

高等学校试用教材

电子线路基础实验

叶君平 主编

人民邮电出版社

本书是根据一九七七年十月高等学校理科物理教材编写会议拟订的教材编写大纲编写的。与复旦大学蓝鸿翔、陈瑞涛编写的《电子线路基础》上、下册配套。书中主要包括：常用电子仪器的正确使用，各类放大器、振荡器和小信号非线性电路的工作原理、工程设计，以及这些电路的基本参数的调整和测试。

本书侧重讲清物理概念，理论联系实际，可作为综合大学和师范院校物理系无线电类专业的试用教材。亦可供工科院校有关专业的师生及从事电子技术的工程技术人员参考。

高等学校试用教材
电子线路基础实验
叶君平 主编

人民教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京新华印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 19.75 字数 460,000

1982年9月第1版 1983年3月第1次印刷

印数 00,001—15,000

书号 15012·0425 定价 2.05 元

前 言

无线电电子学是一门技术性较强的实验学科。从事无线电电子学的科技工作者,不仅应具有较丰富的理论知识,还应有较强的实际操作能力。否则很难在科学上有所成就。

我们多年来在教学上的经验和教训是,既要加强基础理论,又要加强实验技术的训练,实验课应与课堂教学相对独立,相辅相成。课堂教学应着重于基础理论和分析方法的系统讲授。而实验课应着重于实验方法和实验技术的训练。通过这些训练,培养学生理论联系实际的能力,实际操作的能力,以及通过实验方法观察、研究各种物理现象的能力,同时也加深学生对课程内容的理解。

本门实验课在内容上,只限于线性和非线性的一些模拟电路;在实验方法和实验技术的训练方面,着重于基本量的基本测量方法,常用电子仪器的正确使用,基本电路的工程设计及其调整和测试方法等方面的训练。

本实验教材共分六个单元:第一单元介绍三只常用仪器的工作原理及使用方法;第二单元通过三个实验着重介绍晶体管放大器的基础知识——工作点、放大系数、输入电阻、输出电阻、频率特性等的设计、调整及测试方法,以及负反馈对电路特性的影响。为后面的实验打下基础;第三单元介绍了四个基本单元电路;第四单元介绍了八个常用放大电路;第五单元介绍了五个非线性的基本电路;第六单元介绍了五个技术性较强的电子线路。此外,在附录中还介绍了电阻、电容、常用半导体器件、线性集成电路的性能、规格,以及本实验中所用电子仪器的指标,面板结构和使用方法,供读者

在实验过程中查阅。

本实验课约需七十二学时,一学期完成。每周一次(三或四学时)。在课程安排上应比《电子线路基础》课滞后一学期左右。考虑到各校专业方向不同,设备条件不同,因此书中所列实验数目较多,在每个实验中,都安排有一定数量的选作内容(注有*号),以供各校有选择的余地。一般而言,第一、二、三单元是本实验课的基础内容,在选材时应优先考虑;第四、五单元可根据各校的特点选作一部分即可;第六单元主要是为成绩优秀的实验爱好者编排的。为有利于由浅入深,循序渐进,本实验课最好能按顺序进行(尤其是第一、第二单元),不宜采用大循环。但若仪器、设备条件不允许,亦可按单元顺序采用小循环方式进行。

兰州大学、四川大学等十几所兄弟院校对本书所列全部实验逐个地进行了审阅和讨论,提出了许多宝贵意见,在此,表示衷心的感谢。本校曾用本书初稿对七七、七八届学生进行试教,授课教师曾对初稿提出了许多改进意见,在此表示感谢。

本书由复旦大学叶君平主编。参加编写的有雍新生、陆廷障、黄义石、陈振新、吴皖光、王智、包闻亮、刘祖望和上海财经学院的林步黎同志。由于我们业务水平不高,书中难免存在各种缺点和谬误,敬请读者批评、指正。

编 者

1980年6月

目 录

第一单元

实验一 电子示波器的使用	1
一、实验目的	1
二、实验原理	1
(一) 电子示波器的工作原理	1
(二) 电子示波器的使用	13
三、实验仪器及实验线路	18
四、实验内容	18
实验二 用晶体管图示仪测半导体器件	21
一、实验目的	21
二、实验原理	21
(一) JT-1 型晶体管图示仪的工作原理	22
(二) 晶体二极管的测试	25
(三) 晶体三极管的测试	28
*(四) 场效应管的测试	36
*(五) 单结管的测试	39
*(六) 隧道二极管的测试	40
(七) JT-1 型图示仪使用注意事项	41
三、实验仪器及待测器件	43
四、实验内容	43
实验三 用 Q 表测量 L、C 元件	46
一、实验目的	46
二、实验原理	46
(一) Q 表的基本原理	46
(二) 用 Q 表测电感	48
(三) 用 Q 表测电容器	53
(四) 用 Q 表测量电阻及其分布参数	57
三、实验仪器及实验用元件	59

