



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书

电 工 学

(第七版) (下 册)

学习辅导与习题解答

姜三勇 主编

秦曾煌 主审



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书

电 工 学

(第七版)(下 册)

学习辅导与习题解答

Diangongxue (Di7ban)(Xiace) Xuexi Fudao yu Xiti Jieda

姜三勇 主编

秦曾煌 主审

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《电工学》(第七版)(下册)(秦曾煌主编 姜三勇副主编)的配套辅导书。主要包括内容要点与阅读指导、基本要求、重点与难点、知识关联图、【练习与思考】题解和【习题】题解六个部分。本书的内容体系、章节顺序、练习与思考题和习题编号、练习与思考题和习题中的电路图编号均与主教材保持一致。

全书编写条理清晰,注意启发逻辑思维,便于阅读和自学,有助于学生分析能力和解题能力的提高,能显著提高学习效果和学习成绩,对总结和复习具有一定的参考和指导作用。

本书可供本科非电类专业学生和广大自学者学习参考,也可作为电工学教师的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电工学(第7版)(下册)学习辅导与习题解答/姜三勇
主编. —北京:高等教育出版社,2011.1
ISBN 978-7-04-031143-3

I. ①电… II. ①姜… III. ①电工学-高等学校-教
学参考资料 IV. ①TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第223349号

策划编辑	金春英	责任编辑	许海平	封面设计	于文燕	责任绘图	尹文军
版式设计	王艳红	责任校对	杨凤玲	责任印制	毛斯璐		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 唐山市润丰印务有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 18.25
字 数 440 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2011年1月第1版
印 次 2011年1月第1次印刷
定 价 26.90元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 31143-00

前 言

电工学课程是高等学校工科非电类专业的一门技术基础课程。目前,电工和电子技术的应用极为广泛,发展非常迅速,并且日益渗透到其他学科领域以促进其发展,在我国当前经济建设中占有重要的地位。本课程的作用与任务是使学生通过本课程的学习,获得电工和电子技术必要的基本理论、基本知识和基本技能,了解电工和电子技术的应用和我国电工和电子技术发展的概况,为学习后续课程以及从事有关的工程技术工作和科学研究工作打下一定的基础。为了适应科学技术的发展水平和非电类专业的用电需要,本课程在内容安排上,着重在电路与电子技术两部分。对于电机部分的内容则做了较大精简,补充了新兴的可编程控制器、可编程逻辑器件等内容。

本书是高等学校电工学课程的辅导教材,它与秦曾煌主编、姜三勇副主编的《电工学》(第七版)(下册)相配套,可供本科非电类专业学生和广大自学者学习参考,也可作为电工学教师的教学参考书。

为了阅读方便,本书的内容体系、章节顺序、练习与思考题和习题编号、练习与思考题和习题中的电路图编号均与主教材保持一致。在解题过程中新增加的电路图编号一律称为“题解图 $\times \times \cdot \times \times$ ”,新增加列表编号一律称为“题解表 $\times \times \cdot \times \times$ ”。

各章均按**内容要点与阅读指导**、**基本要求**、**重点与难点**、**知识关联图**、**【练习与思考】题解**和**【习题】题解**六个部分编写。

内容要点与阅读指导 回顾各章所讲的主要内容和知识要点,并进行归纳、总结和辅导。

基本要求 对学习各章主要内容时所提出的要求:哪些要求理解或掌握,哪些需要能分析计算,哪些要求会正确应用,哪些只需一般了解。

重点与难点 指出各章的重点内容与难点内容。

知识关联图 将各章的知识结构和要点以图形的方式加以展示,便于清晰地了解各部分内容的来龙去脉和内在联系。

【练习与思考】题解 对主教材中的所有练习与思考题进行的分析解答。

【习题】题解 对主教材中的所有习题进行的分析解答。

现代高等教育注重培养创新型人才。因此在能力培养的同时,必须注意创新意识的锻炼。为此编者特别建议读者在使用本书时,应力争独立分析、独立思考,对书中给出的习题解答可以作为借鉴和参考,不要使自己的思路受此局限,提倡用多种思路和多种方法解决问题,将借鉴与创新及应用结合起来。

本书第14、15、19章由于志副教授编写,第16、20、21、23章由姜三勇教授编写,第17、18、22章由丁继盛副教授编写。全书由姜三勇主编。

本书承《电工学》(第七版)主编、哈尔滨工业大学秦曾煌教授关心指导和亲自审阅,对秦教授提出的宝贵意见和修改建议,编者在此表示深深的感谢!

由于编者学识和经验有限,书中难免存在不足、疏漏甚至错误之处,恳请读者不吝批评指正,以便不断修改并加以完善。电子邮箱:jsy_hit@126.com。

前 言

编者
2010年8月

本书以《说文解字》为研究对象,旨在探讨其文字学价值。全书共分五章,第一章介绍《说文解字》的成书背景及体例,第二章至第四章分别对《说文解字》的部首、字形、字义进行详细分析,第五章则探讨《说文解字》对后世文字学的影响。本书力求做到文字学理论与实际相结合,力求做到文字学理论与实际相结合,力求做到文字学理论与实际相结合。

本书在编写过程中,参考了国内外相关文献,力求做到文字学理论与实际相结合,力求做到文字学理论与实际相结合,力求做到文字学理论与实际相结合。

本书在编写过程中,参考了国内外相关文献,力求做到文字学理论与实际相结合,力求做到文字学理论与实际相结合,力求做到文字学理论与实际相结合。

本书在编写过程中,参考了国内外相关文献,力求做到文字学理论与实际相结合,力求做到文字学理论与实际相结合,力求做到文字学理论与实际相结合。

本书在编写过程中,参考了国内外相关文献,力求做到文字学理论与实际相结合,力求做到文字学理论与实际相结合,力求做到文字学理论与实际相结合。

本书在编写过程中,参考了国内外相关文献,力求做到文字学理论与实际相结合,力求做到文字学理论与实际相结合,力求做到文字学理论与实际相结合。

本书在编写过程中,参考了国内外相关文献,力求做到文字学理论与实际相结合,力求做到文字学理论与实际相结合,力求做到文字学理论与实际相结合。

本书在编写过程中,参考了国内外相关文献,力求做到文字学理论与实际相结合,力求做到文字学理论与实际相结合,力求做到文字学理论与实际相结合。

本书在编写过程中,参考了国内外相关文献,力求做到文字学理论与实际相结合,力求做到文字学理论与实际相结合,力求做到文字学理论与实际相结合。

4.7.5	····· 重要习题	5.15
4.7.6	····· 典型例题	5.15
4.7.7	····· 知识关联图	5.15
4.7.8	····· 习题【题解】	5.15

