

电子技术实践

魏绍亮 陈新华 主编

931

71V-43
w 5 5

高等学校教学改革试点课程“电工与电子技术”系列教材

电子技术实践

主 编 魏绍亮 陈新华
副主编 于晓春
参 编 王宗省 宗贵聪
主 审 程 勇



A1032170



机械工业出版社

本书是经山东省教育厅批准的“高等学校教学改革试点课程‘电工与电子技术’”配套系列教材之一。

本书包括电子技术实验、综合性实践及设计、印制电路板的设计制作和焊接技术、晶体管收音机安装调试等四大部分内容。包含了验证性实验、综合性设计实践、创新性实践等方面内容,已经经过多年的教学实践和专家的论证认可,是实践性较强的教材。

本书可以作为高等学校理工科专业“电工与电子技术”课程的实验教材,也可以作为电气、电子信息类专业工程实践教科书和毕业设计的教材,也可供从事自动化、电气工程、计算机控制的技术人员参考和学习。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实践/魏绍亮,陈新华主编. —北京:机械工业出版社,
2002.8

高等学校教学改革试点课程“电工与电子技术”系列教材
ISBN 7-111-10609-1

I. 电… II. ①魏…②陈… III. 电子技术-高等学校-教材
IV. TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第050273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:王保家 版式设计:冉晓华 责任校对:陈延翔

封面设计:陈沛 责任印制:付方敏

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2002年8月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·7.75印张·186千字

0 001-4 000册

定价:12.00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) 68993821、68326677-2527
封面无防伪标均为盗版

前 言

“电工与电子技术”课程是高等院校理工科专业的一门专业技术基础课，在科学技术高速发展的今天，对这种量大面广的课程教学进行改革是非常重要的，也是非常必要的。为此，我们利用 2000 年“电工与电子技术”课程被批准为“山东省普通高校教学改革试点课程”之际，围绕加强基础、拓宽专业、强化工程实践训练、提高学生动手和创新能力这个目标，对“电工与电子技术”课程进行了全面的改革。其中对实践性教学进行了一系列的重大改革。

主要改革内容体现在：实现了由验证性实验为主转变为工程训练实践为主的实验体系。实现了从认识→验证→设计→综合性设计→创新实践的教学模式。实现了从小到大、循序渐进的教学方法。实现了内容的整体系统优化和集成，充分利用先进计算机仿真技术 EDA、计算机控制技术可编程序控制器 PLC，注重强电与弱电的结合、软件与硬件的结合、单元电路与复杂电路的结合等。使其既可以适合于多学时的“电工与电子技术”课程的教学要求，也适合于少学时的“电工与电子技术”课程的教学实践。既满足了教学计划实验的要求，又保持了实践课程的自身特色、要求和独立性。既可以单独设课，也可以进行拓宽和延伸，进行单独的电工技术、电子技术、可编程序控制器 PLC 的课程设计、EDA 电工电子电路设计仿真、电子工艺实习、毕业设计参考、大学生创新实践等。这些改革均有利于在培养学生基本能力的前提下，实施因材施教，发展个性，培养创新意识和创新能力，发现和培养创新人才。

通过近几年的教学实践，在总结以上教学改革成果的基础上，我们组织广大教师编写了“高等学校教学改革试点课程‘电工与电子技术’系列教材”，把它奉献给广大的学生、教师和工程技术人员，以促进“电工与电子技术”课程教学的改革和发展。

该系列教材分为主教材和实践教材两部分，主教材包括《电工技术》和《电子技术》两册；实践教材包括《电工技术与可编程序控制器实践》、《电子技术实践》、《EDA 设计与仿真实践》三册。

本书为实践教材的中册《电子技术实践》，其内容主要包括电子技术验证性实验、综合性实践及设计、焊接技术和印制电路板的设计与制作、晶体管收音机电路的调试和焊接技术四部分内容。结合当前科技发展对电子技术课程的要

求,介绍了目前部分最流行的通用芯片的电路设计应用方法,以及印制板电路的设计、制作和焊接技术,晶体管收音机的工作原理及调试方法。加强了双语教学,从章、节、标题,到关键的词句,均采用英汉两种语言表示,达到结合专业提高和强化学生英语水平的目的。

本系列教材由陈新华总体策划。本书由魏绍亮和陈新华担任主编,于晓春编写了第1、2章,王宗省编写了第3章,宗贵聪编写了第4章,陈新华编写了第5章,魏绍亮编写了第6章和附录。在本书的编写过程中,山东科技大学程勇老师给予了热情的关心和指导,并对全书进行了认真的审阅和修改,提出了宝贵意见。另外,孟秀芝进行了部分图形的绘制,郑蕴华和李勇参加了对本书的英文翻译和校对等工作,在此谨致以衷心的感谢。

本书由于受时间和水平的限制,可能有许多不完善之处,望读者批评指正。

编 者

目 录

序

前言

第 1 部分 验证性实验

Part1 Experiment of Proving Property	1
--	---

第 1 章 模拟电子技术

Chapter1 Analog Electronics Technology	1
1.1 实验 1 常用电子仪器的使用 (Use of electronics instrument in common use)	1
1.2 实验 2 晶体管共射极单管放大器 (Single tube amplifier of transistor common emitter)	2
1.3 实验 3 场效应晶体管放大器 (Field effect tube amplifier)	4
1.4 实验 4 集成运算放大器的基本应用——模拟运算电路 (Basic usage of integrated operational amplifier——Analog operation circuit)	7
1.5 实验 5 低频功率放大器——OTL 功率放大器 (Low frequency power amplifier——OTL power amplifier)	9
1.6 实验 6 RC 正弦波振荡器 (RC sine wave oscillator)	12
1.7 实验 7 直流稳压电源 (DC voltage stabilized supply)	15

