

“十三五”高等职业教育系列规划教材

DIANZI JISHU SHIYAN
YU SHEJI

电子技术实验

与设计

主 编 / 吉武庆 张 克

西北大学出版社

“十三五”高等职业教育系列规划教材

DIANZI JISHU SHIYAN
YU SHEJI

电子技术实验

与 设计

主 编 / 吉武庆 张 克
副主编 / 杨 奕 廖维国

西北大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实验与设计 / 吉武庆, 张克主编. — 西安: 西北大学出版社, 2018. 8

ISBN 978-7-5604-4229-7

I. ①电… II. ①吉…②张… III. ①电子技术—实验—高等学校—教材 IV. ①TN-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第189214号

电子技术实验与设计

主 编: 吉武庆 张 克
出版发行: 西北大学出版社
地 址: 西安市太白北路229号
邮 编: 710069
电 话: 029-88303059
经 销: 全国新华书店
印 装: 陕西博文印务有限责任公司
开 本: 787毫米×1092毫米 1/16
印 张: 14
字 数: 260千字
版 次: 2018年8月第1版
印 次: 2018年8月第1次印刷
书 号: ISBN 978-7-5604-4229-7
定 价: 35.00元

本版图书如有印装质量问题, 请拨打029-88302966予以调换。

前 言

本书是为高等职业院校电气类、电子类、自动化类、计算机类和其它相近专业而编著的电子技术基础实验和课程设计教材，主要介绍模拟电子技术实验、数字电子技术实验和电子技术课程设计，目的是将电子技术课程的理论和实践有机地结合起来，加强学生的实验基本技能的训练，提高学习兴趣，增强创新意识，培养和提高学生的实践能力和电子电路的应用能力。

本书分为三章，第一章为模拟电子技术实验，主要包含常用电子仪器仪表的原理和使用、单管放大电路测试，集成运算放大器测试，功率放大器测试和直流稳压电源测试等 18 个实验；第二章为数字电子技术实验，主要包含基本门电路的测试，组合逻辑电路测试，时序逻辑电路测试和集成定时器的使用等 15 个实验；第三章为电子技术课程设计，为了训练和全面系统的提高学生的实际动手和工作能力，整理了近几年来有关模拟和数字电路综合应用的课程设计，主要包含函数信号发生器的设计、直流稳压电源的设计、电子秒表的设计和数字频率计的设计等 9 个课程设计。

本书可作为高职学生模拟和数字电子技术的单科实验指导教材和电子线路的综合实验教材，同时也为高职学生参加各类电子制作、毕业设计和电子设计竞赛提供了极其有用的参考资料。

本书由陕西工业职业技术学院吉武庆、陕西职业技术学院张克任主编，陕西工业职业技术学院杨奕、陕西航空职业技术学院廖维国任副主编，陕西航空职业技术学院崔保记参编。本书由陕西工业职业技术学院杨奕编写第一章实验一至实验八及第三章课程设计一至课程设计四，吉武庆编写第一章实验九至实验十八及第二章实验一至实验六；陕西航空职业技术学院廖维国编写第二章实验七至实验十，崔保记编写第二章实验十一至实验十五；陕西职业技术学院张克编写第三章课程设计五至课程设计九。同时，本书在编写过程中得到了西北大学出版社的热情帮助，在此致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，难免会有不妥和错误之处，热诚欢迎各位专家及广大读者提出宝贵意见，以便修订时改进。

编 者

目 录

第一章 模拟电子技术实验

| | | |
|------|----------------------------|-----|
| 实验一 | 常用电子仪器的使用 | /3 |
| 实验二 | 晶体管共射极单管放大器 | /8 |
| 实验三 | 场效应管放大器 | /15 |
| 实验四 | 负反馈放大器 | /19 |
| 实验五 | 差动放大电路 | /23 |
| 实验六 | 集成运算放大器指标测试 | /27 |
| 实验七 | 集成运算放大器的基本应用 (I) (模拟运算电路) | /33 |
| 实验八 | 集成运算放大器的基本应用 (II) (波形发生器) | /38 |
| 实验九 | 集成运算放大器的基本应用 (III) (有源滤波器) | /43 |
| 实验十 | 集成运算放大器的基本应用 (IV) (电压比较器) | /48 |
| 实验十一 | OTL 功率放大器 | /52 |
| 实验十二 | 集成功率放大器 | /56 |
| 实验十三 | 直流稳压电源 (I) (串联型晶体管稳压电源) | /60 |
| 实验十四 | 直流稳压电源 (II) (集成稳压器) | /65 |
| 实验十五 | RC 正弦波振荡器 | /69 |
| 实验十六 | 压控振荡器 | /73 |
| 实验十七 | LC 正弦波振荡器 | /76 |
| 实验十八 | 晶闸管可控整流电路 | /79 |

