

模拟电路解题技巧 **50** 法 及题解 **300** 例

龙忠琪 龙胜春 编著
李如春 金 燕

学生必读

教师必备

考研必用



科学出版社

www.sciencep.com

模拟电路解题技巧 50 法 及题解 300 例

龙忠琪 龙胜春 编著
李如春 金 燕

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是一本教学参考书和题解范例集。全书介绍了 50 种解题技巧与解题方法,并收集和整理了模拟电路典型例解 300 例。每种方法都附有一个甚至多个解题实例,解题过程详尽,方法多样,既适于检查、巩固基础知识,也适于锻炼提高或考研参考。

本书可作为高等院校电类专业本科学生的学习辅导书,也可供考研者参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电路解题技巧 50 法及题解 300 例 / 龙忠琪等编著. —北京:科学出版社,2004

ISBN 7-03-013438-9

I. 模… II. 龙… III. 模拟电路-高等学校-解题 IV. TN710-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 049587 号

责任编辑:马长芳 / 责任校对:陈丽珠
责任印制:安春生 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 8 月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2004 年 8 月第一次印刷 印张:15 1/4

印数:1—4 000 字数:289 000

定价:20.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

前 言

“模拟电子技术”课程是电类专业重要的硬件基础课。但是,不少初学者觉得学来并不轻松,究其原因,不外乎对课程的特点、难点和学习方法等把握不够。简单地说,模拟电路主要有以下特点:一是新器件多,名词术语多,有的还比较抽象,所以一些概念的建立需要一个过程;二是电子线路多,并且越来越复杂,对一些电路中的节点电位、电流流向或电路模型等概念一时难以搞清,似懂非懂;三是公式较多,变量符号较多,需要记忆的东西较多……。因此,建议初学者:一要重视基本概念的建立和理解,这是最根本的;二要重视基本单元电路的学习和掌握,这是很重要的;三要力争多做实验或用机助仿真,在实验或仿真中加深对概念的理解,这是很有效的;四要多做习题,在习题的演练和分析计算中体验其中的奥妙和真谛,使理解深入乃至升华,经验表明,这是巩固理论知识、检验对知识的理解或掌握的深度、提高创造性思维等不可或缺的。本书就是根据模拟电子技术课程的教学大纲、硕士研究生入学考试基本要求和面向素质教育而专门搜集整理编写的。

本书有以下一些特色:

1. 在内容的选取上,注意选取那些重要的、实用的、有代表性的典型范例,以及有一定深度层次的思考性题解,并且重心逐渐向集成电路方向转移,适当淡化了分立元件电路的内容,尤其一些繁题或少用之题等没有录入。

2. 作者们在多年教学工作和大量解题的基础上,总结提炼出了多种解题方法或解题技巧,其中录入了 50 种,每种方法一般都附有一个甚至多个解题实例,解题过程详尽,所以本书不但为你提供大量典型习题的详解和答案,适用于自检、自查或自我评估、巩固所学知识,而且也有利于能力的培养、锻炼和提高。

3. 书中附录是部分兄弟院校硕士研究生的入学考试试题,供考研者们参考。

4. 本书可与《模拟集成电路教程》(龙忠琪等编,科学出版社,2004)一书配套使用,也可单独使用。

参加本书部分编写工作或提供帮助的还有余佩琼、陈秀丽、孙惠英、周文委、陈素华等老师,在此一并致谢。

作 者

2004 年 4 月于杭州

目 录

前言

A 篇 模拟电路解题技巧 50 法	1
A.1 半导体器件基础	1
一法 识别稳压二极管同普通二极管的简单方法	1
二法 巧用两种稳压二极管获得多种基准电压	1
三法 判断双极型晶体管类型及管脚的常用方法	1
四法 复合管的构建与识别技术	4
五法 如何获得某静态工作点处的 BJT 小信号参数 r_{be} 、 r_{ce} 、 g_m 和 β ?	6
六法 用简易测试法获得 NMOS 场效应管的沟道参数 K_n 和开启电压 V_{TN}	7
七法 获得二极管反向饱和电流 I_S 参数的简单方法	7
A.2 半导体电路分析基础	8
八法 二极管工作状态的判断方法	8
九法 三极管工作状态的判断方法	10
十法 MOS 场效应管直流工作点的求解方法	14
十一法 JFET 电路直流工作点的求解方法	15
十二法 直流负载线和交流负载线的快速作图法	17
十三法 善用戴维宁定理可使电路简化	21
十四法 晶体管放大电路输入电阻 R_i 的计算方法	22
十五法 晶体管放大电路输出电阻 R_o 的计算方法	24
十六法 晶体管放大电路放大倍数 A_v 的计算方法	26
十七法 FET 放大电路输入电阻 R_i 的计算方法	28
十八法 FET 放大电路输出电阻 R_o 的计算方法	29
十九法 FET 放大电路电压放大倍数 A_v 的计算方法	31
二十法 用短路时常数法和分别求解法求放大电路的下限频率 f_L	35
二十一法 用开路时常数法求放大电路的上限频率 f_H	38
二十二法 共射极放大电路上限频率 f_H 的求解方法	38
二十三法 串接放大器的分析方法	40
二十四法 多级放大器的分析方法	44
二十五法 差分放大器的计算方法	48

