

电力电子实用电路

高玉奎
主编

100
例



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



高玉奎 主编

电力电子实用电路

100
例



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书内容包括电力电子器件、基本电力电子电路、驱动电路、开关电路、稳压电路、时间控制电路、调压电路、充电器电路、调速电路、保护电路和实用电器电路等 11 部分。其中前三部分为电力电子技术基础知识,其余部分为实用电路,共精选了 146 个电路。附录中还列出了 KC 系列晶闸管集成触发器、集成触发组件和常用电力电子器件技术数据等,以供技术人员在实际应用中查询使用。

本书可供广大维修电工、电气技师和工程技术人员使用,也可供大、中专院校以及技工学校相关专业师生作参考书使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力电子实用电路 100 例/高玉奎主编. —北京:中国电力出版社, 2008

ISBN 978-7-5083-6338-7

I. 电… II. 高… III. 电力系统-电子电路 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 192409 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 3 月第一版 2008 年 3 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 6.875 印张 178 千字

印数 0001—4000 册 定价 15.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前言

电子技术包括信息电子技术和电力电子技术两大分支。前者为通常所说的模拟电子技术和数字电子技术，而后者是应用于电力领域的电子技术。电力电子技术主要是利用电力电子器件对电能进行变换和控制的技术。自从1956年诞生了第一支普通型晶闸管，半个多世纪以来，电力电子技术得到了迅猛的发展，目前已经广泛地应用于工业及生活的各个领域。

科学技术的发展，对于提高生产力、推动人类文明前进和改善人民生活，具有极其重要的意义。考虑到社会需求的广泛性和实用性，选编了本书。编写时，力求简单明确、通俗易懂。

本书内容包括电力电子器件、基本电力电子电路、驱动电路、开关电路、稳压电路、时间控制电路、调压电路、充电器电路、调速电路、保护电路和家用电器电路11部分。其中前三部分为电力电子技术基础知识，其余部分为实用电路，共精选了146个电路。附录中还列出了KC系列晶闸管集成触发器、集成触发组件和常用电力电子器件技术数据等，以供技术人员在实际应用中查阅使用。

本书可供广大维修电工、电气技师和工程技术人员使用，也可供大、中专院校以及技工学校相关专业的师生作参考书使用。

本书由高玉奎主编。高玉奎编写了第1、2、3、11章和附录，李韶远编写了第5、6章，陈志亮编写了第7章，周媛编写了第9章，孙玉林和李宏伟共同编写了第4、8、10章。在此，编者对关心本书出版、热心提供资料的单位及个人，以及参考文献的作者表示衷心的感谢。

科学技术在前进，电力电子技术在不断地发展，新型的电力电子器件和电路层出不穷，限于编者的学识和经验，本书缺点和不足之处在所难免，还望读者不吝赐教。

编者

2008年1月

致读者

亲爱的读者、作者朋友们：

您好！自我社电工电子图书中心成立以来，一路得到广大读者、作者朋友们的关心和支持，作为出版工作者，我们深刻的意识到读者与作者在出版工作中的重要作用，因此，我们一贯的工作宗旨就是服务读者、帮助作者。如何把作者的创作与读者的需求联系起来，急读者所需，忧作者所想，更好的帮助作者写出更多、更好、真正反映读者需求的图书，是我们一直在思考的问题与难题。

为此，我们特写此信，致广大读者与作者，以期加强沟通，集思广益，完善我们的出版工作，更好的为读者、作者服务。

致读者：如果您阅读我社的图书之后，对图书的内容或者结构等方面有任何感想或建议，请与我们联系。如果您觉得电工、电子、自动化、机械、汽车等专业的图书，有哪些方面的内容是您所需要的，而图书市场为空白，需要出版，请与我们联系。如果您对我社其他方面的发展有何建议，也欢迎与我们联系。我们将虚心接受您的意见或者建议，并及时地、有针对性地调整我们的图书内容或者出版思路。

