



普通高等教育“十二五”规划教材——物电类
国家特色专业物理学教材

模拟电子技术 实验指导

主 编◎王新春
副主编◎岳开华 叶 青



西南交通大学出版社



普通高等教育“十二五”规划教材——物电类
国家特色专业物理学教材

模拟电子技术 实验指导

MONI DIANZI JISHU
SHIYAN ZHIDAO

主 编◎王新春
副主编◎岳开华 叶 青

西南交通大学出版社

• 成 都 •

内 容 简 介

本教材是国家特色专业(编号:12467)建设成果系列丛书之一。全书分为五个部分:第一部分是模拟电子技术实验的基础知识;第二部分是模拟电子技术硬件实验(24个);第三部分是在系统实验的基础知识;第四部分是模拟电子技术软件实验(5个);第五部分是研习实验小论文(5篇)。使用者可根据专业的不同和教学时数的不同,选择和组织教学内容。

本书可作为普通高等院校理工科电类和非电类以及计算机等专业本、专科模拟电子技术的实践教材,也可以作为高职、高专相应专业的实践教材。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术实验指导 / 王新春主编. —成都:
西南交通大学出版社, 2014.8
普通高等教育“十二五”规划教材. 物电类
ISBN 978-7-5643-3326-3

I. ①模… II. ①王… III. ①模拟电路—电子技术—
高等学校—教学参考资料 IV. ①TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第196602号

普通高等教育“十二五”规划教材——物电类

国家特色专业物理学教材

模拟电子技术实验指导

主编 王新春

*

责任编辑 李芳芳

特邀编辑 田力智

封面设计 严春艳

西南交通大学出版社出版发行

四川省成都市金牛区交大路146号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564

<http://www.xnjdcbs.com>

四川五洲彩印有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 12.25

字数: 306千字

2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-3326-3

定价: 27.00元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

序

特色专业是指充分体现学校办学定位，在教育目标、师资队伍、课程体系、教学条件和培养质量等方面，具有较高的办学水平和鲜明的办学特色，获得社会认同并有较高社会声誉的专业。特色专业是经过长期建设形成的，是学校办学优势和办学特色的集中体现。2010年7月，楚雄师范学院物理学（师范类）专业被批准为第六批国家特色专业建设点。这套教材就是楚雄师范学院物理与电子科学学院在建设国家特色物理学（师范类）专业过程中的部分成果展示。

在特色专业的建设中，我们根据目前中学物理新课标及中学物理教学改革趋势，构建课程体系和改革教学内容；整合课程内容，突出专业基本知识、基本技能以及教师职业核心能力培养；实施“5+5”课程改革计划，即“力学、热学、电磁学、光学、原子物理5门基础知识课程+5个相应中学物理课程学习”，突出专业基本知识的学习，同时熟悉中学物理课程体系。在学生实践能力的培养上，我们搭建了6个实践平台，即实验教学“8+2”模式平台、设计性实验平台、开放实验室平台、学科竞赛（如大学生电子设计大赛、物理教学技能大赛）平台、学生社团活动、大学生创新性实验计划项目以及学生参与教师科研项目平台，为培养学生的创新精神、实践能力助力。在本套教材编写过程中，我们根据学生实际，从实验课程构架情况以及对学生要求出发，以够用、适用为准则，以培养应用型人才为导向，希望能够指导学生更好地掌握相关物理学内容。

在编写过程中，我们得到了学校各级领导和同事的大力支持，也借鉴了一些国内同行的先进经验，在此一并表示衷心感谢。

由于时间和水平有限，书中难免存在疏漏之处，恳请广大师生在使用过程中提出宝贵意见，以利将来改进。

丛书编委会

二〇一四年三月

前言

21 世纪是信息的时代,是人才竞争的时代。为全面适应地方本科院校转为应用型的办学需要,特别是当地社会对地方本科院校应用型技术人才的急迫需求,通过“质量工程”的建设、“实践平台”的搭建,培养出具有竞争意识、创新能力的高素质应用型技术人才。为此,我们在积极探索多年“模拟电子技术”课程体系教学改革的基础上,编写了本书。本书主要用于培养学生的工程意识,提高综合运用知识的能力,启发学生的创新思想。为培养好应用型本科人才打下坚实的基础。

