字
0 001—4 000册
定价:106.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527
封面无防伪标均为盗版

第 2 版编委会名单

- 主 编：**王兆安 西安交通大学电气工程学院
张明勋 南京市电机电器工业公司
- 副主编：**陈守良 西安电力电子技术研究所
孙流芳 机械工业出版社
葛文运 西安交通大学电气工程学院
- 编 委**（以姓氏笔划为序）：
王汝文 西安交通大学电气工程学院
张良金 西安电力整流器厂
巫松楨 西安交通大学电气工程学院
吴济钧 西安电力电子技术研究所
罗 忠 珠海华维机电实业公司
徐南屏 西安电力电子技术研究所
盛祖权 西安电力电子技术研究所
- 主 审：**汪槩生 浙江大学电气工程学院
张明勋 南京市电机电器工业公司
王兆安 西安交通大学电气工程学院
葛文运 西安交通大学电气工程学院
- 秘 书：**刘晓娟 西安交通大学电气工程学院

第 2 版作者和审稿人名单

第 1 章 设计常用标准资料

作者:周观允 西安电力电子技术研究所 编写全章

审稿:张明勋 南京市电机电器工业公司

第 2 章 电力电子器件的额定值、特性和使用导则

作者:钟彦儒 西安理工大学电气工程系 编写全章

审稿:吴济钧 西安电力电子技术研究所

第 3 章 电力电子设备的驱动电路与控制电路

作者:李宏 西安石油学院自动化系 合编全章

张奇志 西安石油学院自动化系 合编全章

审稿:盛祖权 西安电力电子技术研究所

第 4 章 电力电子设备的串并联技术

作者:盛祖权 西安电力电子技术研究所 编写 4.1~4.2

张立 西安爱帕克电力电子有限公司 编写 4.3

审稿:葛华山 西安电炉研究所

第 5 章 电力电子设备的保护

作者:白小青 西安爱科电子有限公司 编写全章

审稿:盛祖权 西安电力电子技术研究所

第 6 章 变流电路基本概念及主电路参数计算

作者:王平 东南大学电气工程系 编写 6.1~6.2, 合编 6.3~6.4

林渭勋 浙江大学电气工程学院 合编 6.3~6.4

审稿:张明勋 南京市电机电器工业公司

第 7 章 电力电子设备性能数据的计算

作者:王平 东南大学电气工程系 编写全章

审稿:张明勋 南京市电机电器工业公司

第 8 章 常用整流设备

作者:张良金 西安电力整流器厂 编写全章

审稿:张明勋 南京市电机电器工业公司

第 9 章 直流电动机调速用变流器

作者:厉无咎 上海电器股份有限公司 编写 9.8.3~4、9.5.2 及全章统稿

高艳霞 上海大学机电工程与自动化学院 编写 9.1~9.7 (9.5.2 除外)

