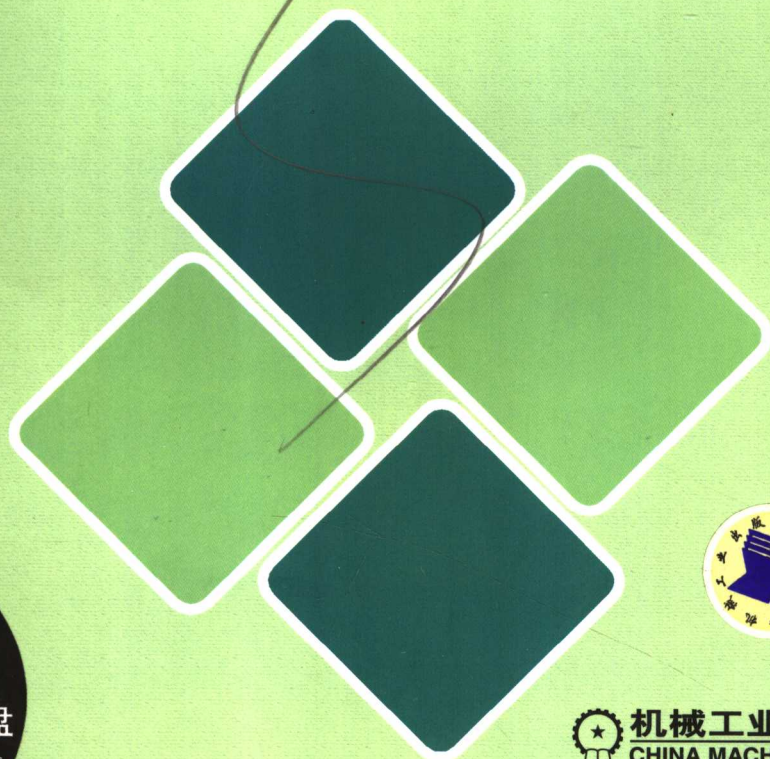


EDA 系列教材

Multisim 9

电子技术基础 仿真实验

赵春华 张学军◎主 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

附 赠
光 盘



EDA 系列教材

Multisim9

电子技术基础仿真实验

主编	赵春华	张学军	
参编	李卫兵	杜玉杰	张成亮
主审	刘志军	文宇庄	

机械工业出版社

本书为省级精品课程配套教材。内容包括：教师和学生通用的“仿真演示实验”、学生用“仿真电子实验”和“Multisim9 操作指南”三篇共 10 章。主要内容有：模拟、数字电路仿真实验，模拟、数字电路基础训练，仿真版泰克数字示波器的使用，面包板应用仿真，Multisim9 的基本界面、创建电路原理图，虚拟仪器的使用及基本仿真分析方法。

本书可供高等院校理工科各专业本科、高职高专学生“电子类”课程教材，也可供电子设计人员参考。为方便教师教学，本书配有教学课件，欢迎选用该书作为教材的老师索取，索取邮箱：llm7785@sina.com。

图书在版编目 (CIP) 数据

Multisim9 电子技术基础仿真实验/赵春华、张学军主编. —北京：机械工业出版社，2007.3

(EDA 系列教材)

ISBN 978-7-111-20940-9

I. M... II. ①赵... ②张... III. 电子电路—电路设计：计算机辅助设计—应用软件，Multisim9—教材 IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 025261 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：刘丽敏 版式设计：霍永明 责任校对：陈延翔

封面设计：陈 沛 责任印制：李 妍

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2007 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 9.875 印张 · 382 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-20940-9

ISBN 978-7-89482-126-3 (光盘)

定价：28.00 元 (含 1CD)

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) 88379711

封面无防伪标均为盗版

前 言

当今世界,绝大多数人都深信微型计算机和移动通信的发展和普及对人类社会文明和全球经济腾飞产生的巨大推动作用。但是,却很少有人明白推动计算机和通信技术发展的动力却是电子设计自动化(Electronic Design Automation, EDA)技术的迅速发展和应用。我国加入世贸组织5年来,以计算机和通信为主体的信息产业已迅速发展为国民经济的支柱产业。虽然我国的高等教育也得到了史无前例的迅速发展。但是升学难、就业难和高层次人才缺乏的现象同时存在却依然困扰着人们。这种现象是经济高速发展初期,高等教育发展相对滞后之必然。因为高等教育的目的是培养各级各类专业人才,这需要各种各样的教学理念、教学设备、专业教师和教材,需要经历一段探索和适应期,需要高等学校的管理人员和专业教师进行不懈的探索和创新。

20世纪80年代末,加拿大的Interactive Image Technologies公司推出的图形化电子技术仿真设计软件——电子工作台(Electronics Workbench,简称EWB)。在EDA技术群雄逐鹿中,虽未在工程应用领域拔得头筹,却得到电子技术教育专家的青睐。时至今日,IIT公司已被美国National Instruments公司兼并,并与其代表产品LabVIEW软件相互嵌入与支撑,已发展成为电子教育领域独一无二的专用EDA软件。它既能进行电路图设计,模拟、数字、射频多功能仿真,多层印制电路板(PCB)版图布局和自动布线设计,又能用于电子技术基础理论教学、电子技术技能培训和电子创新理论验证。