第 2 章 数字电子技术

Chapter2 Digital Electronic Technology	20
2.1 实验 1 门电路 (Gate circuit)	20
2.2 实验 2 组合逻辑电路 (Combination logic circuit)	22
2.3 实验 3 触发器 (Trigger)	23
2.4 实验 4 计数器 (Counter)	24
2.5 实验 5 555 集成定时器 (555 integrated timer)	26
2.6 实验 6 A/D 与 D/A 转换器 (A/D converter and D/A converter)	28

第 2 部分 综合性实践

Part2 Comprehensive Practice	31
------------------------------------	----

第 3 章 综合性设计实践

Chapter3 Comprehensive Design Practice	31
3.1 实践 1 简易电子琴电路 (Circuit in simple electronic organ)	31
3.2 实践 2 四人抢答电路 (Circuit for four people precedence adjudge)	32
3.3 实践 3 彩灯控制电路 (Control circuit of colored lights)	33
3.4 实践 4 数控步进电机 (Numerical control stepping motor)	34
3.5 实践 5 温度控制电路 (Control circuit of temperature)	36
3.6 实践 6 模-数转换器 (A/D) 原理及应用 (Principle and application of A/D Converter)	37
3.7 实践 7 滤波器原理与设计 (Principle and design of filter)	39
3.8 实践 8 无触点自动充电器 (Contactless automatic charger)	41
3.9 实践 9 啤酒瓶计数器设计 (Design of beer bottle counter)	42

3.10 实践 10 过电压欠电压保护电路 (Over-voltage and under-voltage guard circuit)	44
第 4 章 创新设计实践	
Chapter 4 Practice of Innovating Design	46
4.1 实践 1 声光控开关设计 (Design of sound-light controlling switch)	46
4.2 实践 2 电话防盗装置 (Device of telephone guard against theft)	46
4.3 实践 3 九位电子密码锁 (Nine-bits electronic cipher Lock)	47
4.4 实践 4 紧凑型节能灯 (Compact energy saving lamp)	47
4.5 实践 5 电源、整流和稳压电路的设计 (Design of power, rectification circuit and voltage regulator circuit)	48
4.6 实践 6 带通滤波器的设计 (Design of band-pass filter)	48
4.7 实践 7 频率测量电路的设计 (Design of frequency measuring circuit)	49
4.8 实践 8 多路数据采集系统的设计 (Design of multi-path data acquisition system)	49
4.9 实践 9 电话自动摘机 (振铃三次) 电路的设计 (Design of telephone auto off-hooking [ringing three times] circuit)	50
第 3 部分 晶体管收音机的安装和调试实践	
Part3 Practice Installation and Debugging of Transistor Radio	52
第 5 章 晶体管收音机的安装和调试实践	
Chapter5 Practice Installation and Debugging of Transistor Radio	52
5.1 收音机的基本知识 (Basic knowledge of radio)	52
5.2 收音机的组装与调整 (Assembling and modulating radio)	57
5.3 故障检修 (Fault detection)	60
5.4 实践报告 (Practice report)	61
第 4 部分 焊接技术、印制电路板的设计与制作	
Part4 Welding Technique, Design and Tailor of Printed Circuit Board	62
第 6 章 焊接技术、印制电路板的设计与制作	
Chapter6 Welding Technique, Design and Factor of Printed Circuit Board	62
6.1 手工锡焊技术 (Soldering technique of handwork)	62
6.2 印制电路板的设计与制作 (Design and execution of printed circuit board)	69
6.3 印制电路板的计算机设计简介 (Counting machine design and execution of printed circuit board)	81
6.4 印制电路板设计焊接练习 (Practice of design and jointing exercise of printed circuit board)	81
附录	
附录 A 常用电子仪器和设备	84
附录 B 常用电子元器件及测量方法	101
参考文献	113

第 1 部分 验证性实验

Part1 Experiment of Proving Property

第 1 章 模拟电子技术

Chapter 1 Analog Electronics Technology

1.1 实验 1 常用电子仪器的使用 (Use of electronics instrument in common use)

1. 实验目的 (Aim of experiment)

学习使用示波器、信号发生器、晶体管图示仪、交流毫伏表等常用电子仪器。

2. 实验设备与器材 (Instruments and equipment of experiment)

(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) 数字万用表	1 块
(5) 交流毫伏表	1 台
(6) 晶体管图示仪	1 台

3. 实验步骤 (Steps of experiment)

(1) 练习使用信号发生器和交流毫伏表 (可参看附录 A)。开启信号发生器, 调节其输出电压为 2V, 并在实验中保持此输出电压, 然后做以下测量。

1) 由交流毫伏表分别测量低频信号发生器在四种频率 (100Hz、1000Hz、10kHz、100kHz) 时的输出电压。

2) 调节信号发生器频率到 1kHz, 然后调节其输出幅度旋钮, 用交流毫伏表分别测出下列电压值: 2V、0.2V、20mV、2mV。

(2) 练习使用示波器 (可参看附录 A)

