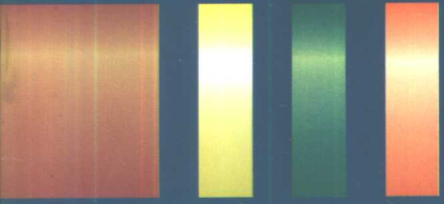


电子线路实验



方建中 主编

浙江大学出版社

电子线路实验

方建中 主编

浙江大学出版社

内 容 简 介

本书是根据高等院校理工科本科生的电子线路实验基本教学要求编写的。

书中除模拟电路、数字电路硬件实验外,还有单片机控制的各种应用系统性实验和可编程逻辑阵列的应用、PSpice 与 EWB 软件应用及电子测量实验。

全书共分四篇。第一篇为模拟电路实验;第二篇为数字电路实验;第三篇为综合、系统性实验;第四篇为电子测量实验。附录分为:部分常用电子仪器的使用和常用模拟、数字电路元、器件的图形符号和引脚号。各篇内容具有相对独立性,便于各校选用。

本书可作为高等院校电子类、信息类、无线电通信类、计算机与自动化技术控制类和机电工程类专业本、专科生实验教材,也可供有关从事电子设备及其电路设计和研制的工程技术人员选用。

图书在版编目(CIP)数据

电子线路实验/方建中主编. —杭州:浙江大学出版社,2001.1

ISBN 7-308-02599-3

I. 电... II. 方... III. 电子电路-实验
IV. TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 56203 号

出版发行 浙江大学出版社

(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)

(E-mail:zupress@mail. hz. zj. cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

责任编辑 阮海潮

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 浙江大学印刷厂

经 销 浙江省新华书店

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 19

字 数 486 千字

版 印 次 2001 年 1 月第 1 版 2001 年 1 月第 1 次印刷

印 数 0001—3000

书 号 ISBN 7-308-02599-3/TN·050

定 价 23.00 元

序

《电子线路实验》一书是电子类、信息类、无线电通信类、计算机与自动控制类、机电工程类等专业的专业基础课实验教材。本书作者长期从事教学工作,对书中每一个实验都进行了设计、调试,积累了丰富的经验。这次重新编写,无论实验内容还是实验技术方面都有较大的充实、提高,从而能加强对学生实践能力的培养,较好地处理教学基本要求,并反映现代科学技术的发展水平。

书中实验内容全面、新颖,适用性、实用性较强。全书分模拟电路、数字电路、综合、系统性实验和电子测量实验四篇。篇与篇之间既有学科联系,又相互独立。模拟电路部分已从分立元件向集成电路发展;数字电路实验中的小、中规模集成电路已被中、大规模集成电路所取代;在电路设计中还应用了 PSpice 和 EWB 软件。

可以这样说,此书是一本系统而全面的教科书。因此,该书的出版,将会对高等院校电子线路实验教学作出一点菲薄的贡献。它对于不同层次高等院校的理工科学生均可适用,也可作为科研、企事业单位的工程技术人员常备参考书。

姚庆栋

1999 年 6 月

于浙大求是园

13-41, 58

前 言

本书是根据原国家教委批准的电子线路实验(Ⅰ)、(Ⅱ)和脉冲与数字电路实验的基本要求,结合近年来电子信息工程、通信工程迅速发展和实验教学改革的需要而重新编写的。它可作为高等理工科院校电子类、信息类、无线电通信类、计算机与自动控制类和机电工程类等专业的实验教材。

本书包括四十个实验,共分四篇。第一篇和第二篇是模拟电路与数字电路实验,其中有足够数量的基本实验,以培养学生具有扎实的实验基本技能。第三篇是综合、系统性实验,含有十个单片机基本应用系统设计和可编程逻辑阵列应用、PSpice 与 EWB 软件应用的实验。它对于培养学生具有独立解决实际问题 and 设计能力可起到抛砖引玉的作用。第四篇是实用性电子测量实验。

全书篇与篇之间的内容保持相对独立,同时具有一定的系统性,可供各院校根据自己的情况选用。

书中每个实验均对实验的目的、原理、线路、器材、内容、步骤等作了较详细的介绍,并针对实验中可能遇到的一些疑难问题作了提示。为了培养学生具有独立思考和工作能力,在部分实验中要求实验者自拟实验方案(实验电路、步骤等)。

