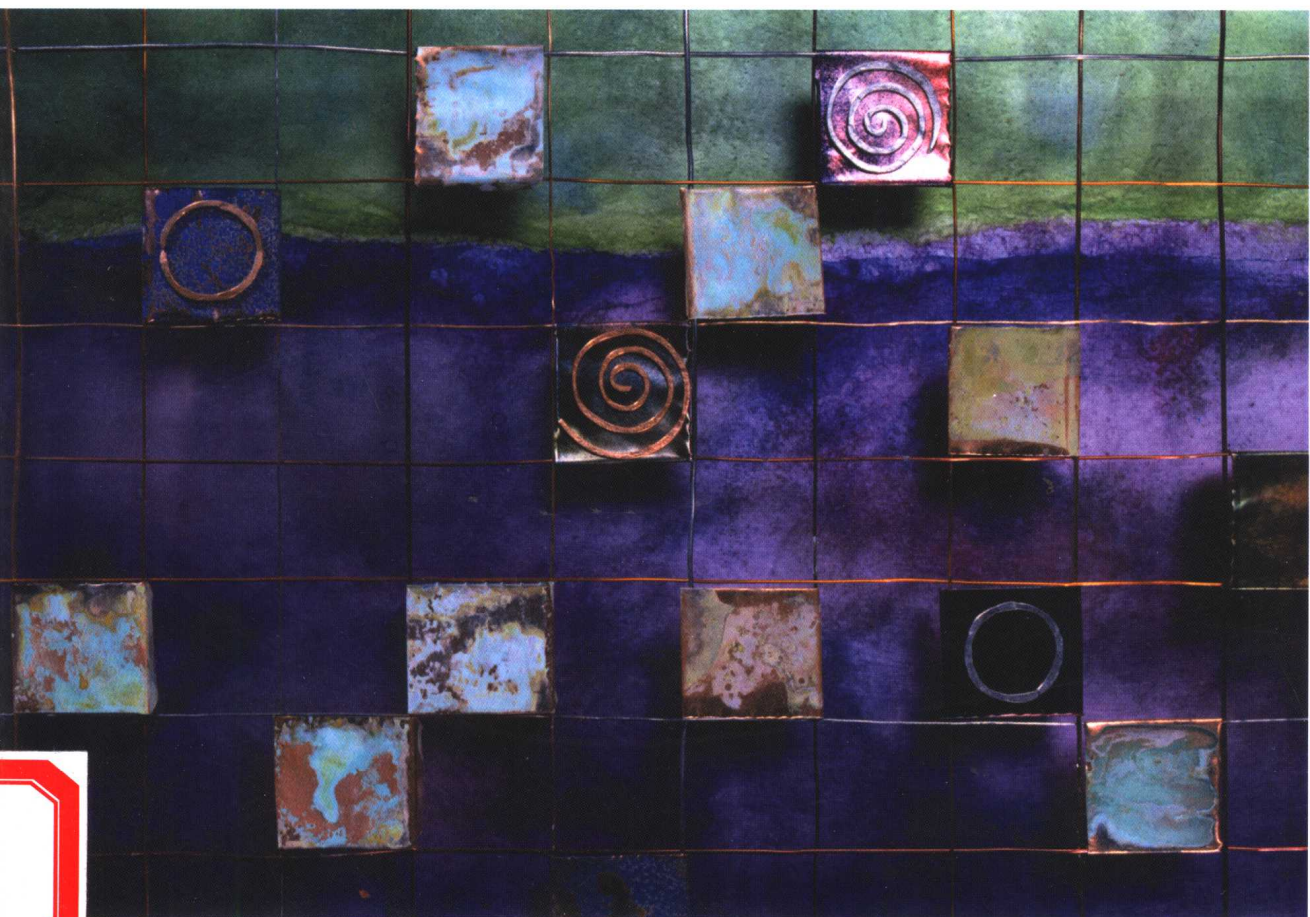


21 世纪高等院校教材

电子线路实践教程

王建新 姜 萍 编著



科学出版社

www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材

电子线路实践教程

王建新 姜 萍 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书提供了模拟电子线路和数字逻辑电路实验教学的基本知识和基本技能训练。全书以电子线路的设计型实验和综合型实验为主要内容,介绍了数模两种电路的设计方法、电子线路的 EDA 设计,还包含了多个电子线路课程设计的综合实验内容;此外,书中还阐明了一些常用电子仪器的工作原理、性能指标、使用方法及注意事项,并附有常用的集成电路符号及其引脚图。

本书可作为高等院校电气信息类及相关专业的本科生实验教材,亦可供从事电子技术研究和开发的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子线路实践教程/王建新,姜萍编著. —北京:科学出版社,2003
(21 世纪高等院校教材)
ISBN 7-03-011835-9

I. 电… II. ①王…②姜… III. 电子电路-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 062356 号

责任编辑:钟 谊/文案编辑:邱 璐、贾瑞娜/责任校对:柏连海
责任印制:安春生/封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003 年 9 月第 一 版 开本:B5(720×1000)
2003 年 9 月第一次印刷 印张:15
印数:1—3 000 字数:300 000