第二章 数字电子技术实验

| | | |
|-----|---------------------|------|
| 实验一 | TTL 集成逻辑门的参数测试 | /85 |
| 实验二 | CMOS 集成逻辑门的参数测试 | /91 |
| 实验三 | TTL 集电极开路门与三态输出门的应用 | /96 |
| 实验四 | 加法器 | /101 |
| 实验五 | 译码器及其应用 | /105 |

| | |
|---------------------------------|------|
| 实验六 组合逻辑电路的设计与测试 | /111 |
| 实验七 数据选择器 | /114 |
| 实验八 触发器 | /118 |
| 实验九 移位寄存器及其应用 | /124 |
| 实验十 计数器 | /131 |
| 实验十一 集成定时器 | /137 |
| 实验十二 脉冲分配器及其应用 | /142 |
| 实验十三 单稳态触发器与施密特触发器——脉冲延时与波形整形电路 | /146 |
| 实验十四 使用门电路产生脉冲信号——自激多谐振荡器 | /153 |
| 实验十五 D/A、A/D 转换器 | /157 |

第三章 电子技术课程设计

| | |
|--------------------------|------|
| 课程设计一 温度监测及控制电路 | /165 |
| 课程设计二 用运算放大器组成万用电表的设计与调试 | /171 |
| 课程设计三 函数发生器的设计 | /176 |
| 课程设计四 集成直流稳压电源的设计 | /185 |
| 课程设计五 智力竞赛抢答装置 | /192 |
| 课程设计六 3 位半直流数字电压表 | /194 |
| 课程设计七 电子秒表 | /200 |
| 课程设计八 拔河游戏机 | /205 |
| 课程设计九 数字频率计 | /210 |
| 参考文献 | /215 |

第一章 模拟电子技术实验

实验一 常用电子仪器的使用

一、实验目的

(1) 学习电子电路实验中常用的电子仪器如：示波器、信号发生器、交流毫伏表、数字频率计等的主要技术指标、性能及正确使用方法。

(2) 初步掌握用双踪示波器观察正弦信号波形和读取波形参数的方法。

二、实验原理

在模拟电子技术实验中经常使用的电子仪器有示波器、信号发生器、交流毫伏表及数字频率计等。它们和万用电表一起，可以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 1-1-1 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，直流电源的接线用普通导线。

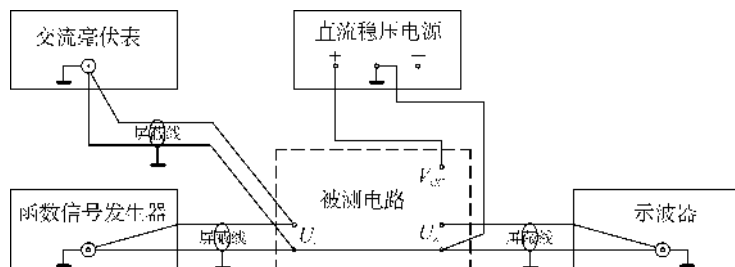


图 1-1-1

1. 双踪示波器

双踪示波器原理和使用可见说明书，现着重指出下列几点：

(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，关上“寻迹”板键，从中

判断光点位置然后适当调节 (\updownarrow) 和水平 (\rightleftarrows) 移位旋钮, 将光点移到荧光屏的中心位置。

(2) 为显示稳定的波形, 需注意示波器面板上的下列各控制开关 (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——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, 仅在作双路同时显示时, 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, 以便找到扫描线或波形, 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。

(4) 在测量波形的幅值时, 应注意 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), 扫描速率“扩展”旋钮置于“推进”位置。

2. 信号源

输出正弦波方波, 锯齿波等;

输出电压幅值 15V;

输出电压频率 50Hz ~ 100kHz。

3. 交流毫伏表

测量正弦交流电压;

工作频率范围: 1Hz—2MHz;