本书内容包括:教师和学生通用的“仿真演示实验”、学生用“仿真电子实验”和“Multisim9操作指南”三篇共10章。该书有下述特点:

1) 按童诗白教授编《模拟电子技术基础》教材体系编制仿真演示实验121个,按阎石教授编《数字电子技术基础》教材体系编制仿真演示实验134个。每个实验都附有操作说明,可直接用于多媒体课堂教学。学生可用其进行验证性实验。

2) 所有实验都使用最新的Multisim9软件特别版制作。可使学生接触和学习到最先进的EDA技术。Multisim9软件中应用的电路图符号有美国(ANSI)和欧洲(DIN)两种,与我国国家标准不同,因而选用了相对较接近的DIN符号,为方便读者,附录列出了各种标准的符号对照。

3) 学生实验全部为研究性的,并且每个实验都有多种方法,既可直接用于仿真实验,也可作为真实实验的操作参考。数量虽然不多,但都具有很强的延

伸性。

4) 引入仿真版泰克数字示波器, 可以使学生以最低的投入进行最先进的现代化测试仪器的使用操作训练。

5) 引入面包板仿真技术, 不仅可以完全避免原材料消耗, 还能训练和培养学员认真细心和独立自主的作风。

本书由山东滨州学院赵春华、湖南城市学院张学军任主编。山东大学刘志军教授、重庆教育学院文宇庄教授任主审, 第1、2章由张学军编军, 第3~7章由赵春华编写, 第8章由李卫兵编写, 第9章由杜玉杰编写, 第10章由张成亮编写, 赵春华制作了全书的仿真实验电路, 并对全书进行统稿、定稿。滨州学院物理与电子科学系的王忠林、张昌平、卞丽、王树彬、薛华等老师参加了方案的讨论, 并提出了宝贵的建议特表示衷心的感谢。

本书获得 EWB 国际销售总管 Arnold M. Hougham 先生授权, 在所附光盘附带 Multisim9 的学生演示版 Dsfree9, 并可获得免费升级至最新版本试用 30 天的优惠。美国国家仪器公司中国办事处 (NI-China) 的梁锐工程师对此给予了大力协助。在此一并表示衷心的感谢。

本书的编写得到山东滨州学院纪洪波院长和教务处张士国处长的关心和大力支持, 还得到中国高等学校电子教育学会理事长、陕西咸阳师范学院黄庆元教授, 中国高等学校电子教育学会副理事长、原宁波工程学院副院长忻元华研究员, 中国高等学校电子教育学会副理事长、桂林空军学院教研部部长李峰教授, 中国高等学校电子教育学会副理事长、中南民族大学蒋天发教授等的关心和支持。在此一并表示衷心的感谢。

因编者水平所限, 错误和疏漏在所难免, 敬请同仁和读者不吝指正。

编 者

目 录

前言

第一篇 原理验证型仿真实验 1

第 1 章 模拟电子仿真实验 1

- 1.1 常用半导体器件 1
- 1.2 基本放大电路 11
- 1.3 多级放大电路 20
- 1.4 集成运算电路 24
- 1.5 放大电路的频率响应 27
- 1.6 放大电路中的反馈 29
- 1.7 信号的运算与处理 34
- 1.8 波形的产生和信号的转换 42
- 1.9 功率放大电路 48
- 1.10 直流电源 50

第 2 章 数字电路仿真实验 58

- 2.1 逻辑代数基础 58
- 2.2 门电路 62
- 2.3 组合逻辑电路 78
- 2.4 触发器 87
- 2.5 时序逻辑电路 90
- 2.6 脉冲波形的产生和整形 108
- 2.7 半导体存储器 116
- 2.8 可编程逻辑器件 118
- 2.9 数-模和模-数转换 120

第二篇 基础训练型仿真实验 124

第 3 章 模拟电路基础训练实验 124

- 3.1 晶体管输出特性曲线的测定 124
- 3.2 单级共射电路静态工作点的测定 129
- 3.3 单级共射放大电路放大倍数及频率特性测定 134
- 3.4 集成运放单端放大性能测定 140
- 3.5 RC 正弦波振荡器输出频率的测定 145

第4章 数字电路基础训练实验	149
4.1 逻辑转换仪的使用	149
4.2 组合逻辑电路的功能检测与显示	151
4.3 时序逻辑电路的功能检测与显示	153
4.4 数字电路综合应用研究	158
4.5 脉冲波形的产生与检测	163
第5章 仿真型泰克 TDS2024 数字存储示波器的使用	166
5.1 了解示波器的功能	166
5.2 操作基础	171
5.3 应用示例	180
5.4 数学计算快速傅里叶变换	190
第6章 面包板应用仿真	196
6.1 向面包板放置组件的设置	196
6.2 在面包板上放置元器件	198
6.3 元器件的连接	203
6.4 面包板操作	207
6.5 查看元器件信息	208
6.6 显示面包板网表	209
6.7 设计规则和连接性检查	209
第三篇 Multisim9 操作指南	211
第7章 Multisim9 的基本界面	211
7.1 概述	211
7.2 菜单栏	214
7.3 设计工具栏	218
7.4 元器件工具栏	222
7.5 隐藏的工具栏和工具栏的快捷更换	237
第8章 创建电路原理图的基本操作	241
8.1 定制用户界面	241
8.2 元器件的调用和操作	249
8.3 电路的连接	253
8.4 放置总线	256
8.5 子电路和层次设计	259
8.6 添加文本说明	261
第9章 虚拟仪器的使用	266
9.1 数字万用表	266
9.2 函数信号发生器	267
9.3 瓦特表	269

