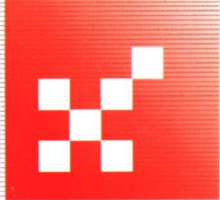




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



电子技术基础实验

● 李国丽 刘春 朱维勇 编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TN-33/31

2007

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子技术基础实验

李国丽 刘 春 朱维勇 编
王小海 周淑阁 审



机械工业出版社

本书跟踪电子技术发展的趋势,根据电子技术基础课程教学改革的需要,按照高等学校电气、电子信息类“电子技术基础”课程教学基本要求编写,旨在加强学生实验能力和创新能力的培养。

全书共分4章,按基本训练性实验、综合性实验、设计性实验3个层次组织实验内容。基本训练性实验含模拟电子技术基础基本训练实验和数字电子技术基础基本训练实验两部分;综合性实验中引入了Multisim仿真实验的内容,加强了EDA技术在课程实验中的应用,体现了实验中软硬件的有机结合;设计性实验结合了多年来大学生电子设计竞赛的相关竞赛题目,以培养学生的创新设计能力为主。

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,可作为电气类、电子信息类及其他相近专业本科生的实验教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础实验/李国丽,刘春,朱维勇编. —北京:机械工业出版社,2007.8

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-21800-5

I. 电… II. ①李…②刘…③朱… III. 电子技术-实验-高等学校-教材 IV. TN-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第098590号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王保家 责任编辑:苏颖杰 版式设计:冉晓华

责任校对:申春香 封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷(北京双新装订有限公司装订)

2007年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11印张·270千字

标准书号:ISBN 978-7-111-21800-5

定价:17.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379727

封面防伪标均为盗版

前 言

本书是为高等学校电气、电子类和其他相近专业而编写的“电子技术基础”实验教材，在编写过程中参照教育部电子信息与电气信息类基础课程教学指导分委员会修订的“模拟电子技术基础”课程教学基本要求、“数字电子技术基础”课程教学基本要求中“实验教学部分”的内容，分基础性实验、综合性实验和设计性实验3个层次，强调硬件电路实验和EDA实验相结合，目的在于将模拟电子技术、数字电子技术的课堂教学内容与实际动手有机地结合起来，以加强学生基本实验技能的训练，培养和提高学生的工程实践能力。

全书共分为5个部分：

第1部分（第1章）为模拟电子技术基础基本训练实验，介绍模拟电子技术中的基本实验和基本测试方法，对一些常用典型电路进行分析与实验，共有12个基本实验。

第2部分（第2章）为数字电子技术基础基本训练实验，介绍数字电子技术中的基本实验和基本测试方法，注重各种集成芯片的使用与实验，共有13个基本实验。

第3部分（第3章）为综合性实验，共有10个实验内容。在模拟电路和数字电路基本实验的基础上给出这些综合实验，目的在于提高读者综合应用理论知识的能力，让他们通过一些实际问题，掌握借助EDA工具软件进行电子电路设计的方法，进一步提高对电子电路设计的兴趣。

第4部分（第4章）为设计性实验，共有8个实验内容，每个实验都给出了设计要求和设计提示，给读者足够的自由发挥空间。

第5部分为附录，简介了本书所用EDA工具软件Multisim 8的使用方法。

本书针对“电子技术基础”课程教学阶段编写，书中所有内容均可用分立元件或中、小规模集成电路完成。

本书由李国丽、刘春、朱维勇编写，其中，第1章由刘春编写，第2章由朱维勇编写，第3、4章和附录由李国丽编写，周金斌对书中综合性实验的内容做了大量验证工作。浙江大学王小海教授、南京理工大学周淑阁教授审阅了书稿，并提出了宝贵意见。在本书的编写过程中，参考和引用了有关专家的教材和论文，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者的水平有限，书中难免存在不妥之处，欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 模拟电子技术基础基本训练

实验 1

- 1.1 常用电子仪器的使用 1
- 1.2 晶体管共射极放大器 5
- 1.3 射极输出器 10
- 1.4 场效应晶体管放大器 12
- 1.5 负反馈放大器 15
- 1.6 差动放大器 19
- 1.7 集成运算放大器的基本运算电路 23
- 1.8 RC 正弦波振荡器 28
- 1.9 LC 正弦波振荡器 31
- 1.10 信号发生器 33
- 1.11 有源滤波器 36
- 1.12 低频功率放大器——OTL 功率放大器 40

第 2 章 数字电子技术基础基本训练

实验 44

- 2.1 门电路及参数测试 44
- 2.2 半加器、全加器 47
- 2.3 数据选择器 52
- 2.4 数值比较器 54
- 2.5 译码器和 7 段字符显示器 56
- 2.6 锁存器和触发器 60
- 2.7 中规模计数器 65
- 2.8 寄存器和移位寄存器 67
- 2.9 555 定时器及其应用 70
- 2.10 CMOS 门电路及集成施密特触发器 74
- 2.11 半导体存储器 77

