



普通高等教育“十五”国家级规划教材

电子技术实验 与课程设计

第3版

● 毕满清 主编

DIANZI JISHU SHIYAN YU KECHENG SHEJI



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TN-33
87

普通高等教育“十五”国家级规划教材

电子技术实验与课程设计

第3版

主编 毕满清
参编 杨 录 杨翠娥
杨新华 高文华
张艳花 高志文
主审 何如聪



机械工业出版社

本书是按照高等学校电子技术基础课程教学基本要求结合多年来电子技术实践性教学环节改革的经验和第2版使用情况,跟踪电子技术发展的新形势和教学改革不断深入的需要,针对加强学生实践能力和创新能力培养的教学目的而进行修订的。

全书共分5章:模拟电子技术实验,数字电子技术实验,电子技术综合性实验,课程设计和现代电子技术常用软件。实验和课程设计中引入了模拟可编程器件,加强了数字可编程器件和EDA技术的应用,做到了软件硬件的有机结合。既满足了验证性、提高性、设计性、综合性实验和课程设计的需要,又为研究开发性实验和全国大学生电子设计竞赛提供了条件。

本书是普通高等教育“十五”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

电子技术实验与课程设计/毕满清主编. —3版. —北京:机械工业出版社, 2005.7

普通高等教育“十五”国家级规划教材
ISBN 7-111-04811-3

I. 电… II. 毕… 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(2005)第038770号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:贡克勤 版式设计:张世琴 责任校对:陈延翔

封面设计:张静 责任印制:洪汉军

北京瑞德印刷有限公司印刷

2006年1月第3版第2次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·24印张·590千字

定价:33.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

第3版前言

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材，该教材的第2版2002年获山西省教学成果一等奖。

在电子技术日新月异发展的形势下，按照高等学校电子技术基础课程教学基本要求，适应21世纪高等学校培养人才的战略，加强学生实践能力和创新能力的培养。本书在总结第2版经验的基础上，经过教改和实践，在编写内容和方法上进行了较大修改和更新，使之更符合电子信息时代的要求。

1. 实验分成验证性、提高性、设计性和综合性四个层次，在此基础上把EDA技术的应用贯穿到各个层次的实验中，既保证了硬件电路实验，又加强了EDA实验的内容，达到了硬件软件的有机结合，为学生进行研究开发性实验提供了条件，可选实验多达200个以上，以适应不同专业，不同学时，不同层次对学生实践能力和创新能力的培养。

2. 在内容上跟踪电子技术新器件、新技术发展的形势，引入了模拟可编程器件实验，加强了CPLD、FPGA等数字可编程器件实验，在实验手段上与计算机应用紧密结合。

3. 课程设计内容包括模拟电子系统设计、数字电子系统设计和综合电子系统设计，做到了常规电路设计与EDA技术相结合的设计方法。设计题目新颖，具有实用性。题目给出了设计思路，原理框图，有必做和选做内容。实现了课程设计与设计性综合性实验有机结合，既满足了课程设计的需要，又为学生进行课外科技活动及全国大学生电子设计竞赛奠定了基础。

4. 介绍了Multisim2001、PAC Designer软件、Max + plus II和VHDL语言，为进行电子技术实验和课程设计提供了软件平台。

关于图形符号、文字代号需说明的是：书中用到的软件不宜改动，因此本书作了如下处理，即软件中图形符号、文字代号均不变，文中涉及到的文字代号其正、斜体及脚标等均贯彻国标，且尽量做到全书统一。

参加本书修订工作的有：中北大学（原华北工学院）毕满清、杨录、张艳花、高志文，中北大学分校杨翠娥，太原科技大学高文华，兰州理工大学杨新华。毕满清撰写了第1章的硬件电路实验和第4章4.1、4.2，杨录撰写了第4章4.3、4.4、4.5、4.6，杨翠娥撰写了第2章和第5章5.4，杨新华撰写了第3章，高文华撰写了第1章的EDA实验和1.8、1.10、1.12及第5章的5.2，张艳花撰写了第5章5.1，高志文撰写了第5章5.3。毕满清任主编，负责全书的组织、修改和定稿。

IV

兰州理工大学何如聪教授担任主审。2004年在厦门召开了本教材第3版的审稿会，与会代表提出了宝贵意见，在此谨向各位专家和老师表示衷心的感谢。

在编写过程中，得到了中北大学各级领导、教务处、教材科、电子技术教研室和实验室的关心与支持，在出版过程中得到了机械工业出版社的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于我们的能力和水平有限，书中肯定会有不妥之处和错误，恳请广大师生和读者，一如既往，提出批评和改进意见。

编 者

2005年5月

第2版前言

本书是原机械电子工业部高等学校电子技术基础课程协作组组织编写的电子技术基础系列教材之三。

本书自1995年10月出版以来,不少高等院校使用,广大师生普遍反映是一本比较适用的教材。随着电子技术的飞速发展,以及对大学生素质培养提出的要求,着重培养学生的实践能力和创新能力,电子技术实验和课程设计起着非常重要的作用。为了适应教学改革的需要,在总结经验的基础上对原书进行了以下几方面的修改。

