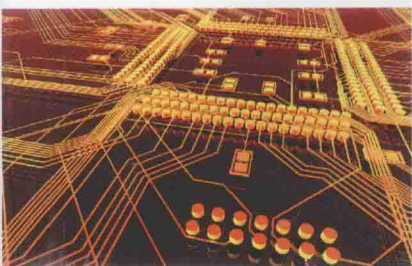


高等院校教材习题辅导与考研学习用书



DIANLI DIANZI JISHU XITIJI
FU YANJIUSHENG RUXUE KAOSHI SHITI TIJIE

电力电子技术习题集

——附研究生入学考试试题题解

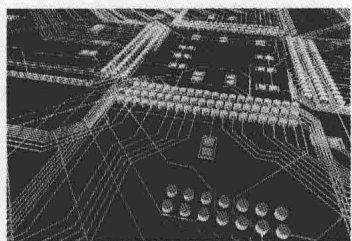
► 主编 李鹏飞

教材习题解答 疑难题型剖析
荟萃考研试卷 指导考研重点



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

高等院校教材习题辅导与考研学习用书



DIANLI DIANZI JISHU XITIJI
FU YANJIUSHENG RUXUE KAOSHI SHITI TIJIE

电力电子技术习题集

——附研究生入学考试试题题解

► 主 编 李鹏飞
副主编 高国芳 王 琴 郭利霞

教材习题解答 疑难题型剖析
荟萃考研试卷 指导考研重点

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书专为电力电子技术学习、习题练习、考研指导编写而成。全书共分为两个部分:第一部分包括电力电子器件、交流-直流变换电路、直流-交流变换电路、直流-直流变换电路、交流-交流变换电路、PWM 控制技术、软开关技术等 7 章,每章均有内容提要(学习重点、难点总结)、典型题解和习题三大板块。第二部分包括全国部分高校历届电力电子技术考研试题 24 套与部分题解,以及大学《电力电子技术》考研复习大纲。

全书共收集了习题解答 400 多套,其中包括习题 100 多套。为了便于读者自学检查及参考,在书末附有各章大部分习题答案。

本书适用于高等院校工业自动化、石油、冶金自动控制、应用电子技术和风、光新能源技术、电力牵引和传动控制等电类专业,也可供从事电力传动与变流技术的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术习题集:附研究生入学考试试题题解/

李鹏飞主编. —重庆:重庆大学出版社,2015. 10

电气工程及其自动化专业本科系列教材

ISBN 978-7-5624-9285-6

I. ①电… II. ①李… III. ①电力电子技术—高等学校—习题集 IV. ①TM1-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 156199 号

电力电子技术习题集

——附研究生入学考试试题题解

主 编 李鹏飞

副主编 高国芳 王 琴 郭利霞

策划编辑:鲁 黎

责任编辑:陈 力 姜 凤 版式设计:鲁 黎

责任校对:关德强 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:25.25 字数:504千

2015年10月第1版 2015年10月第1次印刷

印数:1—2 000

ISBN 978-7-5624-9285-6 定价:42.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

21 世纪的电力电子技术,是一门新兴的应用于电力领域的最具活力的电子技术,目前已成为现代电气工程、自动化、新能源专业十分重要的一门专业基础课程,在培养该类专业人才中占有突出的地位。利用电力电子器件实现工业规模的电能变换和非电能与电能之间的转换,使电力电子不断涌现出许多新的控制技术,应用领域也不断扩大。如今已广泛应用于现代工业、航空航天、交通运输、电能输送、新能源、计算机和通信等领域。

学习电力电子技术课程,要求学生以电路为主线,注重分析研究运用各类器件组成的各种电力电子变流电路,掌握电路的组成和工作原理,进行主电路的参数计算和元件选择,学会电力电子电路的波形分析方法,注重习题练习和实验操作。《电力电子技术习题解答与考研题解》是配合《电力电子技术》课程学习而编写的,主要是帮助电类专业和相关专业的本科生、研究生、专业技术人员和自学人士学习电力电子技术知识,对学习中出现的常见错误和大量疑难问题,本书提供了分析和解题的方法,并给出了习题的答案,以帮助学生掌握分析问题、解决问题的正确方法。