凡有“*”标记的可选做。另外,又对实验预习和实验报告提出了具体要求。书中的附录主要是为读者提供必要的实验资料。

本书由方建中主编。参加编写的还有陈邦媛、周绮敏、屈民军、吕航、钱松福、孙斌、陈云华、陈鹏飞、裴念、都依林(国际关系学院杭州校区)、杨高波(宁波大学)。

在本书编写过程中得到了浙江大学信电系电子测量教研组和无线电实验室同志们的大力支持。感谢浙江大学孙焕根、吴仲海、冯志良、童乃文等同志的指导。在编写过程中,参考了有关院校的部分实验内容,在此表示谢意。

本书承浙江大学信电系姚庆栋教授主审,为此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误,诚恳希望读者批评指正。

编 者

1999 年 6 月于浙江大学

目 录

第一篇 模拟电路

实验一	常用电子仪器的使用	(3)
实验二	单级低频放大器的设计、安装与调试	(6)
实验三	集成运算放大器及其应用	(9)
实验四	OTL 低频功率放大器	(16)
实验五	音频功率放大器的设计、安装与调试	(20)
实验六	集成稳压电源	(33)
实验七	LC 振荡器和石英晶体振荡器	(39)
实验八	电视机高频调谐器及其测试	(43)
实验九	调频器与鉴频器	(49)
实验十	吞脉冲集成锁相环频率合成器	(54)
实验十一	模拟相乘器及其应用	(60)
实验十二	单片集成调频发送、接收系统	(68)
实验十三	模拟调频无线电台参数的测试方法	(73)
实验十四	单片集成锁相环的应用	(80)

第二篇 数字电路

实验一	集成逻辑门的参数测试	(85)
实验二	555 定时器的应用	(93)
实验三	用 SSI 设计组合逻辑电路和冒险现象观察	(98)
实验四	集成触发器	(102)
实验五	脉冲产生电路	(107)
实验六	中规模时序集成电路	(110)
实验七	中规模组合逻辑集成电路	(117)
实验八	A/D 和 D/A 转换器及其应用	(121)
实验九	RAM 和 ROM 存储器及其应用	(128)
实验十	数字电子钟的设计	(135)

第三篇 综合、系统性实验

实验一	可编程逻辑阵列的应用	(141)
实验二	数字存储示波器接口电路设计	(149)
实验三	拔河游戏机	(152)
实验四	声音电压表	(155)

实验五	四路音频切换及音量控制电路·····	(158)
实验六	大会发言微机控制系统·····	(160)
实验七	智能音响系统设计·····	(167)
实验八	交通信号灯控制电路的设计·····	(171)
实验九	单片微机水温控制系统的设计与制作·····	(176)
实验十	PSpice 与 EWB 软件在电路设计中的应用·····	(181)

第四篇 电子测量实验

实验一	电视场强的测量·····	(199)
实验二	频谱分析仪的使用与频谱测量·····	(202)
实验三	谐振法测量阻抗·····	(209)
实验四	相位与群时延测量·····	(212)
实验五	卫星电视地面接收站的安装与调试·····	(215)
实验六	频率工程测量——彩色电视副载波测频原理·····	(220)

附 录

附录一	测量误差与测量数据处理的基本知识·····	(227)
附录二	部分常用电子仪器·····	(233)
一、SR8 和 YB4332 型双踪示波器	·····	(233)
二、JT-1 型晶体管特性图示仪	·····	(242)
三、电压表	·····	(243)
四、信号发生器	·····	(248)
五、BS1 型失真度测量仪	·····	(257)
六、BT3C 型频率特性测试仪	·····	(259)
七、DF3340 型频率计	·····	(263)
八、QF4132 型调制度测量仪	·····	(266)
九、ZD-98 型模拟数字电路实验仪	·····	(269)
十、SD-85B 型数字逻辑电路实验仪	·····	(271)
十一、TF2370 型频谱分析仪面板按钮及其功能	·····	(274)
十二、雷迅牌 ZBL8810S TV/FM 电平监测仪	·····	(277)
附录三	常用电路元器件型号及其主要性能参数·····	(282)
附录四	我国集成电路型号命名规则·····	(287)
附录五	电气图用图形符号说明·····	(288)
附录六	模拟集成电路和数字集成电路的外引出端排列图·····	(289)
参考文献	·····	(295)