一、每个实验在原书分为验证性、提高性、设计性三个层次的基础上增加了综合性实验和系统设计。以适应不同专业、不同学时、不同层次对学生实践能力和创新能力的培养。

二、内容比较新,引入了ISP、FPGA等可编程逻辑器件实验和EDA仿真实验,在实验手段上与计算机应用密切结合起来。

三、课程设计与设计性实验、综合性实验及系统设计有机的结合起来。课程设计题目新颖、实用性强,给出了设计思路、原理框图和主要参考元器件,便于学生使用。

参加本书修订的是:湖北汽车工业学院黄晓林(第1章1.1~1.7),华北工学院分院杨翠娥(第2章、第4章4.3~4.4及附录),甘肃工业大学郝晓弘(第3章),华北工学院毕满清(第1章1.8~1.12,第4章4.1~4.2)。毕满清任主编,负责全书的组织、修订和定稿。

本书的编写得到了全国高等学校电子技术研究会副理事长、原机械电子工业部高等学校电子技术基础课程协作组组长、华北工学院张建华教授的热情鼓励和具体指导;主审甘肃工业大学何如聪教授对本书的编写进行了指导,对书稿进行了逐字逐句非常认真的审查,写出了详细的书面修改意见,在此对他们表示衷心的感谢。

电子技术日新月异,教学改革任重道远,我们的能力有限,缺点和错误在所难免,恳请兄弟院校的老师 and 读者提出批评和改进意见。

编者
2000年5月

第1版前言

本书是在原机械电子工业部高等学校电子技术基础课程协作组组织领导下编写的。实验和课程设计都是电子技术基础课程中重要的实践性环节，对学生理论联系实际的能力起很重要的作用。本书编写的宗旨是：根据“教学基本要求”，结合目前各校实验和课程设计的实际需要，做到适应性强、便于学生阅读、有利于学生的能力培养和因材施教。本书具有下列特点：①除常用电子仪器的使用和元器件的特性、参数测试实验外，每个实验分成三个层次，第一个层次是验证性实验，其内容包括实验目的、实验电路、所用仪器设备、实验内容及步骤、思考题等；第二个层次是提高性实验，已知实验电路和实验内容及要求，让学生独立完成实验步骤及测试方法的拟定，实验仪器设备的选择等；第三个层次是设计性实验，提出实验题目、实验内容及要求，让学生独立完成电路设计、元器件的选择、电路的安装和调试、拟定实验步骤和测试方法等。这样做既体现了循序渐进，又有利于能力的培养和因材施教。实验中所用仪器设备均是通用的，便于各校根据实际情况进行选择，适应性强。②课程设计与实验编在一起，便于教师把实验和课程设计有机地结合起来。有些课程设计的内容可当作大型实验去做，安装调试方面的内容可以共享，设计性实验中的单元电路的设计，可作为课程设计参考，从而节省了篇幅，达到一举两得的目的。③为了满足设计性实验的需要，在某些设计性实验的后面，还介绍了单元电路的设计方法，供学生设计电路时参考。

本书由南京理工大学李元浩编写第1章1.1~1.5，哈尔滨电工学院李国国编写第1章1.6~1.12，西安理工大学杜忠编写第2章，华北工学院毕满清编写第3章和第4章，并任主编，负责全书的组织、修改和定稿。

国家教育委员会电子技术基础课程指导小组委员、原机械电子工业部高等学校电子技术基础课程协作组组长张建华教授，对本书的编写原则和编写方法进行了具体的指导，对书稿进行了逐字逐句非常认真负责的审查，提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，加之编写时间仓促，缺点和错误在所难免，诚恳希望各兄弟院校的老师 and 读者提出批评和改进意见。