1) 将示波器接通电源, 调节有关旋钮, 使荧光屏上出现扫描线, 熟悉“辉度”、“聚焦”、X 轴上下、左右移动, Y 轴上下、左右移动旋钮的作用。

2) 将音频信号发生器输出端接示波器 Y 轴输入, 调节音频信号发生器的输出幅度旋钮, 使其输出电压 (有效值) 为 1~5V, 频率为 1kHz, 用示波器观察电压波形, 熟悉“Y 轴衰减”、“Y 轴增幅”旋钮的作用。

3) 调节有关旋钮, 使荧光屏上显示的波形增加或减少, 例如在荧光屏上得到一个、三个或六个完整的正弦波, 熟悉“扫描时间”及“稳定度”等旋钮的作用。

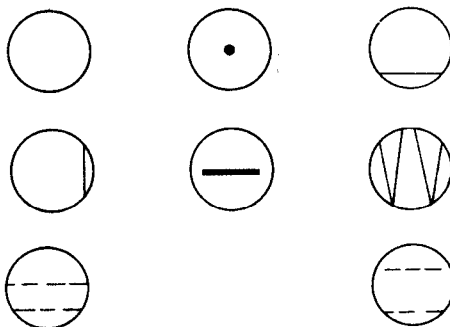
4) 将信号频率改成 100Hz、1kHz、10kHz, 调节有关旋钮使波形清晰、稳定。

(3) 练习使用晶体管图示仪, 测量三极管的 β 、 I_{CEO} 、 I_{CBO} 、 BU_{CEO} 、 BU_{CBO} 等静态参

4. 实验报告要求 (Report and requirement of experiment)

(1) 根据实验结果, 说明使用示波器观察波形时, 需调节哪些旋钮达到:

- 1) 波形清晰且亮度适当;
- 2) 波形大小适当且在荧光屏中央;
- 3) 波形完整;
- 4) 波形稳定。



(2) 用示波器观察正弦波电压时, 若荧光屏上出现图 1-1 所示波形, 是哪些开关和旋钮位置不对? 如何调节?

(3) 如何使用晶体管图示仪观察三极管输入输出特性曲线? 测量场效应晶体管的控制特性曲线时, 需调节哪些旋钮? 写下测量过程和步骤及注意事项。

(4) 总结信号发生器、交流毫伏表、直流稳压电源等电子仪器的使用方法及注意事项。

图 1-1 由于开关和旋钮位置不对所引起的失真情况

1.2 实验 2 晶体管共射极单管放大器 (Single tube amplifier of transistor common emitter)

1. 实验目的 (Aim of experiment)

- (1) 测定三极管的直流电流放大倍数。
- (2) 观察和测定电路参数变化时对放大器的静态工作点、电压放大倍数及输出波形的影响。

(3) 熟悉仪器的作用。

2. 实验设备与器材 (Instruments and equipment of experiment)

- | | |
|--|-------|
| (1) 模拟电子实验系统 | 1 台 |
| (2) 直流稳压电源 | 1 台 |
| (3) 双踪示波器 | 1 台 |
| (4) 信号发生器 | 1 台 |
| (5) 晶体管图示仪 | 1 台 |
| (6) 万用表 | 1 块 |
| (7) 交流毫伏表 | 1 块 |
| (8) 元器件: 电阻 100k Ω 和 22k Ω | 各 1 只 |
| 4.7k Ω | 2 只 |
| 电阻器 1M Ω | 1 只 |
| 三极管 3DG6 | 1 只 |
| 电容 30 μ F | 2 只 |
| 100 μ F | 1 只 |

3. 实验步骤 (Steps of experiment)

(1) 首先使用晶体管图示仪检测 3DG6 型三极管的 β 、 I_{BEO} 、 I_{CEO} 、 BU_{CBO} 、 BU_{EBO} 等参数和输入输出特性曲线。然后按图 1-2 连线, 并把万用表串接于电路中, 调节电位器 RP

使 $I_C = 1\text{mA}$ ，再用万用表测出基极电流 I_B ，计算 $\beta = I_C/I_B$ 的值，看是否与使用晶体管图示仪所测数值相同，若不相同找出原因。

(2) 测量静态工作点

1) 按图 1-2 连好线，调节 RP，使 $U_{CE} = 6 \sim 7\text{V}$ 。

2) 转动信号发生器的频率和幅值调节旋钮，使之输出 $f = 1\text{kHz}$ ， $U = 10\text{mV}$ 的信号。

3) 将信号发生器的输出信号接入放大器的输入端，用示波器观察放大器输出信号波形，如果输出信号没有失真，则可用万用表分别测量 U_{BEQ} 、 U_{CEQ} 、 I_{EQ} 和 I_{CQ} 既可实测，也可计算出来，列在表 1-1 中。

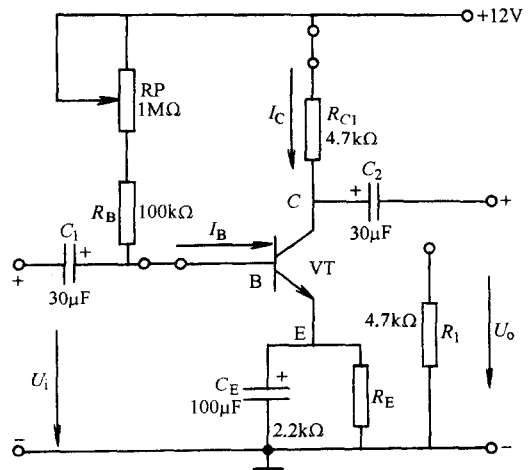


图 1-2 基本放大电路实验图

表 1-1

U_{BEQ}/V	U_{CEQ}/V	U_C/V

(3) 电压放大倍数。放大器接输入信号 $U_i = 10\text{mV}$ ， $f = 1\text{kHz}$ ，输出接示波器。在波形不失真的情况下，分别测量下面两种情况下的输出电压 U_o ：