- 2.12 集成数模转换器 (DAC) 79

- 2.13 逐次渐近型模数转换器 (ADC) 83

第 3 章 综合性实验 86

- 3.1 串联型晶体管稳压电源 86
- 3.2 集成稳压器 92
- 3.3 压控方波-三角波信号发生器 98
- 3.4 多位数码管的动态扫描驱动电路 103
- 3.5 定时电路 108
- 3.6 竞赛抢答器 112
- 3.7 数字频率计 116
- 3.8 晶体管 β 值自动测量分挡仪 121
- 3.9 数控增益放大电路 125
- 3.10 数控直流稳压电源 128

第 4 章 设计性实验 134

- 4.1 函数信号发生器设计 134
- 4.2 测量放大器设计 134
- 4.3 简易水温控制器设计 135
- 4.4 电子密码锁设计 136
- 4.5 数字钟设计 136
- 4.6 交通灯控制器设计 137
- 4.7 乒乓球比赛游戏机设计 138
- 4.8 电梯控制器设计 139

附录 Multisim 8 使用说明 141

- 附录 A Multisim 8 基本界面 141
- 附录 B 常用虚拟仪器的使用 148
- 附录 C 基本分析方法 155
- 附录 D 电路仿真过程 162

参考文献 171

第1章 模拟电子技术基础基本训练实验

1.1 常用电子仪器的使用

1.1.1 实验目的

1. 学习模拟电子电路实验中常用的电子仪器——函数信号发生器、交流毫伏表、示波器、直流稳压电源、万用表等的主要技术指标、性能及正确使用方法。
2. 初步掌握用双踪示波器观察各种信号波形和读取波形参数的方法。

1.1.2 实验设备与器件

1. 直流稳压电源
2. 函数信号发生器
3. 双踪示波器
4. 交流毫伏表
5. 万用表
6. 二极管 DIN4148 1只
7. $2k\Omega$ 电阻 1只

1.1.3 实验原理

在模拟电子电路实验中，经常使用的电子仪器有示波器、函数信号发生器、直流稳压电源、交流毫伏表等，它们和万用表一起，可以完成对模拟电子电路的静态和动态工作情况的测试。

实验中要对各种电子仪器进行综合使用，可按照信号流向，以连线简捷、调节顺手、观察与读数方便等原则进行合理布局，各仪器与被测实验装置之间的布局与连接如图 1-1-1 所示。接线时应注意，为防止外界干扰，各仪器的公共接地端应连接在一起，称共地。信号源和交流毫伏表的引线通常用屏蔽线或专用电缆线，示波器接线使用专用电缆线，直流稳压电源的接线用普通导线。

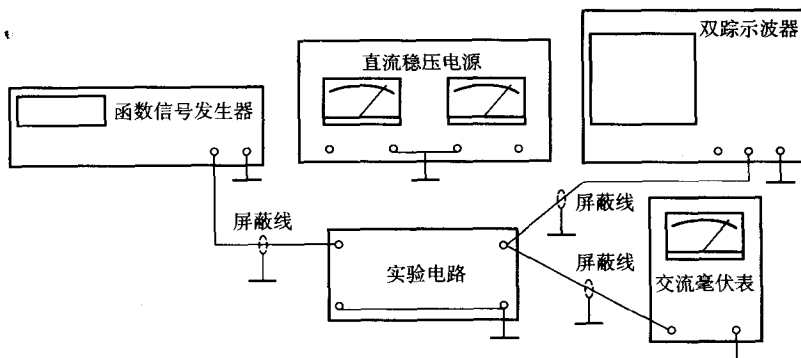


图 1-1-1 模拟电子电路中常用电子仪器布局图

1. 示波器

示波器的产品类型有很多，本书以 YB4320 型双踪示波器为例，介绍其使用方法。

YB4320 型双踪示波器的带宽为 20MHz，最小垂直偏转因数为 1mV/cm，扫描时间因数为 20ns/cm。

(1) 寻找扫描光迹点 在开机 0.5min 后，如仍找不到光点，可调节垂直 (POSITION ↓ ↑) 和水平 (POSITION ← →) 移位旋钮，将光点移至荧光屏的中心位置，然后调节“辉度” (INTEN)、“聚焦” (FOCUS) 和“亮度” (ILLUM) 等旋钮，使“水平线”最清晰。

(2) 为显示稳定的波形，需注意 YB4320 示波器面板上的下列几个控制开关 (或旋钮) 的位置：

1) “扫描速率 (SEC/DIV)” 开关——它的位置应根据被观察信号的周期来确定。

2) “触发源 (TRIGGER SOURCE)” 选择开关 (内、外) ——CH1 (CH2)：在双踪显示时，触发信号来自 CH1 (CH2) 通道，在单踪显示时，触发信号来自被显示的通道；交替 (ALT)：在双踪交替显示时，触发信号来自于两个 Y 通道，此方式用于同时观察两路不相关的信号；电源 (LINE)：触发信号来自于市电；外接 (EXT)：用于外触发，外触发输入端口 (EXT INPUT)。耦合方式 (COUPLING) 用于外触发。

