



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套用书



电工学(电子技术)导学 题解与实验指导

● 白明 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套用书

电工学(电子技术)导学 题解与实验指导

主编 白 明

参编 张 丹 谷笑娜

主审 董传岱



机械工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电工学 (电子技术) 导学题解与实验指导/白明主
编. —北京: 机械工业出版社, 2014. 12
普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套用书
ISBN 978-7-111-48586-5

I. ①电… II. ①白… III. ①电工学-高等学校-教
学参考资料-②电子技术-高等学校-教学参考资料
IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 267508 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 贡克勤 责任编辑: 贡克勤 徐 凡

版式设计: 霍永明 责任校对: 陈秀丽

责任印制: 刘 岚

北京京丰印刷厂印刷

2015 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

140mm×203mm·7.375 印张·206 字

标准书号: ISBN 978-7-111-48586-5

定价: 19.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销 售 一 部: (010)68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部: (010)88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书作者根据当前电子技术发展的趋势和教育部电工电子基础课程教学指导委员会制定的电子技术（电工学Ⅱ）课程教学基本要求，结合长期从事电子技术教学研究和教学改革的经验 and 体会，编写了本教材。

本书是电工学（电子技术）的学习辅导和习题解答教材，与董传岱教授主编的《电工学（电子技术）》（第2版）配套。全书内容符合教育部电工学课程指导组拟定的非电类电工、电子技术系列课程教学大纲的要求，可供广大非电类专业的学生和读者使用。

本书除最后一章外，每章均按两个部分阐述：

- 1) 内容提要 and 基本要求：内容提要以知识点的形式概述每章的基本内容；基本要求将每章知识点按照层次划分要求。
- 2) 学习指导 and 习题解答：学习指导以每章的重点、难点内容的剖析为主；习题解答是针对每章课后习题的知识点对照与题目的详细解答。

电子技术教学内容多而深，实践性强，但当前又受到学时限制，学生学习的难度很大，老师教学的压力也很大。现阶段对于普通院校的学生来讲，理论学习后的应用，无论解题还是实践，都需要一定的必要的补充，应有适合的教材跟进，本书即为了解决此类问题而编纂。书中简明扼要地叙述了典型电路的各种分析计算方法以及各种概念和方法在解题过程中的应用，旨在帮助读者熟练掌握本课程的基本理论知识、重点和难点，灵活运用电路的基本分析计算方法和技巧，扩展解题思路，全面提高应试能力和知识的综合应用能力。针对各章节全部习题给出详细解答，思路清晰、逻辑性强，循序渐进地帮助读者分

析并解决问题，内容详尽、简明易懂。

本书由山东理工大学白明、张丹、谷笑娜编写。其中白明编写了第1章至第13章，张丹和谷笑娜共同编写了第14章和附录。

在本书的编写过程中，董传岱教授一直给予关心和帮助，提出许多建议。本书还得到了山东理工大学电工电子教学部全体老师的大力支持，编者在此一并向他们表示感谢。在编写过程中参阅或引用了部分参考资料，对这些资料的作者，我们也表示衷心的感谢。

鉴于编者的水平有限，书中难免有错误和不当之处，恳切希望使用本书的师生以及其他读者提出批评和宝贵的意见，以便进一步修改和完善。

本书可作为各类高等院校理工科非电类专业学生学习电工学课程的参考用书，也可作为考研的复习用书，还可作为电工学教师教学时的参考用书。

编 者

本书是与董传岱教授主编的《电工学（电子技术）》第2版配套的学习辅导和习题解答教材。全书按主教材内容，针对各章节全部习题给出详细解答，思路清晰、逻辑性强、内容详尽、简明易懂；电子技术基础实验部分包括了各章节典型电路的实验指导，内容充实、实用性强。

本书共14章，具体内容包括：半导体器件的基本知识、基本放大电路、几种常用放大电路、集成运算放大器的应用、正弦波振荡电路、直流电源电路、门电路与组合逻辑电路、常用组合逻辑器件与应用、触发器与时序逻辑电路、常用时序逻辑电路及其应用、数据的存储采集与转换、集成555定时器及其应用、可编程逻辑器件与编程、电子技术基础实验等；除了最后1章为电子技术基础实验外，前13章均按“内容提要”、“基本要求”、“学习指导”、“习题解答”4个方面加以论述。

