

实用电力电子技术

王鸿麟 张为佐 编译

SHIYONG
DIANLI
DIANZIJISHU

人民邮电出版社

实用电力电子技术

王鸿麟 张为佐 编译

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书较详细地介绍了电力电子技术的基本概念和实际应用,包括功率电子器件的原理及有关特性、控制和变换的基本方法以及晶闸管、功率集成组件和功率晶体管的具体应用。

本书深入浅出,简明通俗,应用面涉及较广,适合从事电力电子技术的工程师和技术人员阅读。也可供其他有关专业的科技人员及广大电子技术爱好者作为参考读物。

DL51 B4

实用电力电子技术

王鸿麟 张为佐 编译

责任编辑: 王晓明

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本: 787×1092 1/32

1986年8月第一版

印张: 7 24/32 页数: 124

1986年8月河北第一次印刷

字数: 173 千字

印数: 1—6,000册

统一书号: 15045·总3218—有5467

定价: 1.55元

编译者的话

电力电子学是介于电力、电子和自动控制三门学科之间的边缘学科。它主要研究如何高效率地对电功率进行控制和变换。因此，国内外许多专家都把电力电子技术称为节能技术。纵观科学技术发展史可以看出，取得最大收获的领域往往是各种成熟学科之间的边缘学科。由于电子学和自动控制理论都是当代最活跃的学科，因此电力电子技术能够迅速发展，目前它已成为现代科学技术中的一门通用技术，广泛地应用于机械、电力、电子、邮电、冶金、煤炭、石油、化工、铁道、航空、航海、航天、轻纺、国防、农业等国民经济的各个部门，并且已取得显著的经济效益。受到人们越来越大的重视。

为了尽快普及电力电子技术，我们根据“*Solid-State Power Electronics*”（固体电力电子学，1979年版，作者Irving M. Gottlieb）一书及我国实际应用的情况，编译了这本“实用电力电子技术”。原著分为五章，在编译时，选用了其中的第一、三、四、五章的大部分内容。本书与原著在内容顺序的编排上略有不同，这主要是考虑到我国的实际情况以及叙述上的方便。另外编译者还在第五章中增编了家用电器、遥控开关及交流稳压等内容。

由于电力电子技术的应用范围非常广泛，不可能一一列举，因此，本书主要介绍常用功率半导体器件的实用特性和小功率电力电子技术的应用实例，本书可供广大电子爱好者以及各类工程技术人员阅读。

本书承中国电工学会电力电子学会理事长王元铭同志审

校，“电力电子技术”杂志主编李佑持同志也提供了许多有益的建议，机械工业部西安整流器研究所白继彬同志也翻译了部分资料，在此一并表示感谢。由于编译者水平有限，书中缺点和错误在所难免，希广大读者批评指正。

编译者

1985.6

目 录

第一章 概述	(1)
1.1 什么是电力电子学	(1)
1.2 电力电子学的主要特征	(3)
1.3 电力电子技术的应用范围	(4)
1.4 常用功率半导体器件简介	(4)
1.4.1 常用触发器件	(6)
1.4.2 双向晶闸管	(7)
1.4.3 单极型晶体管	(9)
第二章 功率控制与变换的基本方法	(12)
2.1 直流功率控制法	(12)
2.1.1 通断开关	(12)
2.1.2 耗能控制法	(14)
2.1.3 开关控制法	(14)
2.2 逆变控制法	(17)
2.3 交流功率相位控制法	(19)
2.4 脉冲调制交流功率控制法	(21)
2.5 正弦波群交流功率控制法	(22)
2.6 交流功率放大器	(23)
2.6.1 A类放大器	(27)
2.6.2 B类放大器	(32)
2.6.3 C类放大器	(38)
2.6.4 D类放大器	(39)
2.6.5 F类放大器	(42)

