

电子线路与数字电路实验

屠元 主编



西北工业大学出版社

高等学校教材

电子线路与数字电路实验

屠元 主编

西北工业大学出版社

1995年8月 西安

(陕)新登字 009 号

【内容简介】 本书是根据高等院校电类专业本科生实验要求编写的。全书共分两篇和附录。第一篇:模拟电子线路实验;第二篇:脉冲数字电路实验。附录分三个部分:常用电子仪器的基本原理和使用方法;常用元器件的命名及识别方法;中高速中小规模半导体集成电路介绍。各篇内容具有相对独立性,便于各院校选用。

本书内容循序渐进,加强了集成电路的应用,注意培养学生独立工作能力,可作为高校电子类、通信类、计算机类、自动控制类、工程测试类及非电类专业本科生实验教材,也可供有关专科院校学员选用。

高等学校教材
电子线路与数字电路实验

主 编 屠 元
责任编辑 李 珂
责任校对 钱伟峰

*

© 1995 西北工业大学出版社出版
(710072 西安市友谊西路 127 号 电话 4253407)

陕西省新华书店发行

西北轻工业学院印刷厂印装

ISBN 7-5612-0733-6/TN·31(课)

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:12.25 字数:296 千字
1995 年 8 月第 1 版 1995 年 8 月第 1 次印刷
印数:1—4 000 册 定价:10.00 元

购买本社出版的图书,如有缺页、错页的,本社发行部负责调换。

前 言

“电子线路”和“数字逻辑电路”是高等工科院校电类各专业重要专业基础课；也是实用性、工程性较强的技术基础课。实验和实践性课程设计都是这一课程不可缺少的重要教学环节。本书就是为了配合本课程实验教学而编写的。

本书是根据国家教委工科电工课程指导委员会制订的高等工业学校《电子线路（I）、（II）实验教学基本要求》和《脉冲与数字电路实验教学基本要求》，同时考虑到近年来《模拟集成电路》课程实验教学需要，加上南京航空航天大学电子工程系电子线路实验室多年实验教学实践而编写成的。

本书包括 33 个实验，分为模拟电子线路实验和脉冲数字电路实验两大篇。篇与篇之间有相对独立性，又有一定系统性。

在实验内容具体安排上，力图由浅入深，循序渐进。为了加强实验基本技能训练，在内容中设置了：① 各种常用仪器的使用，并使仪器使用能力培养贯串在各个实验之中；② 从掌握器件参数到掌握基本电路主要性能指标的测试和调整方法；③ 基本单元电路的设计性实验训练；④ 实验中为了培养学生独立工作能力提出的思考题。

每一个实验约需 3 学时。根据各专业不同要求可选用其中内容。

参加本书编写的是南京航空航天大学教师：屠元、王伟跃、汪时贤、周家栋、张桂芝、肖惠芬、赵淑仪和施亿平。全书由屠元担任主编。

第一篇实验一～十三由屠元编写；实验十四由王伟跃编写；实验十五、二十由周家栋编写；实验十六、二十一、二十二由汪时贤编写；实验十七～十九由张桂芝编写。第二篇实验一、三、四、十一由肖惠芬编写；实验二、五、九由施亿平编写；实验六～八由赵淑仪编写。附录由屠元、张桂芝、赵淑仪和施亿平编写。

东南大学方九如高级工程师和朱振国副教授审阅了全稿，并提出了许多宝贵的意见和建议，在此，向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，错误与不妥之处，恳请读者批评和指正。

编 者

1994 年 10 月

目 录

第一篇 模拟电子线路实验

实验一	常用低频电子仪器的使用	1
实验二	晶体管和场效应管参数测试	6
	附：用万用表检查晶体管的方法	14
实验三	单管基本放大器	16
	附：晶体管放大器的设计与制作	19
实验四	两级阻容耦合放大器	20
实验五	负反馈放大器	23
实验六	直流差动放大器	26
实验七	集成低频功率放大器	29
实验八	集成运算放大器的基本应用	33
实验九	模拟集成电路解联立方程	37
实验十	线性检波和绝对值电路	39
实验十一	电压比较器	42
实验十二	窗口比较器	46
实验十三	方波和三角波发生器	48
实验十四	整流与稳压电路	51
实验十五	集成图象中频放大器	56
实验十六	LC 正弦波振荡器	60
实验十七	晶体管高频功率放大器	65
实验十八	振幅调制	70
实验十九	检波电路	74
实验二十	模拟乘法器在高频电路中应用	77
实验二十一	集成压控振荡器调频	81
实验二十二	集成鉴频器	86

第二篇 脉冲数字电路实验

实验一	张弛振荡器	93
实验二	集成门电路逻辑功能测试	99
实验三	利用集成门构成脉冲电路	104

实验四	组合逻辑电路设计、安装、调试	108
实验五	采用 MSI 的组合逻辑电路	111
实验六	集成触发器	116
实验七	同步时序电路的设计、安装、调试	121
实验八	计数器、译码器、显示器	126
实验九	A/D、D/A 转换器	130
实验十	555 时基电路	134
实验十一	以移位寄存器为核心的时序电路	140