本书可供本科非电类专业学生或者其他专业人员学习电子技术时选用，亦可供教师教学参考。

目 录

前言

第1章 半导体器件基础知识	1
1.1 内容提要与基本要求	1
1.2 学习指导与习题解答	6
第2章 基本放大电路	15
2.1 内容提要与基本要求	15
2.2 学习指导与习题解答	17
第3章 几种常用的放大电路	31
3.1 内容提要与基本要求	31
3.2 学习指导与习题解答	34
第4章 集成运算放大器的应用	46
4.1 内容提要与基本要求	46
4.2 学习指导与习题解答	48
第5章 正弦波振荡电路	59
5.1 内容提要与基本要求	59
5.2 学习指导与习题解答	60
第6章 直流电源电路	69
6.1 内容提要与基本要求	69
6.2 学习指导与习题解答	71
第7章 门电路与组合逻辑电路	79
7.1 内容提要与基本要求	79
7.2 学习指导与习题解答	81
第8章 常用组合逻辑器件及其应用	95
8.1 内容提要与基本要求	95
8.2 学习指导与习题解答	96
第9章 触发器与时序逻辑电路	108
9.1 内容提要与基本要求	108
9.2 学习指导与习题解答	110

第 10 章 常用时序逻辑电路及其应用	118
10.1 内容提要与基本要求	118
10.2 学习指导与习题解答	119
第 11 章 数据的存储、采集与转换	131
11.1 内容提要与基本要求	131
11.2 学习指导与习题解答	134
第 12 章 集成 555 定时器及其应用	143
12.1 内容提要与基本要求	143
12.2 学习指导与习题解答	144
第 13 章 可编程逻辑器件与编程技术	154
13.1 内容提要与基本要求	154
13.2 学习指导与习题解答	156
第 14 章 电子技术基础实验	163
14.1 常用电子仪器的使用方法与研究	163
14.2 单级放大电路	167
14.3 射极放大电路	171
14.4 功率放大电路研究	173
14.5 集成运算放大器的应用	177
14.6 RC 正弦波振荡电路	181
14.7 直流稳压电源	183
14.8 门电路逻辑功能与测试	186
14.9 组合逻辑电路	190
14.10 译码器和数据选择器	193
14.11 触发器	197
14.12 时序电路测试与研究	200
14.13 D-A 转换器及其应用	203
14.14 555 时基电路的应用.....	207
14.15 数字电子时钟	209
附录	214
附录 A 部分通用/专用集成模拟器件介绍	214
附录 B 模拟试卷与答案	221
参考文献	229

第1章 半导体器件基础知识

本章包含的学习指导、习题解答、实验指导等内容是针对由董传岱教授主编、机械工业出版社出版的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《电工学（电子技术）》第2版（后简称教材）的第1章（第1页至第20页）内容而编写的，可作为教师的教学、实验参考书或作为学生的学习、实验指导书与教材配套使用。