四、实验内容	59
--------	----

第二单元

实验四 放大器静态工作点的设计与测试 61

一、实验目的	61
二、实验原理	61
(一) 选择放大器静态工作点的原则	61
(二) 放大器静态工作点的稳定性和一致性	68
(三) 放大器静态工作点的设计举例	73
(四) 放大器的调整与测试	76
三、实验仪器及线路	78
四、实验内容	78

实验五 阻容耦合放大器的设计与测试 81

一、实验目的	81
二、实验原理	81
(一) 阻容耦合放大器的基本关系式	82
(二) 阻容耦合放大器设计举例	88
(三) 阻容耦合放大器的测试	93
三、实验仪器及线路	97
四、实验内容	98

实验六 负反馈放大器 100

一、实验目的	100
二、实验原理	100
(一) 负反馈对放大器性能的影响	101
(二) 负反馈放大器的稳定性	105
(三) 放大器中的寄生反馈	108
(四) 放大器中的干扰	113
三、实验仪器及线路	114
四、实验内容	115

第三单元

实验七 差分式直流放大器 119

一、实验目的	119
二、实验原理	119
(一) 差分式直流放大器的基本关系式	120
(二) 差分放大器的共模抑制比	123
(三) 差分式直流放大器的零点漂移	125
*(四) 差分式直流放大器的设计	129
(五) 直流放大器的调整和测试	132
三、实验仪器及线路	136
四、实验内容	137
实验八 运算放大器参数的测试	140
一、实验目的	140
二、实验原理	140
(一) 运算放大器的开环特性及其测试方法	140
(二) 运算放大器的输入失调特性及其测试方法	146
(三) 共模特性及其测试方法	149
(四) 输出波形的瞬态特性及其测试方法	151
(五) 运算放大器的闭环应用与补偿	153
三、实验仪器及线路	155
四、实验内容	156
实验九 电子稳压器	159
一、实验目的	159
二、实验原理	159
(一) 稳压器的基本参数	160
*(二) 串联型电子稳压器设计举例	164
(三) 稳压电源的调整与测试	169
三、实验仪器及线路	173
四、实验内容	175
实验十 场效应管源极跟随器	178
一、实验目的	178
二、实验原理	178
(一) 场效应管源极跟随器的基本关系式	179
(二) 源极跟随器的改进	183

(三) 直耦式源极跟随器·····	187
(四) 源极跟随器输入阻抗的测试·····	190
三、实验仪器及线路·····	194
四、实验内容·····	195

第四单元

实验十一 变压器耦合推挽功率放大器·····198

一、实验目的·····	198
二、实验原理·····	198
(一) 乙类推挽功率放大器的基本原理·····	198
*(二) 大功率管的散热问题·····	206
*(三) 乙类功率放大器设计举例·····	210
(四) 功率放大器的测试·····	213
三、实验仪器及线路·····	215
四、实验内容·····	215

实验十二 无变压器低频功率放大器·····218

一、实验目的·····	218
二、实验原理·····	218
(一) 辅助对称功率放大器·····	218
(二) “纯对称”功率放大器·····	223
*(三) 设计举例·····	225
(四) 无变压器功率放大器的调试·····	227
三、实验仪器及线路·····	230
四、实验内容·····	230

实验十三 宽带放大器·····233

一、实验目的·····	233
二、实验原理·····	233
(一) 放大器的通频带与增益·····	233
(二) 扩展通频带的方法·····	240
*(三) 多级宽带放大器的设计要点·····	244
(四) 宽带放大器的调整与测试·····	245
三、实验仪器及线路·····	249