附 录

附录一	常用电子仪器的基本原理和使用方法	143
一、	XJ-4312 型双踪示波器	143
二、	XD-2 型低频信号发生器	147
三、	DA-16 型晶体管毫伏表	148
四、	MF-9 型万用表	149
五、	JT-1 型晶体管特性图示仪	150
六、	WYJ-4A 型直流稳压电源	155
七、	BT-3 型频率特性测试仪	155
八、	XFG-7 高频信号发生器	158
九、	DA-1 型超高频毫伏表	160
十、	XC-13A 型脉冲信号发生器	161
十一、	脉冲数字电路实验器	164
附录二	常用元器件的命名及识别方法	166
一、	R、C 元件的标称系列及色码电阻表示法	166
二、	半导体器件的命名方法及外形图	167
附录三	数字集成电路介绍——国际通用 74 系列	169
一、	型号说明	169
二、	总定性符号	169
三、	与输入、输出和其他连接有关的定性符号	170
四、	74 系列集成电路引脚图、逻辑符号、逻辑图、逻辑表达式及功能表	173

第一篇 模拟电子线路实验

实验一 常用低频电子仪器的使用

一、实验目的

1. 学会正确使用几种常用电子仪器：示波器、低频信号发生器、毫伏表和万用表。
2. 学会列表和记录实验数据。
3. 通过实验和对实验数据处理分析，加深对仪器原理、技术指标和使用注意事项的了解。

二、实验原理

XJ-4312 型示波器、XD-2 型低频信号发生器、DA-16 型晶体管毫伏表和 MF-9 型万用表的介绍请见附录一。

常用电子仪器使用请看图 1-1-1 的连接方法，用示波器和毫伏表来观察和测量信号电压请看图 1-1-2 的连接方法。

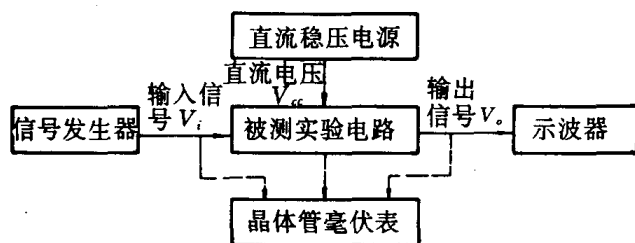


图 1-1-1 常用电子仪器使用示意图

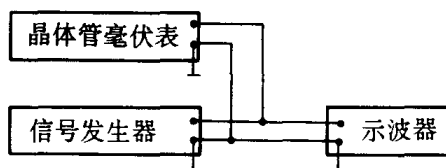


图 1-1-2 用示波器和毫伏表观察和测量信号电压

三、预习要求

1. 参阅本书附录一有关仪器的内容，熟悉仪器基本工作原理和一般使用常识。
2. 了解仪器的主要技术性能，以便正确处理实验数据。
3. 估算有关数值。

四、实验内容

1. 用 DA-16 型毫伏表和 MC-9 型万用表分别测量 XD-2 型信号发生器的输出电压。

DA-16 型毫伏表量程置于“10 V”挡，MF-9 型万用表量程置于“10 V”挡，XD-2 型信号发生器输出信号保持电表指示为“5 V”，输出衰减置于“0”dB 挡，其频率按表 1-1-1 改变，逐点记录毫伏表和万用表的读数，注意读数前对仪器进行零位调整。

表 1-1-1

XD-2 输出信号频率	Hz				kHz								MHz
	2	10	20	100	1	10						500	1
DA-16 指示值 (V)													
MF-9 指示值 (V)													
XD-2 表头指示 (V)													

注：表中的空格根据测量情况自定频率。

2. 用毫伏表检查信号发生器“输出衰减器”的误差。信号频率为 1 kHz。信号发生器电表指示为 5 V，“输出衰减”按表 1-1-2 改变，用毫伏表测量实际输出值，并记入表 1-1-2 之中，注意毫伏表的量程应随被测量信号的幅度大小而改变。

表 1-1-2

XD-2 输出				DA-16		衰减器误差		
表头指示	输出衰减 (dB)	衰减比 (估算值)	输出电压 (估算值)	量程	测量值 (V)	Δ	γ	结论
5V	0							
	10							
	20							
	30							
	40							
	50							
	60							

3. 按表 1-1-3，用毫伏表测量信号发生器在有载情况下输出电压的变化。信号频率为 1 kHz，注意要在负载开路 ($R_L=\infty$) 时调整表头指示为 3 V。

表 1-1-3

XD-2 输出		DA-16 读数值 (V)			
表头指示	输出衰减 (dB)	$R_L = \infty$		$R_L = 620 \Omega$	
		估算值	测量值	估算值	测量值
3V	0				
	20				
	40				
	60				

4. (选做) 示波器的校正电压源为 1 kHz 和只有正峰值为 2 V 的方波。试分别用万用表和毫伏表测量之, 将测量结果记入表 1-1-4 (注意有的不能测)。

