

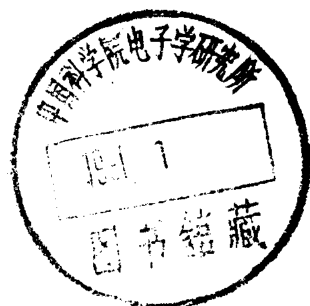
张明松 主编

电力电子设备 设计应用手册

75.013
F 31

电力电子设备设计 and 应用手册

张明勋 主 编



机械工业出版社

9110041

内 容 简 介

本书介绍半导体整流器、逆变器和其他电力电子设备的设计方法和应用技术。全书分三大部分:第一部分阐述通用设计方法和原理;第二部分对交直流电机调速、中频电源、斩波器、电子调压(调功)器和直流输电等设备,就其特殊性和应用技术作了详细补充;第三部分为成套设计和设备选用提供查考资料。每一部分都通过大量计算实例,说明设计细节,使不同程度的设计、应用者能很快掌握其要领。

本书主要供从事电力电子设备的制造、研究和其他有关工程技术人员参考,对设计院及其他应用电力电子设备各部门的技术人员也有很大参考价值。

0006/14

电力电子设备设计 and 应用手册

张明勋 主编

*

责任编辑:严蕊琪 版式设计:冉晓华

封面设计:郭景云

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京龙华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张 $53 \frac{1}{2}$ 插页 3 · 字数 1669 千字

1990年6月北京第一版·1990年6月北京第一次印刷

印数 0,001—2,850 · 定价:42.00 元

*

科技新书目:216—016

ISBN 7-111-02016-2/TN·41

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 汪樾生 苏文成 钟授钊 张明勋

作 者 和 审 稿 人 名 单

章 号	作 者	章审者	主 审
第 1 章	张明勋	陈守良	王元铭
第 2 章	周胜宗 胡英伦	王元铭	王元铭
第 3 章	秦祖蔭 张永生	励无咎	苏文成
第 4 章	朱聪敬 李庆霖	苏文成	张明勋
第 5 章	盛祖泉	金子康	苏文成
第 6 章	李庆霖	张永生	苏文成
第 7 章	张明勋	金子康	苏文成
第 8 章	陆 志 何淑香	钟授钊	钟授钊
第 9 章	张良金	金子康	钟授钊
第 10 章	林渭勋	王懋鋆	汪樾生
第 11 章	林渭勋	汪樾生	汪樾生
第 12 章	赵扶摇 万里雄	励无咎	汪樾生
第 13 章	周胜宗 缪时轮	魏泽国	张明勋
第 14 章	袁维慈	汪樾生	汪樾生
第 15 章	钟豁然 蒋光祖 谈必礼	汪樾生	汪樾生
第 16 章	金子康	赵景媛	张明勋
第 17 章	张良金	金子康	钟授钊
第 18 章	李家训	张明勋	张明勋
第 19 章	吴铁铮	赖钧镒	钟授钊
第 20 章	徐嘉英	郑福发	钟授钊
第 21 章	陈守良 黄嘉炳	钟授钊	钟授钊

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、研究和教学工作中累积了丰富资料的专家、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。

《电力电子设备设计和应用手册》编委会

目 录

第1章 设计常用标准资料

1-1 符号与术语	1
1-1.1 字母符号	1
1-1.2 电力电子技术名词术语	6
1-2 优先数系与额定值标准等级	12
1-2.1 优先数系	12
1-2.2 额定电流标准等级	13
1-2.3 额定电压标准等级	15
1-2.4 额定频率标准等级	17
1-3 电力电子设备的工作条件	17
1-3.1 环境条件	17
1-3.2 电气工作条件	22
1-3.3 负载条件	25
参考文献	26

第2章 电力半导体器件的额定值、特性和使用导则

2-1 概述	28
2-2 普通整流二极管和普通晶闸管	28
2-2.1 外形尺寸	28
2-2.2 额定值和特性值	31
2-2.3 特性曲线	35
2-2.4 额定值和特性值的使用	37
2-3 快速晶闸管	39
2-4 双向晶闸管	40
2-4.1 概述	40
2-4.2 触发方式	40
2-4.3 额定电流	40
2-4.4 换流特性	40
2-5 逆导晶闸管(逆导可控硅元件)	41
2-5.1 概述	41
2-5.2 额定电流	41
2-5.3 换流特性	41
2-6 门极可关断晶闸管(GTO)	41
2-6.1 主要特性	41
2-6.2 开通特性	41
2-6.3 关断特性	42

2-6.4 可关断晶闸管应用注意事项	44
2-7 电力晶体管(GTR)	45
2-7.1 基本特性	45
2-7.2 极限参数	45
2-7.3 特性参数	46
2-7.4 电力晶体管应用中的若干问题	50
2-8 器件的冷却、选配及其热计算	53
2-8.1 冷却方式	54
2-8.2 散热器的使用条件	57
2-8.3 电力半导体器件国内推荐用散热器的参数	60
2-8.4 等效结温的计算和散热器的选配	79
参考文献	86