曹以龙 上海大学机电工程与自动化学院 编写 9.8.1~2

审稿:苏彦氏 西安交通大学电气工程学院

第 10 章 交流电动机调速用变流器

作者:卓放 西安交通大学电气工程学院 编写 10.1、10.3、10.7~10

裴云庆 西安交通大学电气工程学院 编写 10.4~6

厉无咎 上海电器股份有限公司 编写 10.2

- 审 稿: 苏彦民 西安交通大学电气工程学院
- 第 11 章 牵引变流器**
- 作 者: 王汝文 西安交通大学电气工程学院 编写 11.1~11.4、11.5.2.1、11.6
及全章统稿
- 董玉刚 兰州机车厂变频室 编写 11.5.1、11.5.2.2①、11.5.3①
- 忻 力 株洲电力机车研究所 编写 11.5.2.2②、11.5.3②
- 审 稿: 王小方 株洲电力机车研究所
- 第 12 章 感应加热用电源设备**
- 作 者: 林渭勋 浙江大学电机系 编写全章
- 审 稿: 葛华山 西安电炉研究所
- 第 13 章 交流电力控制器**
- 作 者: 谈必礼 上海电压调整器厂 编写前言、13.2~3
- 蒋光祖 上海变压器厂 编写 13.1
- 审 稿: 盛祖权 西安电力电子技术研究所
- 第 14 章 开关电源**
- 作 者: 杨 旭 西安交通大学电气工程学院 编写全章
- 审 稿: 王兆安 西安交通大学电气工程学院
- 第 15 章 焊机电源和电子镇流器**
- 作 者: 王福生 成都电焊机研究所 编写 15.1~3
- 审 稿: 葛文运 西安交通大学电气工程学院
- 作 者: 王正元 北京电力电子新技术研究开发中心 编写 15.4~15.7
- 审 稿: 王汝文 西安交通大学电气工程学院
- 第 16 章 不间断电源**
- 作 者: 高 军 西安交通大学电气工程学院 编写 16.2~16.7
- 张希范、修树海 青岛整流器总厂 编写 16.1
- 审 稿: 杨 旭 西安交通大学电气工程学院
- 第 17 章 无功功率补偿和谐波抑制装置**
- 作 者: 杨 君 西安交通大学电气工程学院 编写全章
- 审 稿: 王兆安 西安交通大学电气工程学院
- 第 18 章 电磁器件**
- 作 者: 李家训 哈尔滨特通电气有限公司 编写 18.1~6
- 李国勇 哈尔滨特通电气有限公司 编写 18.7~8
- 审 稿: 裴云庆 西安交通大学电气工程学院
- 第 19 章 设计参考资料和数据**
- 作 者: 李 宏 西安石油学院自动化系 合编全章
- 张奇志 西安石油学院自动化系 合编全章
- 陈守良 西安电力电子技术研究所 合编全章
- 审 稿: 盛祖权 西安电力电子技术研究所

第1版编委会名单

主 编：张明勋
副主编：陈守良 严蕊琪
编 委：李庆霖 张永生 钟授钊
主 审：王元铭 汪樵生 苏文成 钟授钊 张明勋

第1版作者和审稿人名单

- 第1章 设计常用标准资料
作者：张明勋 章审者：陈守良 主审：王元铭
- 第2章 电力半导体器件的额定值、特性和使用导则
作者：周胜宗、胡英伦 章审者、主审：王元铭
- 第3章 电力电子设备的触发器与控制器
作者：秦祖荫、张永生 章审者：厉无咎 主审：苏文成
- 第4章 整流器的基本概念及主电路电参数的计算
作者：朱聪敬、李庆霖 章审者：苏文成 主审：张明勋
- 第5章 电力电子设备中阀器件的串并联技术
作者：盛祖权 章审者：金子康 主审：苏文成
- 第6章 电力电子设备的保护
作者：李庆霖 章审者：张永生 主审：苏文成
- 第7章 电力电子设备性能数据的计算
作者：张明勋 章审者：金子康 主审：苏文成
- 第8章 电力电子设备的总体设计
作者：陆 志、何淑香 章审者、主审：钟授钊
- 第9章 各种整流器的运行特点和设计方法
作者：张良金 章审者：金子康 主审：钟授钊
- 第10章 逆变器、变频器的基本概念和主电路电参数计算
作者：林渭勋 章审者：王懋黎 主审：汪樵生
- 第11章 感应加热用中频电源
作者：林渭勋 章审者、主审：汪樵生
- 第12章 直流电动机调速用变流器的设计
作者：赵扶摇、万里雄 章审者：厉无咎 主审：汪樵生
- 第13章 交流电动机调速用变流器
作者：周胜宗、缪时轮 章审者：魏泽国 主审：张明勋
- 第14章 直流斩波器的原理和设计
作者：袁维慈 章审者、主审：汪樵生

- 第 15 章 晶闸管交流电力控制器的应用与设计**
作者：钟谥然、蒋光祖、谈必礼 章审者、主审：汪樵生
- 第 16 章 高压直流输电用变流器和静止无功补偿器的设计**
作者：金子康 章审者：赵景媛 主审：张明勋
- 第 17 章 电磁器件的设计**
作者：张良金 章审者：金子康 主审：钟授钊
- 第 18 章 电力电子设备试验**
作者：李家训 章审者、主审：张明勋
- 第 19 章 电力半导体器件试验**
作者：吴铁铮 章审者：赖钧锰 主审：钟授钊
- 第 20 章 设计参考资料及数据**
作者：徐嘉英 章审者：郑福发 主审：钟授钊
- 附 录 电力电子器件与半导体电力变流器定型产品目录**
作者：陈守良、黄嘉炳 章审者、主审：钟授钊