编 者

1995年5月于太原

目 录

第3版 前言

第2版 前言

第1版 前言

第1章 模拟电子技术实验

1.1 常用电子仪器的使用	1
1.2 基本放大电路实验	5
1.2.1 验证性实验——晶体管共射放大电路	5
1.2.2 提高性实验——两级阻容耦合放大电路	8
1.2.3 设计性实验	8
1.2.4 EDA 仿真实验	9
1.3 差动放大电路实验	12
1.3.1 验证性实验——射极耦合差动放大电路	12
1.3.2 提高性实验——恒流源差动放大电路	14
1.3.3 设计性实验	15
1.3.4 EDA 仿真实验	15
1.4 负反馈放大电路实验	17
1.4.1 验证性实验——电压串联负反馈电路	17
1.4.2 提高性实验——电压并联负反馈电路	19
1.4.3 设计性实验	20
1.4.4 EDA 仿真实验	21
1.5 比例、求和运算电路实验	23
1.5.1 验证性实验——比例运算电路	23
1.5.2 提高性实验——求和运算电路	25
1.5.3 设计性实验	26
1.5.4 比例运算电路的设计与调试	27
1.5.5 EDA 仿真实验	33
1.6 积分运算电路实验	33
1.6.1 验证性实验——基本积分电路运算关系的研究	33
1.6.2 提高性实验——积分电路的应用	35
1.6.3 设计性实验	36
1.6.4 积分器的设计与调试	37
1.6.5 EDA 仿真实验	40
1.7 有源滤波电路实验	42
1.7.1 验证性实验——低通滤波器的研究	42
1.7.2 提高性实验——带阻滤波器的研究	44
1.7.3 设计性实验	44
1.7.4 有源滤波器的设计与调试	45
1.7.5 EDA 仿真实验	48
1.8 模拟乘法器实验	49
1.8.1 验证性实验——静态传输特性的测试	49
1.8.2 提高性实验——乘法器的应用	52
1.8.3 设计性实验	53
1.8.4 集成模拟乘法器 BG314 外接电阻的确定	54
1.8.5 EDA 仿真实验	55
1.9 波形产生电路实验	56
1.9.1 验证性实验——集成运算放大器构成的 RC 桥式振荡器	56
1.9.2 提高性实验——集成运算放大器的非线性应用	57
1.9.3 设计性实验	58
1.9.4 波形产生电路的设计与调试	59
1.9.5 EDA 仿真实验	61
1.10 功率放大电路实验	62
1.10.1 验证性实验——分立元件“OTL”功率放大器的研究	62
1.10.2 提高性实验——集成功率放大器的应用	65
1.10.3 设计性实验	66
1.10.4 LA4100 集成功率放大器简介	67
1.10.5 EDA 仿真实验	68

1.11 直流稳压电源实验	69
1.11.1 验证性实验——串联型稳压 电路	69
1.11.2 提高性实验——集成稳压电路的 研究	71
1.11.3 设计性实验	71
1.11.4 EDA 仿真实验	72
1.12 模拟可编程器件实验	73
1.12.1 利用 ispPAC10 实现增益可调 放大器	73
1.12.2 利用 ispPAC20 实现电压监测	78
1.12.3 利用 ispPAC80 实现 5 阶滤 波器	81
1.12.4 可编程模拟器件介绍	82

第 2 章 数字电子技术实验

2.1 门电路实验	88
2.1.1 TTL 门电路逻辑功能及参数的 测试	88
2.1.2 TTL 集电极开路(OC)门和三态(3S) 门逻辑功能的测试和应用	91
2.1.3 CMOS 门电路实验	93
2.2 组合逻辑电路实验	94
2.2.1 验证性实验——编码器和译码器的 逻辑功能及其应用	94
2.2.2 提高性实验——数据选择器、数值 比较器及全加器的功能测试及其 应用	97
2.2.3 设计性实验	98
2.2.4 EDA 实验	101
2.3 触发器实验	102
2.4 时序逻辑电路实验	106
2.4.1 验证性实验——计数器实验	106
2.4.2 提高性实验——移位寄存器 实验	107
2.4.3 设计性实验	108
2.4.4 EDA 实验	110
2.5 逻辑电路实验	112
2.5.1 验证性实验——顺序脉冲 发生器	112
2.5.2 提高性实验——电子秒表	113
2.5.3 设计性实验	114

2.5.4 EDA 实验	117
2.6 大规模可编程逻辑器件实验	118
2.6.1 验证性实验	118
2.6.2 提高性实验	122
2.6.3 设计性实验	125
2.7 A/D 与 D/A 转换器实验	126
2.7.1 验证性实验——DAC0832 转换器 实验	126
2.7.2 提高性实验——ADC0809 转换器 实验	129
2.7.3 设计性实验	132
2.8 555 定时器应用实验	133
2.8.1 验证性实验——555 定时器应用 之一	133
2.8.2 提高性实验——555 定时器应用 之二	134
2.8.3 设计性实验	136

第 3 章 电子技术综合性实验

3.1 概述	137
3.1.1 电子系统	137
3.1.2 从单元电路到综合电子系统应 注意的问题	138
3.2 模拟电子技术综合性实验	152
3.2.1 方波-三角波产生电路实验	152
3.2.2 模拟运算电路实验	155
3.2.3 压控振荡器实验	157
3.2.4 音频功率放大器实验	159
3.3 数字电子技术综合性实验	168
3.3.1 8 路呼叫器实验	168
3.3.2 脉冲序列发生器实验	170
3.3.3 篮球竞赛 30s 计时器实验	172
3.3.4 交通灯控制器实验	175
3.3.5 简易抢答器实验	178
3.3.6 数字式简易温度控制器实验	182
3.4 电子技术综合性实验	187
3.4.1 数控增益放大器实验	187
3.4.2 简易温度监控系统实验	189

