

AXUESHENG ZHI YOU

电子电路 解题分析_上

江苏科学技术出版社

电子电路解题分析

上册

宁新宝 陈广余 吴月珠 编
鲍家善 沈振宇 审

出版：江苏科学技术出版社

发行：江苏省新华书店

印刷：南通稻舂印刷厂

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 14.625 字数 320,000

1983 年 12 月第 1 版 1983 年 12 月第 1 次印刷

印数 1-22,700 册

书号 13196·153 定价 1.75 元

责任编辑 许顺生

《大学生之友》丛书出版说明

大学理工科的学生，包括电视大学、职工大学的学生，以及自学大学理工科课程的青年同志，在学习过程中往往要演算大量的习题，以加深对课程内容的理解和记忆。但在解题时，经常会遇到各种各样的困难。《大学生之友》丛书就是为了帮助他们提高解题能力，熟练演算技巧，牢固地掌握学科知识而出版的。

丛书以解题分析为主。为了便于阅读，每节首先简要介绍有关的概念、定律和公式。然后，用较大的篇幅选择有代表性的例题进行剖析，交代解题的思路，归纳解题的规律，指出必须注意的事项。最后，附以适量的习题，并提供答案或提示。

丛书内容密切配合大学教材，选题以数理化基础课和专业基础课为主，兼顾各专业课。各书的出版时间，也基本上按此顺序安排，逐步配套。

我们的愿望，想使这套丛书成为大学生喜爱的“朋友”。能否如愿，还有待于广大师生的检验。我们诚恳地欢迎读者对每一本书提出宝贵意见，使它们成为名副其实的“大学生之友”。

江苏科学技术出版社

代 序

电子电路是高等院校有关专业的必修课程。和数理化等基础课程不同，电子电路在最近三十年来发展极快，新型元件、器件、系统不断涌现，新的应用日益广泛，而且这种势头正方兴未艾。这就要求初学者不但能系统地掌握电子电路的基本知识，而且对常见的电子电路能进行分析与计算。

为了帮助学生学好这门课程，同时也为老师们提供一本辅导教材，南京大学物理系应用电子学教研室的宁新宝、陈广余、吴月珠三位同志编写了这份辅导教材。此书是他们在多年教学的基础上编写的。

全书共十一章。上册为晶体二极管的基本特性，晶体三极管和低频放大器，晶体管低频功率放大器，负反馈放大器，场效应管放大器，直流放大器和运算放大器这六章，下册为选频放大器，正弦波振荡器，频率变换，直流电源，脉冲与数字电路这五章及附录。其中有些内容，国内教材中尚不多见。例如，晶体二极管的图解与分析方法，用统一公式计算负反馈放大器，场效应管放大器的计算，直流放大器静态工作点的计算，各种LC振荡器运用统一公式计算振荡频率和起振条件，非线性电路的计算，晶体整流电路的计算，部分稳压电路稳定度的计算等的内容，都颇具特色。

考虑到不少初学者在解题时经常会遇到这样或那样的困难，特别是那些通过自学方式学习的读者遇到的困难会更多一些，此书每章开头都对有关基本原理与公式作出简要的叙

述，然后再应用它来进行解题分析，最后作一小结，条理清晰，自成体系。

从习题安排来看，作者考虑到了循序渐进，先易后难。

从内容来看，所选例题都是常见的典型线路，类型较全，实用性强，体现了理论联系实际的原则。

鉴于当前已出版的电子电路教材只讲原理，很少举例，更无详细题解，因此，出版本书，对于帮助学生深入理解电子电路课程内容，培养分析电路与设计电路的能力，会有一定裨益。

本书不仅可供学生学习电子电路课程阅读，亦可供从事电子电路工作的工程技术人员参考。

鲍家善写于南京

1981年9月

目 录

第一章 晶体二极管的基本特性

§ 1—1	PN结的单向导电性	1
一、	原理与公式	1
二、	解题与分析	2
三、	小结	13
§ 1—2	PN结的伏安特性	13
一、	原理与公式	13
二、	解题与分析	15
三、	小结	19
§ 1—3	求解二极管工作状态的两种方法——图解法和等效电路法	20
一、	原理与公式	20
二、	解题与分析	21
三、	小结	33
§ 1—4	二极管的极限参数	33
一、	原理与公式	33
二、	解题与分析	33
三、	小结	38
习题		38
答案与提示		43