9.4	示波器	270
9.5	四通道示波器	271
9.6	波特图仪	272
9.7	频率计	274
9.8	字信号发生器	275
9.9	逻辑分析仪	276
9.10	逻辑转换仪	279
9.11	IV 特性分析仪	280
9.12	失真分析仪	281
第 10 章	基本仿真分析方法	284
10.1	直流工作点分析	284
10.2	交流分析	287
10.3	瞬态分析	287
10.4	傅里叶分析	289
10.5	噪声分析	290
10.6	噪声系数分析	291
10.7	失真分析	292
10.8	直流扫描分析	293
10.9	灵敏度分析	294
10.10	参数扫描分析	295
10.11	温度扫描分析	296
10.12	极点-零点分析	296
10.13	传递函数分析	297
10.14	最坏情况分析	298
10.15	蒙特卡洛分析	299
10.16	布线宽度分析	300
10.17	批处理分析	301
10.18	用户自定义分析	302
10.19	射频分析	303
10.20	观察仿真分析的结果	303
附录	基本逻辑单元图形符号对照表	305
参考文献		307

第一篇 原理验证型仿真实验

本篇所有实验均用于验证电路原理的正确性，主要为讲授基础电路原理后的辅助演示。通过这些实验可降低理论认知和理解的难度，提高学生的学习兴趣，增强记忆力。有条件的学生也可以用作基础理论学习和技能训练的练习。

第 1 章 模拟电子仿真实验

本章为模拟电子仿真实验的电路图及操作说明，其原理不再赘述。系参照清华大学童诗白、华成英主编的《模拟电子技术基础（第 3 版）》体系编排的。因各个实验都是各自独立的，各位教师在使用时，完全可根据自己的教学安排随意选用。所有实验电路均可在本书所附光盘中找到，并可在 Multisim9 软件的工作窗口中直接打开及进行各种仿真操作。实验电路名称完全一致，但编号略有差异，如：图 1-1 二极管加正向电压，在用 Multisim9 打开时的路径是：*（光盘放置的光驱名或实验文件存放的磁盘名）\模拟电子仿真实验\MD01\1.01 二极管加正向电压。为方便使用，每一个实验电路的操作说明都在电路描述文件中列出。单击 Multisim9 界面中设计工具栏中的设计工具箱按钮，即可将设计工具箱打开，再单击设计工具箱中的“1.01 二极管加正向电压-Description”条目，即可将工作界面切换为操作说明文本（再单击“1.01 二极管加正向电压”条目，工作界面又返回电路图窗口）。但在下述说明中，对于上下文相同的操作，为避免重复，下文叙述从略。

1.1 常用半导体器件

本节包括 22 个仿真实验，对应于《模拟电子技术基础》教材的第一章，主要演示常用半导体器件的特性及应用，有些内容一般教科书不做介绍或在其他章节说明。将其编在 1.1 节，主要是提高学生的学习兴趣，鼓励其学习的自觉性。

图 1-1 是二极管加正向电压电路，是 PN 结或二极管加正向电压的特性演示，左图中的二极管为 3D 理想二极管，右图中的二极管为真实二极管 1N4148。

先通过 A、B 键使 J1、J2 两个开关打开。打开电源开关，所有电表显示皆为

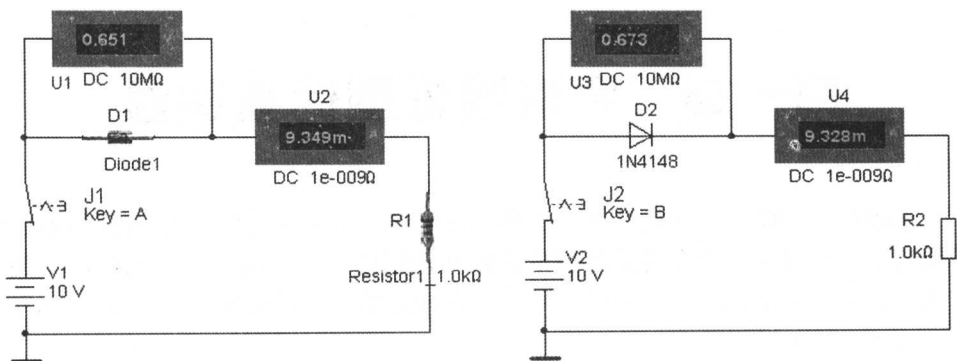


图 1-1 二极管加正向电压电路

零。按下 A 键，电压表 U1 显示 D1 二极管两端的正向压降，电流表 U2 显示流过 D1 二极管的正向电流。按下 B 键，电压表 U3 显示二极管 1N4148 两端的正向压降，电流表 U4 显示流过二极管 1N4148 的正向电流。正向压降较小，正向电流较大，称为二极管的正向导通。