致作者：如果您是一名成熟的作者，请与我们联系，我们需要您的支持，互通有无，优化选题，争取通过共同的努力，出版更多深受读者欢迎的图书；如果您没有写作经历，但有写作的想法或者宝贵的工作经验，不管成熟与否，也竭诚欢迎您与我们联系，以便共同完善写作思路，把您的宝贵经验通过出版与更多的读者分享。

您可以通过以下任何一种联系方式与我们联系：

电话：010-63416214 编辑：马淑范

Email：xiaoma1809@163.com 或者 ma_shufan@cepp.com.cn

传真：010-63416665

通信地址：北京宣武区白广路二条一号综合楼912房间 中国电力出版社电工电子图书中心 邮编：100761

中国电力出版社电工电子图书中心



目 录

前言

第1章 电力电子器件	1
1-1 不可控器件	1
1-2 半控型器件	1
1. 普通型晶闸管	1
2. 双向晶闸管	2
3. 快速晶闸管	2
4. 逆导晶闸管	2
5. 光控晶闸管	2
1-3 全控型器件	2
1. 可关断晶闸管 (GTO)	2
2. 大功率晶体管 (GTR)	3
3. 电力场效应晶体管 (P-MOSFET)	3
4. 绝缘栅双极晶体管 (IGBT)	3
1-4 其他新型电力电子器件	3
1. MOS 控制晶闸管 (MCT)	4
2. 静电感应晶体管 (SIT)	4
3. 静电感应晶闸管 (SITH)	4
4. 集成门极换流晶闸管 (IGCT)	4
5. 功率模块 (PM) 与功率集成电路 (PIC)	4
第2章 基本电力电子电路	6
2-1 可控整流电路	6
2-2 逆变电路	8
1. 单相电压源型逆变电路	9
2. 三相电压源型逆变电路	10
3. 单相电流源型逆变电路	10

4. 三相电流源型逆变电路	12
2-3 直流斩波电路	14
1. 由半控型器件构成的斩波器电路	14
2. 由全控型器件构成的斩波电路	20
2-4 交流调压电路	23
1. 单相交流调压电路	24
2. 三相交流调压电路	27
2-5 变频电路	29
1. 交—交变频器	29
2. 交—直—交变频器	34
3. 实例: 晶闸管中频电源	37
第 3 章 驱动电路	48
3-1 单结晶体管触发电路	49
3-2 正弦波同步触发电路	51
3-3 锯齿波同步触发电路	53
3-4 GTO 门极驱动电路	56
3-5 GTR 基极驱动电路	58
1. 恒流驱动电路	58
2. 比例驱动电路	59
3-6 电力 MOSFET 栅极驱动电路	61
1. 直接驱动电路	61
2. 隔离驱动电路	62
3-7 IGBT 门极驱动电路	63
第 4 章 开关电路	65
4-1 零点开关电路	65
4-2 光控继电器电路	65
4-3 常开型接近开关电路	66
4-4 无触点定时开关电路	67
4-5 采用光耦合器的交流开关电路	68
4-6 固态继电器电路	69

4-7	路灯自动控制开关电路	70
4-8	KJW-1 型“或”门交流开关电路	71
4-9	双向晶闸管交流开关电路	72
4-10	全波连续式晶闸管过零触发调功器电路	73
4-11	8031 单片机控制的晶闸管过零触发调功器电路	75
第 5 章	稳压电路	79
5-1	移动设备用 8A 稳压源电路	79
5-2	高稳定性稳压电源电路	80
5-3	15V、1A 稳压电源电路	80
5-4	简易可变双路直流电源电路	81
5-5	高稳定度交流稳压电路	82
5-6	基本稳压电路	83
5-7	电视机的晶闸管稳压电源电路	84
5-8	晶闸管作调整管的稳压电路	85
5-9	晶闸管自激恒压电路	87
5-10	晶闸管作过载和短路保护的可调稳压电源电路	88
第 6 章	时间控制电路	90
6-1	简易照明延时开关电路	90
6-2	可调延时电路	90
6-3	程控单结晶体管控制的延时电路	91
6-4	功率可调单稳态定时电路	92
6-5	高效时间继电器电路	93
6-6	通电延时定时器电路	94
6-7	顺序控制定时电路	95
6-8	程控单结晶体管组成的定时电路	96
6-9	声控延时电路	97
6-10	照明灯自动时控电路	98
第 7 章	调压电路	101
7-1	简易调光电路	101
7-2	实用调光电路	102