模拟电子技术实验是在国家特色专业建设项目(编号:12467)的支撑下,经作者多年的教学实践,特别是在近三年结合教学改革工程项目“电子信息教学团队”、“精品课程”的基础上,为适应当前人才培养的要求,落实教育部关于拓宽学科口径、强化实验技能和工程实践训练、提高综合素质、培养创新意识的要求而编写的。它不仅适合电子信息类各专业独立设课的电工电子技术系列实验,并且通过对实验内容的有机组合,还可以作为其他相关专业的电工、电子实验教材。本书重在实践,在保证学科系统性的基础上,从培养学生实践技能出发,结合“电工(或电路分析)”、“模拟电子技术”、“EDA 技术”等理论课程,以及“大学生电子设计竞赛”、“挑战杯”大学生课外科技作品竞赛等培训工作,精选内容,既注意与相应理论课程的结合,又具有实践课程自身的体系和特色。为了力求本教材的完整性,将实验指导书划分为五部分:第一部分为模拟电子技术实验的基础知识;第二部分为模拟电子技术硬件实验(24 个);第三部分为在系统实验的基础知识;第四部分为模拟电子技术软件实验(5 个);第五部分为研习实验小论文(5 个)。实际教学中,可根据学时选作其中的部分实验。

本书是实践课程教材,与一般的理论课教材和实验指导书不同,其主要特点有:

1. 课程体系新颖、内容覆盖面广。它是模拟电子技能基础和模拟电子技术实验有机结合的实践课程体系;从实验内容看,它并不是课程的简单罗列,它既包括必要的经典的内容,又反映先进电子信息最新发展的技术。

2. 侧重综合性、设计性实验。在选排的实验中增加了大量的设计性或综合性实验,除了满足实践课程所需,还为学有余力的学生或电子爱好者提供综合实验内容或应用设计项目,强调培养和提高学生的工程设计、实验调试及综合分析能力。

3. 软硬结合。在实验方法和手段上,既重视硬件搭接能力的基本训练,又融入了焊接技术实验;既重视传统的硬件调试和测试技术,又融入了 ispPAC 等仿真开发软件实验,为学生适应现代电子设计技术及后续课程的学习打下良好的基础。

4. 实践教学内容较为完整。每个实验都包含实验目的、实验原理、实验器材、实验内容、预习要求及思考题、实验报告等内容,不但要教会学生怎样去做,更重要的是要使学生弄懂

为什么这样做，并启发学生向更深层次方面去思考。

5. 课程教学过程与考核方式使用“8+2 实验教学模式”。为了进一步提高学生的实践能力与创新能力，课程中严格按照“8+2 实验教学模式”实施教学。学生的教学过程及考核划分为三个模块，第一个模块为学生的考勤、实验预习、实验操作打分，其成绩占 40%；第二个模块为学生完成实验报告，其成绩占 40%；第三个模块为研习实验小论文或小型电子系统的设计与实现，其成绩占 20%。

6. 使用范围广。本书可作为物电类、自动化、电气工程、电子信息、计算机、科学教育、教育技术等专业学生的电子技术课程设计教材，也可作为电子设计竞赛参考书，对电子工程技术人员、电子爱好者也具有很好的参考价值。

本书由王新春教授担任主编，由岳开华副教授和叶青老师担任副主编。全书由王新春教授审阅，在编写与修订过程中，得到了司民真教授、何永泰教授、徐卫华副教授、舒鑫柱副教授、李家旺副教授、黄文卿副教授、自兴发副教授的大力支持，在此表示感谢！

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正，以利于我们不断修正。为方便读者更好地使用本教材，我们提供了相关软件资源，请扫描下方二维码获取。

编者

2014 年 5 月



扫一扫，获取更多资源

目 录

第一部分 模拟电子技术实验的基础知识	1
第一节 实验要求	1
第二节 实验箱简介	2
第三节 常用电子仪器的使用	7
第四节 万用表测定二极管和三极管的方法	8
第五节 放大器干扰、噪声抑制和自激振荡的消除	11
第二部分 模拟电子电路硬件实验	13
实验一 信号源的调试	13
实验二 晶体管共射极单管放大器	18
实验三 晶体管两级放大器	26
实验四 场效应管放大器	28
实验五 负反馈放大器	32
实验六 射极跟随器	36
实验七 差动放大器	39
实验八 RC 正弦波振荡器	44
实验九 LC 正弦波振荡器	46
实验十 集成运算放大器指标测试	47
实验十一 集成运算放大器的基本应用——模拟运算电路	54
实验十二 集成运算放大器的基本应用——波形发生器	60
实验十三 集成运算放大器的基本应用信号处理——有源滤波器	63
实验十四 集成运算放大器的基本应用——电压比较器	68
实验十五 电压-频率转换电路	71
实验十六 D/A、A/D 转换器	72
实验十七 低频功率放大器——OTL 功率放大器	80
实验十八 低频功率放大器——集成功率放大器	85
实验十九 直流稳压电源——晶体管稳压电源	87
实验二十 直流稳压电源——集成稳压器	93
实验二十一 晶闸管可控整流电路	95
实验二十二 综合应用实验——控温电路	99