3) “扫描方式 (SWEEP MODE)” 开关——置于“自动 (AUTO)” 位置时观察频率高于 50Hz 的信号，当频率低于 50Hz 时选择“常态 (NORM)”。

(3) 示波器有 5 种显示方式 (VERT MODE) “CH1”、“CH2”、“ADD”、“ALT” 与“CHOP”。作单踪显示时，有“通道 1” (CH1) 和“通道 2” (CH2) 显示方式；作双踪显示时，通常采用“ALT” 交替显示方式；仅当被观察信号频率很低时 (如几十赫兹以下)，为在一次扫描过程中同时显示两个波形，才采用“CHOP” 断续显示方式。

例如，当信号从“CH1X” 端输入时，属于单踪显示，显示方式 (VERT MODE) 应选“CH1”，内触发开关 (INT TRIG) 置于“CH1 (X-Y)”。

(4) 用“校准信号” (V_{pp}) 检查示波器 该端供给频率为 1kHz、电压为 0.5V 的方波信号。将示波器校准信号输出端通过专用电缆线与“CH1X” (或“CH2Y”) 输入插口接通 (用红色夹子连校准信号输出端)，“CH1X” (或“CH2Y”) 旁边的“AC-GND-DC” 开关选“AC” 或“DC”，调节示波器扫描开关“TIME/DIV”，选 1ms 位置，Y 轴幅度开关“VOLTS/DIV” 置于 0.5V 位置，则在荧光屏上可显示出数个周期的方波。

2. 函数信号发生器

函数信号发生器的产品型号也有很多，以 DF1642A 型函数信号发生器为例，它可输出正弦波、方波、三角波等波形，由“波形选择” 开关控制，频率调节范围为 0.1Hz ~ 5MHz，且具有内扫频功能。

输出信号频率可以通过“频率” 分挡开关和“频率调节” 旋钮进行调节，并由“6 位数数码显示屏” 显示出频率值。输出信号电压幅度可由“输出幅度” 调节旋钮进行连续调节。

函数信号发生器作为信号源，它的输出端不允许短路。

3. 交流毫伏表

交流毫伏表用于测量正弦交流电压的有效值。DF2175A 型号的交流电压表适用于 5Hz ~ 2MHz、30mV ~ 300V 的交流信号电压有效值的测量。

为了防止过载而损坏，测量前一般先把量程开关置于量程较大位置处，然后在测量中逐

挡减小量程。

另外，交流毫伏表在接通电源后，要将输入端短接，进行调零，然后断开短路线，才可开始进行测量。

4. 直流稳压电源

DF1731SD2A 型直流稳压电源由两路直流电源组成，每路输出电压为 $0 \sim 30\text{V}$ ，且连续可调。其工作方式如下：

- 1) 两路电压源单独使用，同时输出两路电压。
- 2) 两路电压源串联使用，两路输出电压相加。
- 3) 两路电压源并联使用，两路输出电流相加。

注意，红端是输出电压的正端，黑端是输出电压的负端。

5. 万用表

VC9802A 型数字万用表，可以根据需要测量直流电压、交流电压、直流电流、交流电流及电阻值，并可以进行二极管通断测试及晶体管 h_{FE} 参数测试。

1.1.4 预习要求

1. 认真阅读实验原理，了解各实验仪器的功能、面板旋钮的使用方法。
2. 已知 $C = 0.01\mu\text{F}$ 、 $R = 10\text{k}\Omega$ ，计算图 1-1-3 所示 RC 移相网络的阻抗角 ϕ 。
3. 预习实验内容，自拟记录测量二极管限幅电路输入、输出电压波形的表格。

1.1.5 实验内容

1. 信号发生器、示波器、交流毫伏表使用练习

接线如图 1-1-2 所示，把示波器与函数信号发生器相连。

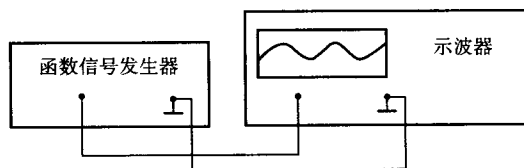


图 1-1-2 示波器与函数信号发生器连接图

1) 用函数信号发生器产生输出信号。按下函数信号发生器“波形选择”开关中的“正弦波”键，“频率”分挡开关选择“1kHz”（或“10kHz”），转动函数信号发生器的“频率调节”刻度盘，调节输出信号频率；旋转“输出幅度”旋钮，改变输出信号幅值。

