

实用电子线路实验

朱文科 俞桂霞 编著

兰州大学出版社



内 容 提 要

《实用电子线路实验》是为适应职业技术教育而开设的“电子线路”课程而编写的。全书内容包括低频、高频电子线路实验13个，其中有：（1）常用仪器的原理和使用；（2）单级阻容耦合放大器；（3）场效应管单级放大电路；（4）负反馈放大器；（5）变压器耦合推挽功率放大器；（6）集成运算放大器；（7）LC振荡器；（8）文氏桥正弦振荡器；（9）调谐放大器；（10）调幅与检波；（11）调频与鉴频；（12）超外差收音机的安装与调整；（13）振荡、调制和无线电发送。另外，还摘录了实验中用到的部分器件的参数和部分仪器的使用方法。

本书选材得当，说理清楚，论证充分，可供中等职业技术学校电子技术专业作实验教材，也可作为电子技术专业实验参考书和从事电子技术工作的同志参考。

前 言

电子技术是一门年轻的学科，它的发展速度很快，应用范围很广，其渗透能力已经引起了世人的注目。我们熟知的无线电通讯、电视广播、电子计算机和各种自动化设备、电子医疗器械、射电望远镜、人造卫星、宇宙航行以及家用电器等等，无不和电子技术有着紧密的联系和深深的依赖。

当今，在大学、中专、中技及职业技术学校，大都设有电子技术专业课，很多教师从事这门学科的教学和研究。本书编者为兰州职业技术学校教师，多年讲授电子线路课并指导学生实验，在实验过程中，深感亟须有一本实验教材，俾使学生能事先预习，事后能巩固所学知识。由于缺乏教材，只好自己动手编写讲稿，其后多次修改。在应用中，反应良好。今将此讲稿加以整理，编成《实用电子线路实验》一书，目的是和同行交流教学经验，改进和提高教学工作。

全书内容包括低频和高频实验线路 13 个，在这些实验中，均安排了几个较基本的单元电路实验，这种实验除了能使学生巩固电子线路课程理论教学所学的知识外，主要是为了训练学生正确的使用仪器，掌握测量电路数值的方法，以及提高实际操作的技能，达到能够安装、调试超外差收音机以及较复杂的电子装置之目的。书后还有附录，摘录了实验中用到的部分器件参数和部分仪器的使用方法。

本书还兼顾到学科的先进性和普及性，由浅入深。又考虑到电子技术发展和各校目前实验室设备不尽相同的状况，我们着重介绍常用仪器的特点和使用方法。当前仪器设备的更新是学校的很大经济负担，但是对较低水平的仪器若使用得法，也可以得到较好的实验效果，使学生对所用仪器的性能以及测试对象的性质、原理及方法有更深入的理解。在实验所用电路方面，用得较多的是基本单元电路和分立元件电路，但实验不仅在于对一个具体单元电路的认识，更在于对电路各种指标的测试方法，这些方法同样适用于复杂电路和集成器件组成的电路。

在使用本书时，建议给学生安排 144 课时，分两个学期使用，其中 $1/3$ 时间用来讲授实验技术和测量方法， $2/3$ 的时间用来进行实验动手操作。对于其中含有两项实验内容的实验以及带有“※”号的实验或内容，可根据情况加以取舍。

本书实验二——八由朱文科编写；实验一、九——十三及附录一、二、三、四由俞桂霞编写。因为本书原系本校教材，参考了已发表的一些科研成果和同行在教学中好的经验，有的写入书中，当时在讲稿中没有注明出处，现难于一一查明注出，请谅解并致谢。

在编写过程中，得到了中国电子学会科技咨询委员会特邀委员、兰州市电子学会理事长张问骅教授、甘肃电子学会理事长、兰州长风机器厂孙勋先高级工程师大力支持，并主审全书；在出版中，兰州市教育局职教处刘广太处长、兰州职业技术学校刘恩良校长、侯德生副校长均予以大力支持，在此表示谢忱。

目 录

实验须知	(1)
实验一: 常用仪器的原理和使用	(2)
实验二: 单级阻容耦合放大器	(40)
实验三: 场效应管单级放大电路	(56)
实验四: 负反馈放大器	(61)
实验五: 变压器耦合推挽功率放大器	(70)
实验六: 集成运算放大器的应用	(82)
实验七: LC振荡器	(95)
实验八: 文氏桥正弦振荡器	(100)
实验九: 调谐放大器	(110)
实验十: 调幅与检波	(119)
实验十一: 调频与鉴频	(132)
实验十二: 超外差收音机的安装与调整	(149)
* 实验十三: 振荡、调制和无线电发送	(158)
附录一: 常用电路的元件和器件	(161)
附录二: BS1型失真度测量仪	(180)
附录三: XFG—7 高频信号发生器	(185)
附录四: SBT—5 型示波器的使用方法	(189)