第 2 版前言

《电力电子设备设计 and 应用手册》(第 1 版)自 1990 年出版以来,受到了电力电子行业工程技术人员的广泛欢迎和好评,为推动我国电力电子技术和行业的发展做出了积极的贡献。第 1 版问世至今已经 12 年过去了。十余年来,电力电子技术的发展十分迅猛。其发展主要表现在以下几个方面:

1. 就作为电力电子技术基础的电力电子器件而言,以 IGBT 和电力 MOSFET 为代表的全控型器件取得了长足的进步,成为主流器件。从而给电力电子变流技术及其应用带来了革命性的变化。曾经作为电力电子技术标志的半控型器件晶闸管,在大功率和特大功率电力电子装置中仍居重要地位,但在中小功率电力电子装置领域已从主流地位中逐渐退出。

2. 随着全控型电力电子器件的进步,以开关电源、变频器、UPS 等为代表的新型电力电子装置得以普遍应用,并随着工作频率提高,性能不断改善。其他新型电力电子装置也不断涌现,呈现出蓬勃的发展态势。

3. 以微处理器控制为代表的数字化技术在电力电子装置中的使用日益广泛,各种专用控制芯片层出不穷,使得电力电子装置的控制越来越方便,装置的性能大幅度提高,和信息网络的连接也越来越方便。

4. 随着电力电子技术的应用范围不断扩大,电力电子技术已从一门专业技术逐渐变为一门基础性技术,它和信息电子技术一道,成为国民经济的重要支撑性技术。电力电子技术的迅猛发展给电力工业、制造工业、交通运输、信息产业乃至家电产业带来了深刻的变化,并且越来越对人们的日常生活产生巨大的影响。

国际上公认,电力电子技术是电力、电子和控制交叉而成的学科。这种交叉性学科的特征至今仍十分明显。国际上在认同这种交叉性的同时,习惯上把电力电子技术看成电工学科的一个分支。电力电子技术目前是电工学科中最具活力的一个分支,它对电工学科的发展已经产生并正在产生着深刻的影响。

由于上述原因,《电力电子设备设计 and 应用手册》(第 1 版)的内容已显得陈旧和不足,不能满足从事电力电子技术的工程技术人员的需要。在广大工程技术人员的推动下,由中国电工技术学会电力电子学会和机械工业出版社共同组织了本手册第 2 版的编写工作。

本手册第 2 版是在第 1 版的基础上进行修订和重新编写的。按照“实用性、成熟性、通用性、先进性”的原则,对第 1 版的内容进行了增删,除旧布新。第 2 版删去了读者面较窄的原第 18 章“电力电子设备试验”、第 19 章“电力半导体器件试验”,将原第 8 章“电力电子设备的总体设计”的内容并入相关章节。把原第 4 章“整流器的基本概念及主电路电参数的计算”和第 10 章“逆变器、变频器的基本概念和主电路电参数的计算”合并成一章,成为第 6 章“变流电路基本概念及主电路参数计算”。把原第 14 章“直流斩波器的原理和设计”改为第 11 章“牵引变流器”,内容也进行了全面的更新。第 2 版尽量删节已趋于淘汰的 GTR,适当压缩了晶闸管的内容,增加了 IGBT、电力 MOSFET、快恢复二极管、电力电子模块等相关内容。在第 19 章“设计参考资料及数据”中删除了旧的内容,增加了近年来应用较多的控制芯片、控制单元等新内容。考虑到十几年来电力电子技术的巨大进步,第 2 版增设了“开关电源”、“焊机电源和电子镇流器”、“不间断电源”等 3 章全新的内容,并在相关各章中都适当增加了新器件方面的内容。

本手册大体上由两大部分组成。第一部分包括通用基础资料、基本元器件和基本单元、基本电路计算及设计、配套件等各类电力电子设备的共性内容,包括第1~8章及第18、19章。第二部分为各类电力电子设备的原理与设计,包括第9~17章。

本手册第2版的编写工作是从1996年开始酝酿的,由于作者人数众多,组织工作难度很大,几起几落,终于在2000年2月正式启动编写工作。在手册结构和内容上大体利用和保留了第1版的框架,也保留了第1版的大部分章名和相当部分的内容,但按照“除旧布新”的原则进行了大幅度的修订,努力在求新求变上下功夫。在手册第1版编写过程中,我国还处于计划经济为主、市场经济为辅的时期,组织作者队伍和获得资料相对较为容易。而在手册第2版的编写过程中,我国已进入了以社会主义市场经济为主的发展阶段,作者队伍的组织 and 资料获取的难度有所增加。无论如何,通过40多位作者、审稿者及编委会委员们近两年来的共同努力,本手册第2版终于能在2002年面世,还是令人十分欣慰的。手册编委会谨向各位作者及审稿者表示衷心的感谢。