第3章 电力电子设备的触发器与控制器

3-1 晶闸管相位控制器的一般技术指标	87
3-2 移相触发器	87
3-2.1 正弦波同步电压触发器的控制特性	87
3-2.2 锯齿波同步电压触发器的控制特性	87
3-2.3 锯齿波同步触发器典型电路及技术指标	88
3-2.4 脉冲功放及典型电路	93
3-3 异步触发器	95
3-3.1 图3-11异步触发器的基本工作原理	95
3-3.2 异步触发器的起动	98
3-3.3 异步触发器的优缺点	98
3-4 数字触发器简介	99
3-5 双向晶闸管触发器	100
3-5.1 双向晶闸管的相位控制	100
3-5.2 双向晶闸管的过零触发控制	101
3-5.3 KC-05型集成触发器	101
3-5.4 KC-05集成触发器技术参数	103
3-6 GTO触发器	103
3-6.1 对开通脉冲的要求	103

3-6.2	对门极关断控制脉冲的要求	104
3-6.3	GTO门极触发电路	104
3-7	Diac 触发器	106
3-7.1	Diac 的伏安特性及主要参数	106
3-7.2	Diac 触发器电路	106
3-8	SBS 触发器	108
3-8.1	SBS 的伏安特性及主要参数	108
3-8.2	SBS 触发器电路	109
3-9	SUS 触发器	109
3-10	触发器的抗干扰	109
3-11	通用控制器	111
3-11.1	集成运算放大器	111
3-11.2	改善集成运算放大器性能的主要方法	114
3-11.3	调节器的基本电路	116
3-11.4	速度(电压)调节器	117
3-11.5	电流调节器	122
3-11.6	给定积分器	126
3-11.7	速度变换器	133
3-11.8	交流电流变换器	136
3-11.9	直流电压变换器	138
3-12	直流稳压电源	143
参考文献		145

第4章 整流器的基本概念及主电路电参数的计算

4-1	理想条件下二极管整流器及其主要电参数之间的关系	146
4-1.1	基本假设、理想空载直流电压、负载性质的归属	146
4-1.2	整流电路电联结型式	146
4-1.3	基本整流电路(换相组)	147
4-1.4	整流电路的串联	155
4-1.5	整流电路的并联	156
4-1.6	12脉波整流电路	159
4-1.7	理想条件下二极管整流器主要电参数之间的关系	160
4-1.8	整流变压器及其主要电参数之间的关系	160
4-1.9	平衡电抗器电参数之间的关系	163
4-2	理想条件下晶闸管整流器及其主要电参数之间的关系	164
4-2.1	相位控制	165

4-2.2	带平波电抗器均匀联结的晶闸管整流器及其主要电参数之间的关系	165
4-2.3	不带平衡电抗器均匀联结的晶闸管整流器及其主要电参数之间的关系	167
4-2.4	不均匀联结晶闸管整流器及其主要电参数之间的关系	168
4-3	非理想条件下的整流器与主要电参数的修正	175
4-3.1	$X_s \neq 0, X_d = \infty$ 时的换相过程	175
4-3.2	整流器理想空载直流电压的计算	177
4-3.3	晶闸管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	178
参考文献		180

第5章 电力电子设备中阀器件的串并联技术

5-1	阀器件的串联技术	181
5-1.1	器件直接串联的电压分配	181
5-1.2	串联器件的稳态均压	182
5-1.3	串联器件的瞬态均压	182
5-1.4	器件串联臂串联器件数的确定	183
5-1.5	串联晶闸管的末级触发电路	183
5-1.6	串联器件在高压设备中的应用	185
5-1.7	串联器件均压的计算实例	185
5-2	阀器件的并联技术	186
5-2.1	阀器件直接并联时的均流	186
5-2.2	并联器件的强迫均流	188
5-2.3	器件并联支路数的确定	190
5-2.4	并联器件均流的计算实例	192
5-2.5	门极可关断晶闸管的均流	192
5-3	阀器件的串并联	193
参考文献		194

第6章 电力电子设备的保护

6-1	过电流保护	195
6-1.1	短路故障	195
6-1.2	短路电流的计算	195
6-1.3	相控晶闸管电路故障冲击电流的确定	197

6-1.4	过电流保护方案的选择	197
6-1.5	快速熔断器	199
6-1.6	快熔的保护方式	203
6-1.7	快熔的选用原则	204
6-1.8	电子保护电路	207
6-1.9	电路实例	208
6-2	过电压保护	209
6-2.1	过电压产生的原因	209
6-2.2	抑制暂态过电压的方法	211
6-2.3	用非线性元件抑制交流侧过电压	214
6-2.4	用非线性元件抑制直流侧过电压	214
6-2.5	用RC抑制过电压	215
6-2.6	整流式阻容吸收	216
6-2.7	用RC抑制换相过电压	216
6-3	电流、电压上升率的抑制	217
6-3.1	电流上升率 di/dt 的抑制	217
6-3.2	电压上升率 du/dt 的抑制	218