2) 用交流毫伏表测量正弦波信号电压，把测量结果填入表 1-1-1 中。

3) 正确调节示波器，使它显示出稳定的信号波形。调节示波器，将“扫描开关”和“幅度开关”的微调旋钮顺时针旋至最底，使它能显示出稳定的信号波形。由“扫描开关”所指值（TIME/DIV）和一个波形周期的格数决定信号周期 T ，即

$$\text{周期 } T = \text{所占格数} \times (\text{TIME/DIV})$$

由“幅度开关”所指值和波形在垂直方向显示的坐标（格数）决定信号幅值，即

$$\text{幅值} = \text{所占格数} \times (\text{VOLTS/DIV})$$

而信号有效值为

$$\text{有效值} = \text{幅值} / \sqrt{2}$$

表 1-1-1 信号发生器输出信号测量数据

信号频率/kHz	毫伏表读数/mV	示波器读数	
		周期	幅值
1.2	40		
35	80		
120	200		

2. 用示波器测量两波形间的相位关系

(1) 观察双踪显示波形“交替”与“断续”两种显示方式的特点 CH1、CH2 均不加输入信号，扫描开关置扫速较低挡位（如 0.5s/DIV 挡）和扫描较高挡位（如 5 μ s/DIV 挡），把“显示方式”开关分别置于“交替”和“断续”位置，观察两条扫描线的显示特点。

(2) 用双踪示波器测量两波形的相位关系 按图 1-1-3a 连接实验电路，将函数信号发生器的输出电压调至频率为 1kHz、幅值为 2V 的正弦波，经 RC 移相网络获得频率相同但相位不同的两路信号 v_1 和 v_2 ，分别加到双踪示波器的 CH1 和 CH2 输入端。

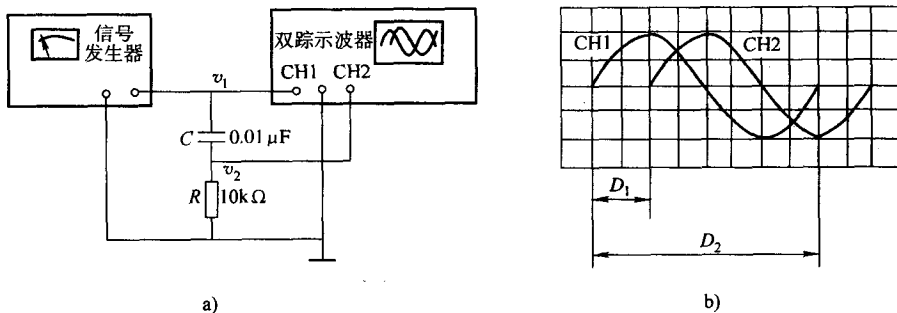


图 1-1-3 两波形间相位差测量电路

把示波器的显示方式开关置“交替”位置，将 CH1 和 CH2 输入耦合方式开关置“GND”，调节 CH1、CH2 的 $\uparrow\downarrow$ 移位旋钮，使两条扫描基线重合，再将 CH1、CH2 输入耦合方式开关置“AC”位置，调节扫描开关及 CH1、CH2 灵敏度开关位置，此时在荧屏上将显示出 v_1 和 v_2 两个相位不同的正弦波形，如图 1-1-3b 所示。则两波形相位差（即 RC 移相网络的阻抗角）为

$$\phi = \frac{D_1}{D_2} \times 360^\circ$$

式中 D_1 ——两波形在 X 轴方向差距格数；

D_2 ——波形一周期所占格数。

为读数和计算方便，可适当调节扫描开关及微调旋钮，使波形一周期占整数格。

将相关数据填入表 1-1-2 中。

表 1-1-2 波形相位差数据表

一周期格数 D_2	两波形 X 轴差距格数 D_1	相位差 ϕ	
		实测值	计算值

3. 二极管限幅电路的测试

按图 1-1-4 连接实验电路, 将函数信号发生器的输出电压调至频率为 1kHz 、幅值为 $3\sqrt{2}\text{V}$ (有效值为 3V) 的正弦波接于电路的输入端, 电压 V_{REF} 由直流稳压电源提供, 并用数字万用表的直流挡测量, 使 $V_{\text{REF}} = 2\text{V}$ 。用示波器观察输入电压 v_i 、输出电压 v_o 的波形, 并记录于自拟的实验表格中。

1.1.6 实验报告要求

1. 分析表 1-1-1 中的数据, 总结测量信号频率 (周期)、幅值 (有效值) 的最佳方式。

2. 分析 RC 移相网络的工作原理, 理论计算其阻抗角 ϕ , 画出实验中用双踪示波器观察到的波形, 将实测的相位差与理论值比较, 分析产生误差的原因。

3. 分析图 1-1-4 二极管限幅电路的工作原理, 画出实测的 v_i 、 v_o 的波形, 与理论分析做比较。

4. 总结各种常用电子仪器的使用方法。

1.1.7 思考题

1. 用示波器观察信号波形时, 要达到下列要求, 应调节哪些旋钮?

