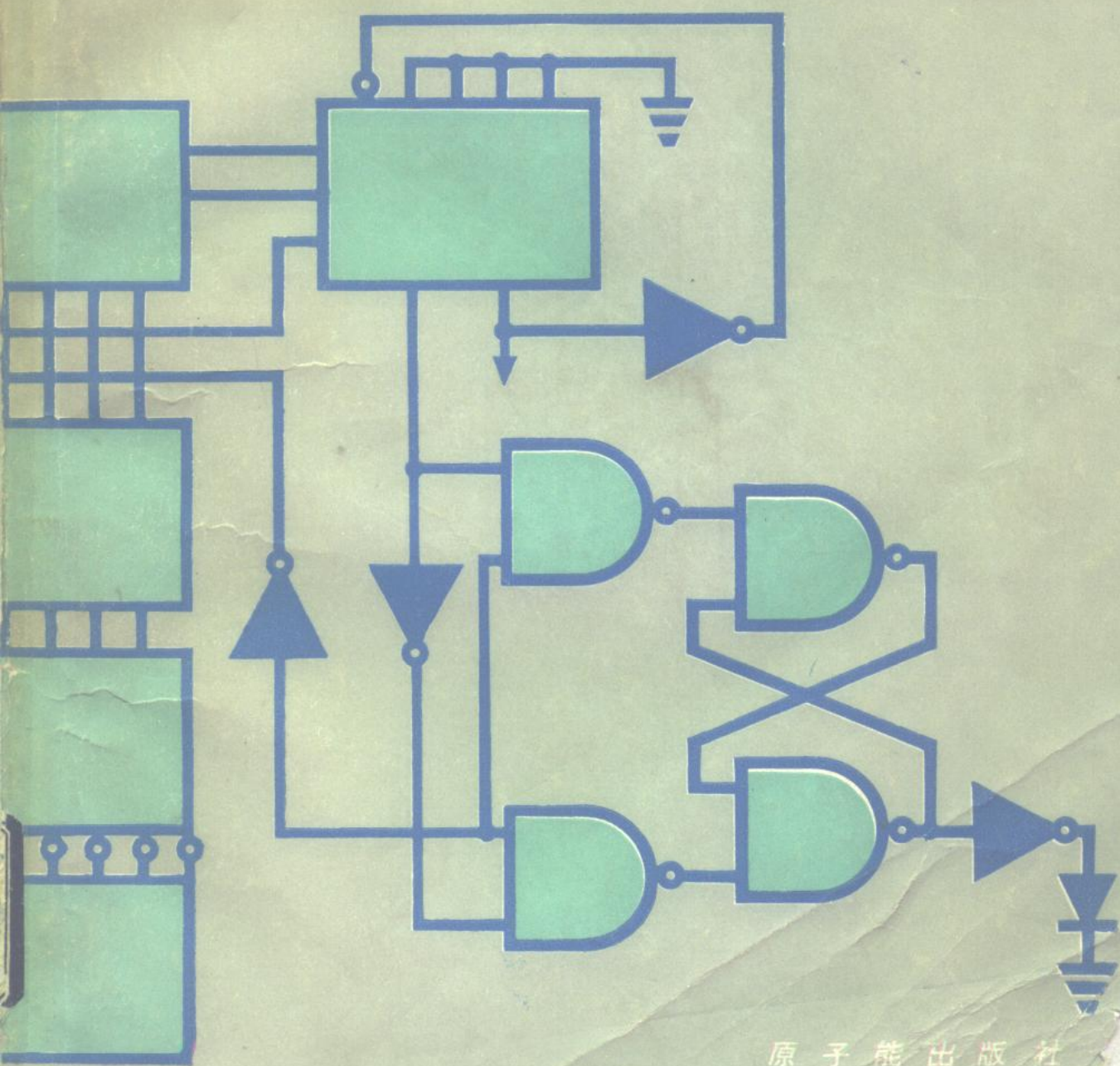


JICHENG-DIANLU
DAOLUN XITI JIEDA

集成电路导论习题解答

汪嘉永 贡锦华 顾云云 编



原子能出版社

集成电路导论习题解答

汪嘉永 贡锦华 顾云云 编

原子能出版社

内 容 简 介

本书汇集并解答了《集成电路导论》一书的全部练习和习题,共412题(其中数字集成电路部分239题,线性集成电路部分137题,数字和线性集成电路综合题36题)。各道题均有详细的解题过程(说明解题的依据、方法和步骤)并给出了准确的结果,有的还列出了几种解法。

本书可供从事电子技术工作的教学、科研、生产人员参考。

集成电路导论习题解答

汪嘉永 贡锦华 顾云云 编

责任编辑 袁祖伟

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

八九九二〇部队印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092 1/16 ·印张 21 ·字数420千字

1985年9月第一版·1985年9月第一次印刷

印数1—8800 ·统一书号: 15175·596

定价: 3.40元

序 言

《集成电路导论》一书已由徐俊荣教授等翻译出版。该书内容精练，书后附有大量的练习和习题，采用该书作为教材，可以达到精讲多练的目的。

为了满足教学上的需要，我们对《集成电路导论》一书中全部练习和习题共 412 题（其中数字集成电路部分 239 题，线性集成电路部分 137 题，数字和线性集成电路综合题 36 题）作了解答，曾在校内试用并与兄弟院校交流。经过三年来的教学实践，最近我们又进行了修改、补充、整理，编成了这本习题解答。我们希望这本书能对读者有一定的启发，并为从事电子技术方面工作的同志在阅读《集成电路导论》一书时提供一本有用的参考书。

本书中各道题均有详细的解题过程（说明解题的依据、方法和步骤），有的还列出了几种解法，以帮助读者加深对问题的理解并开阔思路。由于分析问题的出发点和近似条件不同，所以有些问题的解答不可能是唯一的，本书的解答只能起到抛砖引玉的作用。

在本书的编写过程中，我们得到了我校电子学教研室同志的支持并得到了浙江大学邓汉馨教授的帮助，清华大学范天民、谭采云同志帮助审校了部分习题解答，在此谨表示衷心的感谢。

由于我们业务水平和实践经验的限制，本书中一定会有不妥之处，诚恳地希望读者指正。

编者 1982年9月于上海交通大学



目 录

第一章	器件模型及反相器分析.....	1
第二章	基本逻辑设计.....	31
第三章	逻辑门电路.....	55
第四章	组合逻辑设计.....	97
第五章	锁存器和触发器	139
第六章	计数器和寄存器	158
第七章	小信号放大器	193
第八章	差动放大器	231
第九章	电阻反馈及频率补偿	272
第十章	数字和线性集成电路的应用	305

第一章 器件模型及反相器分析

练 习

E1.1 设已知两只不同的二极管 (编号为 1 和 2), 它们的正向偏置数据如下:

$$V_{D(on)1} = 0.7V \quad \text{在 } 10mA \text{ 时}$$

$$V_{D(on)2} = 0.6V \quad \text{在 } 0.1mA \text{ 时}$$

如果两个管子组成一个串联电路, 并通过 1mA 的电流 (正向偏置), 则两管电压降之和为若干?