由于编委会和作者水平及所拥有的资料有限,编写时间又十分仓促,错漏和不足之处在所难免,敬请读者不吝赐教,批评指正。

《电力电子设备设计 and 应用手册》编委会

2002年3月

第 1 版前言

为了满足半导体变流器的设计需要,给广大工程技术人员设计、应用电力电子设备提供方便条件,在电力电子行业的支持下,由中国电工技术学会电力电子学会着手组织、编写此书。按照当时学会理事长王元铭同志提出的,要使本书能代表本行业、本学科当今水平,并充分吸收中外最新资料这一要求,特邀集本行业在长期设计、研究和教学工作中积累了丰富资料的专家、学者,按各自专长分章编写,协调统一,写成此书。

现代科学技术的进步离不开电子技术的应用,机电技术的进步尤其如此。电力电子技术的兴起为电子技术应用于机电产品提供了理想的中间环节。迅速发展的微电子技术一旦通过电力电子技术顺利地移植于机电和其他生产部门,必然会引起后者的革命性变化和彻底更新换代,并促使传统工业的技术进步和产业结构的彻底变化。电力电子技术在交直流电机调速、电气铁道、不间断电源、电解工业、直流输电、稳定电源等方面的成就足以证明这一技术的应用远景。

电力电子技术最突出的特点是节能。从 1988 年开始已被国家科委列为国家重点发展项目,并成立了国家级软课题研究组,大力推进电力电子技术的发展和应用。本书的出版也是对上述发展工作的积极配合。