二十六法	差分放大器的半电路分析法	51
二十七法	反馈组态及其判别方法	53
二十八法	负反馈放大电路的近似分析法	54
二十九法	负反馈放大电路的方框图分析法	56
三十法	负反馈放大电路的小信号模型分析法	58
三十一法	集成运放的电路识图技术	59
三十二法	集成运放电路的分析计算方法	62
三十三法	功率放大器的分类与判别	65
三十四法	功率放大器的分析计算方法	66
三十五法	一种 NMOS 电路的分析方法	68
三十六法	碰到疑难问题可用 EWB 机助仿真法进行分析	69
A. 3	半导体电路设计基础	73
三十七法	晶体管放大电路的构建及故障排查技术	73
三十八法	用快速估算法设计偏置电路	73
三十九法	恒流源偏置电路的选用及提高输出电阻的方法	77
四十法	阻容耦合电路的信号耦合原理及参数选择	79
四十一法	根据输出波形的上升边 t_r 选择放大器的带宽	80
四十二法	集成电路中常用的电路保护技术	81
四十三法	集成运放加减运算电路的快速设计原理	83
A. 4	模拟电路应用举例	86
四十四法	用集成运放构成实用对数放大器	86
四十五法	用集成运放构成可乘、除、平方、开平方的多功能电路	88
四十六法	四象限模拟乘法器	89
四十七法	三态电压比较器	91
四十八法	常用简单稳压源和恒流源电路	91
四十九法	实用同相跟随器和反相跟随器	93
五十法	用正电源电路获得负电源的方法	94
B 篇	模拟电路题解例	97
B. 1	绪论	97
B. 2	半导体器件基础	97
B. 3	半导体电路分析基础	113
B. 4	半导体电路设计基础	141
B. 5	集成运算放大器	171
B. 6	集成功率放大器	179
B. 7	集成稳压电路	186

B.8 在系统可编程模拟集成电路 ispPAC	191
B.9 模拟集成电路的应用	191
B.10 电子电路的机助分析与设计	210
C 篇 附录	223
附录 I 部分重点大学研究生入学考试试题选	223
一、1997 年西安交通大学博士研究生入学考试试题(《电子技术》模拟部分)	223
二、1999 年西安电子科技大学硕士研究生入学考试试题(《电子线路》模 拟部分)	225
三、1999 年西北工业大学硕士研究生入学考试试题(《电子技术基础》模拟 部分)	227
四、2000 年浙江大学硕士研究生入学考试试题(《模拟与数字电子技术》模拟 部分)	229
五、2001 年浙江大学硕士研究生入学考试试题(《电子技术基础》模拟部分)	231
六、2002 年浙江大学硕士研究生入学考试试题(《电子线路》低频部分)	233
附录 II 本书所用符号体系	235
参考文献	236

A 篇 模拟电路解题技巧 50 法

A.1 半导体器件基础

识别稳压二极管同普通二极管的简单方法

用指针式万用表 $\times 10\text{k}\Omega$ 档测量二极管的正、反向电阻,稳压二极管双向将均呈现低阻(稳定电压 $V_Z \leq 22.5\text{V}$ 或 $\leq 9\text{V}$ 时,视万用表型号而定),而普通二极管则具有单向导电性,即正向呈低阻,反向呈高阻。注意,当双向都呈现高阻时表明二极管已被烧毁,双向电阻都很小且接近短路时说明二极管已被击穿。

提示与点评:

①本法的核心是:普通二极管具有单向导电性,而稳压二极管只在低电压时具有单向导电性。

②指针式万用表 $\times 10\text{k}\Omega$ 档对应于万用表内部电池为 22.5V (或 9V),所以,用 $\times 10\text{k}\Omega$ 测量 $V_Z \leq 22.5\text{V}$ (或 9V)的稳压二极管的电阻时,正、反向都会导通而呈现低阻。注意,指针式万用表的黑笔是其内部电池的正极,数字万用表的红笔是其内部电池的正极。