目 录

5.1	····· 习题【题解】	6.15
5.2	····· 重要习题	6.15
5.3	····· 典型例题	6.15
5.4	····· 知识关联图	6.15
5.5	····· 习题【题解】	6.15

第 14 章 半导体器件	1
14.1 内容要点与阅读指导	1
14.2 基本要求	3
14.3 重点与难点	3
14.4 知识关联图	4
14.5 【练习与思考】题解	4
14.6 【习题】题解	11
第 15 章 基本放大电路	24
15.1 内容要点与阅读指导	24
15.2 基本要求	27
15.3 重点与难点	27
15.4 知识关联图	28
15.5 【练习与思考】题解	28
15.6 【习题】题解	38
第 16 章 集成运算放大器	61
16.1 内容要点与阅读指导	61
16.2 基本要求	67
16.3 重点与难点	67
16.4 知识关联图	68
16.5 【练习与思考】题解	69
16.6 【习题】题解	72
第 17 章 电子电路中的反馈	97
17.1 内容要点与阅读指导	97
17.2 基本要求	101
17.3 重点与难点	101
17.4 知识关联图	102
17.5 【练习与思考】题解	103
17.6 【习题】题解	105
第 18 章 直流稳压电源	119
18.1 内容要点与阅读指导	119
18.2 基本要求	121
18.3 重点与难点	121
18.4 知识关联图	122

18.5 【练习与思考】题解	122
18.6 【习题】题解	124
△第 19 章 电力电子技术	145
19.1 内容要点与阅读指导	145
19.2 基本要求	146
19.3 重点与难点	146
19.4 知识关联图	146
19.5 【练习与思考】题解	147
19.6 【习题】题解	149
第 20 章 门电路和组合逻辑电路	155
20.1 内容要点与阅读指导	155
20.2 基本要求	161
20.3 重点与难点	162
20.4 知识关联图	162
20.5 【练习与思考】题解	163
20.6 【习题】题解	174
第 21 章 触发器和时序逻辑电路	207
21.1 内容要点与阅读指导	207
21.2 基本要求	210
21.3 重点与难点	210
21.4 知识关联图	211
21.5 【练习与思考】题解	212
21.6 【习题】题解	220
△第 22 章 存储器和可编程逻辑器件	252
22.1 内容要点与阅读指导	252
22.2 基本要求	253
22.3 重点与难点	253
22.4 知识关联图	254
22.5 【练习与思考】题解	254

22.6	【习题】题解	257
第 23 章 模拟量和数字量的转换		
23.1	内容要点与阅读指导	273

23.2	基本要求	274
23.3	重点与难点	274
23.4	知识关联图	275
23.5	【习题】题解	275

133	..... 模拟【习题】题解	2.81
134	..... 模拟【习题】题解	2.81
135	..... 模拟【习题】题解	2.81
136	..... 模拟【习题】题解	2.81
137	..... 模拟【习题】题解	2.81
138	..... 模拟【习题】题解	2.81
139	..... 模拟【习题】题解	2.81
140	..... 模拟【习题】题解	2.81
141	..... 模拟【习题】题解	2.81
142	..... 模拟【习题】题解	2.81
143	..... 模拟【习题】题解	2.81
144	..... 模拟【习题】题解	2.81
145	..... 模拟【习题】题解	2.81
146	..... 模拟【习题】题解	2.81
147	..... 模拟【习题】题解	2.81
148	..... 模拟【习题】题解	2.81
149	..... 模拟【习题】题解	2.81
150	..... 模拟【习题】题解	2.81

第 20 章 门电路组合逻辑

151	..... 门电路	2.81
152	..... 门电路	2.81
153	..... 门电路	2.81
154	..... 门电路	2.81
155	..... 门电路	2.81
156	..... 门电路	2.81
157	..... 门电路	2.81
158	..... 门电路	2.81
159	..... 门电路	2.81
160	..... 门电路	2.81
161	..... 门电路	2.81
162	..... 门电路	2.81
163	..... 门电路	2.81
164	..... 门电路	2.81
165	..... 门电路	2.81
166	..... 门电路	2.81
167	..... 门电路	2.81
168	..... 门电路	2.81
169	..... 门电路	2.81
170	..... 门电路	2.81

第 21 章 触发器和时序逻辑

171	..... 触发器	2.81
172	..... 触发器	2.81
173	..... 触发器	2.81
174	..... 触发器	2.81
175	..... 触发器	2.81
176	..... 触发器	2.81
177	..... 触发器	2.81
178	..... 触发器	2.81
179	..... 触发器	2.81
180	..... 触发器	2.81
181	..... 触发器	2.81
182	..... 触发器	2.81
183	..... 触发器	2.81
184	..... 触发器	2.81
185	..... 触发器	2.81
186	..... 触发器	2.81
187	..... 触发器	2.81
188	..... 触发器	2.81
189	..... 触发器	2.81
190	..... 触发器	2.81

第 22 章 寄存器、计数器和译码器

191	..... 寄存器	2.81
192	..... 寄存器	2.81
193	..... 寄存器	2.81
194	..... 寄存器	2.81
195	..... 寄存器	2.81
196	..... 寄存器	2.81
197	..... 寄存器	2.81
198	..... 寄存器	2.81
199	..... 寄存器	2.81
200	..... 寄存器	2.81
201	..... 寄存器	2.81
202	..... 寄存器	2.81
203	..... 寄存器	2.81
204	..... 寄存器	2.81
205	..... 寄存器	2.81
206	..... 寄存器	2.81
207	..... 寄存器	2.81
208	..... 寄存器	2.81
209	..... 寄存器	2.81
210	..... 寄存器	2.81
211	..... 寄存器	2.81
212	..... 寄存器	2.81
213	..... 寄存器	2.81
214	..... 寄存器	2.81
215	..... 寄存器	2.81

191	..... 寄存器	2.81
192	..... 寄存器	2.81
193	..... 寄存器	2.81
194	..... 寄存器	2.81
195	..... 寄存器	2.81
196	..... 寄存器	2.81
197	..... 寄存器	2.81
198	..... 寄存器	2.81
199	..... 寄存器	2.81
200	..... 寄存器	2.81
201	..... 寄存器	2.81
202	..... 寄存器	2.81
203	..... 寄存器	2.81
204	..... 寄存器	2.81
205	..... 寄存器	2.81
206	..... 寄存器	2.81
207	..... 寄存器	2.81
208	..... 寄存器	2.81
209	..... 寄存器	2.81
210	..... 寄存器	2.81
211	..... 寄存器	2.81
212	..... 寄存器	2.81
213	..... 寄存器	2.81
214	..... 寄存器	2.81
215	..... 寄存器	2.81