解 当通过 1mA 电流时, 各管的电压降, 按 (1.6d) 式分别为:

$$V_1 = V'_{1(I'_1=10mA)} + 0.061g \frac{I_1}{I'_1}$$

$$= 0.7 + 0.061g \frac{1}{10} = 0.64V$$

$$V_2 = V'_{2(I'_2=0.1mA)} + 0.061g \frac{I_2}{I'_2}$$

$$= 0.6 + 0.061g \frac{1}{0.1} = 0.66V$$

两管电压降之和:

$$V = V_1 + V_2 = 0.64 + 0.66 = 1.3V$$

E1.2 有一个由二极管与 $1k\Omega$ 电阻串联组成的电路, 当电路加上 1.66V 电压时, 二极管通过 1mA 的正向电流。如果要使二极管正向电流降至 0.1mA, 则电路所加电压应改为若干?

解 根据题意画出电路, 如图 E1.2 所示, $R = 1k\Omega$ 。

当 $I' = 1mA$ 时,

$$\begin{aligned} V'_{D(on)} &= V_{CC} - I'R \\ &= 1.66 - 1 \times 1 = 0.66V \end{aligned}$$

当 $I'' = 0.1mA$ 时, 由 (1.6d) 式得:

$$\begin{aligned} V''_{D(on)} &= V'_{D(on)} + 0.061g \frac{I''}{I'} \\ &= 0.66 + 0.061g \frac{0.1}{1} = 0.6V \end{aligned}$$

所以, 电路所加电压为:

$$\begin{aligned} V_{CC} &= V''_{D(on)} + I'' \times R = 0.6 + 0.1 \times 1 \\ &= 0.7V \end{aligned}$$

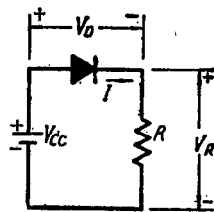


图 E1.2

1) 《集成电路导论》(徐俊荣等译, 原子能出版社)一书中的相应公式序号, 全书同。——编者

E1.3 在图1.12¹⁾中, 取 $V_{CC}=1.2\text{V}$ 和 $R=2.0\text{k}\Omega$, 要求解电流 I 及电压 V_D 。采用图1.6的二极管特性。(a)用图解法求解。(b)用二极管模型求解。分别取(1) $V_{D(\text{on})}=0\text{V}$;

(2) $V_{D(\text{on})}=0.7\text{V}$; (3) $V_{D(\text{on})}=0.6\text{V}$ 。

解 (a)用图解法: 作负载线, 其直线方程为:

$$V = V_{CC} - IR$$

确定直线上的两个特殊点:

$$A\text{点: } V=0\text{V} \quad I = \frac{V_{CC}}{R} = \frac{1.2}{2} = 0.6\text{mA}$$

$$B\text{点: } V=V_{CC}=1.2\text{V} \quad I=0\text{mA}$$

连接A、B两点即为负载线, 如图1.6上的直线。

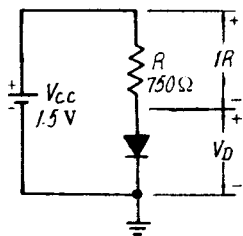


图 1.12a

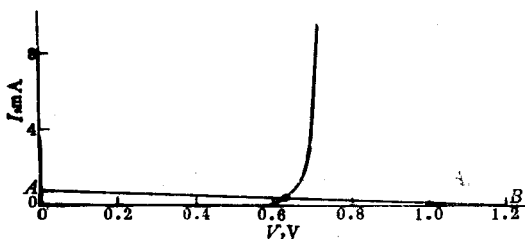


图 1.6

负载线与二极管正向特性曲线的交点即为其解。

$$\therefore V_D = 0.63\text{V} \quad I = 0.25\text{mA}$$

(b)用模型法求解: 画出含有二极管模型的等值电路 (如图E1.3所示)。

$$(1) V_{D(\text{on})} = 0\text{V} \quad I = \frac{V_{CC}}{R} = \frac{1.2}{2} = 0.6\text{mA}$$

$$(2) V_{D(\text{on})} = 0.7\text{V} \quad I = \frac{V_{CC} - V_{D(\text{on})}}{R} \\ = \frac{1.2 - 0.7}{2} = 0.25\text{mA}$$

$$(3) V_{D(\text{on})} = 0.6\text{V} \quad I = \frac{V_{CC} - V_{D(\text{on})}}{R} \\ = \frac{1.2 - 0.6}{2} = 0.3\text{mA}$$

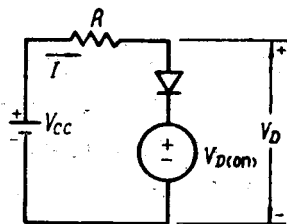


图 E1.3

E1.4 在图1.13中, 已知 $I_B=0.1\text{mA}$, $I_C=6\text{mA}$, $V_{CE}=3.5\text{V}$ 和 $V_{BE}=0.7\text{V}$ 。试用基尔霍夫电压定律确定 V_C 和 V_A 。注意题中晶体管各端点的工作条件为已知。