表 1-1-4

校正电压值	MF-9 (___ V 挡)		MF-9 (___ V 挡)		DA-16 (___ V 挡)	
	估算值	测量值	估算值	测量值	估算值	测量值
正接测量 (V)						
反接测量 (V)						

5. 用示波器观察信号发生器的输出波形 XD-2 衰减器置于 0 dB, 输出保持 1 V, 示波器图象高度调至 2~3 div, 按表 1-1-5 改变信号频率, 调整示波器扫速 “t/div”, 使能在示波管有效面积水平 10 div 上尽量利用而观察到一个完整周期的波形, 将测量值记入表 1-1-5。

表 1-1-5

发 生 器	信号频率 f (Hz)		1	10	100	1×10^3	20×10^3
	信号周期 T (s) (估算值)						
	频率相对误差 (%) (估算值)						
示 波 器	示波器扫速 (t/div) (估算值)						
	信号一个周期的长度 (div)						
	信号周期 T' (s) [$T' = (t/\text{div}) \times \text{div}$]						
	信号频率 f' (Hz)						
	频率相对 误差 (%)	(估算值)					
		(测量值)					

注意扫描方式选择其中“自动”状态与电平调节旋钮置于“锁定”时的用法, 以及扫描方式中选择“触发”状态与电平调整旋钮的用法。掌握如何配合使波形与扫描同步。体会触

发极性改变时波形作何变化。

6. 双踪显示 将垂直方式选择开关置于 Y_1Y_2 方式, 这时屏幕上会显示出两条时基线, 按图 1-1-3 连接 RC 网络, 注意仪器之间共地。观察不同频率时 RC 网络的输入、输出波形和相位关系。记录其中选定的两三个频率点上的相位差。

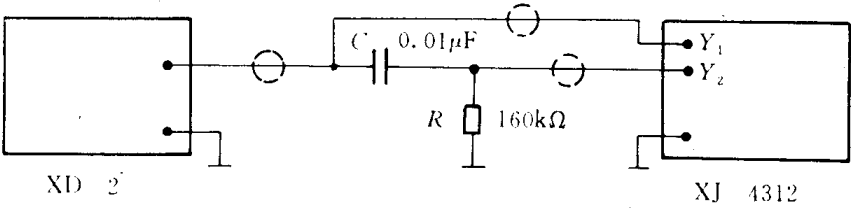


图 1-1-3 双踪显示连线图

7. 工频干扰 (选做) 在低频阻抗电路测量中, 为提高测量灵敏度, 一般采用开路电缆线。但在高阻抗电路中, 小信号测量时将引入 50 Hz 的工频干扰, 若直接用导线连接, 其干扰将直接影响测量结果。试按图 1-1-4 连接线路, 观察干扰现象。

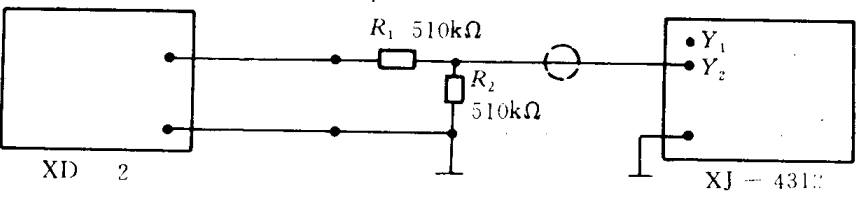


图 1-1-4 工频干扰连线图

测试电路为一简单的电阻分压器, $R_1=R_2=510\text{ k}\Omega$; 试用两根长导线连接 R_1 、 R_2 至 XD-2 输出端上, 用示波器观察 R_2 两端波形, 条件为: XD-2 信号频率 $f=1\text{ kHz}$, 电压大小为 0.05 V , 改变示波器扫速开关, 记录干扰的波形。

工频干扰是实际工作中常遇到的问题, 当信号中有干扰时, 鉴别是否有工频干扰很有必要。其方法, 将触发选择置于“电源”, 适当调节扫速, 即可看到干扰信号的波形, 测定其频率, 一般工频干扰频率为 50 Hz 或 100 Hz, 因此, 图形中干扰波的频率必定与 50 Hz 或 100 Hz 有关。

五、实验报告内容

1. 将测量数据整理后列表。
2. 表 1-1-1 中 3 种仪器指示各有差别。分析仪器读数最可信的频率范围。
3. 表 1-1-3 中, XD-2 的输出电压为何与负载有关? 而增加衰减时影响反而减小意味着什么?
4. 用万用表和毫伏表测示波器校正电压源时, 差别很大, 与校正电压 2 V (V_{PP}) 值也不同, 请分析: 直接读数是否正确? 如何使万用表 $\tilde{V}$ 挡的读数与毫伏表读数一致? (选做)
5. 表 1-1-5 中, 信号发生器输出信号周期 T 与示波器测出的周期 T' 为什么不一致? 分析何时哪个相对比较准确。