第 12 章 基本放大电路

191	..... 基本放大电路	2.81
192	..... 基本放大电路	2.81
193	..... 基本放大电路	2.81
194	..... 基本放大电路	2.81
195	..... 基本放大电路	2.81
196	..... 基本放大电路	2.81
197	..... 基本放大电路	2.81
198	..... 基本放大电路	2.81
199	..... 基本放大电路	2.81
200	..... 基本放大电路	2.81
201	..... 基本放大电路	2.81
202	..... 基本放大电路	2.81
203	..... 基本放大电路	2.81
204	..... 基本放大电路	2.81
205	..... 基本放大电路	2.81
206	..... 基本放大电路	2.81
207	..... 基本放大电路	2.81
208	..... 基本放大电路	2.81
209	..... 基本放大电路	2.81
210	..... 基本放大电路	2.81
211	..... 基本放大电路	2.81
212	..... 基本放大电路	2.81
213	..... 基本放大电路	2.81
214	..... 基本放大电路	2.81
215	..... 基本放大电路	2.81

第 10 章 集成运算放大器

191	..... 集成运算放大器	2.81
192	..... 集成运算放大器	2.81
193	..... 集成运算放大器	2.81
194	..... 集成运算放大器	2.81
195	..... 集成运算放大器	2.81
196	..... 集成运算放大器	2.81
197	..... 集成运算放大器	2.81
198	..... 集成运算放大器	2.81
199	..... 集成运算放大器	2.81
200	..... 集成运算放大器	2.81
201	..... 集成运算放大器	2.81
202	..... 集成运算放大器	2.81
203	..... 集成运算放大器	2.81
204	..... 集成运算放大器	2.81
205	..... 集成运算放大器	2.81
206	..... 集成运算放大器	2.81
207	..... 集成运算放大器	2.81
208	..... 集成运算放大器	2.81
209	..... 集成运算放大器	2.81
210	..... 集成运算放大器	2.81
211	..... 集成运算放大器	2.81
212	..... 集成运算放大器	2.81
213	..... 集成运算放大器	2.81
214	..... 集成运算放大器	2.81
215	..... 集成运算放大器	2.81

第 17 章 电子电路中的反馈

191	..... 电子电路中的反馈	2.81
192	..... 电子电路中的反馈	2.81
193	..... 电子电路中的反馈	2.81
194	..... 电子电路中的反馈	2.81
195	..... 电子电路中的反馈	2.81
196	..... 电子电路中的反馈	2.81
197	..... 电子电路中的反馈	2.81
198	..... 电子电路中的反馈	2.81
199	..... 电子电路中的反馈	2.81
200	..... 电子电路中的反馈	2.81
201	..... 电子电路中的反馈	2.81
202	..... 电子电路中的反馈	2.81
203	..... 电子电路中的反馈	2.81
204	..... 电子电路中的反馈	2.81
205	..... 电子电路中的反馈	2.81
206	..... 电子电路中的反馈	2.81
207	..... 电子电路中的反馈	2.81
208	..... 电子电路中的反馈	2.81
209	..... 电子电路中的反馈	2.81
210	..... 电子电路中的反馈	2.81
211	..... 电子电路中的反馈	2.81
212	..... 电子电路中的反馈	2.81
213	..... 电子电路中的反馈	2.81
214	..... 电子电路中的反馈	2.81
215	..... 电子电路中的反馈	2.81

第 18 章 直流稳压电源

191	..... 直流稳压电源	2.81
192	..... 直流稳压电源	2.81
193	..... 直流稳压电源	2.81
194	..... 直流稳压电源	2.81
195	..... 直流稳压电源	2.81
196	..... 直流稳压电源	2.81
197	..... 直流稳压电源	2.81
198	..... 直流稳压电源	2.81
199	..... 直流稳压电源	2.81
200	..... 直流稳压电源	2.81
201	..... 直流稳压电源	2.81
202	..... 直流稳压电源	2.81
203	..... 直流稳压电源	2.81
204	..... 直流稳压电源	2.81
205	..... 直流稳压电源	2.81
206	..... 直流稳压电源	2.81
207	..... 直流稳压电源	2.81
208	..... 直流稳压电源	2.81
209	..... 直流稳压电源	2.81
210	..... 直流稳压电源	2.81
211	..... 直流稳压电源	2.81
212	..... 直流稳压电源	2.81
213	..... 直流稳压电源	2.81
214	..... 直流稳压电源	2.81
215	..... 直流稳压电源	2.81

第 14 章

半导体器件

本章介绍了半导体材料的导电特性和半导体器件的基本结构——PN 结,重点介绍了常用的半导体器件——二极管和晶体管的基本结构、伏安特性和主要参数,详细讨论了晶体管的电流分配和放大原理。此外还介绍了稳压二极管和一些常用光电器件的结构和基本特性。

14.1 内容要点与阅读指导

半导体器件是电子技术的基础,学习电子技术首先要掌握常用半导体器件,比如二极管、晶体管的原理和特性。为了更好地理解半导体器件的工作原理,有必要了解一些半导体物理的基本知识。

1. 半导体的导电特性

(1) 半导体材料的导电机理与金属导体不同:金属材料在室温条件下,内部就会存在大量的自由电子,具有很强的导电能力。纯净的半导体(本征半导体)由于具有晶体结构,原子核最外层空间的价电子受到很强的约束。在受到外部能量激发时,晶体共价键结构中的价电子只有少数能够挣脱束缚,形成自由电子和空穴。自由电子可参与导电容易理解,但是价电子获得能量成为自由电子之后留下的空位,即空穴是如何导电的?这是区别金属和半导体导电机理的关键。失去价电子的原子核成为正离子,所以可以理解为一个空穴带一个正电荷。正离子(失去电子的原子核)在外电场的作用下并不能产生移动,但是它却可以吸引周围的电子来填补空穴。如果是自由电子来填补空穴,则自由电子和空穴同时消失,这个过程称为复合。在一定温度条件下,自由电子和空穴的激发和复合呈动态平衡,浓度一定。如果是其他共价键结构中的价电子来填补空穴,则相当于空穴朝相反方向移动。而空穴是相当于带有正电荷的,空穴的这种由于价电子递补而形成的移动产生了电流,所以说半导体材料中自由电子和空穴都可以参与导电,具有两种不同极性的载流子。