1.1 内容提要与基本要求

本小节对教材第1章的知识点进行概括说明，并对知识点的掌握提出基本的要求。

1.1.1 内容提要

按照知识点在教材中出现的顺序，本章知识点可概括为以下内容：

1) 本征半导体的概念：本征半导体即纯净的、不含杂质的具有晶体结构的半导体。

2) 空穴的概念：电子激发后变为自由电子，共价键中留下的空位称为空穴。空穴可由其他电子填补，空穴运动方向与电子相反。

3) 电子-空穴对的概念：纯净半导体中电子和空穴是成对产生、成对消失的，称为电子-空穴对。

4) 半导体的三个导电特性：分别是热敏特性、光敏特性及掺杂特性。

5) N型半导体的概念：本征半导体中掺入五价元素形成的杂质半导体，也叫电子型半导体。

6) 多子和少子的概念：掺杂后，N型半导体中自由电子的浓度远远高于空穴的浓度，即自由电子是多子，空穴是少子。

7) P型半导体的概念：本征半导体中掺入三价元素形成的杂

质半导体，也叫空穴型半导体。

8) PN 结的形成：P 型半导体和 N 型半导体交界面上形成的只有不能移动的离子的一个区域，这个空间电荷区，就是 PN 结。

9) 扩散运动与漂移运动形成的动态平衡：PN 结形成后，扩散运动与漂移运动并未停止，而是形成了大小相同、方向相反的平衡状态，宏观上即 PN 结稳定不再变化。

10) PN 结的单向导电性：即 PN 结在正偏时（P 正 N 负）导通，反偏时（N 正 P 负）截止的特性。

11) 二极管的种类：按材料可分为硅管和锗管；按结构可分为点接触型和面接触型。

12) 二极管的伏安特性：即二极管两端的电压与二极管流过的电流之间的关系曲线。

13) 二极管的死区电压：二极管两端外加电压很小时，二极管并不导通，这段特性称为死区，硅管的死区电压典型值为 0.5V。

14) 二极管的导通电压：二极管导通后，正向电流变化较大时，二极管两端电压变化很小，称为导通电压。

15) 反向饱和电流：在反向特性中，在一定范围内不变的数值很小的反向电流称为反向饱和电流。

16) 二极管的击穿：二极管承受反向电压过高，反向电流将急剧增大，二极管被击穿。

17) 二极管的最大整流电流：即二极管长期工作时所允许流过管子的最大正向平均电流。

18) 最高反向工作电压：正常工作时，允许外加最大反向电压。

19) 二极管的反向电流：室温条件下，外加规定反向电压时流过管子的反向电流。

20) 稳压管的概念：稳压管是一种特殊的二极管，与适当电阻配合时，可以起稳定电压的作用。

21) 稳压管稳压的原理：反向击穿后，稳压管电流变化很大但两端电压变化很小，利用这一特性，稳压管才能起稳压作用。

22) 稳压管的稳定电压：稳压管正常工作下管子两端的电压。

23) 电压温度系数: 稳压管稳定电压受温度变化的影响的大小。

24) 动态电阻: 稳压管两端电压变化量与相应的电流变化量的比值。

25) 稳定电流: 这是一个参考数值, 稳压管工作电流低于该值时, 稳压性能变差。

26) 最大允许耗散功率: 管子不发生热击穿时所允许的最大损耗。

27) 晶体管的种类: 按材料可分为硅管和锗管; 按结构可分为 NPN 型和 PNP 型。

28) 晶体管的结构: 可概括为三区、两结、三引脚。三区分别是基区、集电区、发射区。两结分别是发射结和集电结。三引脚分别是基极、发射极、集电极。

29) 晶体管的符号: 晶体管符号中箭头方向与对应类型晶体管静态发射极电流方向一致。

30) 晶体管的电流分配关系: 发射极电流等于基极电流与集电极电流之和。较小的基极电流变化可引起较大的集电极电流变化。

31) 晶体管内部载流子的运动: 考虑主要因素时, 可总结为发射区发射电子形成发射极电流; 基区复合电子形成基极电流; 集电区吸引收集电子形成集电极电流。

32) 晶体管的电流放大系数: 定义为集电极电流与基极电流的比值。

33) 晶体管的输入特性: 集电极电压不变时, 基极电流与基极-发射极间电压的关系。

34) 晶体管的输出特性: 基极电流不变时, 集电极电流与集电极-发射极间电压的关系。

35) 截止区的特点: 晶体管不导通, 发射结反偏, 集电结反偏, 基极电流和集电极电流约等于零, 晶体管的管压降最大, 并趋向于直流电源。

36) 放大区的特点: 晶体管导通, 发射结正偏, 集电结反偏,

集电极电流是基极电流的 β 倍。

37) 饱和区的特点：晶体管导通，发射结正偏，集电结正偏，晶体管的管压降很小趋向于零。