六、实验仪器

1. 双踪示波器 XJ-4312 型。
2. 低频信号发生器 XD-2 型。
3. 晶体管毫伏表 DA-16 型。
4. 万用表 MF-9 型。

实验二 晶体管和场效应管参数测试

一、实验目的

学会用晶体管特性图示仪测量二极管、稳压管、三级管和场效应管的主要参数。

二、实验原理

任何一个半导体器件，都可等效为一个二端或四端网络。要了解某个器件的性能和能正确使用这个器件，就必须测出其输入、输出和传输特性。用图示仪能定量地显示出半导体器件的特性曲线，通过特性曲线，就能测定出该器件的各种参数。例如，从三极管的输入特性曲线，可测出三极管的输入电阻和反向传输系数；而从输出特性曲线，可测出三极管的放大系数和输出导纳等参数。用图示仪测定半导体器件，简便、直观，并能保证一定的测试精度。

1. 晶体二极管的测试

二极管按其用途可分为整流管、检波管、开关管和稳压管等，而且每种用途的二极管按其不同工作电流、电压值，又有很多种型号。但各种二极管均可由其伏安特性曲线获取其参数。因此测试主要内容是二极管的正向和反向伏安特性曲线。

(1) 二极管正向特性的测试 测试二极管的正向特性，首先应保证测试电流不超过手册所规定的最大整流电流 I_{FM} ，为此在给定扫描峰值电压 V_{CC} 下，选功耗电阻 $R_P = V_{CC}/I_{FM}$ ，则由图 1-2-1 可见，流过待测管的最大测试电流为 $I_{FQ} < I_{FM}$ 。当 $V_{CC} \gg V_{FQ}$ 时， $I_{FQ} \approx I_{FM}$ 。屏幕上所显示的仅为 0Q 段。

一般测试时，取 $V_{CC} \leq 10\text{ V}$ ，为了使所显示的曲线尽量充满屏幕， x 、 y 通道要选取合适的取样比率。一般 $V_{FQ} \leq 1\text{ V}$ ，所示 x 轴的取样比率（电压标尺）= $V_{FQ} \div 10\text{ 度} \approx 0.1\text{ V/度}$ 。 y 轴的电流标尺 = $I_{FM} \div 10\text{ 度}$ 。测试时按以上原则选好 x 、 y 轴标尺刻度。置“峰值电压范围”于“0 ~ 20 V”挡，选择合适的功耗限制电阻 R_P 和扫描电压极性，并把“峰值电压”先旋至 0 V（为了安全）。二极管插入图示仪的测试台上的“C”和“E”插孔中，或用导线连接到测试台上靠两边的接线柱“C”和“E”端上。如图 1-2-2 所示，如果二极管极性不知或反接时，可配合扫描电压极性开关得到正向特性曲线，当然此时坐标有变。

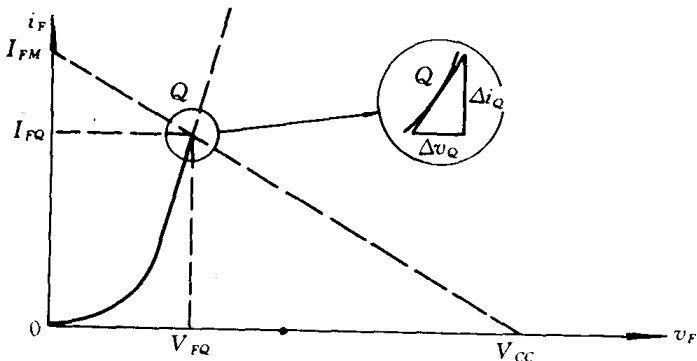


图 1-2-1 二极管的正向特性

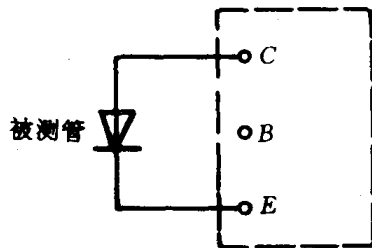


图 1-2-2 二极管插法

接通待测二极管。然后缓慢增加峰值电压，直至显示的曲线达到所需工作点 Q 。这样，二极管的正向伏安特性曲线就显示出来了。从这条曲线上可以测出下列参数：

① 正向压降 V_F ——指在给定工作电流下的二极管压降。如给定的工作电流不是 I_{FQ} ，则其正向压降就是 V_{FQ} 。对于硅管， $V_{FQ} = 0.6 \sim 0.8 \text{ V}$ ；对于锗管， $V_{FQ} = 0.2 \sim 0.3 \text{ V}$ 。

② 正向直流电阻 R_F ——指在给定工作电流处的电压与电流之比。例如，图中 Q 点的直流电阻 $R_F = \frac{V_{FQ}}{I_{FQ}}$ 。

③ 正向交流电阻 r_F ——指在给定工作电流处的增量 Δv_Q 与 Δi_Q 之比。对于图中 Q 点，可通过 Q 点作曲线的切线，以此切线为斜边作一直角三角形。其两直角边分别为 Δi_Q 和 Δv_Q ，则 $r_F = \frac{\Delta v_Q}{\Delta i_Q}$ 。从曲线上不难看出 R_F 和 r_F 都是工作电流的函数。工作电流越大，则 R_F 和 r_F 越小；且 $r_F < R_F$ 。