图 1-2 是二极管加反向电压电路，是 PN 结或二极管加反向电压的特性演示，左图中的二极管为 3D 理想二极管，右图中的二极管为真实二极管 1N4148。

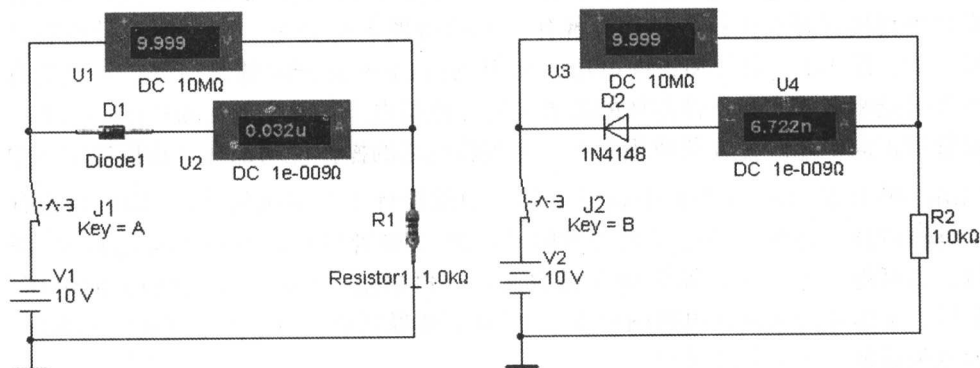


图 1-2 二极管加反向电压电路

先通过 A、B 键使 J1、J2 两个开关打开。打开电源开关，所有电表显示皆为零。按下 A 键，电压表 U1 显示二极管两端的反向压降，电流表 U2 显示流过二极管的反向电流。按下 B 键，电压表 U3 显示二极管 1N4148 两端的反向压降，电流表 U4 显示流过二极管 1N4148 的反向电流。反向压降很大，反向电流极小，称为二极管的反向截止。如果由图 1-1 将二极管反向，测得的电流数值会大很多；再将电压表改接，才变成图 1-2，体现了测量仪表内阻引起的测量误差。因而，不同的测量目的要采用不同的电路接法，以提高测量精度。

IV 分析仪可以很方便地测量常用半导体器件的伏安特性, 图 1-3 是 IV 法测二极管伏安特性电路, 其左图中的二极管为 3D 理想二极管, 右图中的二极管为真实二极管 1N4148。

双击 IV 分析仪图标, 打开分析仪面板。按下述方法进行设置: Components 栏, 选择 Diode; Current Range (A) 区, 选择 Log; Voltage Range (V) 区, 选择 Log。打开电源开关, 即可观察到二极管的正向特性曲线。拖动读数指针, 可以测出具体数据。

图 1-4 是用万用表测量二极管电阻, 左侧为测量正向电阻, 右侧为测量反向电阻。

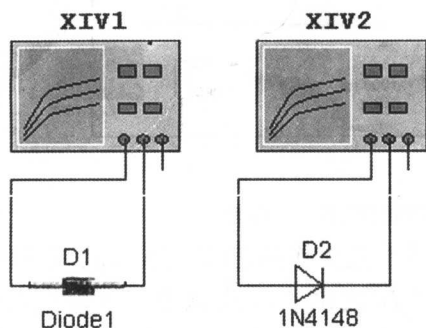


图 1-3 IV 法测二极管伏安特性电路

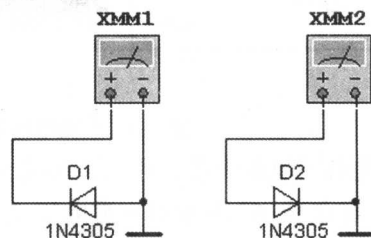


图 1-4 用万用表测量二极管电阻

用万用表测量二极管的正、反向电阻是常用的判断二极管好坏和判定二极管极性的方法。通常采用机电式万用表, 用数字万用表也可以作仿真演示, 但不如机电式万用表方便和准确。

童诗白先生主编的《模拟电子技术基础 (第 3 版)》(以下简称“童模电”) 17 页例 1.2.1 题, 可以很好地说明二极管正向导通和反向截止的工作情况, 图 1-5 左图中的二极管为 3D 理想二极管, 右图中的二极管为真实二极管 1N4148。

