

虚拟电子实验

实用与

操作指南

赵春华 编著



石油大学出版社

山东省高等学校教学改革试点专业课题

虚拟电子实验

与

实用操作指南

赵春华 编著

石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

虚拟电子实验与实用操作指南/赵春华编著. —东营:
石油大学出版社, 2003
ISBN 7-5636-1749-3

I. 虚… II. 赵… III. 电子电路-计算机仿真-
实验-指南 IV. TN707-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第015921号

虚拟电子实验与实用操作指南

赵春华 编著

责任编辑: 宋秀勇 (电话 0546-8392139)

封面设计: 任陆明

出版者: 石油大学出版社(山东 东营, 邮编 257061)

网 址: <http://sunctr.hdpu.edu.cn>

电子信箱: yibian@mail.hdpu.edu.cn

印刷者: 石油大学印刷厂

发 行 者: 石油大学出版社(电话 0546-8391797)

开 本: 185×260 印张: 16.625 字数: 436千字

版 次: 2003年5月第1版第1次印刷

印 数: 1—1050册

定 价: 48.00元

前言

21 世纪的特征必然是科学技术的高速发展。中华民族在国际大家庭中的地位决定于我们的综合国力,而综合国力的提高又决定于国民的总体素质。所以,汲取世界上一切优秀的教育思想和教学手段,并创造性的用于我们的教学改革,就是高速度、高质量地培养千百万科技精英,提高中华民族整体科技素养的重要任务。

20 世纪的最后十年,计算机技术和移动通信技术的高速发展和普及是世人皆知的不争事实。其动力却来自于电子设计自动化 EDA(Electronic Design Automation)技术的推广。而计算机辅助设计和计算机辅助制造 CAD/CAM(Computer Aided Design /Computer Aided Manufacturing)技术在工程设计和制造业中的普及,成十几倍、几十倍的提高了劳动生产率,创造了空前巨大的物质文明;它把任何创新思想转化为市场商品的时间缩短到了惊人的程度,新产品的更新和淘汰速度之快,都是十年前不可想象的。也是在这十年中,互联网的广泛普及加快了产业全球化的进程。在这个极具挑战性的时代,把计算机充分运用到教学和工程研究过程中,显然具有极其重要的意义。

在发达国家,计算机辅助教学早在上世纪 80 年代末,就已发展完善,大学的师生可以无限制的使用计算机,90 年代后普及到中、小学教育。在我国,计算机的使用,即使在大学本科生中的普及率,各个学校差别也很大。就大多数学校而言,低年级学生使用计算机的时间还受到各种条件的限制。但是,这种情况不会维持很长时间。随着计算机价格的不断下降和国家对教育投入的加大,学校装备的和学生个人购买的计算机机会越来越多,不需几年,在大学生中普及使用计算机的愿望就会实现。未来几年,在大学各科专业课程中普遍使用计算机的瓶颈将是软件。目前,已拥有计算机的老师和学生未必知道如何用计算机来帮助他们进行专业课程教学和学习,因此从现在起,就应做好准备。

近几年编者考察对比了电子业使用最广泛的几种 EDA 软件,认为将 EWB(Electronics Workbench)软件引入电子技术理论教学和实验教学中,具有其他软件不可比拟的优点,并制作了“虚拟电子实验多媒体教程”的教学光盘。现在又推出《虚拟基础电子实验与实用操作指南》教材,与光盘配套使用,可以使学生较快的掌握 EWB 软件,利用它不仅可做电子实验,还可以求解大量的电子习题。

与其他 EDA 软件相比,EWB 最显著的特点是:工作界面最直观,创建电路图所用的元器件和仿真所用的仪器均可在屏幕上直接选取,而且元器件和仪器与实际情况非常接近。仪器的面板及操作方法也与真实仪器类似。因此,EWB 是一种非常优秀的虚拟电子实验工具,用作电子技术类课程的辅助教学和实验训练手段,不仅可以弥补经费不足带来的仪器和元器件缺乏,而且没有原材料消耗,没有短路、接触不良、仪器调整不当和损坏等故障。既可以帮助学生更快、更好地掌握课堂学习的内容,加深对基本概念和原理的理解;又能熟悉常用电子仪器的使用操作方法,进一步培养学生的综合分析能力、排除故障和开发创新能力。

EWB 提供了非常丰富的电路分析功能,以帮助设计人员研究电路性能。另外,它还可以对被仿真电路中的元器件人为设置故障,观察电路的状态变化,以加深对基本概念和原理的理解。这在实际实验中是很难做到的,这是 EWB 进行虚拟实验的突出特色。

近几年,各高等学校连续扩招,实验室和实验仪器设备严重不足。新建计算机虚拟实验室和相同规模的传统实验室相比,投资额节省一半以上,而使用效率却高几倍。对于资金比较紧张的大多数普通高校来说,高投资效益和高的设备利用率,尤其具有极重要的现实意义。

EDA 技术在电子业界的普遍应用,传统意义的“动手能力”已不再重要。各类电子厂家招聘人才的重要条件是:能否熟练使用EDA 软件进行新产品的开发和研究。因而,在研究生和大学高年级才学习EDA 技术,已不符合时代要求。从一年级开始就学习并熟练掌握一种EDA 软件,到高年级再学习另一种EDA 软件,显然更符合现代电子产业对人才的需要。