工作电压范围: 1mV—200V。

测量前应先把量程开关置较大量程挡位, 然后调零, 并逐渐减小量程挡位。

三、实验内容

1. 测量示波器内的校准信号

用机内校准信号 (方波 $f = 1\text{kHz} \pm 2\%$), 电压幅度 ($1\text{V} \pm 30\%$) 对示波器进行自检。

(1) 调出波形。

①将示波器校准信号输出端通过专用电缆与 Y_A (或 Y_B) 输入插口接通, 调节示波器各有关旋钮, 将触发方式开关置“自动”位置, 触发源选择开关置“内”, 内触发选择开关置常态, 对校准信号的频率和幅值正确选择扫速开关 (t/div) 及 Y 轴灵敏度开关 (V/div) 位置, 则在荧光屏上可显示出—个或数个周期的方波。

②分别将触发方式开关置“高频”和“常态”位置, 并同时调节触发电平旋钮, 调出稳定波形。体会三种触发方式的操作特点。

(2) 校准“校准信号”幅度。

将 Y 轴灵敏度微调旋钮置“校准”位置, Y 轴灵敏度开关置适当位置, 读取校准信号幅度, 记入表 1-1-1 中。

表 1-1-1

| | 标准值* | 实测值 |
|-------|---------------------|-----|
| 幅 度 | 1V ($P-P$) | |
| 频 率 | 1kHz | |
| 上升沿时间 | $\leq 2\mu\text{s}$ | |
| 下降沿时间 | $\leq 2\mu\text{s}$ | |

注: 不同的型号示波器标准值可以有所不同, 以上只是给初学者一个格式。请视不同的示波器填入不同的标称值。

(3) 校准“校准信号”频率。

将扫速微调旋钮置“校准”位置, 扫速开关置适当位置, 读取校准信号周期, 并用数字频率计进行校核, 记入表 1-1-1 中。

(4) 测量校准信号的上升时间和下降时间。

调节“ Y 轴灵敏度”开关位置及微调旋钮, 并移动波形, 使方波波形在垂直方向上正好占据中心轴上, 且上、下对称, 便于阅读。通过扫速开关逐级提高扫描速度, 使波形在 X 轴方向扩展 (必要时可以利用“扫速扩展”开关将波形再扩展 10 倍), 并同时调节触发电平旋钮, 从荧光屏上清楚的读出上升时间和下降时间, 记入表 1-1-1 中。

2. 测量信号源输出电压波形及频率

令信号源输出的频率分别为 100Hz、1kHz、10kHz、100kHz (数字频率计测量值), 有效值均为 1V (交流毫伏表测量值)。

改变示波器扫速开关及 Y 轴灵敏度开关位置, 测量信号源输出电压频率及峰峰值, 记入表 1-1-2 中。

表 1-1-2

| 信号电压 频率计读数 | 实 测 值 | | 信号电压 毫伏表读数 (V) | 实 测 值 | |
|---------------|---------|---------|-------------------|---------|---------|
| | 周期 (ms) | 频率 (Hz) | | 峰峰值 (V) | 有效值 (V) |
| 100Hz | | | | | |
| 1kHz | | | | | |
| 10kHz | | | | | |
| 100kHz | | | | | |

用示波器测量两波形间相位关系。

(1) 观察双踪显示波形“交替”与“断续”两种显示方式的特点。

Y_A 、 Y_B 均不加输入信号，扫速开关置扫速较低挡位（如 0.5s/div 挡）和扫速较高挡位（如 $5\mu\text{s/div}$ 挡），把“显示方式”开关分别置于“交替”和“断续”位置，观察两条扫描线的显示特点，记录之。

(2) 用双踪显示测量两波形间相位关系。

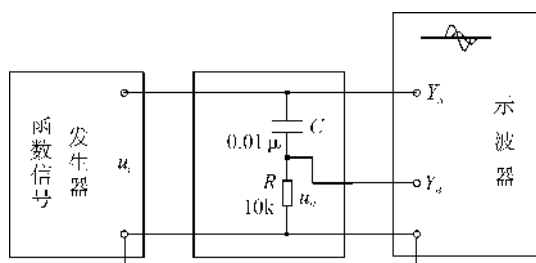


图 1-1-2

①按图 1-1-2 连接实验电路，将信号源的输出电压调至频率为 1kHz ，幅值为 2V ，经 RC 移相网络获得频率相同但相位不同的两路信号 u_i 和 u_R ，分别加到示波器的 Y_A 和 Y_B 输入端。