2.6.6	G类放大器	(46)
2.6.7	H类放大器	(49)
2.7	交流变频器	(52)
2.7.1	交流—直流—交流变频器	(52)
2.7.2	交流—交流变频器	(53)
第三章	常用功率半导体器件的实用特性	(55)
3.1	整流二极管的特性	(55)
3.1.1	反向恢复特性	(55)
3.1.2	二极管储存电荷的其它不利影响	(59)
3.1.3	电噪声	(60)
3.1.4	无储存电荷的二极管	(63)
3.2	开关晶体管的特性	(65)
3.2.1	功率晶体管的驱动	(66)
3.2.2	晶体管的安全工作区(SOA)	(68)
3.2.3	晶体管的击穿特性	(69)
3.2.4	温度减额	(71)
3.2.5	功率晶体管的热循环	(72)
3.3	晶闸管的特性	(73)
3.3.1	普通晶闸管和双向晶闸管的实用特性	(73)
3.3.2	常用触发器件	(77)
3.3.3	普通晶闸管(SCR)常用触发电路	(81)
3.3.4	双向晶闸管的触发	(91)
3.3.5	晶闸管使用注意事项	(97)
第四章	功率集成电路和晶体管应用	(103)
4.1	灯光控制电路	(103)
4.1.1	汽车前灯灯光控制电路	(103)
4.1.2	高效调光器	(105)

4.1.3	采用功率集成电路的闪光灯控制电路	··· (106)
4.2	蓄电池充电器	····· (108)
4.2.1	简单的蓄电池自控充电器	····· (108)
4.2.2	普通镉镍蓄电池快速充电器	····· (110)
4.2.3	具有电压检测电极的镉镍蓄电池快速充电器	····· (114)
4.3	稳定电源	····· (116)
4.3.1	集成化可调稳流电源	····· (116)
4.3.2	1A±15V稳压器	····· (118)
4.3.3	利用功率MOS场效应晶体管的200kHz 开关稳压器	····· (120)
4.4	逆变器	····· (122)
4.4.1	供汽车用的115V、60Hz逆变器	····· (122)
4.4.2	标准型60Hz逆变器	····· (124)
4.4.3	大功率逆变器	····· (129)
4.5	放大器	····· (131)
4.5.1	MOS场效应晶体管射频功率放大器	····· (131)
4.5.2	25W甚高频发射机	····· (133)
4.5.3	供立体声系统用的200W音频放大器	····· (135)
4.5.4	工业用100W伺服放大器	····· (139)
4.5.5	两相感应电动机用的伺服放大器	····· (140)
4.5.6	采用功率MOS场效应晶体管的双声道立 体声放大器	····· (145)
4.5.7	采用混合电路功率组件的通用放大器	··· (145)
4.6	速度控制电路	····· (149)
4.6.1	永磁电动机速度控制电路	····· (149)
4.6.2	2马力感应电动机变频调速装置	····· (153)

4.7 其他应用电路	(162)
4.7.1 采用功率集成电路的对讲机	(162)
4.7.2 电子报警器	(163)
4.7.3 半导体断路器	(164)
4.7.4 电感放电点火系统	(166)
第五章 晶闸管应用	(170)
5.1 灯光控制电路	(170)
5.1.1 双向晶闸管相控电路	(170)
5.1.2 使灯光亮度保持恒定的控制电路	(173)
5.1.3 摄影用受控闪光灯控制电路	(176)
5.1.4 采用零电压开关和双向晶闸管的闪光灯 控制电路	(178)
5.1.5 顺序闪光器	(179)
5.1.6 闪光计数器	(182)
5.1.7 日光灯调光电路	(185)
5.1.8 高频荧光系统	(187)
5.1.9 音乐彩色光显示装置(声控光装置) ..	(191)
5.1.10 双组调光器	(195)
5.2 温度控制电路	(197)
5.2.1 双向晶闸管恒温控制电路	(197)
5.2.2 采用分立元件零电压开关的温度控制器	(199)
5.2.3 采用集成组件的零电压开关温度控制 电路	(203)
5.2.4 感应灶实验电路	(205)
5.3 速度控制电路	(207)
5.3.1 通用电动机半波控制电路	(207)