第7章 电力电子设备性能数据的计算

7-1	电力电子设备的损耗和效率	219
7-1.1	效率计算中的损耗项目	219
7-1.2	损耗计算方法	220
7-1.3	效率计算	222
7-1.4	效率测试的数据处理	222
7-1.5	效率计算示例	224
7-2	电力电子设备的直流电压调整率	226
7-2.1	固有直流电压调整率	226
7-2.2	总直流电压调整率	228
7-2.3	三相均匀桥式变流器直流电压调整率的简化算法	228
7-2.4	变流器作串并联运行时的直流电压调整率	229
7-2.5	直流电压调整率计算示例	230
7-3	电力电子设备的功率因数	232
7-3.1	基波因数	232
7-3.2	位移因数(基波功率因数)	234
7-3.3	总功率因数	237
7-3.4	自换相逆变器的功率因数	237
7-3.5	功率因数计算示例	238
7-4	电力电子设备的电流电压谐波	238
7-4.1	谐波限制	239

7-4.2	交流网侧电流谐波的计算	241
7-4.3	直流电压谐波的计算	245
7-4.4	直流谐波的干扰效应	249
参考文献		251

第8章 电力电子设备的总体设计

8-1	整流器总体设计的程序及内容	253
8-1.1	原始数据及原始资料	254
8-1.2	确定整流器的额定直流电压 U_{dN} 及额定直流电流 I_{dN}	254
8-1.3	整流电路的选择	254
8-1.4	整流变压器参数的选用与计算	254
8-1.5	整流装置发热的计算及冷却系统的选择	255
8-1.6	阀器件的选用	256
8-1.7	阀器件串联及其计算	256
8-1.8	阀器件并联及其计算	257
8-1.9	过电压抑制	259
8-1.10	过载及短路保护元件的选择	262
8-1.11	平波电抗器的设计计算	264
8-1.12	触发器的选定	264
8-1.13	电流检测电路的选择	265
8-1.14	直流电压检测方式选择	265
8-1.15	调节器设计	265
8-1.16	结构设计时注意事项	267
8-2	逆变器设计程序的补充说明	268
8-3	设计举例	268
8-3.1	电解用硅整流器的计算示例	268
8-3.2	直流传动用硅整流器计算示例	272
参考文献		278

第9章 各种整流器的运行特点 and 设计方法

9-1	电化学用整流器	279
9-1.1	电化学用整流器的应用特点和联结型式的选择	279
9-1.2	并联器件的均流	284
9-1.3	整流器的防磁	287
9-1.4	冷却方式	287
9-1.5	户外大型变压整流器	288
9-2	同步电动机励磁用整流器	292
9-2.1	同步电动机励磁用整流器概述	292
9-2.2	同步发电机励磁用整流器	296

9-2.3	感应电动机同步化运行	306
9-3	蓄电池充电用整流器	308
9-3.1	蓄电池充电的类型和对充电用整流器的要求	308
9-3.2	蓄电池充放电用晶闸管整流器	309
9-3.3	快速充电用晶闸管整流器	309
9-4	电镀用整流器	311
9-4.1	电镀用整流器的负载特点及运行要求	311
9-4.2	电镀用整流器的运行控制方式	312
9-4.3	电镀用整流器的联结型式	312
9-4.4	电镀用整流器的结构特点	316
9-5	高稳定度稳流器	316
9-5.1	概述	316
9-5.2	基准电源	317
9-5.3	电流传感元件	318
9-5.4	用大功率晶体管作调整管的稳流器	321
9-5.5	晶闸管稳流器	328
9-6	电阻焊机用整流器及其功率控制器	333
9-6.1	电阻焊机用调功器的暂态过程	334
9-6.2	晶闸管的选择和保护	335
9-6.3	应用实例	337
	参考文献	338

第10章 逆变器变频器的基本概念和主电路电参数计算

10-1	逆变器的分类	340
10-2	负载换流式逆变器	341
10-2.1	具有电网负载的电流型逆变器(有源逆变器)	341
10-2.2	具有同步电动机负载的电流型逆变器(间接变频式无换向器电动机)	347
10-2.3	具有电容补偿负载的电流型逆变器(并联逆变器)	354
10-2.4	具有电容补偿负载的电压型逆变器(串联逆变器)	358
10-3	自换流式逆变器	364
10-3.1	电压型逆变器	364
10-3.2	电流型逆变器	380
10-4	变频器的分类	387
10-5	电流型直接变频器	387
10-5.1	理想条件下三相电流型直接变	