当 $R_L = \infty$ 时， $U_o =$ _____ V；当 $R_L = 5.1\text{k}\Omega$ 时， $U_o =$ _____ V；

计算出电压放大倍数： $A_u = U_o/U_i$ 。

(4) 观察工作点对输出波形的影响

1) 保证上述静态工作点不变， $U_i = 10\text{mV}$ ， $f = 1\text{kHz}$ ，输出波形不失真。再增加信号发生器输出电压，直至输出波形的正或负峰值刚要出现削波失真，记录此时的 U_o 波形，并保持 U_i 幅值不变。

2) 调节 RP (电位器接入电路电阻用 R_P 表示)，记录以下几种情况下的输出波形的形状，并测量 U_{CEQ} 值，将数据填入表 1-2。

4. 实验报告要求 (Report and requirement of experiment)

(1) 整理测量数据，列出表格。

(2) 总结 R_B 、 R_C 、 R_L 变化后对静态工作点、放大倍数及输出波形的影响。

(3) 将电压放大倍数的估算值与实测值进行比较，并分析产生误差的原因。

(4) 画出在放大电路参数改变的情况下，输出波形失真图形，并分析其失真的原因。

表 1-2

给定条件	U_o 波形	U_{CEQ}/V
1 R_P 合适， $R_L = \infty$	不失真	
2 $R_P = 1\text{M}\Omega$ ， $R_L = \infty$		
3 $R_P = 100\text{k}\Omega$ ， $R_L = \infty$		
4 R_P 合适 $R_L = 4.7\text{k}\Omega$		

1.3 实验3 场效应晶体管放大器 (Field effect tube amplifier)

1. 实验目的 (Aim of experiment)

(1) 了解场效应晶体管的特性, 通过实验测量场效应晶体的控制特性曲线, 并加深对几个主要参数的认识。

(2) 掌握场效应晶体管放大器的电压放大倍数及输入、输出电阻的测试方法。

2. 实验设备与器材 (Instruments and equipment of experiment)

(1) 模拟电子实验系统	1 台
(2) 直流稳压电源	1 台
(3) 信号发生器	1 台
(4) 双踪示波器	1 台
(5) 交流毫伏表	1 块
(6) 晶体管图示仪	1 台
(7) 万用表	2 块
(8) 元器件: 电阻 2k Ω , 10k Ω , 2M Ω ; 电位器 4.7k Ω , 10k Ω	各 1 只
电阻 1k Ω	2 只
电容 10 μ F	1 只
1 μ F	2 只
场效应晶体管 3DJ6	1 只

3. 实验原理和电路 (Principle and circuit of experiment)

场效应晶体管的特性曲线可以用晶体管图示仪直接测试, 也可以用逐点测量法测试。图 1-3 是用逐点测量法测试场效应晶体管特性曲线的原理图。场效应晶体管的转移特性曲线是当漏源间电压 U_{DS} 保持不变, 栅源间电压 U_{GS} 与漏极电流 I_D 的关系曲线, 如图 1-4 所示。

在图 1-3 中, 先调节 U_{CC} 使 U_{DS} 固定在某个数值上, 当栅源电压 U_{GS} 取不同的电压值时 (调节 RP) I_D 也将随之改变, 利用测得的数据, 便可在 $U_{GS}-I_D$ 直角坐标系上画出如图 1-4 的转移特性曲线。当 U_{DS} 取不同的数值, 便可得出另一条特性曲线, $I_D=0$ 时的 U_{GS} 值为场效应晶体管的夹断电压 U_P 。

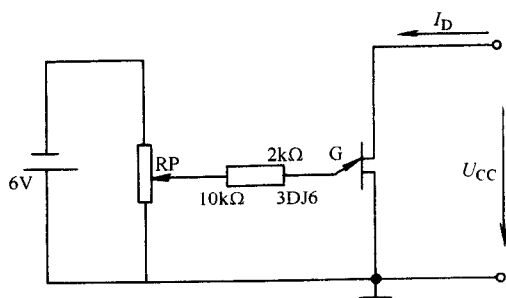


图 1-3 场效应晶体管特性曲线测试原理图

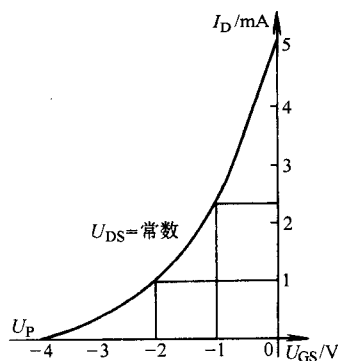


图 1-4 场效应晶体管转移特性曲线

漏极特性曲线是当栅源间电压 U_{GS} 保持不变时, 漏极电流 I_D 与漏源间电压 U_{DS} 的关系曲线, 当 U_{DS} 取不同的数值时便可测出对应的 I_D 值, 对于不同的 U_{GS} 可以测出多条漏极特性曲线, 如图 1-5 所示。