38) 集-基反向饱和电流：发射极开路时，集电极与基极间的反向电流。

39) 集-射反向饱和电流：基极开路时，集电极与发射极间的反向电流。

40) 集电极最大允许电流：晶体管电流放大系数下降为正常值三分之二时对应的集电极电流。

41) 集-射反向击穿电压：基极开路时，集电极与发射极间的最大反向电压。

42) 集电极最大允许耗散功率：电流流过集电极时会发热，集电极允许消耗的最大功率称为集电极最大允许耗散功率。

43) 发光二极管：简称 LED，是能将电能转化为光能的特殊二极管。

44) 光敏二极管：一种受光器件，可将光能转化为电能。

45) 光耦：光耦合器的简称，常用作光电隔离。

46) FET 的概念：利用电场效应来控制电流的半导体器件。

47) N 沟道增强型绝缘栅场效应晶体管：外加栅极电压足够大，感生出 N 型导电通道，在源极和漏极之间形成导电通道的 FET。

48) 转移特性：即输入栅-源电压对漏极电流的控制作用。

49) 耗尽型绝缘栅场效应晶体管：本身具有导电通道，可在外加电压控制下使其消失的 FET。

50) 饱和漏极电流：耗尽型绝缘栅场效应晶体管的重要参数。

51) 夹断电压：耗尽型绝缘栅场效应晶体管导电通道夹断，漏极电流非常微小时对应的栅-源电压。

52) 开启电压：增强型绝缘栅场效应晶体管的重要参数，指的是能使导电通道出现的临界栅-源电压。

53) 直流输入电阻：定义为栅-源电压与栅极电流之比。

54) 低频跨导：这是衡量 FET 栅-源电压对漏极电流控制作用

的重要参数,它表征了漏极电流变化量与栅源电压变化量的比值,

$$\text{定义式为 } g_m = \frac{\Delta i_D}{\Delta u_{GS}}。$$

55) 场效应晶体管与晶体管的比较:场效应晶体管是压控型的单极型半导体器件,输入阻抗高,噪声小,便于大规模集成;晶体管是流控型的双极型半导体器件,输入阻抗小,噪声较大。

1.1.2 基本要求

以上知识点按照课程基本要求分为两个层次:了解或基本应用层次以及理解或熟练应用层次。显然,理解或熟练应用层次对知识点的掌握要求更高、更严格,它是针对一些难点、重点提出的必要要求。本书的读者可按照自身学习要求、学时数等客观条件做出适合自己的调整。

本章节包含的了解或基本应用层次的知识点有:本征半导体的概念;空穴的概念;电子-空穴对的概念;半导体的三个导电特性;N型半导体的概念;多子和少子的概念;P型半导体的概念;PN结的形成;扩散运动与漂移运动形成的动态平衡;晶体管的电流分配关系;晶体管内部载流子的运动;晶体管的输入特性;发光二极管;光敏二极管;光耦;FET的概念;N沟道增强型绝缘栅场效应晶体管;转移特性;耗尽型绝缘栅场效应晶体管;饱和漏极电流;夹断电压;开启电压;直流输入电阻;低频跨导;场效应晶体管与晶体管的比较。

本章节包含的理解或熟练应用层次的知识点有:PN结的单向导电性;二极管的电路符号;二极管的伏安特性;二极管的死区电压;二极管的导通电压;反向饱和电流;二极管的击穿;二极管的最大整流电流;最高反向工作电压;二极管的反向电流;稳压管的符号;稳压管稳压的原理;稳压管的稳定电压;电压温度系数;动态电阻;稳定电流;最大允许耗散功率;晶体管的种类;晶体管的结构;晶体管的符号;晶体管的电流放大系数;晶体管的输出特性;截止区的特点;放大区的特点;饱和区的特点;集-基反向饱和电流;集-射反向饱和电流;集电极最大允许电流;集-射反向击穿电压;集电极最大允许耗散功率。

1.2 学习指导与习题解答

学习指导和习题解答主要针对电路的分析计算方法、计算过程中注意的问题，以及部分容易错误理解的知识点而编写，目的是帮助读者熟练掌握基本分析方法和技能。

1.2.1 学习指导

1) PN 结形成后，杂质半导体中的自由载流子的运动并未停止，N 型半导体中的多子自由电子仍然向 P 型区扩散，与此同时，P 型区的少子电子在 PN 结内建电场作用下向 N 型区漂移，当两者相同时，宏观表现为 PN 结形成。

2) 二极管的击穿电压参数容易产生误解，实际应用中，该参数留有较大余量，一般将实际击穿电压值的一半标定为二极管的击穿电压，所以二极管反向击穿会损坏的说法是不妥的。

3) 在分析二极管构成的电路时，由于 PN 结具有单向导电性，所以一般首先要判断二极管是导通状态还是截止状态。判断方法是：假设二极管断开后，分别计算二极管阳极和阴极的电位值，若二极管阳极一侧电位高于阴极一侧电位则二极管导通，若二极管阳极一侧电位低于阴极一侧电位则二极管不导通。