(2) 二极管反向特性的测试 二极管的反向特性如图 1-2-3 所示。反向电压在一定范围内，反向电流基本上不随电压而变化（通常称为反向饱和电流）。当反向电压增大到一定数值时，反向电流 i_R 迅速增大，即出现反向击穿。当 i_R 升高到某规定值 I_R 时的电压，定义为该管的击穿电压 V_B 。

比较图 1-2-1 和图 1-2-3，正反向特性的显示原理基本相同。其不同就是在测试时将集电极扫描信号“极性”旋钮拨向“-”位，并将“ x 轴作用”旋钮量程扩大，“ y 轴作用”旋钮量程缩小，坐标原点位置改变。如果 V_{CC} 不够大，必须先将“峰值电压”旋钮回调到零，再将“峰值电压范围”拨向 $0 \sim 200 \text{ V}$ 挡。特别要注意的是功耗限制电阻 R_F 应取足够大，一般 $R_F > 10 \text{ k}\Omega$ 。

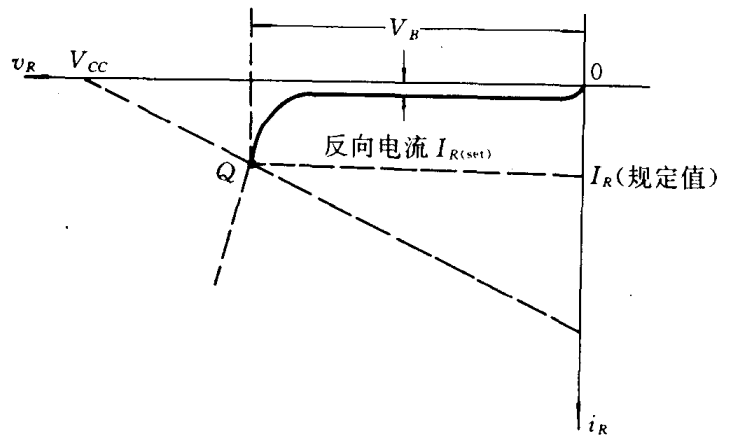


图 1-2-3 二极管反向特性

2. 稳压管的测试

稳压管是利用二极管的反向击穿而稳压的。因此，稳压管特性曲线的显示方法与普通二极管的反向特性显示方法类似。由稳压管的特性曲线（如图 1-2-4）可测下列各主要参数：

(1) 稳定电压 V_Z 手册上所标注的稳定电压值，是指规定的正常稳定电流 I_Z 所对应的电压（图中 Z 点）。

(2) 最小稳定电流 I_{Zmin} 稳压管刚进入稳压区所对应的反向电流。

(3) 动态电阻 r_Z 手册中给出的是在指定工作电流处（ Z 点）稳压管的交流电阻，求法同二极管的交流电阻。一般为几十欧姆。由图 1-2-4 可见，当工作电流在小于 I_{Zmin} 时，动态电阻明显增加。

3. 三极管的测试

用图示仪主要可以测得三极管的直流参数和低频交流参数。测量前,首先应根据被测管的类型及所需测量的特性曲线,调整好坐标原点(亮点)的位置。PNP型晶体管,亮点应调至屏幕的右上角,使特性曲线被置于第三象限;NPN型晶体管,亮点应调至屏幕的左下角。然后再根据特性曲线的 y 轴和 x 轴所表示的电压或电流,分别将“ y 轴作用”旋钮和“ x 轴作用”旋钮拨到相应的合适档位上。

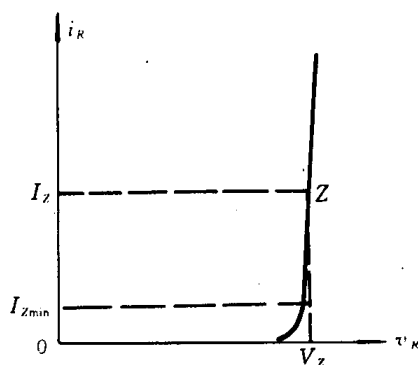


图 1-2-4 稳压管特性曲线

为了避免损坏被测管,在管子接入前,应将测试台上的“测试选择”旋钮置于“关”位,集电极扫描信号的“峰值电压”旋钮调至零,“峰值电压范围”旋钮置于“0~20 V”挡。对小功率管来说,集电极“功耗限制电阻”旋钮置于“1 k Ω ”位上,“阶梯选择”置于 0.01 mA/级。对大功率管来说,集电极“功耗限制电阻”旋钮置于“10 Ω ”位上,“阶梯选择”置于 1 mA/级。同时,根据被测管的类型,选择相应的基极阶梯信号的极性和集电极扫描电压的极性。在测试过程中,应注意,所加集电极扫描电压应由零逐渐加大,“功耗限制电阻”应由大逐渐减小,阶梯电流应由小逐渐加大。根据所显示的特性曲线形状,适当调整有关旋钮。每项特性测试完毕,应把“峰值电压”旋钮调回到零。以免下一次的安全测试受到威胁。