- (1) 波形清晰;
- (2) 波形稳定;
- (3) 改变示波器屏幕上可视波形的周期数;
- (4) 改变示波器屏幕上所视波形的幅度。

2. 用双踪方式显示波形, 并要求比较两者的相位时, 为了使荧光屏上得到稳定的波形, 应怎样选择各个开关的位置?

- (1) 垂直方式显示选择;
- (2) 触发方式选择;
- (3) 触发信号选择。

1.1.8 注意事项

1. 函数信号发生器作为信号源使用时, 它的输出端不允许短路。

2. 使用交流毫伏表测量时, 为了防止其过载而损坏, 测量前一般先将量程开关置于量程较大位置处, 然后在测量中逐挡减小量程; 读完数据后, 再把量程开关拨回量程较大位置处, 然后断开连线。

3. 拨动仪器面板上的各旋钮时, 用力要适当, 不可过猛, 以免造成机械损坏。

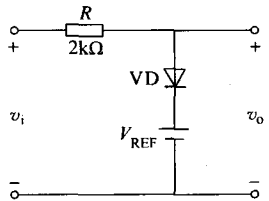


图 1-1-4 二极管限幅电路

1.2 晶体管共射极放大电路

1.2.1 实验目的

1. 熟悉放大器静态工作点的调试方法, 分析静态工作点对放大器性能的影响。
2. 掌握放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻及最大不失真输出电压的测试方法。
3. 熟悉常用电子仪器的使用。

1.2.2 实验设备与器件

1. 直流稳压电源
2. 函数信号发生器
3. 双踪示波器
4. 万用表
5. NPN 型晶体管 3DG6 1 只
6. 电阻器、电容器若干

1.2.3 实验原理

1. 实验电路

实验电路如图 1-2-1 所示，电路采用自动稳定静态工作点的分压式射极偏置电路，温度稳定性较好。其中晶体管选用的是 I_{CE0} 较小的硅晶体管 3DG6，电位器 R_w 用来调整静态工作点。

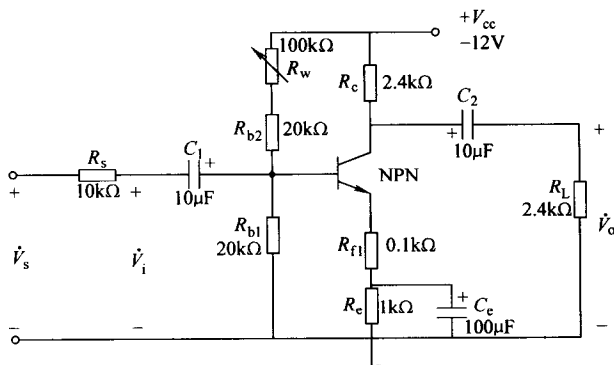


图 1-2-1 共射极放大电路

2. 静态工作点

在图 1-2-1 电路中，当流过偏置电阻 R_{b1} 和 R_{b2} 的电流远大于晶体管的基极电流 I_B 时（一般 5 ~ 10 倍），则它的静态工作点可用下式估算：

$$V_B \approx \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2} + R_w} V_{cc}$$

$$I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_{f1} + R_e} \approx I_C$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$V_{CE} = V_{cc} - I_C(R_c + R_{f1} + R_e)$$

实验中，测量放大器的静态工作点的过程，应在输入信号 $\dot{V}_i = 0$ 的情况下进行，也就是将放大器输入端与地端短接，为了避免断开集电极测量 I_C ，可以用直流电压表测出晶体管各个电极的对地电位 V_E 、 V_C 、 V_B ，然后由下列公式计算出静态工作点的各个参数：

$$V_{BE} = V_B - V_E$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_C}{R_C}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

调节偏置电阻 R_w 可以改变静态工作点。

为了减小误差, 提高测量精度, 应选用内阻较高的直流电压表测量各电极电位。

3. 放大器动态性能指标

放大器动态性能指标包括电压放大倍数、输入电阻、输出电阻、最大不失真输出电压等参数。

(1) 电压放大倍数 电压放大倍数是指输出电压和输入电压之比, 即

$$\dot{A}_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = - \frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)R_n}$$

$$r_{be} = 200\Omega + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_E} (I_E \text{ 单位为 mA})$$

电源电压放大倍数为输出电压和信号源电压之比, 即

$$\dot{A}_{vs} = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_s} = \dot{A}_v \frac{R_i}{R_i + R_s}$$