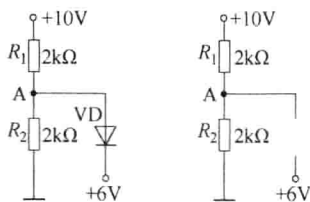


图 1.1 二极管工作状态判定

例如如图 1.1 所示电路中，先将二极管断路，此时可计算出 A 点电位为 5V。那么，二极管阳极一侧电位 5V 低于阴极一侧电位 6V，因此二极管不导通。

4) 对二极管构成的电路分析时，可以使用图解法，在二极管伏安特性曲线的基础上作图分析，但是图解法分析电路比较麻烦。也可以使用二极管的特性方程构造方程组来解题或分析电路，但这种方法计算比较困难。在实际应用中，电路参数的分析计算未必非常精确才能解决相应的实际问题或需求，这种工程应用上允许存在一定微小误差的特点，使得我们分析计算时，可简化二极管的特性，达到更方便分析计算的目的。常用的二极管简化模型有理想模

型和恒压降模型两种。所谓二极管的理想模型是指二极管正向导通时,相当于开关闭合,分析时可用导线替代二极管;反向截止时,二极管相当于开关断开,电流为零,可按断路分析。恒压降模型与理想模型的区别就在于正向导通时,恒压降模型还要考虑二极管的导通电压,一般硅管取固定值 0.7V ,锗管取固定值 0.2V 。当然,解题时若题目给定其他值,比如说二极管管压降 0.6V ,那么读者应该按照给定值求取结果。例如图 1.2 所示电路中,二极管按照理想模型计算时,二极管 VD 导通相当于导线,则 AB 之间电压为 -5V ;当按照恒压降模型计算时,AB 之间电压为 -5.7V 。

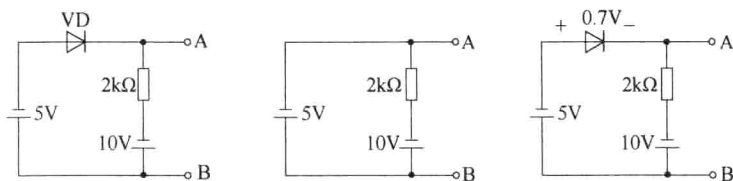
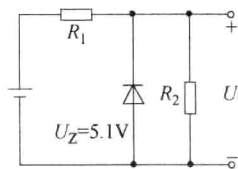


图 1.2 二极管理想模型和恒压降模型的应用

5) 稳压管是一种特殊的二极管,因此在使用稳压管或分析稳压管构成的电路时,与普通二极管的分析方法是不一样的。首先,稳压管能起稳压作用,在电路连接时要注意:一是稳压管要反接,反接才有可能工作在击穿状态;二是因其工作电流较大,要接限流保护电阻,防止器件损坏;三是要与负载并联,才能将稳压管两端电压输出的稳定电压提供给负载。然后,电路中参数要合理,才能保证稳压管的正常工作。如图 1.3 所示电路中,稳压管参数稳定电压



$U_Z = 5.1\text{V}$,若直流电源的电压小于 5.1V ,图 1.3 稳压管电路分析则无论电阻 R_1 和电阻 R_2 阻值如何,稳压管都不可能击穿,也就不可能输出稳定电压。若直流电源为 12V ,电阻 R_1 阻值为 $2\text{k}\Omega$,电阻 R_2 阻值为 $1\text{k}\Omega$,此时假设稳压管断路,则可算得电压 U 为 4V ,该电压小于 5.1V ,因此稳压管无法反向击穿。若直流电源为 12V ,电阻 R_1 阻值为 $0.5\text{k}\Omega$,电阻 R_2 阻值为 $1\text{k}\Omega$,此时假设稳压

