

TN7
30

高等学校试用教材

电子电路实验

南京大学物理系
应用电子学教研室编

人民教育出版社

本书共计 34 个实验, 包括仪器使用、单元电路和一些难度大的综合性实验。由田福生、卢钦民、华明、戴文芳和管素圣合编。

本书连同南京大学物理系应用电子学教研室编的《电子电路基础》一书可作为综合性大学及师范院校物理专业的试用教材, 也可供从事电子电路的工作人员参考。

高等学校试用教材

电子电路实验

南京大学物理系

应用电子学教研室编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 15.5 字数 350,000

1980 年 2 月第 1 版 1980 年 8 月第 1 次印刷

印数 00,001—13,500

书号 15012·0238 定价 1.30 元

前 言

本书与南京大学物理系应用电子学教研室编写的《电子电路基础》一书配套,可供综合性大学和师范院校物理专业作为电子电路实验的试用教材。

为了适应我国电子技术应用的情况,本书基本上采用晶体管分立元件电路,并适当采用了一些集成电路器件(线性和逻辑电路)和结型场效应管。全书采用国际单位制。

全书共计 34 个实验,包括:(1)学习仪器使用方法的实验,如示波器的使用、低频电压的测量、晶体管特性图示仪的使用和晶体管 h 参数的测量等。(2)验证单元电路原理的实验,如单级放大器放大特性的研究、场效应管放大器、负反馈放大器研究之一、 RC 选频放大器、互补对称式功率放大器、双稳态触发器和锯齿波的产生与同步等。(3)综合性的实验,如脉冲参数的测量、电子模拟计算装置、数字电压表和 RC 压控振荡器等。

为了配合课堂教学,由浅入深循序渐进,建议采用本书时,按上述三个类型的实验进行选择,并分为三个小循环。先做熟悉仪器使用方面的实验循环,再做单元电路方面的实验循环,最后做综合性实验的循环。

本书附录中,简单介绍了电路元器件、焊接技术、电子测量技术和仪器使用的方法。在仪器使用说明方面,我们选择了 17 种仪器,选择的原则是通用性好、性能稳定、价格低廉、易于普及。希望这些内容特别是在仪器使用方面,能对电子电路教学和实验室建设有所帮助。

本书是在南京大学物理系应用电子学教研室多年来电子电路实验教学经验基础上编成的。严志华同志任主编,由田福生、卢钦民、华明、戴文芳与管素圣五位同志分工编写,最后由严志华、卢钦民同志统调定稿。

本书由中山大学物理系主持审稿,北京师范大学、山东大学、河南师范大学、上海师范大学、宁夏大学、西南师范学院、山西大学、黑龙江大学、辽宁大学、陕西师范大学和华中师范学院的同志参加了审稿会,与会同志提出了很多宝贵的意见;本书责任编辑郭玉凤同志为本书出版付出了辛勤的劳动;在此一并致以衷心的感谢。

由于我们水平有限,编写时间仓促,书中一定有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

符号说明

一 基本符号

A	放大倍数
B	电纳、通频带宽度
BU	反向击穿电压
C	电容
CP	钟脉冲
D	二极管、稳压二极管、反馈深度
d	失真系数
E	直流电源电压
F	重复频率、反馈系数
G	增益、电导
g_m	跨导
h	h 参数
I	直流电流、交流电流有效值
IC	集成电路
i	交流电流瞬时值
j	$\sqrt{-1}$
K	开关
k	耦合系数
L	电感
M	互感
m	调幅系数
N	电子型半导体、绕组匝数
NF	噪声系数
n	绕组匝数比
P	功率、空穴型半导体
Q	电路品质因数、晶体管、场效应管、电子管、静态工作点、触发器输出端
q	电量
R	电阻、电阻器、直流电阻、外接电阻、等效电阻
R_w	电位器
r	动态电阻、微变电阻、等效电阻
S	稳压系数
T	时间、温度、变压器、重复周期

t	时间、温度
U	直流电压、交流电压有效值
u	交流电压瞬时值
X	电抗
Y	导纳
y	y 参数
Z	阻抗
z	z 参数
α	传输系数、共基极电流放大系数
β	共发射极电流放大系数
γ	纹波因数、(晶体管载流子) 输运系数
η	效率
θ	导电角
λ	波长
μ	载流子迁移率
π	3.14159
σ	导电率
τ	时间常数
φ	相角
ω	角频率
Ω	相对角频率

二 足符

a	电子管阳极、环境(温度)
b	晶体三极管基极
C	电容、载波、 C 型滤波、压控
c	晶体三极管集电极、临界(耦合)
D	场效应管漏极
d	延迟、平均延时、二极管、整流器件
e	晶体三极管发射极
F	反馈
FE	共发射极直流电流放大系数
f	正向传输、下降(时间)
G	场效应管栅极
g	电子管栅极

H	高频截止(频率)
h	高频段、上限(频率点)
i	输入端、电流
j	PN 结
k	电子管阴极
L	负载、低频截止(频率)
l	低频段、下限(频率点)
M	允许最大值
m	峰值、互导、互感
max	最大值
min	最小值
n	中和
o	输出端
off	断开
on	开通
osc	振荡
P	功率
p	夹断(电压)、峰值
R	电阻
τ	反向传输、上升(时间)
S	场效应管源极
s	信号源、存贮、短路、饱和
T	特征(频率)、温度
t	时间
W	宽度(脉冲)
z	齐纳击穿
α	共基极电流放大系数
β	共发射极电流放大系数