(2) 杂质半导体:本征半导体材料中自由电子和空穴成对出现,且数目很少,其导电能力类似绝缘体;掺入特定的杂质元素后,半导体材料的导电能力大大增强,利用这一特点可制作二极管、晶体管等半导体元件。半导体内部两种极性的载流子数目不再相等,其中的多数载流子主要是由杂质原子提供的,同时受热激发产生的少量电子-空穴对提供了相反极性的少数载流子。电子-空穴对的数量受环境温度影响很大,是影响半导体器件温度稳定性的主要因素。在 N 型

半导体中,自由电子是多数载流子,空穴是少数载流子;在 P 型半导体中,空穴是多数载流子,自由电子是少数载流子。

(3) 半导体材料的导电能力对温度或光照敏感,可制作成热敏和光敏器件。

2. PN 结及其单向导电性

在 N 型半导体和 P 型半导体的交界面,由于载流子的运动而形成一个特殊的薄层,这就是 PN 结。PN 结是半导体器件的基本结构,是构成大多数半导体器件的重要基础。它具有单向导电性,外加正向电压(P 区电位高于 N 区电位)时 PN 结呈现低电阻,处于导通状态;外加反向电压时 PN 结呈现高电阻,处于截止状态。

3. 常用半导体器件

(1) 二极管:二极管是结构简单、应用广泛的半导体器件,其内部就是一个 PN 结。外部伏安特性表现出单向导电性,正向导通时电阻很小,并存在死区现象。反向工作时只有一个微弱的饱和电流通过,特点是电流基本不随电压大小变化,但是受环境温度影响很大。反向电压增高到击穿电压时,反向电流剧增,一般会损坏二极管。

二极管的单向导电性可以用来在电子电路中作整流、检波、钳位和隔离等。工程上一般认为二极管反向偏置时电流为零,正向偏置时根据计算精度要求,忽略其正向导通压降,或者按硅管 $0.6 \sim 0.7 \text{ V}$,锗管 $0.2 \sim 0.3 \text{ V}$ 估算。

实际工程中,在低频应用时主要关心二极管的最大整流电流 I_{OM} 和最高反向工作峰值电压 U_{RM} 这两个参数。而在高频应用时,往往还要考虑到反向恢复时间 t_{rr} 和结电容等参数。

(2) 稳压二极管:稳压二极管是一种特殊的二极管,较普通二极管反向击穿电压低,反向击穿特性陡($\Delta U/\Delta I$ 小),可以安全地工作在反向击穿区。利用其工作于反向击穿区时,相对于较大的电流变化,电压变化较小这一特点进行稳压。

稳压二极管的稳压电路一般适用于对稳压精度要求不高,输出电流不大(数十毫安以下),负载变化也不大的场合。在使用中要特别注意:稳压二极管必需串联有合适的限流电阻,以保证其既能进入反向击穿区,提供稳定的电压输出,又不至于因反向电流过大,功耗超过允许值而损坏。

(3) 晶体管:晶体管是最重要的半导体器件之一,在满足发射结正偏、集电结反偏的外部条件时,晶体管具有电流放大作用。晶体管的特性曲线和主要参数是分析晶体管电路和实际中选择使用晶体管的主要依据。放大电路的晶体管工作在特性曲线的线性区,集电极电流 I_{c} 与基极电流 I_{b} 成正比, I_{b} 对 I_{c} 有控制作用。在脉冲数字电路中,晶体管也可以工作在饱和或截止状态,此时的晶体管可以理解为受基极电流控制的电子开关,饱和时集电极和发射极之间的压降很小,似集电极短路一样,而在截止时集电极电流近似为零,集电极之间又似开路一样。

表 14.01 归纳了晶体管在输出特性曲线的三个不同工作区域时的工作状态和特点。

题解表 14.01 晶体管的三种工作状态和特点

晶体管的工作状态	饱和	放大	截止
外部偏置	发射结正偏 集电结正偏	发射结正偏 集电结反偏	发射结零偏或反偏 集电结反偏
特点	I_C 接近最大值 $U_{CE} \approx 0$	$I_C = \beta I_B$ U_{CE} 与 I_C 成线性关系	$I_C \approx 0$ $U_{CE} \approx U_{CC}$
用途	开关	信号放大	开关

(4) 光电器件: 半导体器件种类繁多, 发光二极管(LED)、光电二极管和光电晶体管是常用的光电转换器件。发光二极管常用于信号指示, 数字和图像的显示。近年来, 瓦级以上的大功率白光 LED 广泛用于照明领域, 具有光效高、寿命长的优点。光电二极管的反向电流会随着环境光强度的增减而发生显著的变化, 利用这一特性可设计出光控应用电路, 比如某些公共场所的照明自动控制。发光二极管和光电晶体管经常被集成在一起, 制作成光电耦合器件, 用于信号的隔离传输。

14.2 基本要求

1. 了解半导体的导电特性, 本征半导体和杂质半导体中自由电子和空穴的产生过程和数量差异及温度对半导体器件稳定性的影响。
2. 了解 PN 结及其单向导电性。
3. 了解二极管的结构和类型, 熟悉二极管的伏安特性和主要参数的意义, 并对重要参数有数量级的概念。
4. 了解稳压二极管的结构和伏安特性, 会用稳压二极管组成稳压电路。
5. 了解晶体管的内部结构和电流放大原理, 理解其伏安特性曲线和主要参数的意义, 熟悉晶体管在放大区、截止区和饱和区工作时所需的外部条件。
6. 了解常用光电器件的工作原理。