由图 1-5 可见, 预夹断轨迹把特性曲线分成两部分。在预夹断前, 若 U_{GS} 不变, 曲线的上升部分基本上为过原点的一条直线, 故可以把 O_S 之间看成一个电阻, 且 $r_{DS} = \Delta U_{DS} / \Delta I_D$, 改变 U_{GS} 之值, 可以得到不同的电阻值; 曲线近似水平, 称为饱和区, 场效应晶体管作放大器时, 一般工作在这个区域, $U_{GS} = 0$ 时的 I_D 值是指饱和漏电流 I_{DSS} 。

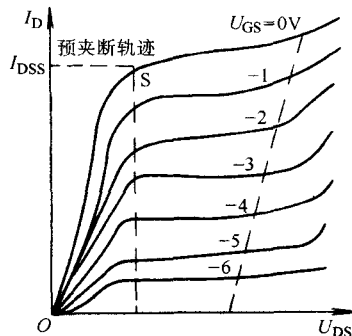


图 1-5 场效应晶体管漏极特性曲线

图 1-6 为场效应晶体管共源极放大器实验电路图。该电路采用自给偏压的方式为放大器建立静态工作点, 栅极通过 R_1 接地, 因 R_1 中无电流经过, 所以栅极与地等电位, 即 $U_G = 0$, 所以

$$U_{GS} = U_G - U_S = -I_S R_S = -I_D R_S$$

场效应晶体管放大电路的放大倍数为

$$A_U = U_O / U_i = -g_m R_D$$

式中, $R'_D = R_D R_L / (R_D + R_L)$; $g_m = I_D / U_{GS} \mid_{U_{DS} = \text{常数}}$ 。

g_m 为场效应晶体管的跨导 (即类同于三极管的 β), 它的单位为毫安/伏 (mA/V), 因场效应晶体管的跨导比较小, 要提高 A_u , 只有增大 R_D 和 R_L , 但 R_D 和 R_L 的增大, 相应地漏极电源电压必须提高。

4. 实验步骤 (Steps of experiment)

(1) 场效应晶体管转移特性曲线测试

1) 按图 1-3 接线, 确保接线无误后, 方可接通电源, $U_{CC} = 12V$ 。

2) 调节 U_{CC} 使 $U_{DS} = 10V$, 然后调节电位器 RP ($10k\Omega$), 分别使 U_{GS} 为 $0V$ 、 $-0.5V$ 、 $-1V$ 、 $-1.5V$ 、 $-2V$ 、 $-2.5V$ 、 $-3.0V$, 相应测出对应的各个漏极电流 I_D , 并记录之, 在坐标纸上画出一条 $U_{DS} = 10V$ 的转移特性曲线。

3) 调节 $U_{CC} = 5V$ (即改变 U_{DS} 的值), 重复步骤 2) 即可得出与 $U_{DS} = 5V$ 对应的转移特性曲线。

(2) 场效应晶体管漏极特性曲线测试

1) 按图 1-3 接线。

2) 调节电位器 RP, 固定 $U_{GS} = 0V$, 调节 U_{CC} , 分别使场效应晶体管漏源电压 U_{DS} 为 $0V$ 、 $0.5V$ 、 $1V$ 、 $2V$ 、 $4V$ 、 $6V$ 、 $8V$ 、 $10V$ 、 $12V$, 测出各对应的 I_D 值, 然后在坐标纸上将各点连成一条光滑的曲线, 即可得 $U_{GS} = 0V$ 时的一条漏极特性曲线。

3) 再调节 RP, 分别固定 U_{GS} 为 $-1V$ 、 $-2V$, 重复上述步骤 2), 即可得出 $U_{GS} = -2V$ 时的另外两条特性曲线。

(3) 场效应晶体管跨导 g_m 的测试

1) 测试原理图仍为图 1-3。

2) 调节 U_{CC} 使 $U_{DS} = 10V$, 调 RP 使 $U_{GS1} = -0.5V$, 测得漏极电流 I_{D1} ; 然后再调节

RP 使 $U_{GS2} = -1V$ ($U_{DS} = 10V$ 保持不变), 测出此时的漏极电流 I_{D2} 。

3) 根据两次测得的数值, 求出跨导:

$$g_m = \Delta I_D / \Delta U_{GS} = (I_{D1} - I_{D2}) / (U_{GS1} - U_{GS2})$$

4) 再调节 U_{CC} , 使 $U_{DS} = 5V$, 重复上述 2)、3) 步骤, 也可求出 g_m , 并比较两次测得的结果是否一致。

(4) 场效应晶体管放大电路电压放大倍数 A_u 的测试

1) 按图 1-6 接线, 接线无误后, 接通电源 $E_D = +12V$ 。

2) 输入端输入正弦信号 ($f = 1kHz$, $U_i = 25mV$), 用示波器观察输出电压波形, 如果输出波形出现双向切顶失真, 可以减小输入电压幅值; 如果输出波形单峰切顶失真, 可增大或减小 R_S , 使输出波形不失真。用毫伏表测出放大器的输出电压 U_o 和输入电压 U_i , 计算出电压放大倍数