7-3	日光灯调光电路	102
7-4	可调速吸尘器电路	103
7-5	投影灯调光电路	104
7-6	声控、调光两用彩灯控制电路	105
7-7	简易恒温控制电路	106
7-8	双向晶闸管交流调压电路	108
7-9	采用零压开关控制的调温电路	109
7-10	晶闸管温度调节电路	110
7-11	舞蹈音乐彩灯电路	112
7-12	三相交流调压电路	113
第 8 章	充电器电路	115
8-1	简易充电器电路	115
8-2	无极性充电器电路	116
8-3	安全充电器电路	117
8-4	半自动充电器电路	117
8-5	自动稳流充电器电路	119
8-6	KGCA-2 型自动充电机电路	120
8-7	简易快速充电器电路	121
8-8	恒电流、恒电压充电机电路	122
第 9 章	调速电路	123
9-1	简易直流电动机调速电路	123
9-2	工具或器械用组合式速度控制器	124
9-3	直流伺服电动机调速电路	125
9-4	小容量直流无级调速电路	127
9-5	滑差电机调速电路	129
9-6	晶闸管调速在 M1025 无心磨床上的应用	132
9-7	新颖的小功率直流电动机调速系统	134
9-8	2t 电动平板车调速装置	136
9-9	KDS3 系列电动铲车调速装置	139
9-10	异步电动机电磁调速电路	142

9-11	转速负反馈单闭环直流调速系统	145
9-12	转速、电流双闭环直流调速系统	146
第 10 章	保护电路	149
10-1	一种简明的过电流保护电路	149
10-2	串联型稳压电源的过电流保护电路	149
10-3	稳压电源的保护电路	150
10-4	交流电源的保护电路	151
10-5	过电流值可调的过电流保护电路	153
10-6	单相交流调压电路的过载保护电路	154
10-7	自动限压保护电路	155
10-8	电动机过热保护电路	156
10-9	触电保安器电路	157
10-10	电视机电源过电压自动断电保护电路	158
10-11	电冰箱的失电压、过电压、过电流自动 保护电路	159
第 11 章	家用电器电路	162
11-1	晶闸管点火电路	162
11-2	应急照明灯电路	163
11-3	电扇无级调速电路	163
11-4	榨汁机电动机的转速控制电路	164
11-5	电扇模拟自然风电路	165
11-6	灶具自动点火器电路	166
11-7	电饭锅控制电路	167
11-8	电子灭蝇器电路	167
11-9	音乐彩灯门铃电路	169
11-10	数字电子锁电路	170
11-11	无干扰电风扇电路	171
11-12	无线遥控调光开关电路	172
11-13	吊扇定时调速电路	174
11-14	缝纫机电动机转速控制电路	175
11-15	洗衣机电动机控制电路	176

附录一	KC 系列晶闸管集成触发器	178
附录二	集成触发组件.....	195
附录三	常用电力电子器件技术数据.....	200
参考文献		210

第1章

电力电子器件

在电力系统或电力设备中，主电路承担着电能的变换和控制任务，电力电子器件是直接用于主电路中，实现电能变换或控制的电子器件。目前电力电子器件一般专指电力半导体器件。

按照电力电子器件被控制信号所控制的程度，可将它分为不可控器件、半控型器件和全控型器件，全控型器件又叫自关断器件。根据器件内部电子和空穴两种载流子参与导电的情况，电力电子器件又可分为单极型器件（一种载流子参与导电）、双极型器件（两种载流子参与导电）和混合型器件（由单极型和双极型两种器件混合而成的器件）。如果按照控制信号的不同，还可将电力电子器件（电力二极管除外）分为电流驱动型和电压驱动型，后者又叫场控器件或场效应器件。本章按第一种分类法予以介绍。