定价:20.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

电子技术是高等工科院校实践性很强的技术基础课程。为了培养高素质的专业技术人才,在理论教学的同时,必须十分重视和加强实验教学环节。如何在实验教学过程中,培养学生的实践能力、独立分析问题和解决问题的能力、创新思维能力和理论联系实际的能力以及书面表达能力,是高等院校着力探索与实践的重大课题。

本书是根据教学大纲的要求,适应当前教学改革的需要,总结了近几年来实验教学改革的经验而编。全书在实验的安排上既考虑了与理论教学保持同步,又考虑了培养学生能力的循序渐进的过程,实现了从验证到设计再到综合型设计的教学模式,有利于在培养学生基本实践能力的基础上,培养他们的创新意识和创新能力。

全书共分为 5 章:第 1 章低频电子线路实验;第 2 章高频电子线路实验;第 3 章数字逻辑电路实验,以电子线路的验证型实验和设计型实验为主要内容,目的是使学生掌握基本的电子线路实验方法,加深对理论课内容的理解;第 4 章电子线路综合实验给出了四个综合设计型项目,目的是培养学生进行综合设计和创新设计的能力;第 5 章 EDA 应用实验介绍了电子线路的计算机辅助分析和设计方法,本章除了介绍常用 EDA 工具的使用方法和设计范例外,还配有相关的仿真与设计实验内容供学生使用,目的是使学生将传统的电子线路设计思路和现代的电子线路设计手段相结合,培养他们的工程设计能力和创新思维能力。

本书由王建新教授担任主编,负责全书的总体策划。第 1 章和 4.1 节由周海倩编写;第 2 章由严伟昭编写;第 3 章由温湧编写;4.2~4.4、5.1、5.2、5.4~5.8 节由姜萍编写;5.3、5.9~5.11 节由硕力更编写。全书由姜萍负责统稿。

本书在编写过程中,得到了南京理工大学电子技术中心全体教师的关心和支持,在此谨致以衷心的感谢。

本书承蒙周淑阁教授、蒋立平教授审稿,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中的不妥及疏漏之处敬请读者批评指正。

编 者

2003 年 5 月

目 录

第 1 章 低频电子线路实验	1
1.1 晶体管特性及放大器性能指标测试	1
1.2 功率放大器	6
1.3 负反馈放大器性能指标测试	9
1.4 运算放大器的应用.....	12
1.5 场效应管放大器.....	16
1.6 直流稳压电源.....	18
第 2 章 高频电子线路实验	22
2.1 小信号谐振放大器的调整和测试.....	22
2.2 电容反馈三点式振荡器.....	24
2.3 高频谐振功率放大器.....	28
2.4 调幅与检波.....	33
2.5 晶体管混频器.....	37
2.6 频率调制器.....	41
2.7 鉴频器.....	43
2.8 双平衡模拟相乘器的调幅器与解调器.....	46
2.9 双平衡模拟相乘器的混频器.....	51
第 3 章 数字逻辑电路实验	54
3.1 门电路参数测试.....	54
3.2 组合逻辑电路设计.....	60
3.3 触发器及应用.....	64
3.4 任意进制计数器设计.....	67
3.5 移位寄存器及应用.....	71
3.6 计数、译码、显示电路设计.....	75
3.7 集成定时器.....	78
第 4 章 电子线路综合实验	83
4.1 阶梯波发生器设计.....	83
4.2 数字计时器设计.....	88
4.3 直接数字频率合成器设计.....	92

4.4 V/F 转换电路及其应用	96
第 5 章 EDA 应用实验	100
5.1 MAX+PLUS II 的基本使用	100
5.2 VHDL 语言简介	115
5.3 OrCAD/PSpice 的基本使用	132
5.4 简单逻辑电路设计与仿真	161
5.5 加法器电路设计与仿真	164
5.6 多功能数字钟	167
5.7 正弦函数计算器	171
5.8 正交函数信号发生器	177
5.9 运用 PSpice 对基本放大电路进行分析与设计	181
5.10 运用 PSpice 对反馈放大电路进行分析与设计	183
5.11 阶梯波发生器的计算机辅助分析与设计(PSpice)	187
参考文献	190
附录 A 常用电子仪器简介	191
仪器一 双路直流稳压电源	191
仪器二 晶体管交流毫伏表	192
仪器三 低频信号发生器	193
仪器四 半导体管特性图示仪	195
仪器五 频率特性测试仪	197
仪器六 DA22 型超高频毫伏表	201
仪器七 QF1055 型信号发生器	203
仪器八 E312A 型通用计数器	208
仪器九 示波器	217
仪器十 SE-5 型 EDA 实验系统	222
附录 B 部分集成电路型号与引脚图	229

第 1 章 低频电子线路实验

1.1 晶体管特性及放大器性能指标测试

一、实验目的

- (1) 掌握单级放大电路静态工作及放大电路主要性能指标的测量方法。
- (2) 学习用半导体管特性图示仪观测三极管共发射极输出特性曲线。
- (3) 掌握常用电子测量仪器的使用方法。