π	π 型滤波
Σ	总和(多个元器件串联或并联)
0	谐振、中心(频率)、直流

当需要说明几种含义时, 采用足符依次并列的方法排列。

三 单位

A	安培(安)
$^{\circ}\text{C}$	摄氏度
db	分贝
F	法拉(法)
H	亨利(亨)
Hz	赫芝(赫)
K	开尔文(开, 热力学温度)
S	西门子(西, 等于 1/欧)
s	秒

V 伏特(伏)

W 瓦特(瓦)

Ω 欧姆(欧)

四 词冠

m	毫(毫) 10^{-3}
μ	微(微) 10^{-6}
n	纳诺(纳) 10^{-9}
p	皮可(皮) 10^{-12}
k	千(千) 10^3
M	兆(兆) 10^6
G	吉咖(吉) 10^9
T	太拉(太) 10^{12}

目 录

实验一 示波器的使用	1	实验三十三 电子仪器检修	153
实验二 低频电压的测量	7	实验三十四 实验设计	156
实验三 晶体管特性测量	12	附录一 电路元件及器件	157
实验四 晶体管特性图示仪的使用	15	1 电阻器	157
实验五 晶体管 h 参数的测量	21	2 电容器	162
实验六 单级放大器放大特性的研究	25	3 电感器	167
实验七 单级放大器频率特性的研究	28	4 半导体集成电路	169
实验八 阻容耦合放大器的焊接与调试	33	附录二 焊接与安装技术	173
实验九 场效应管放大器	37	附录三 电子测量技术	178
实验十 负反馈放大器研究之一	41	1 电压的测量	178
实验十一 负反馈放大器研究之二	47	2 频率的测量	179
实验十二 RC 选频放大器	51	3 相位的测量	180
实验十三 LC 选频放大器	57	4 时间的测量	182
实验十四 变压器耦合推挽功率放大器	62	5 失真系数(失真度)的测量	183
实验十五 互补对称式功率放大器	66	6 调幅系数的测量	185
实验十六 差动式直流放大器	70	附录四 仪器使用说明	185
实验十七 稳压电源的焊接与调试	74	1 MF30 型万用电表	185
实验十八 文氏桥振荡器的焊接与调试	78	2 JSS-4A 型晶体管低频 h 参数测试仪	188
实验十九 调幅与检波	82	3 JT-1 型晶体管特性图示仪	192
实验二十 超外差收音机的调整	86	4 DYC-5 型超高频电子管电压表	199
实验二十一 双稳态触发器	92	5 GB-9B 型电子管毫伏表	202
实验二十二 多谐振荡器与脉冲波形变换	95	6 HFP-1 型视频电子管毫伏表	205
实验二十三 锯齿波的产生与同步	98	7 WYJ-6B 型晶体管稳压电源	206
实验二十四 TTL 门电路参数测试	103	8 XD-2 型低频信号发生器	208
实验二十五 脉冲参数的测量	109	9 XFG-7 型高频信号发生器	211
实验二十六 集成电路触发器的研究	116	10 BS1 型失真度测量仪	214
实验二十七 集成运算放大器的应用	120	11 QBG-3 型高频 Q 表	216
实验二十八 电子模拟计算装置	125	12 ST16 型示波器	220
实验二十九 数字式计数器及其应用	131	13 SBE-20 型二踪示波器	223
实验三十 数字电压表	137	14 SBM-10A 型多用示波器	227
实验三十一 LC 压控振荡器	142	15 DF6 型数字繁用表	233
实验三十二 RC 压控振荡器	147	16 E312 型电子计数式频率计	235
		17 低频频率特性测试仪	239

实验一 示波器的使用

一 实验目的

学习示波器的使用方法。

二 实验原理

1. 示波器结构

示波器是用来观察被模拟成电信号的各种物理图象的一种电子仪器。一般示波器包括有示波管、Y轴放大器、X轴放大器、扫描发生器及电源五个主要部分,其结构方框如图 1.1 所示。

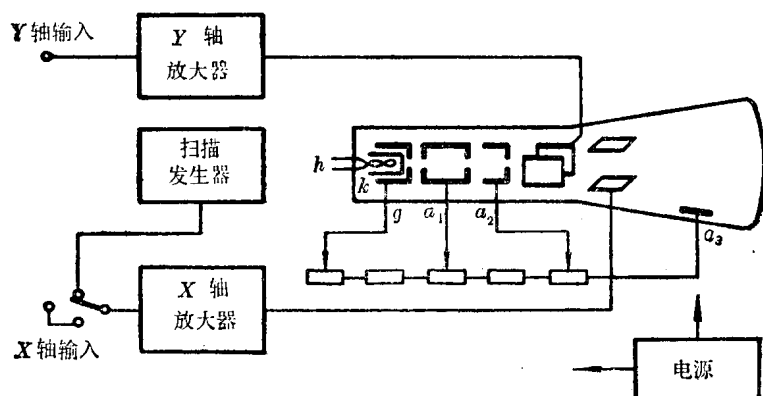


图 1.1

示波管是示波器的中心,它包括电子枪、偏转系统及荧光屏三部分。电子枪包括旁热式阴极 k 、加热阴极用的灯丝 h 、控制栅极 g 、第一阳极 a_1 、第二阳极 a_2 和第三阳极 a_3 (a_3 的作用是使电子再度加速及吸收荧光粉的二次发射电子)。阴极发射出电子流,经控制栅极限流和第一阳极与第二阳极加速聚焦,形成很细的具有一定能量的电子束,打到荧光屏上激发荧光物质发光。通常 a_2 的电压高于 a_1 ,而 a_1 上的电压高于 k ,这样能对阴极发射出的电子加速。且因 a_1 和 a_2 组成一个电子透镜,使电子束聚焦。改变第一阳极电压就可以改变聚焦情况,叫作聚焦调节。另外,由于控制栅极 g 上的电压比阴极低,因而调节 g 的电压就能控制射向荧光屏的电子流密度,从而控制荧光屏上光点亮度,叫作辉度调节。由X(水平)偏转板和Y(垂直)偏转板组成静电偏转系统。在偏转板间加上电压,则板间形成电场。当电子束进入偏转板间就受到垂直于运动方向电场力作用,使电子束运动轨迹偏离轴线。因此当X、Y偏转板加上不同电压时,荧光屏上亮点可以到达屏面上任一位置。