6.3.2	能够稳定电动机转速的半波相控电路 ...	(209)
5.3.3	电钻用的全波速度控制电路	(211)
5.3.4	串激电动机转速和转向控制电路	(213)
5.3.5	洗衣机、电风扇无极调速电路	(215)
5.4	静态开关电路	(217)
5.4.1	简单的晶闸管交流继电器	(217)
5.4.2	光控高压开关	(219)
5.4.3	电容起动半马力感应电动机的起动开关	(221)
5.4.4	双向晶闸管静态开关	(222)
5.4.5	利用双向晶闸管避免继电器接点跳火的 电路	(226)
5.4.6	双向晶闸管遥控开关	(228)
5.5	其他应用电路	(229)
5.5.1	电容放电点火系统	(229)
5.5.2	供固体注入式激光器用的脉冲发生器 ...	(231)
5.5.3	简单的晶闸管充电器	(233)
5.5.4	晶闸管交流稳压器	(235)

第一章 概 述

1.1 什么是电力电子学

半导体器件出现以前，电子器件主要是真空管和离子管。当时，电子学是一门研究真空或稀薄气体中电子运动及其应用的学科。1947年出现的第一个晶体管是电子技术发展史上的一个重大发明。从此以后，人们对固体中的电子运动给予了极大的重视，固体器件在电子学中有了越来越重要的位置。五十年代后期，晶体管向平面型工艺发展，为集成电路的出现准备了必要的条件。近年来，随着集成电路向大规模和超大规模迅猛发展，微电子学及信息电子学就成为电子学发展的主流。

晶体管诞生后的十年，晶体闸流管（当时称为硅可控整流器SCR，简称可控硅）也相继出现。晶闸管的出现使电子学开始进入强电领域。经过二十多年的发展，晶闸管的容量提高了一万倍，以晶闸管为主的功率半导体器件的品种增加到四、五十种，工作频率也有很大提高，这就使电子学可以在强电领域里发挥更大的作用。微电子学、控制理论和功率半导体器件的应用结合后，一门新的边缘学科——电力电子学终于在七十年代开始形成。

随着科学技术的发展，人们对电力电子学的认识也逐步深化。早期，Storm曾下过这样的定义：“应用固体功率器件进行功率变换及控制的领域属于固体电力电子学的范围。”因此，人们常常简单地认为：电力电子学就是应用功率半导体器

8710256

件实现变流的技术。这种理解没有反映出微电子学及现代控制理论对这门学科所起的关键作用。实际上，信息电子学已经象人体内的神经系统一样渗入到电力电子设备之中。如果认为电力电子学只是研究执行系统的学科，那么就将强电和弱电分割为两个范畴。实际上，电力电子学恰恰是联系弱电和强电的桥梁。

国际电工委员会(IEC)对电力电子学下过一个非常简单的定义，即“以电力技术为对象的电子学”。然而，power这个词译成中文后，意义就不明确了，因为它可以译为电力、功率或动力。这些含义并不完全相同。在国外，对power这个词的理解也有一定差别。本书作为一本实用电力电子技术的入门书，沿用了Gottlieb的提法，他认为3瓦损耗功率应是电力电子技术的起点，损耗功率的上限是所能达到的最大功率。由于篇幅所限，本书主要介绍小功率电力电子设备。

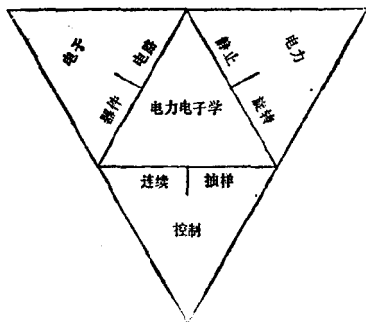


图 1-1 电力电子学的组成

综上所述，较为确切的定义应该是：电力电子学是一门介于电力、电子和控制三门学科之间的边缘学科，它可以形象地用图1-1来表示。这个定义是1973年Nawall在美国第一次电力电子学专家会议上提出的。由于电力电子学介于当代最活跃的电子