二、实验原理

1. 半导体管特性图示仪测三极管特性

测量三极管伏安特性曲线可采用不同的方法,若采用专用仪器半导体管特性图示仪可以在示波管荧屏上直接观测到三极管的伏安特性曲线,并可通过仪器的标尺刻度,由显示的曲线读测被测器件的参数。图示仪由阶梯信号、集电极电源、 x 轴放大器、 y 轴放大器、示波管、测试台(接插口)等几部分组成,如图 1-1-1 所示。

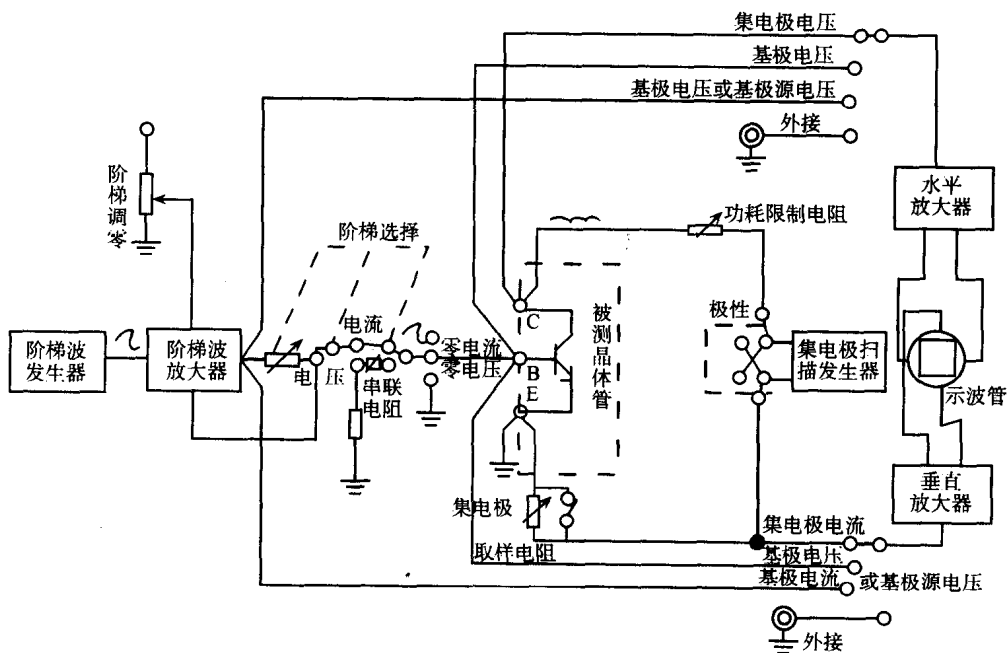


图 1-1-1 图示仪原理框图

例如,在测量三极管共发输出特性曲线时,若在 x 轴加集电极电压,在 y 轴加集电极电流,基极电流由一个阶梯电流信号提供,这样在示波管荧屏上就能显示出三极管的输出特性曲线族。

由三极管的输出特性曲线来看,我们通常应用管子的放大区,此区域内当基极电流 i_B 为某定值,集电极电流 i_C 的值基本不随集电极电压 V_{CE} 而变化。当基极电流有一个微小的变化量 Δi_B 时,相应的集电极电流将产生较大的变化量 Δi_C ,比 Δi_B 放大 β 倍,即 $\Delta i_C = \beta \Delta i_B$,体现了三极管的电流放大作用。

2. 基本放大电路直流(静态)工作点的选择

基本放大电路如图 1-1-2 所示,元件参考值自拟。

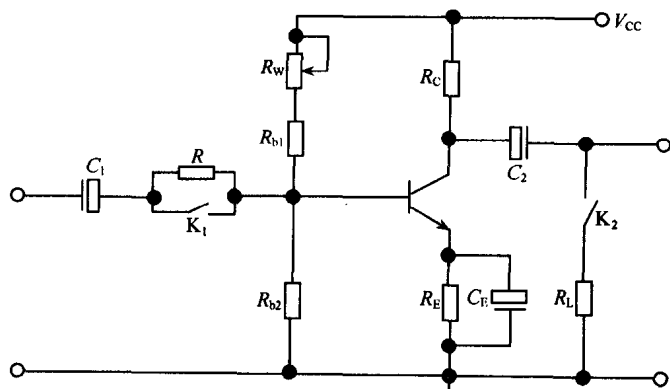


图 1-1-2 基本放大电路

放大电路主要是将输入信号不失真地进行放大,为此要考虑选择合适的直流工作点,如果直流工作点选择不当,就易引起输出信号失真,当工作点过高或过低时,容易产生饱和失真或截止失真,如图 1-1-3 所示。