本书由电力电子技术习题解答和大学考研试卷两部分组成,第一部分包括:电力电子器件、交流-直流变换电路、直流-交流变换电路、直流-直流变换电路、交流-交流变换电路、PWM 控制技术、软开关技术等 7 章,每章含有:内容提要、典型题解、习题三大板块。第二部分包括全国部分高校历届电力电子技术大学考研与部分题解,以及大学《电力电子技术》考研复习大纲。

本书可作为大学本科、高等职业技术学院、成人学校相关专业学生学习电力电子技术的参考书,也可作为教师教学选用的参考书籍,特别适合报考硕士研究生的学生作为参考用书,是一本学好电力电子技术非常实用的参考资料。

本书由李鹏飞任主编,高国芳、王琴、郭利霞担任副主编。

其中,第一部分第2、3、4、5章由重庆科技学院李鹏飞编写,第1章由重庆科技学院高国芳编写,第6章由重庆科技学院郭利霞编写、第7章由重庆能源职业学院王琴编写;第二部分考研试题由李鹏飞、高国芳老师整理完成,全书由李鹏飞统稿。

重庆科技学院自动化专业陈冬霞、覃绍兴、施红龙等同学对全书的图文和校对进行了大量的工作,在此表示衷心的感谢。本书编写中引用了国内部分高校电力电子技术习题和历届考研试卷,在此表示深深的谢意。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2015年4月

目 录

第一部分 电力电子技术习题

第 1 章 电力电子器件	2
1.1 内容提要、学习重点、难点总结	2
1.2 典型题解	14
1.3 习 题	42
第 2 章 交流-直流变换电路	44
2.1 内容提要、学习重点、难点总结	44
2.2 典型题解	62
2.3 习 题	147
第 3 章 直流-交流变换电路	150
3.1 内容提要、学习重点、难点总结	150
3.2 典型题解	157
3.3 习 题	205
第 4 章 直流-直流变换电路	206
4.1 内容提要、学习重点、难点总结	206
4.2 典型题解	210
4.3 习 题	231

第5章 交流-交流变换电路	233
5.1 内容提要、学习重点、难点总结	233
5.2 典型题解	235
5.3 习 题	256
第6章 PWM 控制技术	258
6.1 内容提要、学习重点、难点总结	258
6.2 典型题解	264
6.3 习 题	275
第7章 软开关技术	276
7.1 内容提要、学习重点、难点总结	276
7.2 典型题解	281
7.3 习 题	286

第二部分 电力电子技术考研试题

第1章 《考研试卷题解》简介	289
1.1 主要内容	289
1.2 主要特色	290
1.3 考研说明	290
第2章 《电力电子技术》考研大纲	291
2.1 总体要求	291
2.2 主要内容	291
2.3 复习参考书	292
2.4 复习要点	292
2.5 题型及分值比例(仅参考)	293
第3章 部分高校考研试题	294
3.1 南京理工大学 2007 年硕士学位研究生入学考试 试题	294

3.2	武汉理工大学 2007 年研究生入学考试试题	297
3.3	湖北工业大学 2007 年招收硕士学位研究生入学考试试题	299
3.4	电子科技大学 2007 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	301
3.5	西北工业大学 2007 年硕士研究生入学考试试题	303
3.6	西安理工大学 2007 年硕士学位研究生入学考试试题	305
3.7	电子科技大学 2008 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	307
3.8	南京理工大学 2008 年硕士学位研究生入学考试试题	309
3.9	西安理工大学 2008 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	311
3.10	西安理工大学 2009 年硕士学位研究生入学考试试题	313
3.11	湖北工业大学 2009 年招收硕士学位研究生入学考试试题	315
3.12	电子科技大学 2009 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	316
3.13	南京理工大学 2009 年硕士学位研究生入学考试试题	318
3.14	电子科技大学 2010 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	319
3.15	电子科技大学 2011 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	322
3.16	西安理工大学 2011 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	326