本书共分3章。第1章包括有23个模拟电路实验,第2章包括有22个数字电路实验,实验个数几乎为教育部规定基本实验数的两倍,而每个实验的内容大都多于基本规定要求,可供不同专业选用。所有实验均多次经计算机试验以保证其成功率。第3章除介绍EWB软件的基本界面及元器件外,着重讲述其操作使用方法。实验电路设计及内容、步骤的安排,既追求理论知识和实验技能的渐进性和系统性,更追求趣味性,是本教材的目标和特色,使用者试用几次便会被其引发浓厚的兴趣。

本书所附光盘内容包括:1. 虚拟电子实验多媒体教程;2. EWB5.0C和EWB5.12软件;3. 本书所有实验内容的电路图集,借助该光盘既可以学习EWB软件的使用操作方法,进行本书所列实验内容的虚拟实验操作和演示,还可以自行开发其他任何节点数不太多的模拟、数字和模数混合电路的实验。

用计算机虚拟实验替代传统的实验,毕竟是件新事物,编者也是初次从事该项工作,上述实验内容的设置,难免会有纰漏,使用中也许会出现意想不到的问题。殷切希望使用本教材的师生,把使用中遇到的问题和意见反馈给编者。

编著者

2003年1月

目 录

第1章 模拟电子实验	(1)
1.1 半导体晶体管特性曲线测试	(1)
1.2 单级共发射极放大电路	(4)
1.3 单级共射放大电路的频率特性	(9)
1.4 射极跟随器研究	(13)
1.5 两级阻容耦合放大电路	(17)
1.6 负反馈放大电路	(19)
1.7 组合宽带放大电路	(23)
1.8 互补对称功率放大电路	(28)
1.9 差分放大电路	(31)
1.10 镜像电流源电路	(35)
1.11 比例求和运算电路	(38)
1.12 有源滤波电路	(42)
1.13 电压比较器	(46)
1.14 集成电路RC正弦波振荡器	(50)
1.15 LC振荡器及选频放大电路	(53)
1.16 波形发生电路	(57)
1.17 整流滤波与并联稳压电路	(61)
1.18 串联型直流稳压电路	(66)
1.19 三端集成稳压电源	(68)
1.20 函数发生器电路	(72)
1.21 传感信号变换电路	(75)
1.22 精密整流与仪器放大电路	(79)
1.23 模拟乘法器在广播、电视、通信领域的应用	(83)
第2章 数字电子实验	(89)
2.1 TTL门电路主要参数及测试	(89)
2.2 CMOS逻辑门功能测试及应用	(94)
2.3 集电极开路(OC)门及三态输出(TS)门的应用	(97)
2.4 组合电路逻辑功能及测试	(101)
2.5 逻辑函数的转换	(106)
2.6 译码器和数据选择器	(110)
2.7 竞争冒险现象观察与研究	(115)
2.8 D触发器功能测试及应用	(118)
2.9 JK触发器功能测试及应用	(122)
2.10 时序电路测试及研究	(125)

2.11	MSI 同步计数器功能测试及应用	(129)
2.12	MSI 异步计数器功能测试及应用	(134)
2.13	波形产生电路	(138)
2.14	555 定时器功能测试及应用	(141)
2.15	施密特触发器功能测试及应用	(145)
2.16	集成单稳态触发器及其应用	(149)
2.17	寄存器功能测试及应用	(154)
2.18	数/模转换电路及其应用	(158)
2.19	模/数转换电路及其应用	(162)
2.20	“12 翻 1”小时计数器	(165)
2.21	汽车尾灯控制电路设计	(168)
2.22	多路智力竞赛抢答器设计	(172)
第 3 章	虚拟实验操作指南	(179)
3.1	EWB 的工作界面及菜单	(179)
3.2	EWB 的元器件	(194)
3.3	电路原理图的创建	(202)
3.4	虚拟仪器及使用方法	(224)
3.5	EWB 的主要分析功能	(236)
3.6	虚拟实验过程中异常现象的处理	(251)
附 录	电子设计自动化技术简介	(255)
	参考文献	(260)

第1章 模拟电子实验

1.1 半导体晶体管特性曲线测试

1.1.1 实验目的

1. 熟悉晶体管主要特性参数和特性曲线的物理意义。
2. 学习、掌握逐点法测试晶体管特性曲线的方法。
3. 学习用EWB做电子实验的基本操作方法和技术。

1.1.2 实验原理

晶体管的特性曲线和主要特性参数,是判别其性能优劣的主要依据,本实验主要介绍用逐点法测绘晶体管特性曲线和放大倍数的方法。图1.1.1为逐点法测绘特性曲线的测试电路。