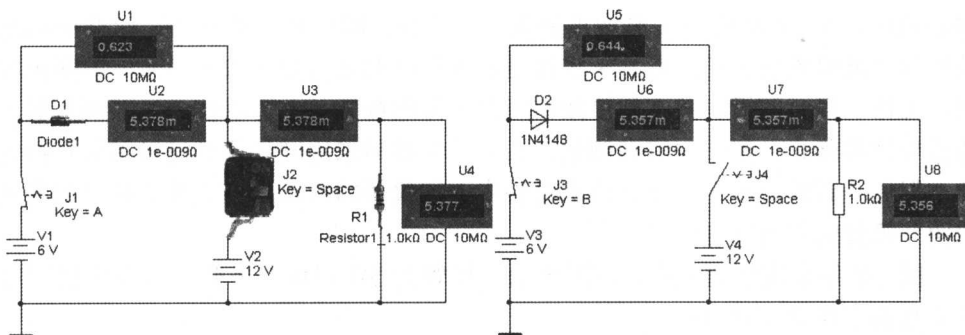


图 1-5 例 1.2.1 电路

先打开电源开关, 电表显示正向导通时的正向压降和正向电流; 再按一下空格键, J2、J4 闭合, 即显示为反向截止时的反向压降和反向电流。

图 1-6 是直流电压和交流电压同时作用于二极管, 左图中的二极管为 3D 理想二极管, 右图中的二极管为真实二极管 1N4148。

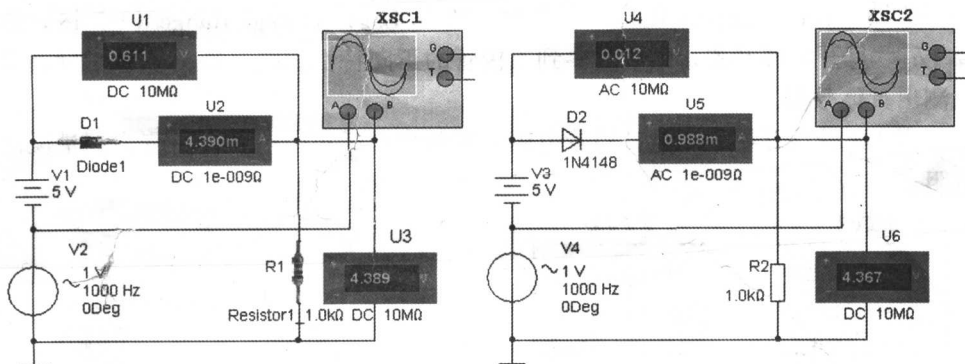


图 1-6 直流电压和交流电压同时作用于二极管

先打开电源开关, 电表分别指示出二极管直流工作的正向压降 U_D 、正向电流 I_D 和负载 R_1 两端的直流电压 U_L , U_D 和 I_D 之比 U_D/I_D 就是二极管在直流工作点的直流电阻 R_D 。关断开关, 分别双击各电表的图标, 在打开的对话框中, 单击 Mode 栏的选项箭头, 打开选项框并选定 AC, 然后单击“确定”按钮。再打开开关, 电表分别指示出加于二极管两端的交流电压 u_D 、流过的交流电流 i_D 和负载上的交流电压 u_L , u_D 和 i_D 之比 u_D/i_D 就是二极管在该直流工作点的交流电阻 r_D 。因此, 这个实验可帮助大家搞清这几个物理概念及它们的关系。

图 1-7 是半波整流电路, 左图中的二极管为 3D 理想二极管, 右图中的二极管为真实二极管 1N4148。

打开电源开关, 双击示波器图标, 打开示波器面板, X 轴扫描保留为 10ms/Div; A、B 通道的 Y 轴幅度皆为 10V/Div, 即可看到输入的正弦交流电压波形和半波整流电压的波形, 示波器显示波形的颜色与相应输入信号线的颜色相同。工作一段时间后, 按下暂停按钮或者关掉电源开关, 可以使示波器面板显示的信号波形静止, 便于观察和测量。实际示波器是采用同步调节使显示信号稳定的, 但做不到绝对静止, 这是仿真实验中虚拟仪器的特点之一。该实验可形象地说明二极管的单向导电性。

图 1-8 是全波整流电路, 左图中的二极管为 3D 理想二极管, 右图中的二极管为真实二极管 1N4148。

打开电源开关, 双击示波器图标, X 轴扫描保留为 10ms/Div; A、B 通道的 Y 轴幅度皆为 10V/Div, 即可在示波器面板上看到输入的正弦交流电波形和全波