及自动控制这两门学科之间，所以电力电子技术能够迅速发展。

1.2 电力电子学的主要特征

从表面上看, 电力电子学与信息电子学的区别在于其作用的对象具有较大的功率。但更严格地说, 电力电子学与信息电子学的主要不同点在于对效率的要求不同。处理信息用的低电平电路的效率一般都不超过15%, 而电力电子电路的效率则通常不能低于85%, 这主要是因为电力电子装置损耗功率的经济价值较大, 也就是说, 是为了节约能源。当然, 要求效率高, 也是为了便于散热。

电力电子学的特征可用图1-2来说明。为了提高效率, 控制器件应尽可能工作于开关状态。这样, 器件导通时, 压降很

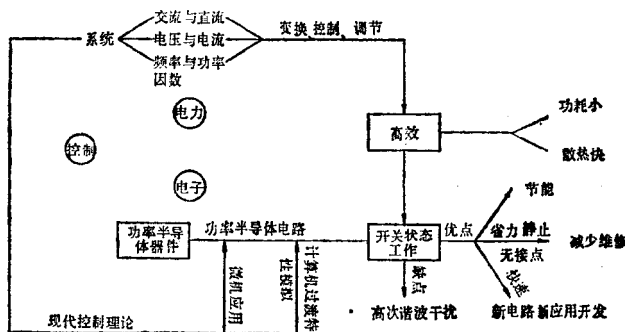


图 1-2 电力电子学的特征

低, 消耗的能量很少, 器件关断时, 漏电流很小, 因而几乎不损耗能量。晶闸管和开关晶体管就是这样一种近于理想的开关器件。此外, 在固体器件中, 散热片能够紧贴PN结热源, 这样有利于散热。

在应用快速开关时，还必须考虑过渡状态下的功耗。采用自关断器件或快速晶闸管可大大降低开关损耗。

正因为电力电子技术是一种研究高效变换和控制的技术，所以为节能服务是电力电子技术发展的必然结果。因而，有时电力电子技术也被称为节能技术。

图1-2中给出了电力电子技术的三大优点：节能、省力（由于采用无触点固体器件，所以维修工作量减小）、快速。这些优点也是电力电子学迅速发展的根本原因。

应当说明，器件工作于开关状态也带来了许多不利因素，例如，过渡特性的分析更加困难。但随着电子计算机的迅速发展，这个困难将逐渐被克服。器件工作于开关状态的另一缺点是：电路中将产生大量高次谐波。这些谐波对电网和电子设备都将产生严重的干扰。为了克服这个缺点，除了设法减少开关过程中产生的高次谐波外，还可以采取各种措施消除谐波。

1.3 电力电子技术的应用范围

电力电子技术的应用非常广泛，表1.1列出了国外部分应用实例。尽管项目已经很多，但实际上仅是很小的一部分。这表明电力电子技术已成为一门通用的现代技术。目前，在国内，电力电子技术已应用于机电、电力、水电、邮电、冶金、煤炭、石油、化工、核能、铁道、航海、航空、航天、轻纺、电子、国防、农业等国民经济的各个部门。

1.4 常用功率半导体器件简介

PN结二极管和PNP（或NPN）型晶体管是最常用的器件，

表 1.1

电力电子技术部分应用实例

广告、信号	变频器	电冰箱
空调	电子游戏机	稳压器
飞机	汽车库电子门锁	喷砂器
报警设备	气体仪器	缝纫机
放大器	研磨器	伺服系统
仪表	手工工具	螺旋管激励器
汽车	调温器	宇宙飞船
蓄电池充电器	点火器	扫描电路
搅拌机	感应加热	开关
鼓风机	工业过程控制	望远镜控制
锅炉	逆变器	电视电路
航标灯	车床	继电器代换
防盗报警器	照明控制	温度控制
化学处理	门锁继电器	闸流管代换
衣服烘干机	机床	计时器
通讯	磁铁	工具
整流器	磁带录音机	交通灯控制
升降设备	磁带录象机	火车
起重機	电动机控制	超声设备
调光器	电影放映机	不停电电源
显示器	活动照明灯	公共事业系统
电镀	霓虹灯	真空吸尘器
电子门锁	数码管激励器	火箭导弹
电车	恒温控制	通风机
电梯	投影机	洗衣机
场致发光控制板	电唱机	焊接设备
电磁铁	复印机	静电印刷
电子点火器	照像设备	零电压开关
静电吸尘器	交流电压调节器	
电风扇	电源	
闪光器	雷达	
地板磨光机	无线电发射机	
食物混合机	测距	