②把显示方式开关置“交替”档位，将 Y_A 和 Y_B 输入耦合方式开关置“ \perp ”档位，调节 Y_A 、 Y_B 的 $\uparrow\downarrow$ 移位旋钮，使两条扫描基线重合，再将 Y_A 、 Y_B 输入耦合方式开关置“ AC ”档位，调节扫速开关及 Y_A 、 Y_B 灵敏度开关位置，同时将内触发源选择（拉 Y_B ）开关拉出，此时在荧屏上将显示出 u_i 和 u_R 两个相位不同的正弦波形，如图 1-1-3 所示。根据两波形在水平方向差距 X ，则两波形相位差为

$$Q = \frac{x}{X_T} (\text{div}) \times 360^\circ$$

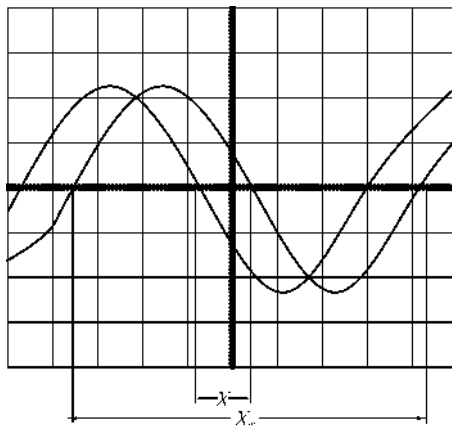


图 1-1-3

式中： X_T ——一周期所占刻度格数

x ——两波形在 x 轴方向差距格数

记录两波形相位差于表 1-1-3 中。

表 1-1-3

| 一周期格数 | 两波形 x 轴差距格数 | 相 位 差 | |
|---------|---------------|-------|-------|
| | | 实测值 | 计算值 |
| $X_T =$ | $X =$ | $Q =$ | $Q =$ |

为读数和计算方便，可适当调节扫速开关及微调旋钮，使波形一周期占整数格。

四、实验报告

(1) 整理实验数据，并进行分析。

(2) 问题讨论。

①双踪示波器采用“常态”“自动”二种触发方式有什么区别？通过实验对它们的操作特点及适用场合加以总结。

②分析内触发源选择开关置于常态和拉 Y_B 时，稳定不同输入通道 (Y_A 和 Y_B) 波形的影响。

③用双踪显示波形，并要求比较相位时，为在荧光屏上得到稳定波形，应怎样选择下列开关的位置？

(a) 显示方式选择 (Y_A ; Y_B ; $Y_A + Y_B$; 交替; 断续)

(b) 触发方式 (常态; 自动)

(c) 触发源选择 (内; 外)

(d) 内触发源选择 (Y_A ; Y_B ; 交替)

五、预习要求

(1) 阅读有关示波器部分内容。

(2) 阅读电子学实验装置的功能及使用方法说明。

实验二 晶体管共射极单管放大器

一、实验目的

- (1) 学会放大器静态工作点的调试方法，分析静态工作点对放大器性能的影响。
- (2) 掌握放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻及最大不失真输出电压的测试方法。
- (3) 熟悉常用电子仪器及电子技术实验台的使用。

二、实验原理

图 1-2-1 为电阻分压工作点稳定单管放大器实验电路图。它的偏置电路采用 R_{B1} 和 R_{B2} 组成的分压电路，并在发射极中接有电阻 R_E ，以稳定放大器的静态工作点。当在放大器的输入端加入输入信号 u_i 后，在放大器的输出端便可得到一个与 u_i 相位相反，幅值被放大的输出信号 u_o ，从而实现了电压放大。

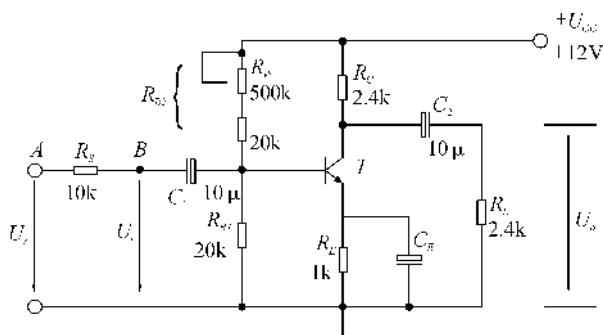


图 1-2-1

在图 1-2-1 电路中，当流过偏置电阻 R_{B1} 和 R_{B2} 的电流远大于晶体管的基极电流 I_B 时（一般 5 ~ 10 倍），则它的静态工作点可用下式估算