第二章 晶体三极管和低频放大器

§ 2—1	晶体三极管	45
一、	原理与公式	45

二、解题与分析	48
三、小结	54
§ 2—2 晶体管低频放大器	55
一、原理与公式	55
二、解题与分析	61
三、小结	104
§ 2—3 单级阻容耦合放大器的频率特性	104
一、原理与公式	104
二、解题与分析	110
三、小结	123
§ 2—4 多级放大器	124
一、原理与公式	124
二、解题与分析	125
三、小结	146
习题	147
答案与提示	163

第三章 晶体管低频功率放大器

§ 3—1 单管甲类功率放大器	169
一、原理与公式	169
二、解题与分析	170
§ 3—2 乙类推挽功率放大器	183
一、原理与公式	183
二、解题与分析	185
§ 3—3 无变压器功率放大器	196
一、原理与公式	196
二、解题与分析	199
本章小结	209

习题	209
答案与提示	213

✓第四章 负反馈放大器

一、原理与公式	217
二、解题与分析	231
本章小节	301
习题	303
答案与提示	309

✓第五章 场效应管放大器

§ 5—1 结型场效应管的结构和特性	312
一、原理与公式	312
二、解题与分析	317
三、小结	320
§ 5—2 结型场效应管放大器的偏置技术	321
一、原理与公式	321
二、解题与分析	323
三、小结	335
§ 5—3 结型场效应管放大器的分析	337
一、原理与公式	337
二、解题与分析	340
三、小结	360
§ 5—4 MOS场效应管放大器	361
一、原理与公式	361
二、解题与分析	364
三、小结	373

习题	373
答案与提示	377

第六章 直流放大器和运算放大器

§ 6—1 单端式直流放大器	380
一、原理与公式	380
二、解题与分析	382
三、小结	404
√ § 6—2 差动式直流放大器	404
一、原理与公式	404
二、解题与分析	409
三、小结	431
√ § 6—3 运算放大器	432
一、原理与公式	432
二、解题与分析	436
三、小结	446
习题	447
答案与提示	453

第一章 晶体二极管的基本特性

本章主要内容

晶体二极管实质上是一个PN结，它的特性是单向导电性。本章将用若干个例题来进一步阐明二极管单向导电性的应用，并采用图解法和等效电路法来分析求解二极管电路，同时对二极管的极限参数及如何正确使用二极管作些介绍。

§ 1-1 PN结的单向导电性

一、原理与公式

晶体二极管实际上就是一个PN结，其正极为P型半导体，负极为N型半导体。它的电路符号见图1-1-1(a)。

若外加电压的“+”极接二极管的正极(P区)，“-”极接二极管的负极(N区)，二极管被正向偏置，此时二极管导通。若外加电压反过来加，即外加电压的“+”接二极管的负极，“-”接二极管的正极，二极管被反向偏置，此时二极管截止。详见图1-1-1(b)、(c)。