目 录

实验二十三 综合应用实验——波形变换电路	104
实验二十四 超外差收音机的组装与调试	105
第三部分 在系统可编程模拟电子技术的基础知识	112
第一节 ispPAC 简介	112
第二节 在系统可编程模拟电路的结构	113
第三节 PAC 的接口电路	117
第四节 PAC-Designer 软件及开发实例	119
第五节 参考实验	128
第四部分 模拟电子技术软件实验	130
实验二十五 ispPAC10 增益放大与衰减	130
实验二十六 ispPAC10 在 Single-Ended 中的应用	135
实验二十七 ispPAC10 二阶滤波器的实现	137
实验二十八 使用 ispPAC20 完成电压监控	140
实验二十九 使用 ispPAC80 低通可编程的低通滤波器	142
第五部分 研习实验小论文	144
多路信号源与频率测试仪的设计与制作	144
用板式电位差计实验系统与 SPSS 标定电池的电动势	154
家庭烟雾和湿度探测系统设计	161
Combined Applied Technology of Minimum Phase Shifting for Integrated Operational Amplifier	170
Performance Analysis of Gated Polling System based on Asymmetric Two-queue Threshold Services	179
参考文献	188

第一部分

模拟电子技术实验的基础知识

第一节 实验要求

(1) 实验前必须充分预习，完成指定的预习任务。预习要求如下：

- ① 熟悉实验箱简介及相关注意事项。
- ② 认真阅读实验指导书，分析、掌握实验电路的工作原理，并进行必要的估算。
- ③ 复习与实验相关的课本内容。
- ④ 了解实验目的。
- ⑤ 了解实验中所用各仪器的使用方法及注意事项。

(2) 使用仪器和实验箱前必须了解其性能、操作方法及注意事项，在使用时应严格遵守。

(3) 实验时接线要认真，在仔细检查，确定无误后才能接通电源，初学或没有把握时应经指导教师检查同意后再接通电源。

(4) 模拟电路实验注意：

① 在进行小信号放大实验时，由于所用信号发生器及连接线的缘故，往往在进入放大器前就出现噪声或不稳定，易受外界干扰，且我们的信号源简单，实验时可采用在放大器输入端加衰减的方法加以改进。一般可用实验箱中电阻组成衰减器，这样连接线上信号电平较高，不易受干扰。实验时可以用我们的信号源，但定量分析实验时，特别是测量频率特性实验时，由于要求很高的上限频率，为了使实验效果更好，建议使用外置信号源做实验。

② 三极管 h_{FE} 与 h_{fe} 是不同物理意义量，只有在信号很小，理论上三极管工作近似在线性状态时才认为近似相等，实际上万用表所测出的直流放大倍数 h_{FE} 与交流放大倍数 h_{fe} 是不相同的。

③ 在做实验内容时，所有信号都是定量分析，为了克服干扰，相应提高输入信号，在做

实验时发现信号输入不当时自己应适当调节,直到满足实验要求为止。

④ 由于各个三极管参数的分散特性,定量分析时同一实验电路用到不同的三极管时可能所测的数据不一致,实验结果不一致,甚至出现自激等情况,使实验电路做不出实验的现象,这时需要自己适当地调节电路参数。另外,在搭建电路时连线要最少,节点要最少,以防止连线干扰、产生电路自激等,从而影响实验结果。

⑤ 由于实验箱大部分是分立元件,连线时容易误操作而损坏元器件,故实验时应注意观察,若发现有破坏性异常现象(例如有元件冒烟、发烫或有异味)应立即关断电源,保持现场,报告指导教师。找到原因、排除故障,经指导教师同意再继续实验。

⑥ 实验过程中需要改接线时,应关断电源后再拆、接线。连线时在保证接触良好的前提下应尽量轻插轻拔,检查电路正确无误后方可通电实验。拆线时若遇到连线与插孔连接过紧的情况,应用手捏住连线插头的塑料线端,左右摇晃,直至连线与插孔松脱,切勿用蛮力强行拔出。