巧用两种稳压二极管获得多种基准电压

基本原理:两只不同 V_Z 值的稳压二极管可以单独使用,也可串联使用(同相串联或反相串联),又分别有正向使用和反向使用两种情况,故可获得多种稳定电压值。

例 A1-1 试用两只稳定电压分别为 $V_{Z1}=3\text{V}$ 和 $V_{Z2}=6\text{V}$ 的硅稳压二极管获得多种基准电压。设稳压二极管的正向导通电压为 0.7V 。

解:(1)两只稳压二极管分别单独使用。此时有 3 种情况:反向使用时有两种电压, $V_{Z1}=3\text{V}$ 和 $V_{Z2}=6\text{V}$,正向使用时 $V_{Z3}=0.7\text{V}$,如图 A1-1(a)所示。

(2)两只稳压二极管串联使用。串联时有同相串联和反相串联两种接法,串联后又有正向使用和反向使用两种方式,故有 4 种稳压值: $V_{Z4}=V_{Z1}+V_{Z2}=3+6=9\text{V}$ 、 $V_{Z5}=0.7+0.7=1.4\text{V}$ 、 $V_{Z6}=3+0.7=3.7\text{V}$ 、 $V_{Z7}=6+0.7=6.7\text{V}$,如图 A1-1(b)所示。

判断双极型晶体管类型及管脚的常用方法

判断双极型晶体管的类型(NPN 或 PNP)及管脚(E、B、C)有 3 种常用方法:

- (1)测电阻法;
- (2)测电压法;
- (3)测电流法。

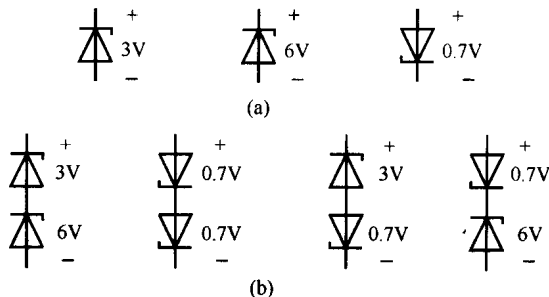


图 A1-1 例 A1-1 电路

测量原理及操作方法如下:

(1)测电阻法。用数字万用表的“ $\rightarrow$ ”档测量晶体管的极间电阻:红笔接晶体管的任一管脚 X,黑笔依次接其他两个管脚以测量其电阻值,如果测得的两个阻值都较小,而红笔与黑笔调换后重新测量时两个阻值都较大,则晶体管一定是 NPN 晶体管,管脚 X 是基极 B。(假若将黑笔接晶体管的任一管脚 Y,红笔依次接其他两个管脚,如果测得的两个阻值都较小,而红笔与黑笔调换后重新测得的两个阻值都较大,则管脚 Y 一定是 PNP 晶体管的基极 B。)

如果将数字式万用表的黑笔和红笔分别接晶体管基极以外的另两个管脚,用 $\times 10\text{k}\Omega$ 档测量集-射电阻,再用手同时捏住基极和黑笔(但不短路),若出现电阻减小或指针晃动现象,则黑笔所接即为 NPN 管的发射极 E;如果用手同时捏住基极和红笔(但不短路),出现电阻减小或指针晃动现象,则红笔所接即为 PNP 管的发射极 E。

注意,用手捏后若无动静,可将黑笔与红笔调换重试;若仍无动静,则可断定晶体管已经损坏或被测管的 β 值很小。

电阻法常用于脱机判别标识不清或非标准封装的晶体管,亦可用于简单判断管子的好坏。

提示与点评:

①晶体管的 B-C 之间是一个 PN 结,B-E 之间也是一个 PN 结,所以将数字式万用表的红笔(即万用表内部电池的正极)接 NPN 晶体管的基极,黑笔(即万用表内部电池的负极)接集电极或发射极,PN 结应当导通呈现低阻,反之呈高阻。类似地,如果将数字式万用表的黑笔接 PNP 晶体管的基极,红笔接集电极或发射极,也应呈现低电阻。据此原理可判断晶体管的基极,并根据接基极的电笔颜色判断晶体

管的类型。

②由于晶体管的 β 值较大,当 C 极加正电压(即接红笔)、E 极加负电压(即接黑笔)时,如果用手捏住 E 极和 B 极而不短路(即 B-E 间加交变信号,因为人体有静电感应信号),则 NPN 晶体管会有导通现象,C-E 之间的电阻故而减小。利用此原理可判断 NPN 晶体管的基极和发射极(其中基极此前已判知)。PNP 晶体管的情况与此类同。