14.3 重点与难点

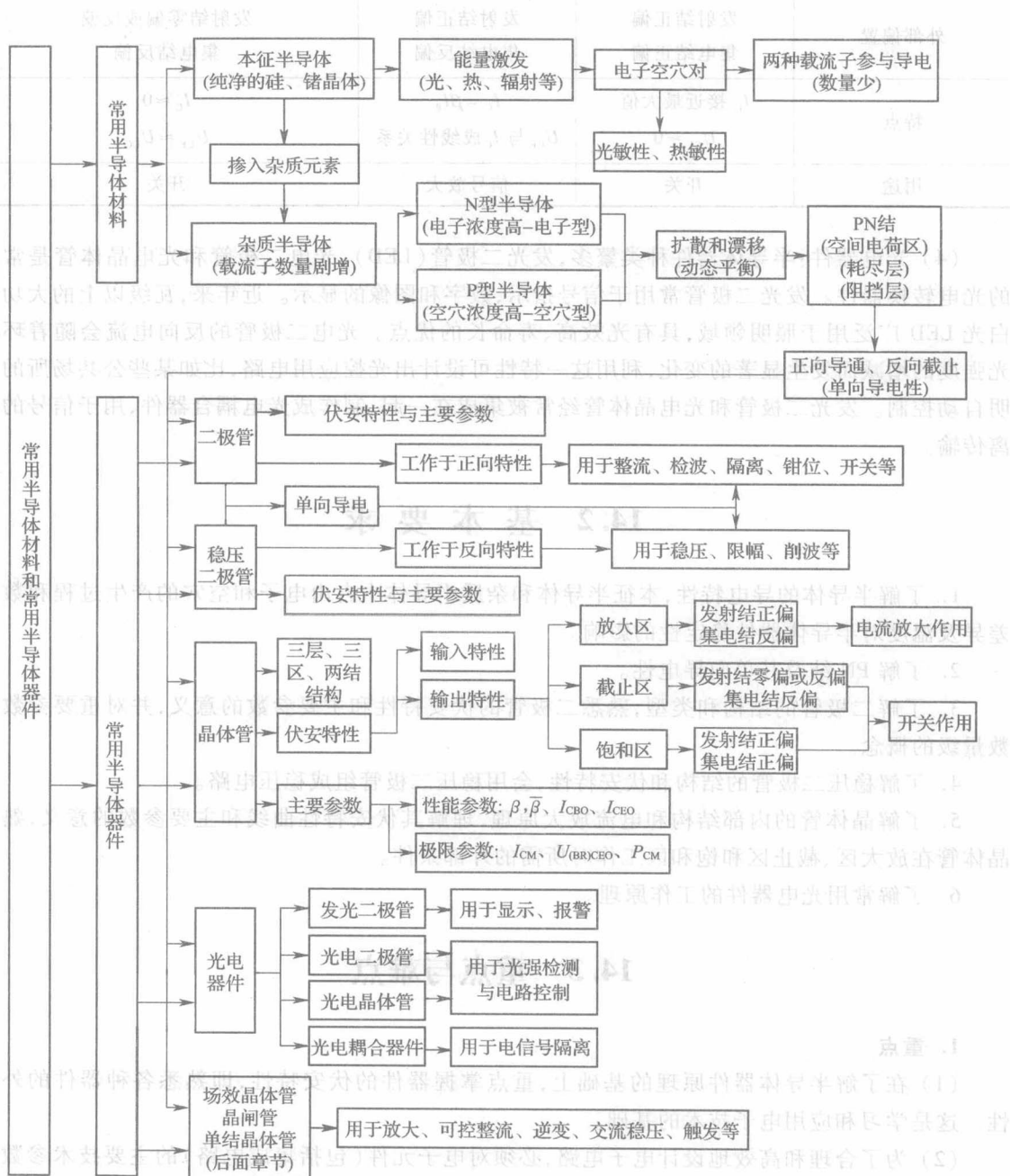
1. 重点

- (1) 在了解半导体器件原理的基础上, 重点掌握器件的伏安特性, 即熟悉各种器件的外特性。这是学习和应用电子技术的基础。
- (2) 为了合理和高效地设计电子电路, 必须对电子元件(包括集成电路)的主要技术参数有足够了解。重点是理解技术参数的意义, 了解其大致的数量范围。

2. 难点

- (1) 空穴及其导电机理。
- (2) 从载流子的运动规律理解二极管和晶体管的工作原理。

14.4 知识关联图



14.5 【练习与思考】题解

14.1.1 电子导电和空穴导电有什么区别? 空穴电流是不是由自由电子递补空穴所形

成的? **解:**对半导体材料外加电压时,一方面自由电子在电场作用下定向移动,形成了电子电流,另一方面被原子核所束缚的价电子(非自由电子)也会在电场的作用下去递补空穴,相当于空穴在移动。空穴是原子核失去外层空间的价电子而形成的空位,相当于带有正电荷的离子,所以空穴的移动形成了电流。自由电子递补空穴会使自由电子和空穴同时消失,不会形成电流,空穴电流不是由自由电子递补空穴所形成的,而是仍被其他原子核束缚的价电子递补空穴形成的。

14.1.2 杂质半导体中的多数载流子和少数载流子是怎样产生的?为什么杂质半导体中少数载流子的浓度比本征半导体中少数载流子的浓度小?

解:杂质半导体的多数载流子由两部分组成,以N型半导体为例,其多数载流子的绝大部分是由于掺入五价杂质元素后所产生的大量自由电子,另外一小部分来自于晶体共价键结构中的电子受到激发而形成的电子-空穴对中的自由电子。

N型半导体中的少数载流子的来源主要是激发所产生的电子-空穴对中的空穴,但是由于掺杂后自由电子数目剧增,加大了自由电子与空穴复合的机会,因而少数载流子空穴的浓度比本征半导体中空穴的浓度更低。

14.1.3 N型半导体中的自由电子多于空穴,而P型半导体中的空穴多于自由电子,是否N型半导体带负电,而P型半导体带正电?

解:不是。N型半导体和P型半导体内部电子的数目和原子核所带正电荷的数目相等,整体上呈电中性。

14.3.1 二极管的伏安特性上有一个死区电压。什么是死区电压?硅管和锗管的死区电压的典型值约为多少伏?

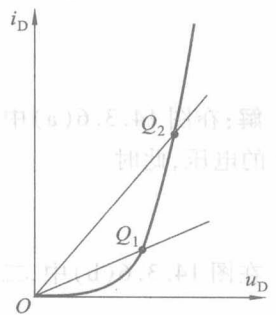
解:死区电压是指二极管刚开始出现正向电流时所对应的外加正向电压,硅管死区电压的典型值约为0.5V,锗管约为0.1V。

14.3.2 为什么二极管的反向饱和电流与外加反向电压(不超过某一范围)基本无关,而当环境温度升高时又明显增大?

解:二极管反向饱和电流的大小取决于少数载流子的数量,而少数载流子的数量主要取决于环境温度。环境温度越高,受热激发的电子、空穴也越多,这部分成对出现的电子或者空穴,是半导体材料中少数载流子的来源。当环境温度不变时,少数载流子数量也不变,反向电压变化所引起的反向电流变化不大。而当环境温度增加时,少数载流子的数目增加,同样的反向电压所形成的反向电流自然也增加了。

14.3.3 用万用表测量二极管的正向电阻时,用 $R \times 100$ 挡测出的电阻值小,而用 $R \times 1 \text{ k}\Omega$ 挡测出的电阻值大,这是为什么?