⑦ 打开电源开关时指示灯将被点亮,若指示灯异常,如不亮或闪烁,则说明电源未接入或实验电路接错致使电源短路。一旦发现指示灯闪烁应立即关断电源开关,检查实验电路,找到原因、排除故障,经指导教师同意再继续实验。

⑧ 转动电位器时,切勿用力过猛,以免造成元件损坏。切勿直接用手触摸芯片、电解电容等元件,更不可用蛮力推、拉、摇、压元器件,以免造成损坏。

⑨ 实验过程中应仔细观察实验现象,认真记录实验结果(数据、波形、现象)。所记录的实验结果经指导教师审阅签字后再拆除实验线路。

⑩ 实验结束后,必须关断电源,并将仪器、设备、工具、导线等按规定整理好。

⑪ 实验后每个同学必须按要求独立完成老师要求完成的实验报告。

第二节 实验箱简介

本实验箱主要由分立元件组成,通过连线的方式来组成电路,可完成高等院校模拟电子电路教学的所有内容;并配有 Lattice 公司推出的可编程模拟器件,为高校师生提供了一个在系统可编程模拟器件的实验平台。

该实验箱主要包括以下模块:稳压源系列部分,晶闸管整流电路部分,可编程模拟器件下载接口电路部分,电源部分,信号源部分,运放系列部分,功率放大部分, A/D 转换部分, D/A 转换部分,模拟可编程器件 ispPAC10、ispPAC20、ispPAC80 部分,电位器部分,晶体管系列部分,差动放大部分,恒温控制部分。各部分的具体分布参考图 1。实验箱都是分立元件,实验电路虽然连接非常灵活,可以自由搭建电路,但连线时存在有误差

作损坏元器件的可能，故参考实验箱元件分布图按从上到下，从左到右的顺序来介绍一下所有模块及相关注意事项。

1. 稳压源系列部分

(1) 变压器输出：可提供交流电压 7.5 V 和 15 V 两种，AC 为公共端，请勿短接任意两端。

(2) 整流二极管：四个二极管 BD1、BD2、BD3、BD4，由 4 个二极管可组成整流电路，BD1 和 BD2 连在一起，BD3 和 BD4 连在一起，可作为分立元件用于组成电路中。

(3) 滤波电容：两个 1 000 μ F 的电容，可单独用，主要用于滤波电路中，电容有正负极之分，接线时务必接对极性。

(4) 二极管稳压电路：由一个 120 Ω /2W 的电阻和一个 9.1 V 稳压管组成。注意 120 Ω 的限流电阻是最小值，做实验时要串入适当的电阻。

(5) 晶体管稳压电路：电路已接好，只需输入整流后的电压，注意极性不要接错，输出幅值可由 1 k 电位器调节。

(6) 固定稳压电路：由 L7905 组成的负稳压电路，电路固定，只需输入滤波后的电压即可。由于是负稳压电路，输入注意极性，不可接反。

(7) 变压器开关和指示灯：控制变压器交流输入。

(8) 可调稳压电路：由 LM317 组成，电路已固定，只需输入滤波后的电压，注意极性不可接错，可由 5 k 电位器调节稳压幅值。

2. 晶体管整流电路部分

整个电路需要连线，注意整流后的电压输入时极性不要接错，需连线接入 100 k 的电位器、单晶管和晶闸管。

3. 可编程模拟器件下载接口电路部分

PC 机通过并行线连接到此 25 针接口电路，由跳线控制下载芯片，向 V_{CC} 引入 +5 V 电源给芯片供电，接入电源后指示灯亮。目前软件支持并行口下载模式，USB 接口有待升级用。

4. 直流信号源部分

如图 2 所示为两组直流信号源，实际上是引入电源部分的电压通过电位器分压，为实验电路提供各种直流源和可以连续调节的电压。连接方法：① IN1 (IN3) 输入 +5 V，IN2 (IN4) 输入 -5 V，则 OUT1 (OUT2) 输出提供直流电压 -4.2 ~ +4.2 V；② IN1 (IN3) 输入 +5 V，IN2 (IN4) 输入地，则 OUT1 (OUT2) 输出提供直流电压 0.5 ~ +4.5 V；③ IN1 (IN3) 输入 -5 V，IN2 (IN4) 输入地，则 OUT1 (OUT2) 输出提供直流电压 -4.5 ~ -0.5 V。+12 V 与 -12 V 的接法类似，实验时按实验要求调节所需直流电源。