(2)测电压法。由于 NPN 管工作时需 $V_{BE} > 0, V_{CE} > 0$,所以管脚电位最低者定为发射极 E;比 E 电位高 0.7V 者(硅 NPN 管时)为基极 B。

类似地,由于 PNP 管的 $V_{BE} < 0, V_{CE} < 0$,所以电位最高者定为发射极 E;比 E 的电位低 0.7V(硅 PNP 管时)的电极为基极 B;不言而喻,另一个管脚定为集电极 C。

电位法常用于带电实验测量。实用举例见 B 篇图 P2.12(a)。

(3)测电流法。因为 NPN 管的基极电流和集电极电流都是流入晶体管的,只有发射极电流是流出的且等于前二者之和,所以判断晶体管类型及管脚的方法如下:如果一个晶体管中只有一个电流流出且电流最大,则该流出电流一定是 NPN 晶体管的发射极电流,两个流入电流中的大者一般是集电极电流。

类似地,如果一个晶体管中只有一个电流是流入的,则该流入电流一定是 PNP 管的发射极电流,另两个电流中的大者一般是集电极电流。

电流测量较为麻烦,故较少使用。

例 A1-2 试判断图 A1-2 所示晶体管的类型及管脚,并说明为什么。

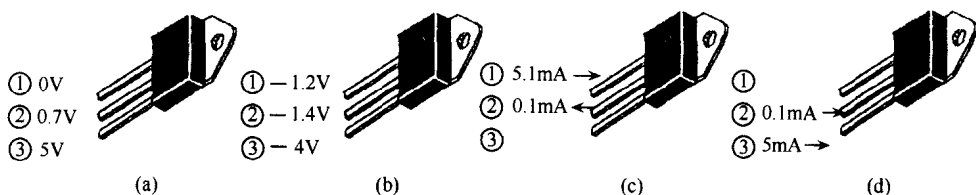


图 A1-2 例 A1-2 图

解:图(a)用电位判断法:管脚①电位最低且管脚②比管脚①高 0.7V,所以是硅 NPN 管,管脚①为发射极 E,管脚②为基极 B,管脚③为集电极 C。

图(b)用电位判断法:管脚①电位最高且管脚②比管脚①低 0.2V,所以是锗 PNP 管,管脚①为发射极 E,管脚②为基极 B,管脚③为集电极 C。

图(c)用电流判断法:管脚③的电流一定是流出的(因为如果是流入的,管脚②流出的电流 0.1mA 应等于 5.1mA 加管脚③的电流,但这是不可能的),所以管脚①为发射极 E,管脚②为基极 B(电流最小),管脚③为集电极 C;是 PNP 管。

图(d)用电流判断法:管脚①的电流一定是流出的,且等于二流入电流之和,所

以是 NPN 管,管脚①是发射极 E,管脚②是基极 B,管脚③是集电极 C。

复合管的构建与识别技术

复合管具有放大倍数大等突出优点,所以常用多个管子接成复合管。构成复合管时,第一是要构成所需类型的复合管——FET 或 BJT 管,第二是要保证构成的复合管能正常工作。注意,复合管的构成有以下规律:两个或多个 BJT 管只能构成 BJT 型复合管,场效应管作输入级的复合管才可能等效成场效应晶体管;在 BJT 型复合管中,只有一个等效管脚电流流出时等效为 NPN 管,只有一个管脚电流流入时等效为 PNP 管;至于构成的复合管能否正常工作,主要看复合管各晶体管管脚电流是否有正确的直流通路。