实验中, 这两个放大倍数可由交流毫伏表直接测出 \dot{V}_s 、 \dot{V}_i 、 \dot{V}_o 的有效值, 按下式求出:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

$$A_{vs} = \frac{V_o}{V_s}$$

(2) 输入电阻 输入电阻 R_i 的大小决定放大电路从信号源或前级放大电路获取电流的多少, 如图 1-2-1 所示电路的输入电阻为

$$R_i = R_{b1} // (R_{b2} + R_w) // [r_{be} + (1 + \beta)R_n]$$

实验中, 为了测量放大器的输入电阻, 将放大器等效为如图 1-2-2 所示的形式, 这样通过测量信号源电压有效值 V_s 和输入电压有效值 V_i , 可以计算输入电阻为

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{V_{Rs}/R_s} = \frac{V_i}{V_s - V_i} R_s$$

(3) 输出电阻 R_o 输出电阻 R_o 的大小表示放大电路带负载的能力。如图 1-2-1 所示电路的输出电阻为

$$R_o \approx R_C$$

实验中, 可根据图 1-2-2 所示的等效电路, 通过测量空载电压有效值 V_{o1} 和带负载电压有效值 V_{o2} 来计算求得输出电阻为

$$R_o = \frac{V_{R_o}}{I_o} = \frac{V_{o1} - V_{o2}}{V_{o2}/R_L} = \frac{V_{o1} - V_{o2}}{V_{o2}} R_L = \left(\frac{V_{o1}}{V_{o2}} - 1 \right) R_L$$

测量输出电阻时应注意 R_L 接入前后输入信号的大小保持不变。

(4) 最大不失真输出电压 V_{opp} (最大动态范围) 放大电路的最大不失真输出电压是衡量放大电路输出电压幅值能够达到的最大限度的重要指标, 如果超出这个限度, 输出波形

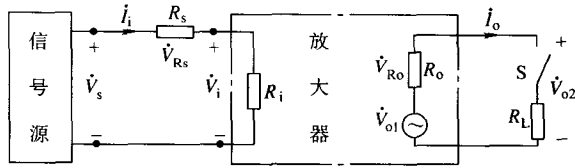


图 1-2-2 放大器等效电路图

将产生明显的失真。

实验中，为了得到最大动态范围，首先应将静态工作点调在交流负载线的中点，利用示波器或交流毫伏表可测得放大电路的最大不失真输出电压 V_{opp} 。

(5) 放大器频率特性 放大器的频率特性是指放大器的电压放大倍数 A_v 与输入信号频率 f 之间的关系曲线，分幅频特性和相频特性。在幅频特性曲线上设 A_{vm} 为中频电压放大倍数，通常规定电压放大倍数随频率变化下降到 $0.707A_{vm}$ 时所对应的频率分别为下限频率 f_L 和上限频率 f_H ，则通频带为 $B_w = f_H - f_L$ 。

1.2.4 预习要求

1. 复习教材中有关晶体管共射极放大电路的工作原理，根据图 1-2-1 所示的实验电路估算出放大器的静态工作点、电压放大倍数 A_v 、 A_{vs} 、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 。

2. 预习实验内容，了解测试晶体管共射极放大电路的静态工作点及动态性能指标的方法。

3. 复习示波器、函数信号发生器、晶体管毫伏表等实验仪器的使用方法。

1.2.5 实验内容

1. 静态工作点的调整和测量

实验电路如图 1-2-1 所示， $+V_{cc}$ 由直流稳压电源提供。令 $V_s = 0$ （即不接信号发生器，将放大器输入端与地短路）， $V_{cc} = 12V$ 时，调节 R_w ，使 $V_C = 7V$ 左右，用万用表直流电压档测量 V_B 和 V_E （对地电位），计算 V_{CE} 、 V_{BE} 、 I_C 、 I_B ，填入表 1-2-1 中，

表 1-2-1 静态工作点数据表

测量值			计算值			
V_B	V_E	V_C	V_{CE}	V_{BE}	I_C	I_B

2. 测量动态参数 A_v 、 A_{vs} 、 R_i 、 R_o 。

保持静态工作点的 R_w 不变，调节信号发生器，使输出正弦波的频率 $f = 1kHz$ ，有效值 $V_i = 20mV$ ，测量 V_s 、 V_i 及电路空载输出电压 V_{o1} 和负载输出电压 V_{o2} ，并计算 A_v 、 A_{vs} 、 R_i 、 R_o ，填入表 1-2-2 中。用双踪示波器观察输入、输出波形，分析它们的相位关系。

表 1-2-2 动态参数数据表

测量值				计算值					
V_s /mV	V_i /mV	V_{o1} $R_L = \infty$	V_{o2} $(R_L = 2.7k\Omega)$	A_{v1}	A_{v2}	A_{vs1}	A_{vs2}	R_i	R_o

3. 观察静态工作点对输出波形的影响

加大输入信号,使 $V_i = 0.1\text{V}$,用示波器观察输出波形。顺时针调节 R_w ,使输出电压失真,用万用表的直流电压挡测量此时的 V_{CE} 值,记录失真波形于表 1-2-3 中;然后保持输入信号不变,反时针调节 R_w ,使输出波形出现失真,记录失真波形和此时的 V_{CE} 值(注:每次测 V_{CE} 值时都要使信号发生器的输出为零)。分析两种情况下的失真类型。