1-1 不可控器件

不可控器件主要指电力二极管，不能通过控制信号来控制其导通和关断，常用的类型有普通二极管和快恢复二极管。在电力电子电路中，电力二极管应用广泛，可作为整流、续流、隔离、钳位和保护等元件。

1-2 半控型器件

通过控制信号可以控制其导通，而不能控制其关断的电力电子器件叫做半控型器件。

1. 普通型晶闸管

普通型晶闸管又叫可控硅，常用 SCR（Silicon Controlled

Rectifier) 表示, 国际通用名称为 Thyristor, 简写成 T。它是一种四层半导体 (PNPN) 具有三个电极 (阳极 A、阴极 K 和门极 G) 的元件, 目前, 在电力电子电路中, 主要用于可控整流。

2. 双向晶闸管

双向晶闸管无论从结构上, 还是从特性上都可以看作是一对反并联的普通型晶闸管, 主要用于交流调压和交流开关, 可使电路简化, 减少装置的体积, 减轻质量。

3. 快速晶闸管

其结构和普通型晶闸管相同, 所不同的是具有开关时间短、允许的电流上升率高、开关损耗小等特点, 主要用于逆变器和斩波器以及频率较高的变流电路中, 如中频电源。

4. 逆导晶闸管

在逆变电路和斩波电路中, 常将晶闸管和整流二极管反并联使用, 若将两者制作在同一硅片上, 即成为逆导晶闸管。与普通型晶闸管相比, 逆导晶闸管有正向压降小、开关速度快、高温特性好等优点。应用它可使电路简化, 缩小装置体积, 减轻质量。

5. 光控晶闸管

光控晶闸管是利用一定波长的光照信号控制的开关器件, 其结构也是由四层半导体 (PNPN) 构成。小功率光控晶闸管只有两个电极 (阳极 A 和阴极 K), 而大功率光控晶闸管除阳极和阴极之外, 还带有光缆, 光缆上装有发光二极管或半导体激光器作为触发光源。

1-3 全控型器件

全控型器件又叫自关断器件, 它是通过控制信号既能控制其导通, 也能控制其关断的电力电子器件。

1. 可关断晶闸管 (GTO)

可关断晶闸管 (Gate Turn Off Thyristor) 简称 GTO, 与普通晶闸管 (SCR) 一样, 也是四层三端半导体元件, 当门极施加

正信号时则导通,施加负信号时则关断,主要用于斩波器和逆变器中。

2. 大功率晶体管 (GTR)

大功率晶体管是一种耐高压、大电流的双极结型晶体管 (Bipolar Junction Transistor),也叫 BJT, GTR 和 BJT 这两个名称是等效的。GTR 有关断时间短、饱和压降低和安全工作区宽等优点,被广泛用于交、直流传动,不停电电源,中频电源等变流装置中。

3. 电力场效应晶体管 (P-MOSFET)

电力场效应晶体管有两种类型:结型和绝缘栅型。但通常指后者中的 MOS 型 (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor),简称电力 MOSFET (Power MOSFET)。而结型电力场效应管则称做静电感应晶体管 (Static Induction Transistor),简称 SIT。

电力 MOSFET 是单极型电力电子器件,具有驱动功率小、工作频率高、不存在二次击穿问题和安全工作区 (SOA) 大等显著特点。近年来电力 MOSFET 发展很快,已成为电力电子器件后起之秀。

4. 绝缘栅双极晶体管 (IGBT)