四、实验内容	249
实验十四 调谐放大器	252
一、实验目的	252
二、实验原理	252
(一) 单调谐放大器的基本关系式	253
*(二) 单调谐放大器的设计要点	258
*(三) 调谐放大器的结构	260
(四) 调谐放大器的调整与测试	261
三、实验仪器及线路	266
四、实验内容	267
实验十五 高频丙类功率放大器	270
一、实验目的	270
二、实验原理	270
(一) 丙类功放的输出功率和效率	270
(二) 丙类功放的负载特性和 V_{im} 、 E_b 、 E_c 对放大器工作状态的影响	274
(三) 丙类功放的偏置电路及耦合电路	280
(四) 丙类功放的调整	285
(五) 晶体管的损坏与保护	287
三、实验仪器及线路	288
四、实验内容	289
实验十六 LC 无源滤波器	291
一、实验目的	291
二、实验原理	291
(一) 概述	291
(二) 设计原理和设计方法	293
(三) 带通滤波器设计举例	300
*(四) 带通滤波器的制作	304
(五) 带通滤波器的调整与测试	307
三、实验仪器及线路	309
四、实验内容	309
实验十七 RC 有源滤波器	311
一、实验目的	311

二、实验原理	311
(一) 滤波器的网络函数	311
(二) 单运放二阶滤波器的设计	319
(三) RC 元件和运放参数对有源滤波器的影响	326
(四) 有源滤波器的调整	331
三、实验仪器及线路	331
四、实验内容	333
实验十八 放大器的噪声和噪声系数的测量	335
一、实验目的	335
二、实验原理	335
(一) 放大器中噪声的来源和特性	335
(二) 晶体管放大器的噪声系数	338
(三) 等效输入噪声和噪声系数的测量	343
三、实验仪器及线路	349
四、实验内容	352

第五单元

实验十九 文氏电桥正弦振荡器	354
一、实验目的	354
二、实验原理	354
(一) 电压型 RC 文氏电桥振荡器的基本原理	354
*(二) 文氏电桥振荡器的设计	361
(三) 文氏电桥振荡器的调整	365
三、实验仪器及线路	368
四、实验内容	368
实验二十 石英晶体振荡器	371
一、实验目的	371
二、实验原理	371
(一) 石英晶体谐振器	371
(二) 石英晶体振荡电路	375
(三) 晶振电路的测量	379
*(四) 晶振电路的设计要点	384

三、实验仪器及线路·····	385
四、实验内容·····	385
实验二十一 调幅与检波·····	388
一、实验目的·····	388
二、实验原理·····	388
(一) 集电极调幅的基本原理·····	388
(二) 大信号检波器的工作原理·····	395
三、实验仪器及线路·····	403
四、实验内容·····	403
实验二十二 调频与鉴频·····	407
一、实验目的·····	407
二、实验原理·····	407
(一) 调频电路·····	408
(二) 鉴频电路·····	411
(三) 限幅电路·····	416
(四) 电路特性及参数的测试·····	417
三、实验仪器及线路·····	423
四、实验内容·····	423
实验二十三 变频与统调·····	426
一、实验目的·····	426
二、实验原理·····	426
(一) 接收机的变频器·····	427
(二) 超外差接收机的统一调谐·····	429
(三) 变频器的干扰·····	438
三、实验仪器及线路·····	440
四、实验内容·····	440

第六单元

实验二十四 调制型直流放大器·····	444
一、实验目的·····	444
二、实验原理·····	444
(一) 调制型直流放大器的基本工作原理·····	444

(二) 调制器·····	445
(三) 解调器·····	455
(四) 调制型直流放大器的调试·····	458
三、实验仪器及线路·····	460
四、实验内容·····	460
实验二十五 直流变换器 ·····	463
一、实验目的·····	463
二、实验原理·····	463
(一) 直流变换器的工作原理·····	464
* (二) 直流变换器的设计·····	467
(三) 直流变换器的调整·····	474
(四) 直流变换器参数的测量·····	474
三、实验仪器及线路·····	475
四、实验内容·····	476
实验二十六 自动增益控制电路 ·····	478
一、实验目的·····	478
二、实验原理·····	478
(一) 概述·····	478
(二) 实现 AGC 的方法·····	479
(三) 有 AGC 电路的中频放大器·····	486
(四) AGC 特性的测试·····	492
三、实验仪器及线路·····	494
四、实验内容·····	495
实验二十七 压控型低频正弦振荡器 ·····	498
一、实验目的·····	498
二、实验原理·····	498
(一) 低频压控正弦振荡器的基本原理·····	498
(二) 压控三角波发生器·····	499
(三) 三角波—正弦波转换电路·····	505
(四) 电路的调整·····	507
三、实验仪器及线路·····	508
四、实验内容·····	508
实验二十八 单环路锁相电路 ·····	512

一、实验目的·····	512
二、实验原理·····	512
(一) 锁相环路的基本部件·····	513
(二) 锁相环的基本指标及其测试方法·····	518
三、实验仪器及线路·····	521
四、实验内容·····	524