第 4 章 课程设计

4.1 概述	192
4.2 电子系统设计的基本方法和	

一般步骤	192
4.2.1 电子系统设计的基本方法	192
4.2.2 电子系统设计的一般步骤	194
4.3 模拟电子系统设计	209
4.3.1 模拟电子系统的设计过程	209
4.3.2 设计过程中 EDA 技术的使用	212
4.3.3 设计举例	213
4.4 数字电子系统设计	226
4.4.1 数字电子系统的设计过程	226
4.4.2 EDA 和 VHDL 语言的应用	228
4.4.3 设计举例	228
4.5 电子系统设计举例	246
4.5.1 总体方案	246
4.5.2 单元电路设计	248
4.5.3 画总电路图	253
4.6 课程设计题目	254
4.6.1 测量放大器	254
4.6.2 全集成电路高保真扩音机	254
4.6.3 可编程函数发生器	256
4.6.4 有源滤波系统	256
4.6.5 集成运算放大器简易测试仪	257
4.6.6 金属探测器	258
4.6.7 开关型直流稳压电源	259
4.6.8 音乐彩灯控制器	260
4.6.9 有线对讲机	261
4.6.10 数字温度计	261
4.6.11 峰值检测系统	262
4.6.12 数字电子秤	263
4.6.13 简易数控直流电源	264
4.6.14 晶体三极管 β 值数字显示测试 电路	265
4.6.15 数字频率计	266
4.6.16 带报警器的密码电子锁和门铃 电路	267
4.6.17 多路信号显示转换器	269
4.6.18 光电计数器	270
4.6.19 数字波形合成器	271
4.6.20 数字存储示波器	272
4.6.21 可编程字符显示器	273

4.6.22 步进电动机控制器	274
4.6.23 路灯控制器	275
4.6.24 出租车自动计费器	276
4.6.25 洗衣机控制器	277

第 5 章 现代电子技术常用软件

5.1 Multisim 2001 软件及应用	280
5.1.1 Multisim 2001 软件基本界面	280
5.1.2 电路仿真过程	287
5.1.3 常用虚拟仪器的使用	300
5.1.4 典型分析方法	306
5.2 PAC-Designer 软件及应用	315
5.2.1 PAC-Designer 软件概述	315
5.2.2 PAC-Designer 软件的使用 方法	316
5.2.3 PAC-Designer 软件的几个重要 菜单功能	322
5.2.4 ispPAC80 器件的软件设计 方法	323
5.2.5 ispPAC30 器件的软件设计 方法	325
5.3 MAX + plusII 软件及应用	326
5.3.1 MAX + plusII 概述	326
5.3.2 MAX + plusII 的管理器	327
5.3.3 MAX + plusII 的设计过程	332
5.3.4 逻辑设计的输入方法	336
5.3.5 设计编译	342
5.3.6 模拟仿真	350
5.3.7 定时分析	351
5.3.8 器件编程	353
5.4 VHDL 硬件描述语言	354
5.4.1 概述	354
5.4.2 VHDL 语言的基本结构	355
5.4.3 数据对象、数据类型和运算 操作符	359
5.4.4 VHDL 的主要描述语句	363
5.4.5 构造体的描述方式	367
参考文献	371

第 1 章 模拟电子技术实验

1.1 常用电子仪器的使用

1. 实验目的

通过实验，学会常用电子仪器的操作和使用；初步掌握用示波器测量交流电压的幅值、频率、相位和脉冲信号有关参数的方法。

2. 实验仪器

- | | |
|----------------|-----|
| ① 双踪示波器 | 1 台 |
| ② 信号发生器 | 1 台 |
| ③ 直流稳压电源 | 1 台 |
| ④ 交流毫伏表 | 1 台 |
| ⑤ 数字式（或指针式）万用表 | 1 块 |

3. 实验原理

在电子技术实验里，测试和定量分析电路的静态和动态的工作状况时，最常用的电子仪器有：示波器、信号发生器、直流稳压电源、交流毫伏表、数字式（或指针式）万用表等，如图 1-1 所示。

(1) 直流稳压电源 为电路提供能源。

(2) 信号发生器 为电路提供各种频率和幅度的输入信号。信号发生器按需要输出正弦波、方波、三角波三种信号波形。通过输出衰减开关和输出幅度调节旋钮，可使输出电压在毫伏级到伏级范围内连续调节。信号发生器的输出信号频率可以通过频率分档开关进行调节。信号发生器作为信号源，它的输出端不允许短路。

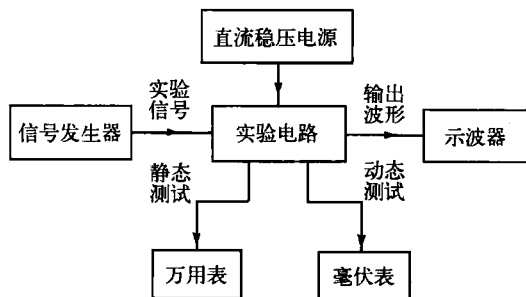


图 1-1 电子技术实验中测量仪器连接图

(3) 交流毫伏表 用于测量电路的输入、输出信号的有效值。交流毫伏表只能在其工作频率范围之内，用来测量正弦交流电压的有效值。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上，然后在测量中逐档减小量程。