电力电子行业组织编写较全面、完整的设计、应用手册尚属初试,错漏在所难免,欢迎读者不吝赐教,批评指正。

《电力电子设备设计 and 应用手册》编委会

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

第 1 章 设计常用标准资料 1

1.1 电力电子技术术语 1

1.1.1 一般术语 1

1.1.2 电力电子变流器的型式 2

1.1.3 电力电子开关和交流电力电子控制
制器 3

1.1.4 电力电子设备的基本元件 4

1.1.5 电力电子设备的电路和电路单元 5

1.1.6 电力电子设备的运行 6

1.1.7 电力电子设备的基本性能 10

1.1.8 电力电子变流器的特性曲线 13

1.1.9 稳定电源 13

1.2 电力电子设计常用字母符号 14

1.2.1 常用下角标及含义 14

1.2.2 电力电子设备特性常用符号及
含义 15

1.2.3 电力电子器件常用符号 17

1.3 标准数据 17

1.3.1 优先数及优先数系 17

1.3.2 标准电压 19

1.3.3 标准电流 20

1.3.4 标准频率 20

1.4 电力电子设备的使用条件 21

1.4.1 正常使用的环境条件 21

1.4.2 正常使用电气条件 22

1.4.3 非正常使用条件 25

1.4.4 海拔的影响 25

1.5 变流器电联结及端子的标志 代号 26

1.6 电力电子设计常用标准 32

第 2 章 电力电子器件的额定值、 特性和使用导则 39

2.1 概述 39

2.2 普通整流二极管和普通晶闸管 39

2.2.1 分立器件封装型式与外形尺寸 39

2.2.2 模块封装型式与外形尺寸 44

2.2.3 额定值和特性 47

2.2.4 按额定值和特性的使用导则 53

2.3 部分派生晶闸管 55

2.3.1 快速晶闸管 55

2.3.2 双向晶闸管 56

2.3.3 逆导晶闸管 57

2.3.4 光控晶闸管 57

2.4 门极关断晶闸管 (GTO 晶闸 管) 57

2.4.1 静态特性 57

2.4.2 动态特性 58

2.4.3 使用要点 59

2.5 电力晶体管 (GTR) 59

2.5.1 结构和特点 59

2.5.2 额定值和特性 60

2.5.3 使用要点 60

2.6 电力场效应晶体管 (电力 MOSFET) 63

2.6.1 结构和特点 63

2.6.2 额定值和特性 65

2.6.3 安全工作区 66

2.6.4 使用要点 66

2.7 绝缘栅双极型晶体管 (IGBT) 模块 67

2.7.1 结构与工作原理 67

2.7.2 额定值和特性 68

2.7.3 安全工作区 70

2.7.4 特性曲线 73

2.7.5 栅极驱动 75

2.7.6 并联运行 76

2.7.7 驱动感性负载的功率电路设计 77

2.8 智能功率模块 (IPM) 78

2.8.1 结构和特点 78

2.8.2 额定值、特性和工作条件 79

2.8.3 自保护功能 82

2.9 快速恢复二极管 84

2.9.1 额定值和特性 84

2.9.2 使用要点 85

2.10 电力电子器件的热设计和常用散热器	86	栅极驱动	132
2.10.1 结温的计算和热阻计算	86	3.7.1 IGBT 栅极驱动的特殊问题	132
2.10.2 常用冷却方式及使用条件	91	3.7.2 IGBT 的集成栅极驱动器	135
2.10.3 散热器的使用条件	93	3.8 MOSFET 的栅极驱动	142
2.10.4 常用国产散热器	94	3.8.1 高速 MOSFET 驱动器设计的要求	142
参考文献	103	3.8.2 集成 MOSFET 栅极驱动器	143
第 3 章 电力电子设备的驱动电路与控制电路	104	3.9 电力电子设备常用传感器及变换器	154
3.1 概述	104	3.9.1 霍尔集成传感器	154
3.2 晶闸管的移相触发器	104	3.9.2 真有效值 AC/DC 变换器	159
3.2.1 晶闸管对移相触发器的要求及一般移相触发器的技术指标	104	3.9.3 霍尔集成变送器	161
3.2.2 常用的晶闸管触发器集成电路	105	3.9.4 温度传感器	162
3.2.3 脉冲功放、隔离、整形及其典型电路	112	3.9.5 速度变换器	164
3.2.4 多个晶闸管串联或并联应用的电子式脉冲隔离匹配器	114	3.9.6 电压变换器	166
3.3 双向晶闸管触发器	115	3.9.7 电流变换器	167
3.3.1 双向晶闸管移相控制的特殊性	115	3.10 通用控制器	169
3.3.2 KJ006——双向晶闸管触发器集成电路	115	3.10.1 调节器的基本电路	169
3.3.3 KJ008——双向晶闸管过零触发器集成电路	117	3.10.2 速度(电压)调节器	172
3.4 GTO 晶闸管的门极控制技术	118	3.10.3 电流调节器	175
3.4.1 GTO 晶闸管要求的门极控制信号波形	118	3.10.4 给定积分器	181
3.4.2 影响门极控制技术的关键因素	119	3.10.5 电流截止器	184
3.4.3 GTO 晶闸管的典型门极控制电路举例	120	3.10.6 数字调节器	184
3.4.4 HL301A——GTO 晶闸管门极驱动器控制集成电路	122	参考文献	185
3.4.5 硬驱动——GTO 晶闸管门极驱动技术的革命化进步	123	第 4 章 电力电子设备中的串并联技术	187
3.5 触发器的抗干扰技术	127	4.1 电力电子器件的串联技术	187
3.6 电力晶体管(GTR)的基极驱动	128	4.1.1 串联器件的稳态均压	187
3.6.1 GTR 基极驱动电路的重要性	128	4.1.2 串联器件的瞬态均压	187
3.6.2 GTR 对基极驱动电路的基本要求	128	4.1.3 器件串联臂串联器件数的确定	188
3.6.3 GTR 的集成基极驱动电路	128	4.1.4 串联晶闸管的末级触发电路	188
3.7 绝缘栅双极晶体管(IGBT)的		4.1.5 串联器件在高压设备中的应用	190
		4.1.6 GTO 晶闸管的串联技术	191
		4.1.7 IGBT 的串联	192
		4.2 电力电子器件的并联技术	193
		4.2.1 电力电子器件直接并联时的均流	193
		4.2.2 并联器件的强迫均流	195
		4.2.3 器件并联支路数的确定	196
		4.2.4 GTO 晶闸管的并联技术	197
		4.2.5 MOSFET 及 IGBT 的并联	198
		4.3 电力电子装置的串并联技术	200
		4.3.1 电力电子装置的串联	200