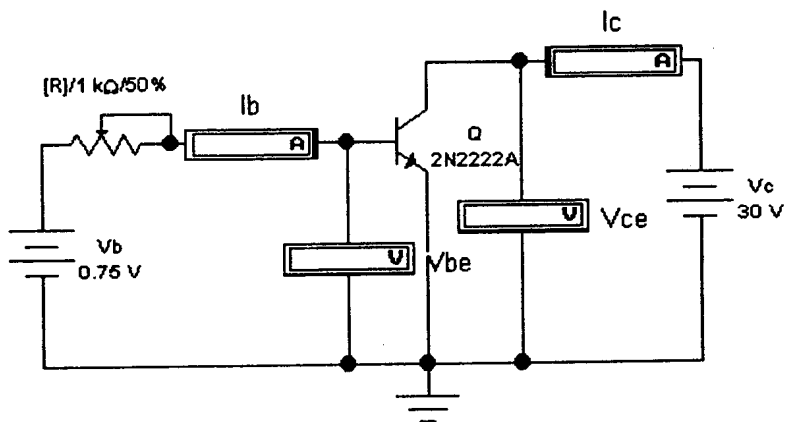


图1.1.1 逐点法测绘晶体管特性曲线的测试电路

1. 输入特性曲线的测量

维持 V_{ce} 为某一数值,逐点改变 V_{be} ,测出若干对应的 I_b ,根据测量数据可描绘一条输入特性曲线。依次取不同的 V_{ce} ,可获得一组输入特性曲线。实际上,当 $V_{ce} \geq 1\text{ V}$ 后,特性曲线几乎都重叠在一起,因此,晶体管手册中通常仅给出 $V_{ce}=0$ 和 $V_{ce}>1\text{ V}$ 的两条输入特性曲线。

2. 输出特性曲线的测量

维持 I_b 为某一数值后,逐点改变 V_{ce} ,测出若干对应的 I_c ,根据测量数据描绘出一条输出特性曲线。依此类推,取不同的值,如 $=0, 10\text{ }\mu\text{A}, 20\text{ }\mu\text{A}, 30\text{ }\mu\text{A}, 40\text{ }\mu\text{A} \dots$,即可获得晶体管的输出特性曲线族。

3. 电流放大倍数的测量

共发射极直流电流放大倍数为

$$\bar{\beta} = \frac{I_c - I_{ce0}}{I_b} \bigg|_{\Delta V_{ce}=0} \approx \frac{I_c}{I_b} \bigg|_{\Delta V_{ce}=0}$$

共发射极交流电流放大倍数为

$$\beta = \left. \frac{I_c}{I_b} \right|_{\Delta V_{ce}=0}$$

维持 V_{ce} 为某一数值(即 $\Delta V_{ce}=0$)的情况下,调节 R_p ,测出某个值 I_b 和对应的值 I_c ,即可求得晶体管在该工作点上的值;仍维持不变 V_{ce} ,调节 R_p ,使基极电流从 I_{b1} 变化到 I_{b2} ,则晶体管在该工作点附近的交流电流放大倍数为 $\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} = \frac{I_{c2} - I_{c1}}{I_{b2} - I_{b1}}$ 。

1.1.3 虚拟仪器及元器件

1. 仪器

数字直流电压表 2 只,数字直流电流表 2 只,直流电压源 2 个。

2. 元件

8.2 k Ω 电位器 1 只,2N2222A 晶体管 1 只。

1.1.4 预习要求

1. 复习晶体管的特性曲线所表示的物理意义及测试条件。
2. 复习基本共发射极放大电路的电路组成,熟悉偏置电路的作用。
3. EWB 的工作界面和基本操作方法。

1.1.5 实验内容及步骤

1. 双击 EWB 快捷键图标,进入 EWB 工作界面。
2. 按图 1.1.1 从器件库中调出有关元器件和仪表。

(1) 单击器件库中的“晶体管”图标,打开“晶体管库”,拖出一个“NPN 型晶体管”,将晶体管库关闭。

(2) 单击“信号源图标”打开“信号源库”,拖出“接地”及“电池”两个,然后将其关闭。

(3) 单击“指示器件库”,拖出电压表、电流表各两只,然后将其关闭。

(4) 单击“基本器件库”,拖出电阻器一只,然后将其关闭。

3. 连接电路,具体操作方法如下:

(1) 将鼠标移动到某元器件或仪表的图标上,鼠标的“箭头”图形会变成“手型”,按下鼠标左键可在工作区内任意拖动该器件。按图 1.1.1 将所有元器件和仪表拖动到合适位置。

(2) 注意电压表和电流表的极性,与引出线垂直的边框为粗线的引出端为负极。应与电压的极性 or 电流的方向一致。否则,单击极性不对的电表图标,将其选定(该电表图标变为红色,同时工具栏中的旋转按钮也变为红色),再单击旋转按钮两次,使电表极性反转。

(3) 将鼠标的“箭头”移动到某元器件或仪表的接线端,该端即出现一个黑圆点,按下鼠标左键并拖动鼠标即拉出一条引线,将鼠标的“箭头”靠近另一元件的接线端,该端也会出现一个黑圆点,释放鼠标左键,这两个元件即被连接起来。按图 1.1.1 将所有元器件和仪表连接成完整电路。

4. 对电路元件进行参数赋值。

(1) 单击晶体管图标,将其选定(晶体管图标变为红色),再单击工具条中的“元器件特性”按钮,打开“NPN 晶体管属性(NPN Transistor Properties)对话框”(或者直接双击晶体管图标,也可以打开其属性对话框)。该对话框包括:标签(Label)、模型(Model)、故障(Fault)、显示(Display)、分析设置(Analysis Setup)等项。在模型(Model)项下的属性设置中,设定模型为 2N2222A(或其他型号);单击“标签(Label)”选项,在其下拉对话框中,设定“标签”为 Q。其他选项保持默认值,按“确定”键确认。