荧光屏内表面上涂有荧光粉,它是非导体。电子束轰击荧光粉,激发产生光点,不同成分的荧光粉,发光颜色不同。一般示波管选用人眼最敏感的黄绿色。荧光粉从激发停止时的瞬间亮度下降到该亮度的10%所经过的时间称为余辉时间。荧光粉的成份不同,其余辉时间也不同。为了适应不同需要,一般可分为长余辉(100毫秒—1秒)、中余辉(1毫秒—100毫秒)、短余辉

(10 微秒—10 毫秒)等不同规格。一般示波器(如 SB-10, ST 16)使用中余辉示波管;慢扫描示波器(如 SB-14)使用长余辉示波管。

Y 轴放大器和 X 轴放大器中包括衰减器和放大电路,用以使外加信号电压适合示波管的偏转灵敏度。

扫描发生器包括锯齿波发生器、同步电路和抹迹电路。锯齿波发生器用以提供线性扫描电压。扫描电压通过 X 轴放大器后加到 X 轴偏转板上。同步电路的作用是使锯齿波与外加同步信号同步。抹迹电路用以隐匿回扫线(参阅实验二十三)。

2. 示波器显示波形的原理

如果在 Y 偏转板上加上被测信号电压, X 偏转板上加锯齿形扫描电压,如图 1.2 所示。由于锯齿电压是在一定范围内与时间成正比的线性电压,因此 X 轴被模拟成时间轴。当电子束进入

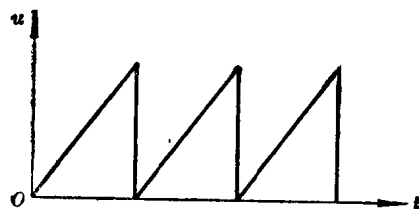


图 1.2

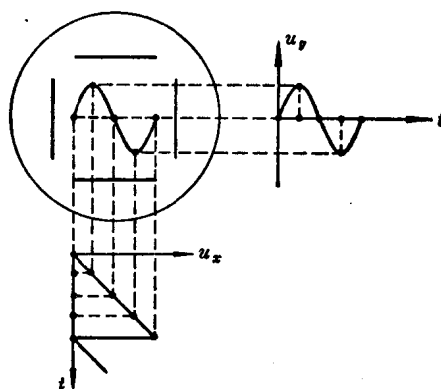


图 1.3

偏转区后同时受到 Y 方向和 X 方向偏转电压的作用,则在荧光屏上显示出被测信号电压随时间变化的波形图。图 1.3 为 Y 偏转板上加上简谐波电压, X 偏转板上加上锯齿波电压所显示波形的合成图。当简谐波电压周期 T_y 与扫描电压周期 T_x 完全相等时,简谐波电压变化一个周期光点正好扫描一次,所以电子束在每一个扫描周期里能在荧光屏上描绘出一个周期的简谐波电压波形。每次扫描的图形完全重合,荧光屏上显示的波形清晰、稳定。当扫描电压周期为简谐波电压周期的两倍时 ($T_x = 2T_y$) 则屏上显示出两个周期的简谐波电压波形。当扫描电压周期为简谐波电压周期 n 倍时,荧光屏上显示出 n 个周期的简谐电压波形,如图 1.4(a)、(b)、(c) 所示。如果 T_x 与 T_y 之间不是整数倍关系,显示波形便出现移动和重叠的现象,无法在荧光屏上观察到清晰稳定的波形。因此要在荧光屏上显示出稳定的被测信号电压的波形,扫描电压周期必须为被测信号电压周期的整数倍,即 $T_x = nT_y$, n 为正整数。但实际上扫描电压与被测信号电压来自两个

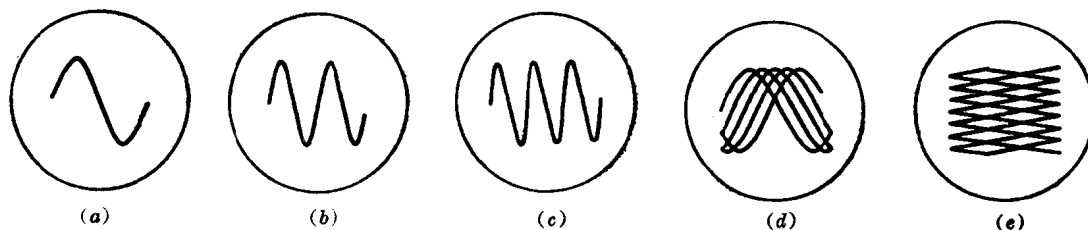


图 1.4

不同的信号源, 周期间的整数倍关系不可能在长时间内保持相对稳定。因此, 即使一开始正好是整数倍关系, 但稍后在屏上将出现波形移动和重叠的现象, 如图 1.4(d)、(e) 所示。