实验须知

1. 实验前必须认真预习，阅读实验指导书，明确实验目的、内容及实验步骤、方法，并做数据记录表格等准备工作。

在实验课上，教师要对预习情况进行抽查提问。抽查通不过者的不得参加本次实验。

2. 接线完毕后，必须经教师检查同意，方可接通电源进行实验。在改接线路之前，必须关断电源，不得带电操作。

3. 实验完毕后，先由本人检查实验数据是否符合要求，然后再请教师检查，经教师认可后再拆线，并将所有设备放回原处，离开实验室。

4. 仪器设备是国家财产，必须倍加爱护，若有损坏情况，应立即报告指导教师检查处理。

室内仪器设备，不准任意搬动调换。

5. 遵守实验室规则，实验时要严肃认真，保持安静、整洁的学习环境。

实验一 常用仪器的原理和使用

在实验中要遇到各种各样的电子仪器，正确了解常用仪器的原理并掌握其使用方法，是学好实验课的基础，因而在第一个实验中，将介绍几种常用仪器的工作原理和使用方法。共介绍四种仪器：电子管毫伏表、低频信号源、示波器和JT—1型晶体管特性图示仪。

电子管毫伏表

电子管毫伏表是用来测量交流电压的有效值的一种常用仪器，它与电学实验中所用的电压表比较，有如下突出优点：

精度高，测量准确。

输入阻抗高，输入电容小。

可测量的频率范围极宽。

有很高的灵敏度，且被测电压范围很宽（从毫伏到数千伏）。

一、工作原理

其基本原理是利用电子管将被测交流电压放大检波，使之成为直流，然后用高灵敏电流表来读它的大小。

电子管毫伏表可分为高频和低频两种：前者先检波后放

大，如图 1—1 所示。它的好处在于可以将检波器装在特制的探头内，以便拿到被测电压近旁测量。从而可以缩短引线长度，提高了被测频率限度（可达数百兆赫）。这种表一般称为高频毫伏表。

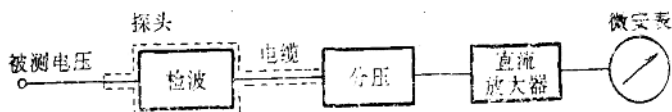


图 1—1

后者为先放大后检波如图 1—2 所示。它的优点是具有较高的灵敏度（可测 10mV 以下的电压）。但由于交流放大器频带的限制，故可测频率不很高。一般可达十千赫至数百千赫。这种表一般称为低频毫伏表。

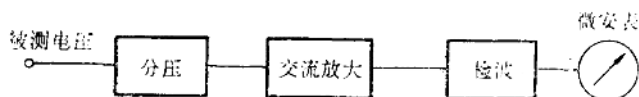


图 1—2

在电子管毫伏表中，要求输入端接地时（即无输入电压），表头指示为零。但由于电子管具有起始电流，所以即使输入端短路，仍有电流流过表头，指示也就不为零，若不克服将会造成该数误差，因而在电路中增加了一个补偿电路，用以产生一个反方向的电流来抵消起始电流，调节这个电流的大小，就可以使指针为零。这是电子管毫伏表的一个特点，也是测量前必须做的工作。