(2) 双击与晶体管基极相接的“电池图标”,打开“电池属性(Battery Properties)”对话框。该对话框包括:标签(Label)、数值(Value)、故障(Fault)、显示(Display)、分析设置(Analysis Setup)等项。将电池的“标签”设定为 V_b ,”数值”设定为0.5 V,其他选项保持默认值,按“确定”键确认。仿此方法,将与集电极相接的电池“标签”设定为 V_c ,”数值”设定为0 V。

(3) 双击并接于晶体管基极、发射极间的电压表图标,打开“电压表属性(Voltmeter Properties)”对话框,该对话框包括:标签(Label)、数值(Value)、故障(Fault)、显示(Display)四项。将该电压表的“标签”设定为 V_{be} ,其余选项保持默认值。仿照上述方法,将另一只电压表的标签,设定为 V_c ;将两只电流表的“标签”分别设定为 I_b 、 I_c 。

(4) 双击电位器图标,打开“电位器属性(Potentiometer Properties)”对话框,该对话框也包括:标签(Label)、数值(Value)、故障(Fault)、显示(Display)四项。将电位器“标签”设定为 R_p ;在数值(Value)项中,将“键(Key)”保留默认的字母键R(或改为其他字母键)、“阻抗(Resistance)”设定为1 Ω ,其他选项保持默认值,按“确定”键确认。

3. 测量2N2222A的输入特性曲线。

(1) 打开“启动/停止”开关,记录 V_{be} 、 I_b 读数,并填入表1.1.1。双击电池 V_b 图标,打开“电池属性对话框”,按表1.1.1分别设定 V_{be} 为0.55,0.58,0.60,0.62,0.65 V,记录对应的 I_b 值,并填入表1.1.1中。

(2) 双击电池 V_c 图标,打开“电池属性对话框”,设定 $V_{CE}=10$ V。仿照上述方法,按表1.1.1分别设定为0.5,0.55,0.6,0.65,0.68,0.70,0.72,0.74 V,记录对应的值,并填入表1.1.1中。

表 1.1.1

V_{be}/V	0.50	0.55	0.58	0.60	0.62	0.65	0.68	0.70	0.72	0.75
$I_b/\mu A$ ($V_{ce}=0V$)										
$I_b/\mu A$ ($V_{ce}=10V$)										

4. 测量2N2222A的输出特性曲线。

(1) 双击电池 V_b 图标,将“数值”改为0 V。双击电池 V_c 图标,分别使 $=0,1,10,20,30$ V,打开“启动/停止开关”,测量对应的 I_c 值,并填入表1.1.2中。据此可描绘出 $I_b=0 \mu A$ 时的一条输出特性曲线。

(2) 双击电池 V_b 图标,将“数值”改为0.75 V。双击电位器图标,打开“电位器属性”对话框,在数值(Value)选项中,“阻抗(Resistance)”设定为8.2 k Ω ,”调节(Setting)”设定为99%,增量(Increment)设定为1%,其他选项保持默认值,按“确定”键确认。双击电池 V_c 图标,分别使 $V_{ce}=0,0.5,1,10,20,30$ V。打开“启动/停止开关”,按动字母键R键,可使电位器电阻按1%递减;若更改电位器的设置,将“键”设置为数字键“1”(或其他数字键),则按动数字键“1”时可使电位器的电阻按1%递增。从而调节 I_b ,使 $I_b=10 \mu A$,并读取对应的 I_c 值,填入表1.1.2中。据此可描绘出 $I_b=10 \mu A$ 时的另一条输出特性曲线。注意:电源 V_c 改变时,电流 I_b 会随着改变,应予以调整,尽量减小误差。

(3) 双击电位器 R_p 图标,将“阻抗”改为3.9 k Ω ,”调节”恢复为99%。双击电池 V_c 图标,分

别使 $V_{ce}=0, 0.5, 1, 10, 20, 30 \text{ V}$ 。打开“启动/停止开关”，按动“R”键，使 $V_{ce}=20 \mu\text{A}$ ，读取对应的值，并填入表 1.1.2 中。照此办理，可依次测试并描绘出 $I_b=20, 30, 40 \mu\text{A}$ …等各条输出特性曲线。

表 1.1.2

条件	V_{ce}/V	0	0.5	1	10	20	30
$I_b=0 \mu\text{A}$	I_c/mA						
$I_b=10 \mu\text{A}$	I_c/mA						
$I_b=20 \mu\text{A}$	I_c/mA						
$I_b=30 \mu\text{A}$	I_c/mA						
$I_b=40 \mu\text{A}$	I_c/mA						
$I_b=50 \mu\text{A}$	I_c/mA						
$I_b=60 \mu\text{A}$	I_c/mA						

5. 测量 2N2222A 在 $V_{ce}=6 \text{ V}$, $I_c=3 \text{ mA}$ 、 6 mA 的 β 值、 $\bar{\beta}$ 值。

(1) 双击电源 V_{ce} 图标，设定 $V_{ce}=6 \text{ V}$ 。双击电位器图标，恢复“阻抗”设定为 $8.2 \text{ k}\Omega$ ，仿照上述方法，调节电位器的阻值，使 $I_c=3 \text{ mA}$ ，记录对应的电流表 I_b 显示的数据，利用公式： $\bar{\beta}=I_c/I_b$ 即可求出 β 的值。