第一篇 模拟电路

实验一 常用电子仪器的使用

一、实验目的

1. 了解示波器、低频信号发生器、低频电子电压表、直流稳压电源的主要技术指标、性能和面板上各旋钮的功能。
2. 初步掌握用示波器观察正弦信号波形和测量波形参数的方法；学会正确使用这些仪器。

二、实验原理

1. SR8 型双踪示波器、XD2 型低频信号发生器、低频电子电压表的调节与使用方法(见附录二所示)。

2. 实验线路如图 1.1.1、图 1.1.2 所示。

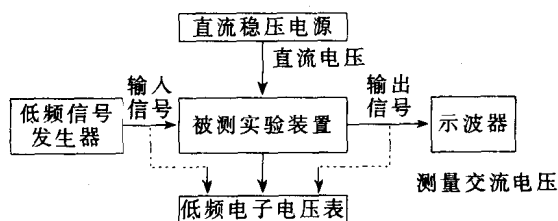


图 1.1.1 常用电子仪器使用示意图

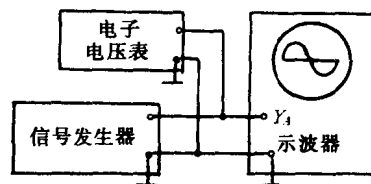


图 1.1.2 用示波器观察信号波形，
用电压表测量信号电压

三、实验器材

- | | |
|----------------------|-----|
| 1. 低频信号发生器 | 1 台 |
| 2. 低频毫伏表 | 1 台 |
| 3. 示波器 | 1 台 |
| 4. 晶体管直流稳压电源(根据要求选择) | 1 台 |

四、实验内容及步骤

(一)熟悉仪器

结合图 1.1.1 所示的实验仪器，进一步熟悉 SR8 型双踪示波器、XD2 型低频信号发生器、GB-9 或 DA16 型低频毫伏表和晶体管直流稳压电源的面板控制旋钮的名称、功能，并了解这些仪器的主要技术指标及其使用方法。

(二)用示波器、毫伏表测量信号波形的参数

1. 熟悉 SR8 型双踪示波器的主要功能

(1)观察机内校准信号

机内校准信号频率为 1kHz，幅值为 1V(此信号是专为校准示波器而设置的，在使用示波器之前，均需对示波器进行校准)。将此信号送入 Y_B (或 Y_A)通道，读出幅值和周期，看其是否正确，若否，请指导老师校准。

(2)了解输入耦合方式开关的作用

输入机内校准信号,分别将输入耦合开关置于AC、 $\perp$ 、DC,观察屏幕上的波形,比较异同点。当开关置于“ $\perp$ ”时,屏幕上出现的水平线代表什么?

(3)掌握触发极性的选择方法

输入机内校准信号,分别将触发极性开关置于“+”、“-”位置,观察波形,比较异同点。

(4)定量测量

将机内频率为1kHz,幅值为1V的校准信号送入 Y_B (或 Y_A)通道,测量脉冲上升沿和下降沿时间,以及脉冲宽度、幅值、高电平和低电平。

2. 观察信号波形

(1)按图1.1.2接线。

(2)接通示波器电源,然后调节“辉度”、“聚焦”和“辅助聚焦”等旋钮,使荧光屏上显示一条细且清晰、亮度适中的扫描基线;调节“X轴位移”和“Y轴位移”旋钮,使扫描基线位于屏幕中央;将X轴触发选择开关置于“内触发”。

(3)接通低频信号发生器,调节其输出电压(有效值)为1~5V(取2V),频率为1kHz。调节示波器的Y灵敏度选择开关“V/div”和“微调”旋钮来控制显示正弦波形的幅度,测出其峰-峰值。

(4)调节扫描速率开关“t/div”及“微调”旋钮,改变扫描电压周期 T_c ,当 T_c 为被测正弦信号周期 T_s 的整数倍时,显示波形就稳定,其倍数就能控制显示波形的个数。为使观察波形稳定,可调“电平”旋钮。

(5)分别观察频率为100Hz、500Hz、1kHz和10Hz、20Hz、100Hz时的正弦信号,要求在屏幕上显示幅度为5格并有三个完整周期的波形。

3. 测量信号电压、周期、频率

(1)使低频信号发生器输出正弦信号的频率为2kHz,并保持其幅度(表头指示)为5V,改变“输出衰减”,将示波器的Y灵敏度“微调”旋钮旋至“校准”位置。这时灵敏度选择开关“V/div”的刻度值表示屏幕上纵向每格的电压伏特数,可用来直接读出电压值 U_{p-p} (注意:由于示波器往往都使用探头测量,因此在计算实际的电压有效值时要考虑衰减,一般是10:1)。