二、典型仪器——GB—9B 电子管毫伏表

1. 主要技术指标：

测量电压范围：1mV——300V

量程为：10—30—100—300mV

1—3—100—300V

被测电压频率范围：25Hz—200KHz

测量固有误差：在温度 $+20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 时

信号频率为50Hz时，不超过容量满刻度值的 $\pm 2.5\%$ 。

输入阻抗：1KHz时 输入电阻不低于1M Ω

输入电容不大于40PF

电源：110伏或220V 50Hz

供电电压变化 $\pm 10\%$ 时，仪器指示值改变不超过 $\pm 2.5\%$

功率消耗： $< 30\text{VA}$

外形尺寸及重量：340×210×235mm³，8kg

2. 使用方法：

①将量程开关放到最大档上，接通电源预热5分钟。

②将输入端短路，量程开关放最小档，调节调零旋钮使表头指示为零。如果在测量中，量程始终不变，亦可在使用的量程上调零。

③根据被测电压大小，选择适当的量程，若预先不知被测电压的大小，应将量程放在最大档。

④将被测电压接入毫伏表，接线时应先接地线，再接另一条线，接好后，将量程开关由最大档逐渐减少，最后根据量程大小，由表头上的刻度读出电压值。

⑤用完后，应先将量程放到最大档，然后关掉电源。

3. 注意事项：

①被测电压输入时，必须先接地线。

②两根线不宜过长，否则输入电容增大，将会影响实验结果。

XD1型信号发生器

在实验中，需要为待测实验电路输入一个信号。然后才能进行各项指标的测量。例如由输入信号的幅度和输出信号的幅度可以求出实验电路的增益；改变输入信号的频率看输出端的响应，可以测出实验电路的幅频特性……等等。一般情况下，这个输入信号是正弦波，XD1型信号发生器就是产生正弦波的信号源，它是一种低频信号源，能产生1Hz—1MHz的正弦波。同时它具有电压输出和功率输出两种功能，仪器内还附有电压表。可以供本机输出电压的测量，也可供外部测量。

一、XD1信号发生器的工作原理

1. 整机方框图：

由文氏桥振荡器、放大器、保护电路、电表电路、电源五部分组成，如图1—3所示。

2. 文氏桥振荡器：

文氏桥振荡器由放大器、正反馈回路（即文氏电桥）、负反馈回路三部分组成如图1—4所示。

文氏桥正弦振荡器是利用正反馈可以使电路产生自激振荡的原理。产生波形好、失真小且频率能够连续改变的正弦波。频率的改变是通过文氏电桥中电阻和电容数值的改变来

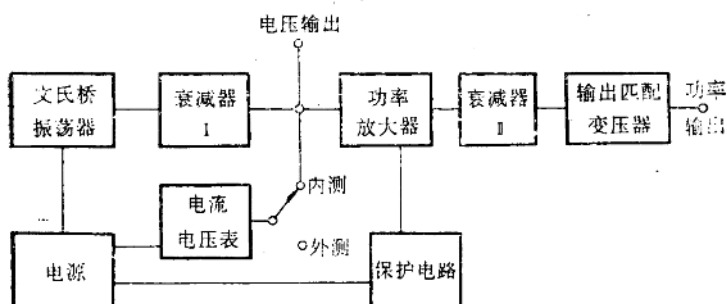


图 1—3

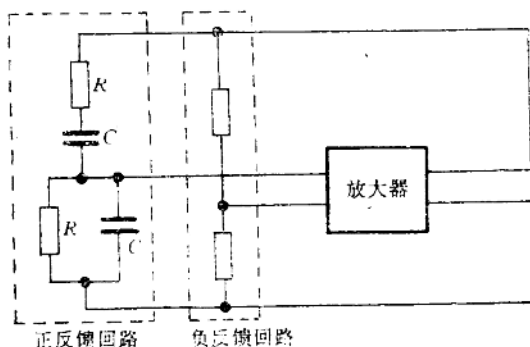


图 1—4

达到的。一般频率换段和改变（即粗调）通过改变桥路电容实现，每一段内频率的连续改变（即细调）是通过改变桥路电阻实现。

3. 功率放大器及保护电路：

振荡器产生的正弦信号通过功率放大器后，能够输出将近 4 W 的正弦波，这样就扩大了仪器的用途，即不但可以作为电压源使用，而且可以作为功率源使用。

功率放大器是一个宽频带放大器，它能够将1Hz—1MHz的正弦波信号进行不失真的放大，保护电路是在本仪器作为功率源使用时起保护作用，在输出短路或者过载时能够进行自动保护，并能通过面板上的过载指示灯向使用者发出警告，过载现象消失后能够自动恢复。

功率放大器的输出端接有一个阻抗匹配变压器，以适应各种不同负载50Ω、75Ω、150Ω、600Ω及5KΩ时的阻抗匹配，以达到最大功率输出。

二、XD1信号发生器的主要技术指标

1. 频率范围：1Hz—1MHz

2. 输出幅度：

电压输出 1Hz—1MHz $> 5\text{ V}$

功率输出 10Hz—700MHz (50Ω、75Ω、150Ω、
600Ω)