(2) 在上述基础上，再调节电位器的电阻值，令 I_c 、 I_b 都发生变化，记录其变化量。利用公式 $\beta=I_c/I_b$ ，求出 β 的值。

(3) 仿照上述方法，使 $I_c=6 \text{ mA}$ ，重复上述操作，测量并计算 $V_{ce}=6 \text{ V}$, $I_c=6 \text{ mA}$ 的 β 值和 $\bar{\beta}$ 值。

1.1.6 实验报告要求

1. 整理实验数据，绘出晶体管的输入、输出特性曲线。
2. 从输出特性曲线上求出 2N2222A 在 $V_{ce}=6 \text{ V}$ 时， $I_c=3 \text{ mA}$, $I_c=6 \text{ mA}$ 情况下的 β 值，并与直测法所得结果相比较。

1.2 单级共发射极放大电路

1.2.1 实验目的

1. 掌握放大电路静态工作点的调试方法及其对放大电路性能的影响。
2. 学习测量放大电路的静态工作点及 A_v 、 r_i 、 r_o 的方法，了解共发射极电路的特性。
3. 学习放大电路的动态特性。
4. 熟悉 EWB 的工作界面和基本操作方法，学习示波器的使用。

1.2.2 实验原理

传统的放大电路设计方法，欲达到预期的设计指标，要经过计算、测量、调试等多次反复才能完成。因此，掌握放大器的测量技术是很重要的。放大电路性能指标的测量一般包括：静态工作点测量；放大倍数测量；输入、输出电阻测量；非线性失真测量；频率特性测量；噪声测量等。本次实验主要学习和掌握放大电路的静态工作点、放大倍数以及输入、输出电阻的测量方

法。

放大电路的最基本任务是将输入信号进行不失真的放大。如果晶体管的工作点设置过低,则基极电流在负半周时会进入输入特性曲线的非线性区甚至截止区,从而使输出信号呈现截止失真。反之,如果晶体管的工作点设置过高,则基极电流在正半周时,集电极电流将进入饱和区,而使输出波形呈现饱和失真。只有在工作点设置合适时,才能避免上述两种失真现象的发生。

固定式偏置电路结构简单,静态工作点的设置和计算都比较简单。但当环境温度变化较大时,可引起集电极电流的急剧变化,从而导致输出信号的严重失真,因而极少采用。

分压式电流负反馈偏置电路(图 1.2.1),使用元件较多,结构比较复杂,设置和计算也较麻烦,但因为直流工作点比较稳定而被广泛应用。

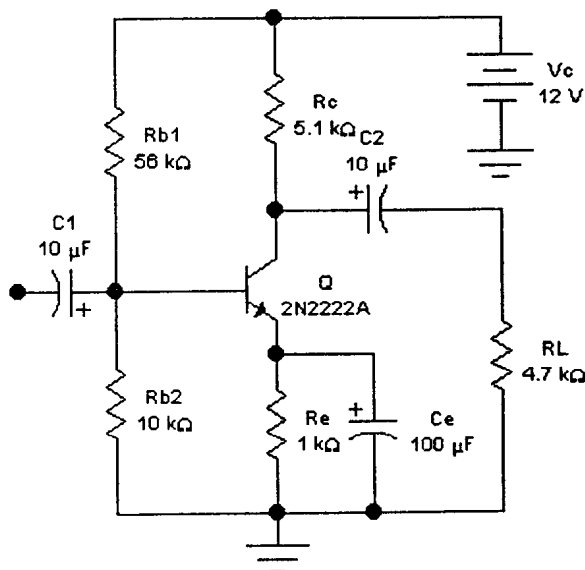


图 1.2.1 分压式电流负反馈偏置电路

分压式电流负反馈偏置电路的静态工作点,通常由下述公式估算:

$$V_{bq} = \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} \cdot V_c (I_R \gg I_{bq}) \quad (1.2-1)$$

$$I_{cq} \approx I_{eq} = \frac{V_{bq} - V_{be}}{R_e} \quad (1.2-2)$$

$$I_{bq} = \frac{I_{cq}}{\beta} \quad (1.2-3)$$

$$V_{ceq} = V_c - I_{cq}R_c - I_{eq}R_e \approx V_c - I_{cq}(R_c + R_e) \quad (1.2-4)$$

通常利用简化 H 参数小信号模型分析各种电路的交流动态特性,对单级共发射极放大电路,电压放大倍数、输入电阻、输出电阻分别为

$$A_v = \frac{-\beta R_L}{r_{be}} \quad (1.2-5)$$

$$r_i = R_{b1} // R_{b2} // r_{be} \quad (1.2-6)$$

$$r_o \approx R_c \quad (1.2-7)$$

式中, $R_L = \frac{R_c R_L}{R_c + R_L}$ 。

$$r_{be} \approx 300(\Omega) + (1 + \beta) \frac{26(\text{mV})}{I_E(\text{mA})} \quad (1.2-8)$$