	频器.....	387
10-5.2	变频器换流过程分析.....	392
参考文献.....		393

第11章 感应加热用中频电源

11-1	含电流型逆变器的中频电源(并联逆变式中频电源)	394
11-1.1	电源的基本结构及其应用范围	394
11-1.2	自动频率跟踪(自动调频)	394
11-1.3	电源的起动	399
11-1.4	逆变器的保护	400
11-1.5	逆变主电路参数选择	402
11-1.6	并联运行	403
11-1.7	改进型并联逆变电路	405
11-2	含倍频逆变器的中频电源(倍频逆变式中频电源)	408
11-2.1	倍频逆变电路的工作原理	408
11-2.2	逆变电路分析	409
11-2.3	阻抗匹配	410
11-2.4	频率匹配	411
11-2.5	负载端短路分析及保护	412
11-3	中频电源的控制	414
11-3.1	扰动	414
11-3.2	具有电流电压调节的中频电源	415
11-4	负载感应器计算	418
11-4.1	负载感应器的等效电路	418
11-4.2	负载等效电路的参数	419
11-4.3	N 匝感应器的参数	419
11-4.4	计算实例	420
11-4.5	电源频率和功率的选择	420
11-5	中频电源设计实例	421
11-5.1	给定数据	421
11-5.2	整流侧电参数计算	421
11-5.3	逆变侧电参数计算	422
	参考文献	422

第12章 直流电动机调速用变流器的设计

12-1	直流电动机调速用变流器设计的一般要求	424
12-1.1	直流调速系统的品质指标	424
12-1.2	晶闸管变流器与其他变流方式的比较	426
12-1.3	对变流器设计的一般要求	426

12-2	负载类型	428
12-2.1	尖峰负载	428
12-2.2	偶尔出现过载的稳定负载	429
12-2.3	重复负载	429
12-2.4	电流轮廓曲线	429
12-2.5	标准工作制(负载等级)	430
12-3	主电路的设计	432
12-3.1	主电路的联结型式	432
12-3.2	可逆传动	433
12-3.3	直流调速用变流器主电路计算系数	440
12-3.4	主电路元器件的选择	440
12-4	控制方式	449
12-4.1	晶闸管直流调速系统的类型	449
12-4.2	有环流可逆系统	449
12-4.3	逻辑控制无环流可逆系统	459
12-4.4	错位无环流可逆系统	462
12-5	晶闸管直流调速系统的工程计算	464
12-5.1	工程计算的基础	464
12-5.2	典型环节的传递函数	473
12-5.3	系统计算的工程处理方法	475
12-5.4	计算举例	482
	参考文献	486

第13章 交流电动机调速用变流器

13-1	调速用间接变频器(交-直-交变频器)	487
13-1.1	基本原理及分类	487
13-1.2	电压型变频器	488
13-1.3	电流型变频器	492
13-1.4	变频器的触发控制电路	496
13-2	晶闸管串级调速用变流器	503
13-2.1	串级调速工作原理	503
13-2.2	转子整流器的工作状态	503
13-2.3	串级调速的机械特性	504
13-2.4	串级调速系统的动态校正	511
13-2.5	串级调速的效率及功率因数	512
13-2.6	串级调速系统主回路主要部件的设计	514
13-2.7	超同步串级调速	516
13-3	交流电动机调速用周波变流器	518
13-3.1	基本原理	519
13-3.2	周波变流器的无环流运行方式	520
13-3.3	自然环流运行方式	520

13-3.4	局部环流运行方式	521
13-3.5	周波变流器的主电路型式	522
13-3.6	周波变流器的触发控制	523
13-3.7	最高输出频率	525
13-3.8	晶闸管元件的电压、电流容量	526
	参考文献	527

第14章 直流斩波器的原理和设计

14-1	直流斩波器的基本原理	528
14-1.1	晶闸管直流开关	528
14-1.2	直流降压斩波电路和升压斩波电路	529
14-1.3	单象限、两象限和四象限斩波电路	530
14-1.4	多相多重直流斩波电路	530
14-1.5	直流斩波调压、斩波调磁和斩波调阻电路	530
14-1.6	直流电动机调速用斩波电路的调节方式	532
14-1.7	直流斩波电路的基本形式	533
14-2	直流斩波器的原理和计算公式	534
14-2.1	逆阻晶闸管直流斩波器的原理和计算公式	534
14-2.2	逆导晶闸管直流斩波器的原理和计算公式	536
14-2.3	可关断晶闸管直流斩波器的原理和计算公式	540
14-2.4	电力晶体管直流斩波电路的原理和计算公式	542
14-3	直流斩波调速系统的设计	544
14-3.1	直流斩波调速系统的组成	544
14-3.2	直流斩波系统的参数设计方法	544
14-3.3	设计举例	546
14-4	应用电路举例	552
14-4.1	在城市无轨电车上的应用	552
14-4.2	在地下铁道电动客车上的应用	554
14-4.3	ZK-70 电机车斩波调速系统	555
14-4.4	工业传动用GTO斩波调速系统	555
	参考文献	556