例 A1-3 试判断图 A1-3 所示复合管的等效类型及管脚,并说明为什么。

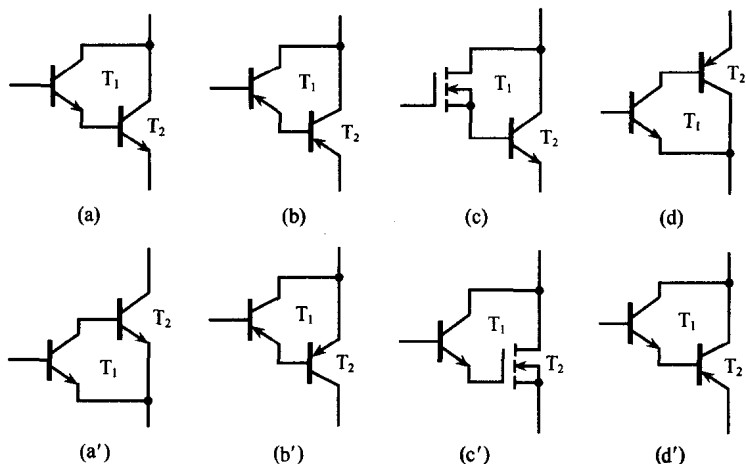


图 A1-3 例 A1-3 电路

解: 图(a)是用 2 个 NPN 晶体管组成的复合管,电流方向衔接正确,且只有最下方一个管脚电流流出晶体管,故等效为一个 NPN 型复合管,等效管脚分别为左 B、上 C、下 E。图(a')同图(a)类似,只是 T_1 的集电极电流从 T_2 的基极流出,但这是不可能的,故图(a')不能正常工作。

图(b)是用 2 个 PNP 晶体管组成的复合管,只有最下方一个管脚电流流入晶体管,故可等效为一个复合 PNP 管,引脚分别为左 B、上 C、下 E。图(b')同图(b)类似,只是 T_2 基极电流无法流向 T_1 的发射极(等电位),故图(b')不能正常工作。

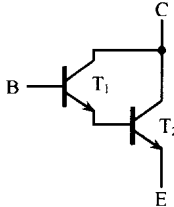
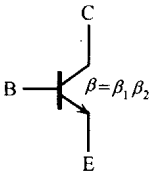
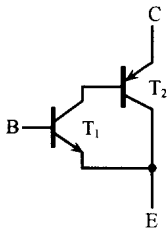
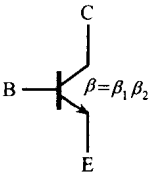
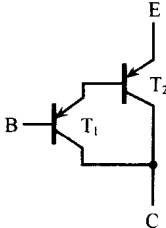
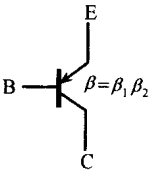
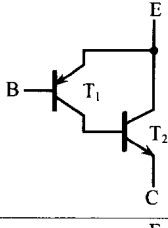
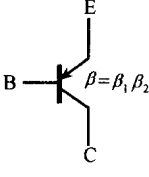
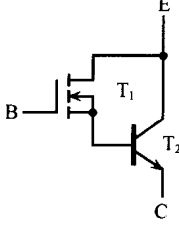
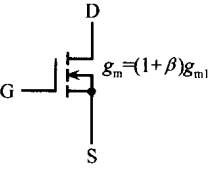
图(c)是用 1 个 NMOSFET 和 1 个 NPN 晶体管组成的复合管,可等效为一个复合 NMOSFET,引脚分别为左 G、上 D、下 S。图(c')同图(c)类似,但 T_1 的发射极电流没有通路(T_2 是绝缘栅的),故图(c')不能正常工作。

图(d)是用 1 个 NPN 管和 1 个 PNP 管组成的复合管,电流方向衔接正确,且

只有最下方一个管脚电流流出晶体管,故可等效为一个复合 NPN 管,等效管脚分别为左 B、上 C、下 E。图(d')同图(d)类似,但 T_1 的发射极电流与 T_2 的基极电流方向相反,故图(d')不能正常工作。

表 A1-1 是几种常见的复合管结构及其功能等效。

表 A1-1 几种常见的复合管结构

序 号	复 合 管	功能等效
1		
2		
3		
4		
5		

如何获得某静态工作点处的 BJT 小信号参数 r_{be} 、 r_{ce} 、 g_m 和 β ?

晶体管的小信号参数与晶体管的工作点有关,如果已知晶体管的静态工作点 $Q(V_{CEQ}, I_{CQ}, I_{BQ})$ 及厄利电压 V_A ,则可迅速获得晶体管的小信号参数 r_{be} 、 r_{ce} 、 β 和 g_m ,详见表 A1-2 所示。

表 A1-2 晶体管小信号参数计算公式

参 数	意 义	公 式	说 明
r_{be}	共射极晶体管小信号输入电阻	$r_{be} = r_{bb'} + r_{b'e}$	$r_{bb'}$ 是基区欧姆电阻,常取 $r_{bb'} = 200\Omega$
$r_{b'e}$	(内)基极输入电阻	$r_{b'e} = \frac{V_t}{I_{BQ}}$	$V_t = \frac{kT}{q}$, 热电压。 $T = 300^\circ\text{K}$ 时 $V_t = 0.026\text{V}$
r_{ce}	集电极输出电阻	$r_{ce} = \frac{V_A}{I_{CQ}}$	
g_m	晶体管跨导	$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_t}$	
β	共射极电流放大倍数	$\beta = g_m r_{b'e} \approx I_{CQ} / I_{BQ}$	
$C_{b'e}$	(内)基极输入电容	$C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi f_T}$	
$r_{b'c}$	B'-C 电阻	$r_{b'c} \approx \beta r_{ce}$	