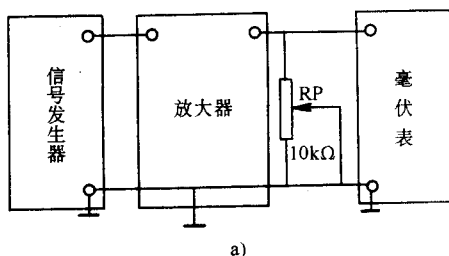
$$A_u = U_o / U_i$$

3) 去掉输入信号, 串入电流表 (可用万用表) 测出静态工作点 I_{DQ} 和 U_{DSQ} 值。

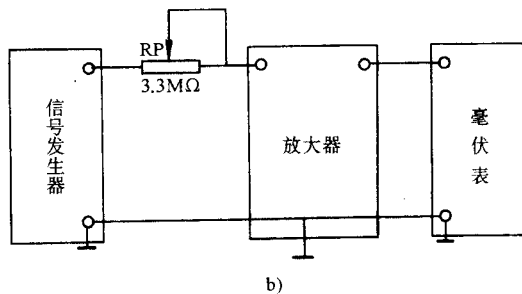
4) 将源极自偏压电阻 R_S 改换成另一阻值 (如 680Ω 或 200Ω)。重测 I_{DQ} 、 U_{DSQ} 、 U_i 、 U_o , 并将两次结果进行比较。

(5) 场效应晶体管放大电路的输出电阻 r_o 和输入电阻 r_i 的测试

1) 按图 1-7a 接线。



a)



b)

图 1-7 场效应晶体管放大器输出、输入电阻测试原理框图

a) 输出电阻 r_o 。b) 输入电阻 r_i

2) 去掉负载电阻 R_L , 将频率为 $1kHz$, 电压为 $25mV$ 的正弦波加到场效应晶体管放大器的输入端, 用示波器观察输出电压波形是否失真, 用交流毫伏表测量输出电压 U_{o1} 。

3) 保持输入信号不变, 在场效应晶体管放大器的输出端并接阻值为 $10k\Omega$ 的电位器

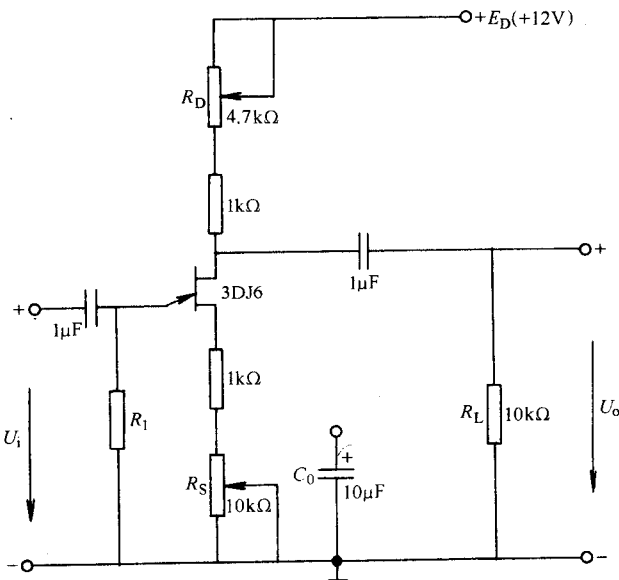


图 1-6 场效应晶体管共源极放大器

RP, 调节 RP, 使场效应晶体管放大器输出电压 U_{o2} 下降到未并接 RP 时输出电压的一半, 即 $U_{o2} = 1/2 U_{o1}$, 拆下 RP, 用万用量表测出阻值, 这一阻值即为场效应晶体管放大器的输出电阻 r_o 。

4) 按图 1-7b 接线, 在放大器输入端输入 $f = 1\text{kHz}$, 电压为 100mV 的正弦波信号, 用示波器观察输出电压波形是否失真 (此时应接上负载电阻 R_L), 如果波形失真, 可减小输入信号幅值或提高电源电压 E_D , 然后用万用表测量输出电压 U_{oL1} 。

5) 保持输入不变, 在放大器输入端串联一只 $3.3\text{M}\Omega$ 的电位器 RP, 调节 RP 使放大器的输出电压 U_{o2} 下降到未接 RP 时的一半, 即 $U_{o2} = 1/2 U_{o1}$, 拆下 RP, 用万用表测出 RP 的阻值, 这个阻值就是场效应晶体管放大器的输入电阻 r_i 。

这里均采用半电压法测量 r_i 和 r_o , 也可用测三极管放大电路的办法测出输入电阻、输出电阻。

5. 实验报告要求 (Report and requirement of experiment)

(1) 利用测得的实验数据, 画出漏极特性曲线和转移特性曲线, 并从转移特性曲线上求出饱和漏极电流 I_{DSS} 和夹断电压 U_P 。把画出的特性曲线与用晶体管图示仪所测曲线相比较, 分析差别和原因。

(2) 画出实验电路图。

(3) 通过实验测得的放大倍数 A_u , 输入电阻 r_i , 输出电阻 r_o 与理论值进行比较。

(4) 分析图 1-6 中 R_D 和 R_S 对放大器性能的影响。

1.4 实验 4 集成运算放大器的基本应用——模拟运算电路 (Basic usage of integrated operational amplifier——Analog operation circuit)

1. 实验目的 (Aim of experiment)

(1) 掌握用集成运算放大器 (简称集成运放) 组成的比例、加法、减法、积分等电路的方法, 了解电路的结构特点及性能。

(2) 学会上述电路的测试和分析方法。

2. 实验设备与器材 (Instruments and equipment of experiment)

(1) 运算放大器实验板	1 块
(2) 直流稳压电源 (双路)	1 台
(3) 双踪示波器	1 台
(4) 信号发生器	1 台
(5) 万用表	1 块
(6) 交流毫伏表	1 台