(2)接通GB-9型或DA16型低频毫伏表,测量被测信号电压的实际有效值。在测量过程中,为了避免接入被测电压后表针过载,应先将电压表的“量程”旋钮置于大量程挡位,接入被测信号电压后再逐次向小量程挡位拨动(为了使读数精确,一般要求表头指针指示值在满刻度的1/3以上)。测得的电压有效值记入表1.1.1中。

表 1.1.1

信号频率(Hz)(发生器输出)	50	100	500	1k	5k	10k	50k	100k	200k	500k	800k
电压表读数(V)											
扫描速率开关位置(t/div)											
信号周期 $T_s(\mu s)$											
测量信号频率(Hz)											

(3)先将信号发生器“输出衰减”旋钮置于0dB挡,改变信号发生器输出信号的频率,并保持表针指示为刻度4V,然后用电压表测量相应的电压值,并记入表1.1.1中。再将示波器扫描速率的“微调”旋钮旋至“校准”位置。在此位置上,扫描速率开关“t/div”所示的刻度值表示屏

幕上横向每格的时间值。至此,即可直接读出信号的周期和频率,并记入表 1.1.1 中;同时,应选择适当的 Y 灵敏度选择开关“V/div”,使波形峰-峰值为 5 格左右。

3. 测量相位

本实验采用双踪显示测量相位,如图 1.1.3 所示。使信号发生器输出 2kHz、4V 的正弦信号,经 RC 移相网络获得同频不同相的两路信号,分别加到 SR8 型双踪示波器的 Y_A 和 Y_B 输入端,显示方式应置于“交替”或“断续”挡位。然后分别调节 Y_A 、 Y_B 位移和“V/div”开关及微调旋钮,就可在屏幕上显示出两个幅度相等的正弦波形。为了便于稳定波形,应将推拉式开关“内触发 Y_B ”拉出,使“内触发”信号只取自 Y_B 的输入信号,以便于比较两信号相位。从显示图形上读出 y 和 y_m 的格数,则相位差为

$$\phi = 2\arctan \sqrt{\left(\frac{y_m}{y}\right)^2 - 1} \quad (\text{弧度})$$

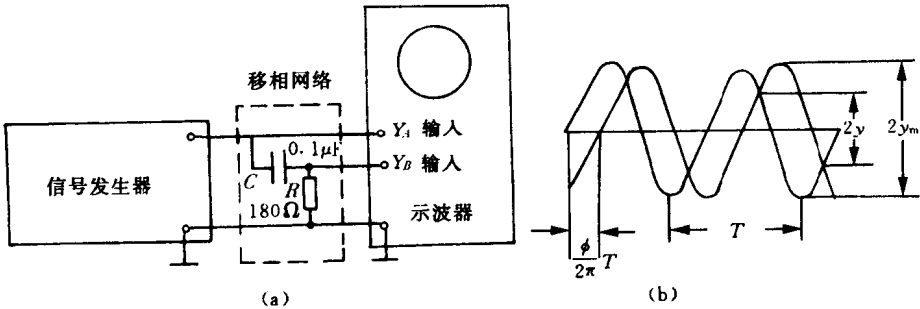


图 1.1.3 双踪显示测量相位

(a) 连线图; (b) 显示图形

测量结果记入表 1.1.2 中。

表 1.1.2

两正弦波形的幅度(格数)	两交点间的垂直距离(格数)	相位差(弧度)
$2y_m =$	$2y =$	$\phi =$

五、实验报告要求

1. 总结 SR8 型或其他型号示波器、XD2 型低频信号发生器、GB-9(或 DA16)型低频毫伏表和直流稳压电源的主要技术指标、主要旋钮的功能及正确使用方法。
2. 根据实验记录,计算实验数据并列表整理,画出必要的波形图(如相位测量)。

六、实验预习要求及思考题

1. 阅读示波器、低频信号发生器、电压表、直流稳压电源的使用说明。
2. 什么是有效值? 什么是峰值? 电压表的电压读数和示波器的电压读数有什么不同?
3. 在用交流电子电压表测量交流电压时,信号频率的高低对读数有无影响? 为什么?
4. 用示波器测量交流信号的幅值和频率,如何尽可能地提高示波器的测量精度?
5. 示波器为什么要用探头? 只有在什么情况下才不用探头? 所用的连线为什么用低频屏蔽线?