(1) 三极管的反向截止电流和反向击穿电压

反向截止电流——在给定向偏压下所对应的反向电流。对于三极管,有两个PN结和3个电极,故有3个反向截止电流:

I_{CBO} ——发射极开路, C 、 B 极之间的反向截止电流,亦称反向饱和电流;

I_{EBO} ——集电极开路, E 、 B 极之间的反向截止电流;

I_{CEO} ——基极开路, C 、 E 极之间的反向截止电流,亦称穿透电流。

反向击穿电压——当反向偏压增大到一定程度时,反向截止电流迅速增大,即出现击穿现象。对应于某规定的截止电流值的反向偏压,称为反向击穿电压。对于三极管,有3个击穿电压:

BV_{CBO} ——发射极开路, C 、 B 极之间的反向击穿电压;

BV_{EBO} ——集电极开路, B 、 E 极之间的反向击穿电压;

BV_{CEO} ——基极开路, C 、 E 之间的反向击穿电压。

按上述定义可见,它们和二极管的反向特性相类同。因此测试方法基本一样,只不过三极管多了一个电极,接法上需稍加注意,如图 1-2-5 所示。此时扫描电压为“+”极性的情况。

(2) 三极管输入特性的测试 三极管输入特性曲线如图 1-2-6(a)。其中 x 、 y 坐标分别为 v_{BE} 和 i_B 。实际上图示仪提供给基极电流是阶梯电流信号,因此 i_B 不是连续变化。当参变量 $v_{CE} = 0$ V 时,则实际显示的 i_B - v_{BE} 图形为点线。点数与阶梯信号级数一致,如图 1-2-6(b) 所示。当 v_{CE} 在某范围扫描时,则图形又呈图 1-2-6(c) 所示。当晶体管处于放大区工作应选用 $v_{CE} \geq 5$ V 此点线才行。

测输入特性应注意以下要领:

① 选好 y 轴坐标——置 y 轴于“基极电流或基极源电压”,以显示 i_B ,标尺大小由“阶梯选择”的“mA/级”旋钮决定;

供给阶梯电流源可按被测管大小选取合适的“mA/级”和“极性”。一般小功率管选择“0.01 mA/级”挡,大功率管则适当加大。

② 选好 x 轴坐标——置 x 轴于“基极电压”“0.1 V/度”挡,以显示 v_{BE} ;

供给适当的集电极电压,并加适当的 R_F ,小功率管通常选择 $1\text{ k}\Omega$ 左右即可。

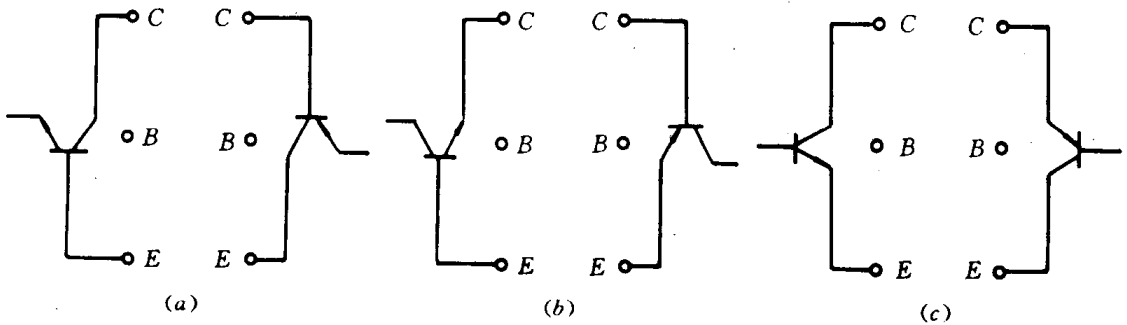


图 1-2-5 测三极管反向特性时的接法

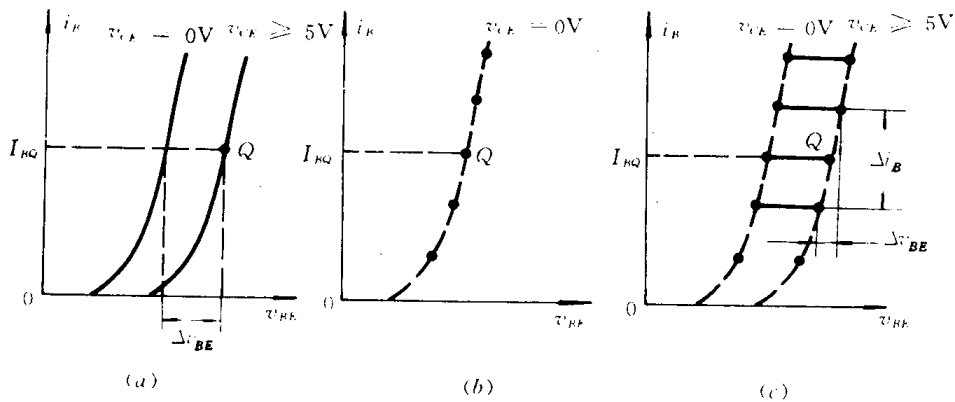


图 1-2-6 三极管输入特性曲线

由输入特性曲线,可测如下参数;