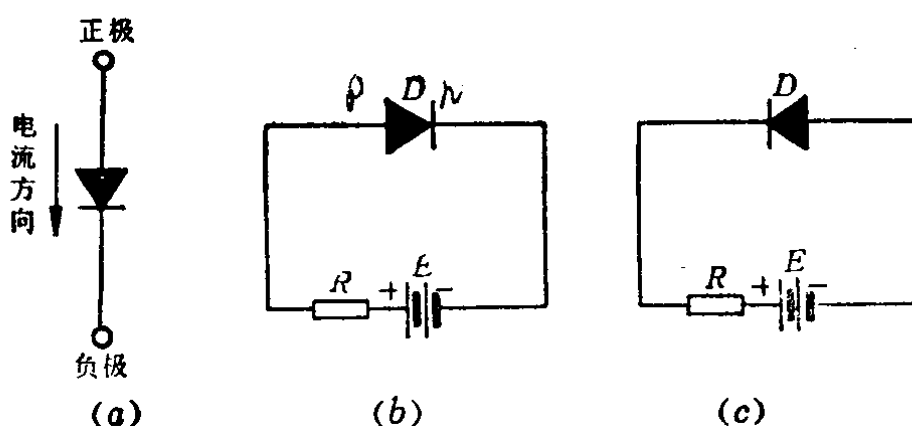


图 1-1-1

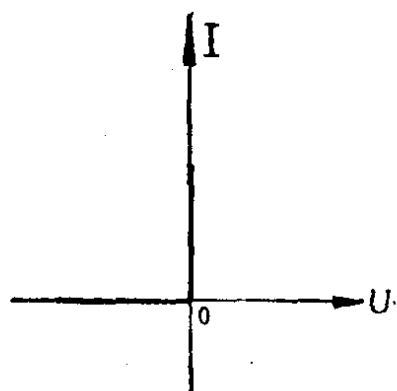


图 1-1-2

理想二极管导通时内阻可忽略不计，相当于开关接通；截止时内阻为无穷大，相当于开关断开。它的伏安特性见图1-1-2。

二、解题与分析

例 1-1-1 图 1-1-3 所示各电路中，二极管为理想二极管，试分析其工作情况并求流过二极管的电流。

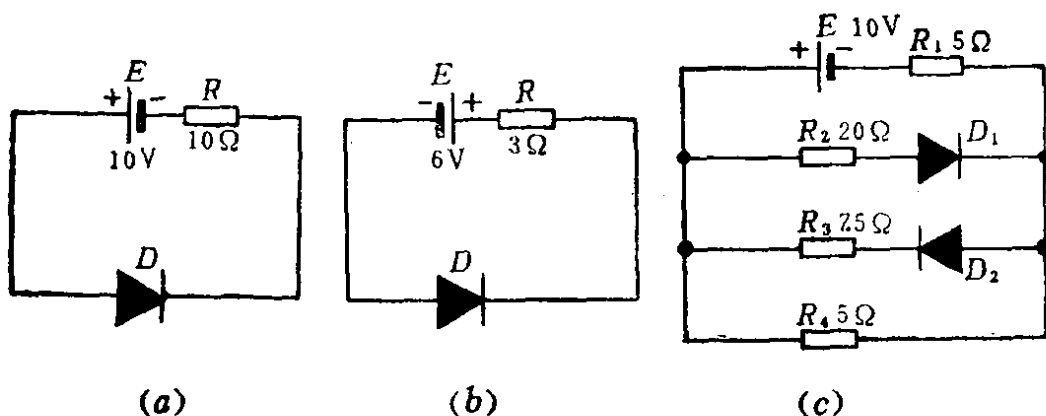


图 1-1-3

解 要分析电路的工作情况，就要抓住关键——二极管的偏置情况。

(1)先分析图 1-1-3(a)电路。由图可见，电源 E 的“+”极接二极管 D 的正极，电源 E 的“-”极通过电阻 R 接二极管 D 的负极，此时二极管 D 被正向偏置而导通。由于假设二极管是理想的，导通时内阻可略去不计，因此电路变形如图1-1-4(a)所示。