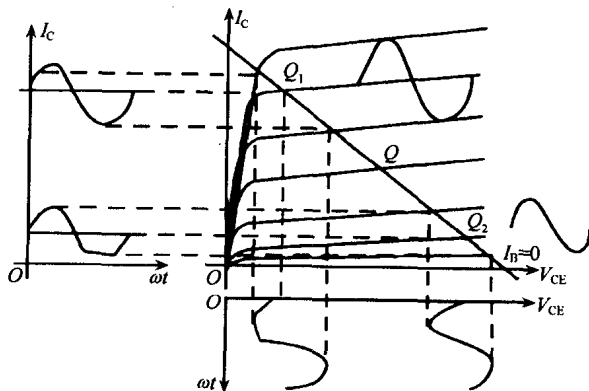


图 1-1-3 静态工作点不合适引起放大器波形失真

因此将直流工作点选在交流负载线的中间,可以得最大不失真输出电压。

3. 放大电路输入电阻 R_i 的测量

放大电路输入电阻的测量选用换算法。测量电路如图 1-1-4 所示。

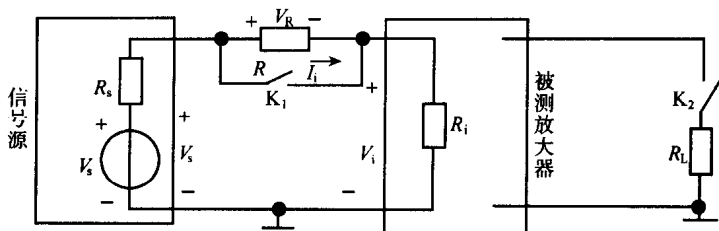


图 1-1-4 测 R_i 的电路

当测量时在信号源与被测放大电路之间串一个已知电阻 R , 使加入的正弦信号为 V_s , 并再测得信号 V_i 的值, 可由下式换算得输入电阻 R_i 为

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{\frac{V_R}{R}} = \frac{V_i}{V_s - V_i} R$$

4. 放大电路输出电阻 R_o 的测量

放大电路输出电阻 R_o 的测量也采用换算法。测量电路如图 1-1-5 所示。

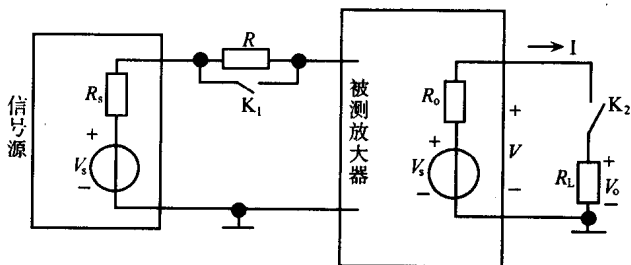


图 1-1-5 测 R_o 的电路

当测量时, 在放大电路输入端加一正弦信号, 在电路输出端先断开负载 R_L , 测得电压 V , 再接上负载 R_L 测得输出电压 V_o , 则可得输出电阻 R_o 为

$$R_o = \frac{V - V_o}{I} = \frac{V - V_o}{\frac{V_o}{R_L}} = \frac{V - V_o}{V_o} R_L$$

三、实验内容

1. 图示仪测三极管 3DG6 共发输出特性

将被测三极管 3DG6 接插入图示仪测试台。

调整图示仪各主要测试旋钮如表 1-1-1 所示位置, 调节峰值电压由零逐渐加

大,使荧屏上显示出如图 1-1-6 所示曲线族,并用坐标纸描绘被测三极管输出特性曲线(注意坐标标尺刻度)。

表 1-1-1

旋钮名称	旋钮位置
y 轴	I_C 1mA/度
x 轴	V_{CE} 1V/度
峰值电压范围	10V
峰值电压	0 ↑
集电极电源极性	+
功耗限制电阻	1kΩ
阶梯信号	10μA/级
阶梯信号极性	+
阶梯信号作用	重复

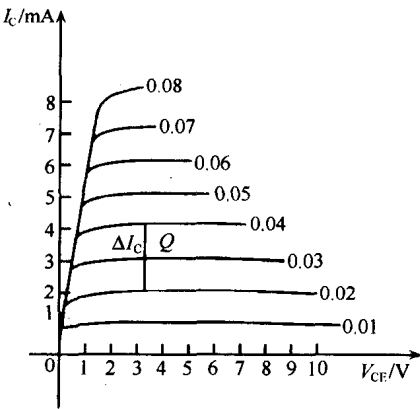


图 1-1-6 三极管输出特性曲线

由输出特性曲线读出 $V_{CE}=6V$ 时,第 2、4、6 三根曲线对应的 $I_B、I_C$ 。计算直流放大系数 $\bar{\beta}, \bar{\beta}=I_C/I_B$ 。

由输出特性曲线读出 $V_{CE}=4V, I_C=3mA$ 的工作点 Q 附近的 $\Delta i_B、\Delta i_C$ 。计算此处的交流放大系数 $\beta, \beta=\Delta i_C/\Delta i_B$ 。