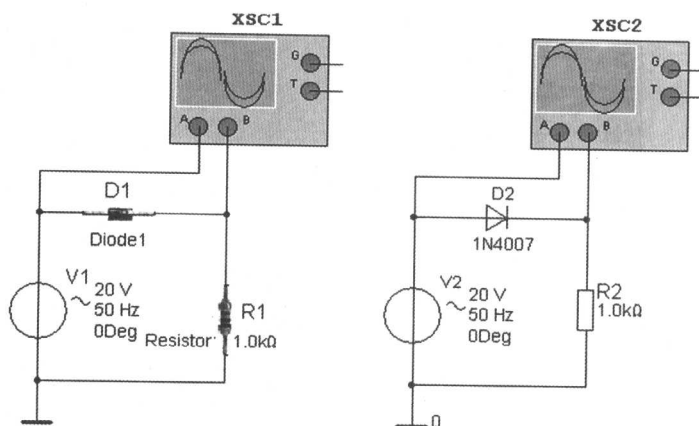


图 1-7 半波整流电路

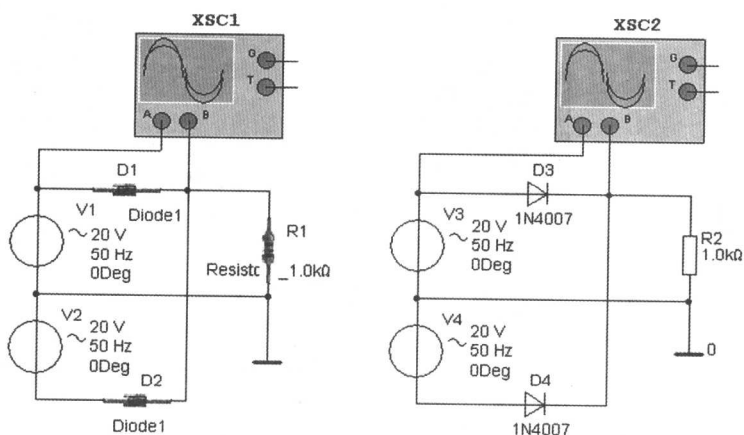


图 1-8 全波整流电路

整流电压的波形。

图 1-9 是单向限幅电路。双击示波器图标，X 轴扫描保留为 10ms/Div；A、B 通道的 Y 轴的幅度皆为 10V/Div。打开电源开关，即可在示波器面板上看到输入的正弦交流电波形和上部单向限幅电压的波形。

图 1-10 是双向限幅电路。双击示波器图标，X 轴扫描保留为 10ms/Div；A、B 通道的 Y 轴幅度皆为 10V/Div。打开电源开关，即可在示波器面板上看到输入的正弦交流电波形和双向限幅电压的波形。

图 1-11 是底部钳位电路。该电路是一个将输入矩形脉冲的底部（零电平）变成 8V 的底部钳位电路。双击示波器图标，调节 X 轴扫描为 500μs/Div。打开电源开关，可以比较两信号的电平差别。

图 1-12 是顶部钳位电路。这是一个将输入矩形脉冲的顶部（5V）变成约 -5V

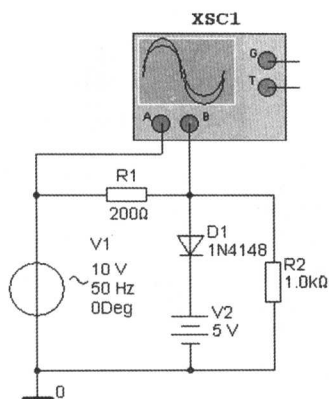


图 1-9 单向限幅电路

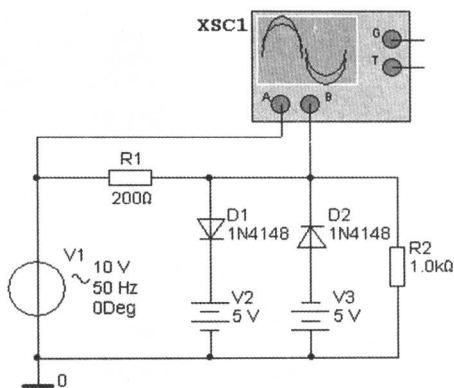


图 1-10 双向限幅电路

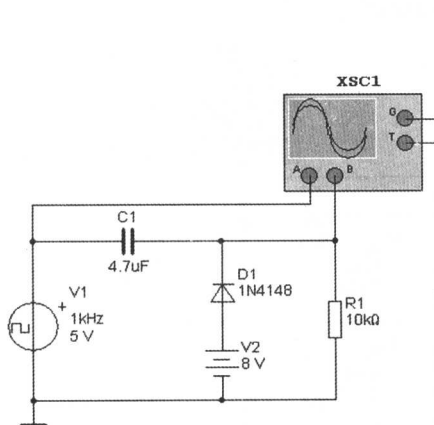


图 1-11 底部钳位电路

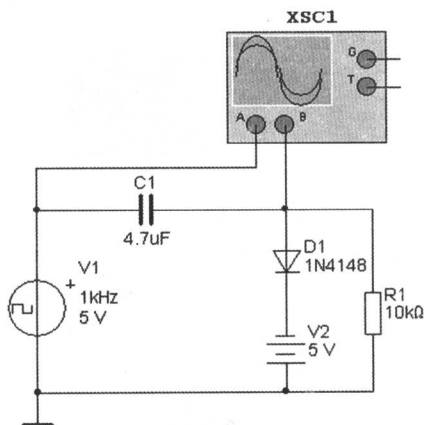


图 1-12 顶部钳位电路

的顶部钳位电路。双击示波器图标，调节 X 轴扫描为 $500\mu\text{s}/\text{Div}$ 。打开电源开关，可以比较两信号的电平差别。

图 1-13 是振幅解调电路（简称检波电路）。该电路中输入信号为有效值 2V、载波为 100kHz、调制信号为 1kHz 的调幅波信号。双击示波器图标，调节 X 轴扫描为 $200\mu\text{s}/\text{Div}$ ，B 通道 Y 轴偏置为 0.4。打开电源开关，即可在示波器面板上看到调幅波信号和还原出的调制信号。