为了能清晰地观察被测信号, 必须设法强迫扫描电压的周期与被测信号的周期成简单整数倍关系, 这种作用在习惯上称为同步。在示波器中实现这一功能的电路称同步电路。

Y 轴放大器用来放大被观察信号, X 轴放大器用来放大锯齿波信号或 X 轴输入信号, 以保证 Y 偏转板与 X 偏转板有足够的偏转电压。

为了使示波器既能观察微弱信号也能观察大信号, Y 轴和 X 轴放大器的放大倍数都可以调节, 并且在放大器前面装有一组由电阻电容组成的补偿式衰减器, 用来衰减大信号, 使大信号通过放大器后不失真。示波器的 Y 轴和 X 轴都具有很高的输入阻抗, 因此示波器对被测信号电路的影响很小。

3. 示波器面板上各旋钮的作用

图 1.5 是 SB-10 型示波器的面板布局图。各旋钮的位置如图所示, 其作用择要分述如下:

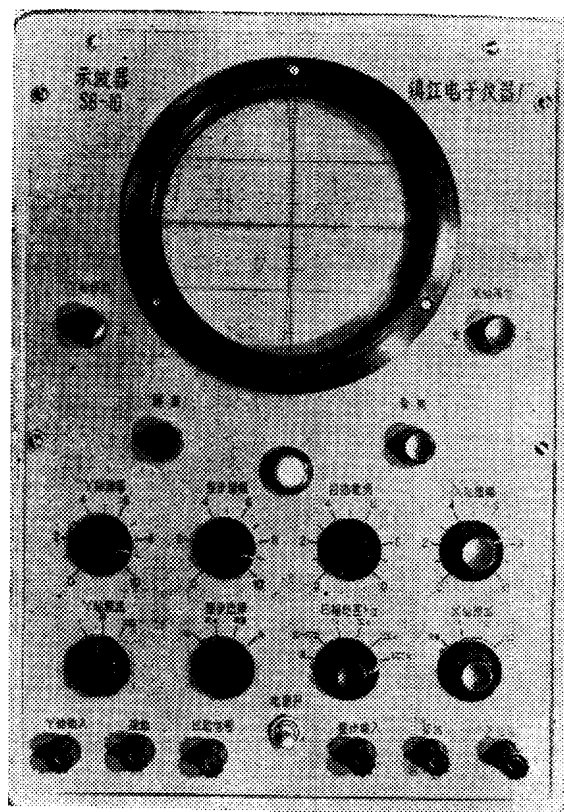


图 1.5

(1) 电源开关

示波器的电源开关。电源接通后指示灯亮。

(2) 辉度

控制荧光屏光点亮度。顺时针方向旋转, 亮度增加。逆时针方向旋转, 亮度减弱。

(3) 聚焦

控制光点聚焦。聚焦良好时,光点应为一清晰的小圆点。

(4) Y轴移位

控制荧光屏上Y(垂直)方向光迹位置。顺时针方向旋转,光迹上移。逆时针方向旋转,光迹下移。

(5) X轴移位

控制荧光屏上X(水平)方向光迹位置。顺时针方向旋转,光迹右移。逆时针方向旋转,光迹左移。

(6) Y轴增幅

控制Y轴放大器放大倍数。顺时针旋转,放大倍数增大。

(7) Y轴衰减

Y轴放大器前面的步级衰减器,分 1 、 $\frac{1}{10}$ 、 $\frac{1}{100}$ 三档。用以衰减过大的输入信号。

(8) X轴增幅

控制X轴放大器放大倍数。顺时针旋转,放大倍数增大。

(9) X轴衰减

X轴放大器前面的步级衰减器,分 1 、 $\frac{1}{10}$ 、 $\frac{1}{100}$ 三档用以衰减过大的输入信号。另有一档“扫描”,当X轴衰减旋钮置于扫描档时,接通示波器内部的扫描信号发生器。

(10) 扫描范围

控制示波器内部扫描发生器的扫描频率。范围分10—100赫、0.1—1千赫、1—10千赫、10—100千赫、100—500千赫五档。扳向“关”时,扫描发生器停振。

(11) 扫描微调

用以微调各扫描档的扫描频率。

(12) 整步选择

即同步信号选择。分“外同步”、“电源同步”、“正极性内同步”、“负极性内同步”四档。使用“外同步”档时,同步信号由“整步输入”接线柱输入。使用“电源同步”时,同步信号由电源变压器引出工业电网50赫交流电压作同步信号。使用内同步时,同步信号由Y轴放大器中间级引出,分正极性与负极性两档。

(13) 整步增幅

控制同步信号电压的幅值,顺时针旋转时,幅值增大。

(14) 试验信号

试验信号引出端。试验信号系由示波器电源变压器接出的50赫交流电压。

三 实验内容和方法

1. 认清示波器各控制旋钮的位置,了解它们的作用。

开启电源,预热五分钟后,调节“辉度”旋钮,使光点亮度适中。将“X轴衰减”旋钮置于扫描

档,并调节“聚焦”、“X轴移位”、“Y轴移位”等旋钮,使荧光屏上显示出一条水平的、清晰的、细而均匀的扫描基线。然后进行下列观测。

2. 观察低频信号发生器的输出波形。

(1) 按图 1.6 连接观察电路。选用频率 $f_y = 100\text{ Hz}$, 幅度 $U_m = 1\text{ V}$ 的输入信号, 不加同步电压, 即将“整步增幅”旋钮逆时针方向旋到底; 调节“Y轴衰减”、“Y轴增幅”、“扫描范围”与“扫描微调”旋钮使荧光屏上分别出现 1 个、2 个或 3 个周期而大小适当的简谐波形。观察波形是否稳定。