10Hz—200MHz (5 KΩ) $> 4\text{ W}$

3. 非线性失真：

电压输出 20Hz—20MHz $< 0.1\%$

功率输出 20Hz—20MHz $< 0.5\%$

4. 交流电压表：

量程 5 V、15 V、50 V、150 V四档

误差 2 Hz—1 MHz $\pm 5\%$

输入电阻 $> 100\text{ K}\Omega$

输入电容 $< 50\text{ PF}$

功率：内测 外测

5. 电源：220 V 50Hz

6. 功率消耗: $< 50 \text{ V A}$

7. 外形尺寸: $445 \times 400 \times 1700 \text{ mm}^3$

8. 重量: 17 kg

三、使用方法

1. 作电压源使用由电压输出端输出。作功率源使用时, 由功率输出端输出, 并将“功率开关”接通。选择合适的阻抗, 接好负载。

2. 将“输出幅度”旋至最小, 打开电源预热 5 分钟, 要想达到足够的频率稳定, 应预热 30 分钟。

3. 按照所需要的频率选好频段并调好频率旋钮。

4. 将信号接入实验电路, 将电压表置于“内测”, 调节“输出幅度”及“衰减”旋钮, 调节输出幅度到所需要的数值(为了准确测量, 一般用电子管毫伏表监测输出幅度)。

5. 仪器使用完毕, 应先将“输出幅度”旋至最小, 然后关掉电源。

6. 交流电压表用于“外测”时, 选择好适当的量程并由电缆线输入电压表。

电子示波器的原理和使用

示波器是电子线路实验中的“眼睛”, 通过它能够使我们直接观察到被测信号的变化规律, 即波形图。有了波形图, 就可以直接看清信号的特征, 并能够测出信号的一系列重要参数, 如信号的幅度、周期(或频率)、相位……等等。因此, 示波器是实验中用途极广的电子仪器, 在电子科学技

术中，示波器几乎是不可缺少的重要工具。所以，清楚的了解示波器的工作原理，并熟练掌握示波器的使用方法，是学好本实验课的前提和关键。

一、示波器的基本原理

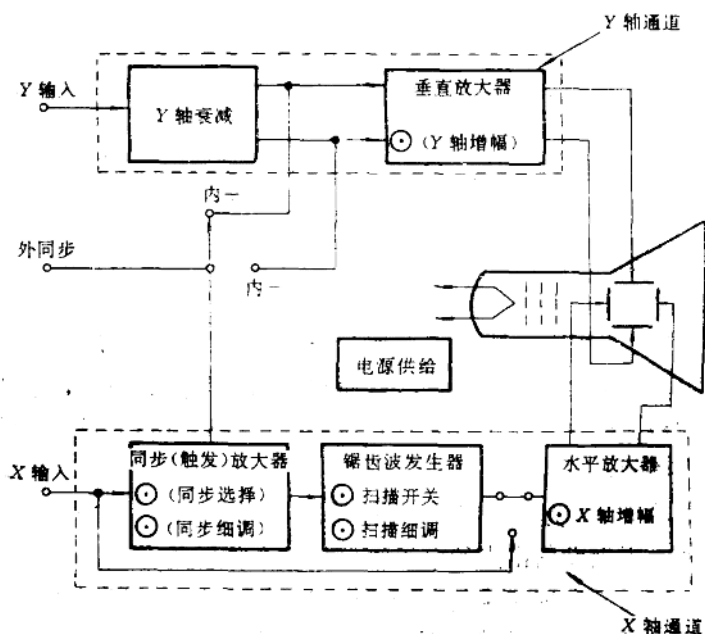


图 1—5

一般通用示波器由四部分组成：示波管、X轴通道、Y轴通道、电源供给。其方框图如图 1—5 所示。下面先从示波管谈起。

1. 示波管：

示波管是示波器的核心。它由三部分组成：电子枪、偏

转板和荧光屏。最简单示波管的结构如图 1—6 所示。

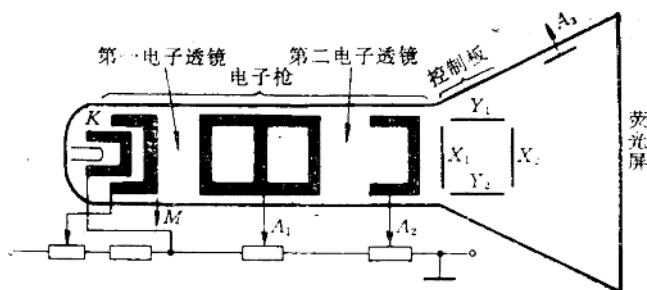


图 1—6

K 为阴极，内有灯丝。当灯丝通电发热时对阴极加温，从而使阴极发射电子。

M 为栅极。一般栅极上加一个比阴极略负电压。来控制阴极发射的电子流强度，从而也控制了光点的亮度。示波器面板上的“辉度”旋钮，就是用来控制栅极和阴极之间的电位差的。