实验二 单级低频放大器的设计、安装与调试

一、实验目的

1. 通过实验掌握调整放大器静态工作点的方法,了解电路各元器件对静态工作点的影响。
2. 掌握放大器的电压增益、输入电阻、输出电阻和频率特性等主要技术指标的测量方法,以及电路各元件对这些技术指标的影响。
3. 进一步熟悉示波器、低频信号发生器、低频毫伏表及稳压电源的使用方法。

二、实验原理

(一) 电路参数对工作点的影响

为了稳定工作点,经常采用具有直流电流负反馈的分压式偏置电路,如图 1.2.1 所示。影响工作点的因素很多,但当晶体管确定后,电源电压的变动、负载 R_c 的改变、基极电流 I_b 的变化都会影响工作点,如图 1.2.2 所示。

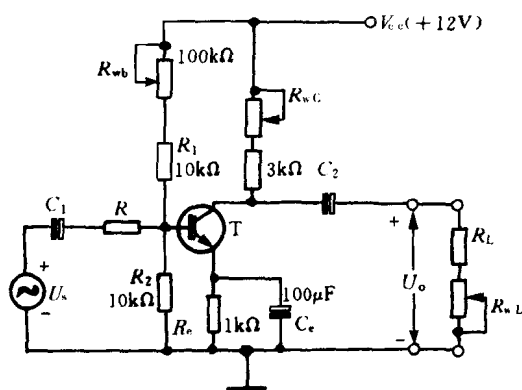


图 1.2.1 实验电路原理图

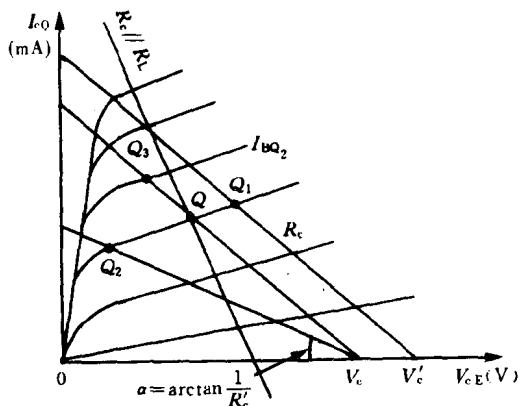


图 1.2.2 电路参数对工作点的影响

(二) 描述静态工作点的参数为 I_{CQ} 、 V_{CEQ} 和 I_{EQ}

这几项参数可用万用表测量,并可通过调节 R_{b1} (R_1 与 R_{wb} 串联),使静态工作点满足要求。在测量 I_{CQ} 时,为了不改动电路连接,一般采用先测电压,再由电压换算出电流的方法。

(三) 放大器的增益测量

测量放大器增益的电路如图 1.2.3 所示。输入端接交流毫伏表,输出端接交流毫伏表和示波器(当只有一只毫伏表时,可先测输入,再测输出)。当信号源输出某一正弦信号, $f_s = 1\text{kHz}$, 而且示波器上观察到的输出电压是不失真的正弦波形时,即可读得输出电压 U_{oL} 和输入电压 U_i 。这时该放大器的增益为

$$A_u = U_{oL} / U_i \quad (1.2.1)$$

(四) 放大器的输入电阻测量

放大器输入电阻的大小,表示该放大器从信号源或前级放大器那里获取多少电流,为前级

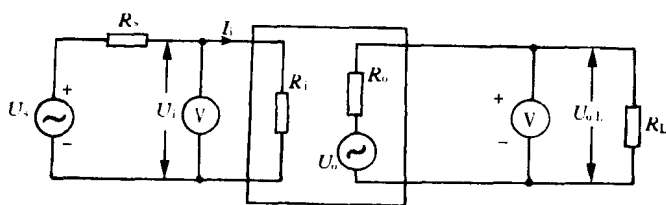


图 1.2.3 放大器测试电路

电路设计提供负载条件。可用串接电阻法测量 R_i ，其测量电路如图 1.2.4 所示。

$$R_i = \frac{U_B}{U_A - U_B} \cdot R \quad (1.2.2)$$

(五) 放大器输出电阻的测量

放大器输出电阻 R_o 的大小能够说明该放大器承受负载的能力。 R_o 越小，放大器输出等效电路越接近于恒压源，带负载的能力越强。 R_o 的测量也可作为后级电路的设计提供条件。测量电路如图 1.2.5 所示。