绝缘栅双极晶体管 (Insulated-gate Bipolar Transistor) 是将 GTR 和 MOSFET 相互取长补短及适当结合的复合器件,通常称为 Bi-MOS 器件,简称为 IGBT。它将 GTR 和 MOSFET 的优点集于一身,既有 GTR 的载流能力强、耐压高的特点,又有电力 MOSFET 的输入阻抗高、开关速度快、热稳定性好和驱动电路简单等特点。因此绝缘栅双极晶体管发展很快,备受青睐,已成为中小功率电力电子设备的主导器件。

1-4 其他新型电力电子器件

电力电子技术的核心是电力电子器件,近十几年来,随着微

电子技术、计算机技术的发展,不断涌现出新型的电力电子器件,从而使电力电子技术进入了一个新的里程。有专家预言,大功率集成电路不断地完善,将使电子学步入第二次革命的前沿。现将主要的新型电力电子器件简介如下:

1. MOS 控制晶闸管 (MCT)

MCT(MOS Controlled Thyristor)是将 MOSFET 与晶闸管组合而成的复合器件。它具有 MOSFET 的高输入阻抗、低驱动功率、开关速度快和晶闸管的高电压、大电流、低导通压降的优点,也是 Bi-MOS 器件的一种。一个 MCT 器件由数以万计的 MCT 元件组成,每个元都是由一个 PNP 晶闸管、一个控制该晶闸管导通的 MOSFET 和一个控制该晶闸管关断的 MOSFET 组成。

2. 静电感应晶体管 (SIT)

SIT (Static Induction Transistor) 是一种结型场效应晶体管,它是一种多子导电的器件,其工作频率和电力 MOSFET 相当,而功率容量比电力 MOSFET 要大,因而适合于高频、大功率场合,如雷达通信设备和高频感应加热等。

3. 静电感应晶闸管 (SITH)

SITH (Static Induction Thyristor) 是在 SIT 的漏极层上附加一层与漏极层导电类型不同的发射极层而得到的,其工作原理与 SIT 类似,因而又叫场控晶闸管 (FCT)。由于比 SIT 多了一个具有少子注入功能的 PN 结,因此 SITH 是两种载流子导电的双极型器件,具有电导调制效应,通态压降低、通流能力强,很多特性与 GTO 相似,但开关速度比 GTO 高。

4. 集成门极换流晶闸管 (IGCT)

IGCT (Integrated gate-Commutated Thyristor) 有时也叫 GCT,即门极换流晶闸管。它将 IGBT 与 GTO 的优点结合起来,容量和 GTO 相当,开关速度比 GTO 快一个数量级,且省去应用 GTO 时复杂而庞大的缓冲电路,但所需驱动功率仍很大。

5. 功率模块 (PM) 与功率集成电路 (PIC)

将多个相同的电力电子器件或多个相互配合使用不同的电力

电子器件装在一个模块中,可减小装置体积、降低成本、提高可靠性,更突出的是,当电路工作频率较高时,可大大减小线路电感量,可简化对保护电路和缓冲电路的要求。这种模块叫做功率模块(Power Module—PM),或按照主要器件命名,如 IGBT 模块。

将电力电子器件与逻辑、保护、控制、检测、传感等功能单元制作在同一芯片上,则叫做功率集成电路(Power Integrated Circuit—PIC)。与之类似的还有许多各自有所侧重的名称,如高压集成电路(HVIC)、智能功率集成电路(SPIC)等,而智能功率模块(IPM)则专指 IGBT 及其辅助器件与其保护电路、驱动电路的单片集成,也称作智能 IGBT。