第15章 晶闸管交流电力控制器的应用与设计

15-1	晶闸管交流调压器	557
15-1.1	主电路设计	558

15-1.2	触发电路设计	564
15-2	晶闸管交流调功器	569
15-2.1	型号和基本参数	570
15-2.2	基本原理	571
15-2.3	主电路设计要点	571
15-2.4	控制电路设计要点	573
15-2.5	保护电路设计要点	577
15-2.6	使用要点	577
15-3	交流电力电子开关	578
15-3.1	主要技术参数	578
15-3.2	工作原理	579
15-3.3	设计特点	580
15-3.4	交流电力电子开关的选用	593
15-3.5	典型用例及效益	594
	参考文献	595

第16章 高压直流输电用变流器和 静止无功补偿器的设计

16-1	直流输电的发展概况	596
16-1.1	直流输电与交流输电	596
16-1.2	两端运行与多端运行	597
16-2	静止无功补偿器的基本情况	599
16-2.1	自饱和电抗器型静止无功补偿器	601
16-2.2	可控饱和电抗器型静止无功补 偿器	602
16-2.3	晶闸管相控电抗器 (TCR) 型静 止无功补偿器	606
16-2.4	晶闸管投切电容器 (TSC) 型静 止无功补偿器	610
16-2.5	混合型静止无功补偿器	612
16-3	高压阀及其过电压保护	614
16-3.1	高压直流输电变流站的绝缘配 合	614
16-3.2	串联晶闸管和串联“晶闸管对” 的保护	619
16-3.3	杂散电容的影响及有关措施	621
16-3.4	换相振荡及其阻尼方法	622
16-3.5	阻尼电抗器 (阳极电抗器)	625
16-4	高压阀的触发系统	626
16-4.1	电磁触发	626
16-4.2	光电触发及脉冲功放取能	626
16-4.3	晶闸管故障报警系统	628
16-5	静止无功补偿器的设计	628

16-5.1	静止无功补偿系统参数计算示 例	628
16-5.2	静止无功补偿器用晶闸管阀的 设计	630
	参考文献	638

第17章 电磁器件的设计

17-1	概述	640
17-1.1	特点	640
17-1.2	基本概念	640
17-1.3	各种结构类型的计算公式	641
17-1.4	计算公式的应用	651
17-2	变流变压器的设计	654
17-2.1	用途和特点	654
17-2.2	主要技术参数	655
17-2.3	结构特征	656
17-2.4	设计计算	659
17-3	饱和电抗器的计算设计	664
17-3.1	用途与分类	664
17-3.2	不同接法的比较	664
17-3.3	调压型饱和电抗器的工作原理	666
17-3.4	调压型饱和电抗器的计算方法	667
17-3.5	调流型饱和电抗器的工作原理	670
17-3.6	调流型饱和电抗器的计算方法	671
17-3.7	饱和电抗器的计算实例	672
17-4	平衡电抗器的计算设计	674
17-4.1	用途与分类	674
17-4.2	基本关系	674
17-4.3	150 Hz 的平衡电抗器	674
17-4.4	300 Hz 的平衡电抗器	677
17-4.5	平衡电抗器的计算实例	679
17-5	平波电抗器的计算设计	681
17-5.1	平波电抗器的参数计算	681
17-5.2	平波电抗器的结构设计	681
17-5.3	平波电抗器的计算程序	683
17-5.4	平波电抗器的计算实例	684
17-6	均流电抗器的计算设计	685
17-6.1	用途与分类	685
17-6.2	均流电抗器的铁心结构	685
17-6.3	均流电抗器的计算方法	686

第18章 电力电子设备试验

18-1	变流装置试验项目分类与试
------	--------------

验目的	689
18-1.1 试验项目	689
18-1.2 试验分类	689
18-1.3 试验目的和应用	689
18-2 变流器试验	690
18-2.1 试验条件的准备	690
18-2.2 一般变流器的试验方法	690
18-2.3 直流输电用变流阀的试验项目 与试验方法	696
18-3 变流装置试验举例	700
18-3.1 同步电动机励磁用晶闸管变流 器试验	702
18-3.2 电化学用整流装置的试验	704
18-3.3 低同步晶闸管串级调速装置的 试验	705
参考文献	706

第19章 电力半导体器件试验

19-1 晶闸管测试项目分类	708
19-1.1 额定值和特性	708
19-1.2 逐批检验和周期检验	708
19-2 晶闸管伏安特性测试	709
19-2.1 晶闸管的伏安特性	709
19-2.2 断态不重复峰值电压和反向不 重复峰值电压的测试	709
19-2.3 断态峰值电流和反向峰值电流 的测试	709
19-2.4 光点跟踪法测试	710
19-3 门极触发特性测试	710
19-3.1 门极触发电流和触发电压的测试	710
19-3.2 半自动停表式门极触发参数电 路	712
19-4 维持电流的测试	712
19-4.1 测试原理电路	712
19-5 通态峰值电压的测试	713
19-5.1 测试方法	713
19-6 通态浪涌(不重复)电流的测试	714
19-6.1 测试原理电路	714
19-6.2 试验条件	714
19-6.3 浪涌电流测试电路	714
19-7 门极控制开通时间的测试	715
19-7.1 测试原理电路	716
19-7.2 测试要求	716