由图 1-1-4(a) 可知，流过二极管 D 的电流 I_D 为

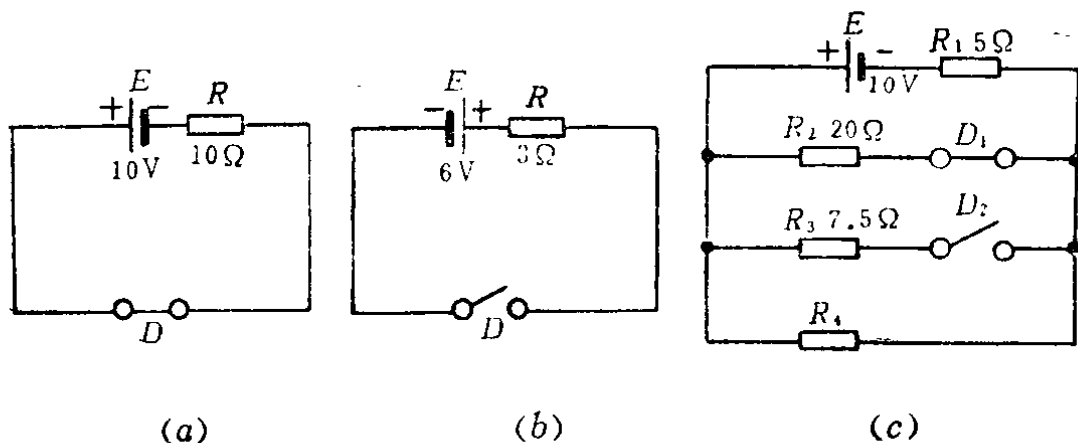


图 1-1-4

$$I_D = \frac{E}{R} = \frac{10}{10} = 1\text{A}$$

(2)分析图 1-1-3(b) 电路。由图可见，电源 E 的“+”极通过电阻 R 接二极管 D 的负极，而电源 E 的“-”极接二极管 D 的正极， D 被反向偏置而截止。由于假设 D 为理想二极管，因此内阻为 ∞ ，电路被断开，如图 1-1-4(b) 所示。于是流过二极管 D 的电流 I_D 就为零。

(3)分析图 1-1-3(c) 电路。电路中有二只二极管，我们逐个来分析它们的偏置情况。

对 D_1 ：电源 E 的“+”极通过电阻 R_2 接 D_1 的正极，“-”极通过电阻 R_1 接 D_1 的负极，故 D_1 因正向偏置而导通，内阻为 0。

对 D_2 ：电源 E 的“+”极通过电阻 R_3 接 D_2 的负极，“-”极通过电阻 R_1 接 D_2 的正极，故 D_2 因反向偏置而截止，内阻为 ∞ ，该支路断开。

根据 D_1 、 D_2 的偏置情况，得出它们的工作状态，从而简化电路如图 1-1-4(c) 所示。由此图可求得

$$I_{D1} = \frac{E}{R_1 + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4}} \cdot \frac{R_4}{R_2 + R_4}$$

$$= \frac{10}{5 + \frac{20 \times 5}{20 + 5}} \cdot \frac{5}{20 + 5}$$

$$= 0.22 \text{ A}$$

$$I_{D2} = 0$$

例 1-1-2 图 1-1-5 中, D_1 和 D_2 为理想二极管, $U_1 > U_2$, 问: 当 u_i 注 $> U_1$ 时, $u_o = ?$ 当 $u_i < U_2$ 时, $u_o = ?$

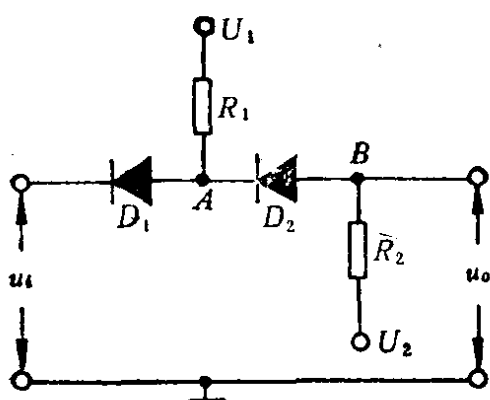


图 1-1-5

解 此题看起来很复杂, 但因为已知几个电位之间的大小关系, 可以依此来分析二极管的偏置情况, 从而可简化电路并求解。

(1) $u_i > U_1$ 的情况

因 U_1 经电阻 R_1 接二极管 D_1 的正极, 二极管的负极接 u_i , 而 $u_i > U_1$, 故 D_1 被反向偏置内阻为 ∞ , D_1 就象开关断开。电路等效为图 1-1-6(a)。由此等效图可见, U_1 经 R_1 接 D_2 的负极, U_2 经 R_2 接 D_2 的正极, 已知 $U_1 > U_2$, 所以 D_2 也是反向偏置处于截止状态, 内阻为 ∞ , D_2 也好像开关断开。电路进一步简化为图 1-1-6(b)。