3.17	江苏科技大学 2011 年硕士研究生入学考试初试 试题(A 卷)	327
3.18	江苏科技大学 2012 年硕士研究生入学考试初试 试题(A 卷)	328
3.19	武汉纺织大学 2013 年招收硕士学位研究生入学 考试试题	330
3.20	广东工业大学 2013 年攻读硕士学位研究生入学 考试试题	333
3.21	武汉纺织大学 2014 年招收硕士学位研究生入学 考试试题	337
3.22	广东工业大学 2014 年攻读硕士学位研究生入学 考试试题	340
3.23	江苏科技大学 2014 年硕士研究生入学考试初试 试题	343
3.24	电子科技大学 2014 年攻读硕士学位研究生入学 考试试题	345
附 录		349
附录 1 部分习题题解		349
附录 2 部分高校考研试题题解		371
附录 3		388
参考文献		394

第一部分 电力电子技术习题

第 **1** 章

电力电子器件

1.1 内容提要、学习重点、难点总结

1. 电力电子技术的定义和作用

电力电子技术是研究利用电力电子器件实现电能变换和控制的电路,内容涉及电力电子器件、功率变换技术和控制理论,作用是把粗电变成负载需要的精电。

2. 电力电子系统的基本结构

电力电子系统包括功率变换主电路和控制电路,功率变换主电路是属于电路变换的强电电路,控制电路是弱电电路,两者在控制理论的支持下实现接口,从而获得期望性能指标的输出电能。