解 根据基尔霍夫电压定律列出方程:

$$V_A = I_C R_C + V_{CE} \\ = 6 \times 0.25 + 3.5 = 5\text{V}$$

1) 《集成电路导论》一书中的相应插图序号, 略称为教材图××, 全书同。——编者

$$V_G = I_B R_B + V_{BE} \\ = 0.1 \times 0.63 + 0.7 = 0.763 \text{ V}$$

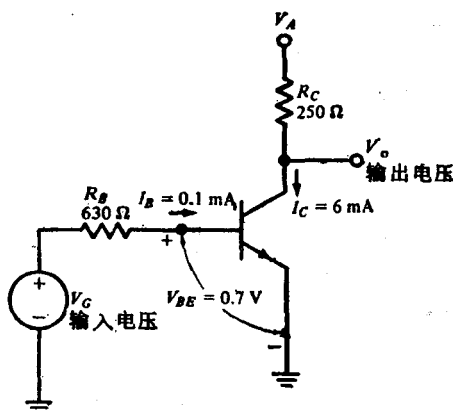


图 1.13

E1.5 在图1.23b中, 试确定 $I_C = 20 \text{ mA}$ 和 $I_C = 40 \text{ mA}$ 时的集电极饱和电压, 取 $I_C/I_B = 40$ 。

解 由题知 $\beta_F = I_C/I_B = 40$, $I_C = 20 \text{ mA}$ 时,

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_F} = \frac{20}{40} = 0.5 \text{ mA}$$

由图1.23b的曲线可查得:

$$V_{CE(sat)} = 0.23 \text{ V}$$

$I_C = 40 \text{ mA}$ 时,

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_F} = \frac{40}{40} = 1 \text{ mA}$$

由图1.23b的曲线可查得:

$$V_{CE(sat)} = 0.245 \text{ V}$$

E1.6 已知一个 n-p-n 硅晶体管 采用

图1.18的模型, 其参数如下: $\alpha_F = 0.98$, $\alpha_R = 0.0125$ 。

(a) 若 $V_{BC} = -1 \text{ V}$ 及 $I_B = 0.1 \text{ mA}$, 试问晶体管处于什么工作区? I_C 及 I_E 为若干? 在这些条件下, 试估计 V_{BE} 的数值为多少? 根据这个估计值, V_{CE} 应是多少?

(b) 若 $V_{BE} = -1 \text{ V}$ 及 $I_B = 0.79 \text{ mA}$, 试问晶体管处于什么工作区? I_C 及 I_E 为若干? V_{BC} 的估计值为多少?

解 (a) 由给定条件, 可确定晶体管工作在正常状态放大区, 因为:

(1) $I_B > 0$, 所以 V_{BE} 等于或大于二极管 D_E 的门限电压。

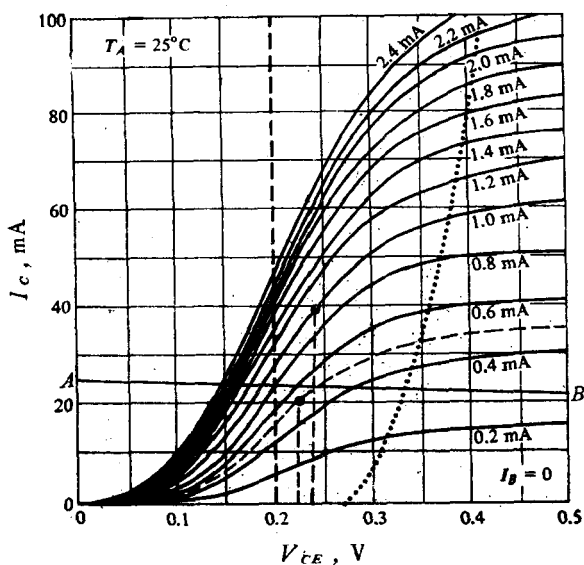


图 1.23b

(2) $V_{BC} = -1V$, 小于二极管 D_C 的门限电压。

此时三极管的模型可简化成如图E1.6a和E1.6b所示。

按(1.14)式:

$$I_C = \alpha_F I_{DE} = \alpha_F \frac{I_B}{1 - \alpha_F}$$

$$= 0.98 \times \frac{0.1}{1 - 0.98} = 4.9mA$$

$$I_E = I_{DE} = \frac{I_B}{1 - \alpha_F} = \frac{0.1}{1 - 0.98} = 5mA$$

由图E1.6b:

$$V_{BE} = V_{BE(on)} = 0.7V$$

$$V_{CE} = V_{BE} - V_{BC} = 0.7 - (-1) = 1.7V$$

(b) 由给定条件, 可确定晶体管工作在反接状态

放大区, 因为:

$$(1) V_{BE} = -1V < V_{BE(on)}$$

$$(2) I_B > 0, \text{只有 } V_{BC} \geq V_{BC(on)}, \text{才可能产生 } I_{B0}.$$

此时三极管的模型可简化成如图 E1.6c所示。

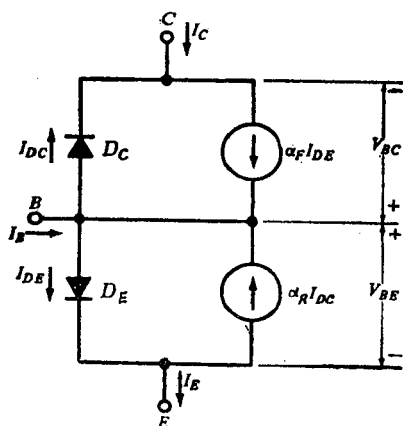


图 1.18

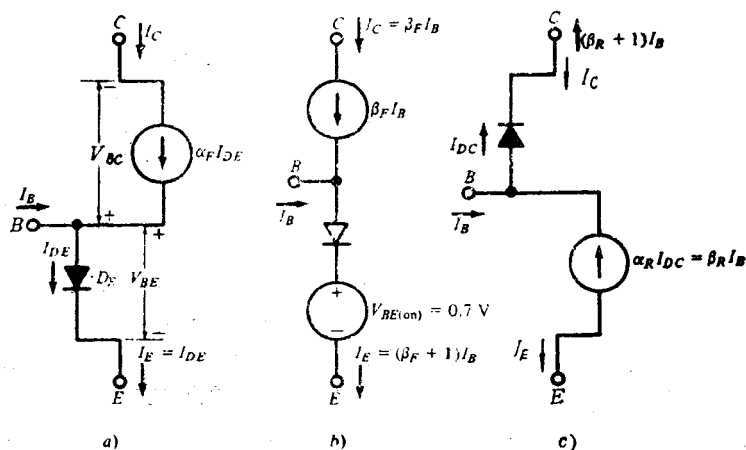


图 E1.6

按(1.18)式:

$$I_E = -\frac{\alpha_R}{1 - \alpha_R} I_B = -\beta_R I_B$$

$$= -\frac{0.0125}{1 - 0.0125} \approx -0.01mA$$

由图E1.6c:

$$I_C = -(\beta_R + 1)I_B = -\beta_R I_B - I_B = I_E - I_B$$

$$= -0.01 - 0.79 = -0.8mA$$

I_C 和 I_E 均为负值,说明电流的实际方向与规定方向(I_E 流出, I_C 流入)相反。此时:

$$V_{BC} \geq V_{BC(ON)} \approx 0.7V$$

E1.7 已知图1.1反相器电路中 $V_1=5V$, $R_2=200\Omega$, $R_4 \rightarrow \infty$ 。如欲使集电极饱和电压为0.2V, 试用图解法在图1.23的集电极 V_I 特性曲线上确定所需的基极电流。

采用本书中的简单模型, 再用解析法计算输出电压为0.2V时的 $I_{B(EOS)}$ 。取 $\beta_F=60$ 。

解 (1)图解法: 因为 $R_4 \rightarrow \infty$, 所以电源 V_2 不起作用。此时

$$V_{CE} = V_1 - I_C R_2$$

由此方程作负载线, 求出其上两个点:

A点: $V_{CE} = 0V$,

$$I_C = \frac{V_1}{R_2} = \frac{5}{0.2} = 25mA$$

B点: $V_{CE} = 0.5V$

$$I_C = \frac{V_1 - V_{CE}}{R_2} = \frac{5 - 0.5}{0.2} = 22.5mA$$

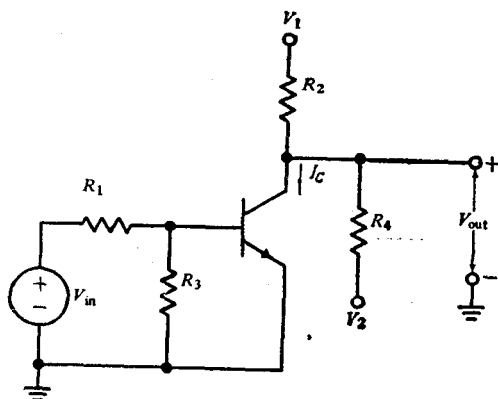


图 1.1

连接AB两点, 得负载线。

又过 $V_{CE}=0.2V$ 作一条垂直线, 与负载线的交点所决定的电压、电流值, 也就是晶体管上的电压、电流值。由图1.23b (参见E1.5中插图) 可得, 过此点的晶体管特性曲线所对应的 I_B 为0.8mA。

(2)模型分析法: 画出包含晶体管饱和区模型的等值电路 (如图E1.7所示)。由图得,

$$I_{C(sat)} = \frac{V_1 - V_{CE(sat)}}{R_2} = \frac{5 - 0.2}{0.2} = 24mA$$

$$I_{B(EOS)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta_F} = \frac{24}{60} = 0.4mA$$

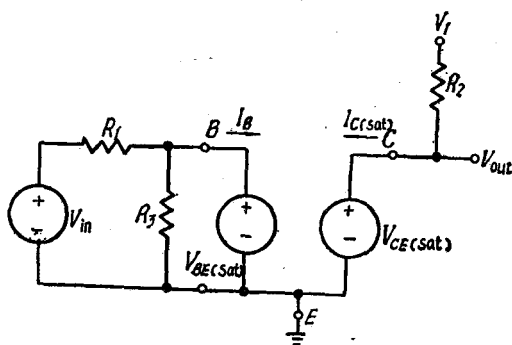


图 E1.7

E1.8 用诺顿定理确定图 1.28b 的输出电路在 $I_C=10\text{mA}$ 时的 V_{out} 。

解 将图 1.28b 化成诺顿等效电路 (如图 E1.8 所示)。其中:

$$I = \frac{V_A}{R_C} = \frac{5}{0.25} = 20\text{mA}$$

$$R_C = 250\Omega$$

$$\therefore I_{RC} = I - I_C = 20 - 10 = 10\text{mA}$$

$$V_{out} = V_{y,y'} = I_{RC} \times R_C = 10 \times 0.25 = 2.5\text{V}$$

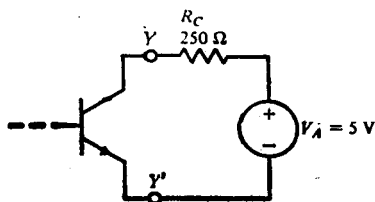


图 1.28b

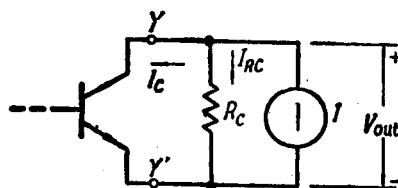


图 E1.8

E1.9 用解析法和 1.5.2 节模型的参数值, 确定图 1.29a 电路的传输特性上的转换点坐标, 取 $R_B=10\text{k}\Omega$, $R_C=1\text{k}\Omega$ 。

解 把图 1.29a 的电路用含有晶体管模型的等值电路来代替, 如图 E1.9a 为晶体管在放大区的等值图, 图 E1.9b 为晶体管在饱和区的等值图。

由 1.5.2 节, 模型的参数值为:

$\beta_F=60$, $V_{BE}=V_{BE(on)}=0.7\text{V}$ 和 $V_{CE(sat)}=0.2\text{V}$ 。

(1) $0\text{V} \leq V_G \leq V_{BE(on)}=0.7\text{V}$, $\therefore I_B=0$, $I_C=0$, 晶体管截止, $V_{out}=V_A=5\text{V}$ 。

(2) $V_{G(EOC)}=V_{BE(on)}=0.7\text{V}$, 此时为截止边缘, $I_B=0$, $I_C=0$, $V_{out}=V_A=5\text{V}$ 。