注: u 表示交流电压信号瞬时值, i 表示交流电流信号瞬时值。它们在下章的放大倍数中均表示有效值。

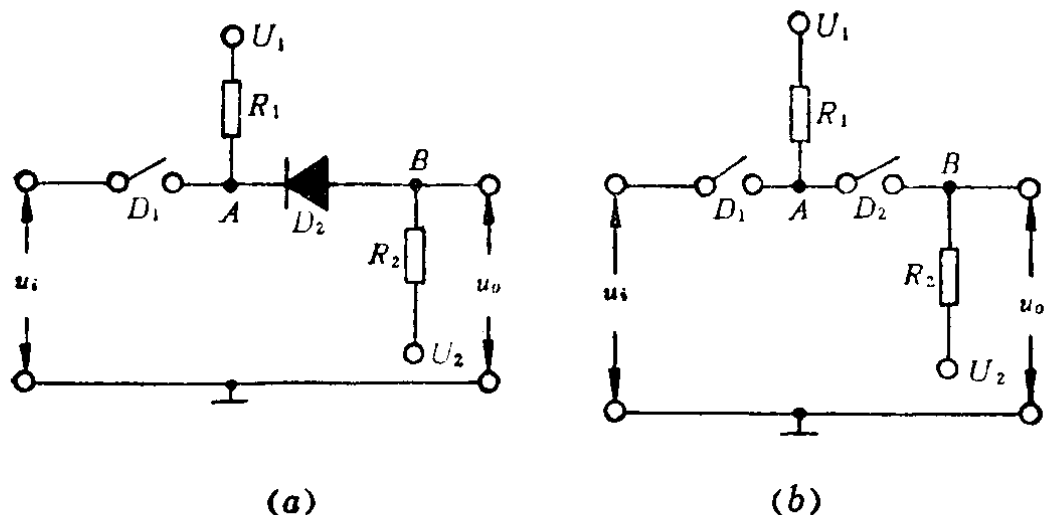


图 1-1-6

由图 1-1-6(b) 可见, $u_o = U_B = U_2$ 。

(2) $u_i < U_2$ 的情况

已知 $U_1 > U_2$ 又 $u_i < U_2$, 故 $U_1 > u_i$ 。在此种情况下再依次仔细分析 D_1 和 D_2 的偏置情况, 工作状态。

对 D_1 : U_1 经 R_1 接 D_1 的正极, u_i 接 D_1 的负极, 而 $U_1 > u_i$, 故 D_1 正向偏置而导通。由于 D_1 正向导通内阻为 0, 因此好象开关接通, D_1 二端电位也相同, 即 $U_A = u_i$ (这种情况称为钳位)。此时, 电路简化如图 1-1-7(a) 所示。由此图可见, U_A 接 D_2 的负极, U_2 经 R_2 接 D_2 的正极, 因 $U_A = u_i$, 且 $u_i < U_2$, 故 D_2 被正向偏置处于导通状态。由于 D_2 正向导通内阻为 0, 好象开关接通, 因此 D_2 两端电位也相同 (钳位)。由上分析可知, 电路进一步简化为图 1-1-7(b) 所示。从图可见