3. 电力电子器件的分类

(1)从门极驱动特性可分为:电压型和电流型。

(2)从载流特性可分为:单极型、双极型和复合型。

(3)从门极控制特性可分为:不可控、半控及全控型。

4. 电力电子器件与主电路的关系

(1)主电路:指能够直接承担电能变换或控制任务的电路。

(2)电力电子器件:指应用于主电路中,能够实现电能变换或控制的电子器件。

5. 电力电子器件一般都工作于开关状态,以减小本身损耗。

6. 电力电子系统基本组成与工作原理

(1)一般由主电路、控制电路、检测电路、驱动电路、保护电路等组成,如图 1.1 所示。

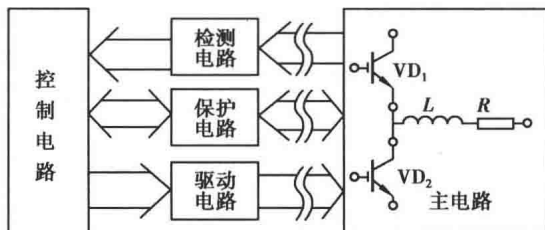


图 1.1 电力电子器件在实际运用中的系统组成

(2)检测主电路中的信号并送入控制电路,根据这些信号并按照系统工作要求形成电力电子器件的工作信号。

(3)控制信号通过驱动电路去控制主电路中电力电子器件的导通或关断。

(4)同时,在主电路和控制电路中附加一些保护电路,以保证系统正常可靠运行。

7. 晶闸管 SCR

晶闸管的结构与工作原理,如图 1.2 所示。

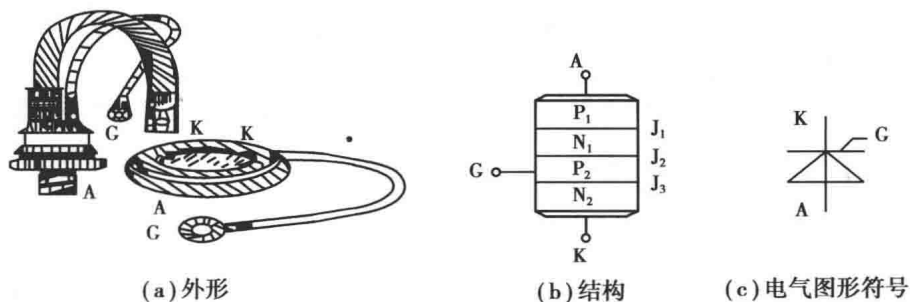


图 1.2 晶闸管的外形、结构和电气图形符号

晶闸管的双晶体管模型:如图 1.3 所示。

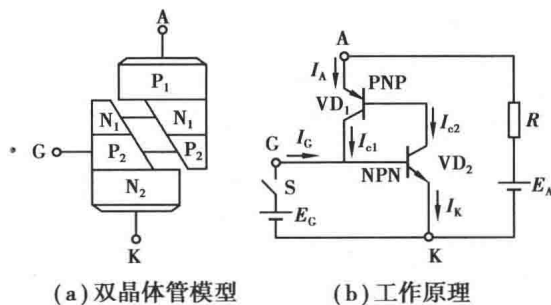


图 1.3 晶闸管的双晶体管模型及工作原理

将器件 N_1 、 P_2 半导体取倾斜截面,则晶闸管变成 VD_1 —PNP 和 VD_2 —NPN 两个晶体管。
晶闸管的导通工作原理:

(1) 当 AK 间加正向电压 E_A , 晶闸管不能导通, 主要是中间存在反向 PN 结。

(2) 当 GK 间加正向电压 E_G , NPN 晶体管基极存在驱动电流 I_G , NPN 晶体管导通, 产生集电极电流 I_{c2} 。

(3) 集电极电流 I_{c2} 构成 PNP 的基极驱动电流, PNP 导通, 进一步放大产生 PNP 集电极电流 I_{c1} 。

(4) I_{c1} 与 I_G 构成 NPN 的驱动电流, 继续上述过程, 形成强烈的负反馈, 这样 NPN 和 PNP 两个晶体管完全饱和, 晶闸管导通。

晶闸管的主要参数:

(1) 晶闸管的通态平均电流 I_F : 在规定的条件下, 为晶闸管通以工频、正弦半波电流, 且负载为纯电阻负载, 导通角不小于 180° 。此时这个电流的平均值就是半波电流的平均值。若正弦半波电流的峰值为 I_m , 则

$$I_F = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_m}{\pi}$$

电流有效值:

$$I = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (I_m \sin \omega t)^2 d\omega t} = \frac{I_m}{2}$$

波形系数: 通过晶闸管的电流的(一般为非正弦)有效值与平均值之比 K_f , 在此

$$\frac{I}{I_F} = 1.57, \text{ 即 } I = 1.57 I_F = K_f I_F$$

式中, K_f 称波形系数。

还有其他参数: 额定电压、维持电流、擎住电流以及一些动态参数和门极特性等。

(2) 实际应用中晶闸管的选择: 主要按实际承受的电压、电流选择晶闸管。电压的选择: 按晶闸管实际在线路中承受的电压的峰值, 还要乘以一个安全裕量。

电流的选择: 按晶闸管中实际通过电流的有效值与所选晶闸管(通态平均电流为 I_F) 允许通过的电流有效值相等的原则, 再乘以安全裕量, 这被称做有效值相等的原则。

当然要将计算出的值靠到工厂生产产品的系列值上。

这里需注意的是: 无论是电流还是电压波形, 都有一个峰值、有效值、平均值, 要弄清它们的定义及算法。

晶闸管是半控型器件的原因:

(1) 晶闸管导通后撤掉外部门极电流 I_G , 但是 NPN 基极仍然存在电流, 由 PNP 集电极电流 I_{c1} 供给, 电流已经形成强烈正反馈, 因此晶闸管继续维持导通。

(2) 因此, 晶闸管的门极电流只能触发控制其导通而不能控制其关断。

8. 晶闸管的关断工作原理

满足下列条件,晶闸管才能关断:

- (1) 去掉 AK 间正向电压;
- (2) AK 间加反向电压;
- (3) 设法使流过晶闸管的电流降低到接近于零的某一数值以下。

9. 晶闸管正常工作时的静态特性

- (1) 当晶闸管承受反向电压时,不论门极是否有触发电流,晶闸管都不会导通。
- (2) 当晶闸管承受正向电压时,仅在门极有触发电流的情况下晶闸管才能导通。
- (3) 晶闸管一旦导通,门极就失去控制作用,不论门极触发电流是否还存在,晶闸管都保持导通。

(4) 若要使已导通的晶闸管关断,只能利用外加电压和外电路的作用使流过晶闸管的电流降到接近于零的某一数值以下。

10. GTO 的结构

- (1) GTO 与普通晶闸管的相同点:是 PNP 四层半导体结构,外部引出阳极、阴极和门极。
- (2) GTO 与普通晶闸管的不同点:GTO 是一种多元的功率集成器件,其内部包含数十个甚至数百个供阳极的小 GTO 元,这些 GTO 元的阴极和门极在器件内部并联在一起,正是这种特殊结构才能实现门极关断作用。

11. GTO 的静态特性

- (1) 当 GTO 承受反向电压时,不论门极是否有触发电流,GTO 都不会导通。
- (2) 当 GTO 承受正向电压时,仅在门极有触发电流的情况下 GTO 才能导通。
- (3) GTO 导通后,若门极施加反向驱动电流,则 GTO 关断,也即可以通过门极电流控制 GTO 导通和关断。
- (4) 通过 AK 间施加反向电压同样可以保证 GTO 关断。

12. 电力场效应晶体管 MOSFET

- (1) 电力 MOSFET 是用栅极电压来控制漏极电流的,因此它是电压型器件。
- (2) 当 U_{GS} 大于某一电压值 U_T 时,栅极下 P 区表面的电子浓度将超过空穴浓度,从而使 P 型半导体反型成 N 型半导体,形成反型层。

13. 绝缘栅双极晶体管 IGBT

- (1) GTR 和 GTO 是双极型电流驱动器件,其优点是通流能力强,耐压及耐电流等级高,但不足是开关速度低,所需驱动功率大,驱动电路复杂。
- (2) 电力 MOSFET 是单极型电压驱动器件,其优点是开关速度快、所需驱动功率小,驱动电路简单。

(3) 复合型器件: 将上述两者器件相互取长补短结合而成, 综合两者优点。

(4) 绝缘栅双极晶体管 IGBT 是一种复合型器件, 由 GTR 和 MOSFET 两个器件复合而成, 具有 GTR 和 MOSFET 两者的优点, 具有良好的特性。

IGBT 的结构和工作原理如图 1.4 所示。

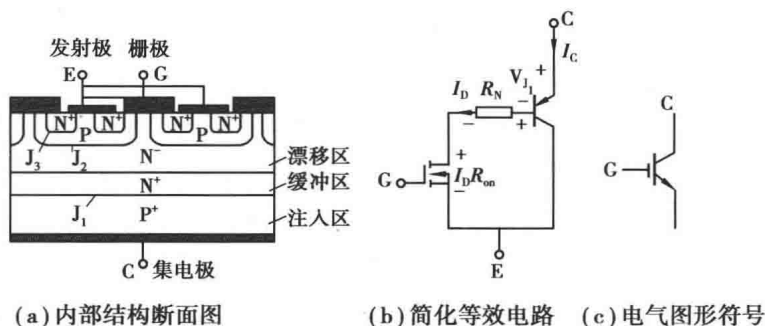


图 1.4 IGBT 的结构、简化等效电路和电气图形符号

(1) IGBT 是三端器件, 具有栅极 G、集电极 C 和发射极 E。

(2) IGBT 由 MOSFET 和 GTR 组合而成。

14. 电子电力器件的种类

电力电子器件种类繁多, 按其开关控制性能可分为不控型器件、半控型器件和全控型器件。

(1) 不控型器件无控制端, 如电力二极管、快速恢复二极管、肖特基势垒二极管等。

(2) 半控型器件是带控制端的三端器件, 其控制端只能控制器件导通, 而无自关断能力。如普通晶闸管、快速晶闸管、双向晶闸管 (TRIAC)、逆导晶闸管 (RCT) 等。