许多复杂的器件都是由这些器件组合或衍生的。比如，通常都把普通晶闸管(SCR)作为两个晶体管(TR)的组合，也把双向晶闸管(TRIAC)作为两个SCR的组合。因此只要熟悉晶体管的原理，就很容易理解晶闸管(SCR)和双向晶闸管(TRIAC)的原理。同样，本书中提及的许多触发器件，如单结晶体管(UJT)、互补单结晶体管(CUJT)、双向触发二极管(DIAC)、硅可控开关(SCS)、可控单结晶体管(PUT)、硅单向开关(SUS)、硅双向开关(SBS)等，实际上也都是晶体管(TR)、晶闸管(SCR)和稳压管(ZD)的组合，如图1-3所示。

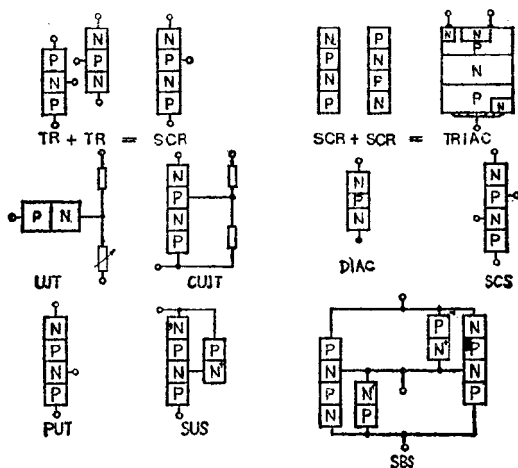


图 1-3 常用电力半导体器件的基本结构

1.4.1 常用触发器件

单结晶体管UJT实质上是一个PN结和两个电阻的组合。在一定的电压下，发射极通过PN结开始向基极注入电流，基

极的电阻因受电导率调制而大大减小，最后使器件出现负阻特性，利用这种器件的负阻特性可以制成弛张振荡器，该振荡器输出的脉冲信号即可触发晶闸管。

互补单结晶体管(*CUJT*)实质上是用一个SCR代替*UJT*中的PN结。由于PNPN结构可以进入导通状态，所以*CUJT*的压降要比*UJT*小。这种器件的主要优点是温度稳定性好。由于它的极性刚好与*UJT*相反，所以称为互补单结晶体管。

双向触发二极管(*DIAC*)实际上就是一个基极没有引出线的NPN对称晶体管，利用过压后，倍增因子M增大而形成负阻特性。

可控单结晶体管(*PUT*)实际上是一个N门极的SCR，采用平面工艺将阳极与阴极（包括门极）作在一个平面上，所以它是一种横向结构的器件。由于它具有PNPN结构，所以也具有负阻特性。

将*PUT*与稳压管ZD并联，就成为硅单向开关(*SUS*)。ZD决定了*SUS*的正向耐压，因此*SUS*实际上是低压的*PUT*。

两个*SUS*反向并联后，就组成硅双向开关(*SBS*)。它具有类似双向晶闸管的特性，只是耐压很低，一般只有6~10伏左右。

硅可控开关(*SCS*)是一个四端SCR（或*PUT*），它可以代替NPN晶体管、PNP晶体管 P门极的SCR或N门极的SCR。

1.4.2 双向晶闸管

双向晶闸管的基本结构、等效电路和伏安特性如图1-4所示。双向晶闸管实质上就是一对反并联的SCR。它有两个主电极 T_1 和 T_2 ，一个门极G。这个门极具有短路发射极结构，在主电极的正反两个方向均可用交流或直流电流触发导通。