3. 实验原理和电路 (Principle and circuit of experiment)

集成运算放大器是高增益的直流放大器, 若在它的输出端和输入端之间加入反馈网络, 则可以实现不同的电路功能。例如, 加入线性负反馈, 可以实现放大功能以及加、减、微分、积分等模拟运算功能; 加入非线性负反馈, 可以实现对数、反对数、乘除等模拟运算功能。

为了分析方便, 通常把运算放大器视为理想器件。当运算放大器工作在线性区域时, 只

要输出电压 U_o 为有限值, 输入差模电压就必将趋于零, 即 $U_i = U_+ - U_- = U_o/A_{uo} \rightarrow 0$, 同时, 由于输入电阻趋于无限大, 流进放大器两输入端的电流也就趋于零, 即 $I_2 = 0$ 。利用这两条重要法则, 分析下列各种运算电路。

4. 实验步骤 (Steps of experiment)

(1) 调零。按图 1-8 电路接线 (运算调零反面已接), 接线无误后, 合上电源, 将同相与反相输入端接地, 调节 RP 使输出 $U_o = 0$ 。为简化电路, 以下实验电路中调零、电源、保护等端子不再画出。

(2) 比例运算。实验电路如图 1-9 所示, 输入 $f = 500\text{Hz}$, U_i 分别等于 10mV 、 20mV 、 40mV 、 50mV , 测量并记录 U_o 值, 填入表 1-3 中。

(3) 加法运算。实验电路图 1-10 所示, 图 1-11 是其调节电路。调节图 1-11 中 RP_1 、 RP_2 使 U_{i1} 、 U_{i2} 为表 1-4 中给定的数值, 测量输出电压 U_o 与理论值相比较。

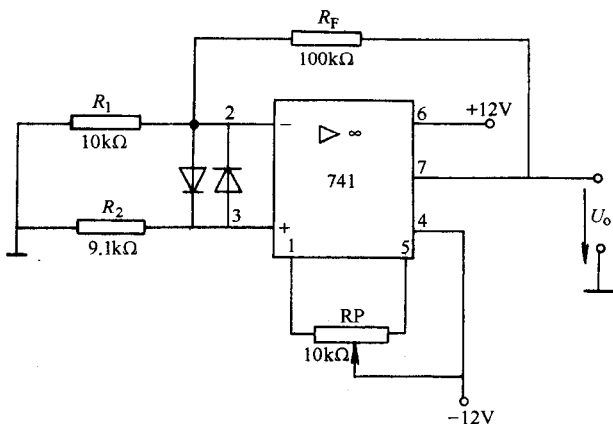


图 1-8 集成运算放大器调零电路

表 1-3 比例运算数据记录表

U_i/mV	10	20	40	50
U_o/mV				

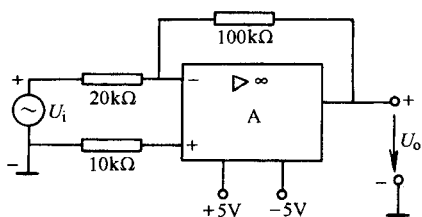


图 1-9 比例运算实验电路

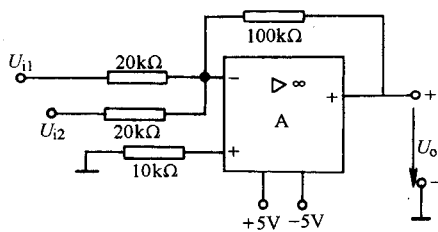


图 1-10 加法运算实验电路

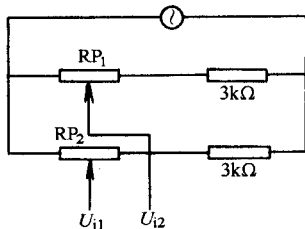


图 1-11 分压器电路

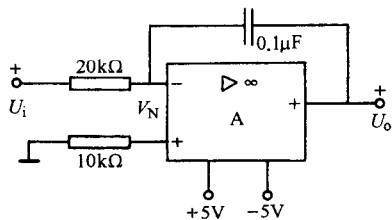


图 1-12 积分运算原理电路

表 1-4 加法运算数据记录表

U_{i1}/V	U_{i2}/V	U_o/V
0.2	0.4	

(4) 积分电路。按图 1-12 电路接线, 从反相输入端输入 $f = 1\text{kHz}$, $U_i = 2.5\text{V}$ 的矩形波, 用示波器观察 U_o 波形及幅值。

5. 实验报告要求 (Report and requirement of experiment)

- (1) 画出实验线路图。
- (2) 整理实验数据, 列表比较实测值与理论值, 分析产生误差的原因。
- (3) 画出微分电路、积分电路的输出波形。

1.5 实验 5 低频功率放大器——OTL 功率放大器 (Low frequency power amplifier——OTL power amplifier)

1. 实验目的 (Aim of experiment)

- (1) 了解 OTL 功率放大器静态工作点的调试方法。
- (2) 学会测量功率放大电路的有关参数。
- (3) 观察自举电容的作用。

2. 实验设备与器材 (Instruments and equipment of experiment)