(4) 数字式（或指针式）万用表 用于测量电路的静态工作点和直流信号的值。也可测量工作频率较低时电路的交流电压、交流电流的有效值及测量电路的阻值。

(5) 示波器 电子示波器是一种常用的电子测量仪器，它能直接观测和真实显示被测信号的波形。它不仅能观测电路的动态过程，还可以测量电信号的幅度、频率、周期、相位、脉冲宽度、上升和下降时间等参数，是一种常用的电子测量仪器。

示波器的操作方法简介：

1) 寻找扫描光迹。将示波器 Y 轴显示方式置“CH1”或“CH2”，输入耦合方式置“GND”，开机预热后，若在显示屏上不出现光点和扫描基线，可按下列操作去找到扫描线。

① 适当调节亮度旋钮。② 触发方式开关置“自动”。③ 适当调节垂直（↑↓）、水平（⇐⇒）“位移”旋钮，使扫描光迹位于屏幕中央（若示波器设有“寻迹”按键，可按下“寻迹”按键，判断光迹偏移基线的方向）。

2) 双踪示波器一般有五种显示方式，即“CH1”、“CH2”、“CH1 + CH2”三种单踪显示方式和“交替”、“断续”两种双踪显示方式。“交替”显示一般适宜于输入信号频率较高时使用。“断续”显示一般适用于输入信号频率较低时使用。

3) 为了显示稳定的被测信号波形，“触发源选择”开关一般选为“内”触发，使扫描触发信号取自示波器内部的 Y 通道。

4) 触发方式开关通常先置于“自动”，调出波形后，若被显示的波形不稳定，可置触发方式开关位于“常态”，通过调节“触发电平”旋钮找到合适的触发电压，使被测试的波形稳定地显示在示波器屏幕上。

有时，由于选择了较慢的扫描速率，显示屏上将会出现闪烁的光迹，但被测信号的波形不在 X 轴方向左右移动，这样的现象仍属于稳定显示。

5) 适当调节“扫描速率”开关及“Y 轴灵敏度”开关使屏幕上显示 1 ~ 2 个周期的被测信号波形。在测量幅值时，应注意“Y 轴灵敏度微调”旋钮置于“校准”位置，即顺时针旋到底，且听到关的声音。在测量周期时，应注意将“X 轴扫描微调”旋钮置于“校准”位置，即顺时针旋到底，且听到关的声音。还要注意“扩展”旋钮的位置。

根据被测波形在屏幕坐标刻度垂直方向所占的格数（div 或 cm）与“Y 轴灵敏度”开关指示值（V/div）的乘积，即可算得信号幅值的实测值。

根据被测信号波形一个周期在屏幕坐标刻度水平方向所占的格数（div 或 cm）与“扫描”开关指示值（t/div）的乘积，即可算得信号频率的实测值。

4. 实验内容及步骤

(1) 稳压电源的使用

1) 接通电源开关，调粗调与细调旋钮使两路电源分别输出 +6V 和 +15V，用数字式（或指针式）万用表“DCV”挡测量输出电压的值，将测量值填入表1-1中。

表 1-1 用万用表测量稳压电源的输出电压

稳压电源的输出电压/V	+6	+15	+30	-30	+12	-12
数字（或指针）式万用表						

2) 分别使稳压电源输出 ±30V、±12V，重复上面过程。

(2) 信号发生器与交流毫伏表的使用 将信号发生器频率旋钮调至 1kHz，调节“输出调节”旋钮，使仪器面板表头指示于 5V 位置，分别置分贝衰减开关于 0dB、10dB、20dB、30dB、40dB、60dB，用交流毫伏表分别测出相应的电压值，记入表 1-2 中。

(3) 示波器的使用

1) 使用前的检查与校准 先将示波器面板上各键置于如下位置：“显示方式”开关位

于“CH1”；“极性”选择位于“+”；触发方式位于“内触发”；“DC，GND，AC”开关位于“AC”；“高频，常态，自动”开关位于“自动”位置；“微调 V/div”开关位于“0.2V/div”挡，“微调”置于“校准”位置，然后用同轴电缆将校准信号输出端与 CH1 通道的输入端相连接，开启电源和打开校正信号控制开关后，示波器屏幕上应显示幅度为 1V、周期为 1ms 的方波。调节“辉度”“聚焦”和“辅助聚焦”各旋钮使屏幕上观察到的波形细而清晰，调节亮度旋钮于适中位置。

表 1-2 信号发生器输出 1kHz、表头指示为 5V，在不同衰减时毫伏表的测量值

信号发生器的衰减级别/dB	0	10	20	30	40	60
毫伏表测量值						

2) 交流信号电压幅值的测量 使信号发生器信号频率为 1kHz、表头指示 5V，适当选择灵敏度选择开关“V/div”的位置，“微调”置于“校准”位置，使示波器屏上能观察到完整、稳定的正弦波，则此时屏上纵向坐标表示每格的电压伏特数，根据被测波形在纵向高度所占格数便可读出电压的数值，将信号发生器的分贝衰减器置于表 1-3 中要求的位置并测出其结果记入表 1-3 中。