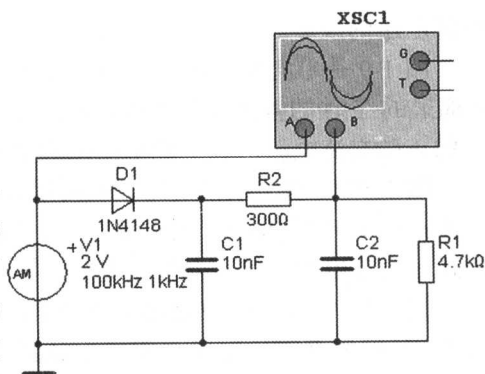


图 1-13 振幅解调电路

振幅调制（调幅）是用调制信号去改变载波的振幅的调制方式。它是利用二极管的非线性实现的。图 1-14 是振幅调制电路。打开电源开关，左边示波器显示的是调制信号和载波信号的波形，调节 X 轴扫描为 $100\mu\text{s}/\text{Div}$ ；右边示波器显示的是加于二极管的叠加信号和经二极管调制后的调幅波信号，调节 X 轴扫描为 $100\mu\text{s}/\text{Div}$ ，A 通道 Y 轴偏置为 2，B 通道 Y 轴幅度为 $500\text{mV}/\text{Div}$ 。

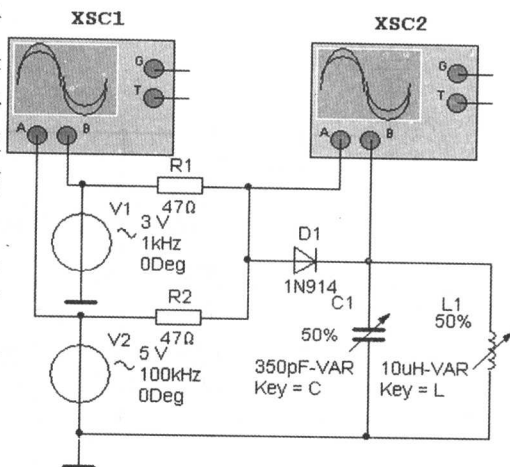


图 1-14 振幅调制电路

图 1-15 是稳压二极管稳压电路。

该电路模拟稳压二极管的稳压原理。

1V 交流电源模拟直流电源中的交流

分量；直流电压表指示输出电压；交流电压表指示滤波后的交流分量；电流表指示流过稳压二极管的击穿电流。双击直流电源图标，调节电源电压分别为 6 ~ 12V，打开电源开关，分别观察各电表的读数，即可看出输出电压和其他量的对应关系。

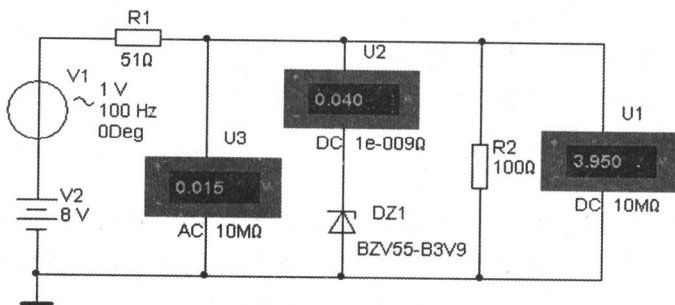


图 1-15 稳压二极管稳压电路

图 1-16 是发光二极管电路。该电路演示各色发光二极管及双色二极管的工作情况。打开电源开关，依次按动各按键，即可看到各种二极管发出颜色各不相同的光。

发光二极管与光敏二极管的组合称为光耦，是一种用途广泛的控制器件。图 1-17 中两部分电路是电绝缘的，但可通过光耦实现隔离控制。打开电源开关，按下空格键，J1 接通，另一部分电路的灯泡就点亮，同时蜂鸣器发出响声。

变容二极管的结电容，不仅与 PN 结的结构与加工工艺有关，还与所加的反向电压有关。广泛用于通信领域，作为 LC 调谐电路的可变电容，它的应用使通

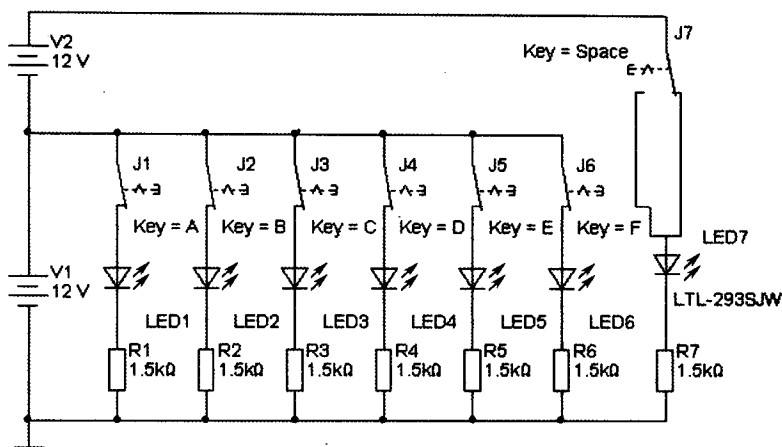


图 1-16 发光二极管电路

信技术实现了自动化。

图 1-18 是变容二极管的应用。本实验演示了现代通信技术中的电调谐选台功能：输入信号为 3 个载波频率与调制频率各不相同的调幅波，模拟 3 个电台信号。分别双击 3 个示波器图标，将其面板打开，并拖动到适当位置，以方便观察。调整 3 台示波器的 X 轴扫描均为 $100\mu\text{s}/\text{Div}$ ，A 通道 Y 轴幅度均为 $1\text{V}/\text{Div}$ ，第 3 台示波器 A 通道 Y 轴偏置为 1.6，B 通道 Y 轴幅度为 $10\text{V}/\text{Div}$ ，Y 轴偏置为 -1.6。