例 A1-4 已知双极型晶体管(BJT)的特征频率 $f_T = 200\text{MHz}$,基极欧姆电阻 $r_{bb'} = 100$, $\beta = 100$, $V_A = 200\text{V}$ 。试求 BJT 工作在静态工作点 $Q(V_{CEQ} = 5\text{V}, I_{CQ} = 1\text{mA})$ 处时晶体管的小信号参数 $r_{b'e}$ 、 r_{ce} 、 $r_{b'c}$ 、 g_m 和 $C_{b'e}$ 。

解: 由表 A1-2,得

$$r_{b'e} = \frac{V_t}{I_{BQ}} = \frac{V_t}{I_{CQ}/\beta} = \frac{26\text{mV}}{1\text{mA}/100} = 2600\Omega$$

$$r_{ce} = \frac{V_A}{I_{CQ}} = \frac{200}{1} = 200\text{k}\Omega$$

$$r_{b'c} \approx \beta r_{ce} = 100 \times 200 = 2 \times 10^4\text{k}\Omega$$

$$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_t} = \frac{1}{26} = 0.0385\text{S}$$

$$C_{b'e} = \frac{g_m}{2\pi f_T} = \frac{0.0385}{2 \times \pi \times 200 \times 10^6} = 30.6 \times 10^{-12}\text{F} = 30.6\text{pF}$$

用简易测试法获得 NMOS 场效应管的沟道参数 K_n 和开启电压 V_{TN}

在 NMOS 管电路分析与设计中,常常需要知道沟道参数 K_n 和开启电压 V_{TN} 。当 V_{TN} 和 K_n 没有给出时,可用实测法获得,方法如下:

因为 NMOS 管的漏极电流 $I_D = K_n(v_{GS} - V_{TN})^2$,所以在某个漏极电压下加栅-源电压 $v_{GS} = v_{GS1}$,可获得一个漏极电流如 I_{D1} ;如果再令 $v_{GS} = v_{GS2}$,则可测得另一个漏极电流 I_{D2} ,从而获得两个方程:

$$\begin{cases} I_{D1} = K_n(v_{GS1} - V_{TN})^2 \end{cases} \quad (A1-1)$$

$$\begin{cases} I_{D2} = K_n(v_{GS2} - V_{TN})^2 \end{cases} \quad (A1-2)$$

以上两方程联立,即可解得 V_{TN} 和 K_n 。

具体操作:将漏极 D 与栅极 G 短路,在漏极 D 和源极 S 间加电压 $v_{DS} = v_{DS1}$ (注意,栅-源电压 $v_{GS} = v_{DS}$),测得漏极电流 I_{D1} ,从而得式(A1-1);再令 $v_{DS} = v_{DS2}$,可测得漏极电流 I_{D2} ,从而得式(A1-2)。

例 A1-5 用实测法获得 NMOS 管的沟道参数 K_n 和开启电压 V_{TN} :令漏极 D 与栅极 G 短路,加电压 $v_{GS1} = v_{DS1} = 4V$,测得电流 $I_{D1} = 1mA$;加电压 $v_{GS2} = v_{DS2} = 7V$,测得电流 $I_{D2} = 16mA$ 。问:NMOS 管的 V_{TN} 和 K_n 各为多少?

解: 列方程

$$\begin{cases} 1 = K_n(4 - V_{TN})^2 \\ 16 = K_n(7 - V_{TN})^2 \end{cases}$$

以上二式相除,约去 K_n ,得 $V_{TN} = 3V$,进而求得 $K_n = 1(mA/V^2)$ 。

获得二极管反向饱和电流 I_s 参数的简单方法

基本原理:由于二极管电流 i_D 与二极管压降 v_D 有以下关系:

$$i_D = I_s \left(e^{\frac{v_D}{V_T}} - 1 \right) \approx I_s e^{\frac{v_D}{V_T}} \quad (A1-3)$$

所以,在常温下测出二极管电流 I_D 和管压降 V_D ,即可求得反向饱和电流 I_s :

$$I_s = I_D e^{-\frac{V_D}{V_T}} \quad (A1-4)$$

式中 V_T 是热电压,

$$V_T = \frac{kT}{q} = \frac{1.38 \times 10^{-23} T}{1.6 \times 10^{-19}} = 8.625 \times 10^{-5} T \quad (A1-5)$$