管断路,则可算得电压 U 为 8V ,该电压大于 5.1V ,因此稳压管才会反向击穿,输出稳定电压 5.1V 。

6) 晶体管的特性更为复杂,在晶体管的输出特性曲线中划分了三个区,分别是截止区、饱和区、放大区,对应晶体管的截止、饱和、放大三种状态。因此,分析电路时经常需要判定晶体管的工作状态。判定方法如下:若晶体管发射结处于反偏则可判定晶体管处于截止状态;若晶体管发射结处于正偏,同时集电结处于反偏,则可判定晶体管处于放大状态;若晶体管发射结处于正偏,同时集电结处于正偏,则可判定晶体管处于饱和状态。如图 1.4 所示电路中,已知晶体管均为硅管,用以上判定方法可得: V_1 管基-射电压为 0.7V ,即 V_1 管发射结正偏,而 V_1 管基-射电压为 -5.3V ,即 V_1 管集电结反偏,因此 V_1 管处于放大状态; V_2 管基-射电压为 -3V ,即 V_2 管发射结反偏,而 V_2 管基-集电压为 -3V ,即 V_2 管集电结反偏,因此 V_2 管处于截止状态; V_3 管基-集电压为 0.75V ,即 V_3 管发射结正偏,而 V_3 管基-射电压为 0.45V ,即 V_3 管集电结正偏,因此 V_3 管处于饱和状态。

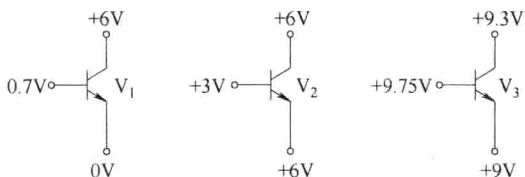


图 1.4 晶体管状态的判定

1.2.2 习题解答

1-1 若使用万用表的欧姆档来测量二极管的正向电阻时,用 $\times 100\Omega$ 档测出的阻值和用 $\times 1\text{k}\Omega$ 档测出的阻值是否相同? 如果阻值不相同,请说明理由?

解: 该题目主要针对二极管伏安特性曲线这个知识点,答案为测量结果不同。因为测量电阻时,相当于在二极管两端外接了固定的直流电源 V_{CC} 和变化的串联电阻 R ,而且 $\times 100$ 档比 $\times 1000$ 档串

的电阻要小。因此, 根据测量电路可得, $I_D = \frac{V_{CC} - U_D}{R}$ 。显然 R 越

小, 该式对应直线斜率越大, 与二极管特性曲线的交点越靠上, 交点处切线的斜率越大, 对应二极管的电阻越小。因此 $\times 100$ 档比 $\times 1000$ 档测得的电阻偏小, 这是因为二极管是非线性器件。

1-2 有两只晶体管, 一只晶体管的 $\beta = 80$, $I_{CBO} = 0.4\mu A$; 另一只晶体管的 $\beta = 120$, $I_{CBO} = 2\mu A$ 。如果其他参数一样, 选用哪一个管子较好, 为什么?

解: 该题目主要针对晶体管参数的意义这个知识点, 答案为选取第一只管子较好。第二只管子虽然 β 较大, 但是由于其 I_{CBO} 远大于第一只管子, 而 I_{CBO} 表征了晶体管温度稳定性, 其值越小越好, 因此选取第一只管子较好。

1-3 电路如图 1.5 所示, 试计算各个电路的输出电压 (设二极管导通电压 $U_D = 0.6V$)。

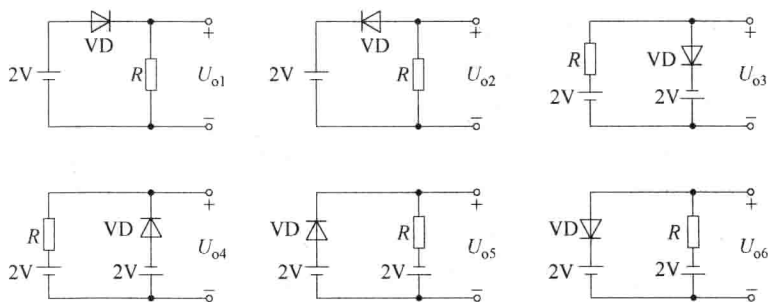


图 1.5 习题 1-3 的图

解: 该题目主要针对二极管单向导电性这个知识点, 答案为 $U_{o1} = 1.4V$ (二极管导通); $U_{o2} = 0V$ (二极管截止); $U_{o3} = 2V$ (二极管截止); $U_{o4} = 1.4V$ (二极管导通); $U_{o5} = 1.4V$ (二极管导通); $U_{o6} = -2V$ (二极管截止)。

1-4 已知稳压管的稳定电压 $U_Z = 5V$, 试计算图 1.6 所示电路中 U_{o1} 和 U_{o2} 各为多少。

解: 该题目主要针对稳压管的稳压特性以及稳压条件这个知识