表 1-3 示波器测量交流信号电压实验数据

信号发生器的衰减挡级/dB	0	10	20	30	40	60
信号发生器表头指示/V						
示波器 V/div（开关位置）						
示波器屏幕显示峰—峰波形高度/格						
示波器屏幕显示峰—峰电压 U_{pp}/V						
电压有效值/V						

注意：若使用 10:1 探头电缆时，应将探头本身的衰减量考虑进去。

3) 交流信号频率的测量

① 方法一。扫描速率开关“t/div”的刻度值表示屏幕横向坐标每格所表示的时间值。将示波器扫描速率中的“微调”旋钮置于“校准”位置，在预先校正好的条件下，根据被检测信号波形在横向所占的格数直接读出信号的周期；若要测量频率只需将被测的周期求倒数即为频率值。按表 1-4 所示频率由信号发生器输出信号，用示波器测出其周期，然后计算频率，并将所测结果与已知频率比较。

表 1-4 示波器测量交流信号频率实验数据

信号发生器输出信号频率/kHz	1	5	10	100	1000
示波器扫描频率开关位置 t/div					
显示屏中一个信号周期占有水平格数					
信号频率 $f=1/T$					

② 方法二。利用李沙育图形来测定信号的频率，其仪器的连接线如图 1-2a 所示。图中信号发生器 (II) 作为未知频率 f_Y 的信号，从示波器 “Y₁” 输入端输入，信号发生器 (I) 作为已知频率 f_X 的信号，用电缆从 X (外接) 插座输入，这时扫描速率开关应置于 X (外接) 挡。调节信号发生器 (I) 的频率 f_X 。当 f_X 与 f_Y 之间成一定倍数关系时，屏幕上就能显示李沙育图形，由该图形及 f_X 的读数即可定出被测信号的频率 f_Y 。例如显示的图形如图 1-2b 所示。由李沙育图形确定未知频率的方法是：在图形上画一条水平线和一条垂直线，它们与图形的交点数分别为 $n_X = 2$ ， $n_Y = 2$ ，若 $f_X = 2\text{kHz}$ ，则被测信号频率为： $f_Y = \frac{n_X}{n_Y} f_X = \frac{2}{2} \times 2\text{kHz} = 2\text{kHz}$ ，为了便于读数，通常取 n_X/n_Y 成简单的倍数，如取 1、2、3、4 等值。

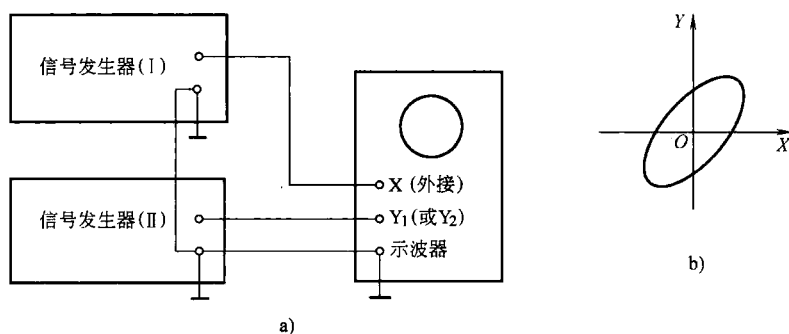


图 1-2 示波器的李沙育图形测量频率原理及连接图
a) 连线图 b) 显示图形

4) 交流信号相位的测量 测量两个频率相同信号之间的相位关系时，应使“显示方式”开关置于“交替”或“断续”工作状态，同时把“内触发”推拉开关拉出，然后用内触发形式启动扫描，以测量两个信号间的相位差。如图 1-3 所示，其一个周期占了坐标刻度 8div，因此每 1div 相应为 45° ，从而可求出其相位差为： $\phi = t_n (\text{div}) \times 45^\circ/\text{div} = 1.5\text{div} \times 45^\circ/\text{div} = 67.5^\circ$ ， t_n 为两个波形在水平轴方向的差距。

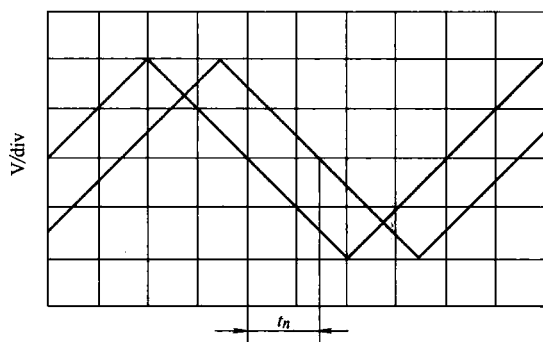


图 1-3 双踪法测量相位差

5) 脉冲信号的测量

① 脉冲信号前、后沿时间的测量。由于示波器内部 Y 轴装有延迟线，因此采用内触发方式可方便地测出脉冲波形的前、后沿时间 T_r 和 T_f 。如图 1-4 所示。当被测脉冲前沿或后沿大于示波器本身上升时间 ($T_0 = 24\text{ns}$) 3 倍以上时，可按面板扫描时间指示值直接读出前、后沿时间 T_r 和 T_f ；否则可按下式计算 T_r 或 T_f ：

$$T_r (\text{或 } T_f) = \sqrt{T_0^2 - T_s^2}$$

式中， T_0 为实测的前沿或后沿时间值。

② 脉冲信号宽度的测量。首先通过示波器的位移旋钮将脉冲波形移至屏幕中心，并调节“ t/div ”开关使其在 X 轴方向基本占据整数格数，例如：图 1-5 中 t/div 为 $1\text{ms}/\text{div}$ ，则脉宽 $T = 1\text{ms}/\text{div} \times 4\text{div} = 4\text{ms}$ 。