2. 基本放大电路测量

实验测量参考电路如图 1-1-2 所示。

(1) 放大电路直流工作点的调试

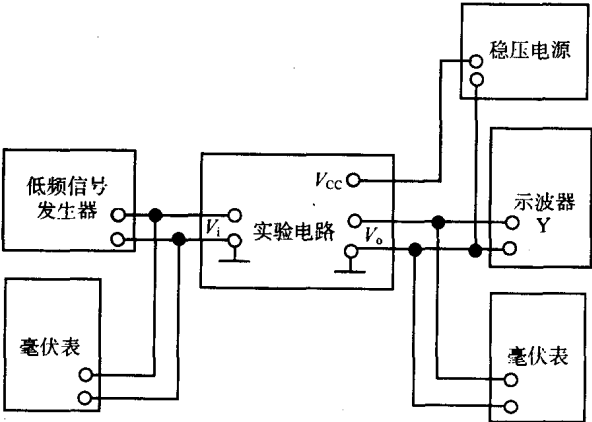


图 1-1-7 测量仪器连接图

用导线将图 1-1-7 所示各测量仪器和实验电路连接起来。

接通稳压电源,使 $V_{CC}=9V$,接入实验电路。当电阻 R 短路时,调节电位器 R_w ,使 I_{CQ} 满足 $2mA$ 。即用三用表测三极管 $V_E=3V$ (测量直流工作点电流的方法是:测量电阻 R_E 两端的直流电压,然后将此电压除以相应的电阻值, $I_{CQ}=I_{EQ}=V_E/R_E$)。再测记三极管的直流电压 V_{BEQ} 、 V_{CEQ} 。

(2) 研究观测直流工作点对输出波形和电压增益的影响

$V_{CC}=9V$, $I_{CQ}=2mA$ 时,选低频信号发生器的频率为 $f=1kHz$,调节输入电压 V_s ,使其由小逐渐增大,直到输出波形为最大不失真时(在示波器上观察波形刚好出现失真),记录输入电压与输出电压的数值,计算此时电压增益。注意:实验过程中,要测量的电路主要指标,如电压增益、输入电阻、输出电阻、频率特性等必须保证在电路输出波形不失真的前提下进行测试。

改变电路直流工作点,使 R_w 阻值为最大(调 R_w 的阻值)。调节输入电压直至输出波形为最大不失真时,测记输入电压与输出电压,计算此时电压增益。再逐渐加大输入电压使输出波形失真,用示波器观察失真波形,描绘失真波形,判断是何种失真。

改变直流工作点,使 R_w 阻值为最小,加输入电压直至输出波形为最大不失真时,测记此时输入电压与输出电压,计算电压增益。再增加输入电压用示波器观测失真波形,将失真波形描绘下来,判断是何种失真。

(3) 放大电路输入电阻的测量

测量参考电路如图 1-1-4 所示。 $R=1k\Omega$, $R_L=1.5k\Omega$ 。

测量时使放大电路输入信号频率为 $f=1kHz$, $V_s=10mV$,其次用毫伏表测出 V_i 的值,由公式 $R_i = \frac{V_i}{V_s - V_i} R$ 计算出输入电阻的值。

(4) 放大电路输出电阻的测量

测量参考电路如图 1-1-5 所示, $R=0$ 。

测量时使放大电路输入信号频率为 $f=1kHz$, $V_s=10mV$,先断开负载电阻 R_L ,测得电压 V 的数值,然后再接上负载 R_L ,测得输出电压 V_o 的值,由公式 $R_o = \frac{V - V_o}{V_o} R_L$ 计算出输出电阻的值。

四、实验仪器

- | | |
|-----------------------|-----|
| (1) 稳压电源:提供直流电源 | 1 台 |
| (2) 低频信号发生器:作输入信号源 | 1 台 |
| (3) 晶体管毫伏表:测输入、输出信号电压 | 2 只 |
| (4) 示波器:观察输出波形 | 1 台 |
| (5) 三用表:测直流电压 | 1 只 |

五、实验报告内容

- (1) 自拟实验测试数据表格,整理测试数据。
- (2) 计算不同工作点时电路的电压增益,计算电路的输入、输出电阻。
- (3) 画出被测三极管的输出特性曲线,计算三极管的 $\beta, \bar{\beta}$ 值。
- (4) 画出用示波器观察到的被测电路输出波形失真图形,用图解法说明电路输出波形失真的原因。由此判断是何种失真。

六、思考题

- (1) 图示仪功耗限制电阻在测试中起什么作用?
- (2) 分析放大电路输出波形失真的原因,如何改善失真?
- (3) 放大电路的电压增益与哪些参数有关?