$$U_B \approx \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot U_{cc}$$

$$I_E = \frac{U_B - U_{BE}}{R_E} \approx I_C$$

$$U_{CE} = U_{cc} - I_C (R_C + R_E)$$

电压放大倍数

$$A_u = -\beta \frac{R_C \parallel R_L}{r_{be}}$$

输入电阻 $r_i = R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel r_{be}$

输出电阻 $r_o \approx R_c$

由于电子器件性能的分散性比较大，因此在设计和制作晶体管放大电路时，离不开测量和调试技术。在设计前应测量所用元器件的参数，为电路设计提供必要的依据，在完成设计和装配以后，还必须测量和调试放大器的静态工作点和各项性能指标。一个优质放大器，必定是理论设计与实验调整相结合的产物。因此，除了学习放大器的理论知识和设计方法外，还必须掌握必要的测量和调试技术。

放大器的测量和调试一般包括：放大器静态工作点的测量与调试，消除干扰与自激振荡及放大器各项动态参数的测量与调试等。

1. 放大器静态工作点的测量与调试

(1) 静态工作点的测量。

测量放大器的静态工作点，应在输入信号 $u_i = 0$ 的情况下进行，即将放大器输入端与地端短接，然后选用量程合适的直流毫安表和直流电压表，分别测量晶体管的集电极电流 I_C 以及各电极对地的电位 U_B 、 U_C 和 U_E 。一般实验中，为了避免断开集电极，所以采用测量电压，然后算出 I_C 的方法，例如，只要测出 U_E ，即可用 $I_C \approx I_E = \frac{U_E}{R_E}$ 算出 I_C （也可根据 $I_C = \frac{U_{CC} - U_C}{R_C}$ ，由 U_C 确定 I_C ），同时也能算出 $U_{BE} = U_B - U_E$ ， $U_{CE} = U_C - U_E$ 。为了减小误差，提高测量精度，应选用内阻较高的直流电压表。

(2) 静态工作点的调试。

静态工作点是否合适，对放大器的性能和输出波形都有很大影响。如工作点偏高，放大器在加入交流信号以后易产生饱和失真，此时 u_o 的负半周将被削底，如图 1-2-2 (a) 所示；如工作点偏低则易产生截止失真，即 u_o 的正半周被缩顶（一般截止失真不如饱和失真明显），如图 1-2-2 (b) 所示。这些情况都不符合不失真放大的要求。所以在选定工作点以后还必须进行动态调试，即在放大器的输入端加入一定的 u_i ，检查输出电压 u_o 的大小和波形是否满足要求。如不满足，则应调节静态工作点的位置。

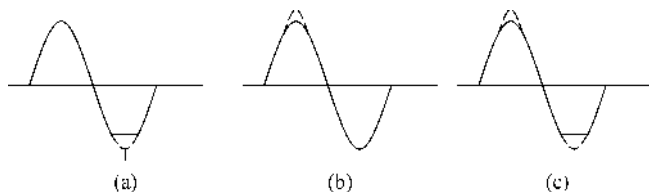


图 1-2-2

改变电路参数 U_{CC} 、 R_C 、 R_B 、(R_{B1} 、 R_{B2}) 都会引起静态工作点的变化, 如图 1-2-3 所示。但通常多采用调节偏电阻 R_{B2} 的方法来改变静态工作点, 如减小 R_{B2} , 则可使静态工作点提高等。

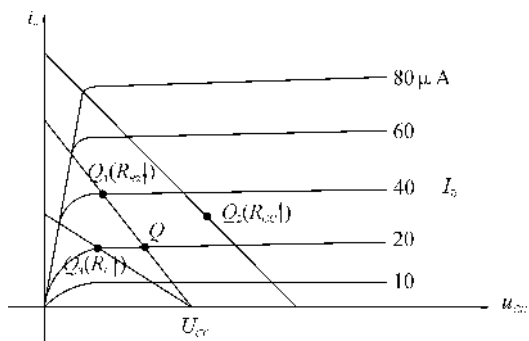


图 1-2-3

最后还要说明的是, 上面所说的工作点“偏高”或“偏低”不是绝对的, 应该是相对信号的幅度而言, 如信号幅度很小, 即使工作点较高或较低也不一定不会出现失真。所以确切地说, 产生波形失真是信号幅度与静态工作点设置配合不当所致。如需满足较大信号幅度的要求, 静态工作点最好尽量靠近交流负载线的中点。