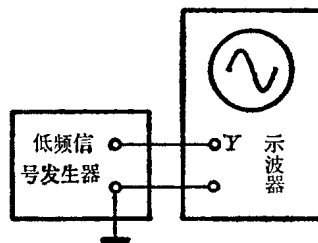


图 1.6

然后选用“内₋”和“内₋”档同步, 观察加上同步电压之后波形是否稳定。

要达到同步, 当被观察信号频率较低时, 先调节扫描频率, 使扫描频率尽量与被观察信号频率成简单整数比, 且扫描频率 f_x 必须小于信号频率 f_y 。当 nf_x 接近 f_y 而不等于 f_y 时, 荧光屏上显示的波形清晰, 但慢慢向左或向右移动。然后调节“整步增幅”旋钮, 逐步增大同步电压, 以获得稳定的同步。但同步电压不宜过大, 否则会使被显示波形失真。当被观察信号频率较高时, 可先加一定的同步电压, 再参考上述步骤调节。

(2) 选用 $f_y = 5\text{ kHz}$, 重复上一项的观察。

(3) 观察“扫描范围”选择不适当时的波形。选用 $f_y = 10\text{ kHz}$, “扫描范围”旋钮置于“10—100”档(即 $f_y \gg f_x$), 和 $f_y = 150\text{ Hz}$, “扫描范围”旋钮置于“10—100k”档(即 $f_x \gg f_y$) 观察这两种情况下的波形。解释观察到的现象[参阅图 1.4(d)、(e)]。

3. 测量示波器 Y 轴最大偏转灵敏度。

“Y轴衰减”置于“1”档, “Y轴增幅”顺时针方向旋到底。输入一简谐电压使荧光屏中部显示出一清晰无失真的波形。量出波形高度, 并测出输入电压的双峰值, 求出 Y 轴最大偏转灵敏度。

4. 测量不用衰减时 Y 轴允许的最大输入电压。观察超过此电压后波形失真的现象。

将“Y轴衰减”置于“1”档。由低频信号发生器输入一简谐信号, 逐步加大低频信号发生器的输出电压, 直至将要出现而尚未出现非线性失真时为止。由低频信号发生器上的电压表, 测出示波器的输入电压值。然后加大输入信号, 观察显示波形失真的现象。调节“Y轴增幅”, 观察波形失真是否消失, 解释其原因。

5. 正确选择同步信号和同步极性的研究。

(1) 分别用“内₊”、“内₋”和“电源”档同步, 观察图 1.7 所示辅助电路中 A、B、C、D、E 各点的波形。(辅助电路的输入信号由低频信号发生器提供。频率可从几百赫到几十千赫任意选择)。再观察示波器“试验信号”引出端引出的工业电网 50 赫交流电压波形。比较用“内₊”、“内₋”及“电源”同步的效果。解释为什么在有些情况下不能同步。

(2) 分别用“内₊”、“内₋”及“外”同步档同步, 观察图 1.7 所示辅助电路中 A、B 两点的波形。比较使用内同步与外同步的区别。解释使用内同步时, 为什么判别不出 A 点波形与 B 点波形间的相移。

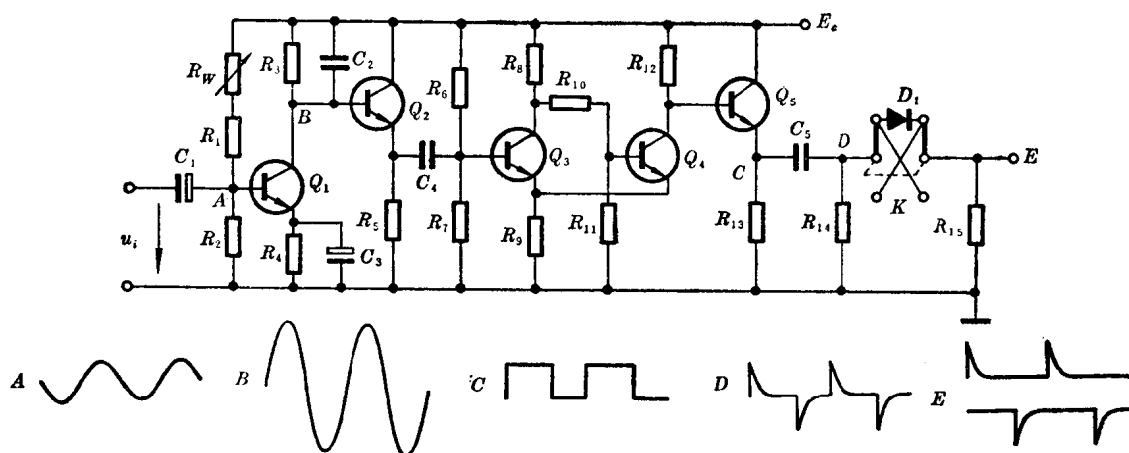


图 1.7

元件参考数值:

$R_W = 30\text{k}\Omega$, $R_1 = 10\text{k}\Omega$, $R_2 = 5.1\text{k}\Omega$, $R_3 = 3\text{k}\Omega$, $R_4 = 510\Omega$, $R_5 = 3\text{k}\Omega$, $R_6 = 10\text{k}\Omega$, $R_7 = 5.1\text{k}\Omega$, $R_8 = 2\text{k}\Omega$, $R_9 = 510\Omega$, $R_{10} = 10\text{k}\Omega$, $R_{11} = 10\text{k}\Omega$, $R_{12} = 1\text{k}\Omega$, $R_{13} = 5.1\text{k}\Omega$, $R_{14} = 56\text{k}\Omega$, $R_{15} = 56\text{k}\Omega$, $C_1 = 30\mu\text{F}$, $C_2 = 0.01\mu\text{F}$, $C_3 = 30\mu\text{F}$, $C_4 = 0.047\mu\text{F}$, $C_5 = 1000\text{pF}$, $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5: 3\text{DG}6$, $D_1: 2\text{CP}12$, $E_c = +12\text{V}$.