1.2 功率放大器

一、实验目的

- (1) 掌握无输出变压器功率放大器的工作原理和特点。
- (2) 学习无输出变压器功率放大器的直流工作状态的调整及各种性能指标的测试方法。

二、实验原理

功率放大器的主要作用是向负载提供足够的输出功率,同时应有较高的功率和较小的非线性失真。功率放大器的主要技术指标为:最大输出功率和效率。OTL 互补对称电路省去了输出变压器,但输出端需用一个大电容,电路中只需一路直流电源,利用一个 NPN 管和一个 PNP 管接成对称形式。当输入电压为正弦波时,两管轮流导电,使负载上的电压基本上是一个正弦波。

在这里选用了无输出变压器功率放大器,如图 1-2-1 所示。

元件参考值自拟。

该电路由两级放大器组成, T_1 为推动级, $T_3 \sim T_6$ 为互补对称输出级, T_3, T_5 与 T_4, T_6 采用了复合管形式, T_3, T_5 构成了 NPN 型同型复合管, T_4, T_6 构成了 PNP 型异型复合管。采用复合管可以提高电流放大系数 β 值, β 值约等于两单管 β 值的乘积,使得同样的激励电流,却能获得较大的信号功率。由于两个功率较大的管子 T_5, T_6 是同类型的管子,也比较容易选择性能一致的器件。 R_9 为平衡电阻,用来实现两复合管有相近的输入阻抗。

电路为单电源供电是在负载端串联了一只隔直流的大电容 C_3 ,就直流而言,

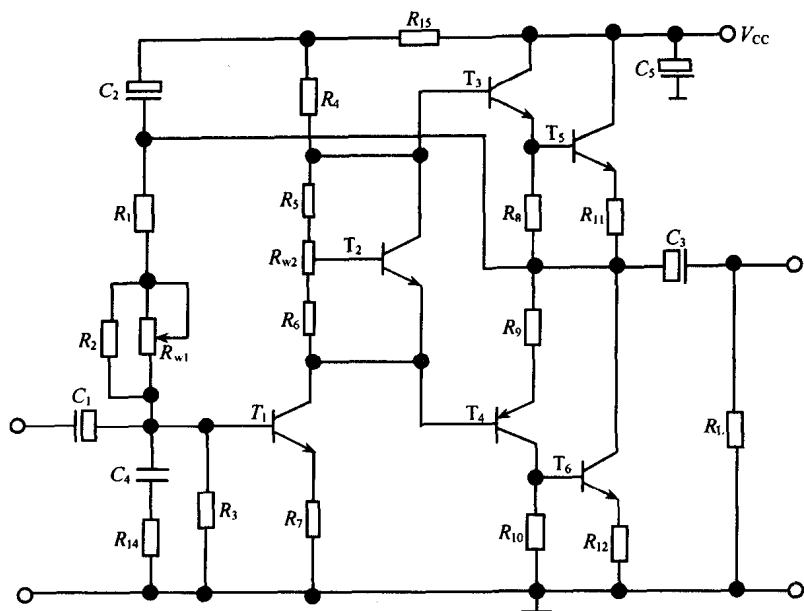


图 1-2-1 功率放大电路

$V_{\text{中}}$ 的电位可由 R_{w1} 的调节为 $\frac{V_{CC}}{2}$, 两功率管的直流供电电压均为 $\frac{V_{CC}}{2}$ 。

T_2 、 R_{w2} 、 R_5 、 R_6 向 T_3 、 T_4 两管提供直流偏置, 用来消除交越失真。

三、实验内容

1. 直流工作状态调试

实验参考电路如图 1-2-1 所示, 明确两个电位器 R_{w1} 、 R_{w2} 的作用。注意: 先将 R_{w1} 、 R_{w2} 反时针旋到底 (R_{w1} 、 R_{w2} 的阻值最大), 如图 1-2-2 所示接入直流毫安表。

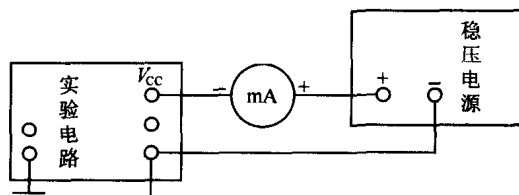


图 1-2-2 直流毫安表连接图

接通电源, $V_{CC} = 16V$, 测试中点电压, 调节电位器 R_{w1} 使直流 $V_{\text{中}} = 8V$ 。

加输入信号 $f = 1kHz$, $V_i = 10mV$ 。用示波器观察输出波形, 调节电位器 R_{w2} (向右旋, 顺时针旋转) 使得输出波形幅度逐渐慢慢增加, 让电路输出波形 V_o 。交越失真刚好消除。此时断去输入电压 V_i , 则毫安表指示为小于 $10mA$ 某一值 (再将 V_o 。

逐渐加大,直至示波器上 V_o 波形出现削波现象,重新调节 R_{w1} ,使 $V_{\text{中}}=8\text{V}$,让 V_o 波形上下同时出现失真,若有必要时可再调节 R_{w2} ,使波形的交越失真刚好消失)。

这时去除输入信号 V_i ,用三用表测量中点电压及 T_1 、 T_2 三极管的 V_{BE} 、 V_{CE} ,并读毫安表指示(即直流工作点电流 I_o)。

2. 测试电路的输出功率、效率

输入信号 $f=1\text{kHz}$, $R_L=20\Omega$,改变输入电压的大小,当分别使 V_i 为8,10,12,14,16,18,20mV不同值时,测输出电压 V_o 及电源电流 I ,计算出输出功率 P_o ,直流电源供给功率 P_V 及效率。