表 1-2-3 失真记录

R_w	V_{CE}/V	输出电压的波形	失真类型
顺时针			
逆时针			

4. 最大不失真输出电压 V_{opp} 的测量

在放大器正常工作的情况下,逐步增大输入信号的幅度,并同时调节 R_w (改变静态工作点),用示波器观察输出电压的波形,当输出波形同时出现削底和缩顶失真时,说明静态工作点已调在交流负载线的中点。然后反复调整输入信号,使波形输出幅度最大,且无明显失真,此时,用交流毫伏表测出 V_o (有效值),则输出电压最大动态范围 $V_{opp} = 2\sqrt{2}V_o$,或在示波器上直接读出 V_{opp} 。

5. 放大器频率特性的测量

调节信号发生器输出信号的频率,使 $f = 1\text{kHz}$;调节 V_i 的大小,使输出电压有效值 $V_o = 1\text{V}$ 。 V_o 保持不变,增大输入信号频率,使 V_o 下降到 0.707V 时,对应的信号频率为上限频率 f_H 。按照同样的方法,减小输入信号频率,可以测到下限频率 f_L ,最后计算出带宽 B_w 。

1.2.6 实验报告要求

1. 简述图 1-2-1 所示实验电路的特点,列表整理测量结果,并把实测的静态工作点、电压放大倍数、输入电阻、输出电阻之值与理论计算值比较,分析产生误差原因。
2. 讨论静态工作点变化对放大器输出波形的影响。
3. 分析总结静态工作点的位置与输出电压波形的关系。

1.2.7 思考题

1. 能否用直流电压表直接测量晶体管的 V_{BE} ? 为什么实验中要采用测 V_B 、 V_E ,再间接算出 V_{BE} 的方法?
2. 改变静态工作点对放大器的输入电阻 R_i 是否有影响? 改变外接电阻 R_L 对输出电阻 R_o 是否有影响?
3. 电路的静态工作点正常,如果发现电压增益较低(只有几倍),有可能是哪几个元件出了故障?

1.2.8 注意事项

1. 测试中,应将函数信号发生器、交流毫伏表、示波器及实验电路的接地端连接在一起。
2. 由于函数信号发生器有内阻,而放大电路的输入电阻 R_i 不是无穷大,测量放大电路输入信号 V_i 时,应将放大电路与函数信号发生器连接上再测量,避免造成误差。

1.3 射极输出器

1.3.1 实验目的

1. 进一步学习放大器各项参数的测试方法。
2. 掌握射极输出器的特性及测试方法。
3. 了解射极输出器的应用。

1.3.2 实验设备与器件

1. 直流稳压电源
2. 函数信号发生器
3. 双踪示波器
4. 交流毫伏表
5. 万用表
6. NPN 型晶体管 3DG6 1 只
7. 电阻器、电容器若干

1.3.3 实验原理

1. 实验电路

射极输出器的输出信号取自发射极，它是一个电压串联负反馈放大电路，具有输入阻抗高、输出阻抗低、输出电压能够在较大范围内跟随输入电压作线性变化，以及输入、输出信号同相位等特点，射极输出器又称射极跟随器。图 1-3-1 所示为射极输出器实验电路。

2. 静态工作点

图 1-3-1 所示实验电路的静态工作点估算公式为

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_b + R_w + (1 + \beta)R_e}$$

$$I_C \approx I_E = (1 + \beta)I_B$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_E R_e$$

实验中，可在静态 ($\dot{V}_i = 0$ ，即输入信号对地短路) 时测得晶体管的各电极电位 V_E 、 V_C 、 V_B ，然后由下列公式计算出静态工作点的各个参数：

$$V_{BE} = V_B - V_E$$

$$I_C \approx I_E = \frac{V_E}{R_e}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_B}{R_w + R_b} \quad \text{或} \quad I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = V_{CC} - V_E$$

3. 放大电路动态性能指标

(1) 电压放大倍数 图 1-3-1 所示实验电路的电压放大倍数估算公式为

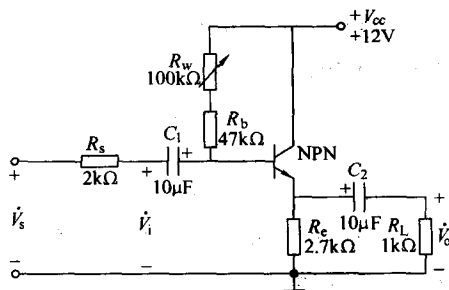


图 1-3-1 射极输出器

$$\dot{A}_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \frac{(1 + \beta)(R_e // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)(R_e // R_L)} \leq 1$$

$$\dot{A}_{vs} = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_s} = \dot{A}_v \frac{R_i}{R_i + R_s}$$