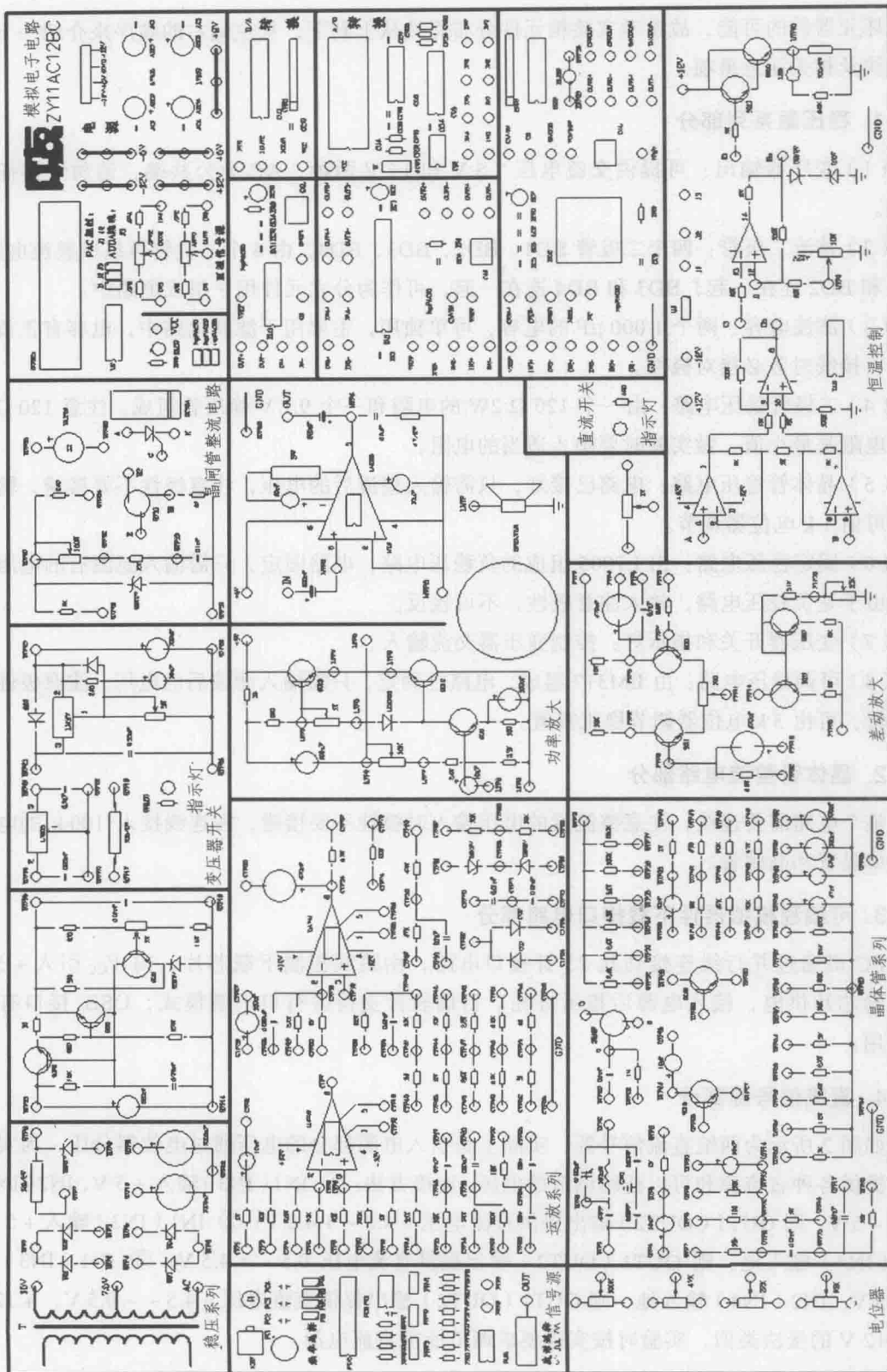


图 1 实验箱元件分布图

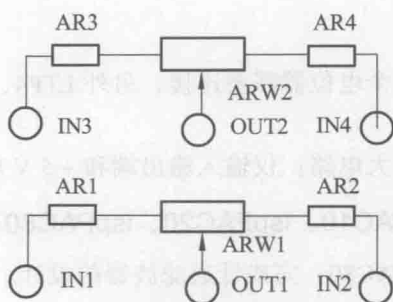


图 2 直流信号源插孔图

5. 电源部分

整个实验箱的供电部分，提供 $\pm 5\text{ V}$ 、 $\pm 12\text{ V}$ 、 $+9\text{ V}$ 电源，通过插孔连线连接到实验中。切勿将直流电源输出短接。