(3) 全控型器件又称为自关断器件。也是带控制端的三端器件, 其控制端有控制器件开通和关断的双重功能, 如可关断晶闸管 GTO, 电力晶体管 GTR, 功率 MOSFET 及绝缘栅双极晶体管 IGBT 等。

15. 电流控制型器件和电压控制型器件

根据控制信号的不同, 可将全控型电力电子器件分成电流控制型和电压控制型两种。

(1) 电流控制型器件的共同特点是: 在器件内部有电子和空穴两种载流子参与导电, 由导通转向阻断时, 两种载流子在复合过程中产生热量, 使器件结温升高, 从而限制了工作频率的提高; 电流控制型器件具有电导调制效应, 使其导通压降很低, 导通损耗较小; 控制极输入阻抗低, 控制电流和控制功率较大, 电路也比较复杂。

(2) 电压控制型器件也可称为场控型器件。其中 SIT 和功率 MOSFET 只有一种载流子参与导电, 属于单极型器件; SITH 具有电导调制效应, 属于双极型器件; 而 IGBT 和 MCT 则属于混合型器件。它们的共同特点是: 输入信号是加在控制极的反偏结或是绝缘介质上的电压, 输入阻抗很高, 控制功率小, 控制电路比较简单; 只有一种载流子参与导电, 没有少数载流子

的注入和存储,开关过程中不存在像双极型器件的两种载流子复合问题,工作频率很高;工作温度高,抗辐射能力强。

16. 门极可关断晶闸管 GTO 主要特点及参数

GTO (Gate Turn-off Thyristor) 是普通晶闸管 SCR (Silicon Controlled Rectifier) 的派生器件。GTO 是一种电流控制型器件, GTO 的构造及其导通机理与普通晶闸管相似, 也是 PNP 四层三端元件, 不同之处在于, SCR 是独立元件结构, 而 GTO 是集成元件结构, 一个 GTO 元件内部由几百或上千个小 GTO 单元并联而成。GTO 又分为两种类型: 一种是逆阻 GTO, 它可以承受正、反向电压, 正向压降大, 快速性较差; 另一种是阳极短路 GTO, 又称无反压 GTO, 它不能承受反向电压, 但正向压降小, 快速性好, 热稳定性好。

GTO 的主要参数是:

(1) 断态重复峰值电压 U_{DRM} 。其定义与晶闸管相同。

(2) 可关断阳极峰值电流 I_{ATO} 。是阳极电压很低、频率为 1 kHz、导通占空比为 50% 的条件下, 所允许关断的峰值电流。对 GTO 来说, 一般给出最大可关断阳极电流作为额定电流。

(3) 通态管压降 U_{ON} 。由于 GTO 工作于临界饱和状态, 因此通态管压降比晶闸管高, 一般为 1.5 ~ 3.0 V。

(4) 擎住电流 I_{L} 。

GTO 导通后, 门极信号撤除, GTO 保持导通必需的最小阳极电流。

(5) 正向触发电流 I_{G} 。

在一定温度、阳极电压和额定电流下, 触发 GTO 开通的最小触发电流。

(6) 反向关断允许电流 $-I_{\text{G}}$ 。

关断 GTO 时, 允许的最大反向门极电流。通常 $-I_{\text{G}} = (1/5 \sim 1/3) I_{\text{A}}$ 。

(7) 关断时间 t_{off} 。它主要由存储时间 t_{s} 和下降时间 t_{f} 构成, 约为几微秒。它与门极所加负电流大小密切相关, 此外 GTO 阳极电流及结温对它也有影响。