19-7.3 电路参数要求	716
19-7.4 实用晶闸管门极控制开通时间 测试电路	716
19-8 关断时间	716
19-8.1 关断时间测试原理及要求	717
19-8.2 试验条件	718
19-9 断态电压临界上升率的测试	718
19-9.1 测试原理电路	718
19-9.2 测试方法	718
19-9.3 试验条件	719
19-10 整流二极管测试	719

第20章 设计参考资料及数据

20-1 常用电气图形符号	720
20-1.1 电流和电压种类	720
20-1.2 接地、接机壳和等电位	721
20-1.3 电阻器、电容器和电感器	721
20-1.4 半导体器件	725
20-1.5 电机	730
20-1.6 变压器和电抗器	736
20-1.7 变流器	742
20-1.8 原电池和蓄电池	743
20-1.9 触点(触头)	743
20-1.10 开关、开关装置和起动器	745
20-1.11 机电式有无继电器	749
20-1.12 测量继电器	751
20-1.13 熔断器和熔断器式开关	752
20-1.14 测量仪表、灯和信号器件	754
20-1.15 变换器	758
20-2 变流器配套设备	758
20-2.1 整流变压器	758
20-2.2 快速熔断器	765
20-2.3 直流快速断路器	769
20-2.4 直流母线式大电流刀开关	772
20-2.5 纯水、软水冷却装置	772
20-3 运算放大器和集成触发器	774
20-3.1 F007 通用Ⅲ型运算放大器	774
20-3.2 F005 通用Ⅱ型运算放大器(不 调零)	775
20-3.3 XFC80型双运算放大器	776
20-3.4 集成化触发器	779
20-4 电磁材料	787
20-4.1 电机工业中常用硅钢片的磁性	

能和冷轧单取向薄带硅钢、常用硅钢片的主要应用范围·····	787
20-4.2 铁氧体磁性材料的部分牌号和主要磁性能·····	789
20-5 电线电缆·····	789
20-5.1 裸电线·····	789
20-5.2 铝、铜扁线及铝母线·····	794
20-6 电工成套装置中的导线颜色·····	795
20-6.1 依导线颜色标志电路·····	795
20-6.2 依电路选择导线颜色·····	796
参考文献·····	796

附录 电力电子器件与半导体电力变流器定型产品目录

A 电力电子器件·····	797
A-1 普通整流二极管·····	798
A-2 快速整流二极管·····	798
A-3 普通晶闸管·····	799
A-4 快速晶闸管·····	800
A-5 双向晶闸管·····	801
A-6 单相桥式整流组合管·····	802
A-7 高压整流二极管堆·····	802
A-8 旋转型整流二极管·····	803
A-9 硅二极管降压堆·····	803

A-10 可关断晶闸管·····	803
B 半导体电力变流器·····	803
B-1 一般工业用整流器·····	805
B-2 蓄电池充电用整流器·····	806
B-3 电镀用整流器·····	810
B-4 电化学用整流器·····	813
B-5 励磁用整流器·····	816
B-6 牵引变电站用整流器·····	818
B-7 分合闸用整流器·····	819
B-8 串级调速用变流器·····	821
B-9 晶闸管交流电压控制器(电子交流调压器)和调功器·····	824
B-10 感应加热用晶闸管中频电源·····	826
B-11 晶闸管不间断电源·····	827
B-12 高压收尘用整流器和高压恒流整流器·····	827
B-13 电解加工用整流器·····	831
B-14 直流调速用变流器·····	832
B-15 高精度直流稳定电源·····	840
B-16 电影放映机用整流器·····	841
B-17 镉镍电池分合闸用整流器·····	841

第1章 设计常用标准资料

1-1 符号与术语

1-1.1 字母符号

表1-1 下角标〔1〕〔2〕〔3〕

符 号	涵 意	符 号	涵 意
1	基波的	M	最大的, 峰值的
0	空载的	min	最小的
A, a	臂的, 阳极的	N	额定的
a	环境的, 轴向的★	D	开路的
AV	平均值	P	固有的
BO	转折的	p	并联的, 脉动的★
BR	击穿的	g	关断的, 正交的+
b	交流电抗器(引起的)	R	反向的, 重复的(用于第二位下角标)
C, c	换相, 临界的, 短路的	r	上升的, 电阻的
c	外壳的	rr	反向恢复的
d	直流的, 连续的, 延迟的	S	不重复的, 浪涌的, 瞬态的
D	断态的, 不触发的	s	串联的, 同步的★, 饱和的★
F	正向的	RMS	方均根的
f	频率的, 下降的	T	通态的
g, G	门极的	t	变压器(引起的), 切向的★
H	维持的	th	热的
h(n)	对应于h次谐波的	v	阀侧的
i	理想的	W	工作状态下的
j	半导体PN结的	x	感(抗)性的
K	阴极的	α	延迟角的, 控制状态下的
L	电网侧的, 电路的, 负载的, 擎住	σ	纹波的, 漏磁的★
	的, 线间的(例如线间电压)	φ	相的(例如相电压)