③ 脉冲频率和幅度的测量。脉冲信号的重复频率和幅度的测量方法与交流信号的测量方法相同。

5. 思考题

1) 使用示波器时要达到如下要求，应调节哪些旋钮和开关？

① 波形清晰，亮度适中；② 波形稳定；③ 移动波形位置；④ 改变周期个数；⑤ 改变波形的幅度；⑥ 同时观察两路波形。

2) 用示波器测量信号的频率与幅值时，如何保证测量精度。

3) 示波器触发来源分为“内部”，“外部”，其作用是什么？如何正确使用？

4) 双踪示波器的“断续”和“交替”工作方式之间的差别是什么？

5) 交流毫伏表能否测量 20Hz 以下的正弦信号，在使用时应注意什么？

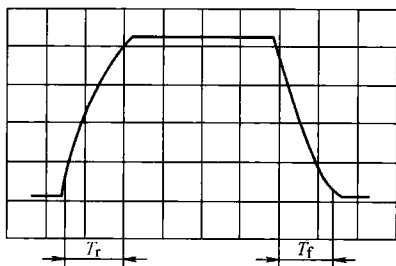


图 1-4 测量脉冲前后沿时间

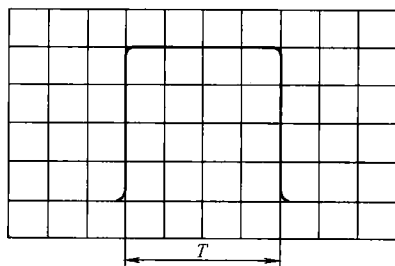


图 1-5 脉冲宽度的测量

1.2 基本放大电路实验

1.2.1 验证性实验——晶体管共射放大电路

1. 实验目的

① 掌握放大电路的静态工作点和电压放大倍数的测量方法。

② 了解电路元件参数改变对静态工作点及电压放大倍数的影响。

③ 掌握放大电路输入、输出电阻的测量方法。

2. 实验电路及仪器设备

(1) 实验电路 单管共射放大电路如图 1-6 所示。

(2) 实验仪器设备

① 双踪示波器

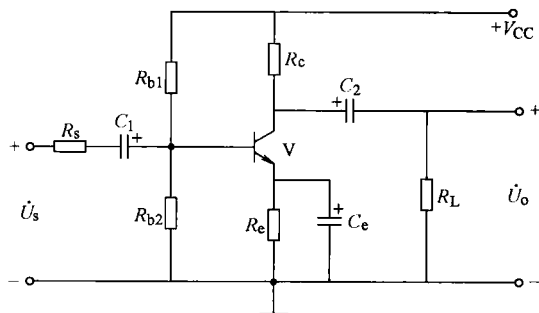


图 1-6 单级共射放大电路

R_{b1} 20k Ω R_{b2} 10k Ω R_c 、 R_e 、 R_L 3k Ω R_e 2k Ω
 C_1 、 C_2 10 μF C_e 47 μF V 3DG6 (β 50~60) V_{cc} 12V

- ② 直流稳压电源

③ 信号发生器

④ 交流毫伏表

⑤ 数字（或指针）式万用表
- 1 台

1 台

1 台

1 块

3. 实验内容及步骤

(1) 测量静态工作点

- ① 先将直流电源调整到 12V，关闭电源。
- ② 按图 1-6 连接电路，注意电容器 C_1 、 C_2 、 C_e 的极性不要接反，最后连接电源线。
- ③ 仔细检查连接好的电路，确认无误后，接通直流稳压电源。
- ④ 按表 1-5 用数字万用表测量各静态电压值，并将结果记入表 1-5 中。

表 1-5 静态工作点实验数据

测 量 值			测 算 值		理 论 值				
U_B/V	U_C/V	U_E/V	U_{CE}/V	I_C/mA	U_B/V	U_C/V	U_E/V	U_{CE}/V	I_C/mA

(2) 测量电压放大倍数

① 按图 1-7 将信号发生器和交流毫伏表接入放大器的输入端，示波器接入放大器的输出端。调节信号发生器为放大电路提供输入信号为 1kHz 的正弦波 $\dot{U}_i$ ，示波器用来观察输出电压 $\dot{U}_o$ 的波形。适当调整信号发生器 U_i 的值，确保输出电压 $\dot{U}_o$ 不失真时，分别测出 $\dot{U}_o$ 和 $\dot{U}_i$ 的值，求出放大电路的电压放大倍数 A_u 。