4.3.2 电力电子装置的并联	201	6.1.5 换相组的并联	239
参考文献	205	6.1.6 12脉波整流电路	242
第5章 电力电子设备的保护	206	6.1.7 理想条件下不可控整流器主电 路参数计算	242
5.1 常见故障类型及保护方法	206	6.1.8 非理想条件下不可控整流器主 电路参数的修正	242
5.1.1 概述	206	6.1.9 变流变压器及其主要电参数之 间的关系	245
5.1.2 过电流保护	206	6.1.10 相间变压器电参数之间的关系	247
5.1.3 过电压保护	207	6.2 相控整流器	253
5.1.4 电压电流变化率的抑制——缓 冲电路	209	6.2.1 相位控制	253
5.1.5 过热保护	211	6.2.2 带平波电抗器均匀联结的相控 整流器及其主电路参数的计算	253
5.2 常用电力电子器件保护	211	6.2.3 不带平波电抗器均匀联结的相 控整流器及其主电路参数的计 算	254
5.2.1 晶闸管 (SCR) 的保护	211	6.2.4 不均匀联结相控整流器及其主 电路参数的计算	255
5.2.2 门极关断晶闸管 (GTO 晶闸管) 的保护	212	6.2.5 相控整流器的直流电流在电阻 -电感负载下保持连续的临界条 件	262
5.2.3 电力场效应晶体管 (MOSFET) 的保护	213	6.2.6 电网换相逆变器 (有源逆变 器)	264
5.2.4 绝缘栅双极型晶体管 (IGBT) 的保护	214	6.3 负载换相逆变器	266
5.2.5 器件的集成保护	214	6.3.1 并联谐振型逆变器	266
5.3 电力电子电路的保护	216	6.3.2 串联谐振型逆变器	269
5.3.1 整流电路故障	216	6.3.3 电动机反电动势换相逆变器	274
5.3.2 整流电路短路电流计算	216	6.4 自换相逆变器	281
5.3.3 整流电路快熔保护	218	6.4.1 电压型自换相逆变器	281
5.3.4 整流电路电子保护	219	6.4.2 电流型自换相逆变器	293
5.3.5 逆变电路故障	220	参考文献	300
5.3.6 逆变电路过电流保护	221	第7章 电力电子设备性能数据 的计算	301
5.3.7 逆变电路过电压保护	222	7.1 电力电子设备的损耗	301
5.3.8 逆变电路过电流与过电压保护 的协调	223	7.1.1 损耗项目	301
5.4 电力电子设备的保护	224	7.1.2 损耗计算方法	301
5.4.1 保护设计的原则	224	7.2 电力电子设备的效率	304
5.4.2 主电路常规保护与连锁	225	7.2.1 效率计算	304
5.4.3 控制电路保护与综合	225	7.2.2 效率测试的数据处理	304
5.4.4 设备智能监测与保护	226	7.2.3 效率计算示例	306
参考文献	228	7.3 电力电子设备的直流电压调整 率	307
第6章 变流电路基本概念及主 电路参数计算	229	7.3.1 固有直流电压调整率	308
6.1 不可控整流器	229		
6.1.1 计算基础	229		
6.1.2 整流器的电联结型式	230		
6.1.3 基本整流电路 (换相组)	236		
6.1.4 换相组的串联	238		