解:二极管是典型的非线性电阻元件,正向伏安特性曲线是弯曲的,如题解图14.01所示。用万用表测得的二极管电阻是其直流电阻,即工作点电压与电流的比值,当工作点变化时,电阻值也发生变化。万用表 $R \times 100$ 挡的内阻小,测量时流过二极管的电流大,相当于工作在曲线的 Q_2 工作点,而 $R \times 1 \text{ k}\Omega$



题解图 14.01

挡的内阻大,流过二极管的电流小,相当于工作在 Q_1 工作点。工作点的直流电阻可由通过该点和原点的直线斜率来确定,斜率越大电阻越小。所以用大电阻挡测得的二极管正向电阻会较大。

14.3.4 怎样用万用表判断二极管的正极和负极以及管子的好坏?

解:由二极管伏安特性可知,二极管正向导通的电阻较小,而反向电阻很大。将万用表的两只表笔接在二极管的两端,用电阻挡测量,如果黑表笔(电源的正极)接二极管的阳极,红表笔(电源的负极)接二极管的阴极,这时会测得一较小阻值的电阻,如果反接会测得一较大阻值的电阻(注:本书均以指针式万用表为例,数字式万用表在测量电阻和二极管时,注意红表笔为内部电源的正极)。

14.3.5 把一个 1.5 V 的干电池直接接到(正向接法)二极管的两端,会不会发生什么问题?

解:由二极管伏安特性可知:二极管的正向导通压降 U_D 只有零点几伏,如果没有串联限流电阻,就会有 $(1.5 - U_D)$ V 的电压降落在很小的电源内阻和导线电阻上,二极管会因为电流过大而发热严重,直至损坏。

14.3.6 在某电路中,要求通过二极管的正向平均电流为 80 mA,加在上面的最高反向电压为 110 V,试从教材附录 B 中选用一个合适的二极管。

解:选择普通整流二极管时,二极管的最大整流电流 I_F 和反向工作峰值电压 U_{RWM} 是两个最主要的参数。手册中的参数是在特定的测试条件下给出的,选择时应考虑到实际电路工作条件(主要是温度)的不同,留有一定的余量,减额使用。比如选择 I_F 至少大于实际通过的正向平均电流 10% 以上,由于 U_{RWM} 通常规定为反向击穿电压的一半或三分之二,所以选择 U_{RWM} 略高于或等于实际工作时二极管的最高反向电压。本题中可以选用 2CZ52D,其最大整流电流为 100 mA,反向工作峰值电压为 200 V。

14.3.7 在图 14.3.6 所示的两个电路中,已知直流电压 $U_1 = 3$ V, $R = 1$ k Ω ,二极管的正向压降为 0.7 V,试求 U_0 。

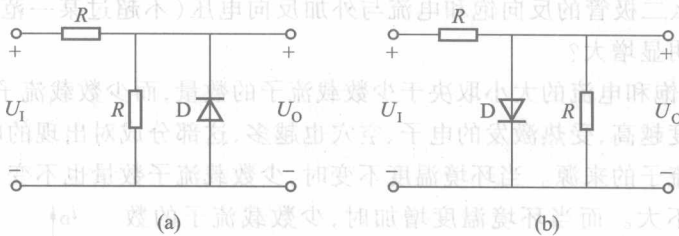


图 14.3.6 练习与思考 14.3.7 的图

解:在图 14.3.6(a) 中,二极管 D 因承受反向电压而截止,输出电压取决于与之并联的电阻 R 上的电压,此时

$$U_0 = \frac{1}{2}U_1 = 1.5 \text{ V}$$

在图 14.3.6(b) 中,二极管 D 因正向偏置而导通,输出电压被钳位,此时 $U_0 = 0.7 \text{ V}$

14.3.8 图 14.3.7(a) 所示是一二极管削波电路,设二极管的正向压降可忽略不计,当输入正弦电压 $u_i = 10\sin\omega t$ V [波形如图 14.3.7(b) 所示] 时,试画出输出电压 u_o 的波形。

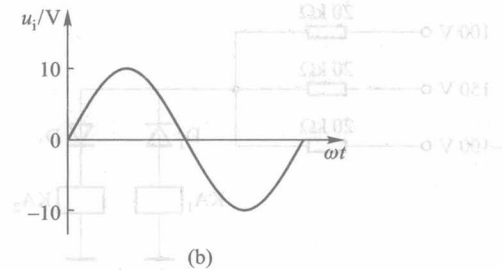
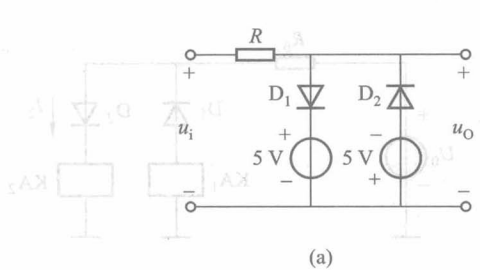
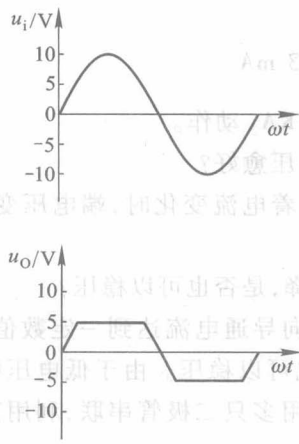


图 14.3.7 练习与思考 14.3.8 的图

解:当输入电压 $u_i > 5\text{ V}$ 时,二极管 D_1 导通,输出电压 u_o 被钳位在 5 V ;
 当输入电压 $u_i < -5\text{ V}$ 时,二极管 D_2 导通,输出电压 u_o 被钳位在 -5 V ;
 对应输入电压 u_i 的输出电压 u_o 波形如题解图 14.02 所示。