本实验使用的仿真技术是EWB(Electronics Workbench),其内核是PSPICE算法,使用的晶体管模型是改进的GUMMEL-POON积分电荷控制模型,它考虑了大注入时的各种效应,模型参数多达40项,其对晶体管特性的描述精度是H参数小信号模型所望尘莫及的。而仿真的实质是利用模型先求解电路方程,再用虚拟的仪表显示数值运算的结果。由于计算机的运算精度远高于显示仪表,因而用EWB软件所做的仿真实验数据,较使用常规同精度仪表的实测数据更为精确。

本实验测量静态工作点的方法是:将直流数字电流表分别串联入基极回路和集电极回路,测量 I_b 和 I_c ,将直流数字电压表分别并联在晶体管的b、e和c、e两极之间,测量 V_{be} 和 V_{ce} 。

测量输入电阻的方法是:将输出交流短路,在输入端串入一电阻 R_s ,加正弦输入信号,测量交流输入电压,再利用公式: $r_i = \frac{V_i - R_s}{V_s + V_i}$ 即可计算出 r_i 。

测量输出电阻的方法是:在输入端正弦信号,去掉负载 R_L ,测量输出电压 u_o ,再测量接有负载 R_L 时的输出电压 u_o' ,按公式: $r_o = (\frac{u_o}{u_o'} - 1) R_L$ 即可求出输出电阻。

1.2.3 预习要求

1. 晶体管单级共发射极放大电路的工作原理。
2. 放大电路的静态测量方法及动态工作。
3. 学习EWB软件中的示波器的使用 and 操作方法。

1.2.4 虚拟仪器及元器件

1. 仪器

示波器1台,数字电流表2只,数字电压表2只,交流信号源1个,直流电源1个。

2. 元件

2N2222A 晶体管1只,10 μF 电解电容器2只,100 μF 电解电容器1只,100 k Ω 电位器1只,2.2 k Ω 、4.7 k Ω 、5.1 k Ω 、22 k Ω 、33 k Ω 电阻各1只。

1.2.5 试验内容及步骤

1. 创建电路

(1) 双击EWB的快捷键,进入EWB工作界面。

(2) 按图1.2.2从元器件库和仪器库中提取各电路元件及仪器,并连接电路,然后对电路元器件参数进行赋值(具体操作方法参照实验一)。

(3) 双击交流信号源图标,打开“交流电压源属性(AC Voltage Source Properties)”对话框,该对话框包括:标签(Label)、数值(Value)、故障(Fault)、显示(Display)、分析设置(Analysis Setup)等五项。将交流信号源“标签”设定为 V_s ;在“数值(Value)”项中,有电压(Voltage)、频率(Frequency)、相位(Phase)和电压误差(Voltage tolerance)四项。将信号电压设定为10 mV,频率设定为1 kHz,其余各项保留默认值,按“确定”键确认。

(4) 为便于观察输入、输出信号波形,可双击连接至示波器输入端的连接线,弹出“电线属性(Wire Properties)”对话框,该对话框包括“图形选项(Schematic Options)”和“节点(Node)”两项。利用“图形选项”分别将两条连接线设定为两种不同的颜色,可使示波器显示的波形呈不同的颜色。

2. 静态工作点的调整和测量

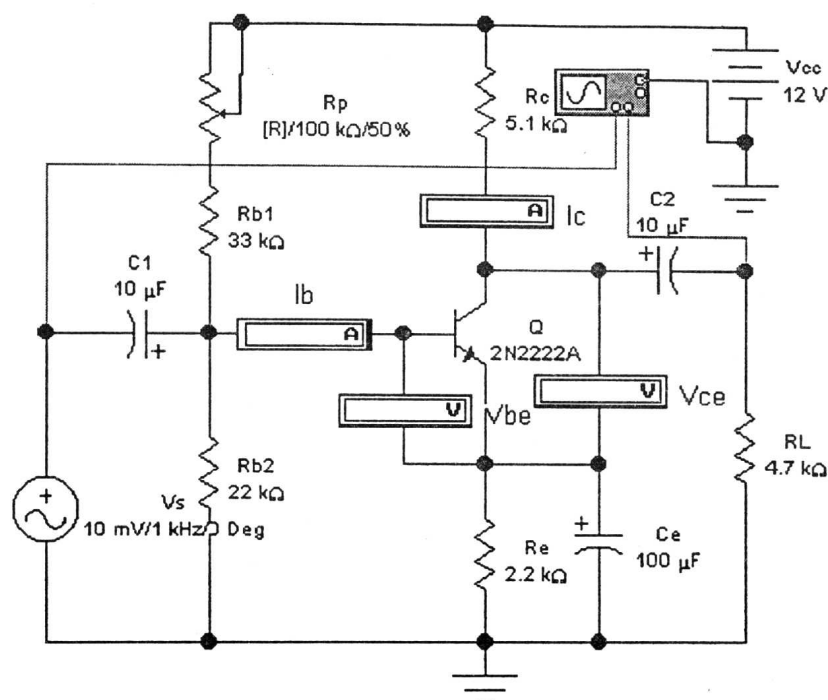


图 1.2.2 静态工作点测量

(1) 打开“启动/停止”开关。双击示波器图标,打开示波器面板,按下示波器面板上的“展开(Expand)”按钮,进一步将面板展开。调节示波器面板上的“时基调整(Time base)”(即扫描频率),使示波器屏幕上出现 5~10 个周期的波形;分别调节示波器的两个输入“通道(Channel)”设置,使显示的信号幅度约为屏幕高度的 1/2~2/3。