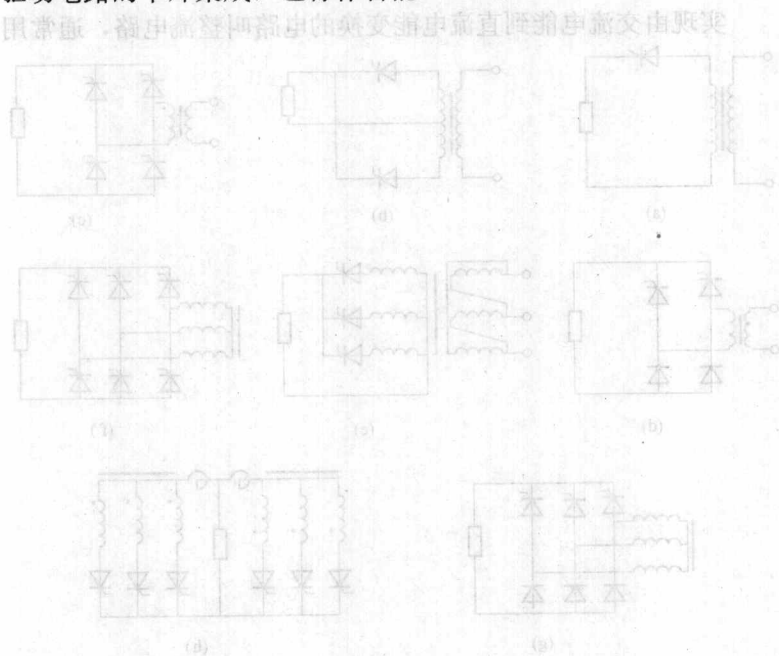


图 1-2 各种电力电子电路拓扑

图 1-2 (a) 单相半波整流 (b) 单相全波整流 (c) 单相全波整流 (d) 单相全波整流 (e) 单相全波整流 (f) 单相全波整流 (g) 单相全波整流 (h) 单相全波整流 (i) 单相全波整流

基本电力电子电路

基本电力电子电路指通常所说的变流电路,它的基本功能是进行交、直流电能的变换,主要电路包括整流电路、逆变电路、直流变换电路(又叫斩波电路)和交流变换电路(交流调压电路和变频电路)。

2-1 可控整流电路

实现由交流电能到直流电能变换的电路叫整流电路,通常用

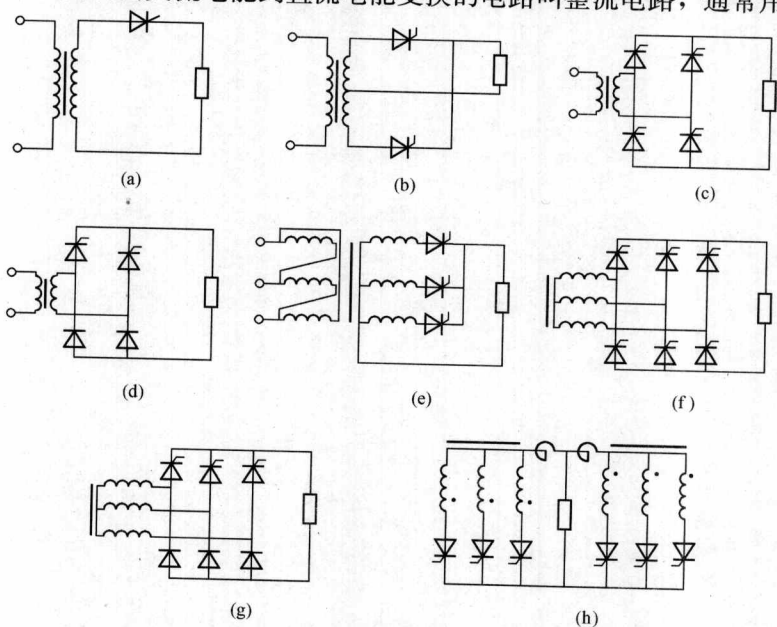


图 2-1 可控整流电路的主电路

(a) 单相半波; (b) 单相全波; (c) 单相全控桥式; (d) 单相半控桥式; (e) 三相半波; (f) 三相全控桥式; (g) 三相半控桥式; (h) 带平衡电抗器的双反星形