14.3.9 电路如图 14.3.8 所示,试求电流 I_0 。设二极管的正向压降可忽略不计。



题解图 14.02

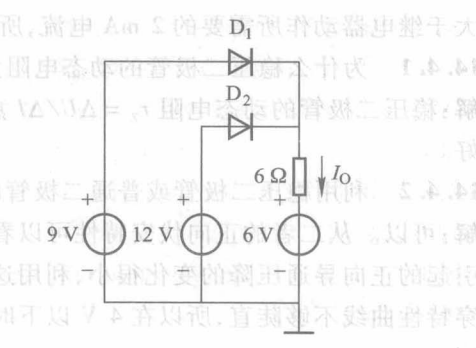


图 14.3.8 练习与思考 14.3.9 的图

解:共阴极连接的二极管 D_1 和 D_2 ,阳极电位相对较高的那只二极管优先导通。图 14.3.8 所示电路中, D_2 的阳极电位为 12 V ,高于 D_1 的阳极电位(9 V), D_2 导通后,阴极电位被钳位于 12 V ,阳极电位较低的二极管 D_1 承受反向电压而截止。忽略二极管的正向导通压降,则

$$I_0 = \frac{12 - 6}{6} \text{ A} = 1 \text{ A}$$

14.3.10 在图 14.3.9 所示的电路中,哪只二极管导通? 哪个继电器动作? 设两个继电器的线圈电阻均为 $10\text{ k}\Omega$,当流过其上的电流大于 2 mA 时才能动作,并设二极管的正向压降可忽略不计。

解:根据电路理论可知,图 14.3.9 所示电路可以等效为题解图 14.03 所示的电路。其中, U_0 和 R_0 的串联电路是图 14.3.9 中左半部分线性电路的戴维宁等效电路。根据戴维宁定理可计算 U_0 和 R_0 的大小如下

$$U_0 = \frac{\frac{100}{20} + \frac{150}{20} - \frac{100}{20}}{\frac{1}{20} + \frac{1}{20} + \frac{1}{20}} \text{ V} = 50 \text{ V}$$

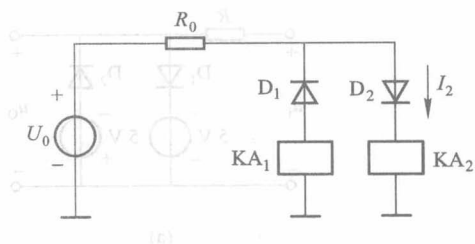
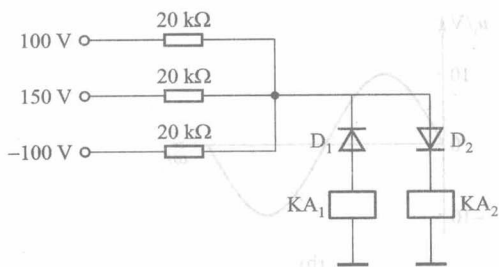


图 14.3.9 练习与思考 14.3.10 的图 题解图 14.03

$$R_0 = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{1}{20} + \frac{1}{20}} \text{ k}\Omega \approx 6.7 \text{ k}\Omega$$

由 U_0 的极性和大小可知,二极管 D_1 截止,继电器 KA_1 不动作。二极管 D_2 导通,通过继电器 KA_2 线圈的电流为

$$I_2 = \frac{50}{6.7 + 10} \text{ mA} = 3 \text{ mA}$$

大于继电器动作所需要的 2 mA 电流,所以继电器 KA_2 动作。

14.4.1 为什么稳压二极管的动态电阻愈小,则稳压愈好?

解:稳压二极管的动态电阻 $r_z = \Delta U / \Delta I$ 愈小,意味着电流变化时,端电压变化愈小,稳压效果愈好。

14.4.2 利用稳压二极管或普通二极管的正向压降,是否也可以稳压?

解:可以。从二者的正向伏安特性可以看出,当正向导通电流达到一定数值以后,电流的变化所引起的正向导通压降的变化很小,利用这一特性也可以稳压。由于低电压稳压二极管的反向击穿特性曲线不够陡直,所以在 4 V 以下时,一般采用多只二极管串联,利用其正向导通特性来稳压。

14.4.3 图 14.4.4(a) 所示是一稳压二极管削波电路,设稳压二极管 D_{z1} 和 D_{z2} 的稳定电压均为 5 V,两管的正向压降均可忽略不计。当输入正弦电压 $u_i = 10 \sin \omega t \text{ V}$ [波形如图 14.4.4(b) 所示] 时,试画出输出电压 u_o 的波形。

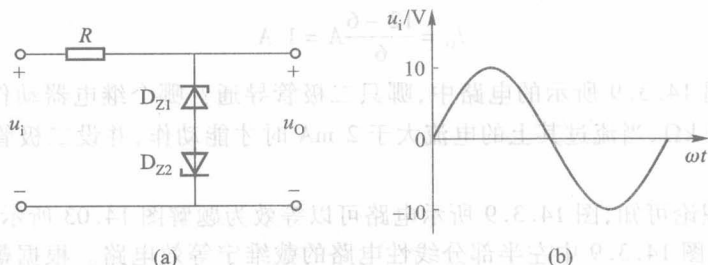
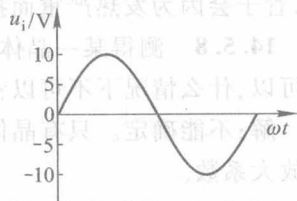


图 14.4.4 练习与思考 14.4.3 的图

解:当输入正弦电压 u_i 的绝对值小于 5 V 时, D_{z1} 和 D_{z2} 均不导通,输出电压 $u_o = u_i$; 当输入电压 $u_i > 5 \text{ V}$ 时, D_{z1} 反向击穿, D_{z2} 正向导通, $u_o = 5 \text{ V}$; 当输入电压 $u_i < -5 \text{ V}$ 时, D_{z2} 反向击穿, D_{z1} 正向导通, $u_o = -5 \text{ V}$; 对应输入电压 u_i 的输出电压 u_o 波形如题解图 14.04 所示。

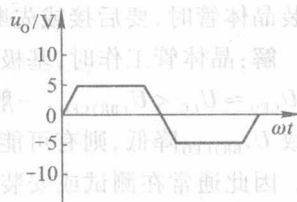
14.5.1 晶体管的集电极和发射极是否可以调换使用?为什么?

解:不可以。首先,晶体管发射区掺杂浓度远远高于集电区,如果将集电极和发射极调换,作为发射区使用的集电区发射的多数载流子数量太少,无法形成比较大的集电极电流,无放大作用。其次,晶体管的发射结反向击穿电压 $U_{(BR)EBO}$ 一般只有几伏,例如常用的小功率 NPN 型晶体管 9013 的 $U_{(BR)EBO}$ 额定值只有 5 V,当电源电压高于 5 V 时,极易造成发射结反向击穿。



14.5.2 晶体管在输出特性的饱和区工作时,其电流放大系数和在放大区工作时是否一样大?

解:从输出特性曲线上看,相对于同样的 I_B 及其变化,在放大区所产生的 I_C 及其变化要大于甚至是远大于在饱和区,这说明在饱和区工作的晶体管的电流放大系数小于在放大区工作的电流放大系数。



题解图 14.04

14.5.3 晶体管具有电流放大作用,其外部和内部条件各为什么?