6. 信号源部分（即函数信号发生器）

此电路已完成连线，按下开关进行实验即可。作定性分析时，可用实验箱提供的信号源，作定量分析时宜用外置信号源。有时信号源没有波形，主要是频率调节与幅度调节的电位器调节不当的缘故。

7. 运放系列部分

此部分几乎都是分立元件，连线非常灵活，它与晶体管系列部分类似，组成电路时可用其他部分的分立元件，可完成所有运放的实验。在使用运放时要注意，不能超过其性能参数的极限值，如电源电压范围、最大输入电压范围等。为防止超过极限值或使用疏忽等原因损坏运算放大器，可以采取保护措施，如运放电源接入已固定为 $\pm 12\text{ V}$ 电压。另外，在测量共模输入电压、差模输入电压等运放性能参数时，有些运放还会出现“自锁”现象以及永久性的损坏，且共模与差模过载保护电路不同，不能同时加保护，鉴于这种情况，实验中不做相关运放性能参数的测试实验，以免烧坏芯片。另外，由于 $\mu\text{A}741$ 失调电压很小，在运放的应用实验时影响不大，可以不调零，但注意调零端不可接地或接正电源，以免损坏运放。

过载保护措施如图 3 所示。

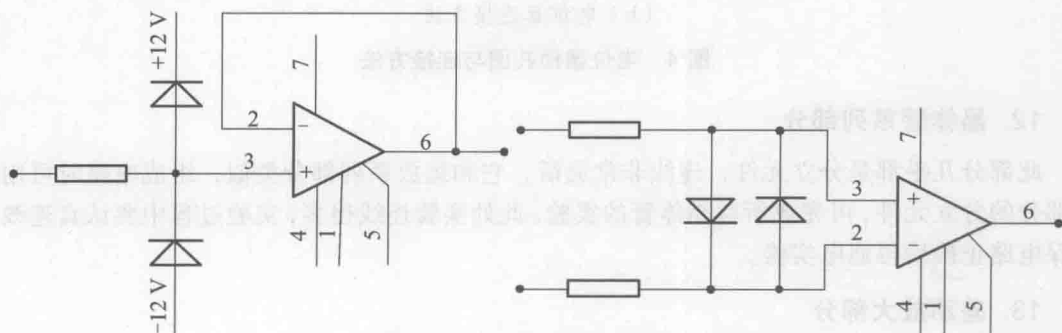


图 3 运放过载保护示意图

8. 功率放大部分

(1) 晶体管组成功放：两个电位器需要连接，另外 LTP4、LTP5、LTP6 实际上没有连在一起，需要我们连接。

(2) 集成块组成的功率放大电路：仅输入输出端和 +5 V 电源需要连接。

9. 模拟可编程器件 ispPAC10、ispPAC20、ispPAC80 部分

(1) 模拟可编程器件 ispPAC80：完成低通滤波器的设计。

(2) 模拟可编程器件 ispPAC10：完成基本放大。

(3) 模拟可编程器件 ispPAC20：内含比较器。

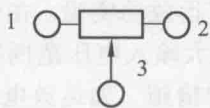
10. A/D、D/A 转换部分

(1) A/D 转换部分： V_{CC} 为 +5 V 电源引入端，通过 CS2 来选通道，通过 A/D 转换软件来观察转换结果。

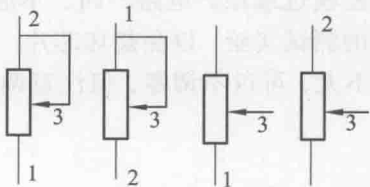
(2) D/A 转换部分： V_{CC} 为 +5 V 电源引入端，还需要连接电路把 I_{OUT2} 、 I_{OUT1} 电流转换为电压，用软件实现转换，通过示波器观察结果。

11. 电位器部分

实验箱上有 5 个不同值的电位器，分别为 1 k、10 k、22 k、47 k、100 k，此处分布了 4 个。在所有实验中，电位器起改变阻值作用，如图 4 (a) 所示，连接如图 4 (b) 所示任何一种都可以，只要知道改变阻值情况即可，在以后实验中要连接电位器时不再说明接法。