射极跟随器的电压放大倍数小于且接近于 1，输出电压和输入电压相位相同，这是深度电压负反馈的结果；它的射极电流比基极电流大 $(1 + \beta)$ 倍，所以它具有一定的电流和功率放大作用。

实验中，放大倍数 A_v 和 A_{vs} 可通过测量 \dot{V}_s 、 \dot{V}_i 、 \dot{V}_o 的有效值计算求出

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

$$A_{vs} = \frac{V_o}{V_s}$$

(2) 输入电阻 R_i 图 1-3-1 所示实验电路的输入电阻为

$$R_i = (R_b + R_w) // [r_{be} + (1 + \beta)(R_e // R_L)]$$

实验中可通过测量 \dot{V}_s 、 \dot{V}_i 的有效值计算求出

$$R_i = \frac{V_i}{V_s - V_i} R_s$$

(3) 输出电阻 R_o 图 1-3-1 所示实验电路的输出电阻为

$$R_o = \frac{r_{be} + [R_s // (R_b + R_w)]}{1 + \beta} // R_e \approx \frac{r_{be} + [R_s // (R_b + R_w)]}{\beta}$$

实验中，可通过测量空载电压 V_{o1} 和负载电压 V_{o2} 计算求出

$$R_o = \left(\frac{V_{o1}}{V_{o2}} - 1 \right) R_L$$

1.3.4 预习要求

1. 复习教材中有关射极输出器的工作原理，掌握射极输出器的性能特点，并了解其在电子线路中的应用。

2. 复习测试放大电路的静态工作点、放大倍数、输入电阻、输出电阻的方法。

1.3.5 实验内容

1. 静态工作点的调整和测量

实验电路如图 1-3-1 所示，接通 +12V 电源，令 $\dot{V}_s = 0$ （即不接信号发生器，将放大器输入端与地短路），调节 R_w ，使 $V_E = 7V$ 左右，测量 V_C 和 V_B ，计算 V_{BE} 、 V_{CE} 、 I_C 、 I_B ，填入表 1-3-1 中。

表 1-3-1 静态工作点数据表

测量值			计算值			
V_B	V_E	V_C	V_{BE}	V_{CE}	I_C	I_B

2. 测量动态参数 A_v 、 A_{vs} 、 R_i 、 R_o 。

保持静态工作点的 R_w 不变, 调节信号发生器, 使输出正弦波的频率 $f = 1\text{kHz}$, 有效值 $V_i = 1\text{V}$, 测量 V_s 、 V_i 及电路空载输出电压 V_{o1} 和负载输出电压 V_{o2} , 并计算 A_v 、 A_{vs} 、 R_i 、 R_o , 填入表 1-3-2 中。用双踪示波器观察输入、输出波形, 分析它们的相位关系。

表 1-3-2 动态参数数据表

测量值				计算值					
V_s	V_i	V_{o1}	V_{o2}	A_{v1}	A_{v2}	A_{vs1}	A_{vs2}	R_i	R_o
/V	/V	($R_L = \infty$)	($R_L = 1\text{k}\Omega$)						

3. 测试射极跟随器特性

接入负载 $R_L = 1\text{k}\Omega$, 在电路输入端加入正弦信号, $f = 1\text{kHz}$, 并保持频率不变, 逐渐增大输入信号 V_s 的幅度, 用示波器监视输出波形, 直至输出电压幅值最大并且不失真, 分别测量 V_i 和 V_o , 记入表 1-3-3 中, 分析电路的电压跟随特性。

表 1-3-3 射极输出器跟随性数据表

测量值		计算值
V_i	V_o	A_v
1V		
1.5V		
2V		

1.3.6 实验报告要求

1. 简述图 1-3-1 所示实验电路的特点, 列表整理测量结果, 并把实测的静态工作点、电压放大倍数、输入电阻、输出电阻之值与理论计算值比较, 分析产生误差原因。
2. 简要说明射极输出器的应用。

1.3.7 思考题

1. 测量放大器静态工作点时, 如果测得 $V_{CE} < 0.5\text{V}$, 说明晶体管处于什么工作状态? 如果测得 $V_{CE} \approx V_{cc}$, 晶体管又处于什么工作状态?
2. 实验电路中, 偏置电阻 R_b 起什么作用? 既然有了 R_w , 是否可以不要 R_b ? 为什么?

1.3.8 注意事项

实验中, 应将函数信号发生器、交流毫伏表、示波器及实验电路的接地端连接在一起。

1.4 场效应晶体管放大器

1.4.1 实验目的

1. 了解结型场效应晶体管静态参数的测量方法。
2. 熟悉场效应晶体管放大器动态参数的测试方法。

1.4.2 实验设备与器件

1. 直流稳压电源
2. 函数信号发生器