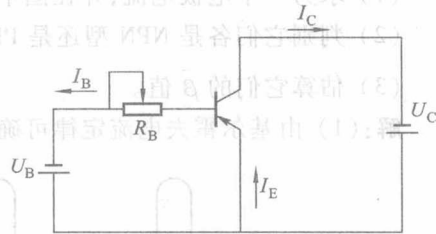
解:晶体管具有电流放大作用的内部条件是基区掺杂浓度低而且制作得很薄,这样在外部条件满足发射结正偏、集电结反偏时,可以保证发射区扩散到基区的大部分多数载流子不被基区的多数载流子(与集电区的多数载流子极性相反)复合,继续扩散到集电结附近,被集电区收集,从而形成较大的集电极电流。

14.5.4 为什么晶体管基区掺杂浓度小而且做得很薄?

解:基区掺杂浓度小,可以减小从发射区扩散过来的多数载流子与基区的多数载流子(注意二者极性不同)复合的机会,而基区做得薄可以保证没被复合的多数载流子很快到达集电结边缘,从而有利于提高晶体管的电流放大能力。

14.5.5 将一 PNP 型晶体管接成共发射极电路,要使它具有电流放大作用, U_C 和 U_B 的正、负极应如何连接?为什么?画出电路图。

解: E_C 和 E_B 的正、负极连接如题解图 14.05 所示,外加电压必须保证发射结正偏、集电结反偏,才能使晶体管具有电流放大能力。



题解图 14.05

14.5.6 有两只晶体管,一只管子 $\beta = 50, I_{CBO} = 0.5 \mu A$;另一只管子 $\beta = 150, I_{CBO} = 2 \mu A$,如果其他参数一样,选择哪只管子较好?为什么?

解:选 $I_{CBO} = 0.5 \mu A$ 的管子较好,因为 I_{CBO} 受温度影响大,其值越大,温度稳定性越差。

14.5.7 使用晶体管时,只要(1)集电极电流超过 I_{CM} 值;(2)耗散功率超过 P_{CM} 值;(3)集-射极电压超过 $U_{(BR)CEO}$ 值,晶体管就必然损坏。上述几种说法是否都是对的?

解:上述三种说法中,(1)不正确,(2)、(3)正确。第(1)种情况下,集电极电流超过 I_{CM} 时,会引起电流放大系数的下降,只要集电极损耗功率不超过 P_{CM} ,就不会损坏晶体管;第(2)种情况

下,管子会因为发热严重而损坏;第(3)种情况下,晶体管因电压击穿而损坏。

14.5.8 测得某一晶体管的 $I_B = 10 \mu\text{A}$, $I_C = 1 \text{mA}$, 能否确定它的电流放大系数? 什么情况下可以, 什么情况下不可以?

解: 不能确定。只有晶体管工作在线性区的时候, 才可以根据该组测量数据估算晶体管的电流放大系数。

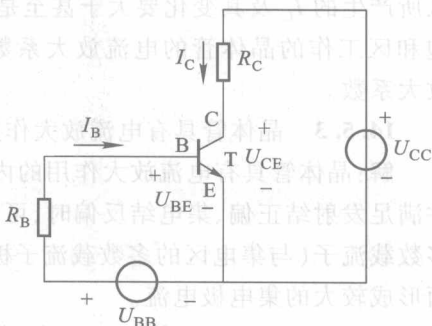
14.5.9 晶体管在工作时, 基极引线万一断开, 为什么有时会导致管子损坏(通常在测试或安装晶体管时, 要后接或先断集电极)?

解: 晶体管工作时, 基极引线万一断开, 则基极电流为零, 集电极电流为 I_{CE0} , $U_{CE0} \approx U_{CC}$, 如果 $U_{CE0} \approx U_{CC} < U_{(BR)CE0}$, 一般不会损坏管子; 但如电源电压选取不合适或者晶体管在高温下工作导致 $U_{(BR)CE0}$ 降低, 则有可能使 $U_{CE0} \approx U_{CC} > U_{(BR)CE0}$, 从而造成 C、E 间的反向击穿, 导致管子损坏。因此通常在测试或安装晶体管时, 要后接集电极或先断集电极。

14.5.10 晶体管放大电路如图 14.5.9 所示。(1) 如 U_{CC} 、 U_{BB} 、 R_C 不变, 减小 R_B 时, I_B 、 I_C 、 U_{CE} 作何变化? (2) 如 U_{CC} 、 U_{BB} 、 R_B 不变, 减小 R_C 时, I_B 、 I_C 、 U_{CE} 作何变化?

解: 将图 14.5.9 重画于题解图 14.06。

(1) 仅减小 R_B 时, $I_B = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_B}$ 会随之持续增加。 I_C 也随之成比例(β 倍)地增加。 $U_{CE} = U_{CC} - R_C I_C$ 随之减小。但是当 U_{CE} 减小到接近于 0 V 时, 晶体管进入输出特性曲线的饱和区, 尽管 I_B 增加, I_C 和 U_{CE} 也会维持基本不变。



题解图 14.06

(2) 仅减小 R_C 时, I_B 和 I_C 均保持不变, $U_{CE} = U_{CC} - R_C I_C$ 会随之增加到接近于 U_{CC} 为止。

14.5.11 测得工作在放大电路中两只晶体管的两个电极电流如图 14.5.15 所示。

- (1) 求另一个电极电流, 并在图中标出实际方向。
- (2) 判别它们各是 NPN 型还是 PNP 型, 并标出 E、B、C 电极。
- (3) 估算它们的 β 值。

解: (1) 由基尔霍夫电流定律可确定另一个电极电流的大小和方向如题解图 14.07 所示。

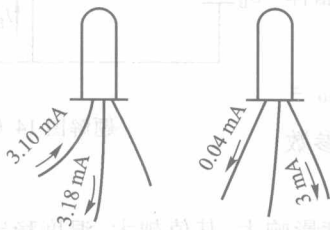
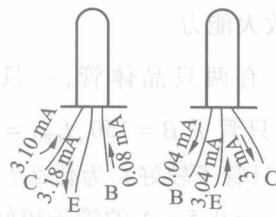


图 14.5.15 练习与思考 14.5.11 的图



题解图 14.07

(2) 根据晶体管的三个电极中基极电流最小、发射极电流最大以及基极电流的实际方向, 可以确定: 左边的晶体管是 NPN 型, 右边的晶体管是 PNP 型。E、B、C 各电极如题解图 14.07 所示。