6. 用李沙育图法校正低频信号发生器的频率。

以试验电压为标准信号, 用李沙育图法校正低频信号发生器 10—300 赫范围的频率刻度。校正方法参阅附录三·2 用李沙育图法测频率。测量电路连接如图 1.8 所示。

四 实验预习要求

1. 阅读实验原理及附录四·12、四·13, 了解示波器的原理及使用方法。

2. 阅读附录三·2, 了解李沙育图测频率的方法。

3. 思考下列问题:

(1) 甲乙两人分别观察一个 5 伏的简谐波电压, 甲将“Y 轴衰减”置于“1”档(即无衰减), 而把“Y 轴增幅”旋钮旋在“0—2”附近。乙则将“Y 轴衰减”置于“100”档(即衰减 100 倍), 而将“Y 轴增幅”旋钮旋在“6—10”之间。试问谁使用得正确。甲见到的是什么样的波形? 乙又见到什么样的波形? 为什么是这样的波形?

(2) 当 nf_x 接近而不等于 f_y 时, 荧光屏上显示波形向左右移动。当波形向右移动时, nf_x 是大于 f_y 还是小于 f_y ? 当波形向左移动时, nf_x 是大于 f_y 还是小于 f_y ?

五 实验报告要求

1. 记录观察到的波形图及现象, 解释其原因。

2. 通过本实验总结如何正确使用示波器。

3. 思考下列问题:

(1) 以一个已知电压(例如 5 伏)作为输入信号源, 用示波器来测量一个电阻分压器的分压比, 试问应如何测量?

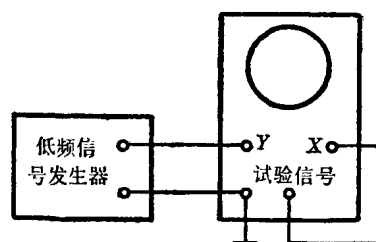


图 1.8

(2) 用一个已知频率为 500 赫的简谐信号输入示波器 Y 轴输入端, 在荧光屏上见到五个波形, 试问此时示波器的扫描频率约为多少赫?

六 实验仪器

- | | |
|-----------------------|----|
| 1. 示波器(SB-10 或 ST 16) | 一台 |
| 2. 低频信号发生器 | 一台 |
| 3. 毫伏表 | 一台 |

七 参考书

1. 人民邮电出版社编辑:《常用电信测试仪器的使用与维护》,第二辑,第 183 页—209 页,1975 年。
2. 华南师范学院物理系孙崇德等编:《无线电电子学》,下册,第 353 页—358 页,人民教育出版社,1977 年。

实验二 低频电压的测量

一 实验目的

1. 学习测量低频简谐电压的方法。
2. 了解测量仪表对被测电路的影响。学会根据测量要求正确选用测量仪表。

二 实验原理

因为在电子技术中,与测量其它电路参数相比较,测量电压比较方便,测量精度也比较高;并且可以用测量电压的方法来间接测量电流、电路品质因数(Q 值)等很多其它电路参量,所以经常会遇到测量各种电压的问题。对于不同类型的电压,例如直流电压与交流电压、简谐电压与非简谐电压、低频电压与高频电压等等,所使用的测量方法与测量仪表是很不相同的。本实验只涉及低频简谐电压的测量。

测量低频简谐电压,一般方法是用伏特表并联在被测电路上直接读数(见图 2.1)。

对伏特表的基本要求是:

(1) 有宽的电压测量范围。一般为了读数精确,分有很多个量程。

(2) 频率响应平直。所谓伏特表的频率响应,是指伏特表适用的频率范围。一般要求在一个很宽的频率范围里保持测量的一致性。

(3) 有较高的灵敏度和高输入阻抗。伏特表测量电压时,并联在被测电路上。它的输入阻抗愈高,对被测电路影响愈小。

(4) 有较高的稳定度。

实验室里常用的测量低频简谐电压的伏特表有整流式伏特表,放大一整流式伏特表及整流

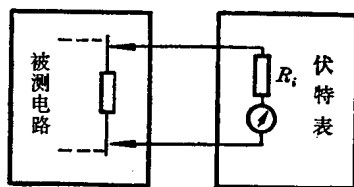


图 2.1

一放大式伏特表等。

1. 整流式伏特表

在电子电路实验室里,常用的整流式伏特表是组装在万用表里的。即万用表交流电压档。它由整流器、电流表和降压电阻构成,其原理图如图 2.2 所示。被测低频简谐电压信号,经电阻降压与二极管整流后,由电流表指示被测电压值。其中整流电路一般采用半波整流电路,见图 2.2 (a)。由二极管 D_1 进行整流。电路中接入二极管 D_2 ,是为了避免反向电压击穿 D_1 。但是,接入 D_2 后,使整流器的输入电容增大,影响上限测量频率。也有采用桥式整流电路的,如图 2.2 (b) 所示。

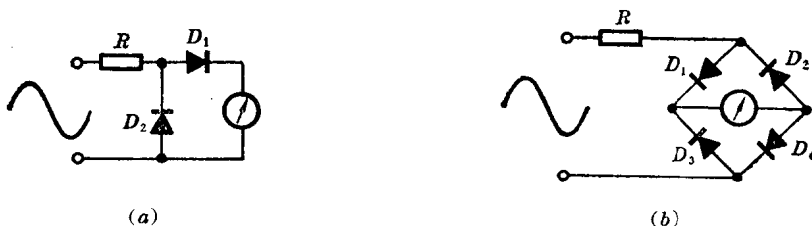


图 2.2

整流式伏特表的灵敏度以欧/伏表示。即表示测量单位电压所需表头满偏转电流愈小,灵敏度愈高。它的大小主要取决于电流表灵敏度与整流器效率^①。例如表头满偏转电流为 100 微安,整流器效率为 45%,则当交流电流达到 222 微安时,才能使电流表满偏转。所以此时整流式伏特表的灵敏度为 4.5 千欧/伏。