所以 EOC 点坐标为: $V_{G(EOC)}=0.7\text{V}$, $V_{out}=5\text{V}$ 。

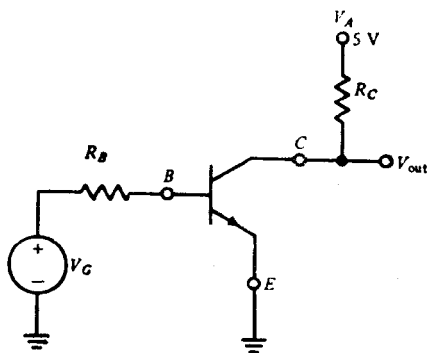


图 1.29a

1) EOC (edge of cutoff) 用来表示电路传输特性上的转换点, 是指截止边缘。——编者

(3) $0.7\text{V} < V_G < V_{G(\text{EOS})}$ 晶体管工作在正常状态放大区, 根据图 E1.9a 得:

$$I_B = \frac{V_G - V_{BE(\text{on})}}{R_B}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= V_A - I_C R_C = V_A - \beta_F (V_G - V_{BE(\text{on})}) \frac{R_C}{R_B} \\ &= \left(V_A + \beta_F V_{BE(\text{on})} \frac{R_C}{R_B} \right) - \beta_F \frac{R_C}{R_B} V_G \\ &= \left(5 + 60 \times 0.7 \times \frac{1}{10} \right) - 60 \frac{1}{10} V_G \\ &= (9.2 - 6V_G) \text{V} \end{aligned}$$

所以, V_{out} 随 V_G 的增加线性下降。

(4) $V_G = V_{G(\text{EOS})}$, 晶体管处于饱和边缘, $V_{\text{out}} = V_{CE(\text{sat})} = 0.2\text{V}$, 根据图 E1.9b 得:

$$I_{B(\text{EOS})} = \frac{V_A - V_{CE(\text{sat})}}{\beta_F \times R_C} = \frac{5 - 0.2}{60 \times 1} = 0.08\text{mA}$$

$$\begin{aligned} V_{G(\text{EOS})} &= I_{B(\text{EOS})} R_B + V_{BE(\text{sat})} \\ &= 0.08 \times 10 + 0.7 = 1.5\text{V} \end{aligned}$$

所以 EOS 点坐标为: $V_{G(\text{EOS})} = 1.5\text{V}$, $V_{\text{out}} = 0.2\text{V}$ 。

(5) $V_G > V_{G(\text{EOS})}$, 晶体管进入饱和区, $V_{\text{out}} = 0.2\text{V}$, 作传输特性如图 E1.9c 所示。

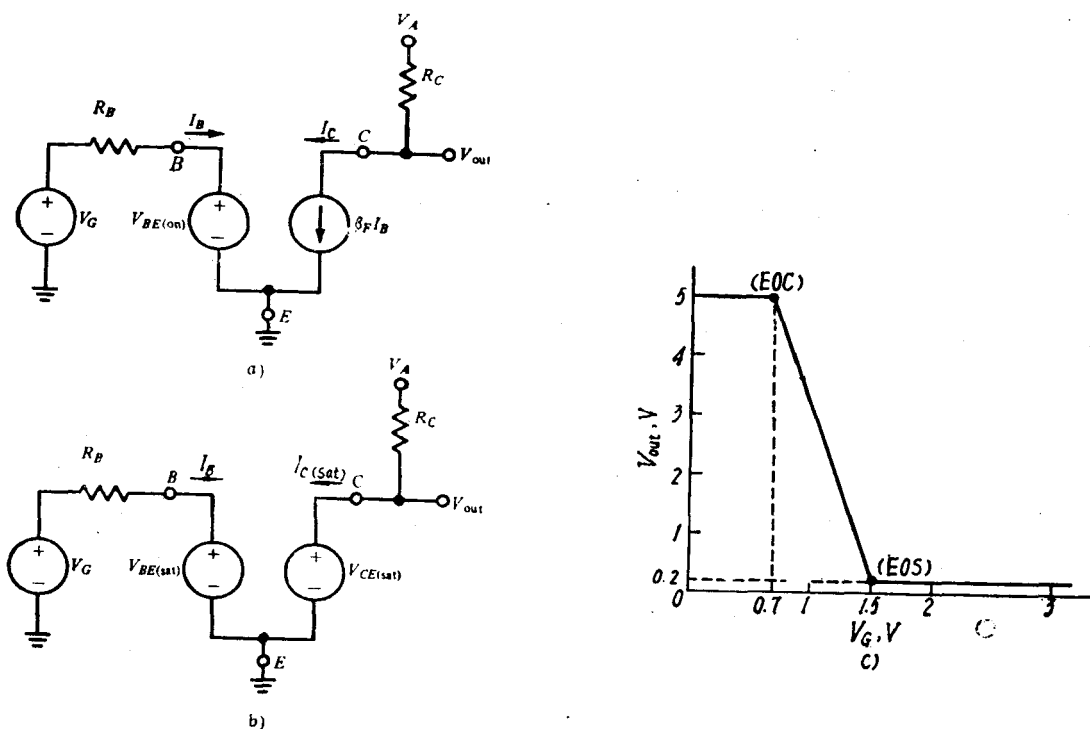


图 E1.9

1) EOS (edge of saturation) 是指饱和边缘。——编者

E1.10 对于图 E1.10 的改进了的射极跟随器, 如 V_{out} 为 1.22V, 试求 V_{in} 值。设 $\beta_F=60$, $V_{BE(on)}=0.7V$, $V_{D(on)}=0.7V$ 。

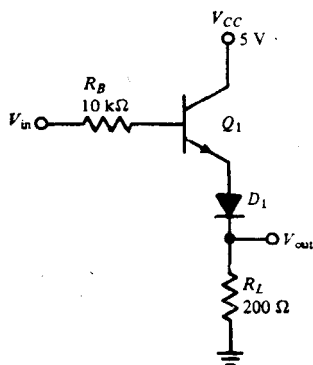


图 E1.10

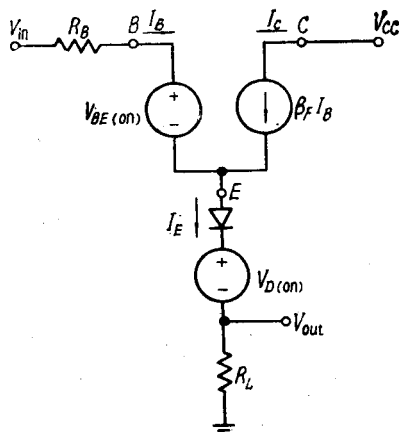


图 E1.10a

解 画出该电路含有晶体管放大区模型的等值电路, 如图E1.10a所示。

$$\begin{aligned} V_{CE} &= V_{CC} - (V_{D(on)} + V_{out}) \\ &= 5 - (0.7 + 1.22) = 3.08V \end{aligned}$$