A_1 、 A_2 为第一第二阳极，其作用有两个：一个作用是加速由阴极发射出来的电子流；另一个作用是组成电子透镜。使阴极发射出来的电子流聚焦，并使焦点正好落在示波管的荧光屏上，示波器面板上的“聚焦”旋钮就是调节第一阳极的电位；“辅助聚焦”旋钮就是调节第二阳极的电位。一般 A_1 上对阴极加数百伏正电压， A_2 上对阴极加数千伏正电压。

X_1 、 X_2 、 Y_1 、 Y_2 分别为水平偏转板和垂直偏转板，其作用是使被加速、聚焦后的电子束作水平方向和垂直方向的运动。

A_3 为后加速阳极，它的作用是把经过偏转板的电子束再一次加速，使其具有更高的速度，从而增强光点的亮度並有吸收荧光粉二次发射电子的作用。一般 A_3 上的电压可达数千伏至上万伏。

荧光屏是在玻璃管底部的内壁上涂敷一层或几层荧光物资。当电子枪射来的电子束打在荧光屏上，受到冲击的部位就会局部发光。光点的亮度与荧光物质、电子束的速度、密度有关。

阴极 K 、栅极 M 、第一加速阳极 A_1 和第二加速阳极 A_2 构成电子枪，当电子枪发射出来的电子束经过偏转板时，如果偏转板上未加任何电压，则电子束将沿着电子枪的轴线前进，打在荧光屏的中心点 O 上，如图 1—7 所示。当把信号电压 V ，加在垂直偏转板 Y_1 、 Y_2 上，两板之间就会形成一个静电场，电子束进入偏转板后，在静电力的作用下，就会向高电位的一边偏转，作抛物线运动，当电子束飞出偏转板时，就会沿着抛物线边缘处的切线作直线运动。打在荧光屏 A 点， O 点与 A 点之间的距离为偏转距离 y ，其值的大小由下式决定：

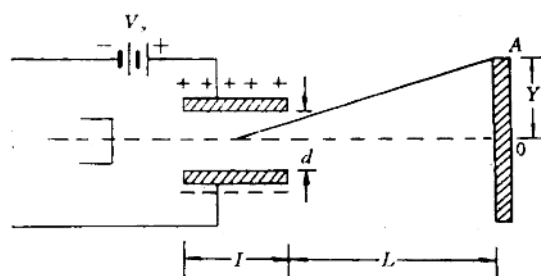


图 1—7

$$y = \frac{1}{2} \frac{V_y \cdot I \cdot L}{d V_x}$$

式中 V_x 为第二阳极对阴极的电位差， I 、 L 、 d 都是示波管的几何尺寸。

同样，若给水平偏转板 X_1 、 X_2 上加一电压 V_x ，则电子束将沿水平方向偏转，偏转距离 x 也用上式表示。只是将式中的 V_y 换为 V_x 、 d 、 I 、 L 换成水平偏转板的几何尺寸。

2. 工作原理：

当了解了示波管的构造和原理后，再来看看示波器是怎样将被测信号的波形图显示在荧光屏上的。

给水平偏转板上加一个随时间线性变化的锯齿电压，给垂直偏转板上加被测信号，比如加一个正弦波，其工作原理如图1—8所示。

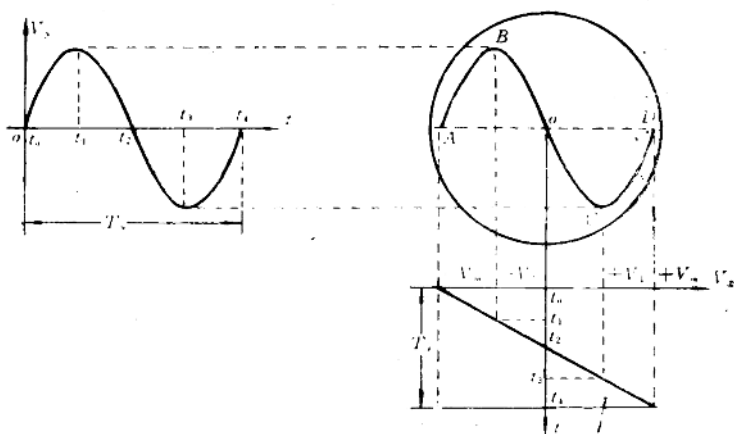


图 1—8

在 t_0 时刻， $V_y = 0$ ， $V_x = -V_m$ ，光点在垂直方向没