一般整流式伏特表可以测量 1 伏以上的电压。当加大串联电阻 R 时,可以扩大量程。所以其输入电阻 R_i 与量程有关。量程愈大,则输入电阻愈大。例如灵敏度为 5 千欧/伏的整流式伏特表,10 伏档输入电阻 R_i 为 50 千欧,100 伏档输入电阻 R_i 为 500 千欧。

如果整流式伏特表输入端没有隔直电容,它的下限测量频率很低,约为 10 赫以下。如果测量含有直流成分的电压,需要在输入端接一个隔直电容 C (一般 $C > 0.1 \mu F$)。此时下限测量频率由时间常数 τ_i 决定 ($\tau_i = CR_i$)。 τ_i 愈大,则下限测量频率愈低。

整流式伏特表的上限测量频率与整流器的输入电容 C_i 有关;取决于时间常数 τ_h , $\tau_h = C_i R_i$ 。由于 R_i 随量程扩展而增大,所以上限测量频率随量程扩展而下降。

整流式伏特表一般按简谐电压的有效值刻度。当被测电压是非简谐电压时,测量结果必须作相应的修正。

由于整流式伏特表体积小,重量轻,又不需要外接电源,使用起来很方便。但是它适用的频率范围较窄。当被测电压频率高于 1 千赫时,会有较大的测量误差。而且输入阻抗较低,不适合用于阻抗较高的电路。灵敏度也较低,不宜于测量微小的电压。使用时应注意判断它的适用范围。

^① 整流器效率 $\eta = \eta' \times K \times 100\%$ 。其中 η' 为整流管效率, K 为整流因子。而整流管效率 $\eta' = 1 - \frac{\text{正向电阻}}{\text{反向电阻}}$ 。对于氧化铜整流器 $\eta' \approx 0.98$, 对于锗二极管 $\eta' \approx 0.98 - 1.00$, 对于硅二极管 $\eta' \approx 1.00$ 。定义整流因子 $K = \frac{\text{整流后的电压平均值}}{\text{整流前的交流电压有效值}}$ 。对于半波整流器 $K = 0.45$ 。所以,对于用硅二极管整流的半波整流器 $\eta = \eta' \times K \times 100\% \approx 45\%$ 。

围,正确估计它的测量误差。

2. 放大—整流式伏特表与整流—放大式伏特表

为了克服整流式伏特表灵敏度低,上限测量频率低,输入阻抗低的缺点,电子电路的测量常应用放大—整流式伏特表与整流—放大式伏特表。

实验室里通常所用的电子管毫伏表与晶体管毫伏表,即所谓放大—整流式伏特表,具有图 2.3(a)所示的方框结构。被测电压先经过交流放大器,再由整流式伏特表检测。这种伏特表灵敏度高,量程广,一般量程从 1 毫伏—300 伏。输入阻抗比较高,其输入阻抗即是伏特表中交流放大器的输入阻抗。输入电阻大约在 500 千欧以上。输入电容约为 40 皮法—70 皮法。它的上限测量频率较高,伏特表的频率响应取决于交流放大器的频率响应,一般为 20 赫—200 千赫。



图 2.3

如果被测电压频率更高,则由于放大—整流式伏特表输入电容较大,加上测量引线分布电容较大,从而降低了输入阻抗,引起较大的测量误差,甚至不能使用。改善的办法是采用探极结构,把高阻抗输入级装在探极中,经阻抗变换以后,再用电缆与本机相连。这样可以大大减小输入电容,提高放大—整流式伏特表的上限测量频率。

但是,放大—整流式伏特表的频率响应,受到表中宽带放大器的频响限制。为了解决这一问题,需要使用整流—放大式伏特表。即通常所用的高频毫伏表,超高频电压表等。[可以是电子管的,也可以是晶体管的,其方框结构如图 2.3(b)所示。]这种整流—放大式伏特表将整流器装在探极中,大大减小了输入电容及测试引线的分布电容,提高了输入阻抗。被测电压整流以后再经过直流放大,由电流表检测。这种伏特表上限测量频率一般可达几十兆赫以上,输入电阻约几十千欧,输入电容约几个皮法。

放大—整流式伏特表与整流—放大式伏特表一般都按简谐电压的有效值刻度。因此,也只能测量简谐电压。

3. 伏特表输入阻抗引起的测量误差

任何一个被测量电路,都可以用图 2.4 虚线左边所示的电路等效。由于伏特表输入阻抗 Z_i 的存在而引起的测量误差为

$$\frac{\Delta U_o}{U_o} = \frac{U_o - U'_o}{U_o} = \left| \frac{Z_o}{Z_o + Z_i} \right|$$

所以当 Z_i 愈大时,测量误差愈小。

三 实验内容与方法

1. 测量伏特表的频率响应

测量伏特表频率响应的方法是保持信号发生器输出电压不变,测出伏特表的读数随频率变化的关系。

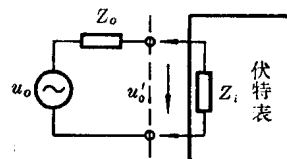


图 2.4

(1) 测量万用表交流电压档(整流式伏特表)的频率响应。

按图 2.5 连接测量电路。以低频信号发生器上的伏特表为标准伏特表,在 5 赫到 15 千赫范围内保持低频信号发生器输出电压为 5 伏。用万用表交流电压 10 伏档去测量低频信号发生器的输出电压,记录万用表上读数随频率变化的情况。