7.3.2	总直流电压调整率	309	8.4.1	电镀用整流器的负载特点及运行要求	365
7.3.3	三相均匀桥式变流器直流电压调整率的简化计算方法	310	8.4.2	电镀用整流器的运行控制方式	365
7.3.4	变流器作串并联运行时的直流电压调整率	311	8.4.3	电镀用整流器的联结型式	366
7.3.5	直流电压调整率计算示例	311	8.4.4	水冷却方式电镀用整流器的结构特点	370
7.4	电力电子设备的功率因数	313	8.5	高稳定度稳流器	371
7.4.1	基波因数	313	8.5.1	概述	371
7.4.2	位移因数(基波功率因数)	314	8.5.2	基准电源	371
7.4.3	总功率因数	317	8.5.3	电流传感器件	372
7.4.4	自换相逆变器的功率因数	317	8.5.4	整流电路选择及滤波电路参数设计	373
7.4.5	功率因数计算示例	318	8.5.5	晶闸管稳流器	374
7.5	电力电子设备的电磁兼容性	319	参考文献	378	
7.5.1	电力电子设备的谐波对电网的干扰	319	第9章	直流电动机调速用变流器	380
7.5.2	电力电子设备的谐波对通信系统的干扰	325	9.1	直流电动机调速用变流器设计要点	380
7.5.3	电力电子设备的抗电网干扰	331	9.1.1	明确生产机械对直流调速系统的要求	380
7.5.4	电力电子设备与电网的兼容性估计	333	9.1.2	拟定直流调速系统方案	380
参考文献	336		9.1.3	计算、选择主电路电气设备	382
第8章	常用整流设备	337	9.1.4	计算、选择闭环控制电路及接口	382
8.1	电解和直流电弧炉用整流器	337	9.2	直流调速系统的品质指标	382
8.1.1	电解用整流器的应用特点和联结型式的选择	337	9.2.1	系统稳态指标	382
8.1.2	并联器件的均流	342	9.2.2	动态指标	384
8.1.3	整流器的防磁	344	9.3	负载类型	385
8.1.4	冷却方式	344	9.3.1	尖峰负载	385
8.1.5	母线选用和布置	344	9.3.2	偶尔出现过载的稳定负载	385
8.1.6	户外大型变压整流器	346	9.3.3	重复负载	386
8.1.7	直流电弧炉直流电源	348	9.3.4	电流轮廓曲线	386
8.2	同步电机励磁用整流器	349	9.3.5	标准工作制(负载等级)	387
8.2.1	同步电动机励磁用整流器	349	9.4	直流电动机调速用变流器常用方案	387
8.2.2	同步发电机励磁用整流器	352	9.4.1	常用整流电路	387
8.2.3	绕线转子异步电动机同步化运行	357	9.4.2	常用可逆电路	389
8.3	蓄电池充电用整流器	358	9.4.3	可逆电路的控制方式	389
8.3.1	蓄电池充电的类型和对充电用整流器的要求	358	9.5	主电路计算与选择	408
8.3.2	蓄电池充放电用晶闸管整流器	359	9.5.1	整流变压器及交流进线电抗器参数计算	408
8.3.3	快速充电用晶闸管整流器	360	9.5.2	晶闸管额定参数的选择	411
8.3.4	电力系统用直流电源	361	9.5.3	快速熔断器的选择	411
8.4	电镀用整流器	365			

9.5.4	直流平波电抗器和环流电抗器的计算	412
9.5.5	过电压保护元件——压敏电阻	415
9.6	闭环控制电路参数计算及选择	416
9.6.1	闭环控制的概念	416
9.6.2	调节对象传递函数	417
9.6.3	控制系统的工程设计方法	417
9.6.4	双环(电流-速度)系统计算实例	424
9.7	数字调节系统	425
9.7.1	基础知识	425
9.7.2	数字PID调节	428
9.8	直流调速系统的数字控制	430
9.8.1	数字控制的基本原理	430
9.8.2	SIMOREG K 6RA24 调速装置	431
9.8.3	6KDV300 系列直流传动装置	436
9.8.4	基础自动化控制系统	441
	参考文献	443
第 10 章	交流电动机调速用变流器	444
10.1	交流电动机系统概述	444
10.1.1	交流调速系统的特点和类型	444
10.1.2	变极调速	444
10.1.3	定子调压调速	444
10.1.4	转子串电阻调速	445
10.1.5	电磁转差离合器调速	445
10.1.6	变频调速	445
10.1.7	无换向器电动机调速	446
10.2	软起动器	446
10.2.1	概述	446
10.2.2	为什么要用软起动器	447
10.2.3	软起动器与其他几种电动机起动方式的比较	447
10.2.4	适合软起动器应用的普通负载一览	448
10.2.5	软起动器的运行	448
10.2.6	应用举例	450
10.3	调压调速	453
10.3.1	晶闸管调压调速电路	453
10.3.2	调压调速的功率损耗	453
10.3.3	调压调速的优缺点及适应范围	454
10.4	交-直-交电压型变频器	454
10.4.1	晶闸管交-直-交电压型变频器及其参数计算	454
10.4.2	采用 PWM 方式的电压型变频器	455
10.4.3	高电压变频器	458
10.5	交-直-交电流型变频器	461
10.5.1	晶闸管电流型变频器	461
10.5.2	采用 PWM 方式的电流型变频器	461
10.6	交-直-交变频器对电网与电动机的影响	462
10.6.1	交-直-交变频器网侧谐波及功率因数	462
10.6.2	交-直-交变频器对电动机的影响	463
10.6.3	交-直-交变频器的抗干扰	464
10.7	交-交变频器	464
10.7.1	交-交变频器工作原理及接线方式	464
10.7.2	交-交变频器主电路参数计算	465
10.8	串级调速系统	466
10.8.1	串级调速的主电路方案	467
10.8.2	调速范围与串级调速装置的容量、转子电压之间的关系	467
10.8.3	功率因数和效率	468
10.8.4	起动方式选择	468
10.8.5	主要参数计算与选择	469
10.9	无换向器电动机调速系统	470
10.9.1	概述	470
10.9.2	无换向器电动机的换相控制	471
10.9.3	无换向器电动机调速装置主电路	471
10.9.4	交-直-交电流型主电路参数计算	472
10.9.5	交-交电流型主电路参数计算	473
10.9.6	交-交电压型主电路参数计算	474
10.10	常用的交流电动机控制方案	474
10.10.1	转差频率控制的变频调速系统	474
10.10.2	矢量变换控制的变频调速系统	475
10.10.3	直接转矩控制的变频调速系统	475