注: 1. 带“★”者非取自本专业标准。

2. 带“+”者, 只符合IEC-146 1986年修正稿〔3〕, 但不符合IEC-146 1973〔2〕和GB3859-83〔1〕。其中谐波序次h原用n表示〔2〕, 后改用h〔3〕。

9110041

表1-2 电力电子器件参数符号表

符 号	术 语	符 号	术 语
di/dt	通态电流临界上升率	U_{DWM}	断态工作峰值电压
du/dt	断态电压临界上升率	U_{RRM}	反向重复峰值电压
$I_{DR(AV)}$	断态重复平均电流	U_{RSM}	反向不重复峰值电压
$I_{DS(AV)}$	断态不重复平均电流	U_{RWM}	反向工作峰值电压
$I_F(AV)$	正向平均电流 ^①	$U_F(AV)$	正向平均电压
I_{TSM}	正向浪涌电流: 正向不重复电流	$U_T(AV)$	通态平均电压
I_{GFM}	门极正向峰值电流	U_{FM}	正向峰值电压
I_{GD}	门极不触发电流	U_{TM}	通态峰值电压
I_{GT}	门极触发电流	U_{GD}	门极不触发电压
I_H	维持电流	U_{GFM}	门极正向峰值电压
I_J	擎住电流	U_{GRM}	门极反向峰值电压
$I_{RR(AV)}$	反向重复平均电流	U_{GT}	门极触发电压
I_{RRM}	反向重复峰值电流	U_{TO}	门槛电压
$I_{RS(AV)}$	反向不重复平均电流	t_d	门极控制延迟时间
$I_T(AV)$	通态平均电流	t_r	门极控制上升时间
$I_T(RMS)$	通态方均根电流	t_{rr}	门极控制反向恢复时间
I_{TSM}	通态浪涌电流: 通态不重复电流	t_f	门极控制下降时间
$P_G(AV)$	门极平均功率	t_{on}	门极控制开通时间
P_{GFM}	门极正向峰值功率	t_q	电路换向关断时间; 电路换向恢复时间
P_{GM}	门极峰值功率	Z_{th}, Z	瞬态热阻抗
R_{th}, R	热阻	Z_{thjc}, Z_{jc}	结- (管) 壳瞬态热阻抗
R_{thjc}, R_{jc}	结- (外) 壳热阻	θ_c	管壳温度
U_{DRM}	断态重复峰值电压	θ_j	(PN) 结 (等效) 温 (度)
U_{DSM}	断态不重复峰值电压	θ_{JM}	额定结温

①指额定正向平均电流, 在此额定两字被省略, 下同。

注: 在变流器专业的国标 (GB3859—83) 和国际电工标准 (IEC—146—73) 中, 电压符号为 U , 但在电力电子器件的国标和国际电工标准中, 电压符号为 V 。其余符号在两种标准中的规定相同。本手册为了统一, 电压符号一律用 U 。

表1-3 电力电子设备特性符号表

符 号	术 语
b	电压波动因数
$\cos\varphi$	位移因数
$\cos\varphi'$	变压器磁化电流 $\xi = 0, \alpha = 0$ 时的位移因数, 即无相控阀侧位移因数
$\cos\varphi_N, \cos\varphi_N'$	在额定直流电流下的 $\cos\varphi$ 和 $\cos\varphi'$ 值
$\cos\varphi'_\alpha$	变压器磁化电流 $\xi = 0, \alpha \neq 0$ 时的位移因数
$\cos\varphi'_\alpha N$	在额定直流电流下的 $\cos\varphi'_\alpha$ 值
$\cos\varphi_\alpha$	变压器磁化电流 $\xi \neq 0, \alpha \neq 0$ 时的位移因数, 即网侧位移因数
$\cos\varphi_\alpha N$	在额定直流电流下的 $\cos\varphi_\alpha$ 值
d	直流电压调整率
d_b	变流电抗器 (引起的) 直流电压调整率
d_s, d_{sN}	额定直流电流下的 d 和 d_b 值。

(续)