(2) 双击电位器图标,设定“标签”为 R_p ,“键”为默认的 R ,“阻抗”为 100 k Ω ,“调节”为默认的 50%，“增量”为 1%。根据上述对输入、输出波形的观察,按动字母键 R ,使电位器的阻值递减,以调节静态工作点,使输出波形无明显失真。若发生调节过度,可双击电位器图标,在对话框中将“键”改为数字键 0~9 之一,或者将“设置”数值改大,再继续调节,直至无明显失真为止。

(3) 关闭示波器。读取电压表和电流表的显示数据,并填写于表 1.2.1 中。

表 1.2.1

测量指标		$I_b/\mu A$	I_c/mA	V_{be}/mV	V_{ce}/V
静态工作点					
放大倍数	(1)				
测量	(2)				

3. 测量在上述调整后状态下的电流放大倍数 β

(1) 将负载电阻 R_L 短路。打开“启动/停止”开关,记录电流表 I_c 、 I_b 显示的测量数据于表 1.2.1 中。

(2) 按动字母键“ R ”3~5 次,使工作点有较明显的改变,再记录两电流表的显示数据。

4. 动态研究

(1) 去掉串接在电路中的电流表,将电压表按图1. 2. 3 改接。双击电压表图标,在弹出的对话框中,将直流改为交流,按“确定”键确认。

(2) 断开负载,输入信号频率、幅度保持不变,打开“启动/停止”开关,观察并测量 $R_L = \infty$ 时 V_i 和 V_o 的值,将测量数据填入表 1. 2. 2 中。

表 1. 2. 2

给 定 参 数		实 测 数 据		实 测 计 算
R_c	R_L	V_i/mV	V_o/mV	A_v
5.1k Ω	∞			
5.1k Ω	5.1k Ω			
5.1k Ω	2.2k Ω			
2.2k Ω	2.2k Ω			
2.2k Ω	5.1k Ω			

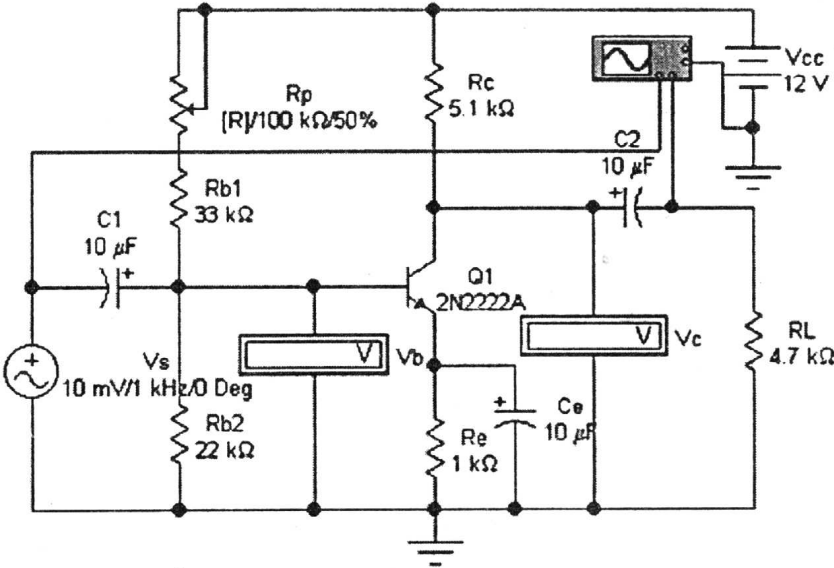


图 1. 2. 3 观察输入、输出信号波形

- (3) 接入负载 R_L ,按表 1. 2. 2 改变 R_L 、 R_c 数值,重复上述测量,并将结果填入表 1. 2. 2 中。
- (4) 双击交流信号源图标,调整幅度为 $V_i = 200 \text{ mV}$,增大或减小 R_p ,打开“启动/停止”开关观察波形的变化,测量并填入表 1. 2. 3 中。

表 1. 2. 3

R_p	R_p 阻值	V_i/mV	V_o/mV	输出波形情况
最 大				
合 适				
最 小				

4. 测放大电路的输入、输出电阻

(1) 输入电阻的测量。将负载电阻短路,在输入端串接一个5.1 k Ω 的电阻,信号源频率和幅度维持不变,打开“启动/停止”开关,测量 V_s 与 V_i ,将测量数据填入表 1. 2. 4 中。

(2) 输出电阻的测量。先将输出端开路,在输出信号不失真的情况下,测出空载输出电压 V_{o1} ;再接上负载 R_L ,测量输出电压 V_{o2} ,将上述测量结果填入表 1.2.4 中,再利用公式计算出 r_o 。(也可从表 1.2.2 中选择两组数据)。

表 1.2.4

测 输 入 电 阻 ($R_s = 5.1 \text{ k}\Omega$)			测 输 出 电 阻		
实 际 测 量		测 算 值	实 际 测 量		测 算 值
V_s/mV	V_i/mV	r_i	$V_{o1}(R_L = \infty)$	$V_{o2}(R_L = 4.7 \text{ k}\Omega)$	r_o