$$R_o = \left(\frac{U_o}{U_{oL}} - 1 \right) R_L \quad (1.2.3)$$

式中： U_o 为开路电压； U_{oL} 为接上负载电阻 R_L 后测得的电压。

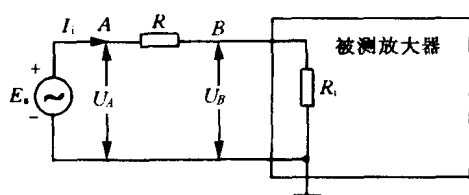


图 1.2.4 测输入电阻的电路

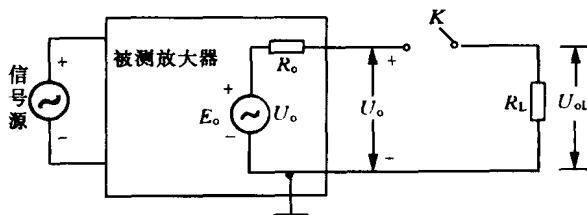


图 1.2.5 测输出电阻的电路

三、实验器材

- | | |
|--------------|-----|
| 1. 低频信号发生器 | 1 台 |
| 2. 示波器 | 1 台 |
| 3. 低频毫伏表 | 1 台 |
| 4. 万用表 | 1 只 |
| 5. 晶体管直流稳压电源 | 1 台 |

四、实验内容及步骤

(一) 按电路原理图 1.2.1 在实验板上接好实验电路，暂不接入负载 R_L 。

(二) 用 JT-1 图示仪测量被测单级放大器的三极管 9014 的 β 值 (可描绘出输出特性曲线，根据所需工作电流、工作电压求出 β 值)，以用来核对下面的实验结果。

(三) 检查实验板接线无误后，方可接通电源。

(四) 研究 R_b 对静态工作点、电压增益及输出波形的影响

1. 调节 R_{wb} 为某一合适的值 (使 T 管工作在放大区)，测量静态工作点，即分别对地测出 U_c 、 U_b 、 U_e 的值，求出 I_{EQ} 、 I_{BQ} 。

2. 在以上静态条件下，用低频信号发生器接入输入信号 $f=1\text{kHz}$ ， $U_i=5\text{mV}$ 。用示波器观

察输出波形,并在波形不失真条件下用电子电压表测量出电压 U_o 。(如输出波形有失真,可适当调节电位器 R_{wb} 。根据测量值计算电压增益 A_u 并与估算值 A'_u 相比较。 A'_u 的计算式是

$$A'_u = -\frac{\beta R'_c}{r_{be}} = \frac{-\beta R'_c}{r'_{bb} + (1 + \beta) \frac{26}{I_{EQ}}} \quad (1.2.4)$$

式中: $I_{EQ} \approx I_{cQ}$; r'_{bb} 在低频时一般取 300Ω 。

3. 逐渐减小 R_{wb} , 观察输出波形的变化; 逐渐增大 R_{wb} , 观察输出波形的变化。并测量输出电压 U_{o1} 、 U_{o2} , 计算出 A_{u1} 、 A_{u2} 。

(五) 测量放大器的输入电阻 R_i

使 $R_L = 3k\Omega$, 输入信号使 $U_s = U_A = 5mV$, $f = 1kHz$, 调节 R_{wb} 使输出波形不失真, 测量 U_B , 并按式(1.2.2)计算 R_i 。

(六) 测量放大器的输出电阻 R_o 。

条件同(五), 先不接负载测出开路电压 U_o , 再接 $R_L = 3k\Omega$, 在 R_L 上测得电压 U_{oL} , 按式(1.2.3)计算 R_o 。

(七) 测量放大器的幅频特性曲线

输入信号 $U_s = 10mV$ 左右, $R_L = 3k\Omega$, 调节 R_{wb} 使输出波形不失真(R_{wb} 调好后不再改变)。改变信号频率(保持 U_i 值不变), 逐点测出相应的输出电压 U_{oL} 并记入表 1.2.1 中, 计算通频带(如有条件可采用两个低频毫伏表分别监测输入、输出电压)。