符 号	术 语
d_L	直流电网阻抗引起的直流电压调整率
d_{LN}	在额定直流电流下的 d_L 值
d_p	固有电压调整率
d_r	电阻性直流电压调整率
d_{rb}	变流电抗器引起的阻性直流电压调整率
d_{rt}	变流变压器引起的阻性直流电压调整率
d_t	变流变压器和平衡电抗器引起的直流电压调整率
d_{LN}	额定直流电流下的 d_t 值
d_x	电感性直流电压调整率 ($d_x = d_{xt} + d_{xb}$)
d_{xb}	变流电抗器引起的感性直流电压调整率
d_{xbL}	网侧电抗器引起的感性直流电压调整率
d_{xbv}	阀侧电抗器引起的感性直流电压调整率
d_{xt}	变流变压器引起的感性直流电压调整率
d_{xN}, d_{xbN}, d_{xtN}	在额定直流电流下的 d_x, d_{xb}, d_{xt} 值
e	变压器短路电压, 即变压器短路电压对额定值的百分值
e_x	变压器短路电压中的感抗分量
e_{LN}, e_{xN}	在额定电流 I_{LN} 下的 e_t 和 e_x 值
f_N	额定频率
g	均分 I_{dN} 的换相组数
$h, (n)$	谐波序次 ^①
$I_A (RMS)$	臂电流的方均根值
$I_A (AV)$	臂电流的平均值
I_b	电抗器方均根电流 ^⑦
I_d	直流电流
I_{bN}, I_{dN}	I_b 和 I_d 的额定值
I_{dmN}	额定连续直流电流
I_f	励磁电流 ^⑧
I_L	(变压器)网侧电流
I_{LN}	额定网侧电流
I_{IL}	网侧基波电流
I_{ILN}	I_{IL} 的额定值
$(I_{oL}) I_{hL}$	(交流)网侧 h 次谐波的方均根电流 ^①
I_{hLi}	网侧理想 h 次谐波的方均根电流 ^①
I_{hLN}, I_{hLiN}	I_{dN} 下的 I_{hL} 值和 I_{hLi} 值 ^①
I_v	(变流变压器的)阀侧电流
I_{vN}	额定阀侧电流额定值
K'	国际电话电报协商委员会 (C. C. I. T. T.) 规定的电话波形因数
K	正整数, $K = 1, 2, 3 \dots$
K_r	C. C. I. T. T. 规定的因数
K_i	电流折算因数, 电流均衡因数 (均流系数) ^②
K_u	电压折算因数, 电压均衡因数 (均压系数) ^②
$K_{iv}, K_{uv}, K_{iL}, K_{uL}$	阀侧电流、电压的折算因数, 网侧电流、电压的折算因数
K_x	变压器感抗电压降折算因数 ^②
L_d	换相电感

(续)

符 号	术 语
L_A	臂电感
L_d	平波电感
L_s	支路的串联电感
P	功率
P_L	网侧(有功)功率
P_{LN}	P_L 的额定值
p	脉波数
P', P''	C. C. I. T. T. 规定的负载因数
Q	无功功率, 电荷量
Q_L	网侧无功功率
Q_{LN}	额定负载下的 Q_L 值
Q_r	反向恢复电荷
q	换相数, 换相次数
R, R_{cs}	热阻
R_{sc}	电网短路功率对变流器表观功率之比
S	表观功率
$S, (S_{sc})$	变流电网的短路容量 ⁽³⁾
S_L	网侧表观功率
S_{IL}	对应于基波分量的网侧表观功率
S_{LN}, S_{ILN}	S_L 和 S_{IL} 的额定值
S_{com}	换相臂交流端子处算得的电网短路功率
s	串联换相组数
T	绝对温度
TIF	电话干扰因数
U_{ARM}	臂的反向工作峰值电压
U_{AFM}	臂的正向工作电压
U_d	直流电压
U_{d0}	约定空载直流电压
U_{d0a}	相控条件下的约定空载直流电压
U_{d0u}	实际空载直流电压
U_{dN}	额定直流电压
$U_{d0s} (U_{d0u})$	理想空载直流电压 ^①
U_{d0a}	相控理想空载直流电压
U_{ds}	电抗器引起的直流电压调整值(V)
U_{dL}	交流电网引起的直流电压调整值(V)
U_{dP}	固有直流电压调整值(V)
$U_{d0N}, U_{dLN}, U_{dPN}$	额定电流 I_{dN} 下的 U_{d0s} 、 U_{dL} 和 U_{dP} 值(V)
U_{dr}	电阻性直流电压调整值(V)
U_{drb}	电抗器引起的电阻性直流电压调整值(V)
U_{drt}	变流器引起的电阻性直流电压调整值(V)
$U_{drN}, U_{drbN}, U_{drtN}$	额定电流 I_{dN} 下的 U_{dr} 、 U_{drb} 、 U_{drt} 值
U_{dx}	感性直流电压调整值(V)
U_{dsb}	电抗器引起的直流电压调整值(V)
U_{dxs}	变压器引起的直流电压调整值(V)