① 交流输入阻抗 $h_{ie}(r_{be})$ ——按定义

$$h_{ie} = \left. \frac{\Delta v_{BE}}{\Delta i_B} \right|_{v_{CE} = \text{常数}} \quad (1-2-1)$$

实验时应按给定工作点 Q 读取 h_{ie} 值。

② 三极管反向电压传输系数 h_{re} ——按定义

$$h_{re} = \left. \frac{\Delta v_{BE}}{\Delta v_{CE}} \right|_{I_B = \text{常数}} \quad (1-2-2)$$

它表征了三极管输出电压对输入电压的影响。从图 1-2-6(a) 示出了测读 $i_B = I_{BQ}$ 时的 h_{re} 的方法(一般该参数忽略)。

(3) 三极管输出特性的测试 输出特性曲线是三极管最重要的一组曲线,很多重要参数可由它测出。因此,用得最多。曲线的 x 、 y 轴分别为 v_{CE} 和 i_C ,参变量为 i_B 。见图 1-2-7。

观测输出特性曲线的操作要点是:

① y 轴坐标 —— 将“ y 轴作用”置于“集电极电流”。标尺大小按被测管工作点电流的大小选取,使工作点 I_{CQ} 位于屏幕的中间区域。例如,对于小功率管 I_{CQ} 为几毫安,则标尺取为“1 mA/度 $\sim$ 0.2 mA/度”。

② x 轴坐标 —— 置于“集电极电压”位置,标尺大小一般取为“1 V/度”。

③ 基极信号 —— 将“阶梯选择”置于“mA/级”。阶梯电流的大小与 y 轴 i_c 标尺比例差 $h_{fe}(\beta)$ 倍。例如,对于小功率管,阶梯电流为 0.01 mA/级(设 $\beta = 100$)。

④ 扫描电压 —— 集电极的扫描电压与 x 轴电压标尺相对应,即 $V_{CC} = 1 \text{ V/度} \times 10 \text{ 度}$ 。故取 $V_{CC} = 10 \text{ V}$, V_{CC} 不宜过大以免增加管耗。

⑤ 功耗限制电阻 R_F —— 实际上就是三极管的负载电阻如图 1-2-7 所示斜的虚线。选取合适的 R_F ,并不影响观测。但被测管的功耗几乎被 R_F 吸收一半,测大功率管以及测小功率在极限参数 I_{CM} 处观测时, R_F 的选取尤为重要,否则极易损坏被测管。

从输出特性曲线可测:

① 电流放大系数 $h_{fe}(\beta)$ —— 按定义

$$h_{fe} = \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \right|_{V_{CE}=\text{常数}} \quad (1-2-3)$$

它与工作点 Q 有关,因此测试时,应取 Q 点两相邻曲线的 Δi_C 除以基极阶梯电流 Δi_B 。有时,手册给出的是直流电流的放大系数 $H_{FE}(\beta)$,即 Q 点处

$$H_{FE} = \frac{I_{CQ}}{I_{BQ}} \quad (1-2-4)$$

式中 $I_{BQ} = \text{阶梯电流(mA/级)} \times Q \text{ 点处的阶梯级数}$ 。

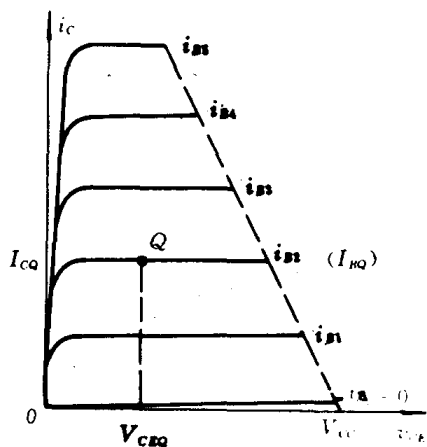


图 1-2-7 三极管的输出特性曲线

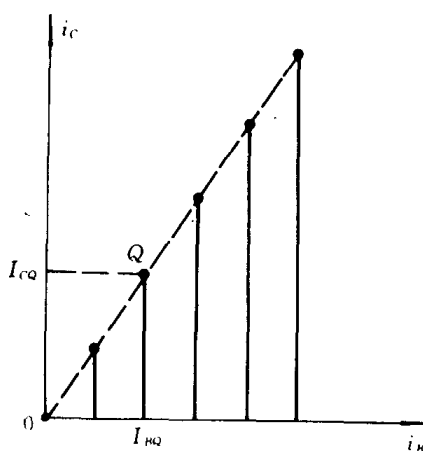


图 1-2-8 三极管的转移特性

有时为了便于读数,将“ x 轴作用”转为“基极电流或基极源电压”,则 x 轴坐标为 i_B ,其显示的特性曲线为若干根竖线,这些竖线端点的连线称为转移特性曲线,如图 1-2-8 所示。该曲线在 Q 点处的斜率就是 h_{fe} 。