其中绝对温度 $T = 273 + t(^{\circ}C)$, t 是温度($^{\circ}C$)。

此法主要用于:需知 I_s ,以求不同电流、不同温度下的二极管结电压,或反之。

例 A1-6 在常温 $27^{\circ}C$ 下测得二极管电流 $I_D = 10mA$,管压降 $V_D = 0.7V$,试求在同一温度下,二极管流有 $1mA$ 电流时的管压降 V_D 。

解: (1) 计算二极管的反向饱和电流 I_s 。

在常温 27°C 下, $T=300^{\circ}\text{C}$, 由式(A1-5)得

$$V_t = 8.625 \times 10^{-5} T = 8.625 \times 10^{-5} \times 300\text{V} = 0.026\text{V}$$

代 $I_D=10\text{mA}$, $V_D=0.7\text{V}$ 和 $V_t=0.026\text{V}$ 入式(A1-4), 得

$$I_s = I_D e^{-\frac{V_D}{V_t}} = 10 \times 10^{-3} e^{-\frac{0.7}{0.026}} \text{A} = 2 \times 10^{-14} \text{A}$$

(2) 计算二极管流有 1mA 电流时的管压降 V_D 。

由式(A1-3)可得

$$V_D = V_t \ln \frac{I_D}{I_s} \quad (\text{A1-6})$$

代数据 $I_D=1\text{mA}$, $I_s=2 \times 10^{-14}\text{A}$, $V_t=0.026\text{V}$ 入式(A1-6)得

$$V_D = V_t \ln \frac{I_D}{I_s} = 0.026 \times \ln \frac{1 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-14}} \text{V} = 0.026 \times 24.61 \text{V} = 0.64 \text{V}$$

A.2 半导体电路分析基础

二极管工作状态的判断方法

二极管在电路中的工作状态, 可用以下方法判断: 首先假定二极管截止(或将二极管断开), 然后确定二极管两端的电位差, 如果阳-阴间的电位差为正且大于阈值电压(阈值电压一般取 0.7V ; 对于理想二极管取 0V), 则二极管导通, 两端电压即为二极管的导通压降; 如果电位差 ≤ 0 , 则二极管处于截止状态。

注意, 电路中有多个二极管时, 则应首先假定所有二极管断开, 确定原来二极管所在处两端的电位差, 再令正向电位差最大且大于阈值电压者优先导通, 并令两端电压为二极管导通压降, 然后重复以上过程, 判断其余二极管的工作状态。