故晶体管工作在放大区。

$$\text{由图得: } I_E = \frac{V_{out}}{R_L} = \frac{1.22}{0.2} = 6.1\text{mA}$$

$$I_B = \frac{I_E}{1 + \beta_F} = \frac{6.1}{1 + 60} = 0.1\text{mA}$$

$$\begin{aligned} \text{由图得: } V_{in} &= I_B R_B + V_{BE(on)} + V_{D(on)} + V_{out} \\ &= 0.1 \times 10 + 0.7 + 0.7 + 1.22 = 3.62V \end{aligned}$$

E1.11 应用图 1.36b 的 MOS 场效应管特性, 确定图 1.38 中改进电路的 V_{out} (取 $V_{DD}=6V$, $R_L=2k\Omega$)。设 (a) $V_{in}=5V$; (b) $V_{in}=1.5V$ 。

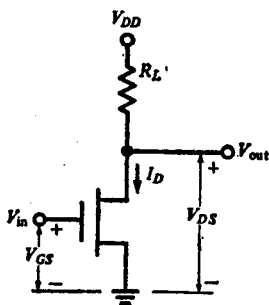


图 1.38

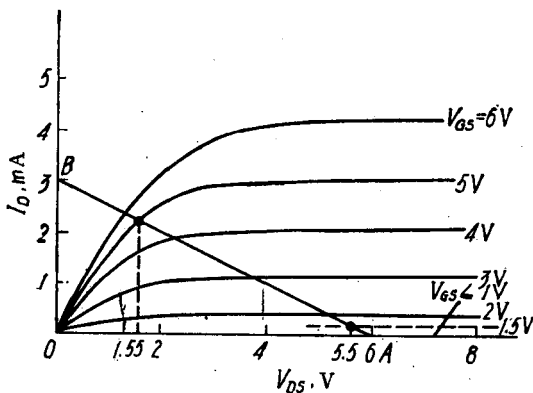


图 1.36b

解 由图1.38列出输出回路的电压方程:

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_L = 6 - 2I_D$$

根据上式, 在漏极特性曲线上作负载线。确定其上两个点:

A点: $V_{DS} = V_{DD} = 6V$ $I_D = 0$

B点: $V_{DS} = 0V$ $I_D = \frac{V_{DD}}{R_L} = \frac{6}{2} = 3mA$

连接A、B两点即得负载线。

(a) 当 $V_{in} = V_{GS} = 5V$ 时, 对应于 $V_{GS} = 5V$ 的漏极特性与负载线的交点即为电路之解, $\therefore V_{out} = V_{DS} = 1.55V$ 。

(b) 当 $V_{in} = V_{GS} = 1.5V$ 时, 假定 $V_{GS} = 1.5V$ 的漏极特性介于 $V_{GS} = 2V$ 和横轴 ($V_{GS} = 1V$) 之中间, 如虚线所示, 其与负载线的交点即为解, $\therefore V_{out} = V_{DS} = 5.5V$ 。

习 题

P1.1 生产厂的普通二极管数据表上没有 I_S 的数据, 而只给出二极管在给定电流下的正向电压。设二极管符合(1.3)式的关系。

(a) 如果在 $27^\circ C$ 下通过 $1mA$ 正向电流时二极管的压降为 $720mV$, 求 I_S 的数值。

(b) 若在 $27^\circ C$ 下通过 $0.1\mu A$ 正向电流, 求此二极管的正向电压降。

解 (a) $27^\circ C$ 对应于绝对温度 $300K$, 此时的热电压 V_T 约为 $26mV$ 。由(1.3)式:

$$I = I_S e^{V/V_T} = I_S 10^{V/2.3V_T}$$

$$1 \times 10^{-3} = I_S 10^{720 \times 10^{-3} / 2.3 \times 2.6 \times 10^{-2}} = I_S 10^{12}$$

$$\therefore I_S = 1 \times 10^{-15} A$$

(b) 在 $27^\circ C$ 时, 由(1.5b)式得:

$$V = (60mV) \log \frac{1 \times 10^{-7}}{1 \times 10^{-15}} = 60 \log 10^8 = 480mV$$

***P1.2** 已知一个二极管符合(1.3)式的关系, 在 $27^\circ C (300K)$ 时 $I_S = 10^{-14} A$, 而且温度每升高 $1^\circ C$ I_S 增加 17% , 试求:

(a) 在 $27^\circ C$ 、 $1mA$ 时的 V_D 。

(b) 在 $28^\circ C$ 时的 I_S 。

(c) $28^\circ C$ 、 $1mA$ 时的 V_D (提示: 用 $27^\circ C$ 时的 V_D 再加一个修正量来表示)。

(d) V_D 的温度系数 (即在 $27^\circ C$ 、 $1mA$ 时的 $\Delta V_D / \Delta T$)。

解 (a) 由(1.3)式: $\ln \frac{I}{I_S} = \frac{V_D}{V_T}$, $300K$ 时的热电压 $V_T \approx 26mV$,

则 $V_D = V_T \ln 10 \log \frac{I}{I_S} = 26 \times 2.3 \log \frac{10^{-3}}{10^{-14}} = 660mV$

(b) $I_{S(28^\circ C)} = I_{S(27^\circ C)} (1 + 17\%) = 1.17 \times 10^{-14} A$

(c) $28^\circ C$ 时的 V_T :

$$V_{T(28^\circ C)} = \frac{kT}{q} = \frac{k \times 301}{q} = V_{T(27^\circ C)} \times \frac{301}{300} = 26 \times \frac{301}{300} mV$$

$$V_{D(28^\circ C)} = V_{T(28^\circ C)} \times 2.3 \log \frac{I}{I_{S(28^\circ C)}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 26 \times \frac{301}{300} \times 2.3 \log \frac{10^{-3}}{1.17 \times 10^{-14}} \\
 &= 26 \times 2.3 \left(1 + \frac{1}{300} \right) (\log 10^{11} - \log 1.17) \\
 &= 60 \log 10^{11} - 60 \log 1.17 + \frac{60}{300} \log 10^{11} - \frac{60}{300} \log 1.17 \\
 &= 660 \text{mV} - 1.9 \text{mV}
 \end{aligned}$$

2.