(a) 电位器插孔图



(b) 电位器连接方法

图 4 电位器插孔图与连接方法

12. 晶体管系列部分

此部分几乎都是分立元件，连线非常灵活，它和运放系列部分类似，组成电路时可用其他部分的分立元件，可完成所有晶体管的实验。此处实验连线很多，实验过程中要认真连线，确保电路正确后再通电实验。

13. 差动放大部分

恒流源部分和对管部分分开来，可以做长尾式差动实验。

14. 恒温控制部分

此为一个综合实验部分，注意电源不要接错。

从元件分布图可知，各分立元件都以插孔方式跟其他元件相连，各模块间的分立元件都可以互相借用，故按原理图连线组成实验电路时都非常灵活，只要所选元件参数正确就行。

第三节 常用电子仪器的使用

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、交流毫伏表及频率计等。它们和万用表一起，可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 5 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。

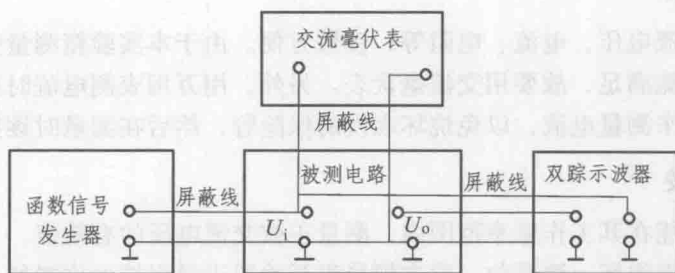


图 5 模拟电子电路中常用电子仪器布局图

1. 示波器

示波器的应用很广泛，它可以用来测试各种周期性变化的电信号波形，可测量电信号的幅度、频率、相位等。示波器的种类很多，在本书实验中主要使用双踪示波器，其原理和使用详细参见相关资料，现着重指出以下几点：

(1) 寻找扫描光迹点。

在开机半分钟后，如仍找不到光点，可调节亮度旋钮，并按下“寻迹”板键，从中判断光点位置，然后适当调节垂直 ($\downarrow\uparrow$) 和水平 ($\rightleftharpoons$) 移位旋钮，将光点移至荧光屏的中心位置。

(2) 为显示稳定的波形，需注意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”开关 (t/div) —— 它的位置应根据被观察信号的周期来确定。

② “触发源选择”开关（内、外）—— 通常选为内触发。

③ “内触发源选择”开关（拉 Y_B ）—— 通常置于常态（推进位置）。此时对单一从 Y_A 或 Y_B 输入的信号均能同步，仅在需双路同时显示时，为比较两个波形的相对位置，才将其置于拉出（拉 Y_B ）位置，此时触发信号仅取自 Y_B ，故仅对由 Y_B 输入的信号同步。

④ “触发方式”开关——通常可先置于“自动”位置，以便找到扫描线开波形，如波形稳定情况较差，再置于“高频”或“常态”位置，但必须同时调节电平旋钮，使波形稳定。

(3) 示波器有五种显示方式。

属单踪显示有“ Y_A ”、“ Y_B ”、“ $Y_A + Y_B$ ”；属双踪显示有“交替”与“断续”。作双踪显示时，通常采用“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“断续”显示方式。

在测量波形的幅值时，应注意将 Y 轴灵敏度“微调”旋钮置于“校准”位置（顺时针旋到底）。在测量波形周期时，应将扫描速率“微调”旋钮置于“校准”位置（顺时针旋到底）。

2. 函数信号发生器

按需要可输出正弦波、方波、三角波三种信号波形。输出信号幅度可连续调节，幅度可以调节到毫伏级，输出信号频率可进行调节，频率范围较广，上限频率可达 14 MHz 以上。函数信号发生器作为信号源使用时输出端不允许短路。由于模电实验是对低频小信号进行研究，信号源最好用音频信号源，实验箱自带的简易信号源精度有限，在做实验时最好自备信号源。以后做实验时只说明输入信号，不再说明如何调节，相关信号发生器的调节参看相关信号源操作手册。

3. 数字万用表

可测量直流交流电压、电流、电阻等，读数方便。由于本实验箱测量交流电压时，一般万用表频率规格不能满足，故要用交流毫伏表。另外，用万用表测电流时应先估计电流的最大值，调节最大挡来测量电流，以免烧坏表内的保险管，然后在测量时逐挡减少量程。