1.2.6 实验报告要求

1. 根据实测数据计算出各实测计算数据,并填入上述各表中。
2. 利用表 1.2.1 数据先求出放大倍数 β ,然后用公式法计算静态工作点及 A_v, r_i, r_o 等。
3. 将计算结果与实测计算值相比较,分析产生误差的原因。

1.3 单级共射极放大电路的频率特性

1.3.1 实验目的

1. 掌握静态工作点的合理设置。
2. 学习用 EWB 进行静态工作分析。
3. 学会放大电路频率特性的测试方法。
4. 掌握 EWB 的工作界面和基本操作方法,熟悉示波器的使用。

1.3.2 实验原理

通常加于放大电路的输入信号都不是单一频率,而实际放大电路中总免不了有电抗性元件,所以,放大电路对不同频率信号的放大能力就不会一样。若考虑电抗型元件的作用和信号的角频率,放大电路的增益可表示为

$$A_v(j\omega) = \frac{V_o(j\omega)}{V_i(j\omega)} \quad (1.3-1)$$

或
$$A_v = |A_v(j\omega)| \angle \varphi(j\omega) \quad (1.3-2)$$

式中 ω 为信号角频率, $A_v(j\omega)$ 表示电压增益的模与角频率的关系,称为幅度频率响应;而 $\varphi(j\omega)$ 表示输出信号与输入信号的相位差与角频率的关系,称为相位频率响应。二者合起来称为放大电路的频率响应。

一般规定,放大倍数随频率变化下降到中频放大倍数 A_o 的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$, 即 $A_v = 0.707A_o$ 时,所对应的频率分别叫高端上限频率 f_H 和低端下限频率 f_L ,上、下限频率之差称作通频带 $BW = f_H - f_L$ 。

对共发射极放大电路(如图 1.3.1)而言,影响低端频率特性的主要是耦合电容 C_1, C_2 和发射极旁路电容 C_e ,它们将引起放大倍数的下降和产生附加相移,但当耦合电容 C_1, C_2 的数值达到 $5 \sim 10 \mu\text{F}$ 时,它们的影响就不大,主要影响在于发射极旁路电容 C_e 。考虑到 C_e 的影响,放大电路在低频段的放大倍数为

$$A_{vL} = \frac{A_{vO}}{1 + \frac{\beta}{j\omega C_c R_i}} \quad (1.3-3)$$

$$\varphi_L = -180^\circ + \arctan \frac{\beta}{\omega_L C_c R_i} \quad (1.3-4)$$

当 $f_L = \frac{\beta}{2\pi C_c R_i}$ 时, $A_{vL} = \frac{A_{vO}}{\sqrt{2}}$, $\varphi_L = -135^\circ$ 。

若忽略偏置电阻的影响, $R_i = r_{be}$, 即为晶体管的输入电阻。

在高端段, 放大倍数的下降和附加相移的产生, 主要原因是晶体管的极间电容和电路的分布电容。高频段的放大倍数为

$$A_{vH} = \frac{A_{vO}}{1 + \frac{\beta}{j\omega C}}$$

本实验利用交流电压表测量输入信号频率为某定值时的电压放大倍数, 用示波器测量输出信号波形的相移量, 即用逐点测试法测量放大电路的幅频特性和相频特性曲线。

1.3.3 虚拟仪器及元器件

1. 仪器

示波器 1 台, 交流电压表 2 只, 正弦波信号源 1 个, 直流电源 1 个。

2. 元件

2N2222 晶体管 1 只, 100 k Ω 电位器 1 只, 10 μ F 电解电容器 2 只, 100 μ F 电解电容器 1 只, 5.1 k Ω 电阻器 2 只, 2.2 k Ω 、4.7 k Ω 、22 k Ω 、33 k Ω 电阻器各 1 只。

1.3.4 预习要求

1. 复习分压式电流负反馈偏置电路的构成及工作原理。
2. 复习放大电路的频率特性及测试方法。
3. EWB 软件中的示波器的使用操作方法。

1.3.5 实验内容及步骤

1. 创建电路

- (1) 双击 EWB 的快捷键, 进入 EWB 工作界面。
- (2) 按图 1.3.1 从元器件库中提取各电路组件, 并连接电路, 然后对电路元器件参数赋值。
- (3) 从指示器件库中提取两只电压表分别接至放大电路的输入、输出端, 并设定为交流电压表。

(4) 从仪器库中提取示波器分别接至电路的输入、输出端。分别双击接至示波器输入端的连线。在弹出的对话框中, 分别设定为不同的颜色, 以便于观察输入、输出信号波形。

2. 静态工作点设置与测量

(1) 静态工作点的设置原则: 首先是保证输入信号在最大额定值时, 输出信号不失真; 二是为提高信噪比静态工作点应尽可能的低; 三是保证工作点比较稳定的前提下, 使电阻分压偏置电路的总阻值尽可能的大。

(2) 打开“启动/停止”开关, 单击交流信号源图标, 设定频率为 1 kHz, 信号幅度按 1 mV、10 mV、50 mV 逐渐增加, 调节 R_p , 尽量使输出信号都不失真。

(3) 单击“电路 (Circuit)”命令, 在打开的下拉菜单中选定“电路图选项 (Schematic Options)”, 即弹出“电路图选项”对话框。该对话框中有网格 (Grid)、表示/隐藏 (Show/Hide)、