- | | |
|---|-------|
| (1) 模拟电子电路实验系统 | 1 台 |
| (2) 直流稳压电源 | 1 台 |
| (3) 信号发生器 | 1 台 |
| (4) 双踪示波器 | 1 台 |
| (5) 万用表 | 1 块 |
| (6) 元器件: 电阻 510Ω , $5.1\text{k}\Omega$ | 各 1 只 |
| 电位器 100Ω , $1\text{k}\Omega$, $100\text{k}\Omega$ | 各 1 只 |
| 电容 $10\mu\text{F}$ $220\mu\text{F}$ | 各 1 只 |
| $100\mu\text{F}$ | 2 只 |
| 三极管 3DG6 (或 3DG12), 8050, 8550 | 各 1 只 |
| 扬声器 (8Ω) | 1 个 |

3. 实验原理和电路 (Principle and circuit of experiment)

多级放大电路的最后一级一般总是驱动一定的负载, 如扬声器、电动机或继电器等, 这就需要输出一定的功率。所以, 功率放大器需对前面电压放大的信号进行功率放大, 而推动负载去做功。这种以输出功率为主要目的的放大电路称为功率放大器。

功率放大器 (功放) 按输出级静态工作点的位置可分为甲类、乙类和甲乙类三种。甲类功放的静态工作点在交流负载线的中点, 最大效率只有 50%, 乙类功放的静态工作点设在交流负载线与横坐标轴的交点上, 其最大效率是 78.5%; 甲乙类功放的静态工作点设在截止区以上, 静态时有不大的电流流过输出管, 它克服了输出管死区电压的影响, 消除了交越失真。若按照输出级与负载的耦合方式, 甲乙类功放又分为电容耦合 (OTL 电路)、直接耦合 (OCL 电路) 和变压器耦合三种。传统的功率放大输出级常常采用变压器耦合方式, 其

优点是便于实现阻抗匹配。但由于变压器体积庞大,比较笨重,消耗有色金属,而且在低频和低频部分产生相移,使放大电路在引入负反馈时容易产生自激振荡,所以目前的发展趋势倾向于采用无输出变压器的 OTL 或 OCL 功率电路。本实验即采用 OTL 功率放大器进行功放电路的实验研究。

图 1-13 为实验用的 OTL 电路。图中 VT_1 为前置兼电压放大级, VT_2 、 VT_3 是用锗材料做成的 NPN 和 PNP 型异型管,它们组成输出级。 RP_1 接入电路电阻是级间反馈电阻,形成直、交流电压并联负反馈。静态时,调节 RP_1 使输出端 O 点的电位为 $1/2E_C$,并且由于负反馈的作用使 O 点的电位稳定在这个数值上,此时,耦合电容 C_3 和自举电容 C_2 的电压都将充电到接近 $1/2E_C$ 。 VT_1 通过 RP_1 取得直流偏置,其静态工作点电流 I_{C1} 流经 RP_2 所形成的压降 $U_{RP_2} \approx 0.2V$,作为 VT_2 和 VT_3 的偏置电压,使输出级工作在甲乙类。

C_2 和 RP_1 组成自举电路,目的是在输出正半波时,利用 C_2 上电压不能突变的原理, B 点的电位始终比 VT_2 发射极 O 点的电位高 $1/2E_C$,以保证 VT_2 在 O 点电位上升时仍能充分导通。

R 是 VT_1 的负载电阻,它的大小将影响电压放大倍数。当有输入信号时, VT_1 集电极输出放大的电压信号,其正半周使 VT_2 趋向导通, VT_3 趋向截止,电流由 $+E_C$ 经 VT_2 的集电极通过 C_3 (自左向右) 流向负载电阻 R_L , 并给 C_3 充电,当负半周时, VT_3 趋向导通,电容 C_3 放电,电流通过 VT_3 的发射极和集电极反向,流过负载 R_L 。因此,在 R_L 上形成完整的正弦波形。

图 1-14 中, R_C 等于图 1-13 中的 $R + R_{P2}$ 应该指出的是, R 与 R_{P2} 相比阻值不应太大,否则将造成 VT_2 和 VT_3 交流激励电压大小不一,使输出波形失真。解决的办法是在 VT_2 和 VT_3 的基极上并一电容 C_4 (见图 1-13),造成交流短路,以便使 VT_2 、 VT_3 的交流电压完全对称。

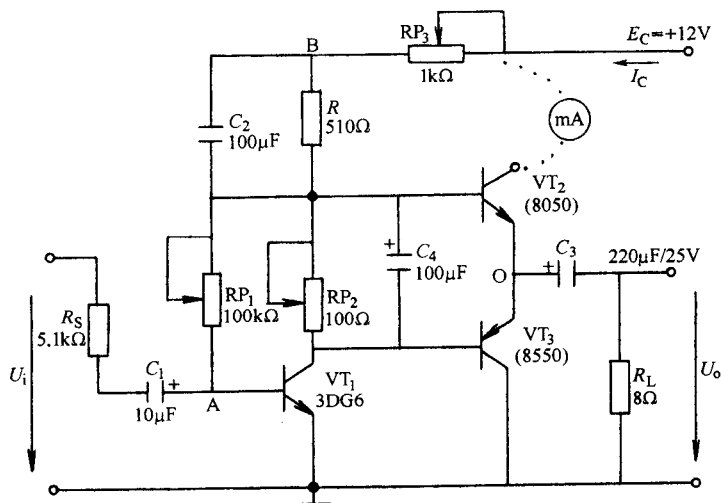


图 1-13 OTL 功率放大器实验电路图

⊙ R_{P2} 表示电位器 RP_2 接入电路的电阻值, R_P 表示电位器 RP 接入电路的电阻值,以后不再一一说明,请读者注意。