注意:改变输入电压大小时,必须同时观测毫安表读数,使毫安表读数小于100mA。

3. 测电路频率特性

输入信号 $f=1\text{kHz}$, $V_i=5\text{mV}$ 时,测记电路此时中频输出电压 $V_{o\text{max}}$ 。

改变输入信号频率 f ,保持输入电压 $V_i=5\text{mV}$ 不变,当降低频率 f 时,使输出电压 $V_o=0.707V_{o\text{max}}$,所对应的频率即为下限频率 f_L ,当升高频率 f 时,使输出电压 $V_o=0.707V_{o\text{max}}$,所对应的频率即为上限频率 f_H ,实测出 f_L 、 f_H ,测记 f_L 与 f_H 的值。

在20Hz~1MHz频率范围内测出电路的输出电压 V_o ,计算 A_v 。

4. 测电源特性

改变稳压电源 V_{CC} 大小,当分别使 V_{CC} 为8,10,12,14,16,18,20mV不同值时,重调电位器 R_{w1} 、 R_{w2} 使中点电压保持在 $\frac{V_{\text{CC}}}{2}$,并使交越失真刚好消除。逐渐加大输入电压 V_i ,使输出电压 V_o 波形刚好不削波,读这时最大不失真电压 $V_{o\text{max}}$ 及电源电流 I 的值。计算出输出功率 P_o 、直流电源供给功率 P_V 及效率 η 。

5. 测集成功放性能

若应用一集成功放,自行设计电路,自拟电路的性能指标的测试内容。

四、实验仪器

(1) 稳压电源	1 台
(2) 低频信号发生器	1 台
(3) 晶体管毫伏表	2 只
(4) 示波器	1 台
(5) 三用表	1 只
(6) 直流毫安表	1 只

五、实验报告内容

- (1) 自拟实验数据表格。列表整理测试数据。
- (2) 由实测数据绘制 P_o - V_i 及 η - V_i , P_o - V_{CC} , η - V_{CC} 曲线。

- (3) 根据实测数据绘制电路频率特性曲线。
- (4) 试述功放电路的特点及电路调试的要点。
- (5) 自拟一集成功放电路测试的内容、步骤、实验数据表格。

六、思考题

为什么这种功放电路对信号源的负载作用很重？

1.3 负反馈放大器性能指标测试

一、实验目的

- (1) 掌握负反馈对放大电路性能的影响。
- (2) 学习负反馈放大电路性能指标的测试。

二、实验原理

反馈在电子技术中应用非常广泛，所谓反馈就是在电子系统中把输出回路的电量通过一定的方式送回到输入回路的过程，如图 1-3-1 所示。其中负反馈是改善放大电路性能的重要手段。

不同类型的反馈对放大电路产生不同的影响，根据反馈信号在放大电路输出端采样方式的不同，可以分为电压反馈和电流反馈，如图 1-3-2 所示。

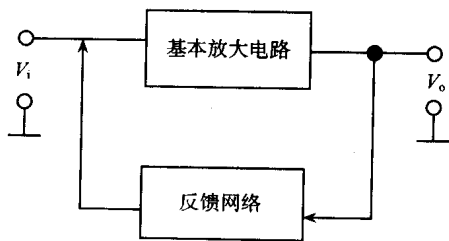


图 1-3-1 反馈放大器框图

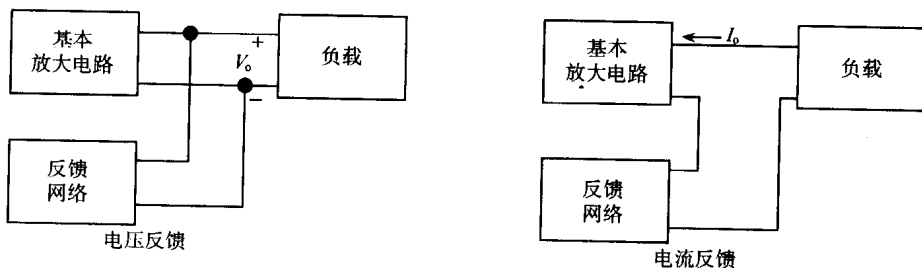


图 1-3-2 电压反馈、电流反馈框图

判断是电压反馈还是电流反馈可以采用短路法——将负载短路。负载短路后，反馈不存在（不可采样）的为电压反馈，反馈仍存在（可采样）的为电流反馈。而根据反馈信号与输入信号在放大电路输入回路的连接方式的不同，可以分为串联反馈和并联反馈，如图 1-3-3 所示。判断是串联反馈还是并联反馈可仍用短路法——将信号源短路。信号源短路后，反馈不存在的为并联反馈，反馈仍存在的为串联反馈。