$$U_B = U_A = u_i$$

即

$$U_o = U_B = u_i$$

至此解题完毕。尽管题目看上去很复杂, 只要仔细比较

二极管的极性和电位的高低，即仔细分析每个二极管的偏置情况决定其工作状态，就可简化电路并求解。

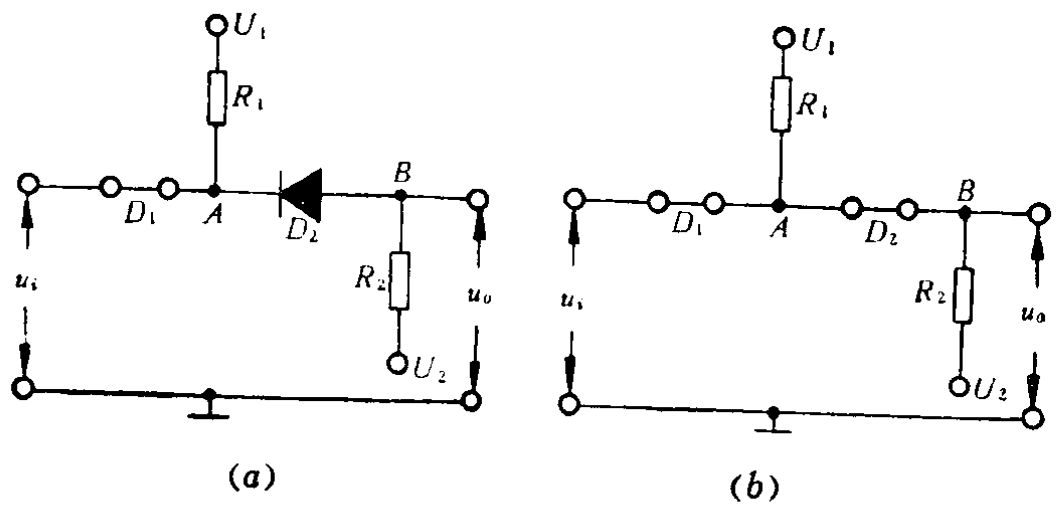


图 1-1-7

例 1-1-3 图 1-1-8 所示电路中， $U_1 > U_2$ ，(1) 当 $u_{i1} > U_1, u_{i2} > U_1, \dots, u_{in} > U_1$ 时，求 u_o 。(2) 当 $u_{i1} < U_2, u_{i2} < U_2, \dots, u_{in} < U_2$ 时，求 u_o 。(3) 当输入端上有若干个输入电压大于 U_1 ，而其余的小于 U_2 时，求 u_o 。

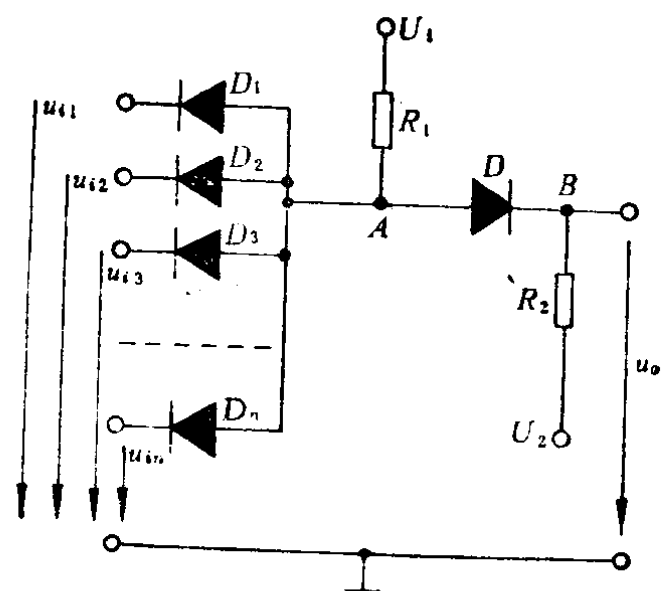


图 1-1-8

解 本题虽然有 $n+1$ 只二极管，看上去很复杂，其实也是与上题类似，只要搞清上题的解题方法，本题也就不难了。仍然只要仔细分析每种已知情况下每只二极管的偏置导电情况，就可使电路简化并得解。

(1) $u_{i1} > U_1, u_{i2} > U_2, \dots, u_{in} > U_1$ 情况

此种情况下，由于二极管 D_1 的正极经电阻 R_1 接 U_1 ，它的负极接 u_{i1} ，故 D_1 的负极电位高于正极电位， D_1 被反向偏置而截止，相当于开关断开。同理， D_2 也反向偏置而截止， D_2 被断开； $\dots D_n$ 也反向偏置而截止， D_n 被断开。这样，电路简化为图 1-1-9(a) 所示。另外，已知 $U_1 > U_2$ ， D 的正极经 R_1 接 U_1 ，负极经 R_2 接 U_2 ，故 D 被正向偏置而导通，由于 D 正向导通时，内阻为 0，故 D 两端电位相同(钳位)， D 相当于开关接通。由此电路进一步简化如图 1-1-9(b) 所示。由图 1-1-9(b) 可见