(8) 电流关断增益 β_{off} 。定义电流关断增益 β_{off} 为最大可关断阳极电流 I_{ATO} 与门极负电流最大值 $-I_{\text{GM}}$ 之比。

17. 电力晶体管 GTR

GTR (Giant Transistor) 是一种双极型、大功率、高电压的全控型电力电子器件, 它是电流控制型器件。元件内部有电子和空穴两种载流子参与导电。

选用 GTR 时需注意, 电路的接法不同, GTR 所承受的耐压也不相同, 各电压之间存在如下关系: $V_{\text{CBO}} > V_{\text{CEX}} > V_{\text{CES}} > V_{\text{CER}} > V_{\text{CEO}}$ 。

GTR 由阻断状态转为导通状态的时间称为开通时间 t_{on} , 它由集电极电流延迟时间 t_{d} 和上升时间 t_{r} 组成, $t_{\text{on}} = t_{\text{d}} + t_{\text{r}}$; GTR 由导通状态转为阻断状态的时间称为关断时间 t_{off} , 它由存储

时间 t_s 和下降时间 t_f 组成, $t_{\text{off}} = t_s + t_f$ 。

18. 场效应晶体管 MOSFET

功率场效应晶体管有结型和绝缘栅型两种类型。结型功率场效应晶体管称为静电感应晶体管 SIT(Static Induction Transistor)。

(1) 场效应晶体管通过改变栅极-源极之间的电场, 控制漏极-源极之间沟道的电导, 从而改变漏极电流的大小。它是一种电压控制型器件。导电沟道的载流子如果是空穴, 则称为 P 沟道型; 如果是电子, 则称为 N 沟道型。

(2) 用外加电场控制场效应晶体管栅-源之间 PN 结耗尽区的宽度来控制沟道电导的, 称为结型场效应晶体管(JFET)。靠硅氧化物介质将场效应晶体管栅-源之间金属电极和半导体隔离, 用外加电场控制半导体中感应电荷量的变化, 进而控制沟道电导的, 称为绝缘栅型场效应晶体管, 也称 MOSFET。

(3) 绝缘栅场效应晶体管按导电沟道的类型可分为 N 沟道和 P 沟道两大类; 按零栅压时器件的导电状态又可分为增强型(常关型)和耗尽型(常开型)两种类型。栅压为零时已存在导电沟道的器件, 称为耗尽型器件; 栅压为零时不存在导电沟道的器件, 称为增强型器件。因此, MOSFET 可分为 N 沟道增强型、N 沟道耗尽型、P 沟道增强型、P 沟道耗尽型共 4 种类型。

(4) MOSFET 不存在像双极型器件那样的电导调制效应, 也不存在少子复合问题, 故它的开关速度快, 且开关功耗随频率变化很小, 最适于高频下工作; 安全工作区宽, 不存在二次击穿问题; 栅极驱动功率小; 通态电阻具有正的温度系数, 因此, 它的漏极电流具有负的温度系数, 易于并联使用。

(5) 小功率 MOSFET 是由一次扩散形成的器件, 其栅极 G、源极 S 和漏极 D 位于芯片同一侧, 导电沟道平行于芯片表面, 是横向导电器件。要使其流过很大的电流, 必须增大芯片面积和厚度, 否则很难制成大功率管。

(6) PowerMOSFET 的参数如下:

①静态参数——开启电压 U_T 。

开启电压 U_T (又称阈值电压 $U_{\text{GS(th)}}$)。在一定的漏-源电压 U_{DS} 下, 使漏电流 I_D 达到 1 mA 时的栅-源电压, 定义为开启电压 U_T , U_T 具有负温度系数。

②动态参数——跨导 g_m 。

跨导定义为

$$g_m = \frac{I_D}{U_{\text{GS}}}$$

即为转移特性的斜率。

③极限参数——漏-源击穿电压 BU_{DS} 。