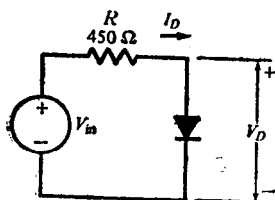
$$V_{D(28^\circ\text{C})} = V_{D(27^\circ\text{C})} - 1.9 \text{mV}$$

$$(d) \frac{\Delta V_D}{\Delta T} = \frac{V_{D(28^\circ\text{C})} - V_{D(27^\circ\text{C})}}{28^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C}} = \frac{V_{D(27^\circ\text{C})} - 1.9 - V_{D(27^\circ\text{C})}}{1^\circ\text{C}} = -1.9 \text{mV}/^\circ\text{C}$$

P1.3 在图 P1.3 电路中求 $V_{in}=4\text{V}$ 时的二极管电流, 二极管采用如下的模型:

- (a) 理想二极管。
- (b) 理想二极管与 $V_{D(on)}=0.7\text{V}$ 串联。
- (c) V_{in} 从 0V 变到 4V , 重做(b)。画出 $I-V_{in}$ 关系曲线, 表示出转换点及斜率。

解 (a) 利用二极管模型画出等效电路, 如图 P1.3a 所示。



$$I_D = \frac{V_{in}}{R} = \frac{4}{0.45} = 8.89 \text{mA}$$

(b) 利用二极管模型画出等效电路, 如图 P1.3b 所示。

$$I_D = \frac{V_{in} - V_{D(on)}}{R} = \frac{4 - 0.7}{0.45} = 7.33 \text{mA}$$

图 P1.3

(c) 当 $V_{in} \leq 0.7\text{V}$ 时, $I_D = 0$

$$\text{当 } V_{in} > 0.7\text{V 时, } I_D = \frac{V_{in} - V_{D(on)}}{R} = \frac{V_{in} - 0.7}{0.45}$$

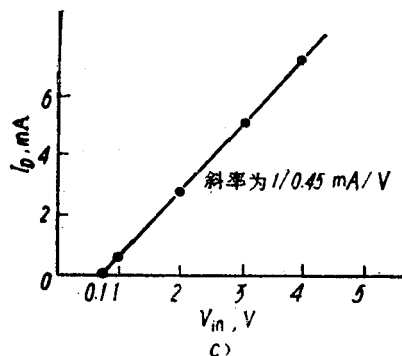
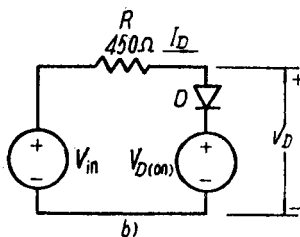
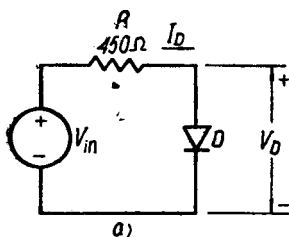


图 P1.3

$V_{in}(\text{V})$	0.7	1	2	3	4
$I_D(\text{mA})$	0	0.667	2.89	5.11	7.33

I_D 随 V_{in} 线性增加, 斜率为 $\frac{1}{R} = \frac{1}{0.45} \text{mA/V}$ 作 $I-V_{in}$ 关系曲线如图 P1.3c 所示。转换点为 (0.7 V, 0mA)。

P1.4 (a) 对图 P1.4 的二极管门电路, 当 V_{in} 从 0V 变到 5V 时, 求 I_1 和 I_2 与 V_{in} 的关系并作图。所有二极管都用 $V_{D(on)} = 0.7\text{V}$ 的模型。标出所有的转换点和斜率。

(b) 当 V_{in} 正好等于 1.4V 时, 确定 I_1 和 I_2 的数值。

解 (a) 利用二极管模型画出等效电路, 如图 P1.4a 所示。

当 $0 \leq V_{in} < 1.4\text{V}$ 时, D_1 导通。 $V_p = 0.7 + V_{in} < 2.1\text{V}$

$\therefore D_2, D_3, D_4$ 不导通, $I_2 = 0$

$$I_1 = \frac{5 - 0.7 - V_{in}}{2} = \frac{4.3\text{mA}}{2} - \frac{V_{in}}{2} \text{mA}$$

(斜率为 $-\frac{1}{2} \text{mA/V}$)