2. 放大器动态指标测试

放大器动态指标测试有电压放大倍数、输入电阻、输出电阻、最大不失真输出电压(动态范围)和通频带等。

(1) 电压放大倍数 A_u 的测量。

调整放大器到合适的静态工作点, 然后加入输入电压 u_i , 在输出电压 u_o 不失真的情况下, 用交流毫伏表测出 u_i 和 u_o 的有效值 U_i 和 U_o , 则

$$A_u = \frac{U_o}{U_i}$$

(2) 输入电阻的测量。

为了测量放大器的输入电阻, 按图 1-2-4 电路在被测放大器的输入端与信号源之间串入一已知电阻 R , 在放大器正常工作的情况下, 用交流毫伏表测出 U_s 和 U_i , 则根据输入电阻的定义可得

$$r_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{\frac{U_s - U_i}{R}} = \frac{U_i}{U_s - U_i} \cdot R$$

测量时应注意

①由于电阻 R 两端没有电路公共接地点, 所以测量 R 两端电压 U_R 时必须分别测出 U_s 和 U_i , 然后按 $U_R = U_s - U_i$ 求出 U_R 值。

②电阻 R 的值不易取得过大或过小, 以免产生较大的测量误差, 通常取 R 与 r_i 为同一数量级为好, 本实验可取 $R = 1 \sim 2\text{k}\Omega$ 。

(3) 输出电阻的测量。

按图 1-2-4 电路, 在放大器正常工作条件下, 测出输出端不接负载 R_L 的输出电压 U_o 和接入负载后的输出电压 U_L , 根据

$$U_L = \frac{R_L}{r_o + R_L} U_o$$

即可求出 r_o 。

$$r_o = \left(\frac{U_o}{U_L} - 1 \right) \cdot R_L$$

在测试中应注意, 必须保持 R_L 接入前后输入信号的大小不变。

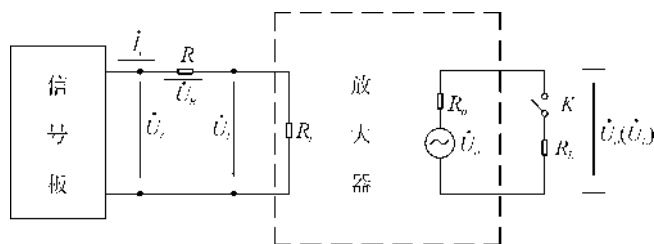


图 1-2-4

(4) 最大不失真输出电压 U_{opp} 的测试 (最大动态范围)。

如上所述, 为了得到最大动态范围, 应将静态工作点调在交流负载线的中点。为此在放大器正常工作情况下, 逐步增大输入信号的幅度, 并同时调节 R_W (改变静态工作点), 用示波器观察 u_o , 当输出波形同时出现削底和缩顶现象时, 说明静态工作点已调在交流负载线的中点。然后反复调整输入信号, 使波形输出幅度最大, 且无明显失真时, 用交流毫伏表测出 u_o (有效值), 则动态范围等于 $2\sqrt{2}U_o$ 。或用示波器直接读出 U_{opp} 来。

(5) 放大器频率特性的测量。

放大器的频率特性是指放大器的电压放大倍数 A_u 与输入信号频率 f 之间的关系曲线。单管阻容耦合放大电路的幅频特性曲线如图 1-2-5 所示, A_{um} 为中频电压放大倍数, 通常规定电压放大倍数随频率变化下降到中频放大倍数的 $1/\sqrt{2}$ 倍, 即 $0.707A_{um}$ 所对应的频率分别称为下限频率 f_L 和上限频率 f_H , 则通频带

$$f_{BW} = f_H - f_L$$

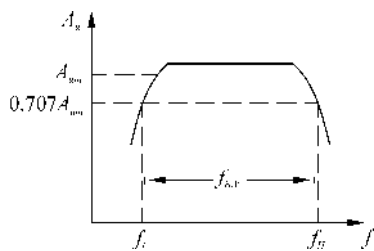


图 1-2-5

放大器的幅率特性就是测量不同频率信号时的电压放大倍数 A_u 。为此, 可采用前述测 A_u 的方法, 每改变一个信号频率, 测量其相应的电压放大倍数, 测量时应注意取