10.10.4 无速度传感器的高性能调速系统	476		
参考文献	476		
第 11 章 牵引变流器	477	第 12 章 感应加热用电源设备	512
11.1 牵引负载及其对变流器的特殊要求	477	12.1 概述	512
11.1.1 牵引负载的类型	477	12.2 含晶闸管并联逆变器的中频加热电源	513
11.1.2 牵引负载的运行特性	477	12.2.1 基本结构	513
11.1.3 牵引电动机的运行特点	477	12.2.2 频率跟踪	514
11.1.4 牵引负载电气传动系统供电电源的运行特性	479	12.2.3 并联逆变电路的起动	516
11.2 牵引变流器的分类和基本工作原理	482	12.2.4 并联逆变电路的过电流和过电压保护	518
11.2.1 牵引变流器的分类和应用	482	12.2.5 电源的控制	520
11.2.2 各类牵引变流器的结构和工作原理	482	12.2.6 逆变主电路参数选择	523
11.3 直流电力机车用晶闸管变流器设计举例	484	12.3 含晶闸管串联逆变器的中频加热电源	525
11.3.1 机车牵引特性和主要参数	485	12.3.1 全桥式电路	525
11.3.2 变流器的主电路结构、工作原理和设计计算	486	12.3.2 半桥式电路	526
11.3.3 控制系统设计原理	490	12.4 中频加热电源负载感应器计算	527
11.3.4 装置对电网运行的影响及其抑制对策	493	12.4.1 负载感应器的等效电路	527
11.4 牵引负载用直流斩波器结构设计	493	12.4.2 负载等效电路参数	528
11.4.1 直流斩波器的分类和应用	493	12.4.3 N 匝感应器的参数	529
11.4.2 牵引负载常用直流斩波器的主电路结构和工作原理	494	12.4.4 感应器参数计算实例	529
11.4.3 牵引负载用斩波器主电路设计计算	497	12.4.5 电源频率和功率的选择	530
11.5 交流牵引传动变流器	503	12.5 中频加热电源设计实例	530
11.5.1 交流牵引电动机的类型和特性	504	12.6 含改进型倍频式逆变电路的晶闸管超音频加热电源	531
11.5.2 交流牵引变流系统	504	12.6.1 倍频式逆变电路特点	532
11.6 牵引负载电网运行质量的改善	509	12.6.2 改进型倍频式逆变电路的原理分析	532
11.6.1 牵引负载对电力系统运行的主要影响	509	12.6.3 主电路电量计算	534
11.6.2 改善牵引供电电网质量的方法	509	12.6.4 改进型倍频式逆变电路的特点	536
参考文献	511	12.7 绝缘栅双极型晶体管超音频电源	537
		12.7.1 含串联逆变电路的 IGBT 超音频电源	537
		12.7.2 含并联逆变电路的 IGBT 超音频电源	538
		12.8 电力 MOSFET 高频加热电源	539
		12.8.1 电路结构	539
		12.8.2 逆变电路运行模式的选择	539
		12.8.3 逆变控制电路中的过电流保护和定角电路	540