例 A2-1 二极管电路如图 A2-1(a) 所示, 试判断图中二极管的工作状态(导通或截止)。设二极管 D 理想。

解: 首先假定二极管 D 截止, 则图 A2-1(a) 电路变为图 A2-1(b) 所示(图中“×”号为二极管断开处), 由图可得

$$V_A = 10 - 6 = 4\text{V} \quad [\text{简单稳压管电路}]$$

$$V_B = 5\text{V} \quad [\text{与 } 6\text{V 电源回路无关}]$$

$$V_{BK} = 3\text{V} \quad [6\text{V 电源回路简单分压}]$$

则 K 点电位为

$$V_K = V_{KB} + V_B = -3 + 5 = 2\text{V}$$

所以二极管 D 的阳极-阴极电压差

$$V_{AK} = V_A - V_K = 4 - 2 = 2\text{V}$$

故 D 处于导通状态。

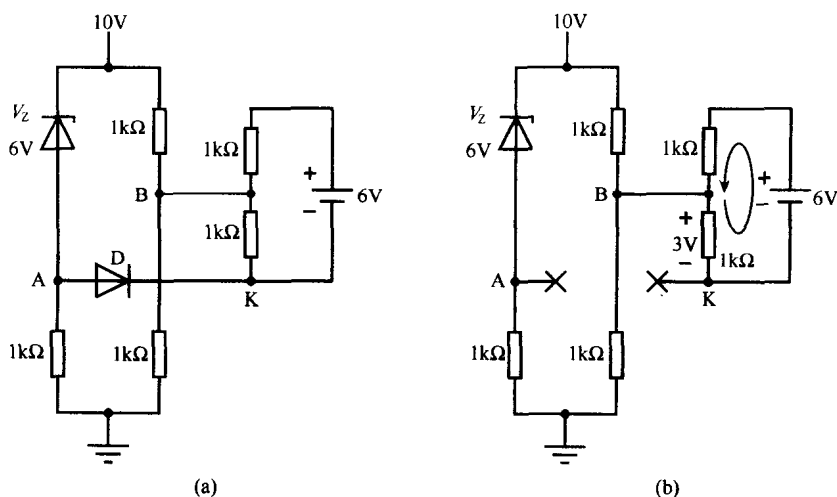


图 A2-1 例 A2-1 电路

例 A2-2 二极管电路如图 A2-2(a)所示,试判断图中二极管 D_1 、 D_2 的工作状态。设二极管 D_1 、 D_2 理想。

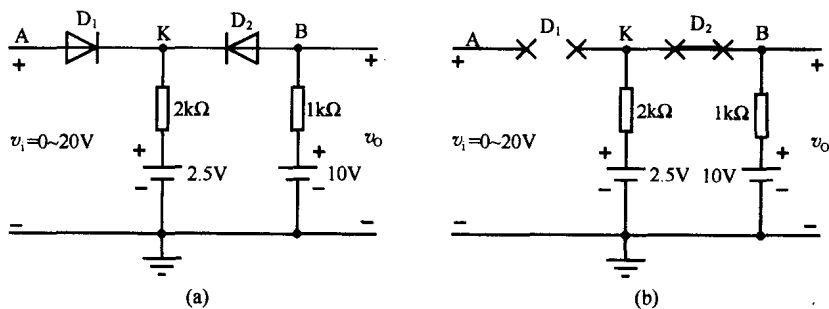


图 A2-2 例 A2-2 电路

解: 断开图 A2-2(a)中的二极管 D_1 、 D_2 ,则电路变为图 A2-2(b)所示(图中“×”号为二极管断开处)。

(1)在 v_i 较小时。

比如 $v_i = 0$ 时,由图(b)得

$$V_A = 0V$$

$$V_K = 2.5V$$

$$V_B = 10V$$

因 $V_{AK} = V_A - V_K = -2.5V$, $V_{BK} = V_B - V_K = 7.5V$,所以先令 D_2 导通。 D_2 导通后 B-K 间电压为 0V(理想二极管管压降),故图(b)中用粗短路线表示。此时,输出电压

$$v_O = V_B = V_K = \frac{10V - 2.5V}{1K + 2K} \times 2K + 2.5V = 7.5V$$

事实上,只要 $v_i \leq 7.5V$,则 D_1 截止, D_2 导通, $v_O = 7.5V$ (即输入被下限幅)。

(2) 在 v_i 较大时。

比如 $v_i \geq 10V$ 时,由图(b)得 $V_{AK} \geq V_{BK}$,故 D_1 导通, $V_K = V_A = v_i \geq 10V$,则 D_2 截止, $v_O = 10V$ (即输入被上限幅)。

显然,这是一个双向限幅电路,上限幅电平为 $+10V$,下限幅电平为 $+7.5V$ 。

三极管工作状态的判断方法

判断双极型三极管的工作状态,主要有以下 3 种方法:

- (1) 解析法;
- (2) 图解法;
- (3) 实测法。

解析法,亦称为等效电路法或模型法,常用于分析计算解题之中;图解法常用于定性直观分析中;实测法是根据管子上的实测电压或实测电流判断晶体管工作状态的方法,主要用于实验中。注意,进行直流分析时,须在直流通路中进行,即令电路中所有电容开路、电感短路。

下面,举例说明 3 种方法的应用及具体操作。

例 A2-3 BJT 电路如图 A2-3(a)所示,试分析输入信号 $v_i = 0$ 时图中晶体管的工作状态。设晶体管 $\beta = 100$,输入、输出特性曲线如图 A2-3(b)和(c)所示。

解:方法一:解析法。

(1) 令所有电容开路,得电路的直流等效电路(即直流通路,图略)。

(2) 求 V_{BE} ,判断晶体管是否导通。

断开晶体管基极,由 R_1 、 R_2 分压电路求 B 点电位,得

$$V_B = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = \frac{12}{18 + 2} \times 2 = 1.2(V)$$

由于 R_E 接地,所以 $V_{BE} > 0.7V$,晶体管导通。

(3) 求 I_B ,根据 $I_B \geq I_{BS}$ 与否判断晶体管是否饱和。

令晶体管饱和时 $V_{CES} \approx 0$,则临界饱和集电极电流

$$I_{CS} \approx \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = \frac{12}{1.1 + 0.1} = 10(mA)$$

临界饱和基极电流

$$I_{BS} = \frac{I_{CS}}{\beta} = \frac{10}{100} = 0.1(mA)$$

如果将 R_1 、 R_2 分压电路用戴维宁等效,则电路变为图 A2-3(d)所示,其中