$$V_{in} = 0 \quad I_1 = \frac{4.3}{2} = 2.15\text{mA}$$

当 $5\text{V} \geq V_{in} > 1.4\text{V}$ 时, D_2, D_3, D_4 导通, D_1 不导通, $I_1 = 0$

$$V_p = 3 \times V_{D(on)} = 3 \times 0.7 = 2.1\text{V}$$

$$I_2 = \frac{5 - V_p}{2} = \frac{5 - 2.1}{2} = 1.45\text{mA}$$

根据上述计算, 作出 $I-V_{in}$ 关系曲线, 如图 P1.4b 和 P1.4c 所示。

(b) $V_{in} = 1.4\text{V}$ 时, 所有二极管都导通, $V_p = 2.1\text{V}$

$$I_1 = I_2 = \frac{1}{2} \frac{5 - 2.1}{2} = 0.725\text{mA}$$

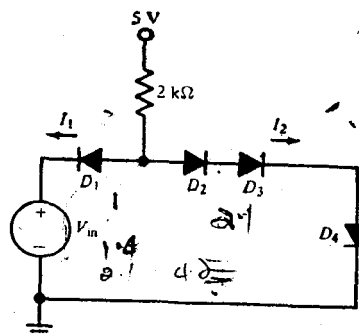


图 P1.4

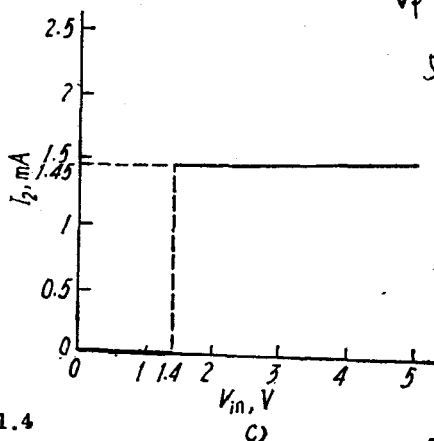
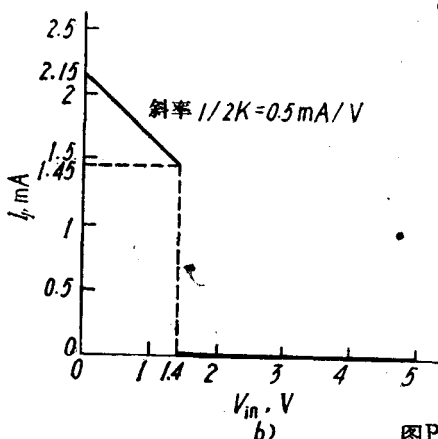
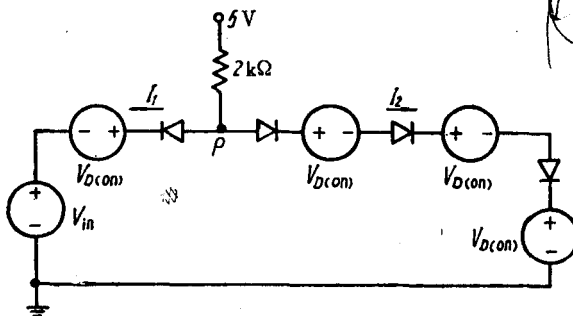
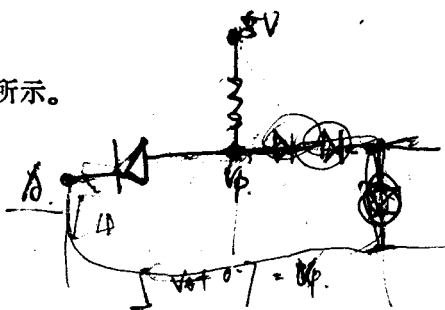


图 P1.4

P1.5 一个满标度为 $100\mu\text{A}$ 的微安表, 其直流电阻为 600Ω , 在图 P1.5 电路中与电阻 $R_1 = 100\text{k}\Omega$ 串联组成一个满标度为 10V 的电压表。如果偶然将一个 1000V 电压加在 AA' 端, 为使通过微安表的电流等于或小于其满度额定值的 10 倍, 应怎样考虑二极管 D_1 及 D_2 的规格 (即指电压为 V_D 时的电流 I_D)?

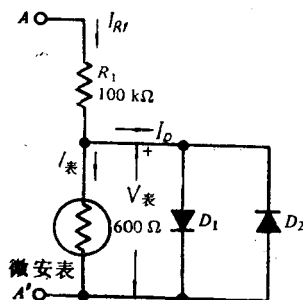


图 P1.5

解 当 AA' 两端加 1000V 时,

$$I_{\text{表}} = 100 \times 10 = 1000\mu\text{A} = 1\text{mA}$$

$$V_{\text{表}} = R_{\text{表}} \times I_{\text{表}} = 0.6 \times 1 = 0.6\text{V}$$

$$I_{R_1} = \frac{V_{AA'} - V_{\text{表}}}{R_1} = \frac{1000 - 0.6}{100} \approx 10\text{mA}$$

$$I_D = I_{R_1} - I_{\text{表}} = 10 - 1 = 9\text{mA}$$

$\therefore$ 二极管 D_1 和 D_2 的参数:

正向导通电压 $V_D = V_{\text{表}} = 0.6\text{V}$

电压为 V_D 时 $I_D = 9\text{mA}$

***P.16** 真空管万用表(VTVM)的欧姆表部分电路如图 P1.6 所示。

(a) 证明欧姆读数的表达式为

$$\Omega_x = \frac{V_x}{I_x} = \frac{R_M}{(1.5/V_x) - 1}$$

式中: V_x 为未知电阻两端的电压, R_M 为串联电阻。

(b) 利用 (a) 的结果, 取 $R_M = 10\text{k}\Omega$, 将正向偏置的二极管作为未知“电阻”, 设 $V_{D(\text{on})} = 0.7\text{V}$, 试求电阻值。

(c) 取 $R_M = 1\text{k}\Omega$, 重做 (b)。

解 (a) 由电路知:

$$\begin{cases} I_x = \frac{1.5 - V_x}{R_M} & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_x = \Omega_x I_x & (2) \end{cases}$$

合并 (1)、(2) 式:

$$\Omega_x = \frac{V_x}{I_x} = \frac{V_x R_M}{1.5 - V_x} = \frac{R_M}{(1.5/V_x) - 1}$$

(b) 画出含有二极管模型的等值电路, 如图 P1.6a 所示。

$$\begin{aligned} \Omega_x &= \frac{R_M}{(1.5/V_x) - 1} = \frac{10}{(1.5/0.7) - 1} \\ &= 8.75\text{k}\Omega \end{aligned}$$

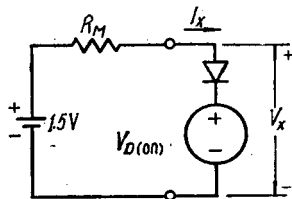


图 P1.6a

$$(c) \quad \Omega_x = \frac{R_M}{(1.5/V_x) - 1} = \frac{1}{(1.5/0.7) - 1} = 0.875\text{k}\Omega$$

由 (b) 和 (c) 可知, 用万用表测量非线性元件 (二极管) 的电阻, 当表的量程不同, 即表内阻不同时, 测量结果不同。

P1.7 在图 P1.7 电路中, 设 $V_{D(\text{on})} = 0.7\text{V}$, 试求下列情况下的二极管电流 I_D :

(a) $V_{CC} = 12\text{V}, I_1 = 1.25\text{mA}$ 。

(b) $V_{CC} = -6\text{V}, I_1 = -1.25\text{mA}$ 。