4. 交流毫伏表

交流毫伏表只能在其工作频率范围内，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处，然后在测量时逐挡减少量程。交流毫伏表接通电源后，将输入端短接，进行调零，然后断开短路线，即可进行测量。

本实验箱的工作频率不高，故任何毫伏表都可选用。

第四节 万用表测定二极管和三极管的方法

一、万用表粗测晶体管

万用表测晶体管时，应置于电阻挡，当万用表置于 $R \times 1$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1k$ 挡时，表内电源为 1.5 V。

1. 测晶体二极管

万用表置 $R \times 1k$ 挡，两表笔分别接二极管的两极，若测得的电阻较小（硅管数千欧，锗

管数百欧),说明二极管的PN结处于正向偏置,则黑表笔接的是正极,红表笔接的是负极。反之,二极管处于反向偏置时呈现的电阻较大(硅管约数百千欧以上,锗管约数百千欧),则红表笔接的是正极,黑表笔接的是负极。

若正反向电阻均为无穷大或均为零或比较接近,说明二极管内部开路或短路或性能变差。稳压二极管与变容二极管的PN结都具有正向电阻小反向电阻大的特点,其测量方法与普通二极管相同。

由于发光二极管不发光时,其正反向电阻均较大,因此一般用万用表的 $R \times 10\text{ k}$ 挡测量,其测量方法与普通二极管相同。或者用另一种办法,即:将发光二极管与一数百欧(如 $330\ \Omega$)电阻串联,然后加 $3 \sim 5\text{ V}$ 的直流电压,若发光二极管亮,说明二极管正向导通,则与电源正端相接的为正极,与负端相接的为负极。如果二极管反接,则该二极管不亮。

红外发射二极管,红外接收二极管均可用 $R \times 10\text{ k}$ 挡测量其正负极,方法同测普通二极管相同。

2. 测晶体三极管

利用万用表可以判别三极管的类型和极性,其步骤如下:

① 判别基极B和管型时万用表置 $R \times 1\text{ k}$ 挡,先将红表笔接某一假定基极B,黑表笔分别接另两个极,如果电阻均很小(或很大),而将红黑两表笔对换后测得的电阻都很大(或很小),则假定的基极是正确的。基极确定后,红笔接基极,黑笔分别接另两极时测得的电阻均很小,则此管为PNP型三极管,反之为NPN型。

② 判别发射极E和集电极C。若被测管为PNP三极管,假定红笔接的是C极,黑笔接的是E极。用手指捏住B、C两极(或B、C间串接一个 $100\text{ k}\Omega$ 电阻),但不要使B、C直接接触。若测得电阻较小(即 I_c 小),则红笔接的是集电极C,黑笔接的是发射极E。如果两次测得的电阻相差不大,说明管子的性能较差。按照同样方法可以判别NPN型三极管的极性。

③ 我们用到的9011和9013系列为NPN管,9012系列为PNP管,它们管脚向下,平面面向我们的管脚按顺时针的顺序为E, B, C。

二、晶体管的主要参数及其测试

1. 晶体三极管的主要参数

直流放大系数 $\bar{\beta}$:集电极直流 I_{CQ} 与基极直流电流 I_{BQ} 之比,即 $\bar{\beta} = I_{CQ}/I_{BQ}$ 。交流放大系数 $\beta(h_{fe})$:三极管在有信号输入时,集电极电流的变化量 ΔI_C 与基极电流的变化量 ΔI_B 之比,即 $\beta = \Delta I_C / \Delta I_B$ 。穿透电流 I_{CEO} :基极开路,C、E间加反向电压时的集电极电流。反向击穿电压 U_{CEO} :基极开路,C、E间的反向击穿电压。直流输入电阻 $R_{BE} = U_{BEQ}/I_{BQ}$ 。交流输入电阻 r_{be} , $r_{be} = \Delta U_{BE} / \Delta I_B$ (U_{BEQ} 为定值)。

2. 场效应管的主要参数

饱和漏电流 I_{DSS} 漏源电压 U_{DS} 一定(10 V),当栅源电压 $U_{GS} = 0$ 时的漏极电流 I_D ,即 $I_D = I_{DSS}$ 。夹断电压 U_P 、 U_{DS} 一定(10 V),改变 U_{GS} ,使 I_D 等于一个微小电流($50\ \mu\text{A}$),这时的 $U_{GS} = U_P$ 。低频跨导 g_m 表征场效应管放大能力的重要参数,即