(2) 测量电子管毫伏表(放大一整流式伏特表)的频率响应。

按图 2.5 连接测量电路。以低频信号发生器上的伏特表为标准伏特表,在 10 赫到 300 千赫范围内保持低频信号发生器输出电压为 5 伏。用电子管毫伏表 10 伏档测量低频信号发生器的输出电压,记录电子管毫伏表上读数随频率变化的情况。

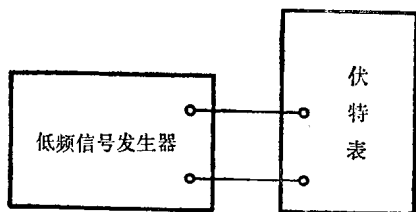


图 2.5

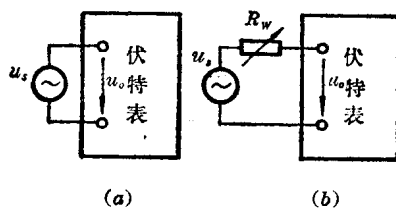


图 2.6

2. 测量伏特表的输入电阻(即伏特表内阻)

(1) 测量万用表交流电压档的输入电阻。

按图 2.6 连接测量电路。先如图 2.6(a) 用万用表交流电压 10 伏档测量低频信号发生器输出的 500 赫、5 伏的电压值。再按图 2.6(b) 串接可变电阻 R_w , 调节 R_w 使测量读数下降为原读数的一半。则此时的 R_w 值即为万用表交流电压 10 伏档的输入电阻值 R_i 。

改用万用表交流电压 500 伏档,测量 50 赫、220 伏工业电网电压;重复上述测量步骤,测出万用表交流电压 500 伏档的输入电阻 R_i 。

(2) 测量电子管毫伏表的输入电阻。

按图 2.6 连接测量电路。采用适当的信号源,选择适当的量程,测出电子管毫伏表的输入电阻 R_i 。

3. 研究伏特表输入电阻对测量结果的影响

以低频信号发生器上的伏特表为标准,保持低频信号发生器输出电压 U_s 不变。如图 2.7 连接辅助电路,把辅助电路作为信号发生器的一部分。辅助电路的分压比保持不变。用以改变被

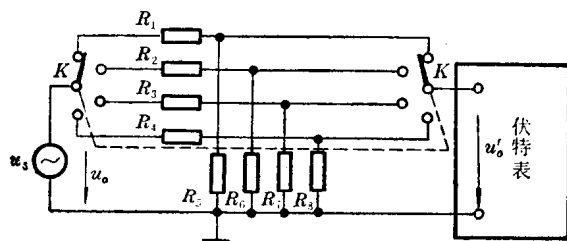


图 2.7

元件参考数值:

$R_1 = R_6 = 100\Omega$, $R_2 = R_5 = 10k\Omega$, $R_3 = R_7 = 1M\Omega$, $R_4 = R_8 = 10M\Omega$.

测低频信号发生器的输出电阻（即信号源内阻）。然后分别用万用表交流电压 10 伏档与电子管毫伏表 10 伏档去测低频信号发生器经过辅助电路的输出电压 U'_0 。考察低频信号发生器输出电阻升高时，伏特表的读数误差。

四 实验预习要求

1. 了解低频简谐电压测量原理。
2. 了解各种伏特表的结构与应用范围，阅读附录四·1, 四·4, 四·5, 四·6。
3. 明确实验内容及方法，列出实验步骤。
4. 思考下列问题：

(1) 测量伏特表频率响应时，能否保持伏特表上读数不变，而读取信号源上标准伏特表上读数随频率的变化值？为什么？

(2) 为什么能采用本实验中叙述的方法来测量伏特表的输入电阻？

(3) 测量伏特表输入电阻时，需要测量串联电阻 R_w 的数值。应该怎样测量？

五 实验报告要求

1. 列出测试数据。
2. 根据测量结果作出万用表与电子管毫伏表的频率响应曲线。求出这两种伏特表读数误差不超过 $\pm 2.5\%$ 的频率范围。

3. 根据测试结果分析信号源输出电阻升高时，伏特表（万用表与电子管毫伏表）输入电阻引起的测量误差，并与计算值比较。

4. 思考下列问题：

(1) 万用表的输入电阻为什么与量程有关？电子管毫伏表的输入电阻为什么基本上与量程无关？

(2) 当被测简谐电压频率很高时，（例如 $f \gg 200 \text{ kHz}$ ），测量电压时应注意哪些问题？这时影响伏特表输入阻抗的主要因素是输入电阻还是输入电容？高频伏特表中采用什么办法来减小输入电容？

(3) 当被测电压波形不是简谐波时，用什么方法来测量其电压？

六 实验仪器

- | | |
|------------|----|
| 1. 万用电表 | 一只 |
| 2. 毫伏表 | 一台 |
| 3. 低频信号发生器 | 一台 |

七 参考书

1. 赵宝义编著：《万用电表》，第 38 页—52 页，上海人民出版社，1974 年。
2. 国营华南器材厂技术情报室译，[美]D. L. 约翰著：《实用电子学测试与测量手册》，第 11 页—18 页，国防工业出版社，1977 年。
3. 南京大学物理系应用电子学教研室编：《无线电基础实验》，第 12 页—21 页，高等教育出版社，1965 年。