$$u_o = U_B = U_A = \frac{U_1 - U_2}{R_1 + R_2} \cdot R_2 + U_2$$

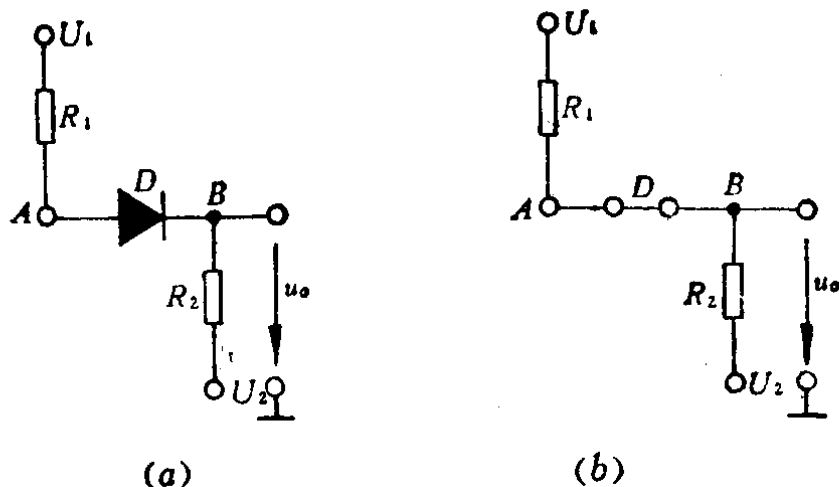


图 1-1-9

(2) $u_{i1} < U_2, u_{i2} < U_2, \dots, u_{in} < U_2$ 情况

此种情况时，由于 $U_1 > U_2$ ，故 $U_1 > u_{i1}, U_1 > u_{i2}, \dots, U_1 > u_{in}$ 。似乎 $D_1 \sim D_n$ 只二极管全部正向偏置而导通，内阻全为 0，得出 $u_A = u_{i1} = u_{i2} = \dots = u_{in}$ 的荒谬结论。问题错在什么地方呢？下面就来讨论。

若输入电压 $u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{in}$ 是 n 个大小不等的电压，并设其中 u_{ik} 为最小，则对应的二极管 D_{ik} 因为其正极经 R_1 接到 U_1 上，负极接 u_{ik} 。由于 u_{ik} 为最小，故 $(U_1 - u_{ik})$ 在 $(U_1 - u_{i1}), (U_1 - u_{i2}), \dots, (U_1 - u_{ik-1}), (U_1 - u_{ik+1}), \dots, (U_1 - u_{in})$ 中是最大的，因此 D_{ik} 优先导通。一旦 D_{ik} 导通，则 A 点的电位被钳在 u_{ik} ，即 $U_A = u_{ik}$ 。这样，其余的二极管由于它们的正极为 u_{ik} ，负极电位分别为 $u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ik-1}, u_{ik+1}, \dots, u_{in}$ ，而 u_{ik} 是输入电压中最小的一个，因此其余的二极管全部被反向偏置而截止，它们全部被断开。这种情况往往被初学者所忽视而易被假象迷惑，必须引起注意。

于是电路简化为图 1-1-10(a) 所示。由图可见，二极管 D 的正极电位 $U_A = u_{ik}$ ， D 的负极经 R_2 接 U_2 。因 $u_{ik} < U_2$ 故 D 被反向偏置而截止， D 也相当于开关断开。这样，电路进一步简化为图 1-1-10(b) 所示。可见 $u_o = U_B = U_2$ 。

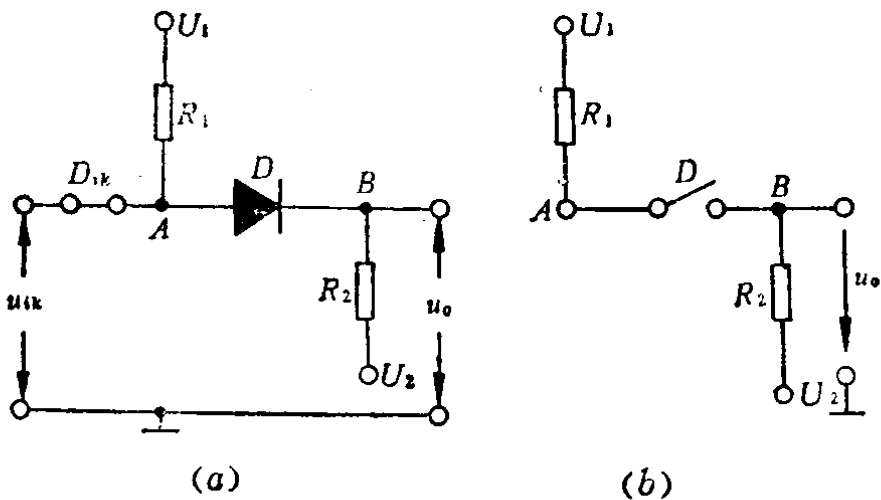


图 1-1-10