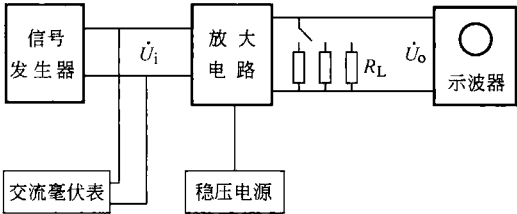


图 1-7 实验线路与所用仪器连接图

②观察交流毫伏表读数，保持 U_i 不变，改变 R_L ，观察负载电阻改变对电压放大倍数的影响，将测量结果记入表 1-6 中。

表 1-6 电压放大倍数实测数据（保持 U_i 不变）

R_L	U_o/V	A_u 测量值	A_u 理论值
∞			
3k Ω			
1k Ω			
500 Ω			

(3) 观察工作点变化对输出波形的影响 调整信号发生器的输出电压幅值（增大放大器的输入电压 U_i ），观察放大电路的输出电压的波形，使放大电路处于最大不失真电压时，逐个改变基极电阻 R_{b1} 的值，分别观察 R_{b1} 变化对静态工作点及输出波形的影响，将所测结果记入表 1-7 中。

表 1-7 R_{bi} 对静态、动态影响的实验结果

条件 $R_L = \infty$	(万用表) 静态测量与计算值				输出波形 (示波器) (保持 U_i 不变)	若出现失真波形, 判断失真性质
	I_C/mA	U_E/V	U_B/V	U_{CE}/V		
$R_{bi} = 15\text{k}\Omega$						
$R_{bi} = 20\text{k}\Omega$						
$R_{bi} = 51\text{k}\Omega$						

(4) 测量输入电阻 R_i 及输出电阻 R_o 。

1) 测量输入电阻 R_i 输入电阻 R_i 的测量有两种方法。方法一输入电阻的测量原理框图如图 1-8 所示, 在放大电路与信号源之间串入一固定电阻 $R = 3\text{k}\Omega$, 在输入电压波形不失真的条件下, 用交流毫伏表测量 U_s 以及相应 U_i 的值, 并按式 (1-1) 计算 R_i

$$R_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} R \quad (1-1)$$

方法二的输入电阻测量原理框图如图 1-9 所示, 当 $R = 0$ 时, 在输出电压波形不失真的条件下, 用交流毫伏表测出输出电压 U_{o1} ; 当 $R = 3\text{k}\Omega$ 时, 测出输出电压 U_{o2} , 并按式 (1-2) 计算 R_i

$$R_i = \frac{U_{o2}}{U_{o1} - U_{o2}} R \quad (1-2)$$

将两种方法的测量结果计算出的 R_i 与理论值比较, 分析测量误差。 R 的取值接近于 R_i 。

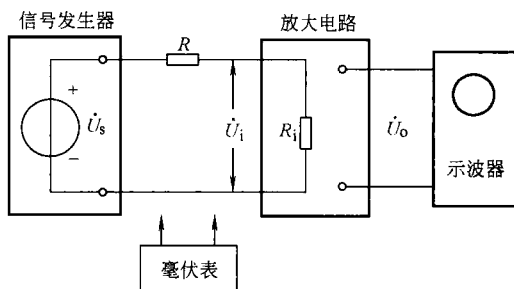


图 1-8 输入电阻测量原理框图之一

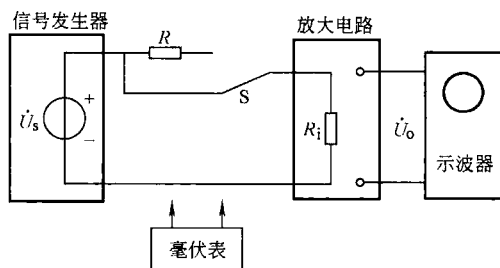


图 1-9 输入电阻测量原理框图之二

2) 测量输出电阻 R_o 。输出电阻的测量原理框图如图 1-10 所示。在输出电压波形保持不失真的情况下, 用交流毫伏表测出带负载时的输出电压 U_o , 空载时的输出电压 U'_o , 按式 (1-3) 计算 R_o 的值。

$$R_o = \left(\frac{U'_o}{U_o} - 1 \right) R_L \quad (1-3)$$

4. 思考题

① 如何正确选择放大电路的静态工作

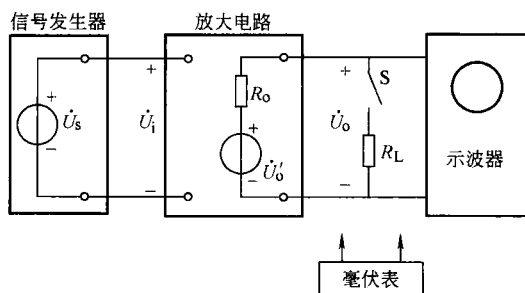


图 1-10 输出电阻的测量原理框图