(八) 研究 R_L 对放大电路静态工作点、电压增益及输出波形的影响

按(四)中的参数, 分别再接入 $R_L = 10k\Omega$ 及 $R_L = 3k\Omega$, 观察输出波形, 测量 U_c 、 I_c 、 U_{oL} , 计算 A_u 并与空载时测量结果相比较。

(九) 研究 R_c 对放大电路的静态工作点、电压增益及输出波形的影响

按实验内容(四)中的数值和条件, 只改变 R_c , 使 $R_c = 4k\Omega$, 观察输出波形, 测量 U_{cQ} 、 I_{cQ} 、 U_o 和计算 A_u , 并与 $R_c = 3k\Omega$ 时测得的结果相比较。

表 1.2.1

$f(Hz)$	10	20	50	200	500	1k	5k	10k	20k	100k	200k
$U_{oL}(V)$											
$A_u = \frac{U_{oL}}{U_i}$											

(十) 观察电源电压 V_{cc} 在 $(12 \pm 2)V$ 变化时对放大器静态工作点、电压增益及输出波形的影响。

五、实验预习要求及思考题

1. 预先画出实验测量仪器连接图。
2. 预先对实验结果给出理论的估计。
3. 整理实验数据, 进行必要的计算, 列出表格, 画出必要的曲线。
4. 讨论 R_{wb} 、 R_c 和 R_L 的变化对静态工作点电压增益及输出波形的影响。
5. 将电压增益的实测值与估算值进行比较并讨论。
6. 作出放大器的幅频特性曲线。
7. 讨论为提高放大器的电压增益应采取哪些措施。
8. 分析放大器输出波形失真的原因, 并提出解决办法。

实验三 集成运算放大器及其应用

一、实验目的

1. 熟悉和掌握以集成运算放大器制作运算电路的设计方法。
2. 掌握运算放大器波形产生电路的设计及调整方法。

二、实验原理

(一) 运算电路的设计

1. 反相放大器

将输入信号通过电阻 R_1 加到运放的反相输入端后,即构成了一个反相放大器,电路如图 1.3.1 所示。反相放大器输出电压则由下式表示:

$$V_o = -\frac{R_f}{R_1} V_i \quad (1.3.1)$$

式中:负号表示输出电压与输入电压的极性相反,即为反相。

该放大器的闭环电压增益为

$$A_{uf} = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_1} \quad (1.3.2)$$

由式(1.3.2)可知,反相放大器的电压增益取决于 R_f 与 R_1 之比。在一定范围内,适当变换它们的电阻阻值,反相放大器的电压增益便可大于、等于或小于 1。

2. 同相放大器

同相放大器就是将输入电压通过电阻 R_1 加到运放的同相输入端,如图 1.3.2 所示。它的输出电压为

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_i \quad (1.3.3)$$

闭环电压增益为

$$A_{uf} = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (1.3.4)$$

由式(1.3.4)可知,无论 R_f 、 R_1 如何变换,同相放大器的电压增益总是大于 1。

3. 加法放大器

将 V_{i1} 和 V_{i2} 分别通过两个输入电阻 R_1 、 R_2 加到运放的反相输入端,即得到一个加法放大器,如图 1.3.3 所示。其输出电压为

$$V_o = -\left(\frac{R_f}{R_1} V_{i1} + \frac{R_f}{R_2} V_{i2}\right) \quad (1.3.5)$$