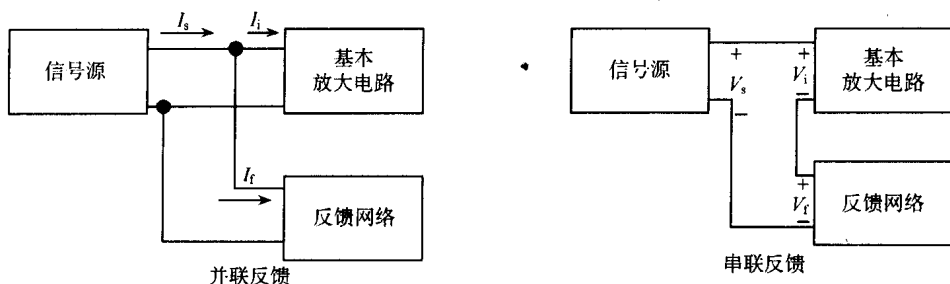


图 1-3-3 并联反馈、串联反馈

电路引进负反馈可以改善放大电路的性能,如提高增益的稳定性,减小非线性失真和抑制干扰,展宽频带,改变电路的输入、输出电阻等。而这些性能的改变是以牺牲增益为代价的,改善的程度取决于反馈深度。

在实际的负反馈放大电路中有电压串联、电压并联、电流串联、电流并联四种基本组态。其中电压负反馈使输出电压保持稳定,降低了放大电路的输出电阻。电流负反馈使输出电流保持稳定,提高了输出电阻。而串联负反馈增大放大电路的输入电阻,并联负反馈则减小输入电阻。

负反馈电路如图 1-3-4 所示,元件参考值自拟。

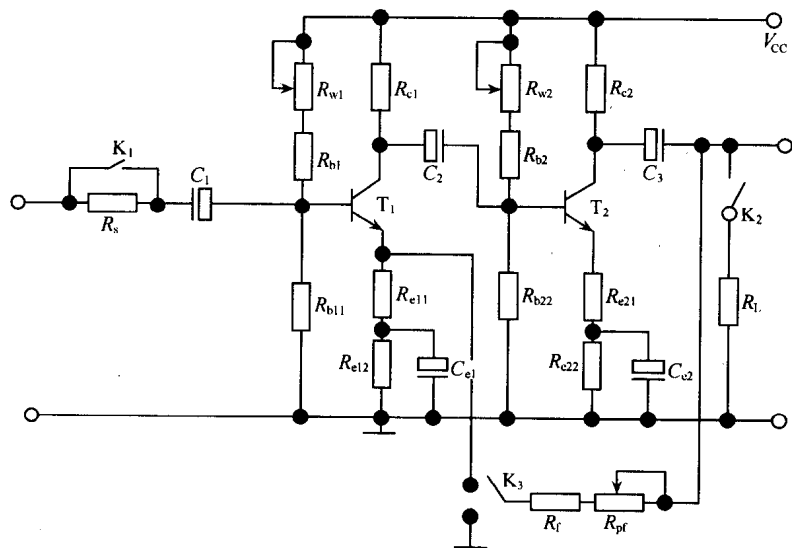


图 1-3-4 负反馈放大电路

若电路中 K_3 与 T_1 发射极相连,应用短路法判断输出端与输入端,则电路为一电压串联负反馈电路。

三、实验内容

1. 直流工作状态调试

实验参考电路如图 1-3-4 所示。

接通电源,使 $V_{CC}=12V$ 。

将输入端短路,并将 K_3 接地、调节电位器 R_{W1} 满足工作点要求,调 R_{W2} 满足工作点要求,测量三极管 T_1 、 T_2 的 V_{BE} 、 V_{CE} ,记录下来。

2. 测无级间反馈时放大电路的性能

(1) 测电路电压增益

使输入信号 $f=1kHz$, $V_i=3mV$ 时,测电路输出,计算电压增益。

(2) 测输入电阻

接入电阻 R_s ,加信号源电压,使电路输出电压与未接入 R_s 时相同,测此时信号源电压 V_s 的值,则 $R_i' = \frac{V_i}{V_s - V_i} R_s$,式中 $R_i' = R_b // R_i$ 。

(3) 测输出电阻

电阻 R_s 短路,输入信号 $f=1kHz$, $V_i=3mV$ 时接入电阻 R_L ,测输出电压 V_o ,断开电阻 R_L ,测 R_L 开路时电压 V ,则 $R_o = \frac{V - V_o}{V_o} R_L$ 。

(4) 测电路上限频率、下限频率

电阻 R_s 短路、 R_L 开路时,输入信号 $f=1kHz$, $V_i=3mV$ 时,测电路输出电压 V_{omax} 。

保持输入信号大小不变,改变信号频率使输出电压下降,测出电路的上限频率 f_H 、下限频率 f_L ,记录 f_H 、 f_L 的值。

3. 测试反馈放大电路的性能

使 K_3 与 T_1 发射极相连,让电路为电压串联负反馈,用上面采用的测试方法,分别测量反馈放大电路的电压增益、输入电阻、输出电阻、上限频率、下限频率。

电路中有无反馈时测量数据经整理记录下来。

4. 电流并联负反馈电路性能的测试

自行设计一电流并联负反馈电路,自拟该电路的性能指标测试内容。

四、实验仪器

(1) 稳压电源	1 台
(2) 低频信号发生器	1 台
(3) 晶体管毫伏表	2 只
(4) 示波器	1 台
(5) 三用表	1 只