② 输出阻抗 $\frac{1}{h_{oe}}(r_{oe})$ —— 按定义

$$\frac{1}{h_{oe}} = \left. \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta i_C} \right|_{I_B=\text{常数}} \quad (1-2-5)$$

它就是输出特性曲线在 Q 点的切线斜率的倒数。曲线越平坦, 即 Δi_c 越小, 则 $\frac{1}{h_{oe}}$ 越高。

③ 击穿电压 BV_{CE0} ——当扫描电压增加到一定程度时, 将出现击穿现象。如图 1-2-9 所示, 其中最下面一根曲线 ($I_B = 0$) 的转折处即为 $v_{CE} = BV_{CE0}$ 。在 i_B (或 i_c) 的递增过程中, 每根曲线都有相应的击穿点。此时, 若功耗限制电阻取的稍不注意, 就会烧坏管子。因此, 测 BV_{CE0} 时应使基极开路或将“零电流/零电压”按键板到“零电流”位置, 配以适当的 R_P , 调节“峰值电压”旋钮使峰值电压从零逐步增大, 直至曲线出现急剧拐弯形状为止。

注意, 测试完毕, 先把集电极的“扫描电压”退回至零, 把“峰值电压”退回到“0 ~ 20 V”。

4. 场效应管 (FET) 的测试 (选做)

(1) FET 的转移特性的测试 将 N 沟道结型 FET 的漏极 d 接在图示仪上 C 端点, 栅极 g 接在 B 端点, 而源极 s 接在 E 端点。而 x 、 y 坐标分别为 v_{GS} (相当于图示仪上 v_{BE})、 i_D (相当于图示仪上 i_c)。集电极扫描电压 (极性为正) 加于 C 即 FET 的漏极 d , 而阶梯电压 (极性为负) 是 FET 电压控制所必须的, 由于图示仪的阶梯电压变化范围小而不能满足要求, 而可改用阶梯电流流过电阻产生阶梯电压来提供, 见图 1-2-10 所示。一般 FET 的小信号参考用共源组态。在图 1-2-11 中是转移特性曲线, 从中可得截止电压 V_P , 饱和漏极电流 I_{DSS} , 还可得到跨导 g_m 为

$$g_m = \left. \frac{\Delta i_D}{\Delta v_{GS}} \right|_{v_{DS} = \text{常数}} \quad (1-2-6)$$

其中 i_D 为漏极电流; v_{GS} 为栅源电压; I_{DQ} 为静态时漏极电流; V_{GSQ} 为静态时栅源电压。

(2) FET 的输出特性的测试 它也是常用共源组态的, 见图 1-2-12。从曲线上可得到许多参数:

① 输出电阻 r_{ds}

$$r_{ds} = \left. \frac{\Delta v_{DS}}{\Delta i_D} \right|_{v_{GS} = \text{常数}} \quad (1-2-7)$$

② 饱和漏极电流 I_{DSS} (条件为 $V_{DS} = 10 \text{ V}$ 和 $V_{GS} = 0 \text{ V}$ 时的 i_D)。

③ 截止电压 V_P ——当 V_{GS} 下降使 i_D 小到某一小值, 称此时 V_{GS} 为截止电压 V_P 。

④ 击穿电压 $V_{(BR)DS}$ ——它是 $|V_{DS}|$ 增大到某一值时栅源极间 PN 结发生雪崩击穿而使 i_D 剧增。

三、预习要求

1. 复习有关 JT-1 型晶体管特性图示仪的工作原理和使用方法的内容。
2. 根据实验内容, 拟定二极管、三极管和场效应管的测量步骤, 并画出各曲线的大致形

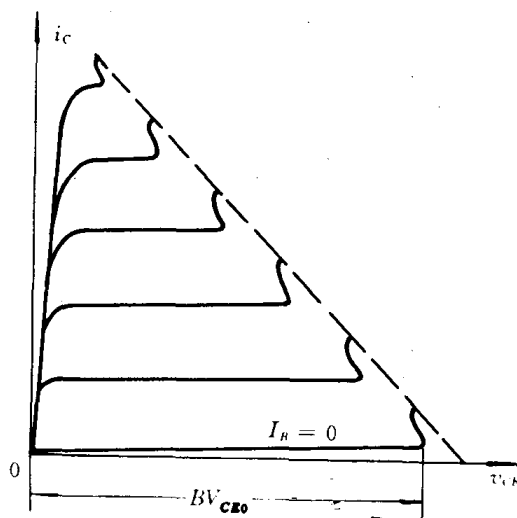


图 1-2-9 BV_{CE0} 的测试

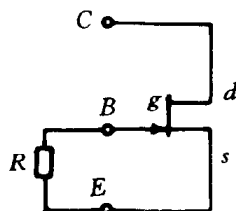


图 1-2-10 FET 的测试接线