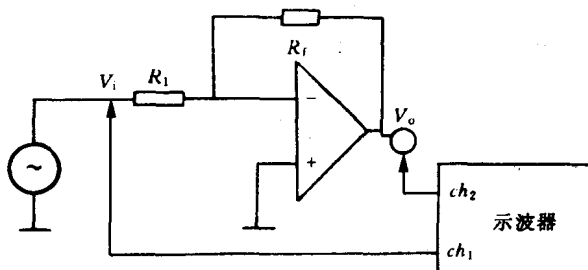


图 1.3.1 反相放大器电路

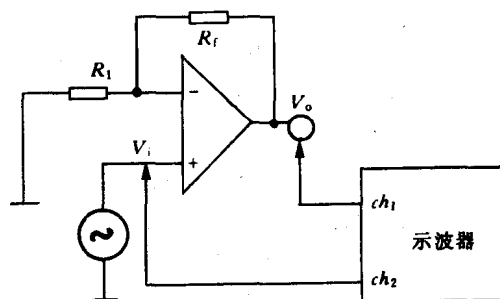


图 1.3.2 同相放大器电路

式中:若使反馈电阻 R_f 分别与 R_1 、 R_2 相等,则此电路的输出电压为

$$V_o = -(V_{i1} + V_{i2}) \quad (1.3.6)$$

4. 差动放大器

差动放大器与加法放大器电路的不同之处在于两个输入信号电压分别加在运放的反相输入端和同相输入端。当 $R_1 = R_2$ 、 $R_f = R_3$ 时,输出电压为

$$V_o = \frac{R_f}{R_1} (V_{i2} - V_{i1}) \quad (1.3.7)$$

且当 $R_f = R_1$ 时,即得减法器公式

$$V_o = V_{i2} - V_{i1} \quad (1.3.8)$$

图 1.3.4 所示的减法器电路,采用了两块集成运放,前级为一同相放大器,它的输出信号的频率和相位不变,后级为减法器。这个电路解决了用一块运放输入两个交流信号作减法所带来的输出相位差的问题。

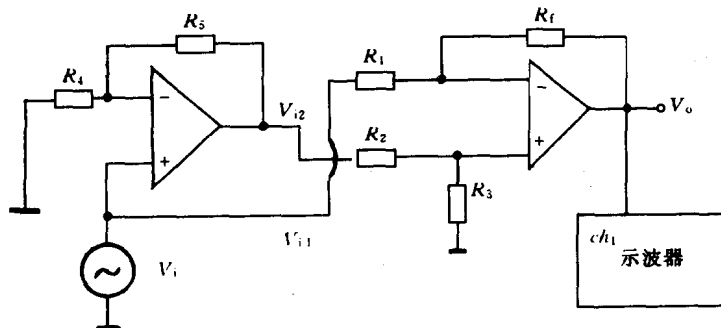


图 1.3.4 差动放大器电路

5. 恒流放大器

在运放的同相输入端输入一个恒定不变的信号电压,若输出电流也恒定不变(在一定的负载范围内),此运放电路就为恒流放大器,如图 1.3.5 所示。恒流值由下式决定:

$$I = \frac{V_i}{R} \quad (1.3.9)$$

当 V_i 不变时,负载电流 I_L 也不变,且与 R_w 无关。

(二)信号产生电路

1. 正弦波发生器

图 1.3.6 所示为文氏电桥正弦波发生器电路原理图。图中反馈网络由文氏电桥组成。组成正反馈的元件 R_1 、 C_1 和 R_2 、 C_2 为电桥的两个臂;组成负反馈网络 R_5 和 R_w 、 R_3 、 R_4 、 D_1 、 D_2 为电桥的另两个臂。电位器 R_w 是用来调节负反馈深度以保证起振条件和改善波形的,两只对接稳幅二极管 D_1 、 D_2 分别在输出电压正负两半周轮流工作。它们的正向电阻随外加电压的增大而减小,就使得负反馈深度随输出幅度的增大而加深,从而达到稳幅的目的。 R_1 是用来适当削弱二极管的非线性影响,以改善波形失真。

设集成运放满足理想化条件,并取 $C_1 = C_2 = C$, $R_1 = R_2 = R$,根据振荡的相位平衡条件,可求得振荡频率为

• 10 •

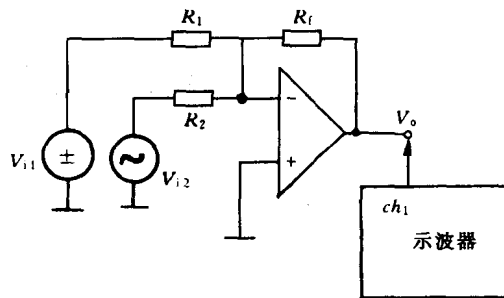


图 1.3.3 加法放大器电路

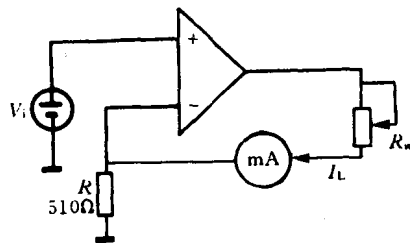


图 1.3.5 恒流放大器电路