打开电源开关，即可观察到选出的信号与 3 个输入信号的对比波形。通过按动 A 键可调节电位器的输出电压，当输出电压分别为 20%、50% 和 70% 时，可实现对 3 个信号的选频调谐。双击波特图仪的图标，将其面板打开，按下述进行设置：Mode 区，选择 Magnitude；Horizontal 区，选择 Log，F 值为 100MHz，I 值为 100kHz；Vertical 区，选择 Log，F 值为 20dB，I 值为 -100dB。可以观察选频回路的幅频特性，拖动读数指针可以测量谐振频率。

图 1-19 是 IV 法测量晶体管的伏安特性。左侧 3 只为 3D 理想管，右侧 3 只为真实管。

2N2222A、2SA1015 和 BSP149 是常见的几种晶体管。双击 IV 特性测试仪的图标，按下述进行设置：Components 栏：第 1、4 台 IV 仪选择 BJT NPN，第 2、5 台 IV 仪选择 BJT PNP，第 3、6 台 IV 仪选择 NMOS。Current Range (A)

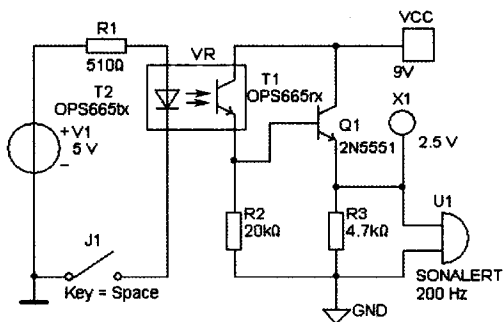


图 1-17 光电控制电路

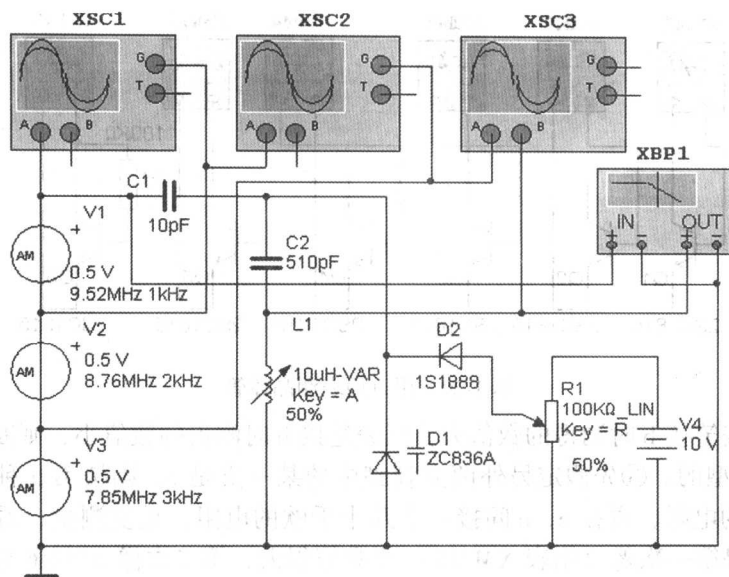


图 1-18 变容二极管的应用

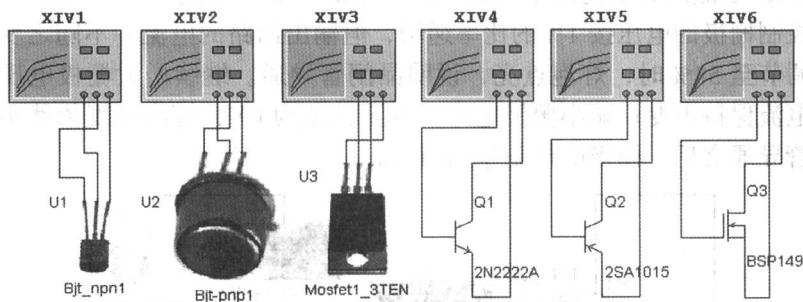


图 1-19 IV 法测量晶体管伏安特性

区和 Voltage Range (V) 区均选择 Lin, F 和 I 值均不需设定。打开电源开关, 即可以对比观察它们的伏安特性, 拖动读数指针还可以进行精确测量。

图 1-20 是用万用表测晶体管。用万用表的电阻挡, 对比各电极间的正反向电阻, 可以测量晶体管, 通常使用磁电式万用表, 本实验模拟测量方法。打开电源开关, 前 4 个图用于判断基极 b 和确定晶体管的类型, 后两个图用于判定集电极 c 和发射极 e, 还可以估测放大倍数。实际测量时: ①首先判定基极 b。具体方法是: 先将万用表的某一表笔固定接晶体管的某一管脚, 用另一表笔分别接另外两支管脚, 测它们的电阻, 如果测得的数值都很大或都很小 (如图中万用表 XMM1、XMM2 的读数或 XMM3、XMM4 的读数); 再将表笔交换, 重复上述测量, 证实测得的数值与先前的测量完全相反, 那么, 可断定这支管脚是 b。