附 录

附录一 电路元器件·····526

一、电阻器·····	526
二、电位器·····	530
三、电容器·····	531
四、半导体器件和半导体集成电路·····	540
五、本实验课所用线性集成电路的参数·····	547

附录二 常用电子仪器·····559

一、MF-30 型袖珍万用电表·····	559
二、DA-16 型晶体管毫伏表·····	561
三、HFJ-8 型超高频晶体管毫伏表·····	562
四、PZ8 型直流数字电压表·····	565
五、5 G 14 集成稳压电源·····	570
六、XD-2 型信号发生器·····	572
七、正弦波方波低频信号发生器·····	574
八、XFG-7 高频信号发生器·····	575
九、ST-16 型通用示波器·····	579
十、SB-05 型晶体管示波器·····	584
十一、SR-8 型二踪宽带示波器·····	588
十二、JT-1 型晶体管特性图示仪·····	595
十三、QBG-3 型高频Q表·····	599
十四、PB-2 型十进频率仪·····	602
十五、PS-78 型数字频率计·····	607
十六、BT-3 型频率特性测试仪·····	610
十七、BS 1 型失真度测量仪·····	615

实验一 电子示波器的使用

一、实验目的

(一) 掌握电子示波器的基本原理及使用方法。

(二) 学习用电子示波器测量交流信号的幅度、瞬时值、直流电平、周期及频率的方法。

二、实验原理

示波器有如人的眼睛，通过它就能直接用肉眼看到被测电信号随时间的变化规律，即所谓波形图。有了波形图，不仅可以一目了然地看清信号的特征，而且还可从波形图测出信号的一系列参数，如信号的幅度、周期、频率、相位等等。正因如此，在近代科学技术中，无论是应用的广泛性，还是作用的重要性，电子示波器都占有十分重要的地位。对于一个电子线路技术工作者，示波器几乎是不可缺少的工具。

(一) 电子示波器的工作原理

电子示波器如何才能将被测电信号随时间的变化规律转变成人们肉眼所能看见的波形图呢？为了回答这个问题，必须从示波器的核心——示波管谈起。

1. 示波管及其工作原理

静电偏转的阴极射线示波管是一个形状特殊的玻璃真空管，在管内有三个基本组成部分：电子枪、荧光屏和偏转板。其结构如图(1-1)所示。

(1) 电子枪：它由灯丝、阴极、栅极和第一、第二阳极组成。电子枪的任务是产生一束很细(聚焦良好)的、具有一定速度的电子流。各电极的作用如下：阴极 K ：阴极的形状是一个小圆筒，内

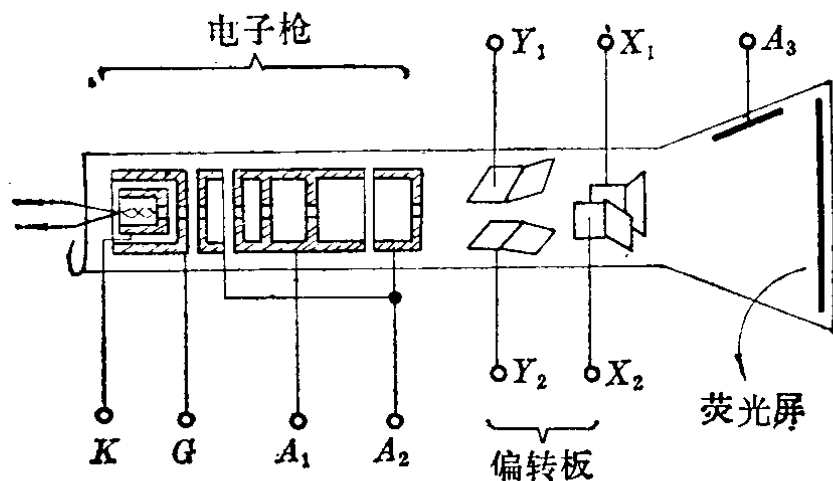


图 (1-1)

有灯丝,当灯丝通电发热即对氧化物阴极加温,从而使阴极发射电子。栅极 G : 它是一个围着阴极的圆筒,在圆筒的前面,盖有一块膜片,在膜片的中央开了一个圆孔,阴极发射的电子就通过这圆孔射向荧光屏方向。在栅极加有一个比阴极略负的电位,改变这个电位就可控制射向荧光屏的电子强度,也就控制了光点的亮度。当栅极电位足够负时(一般在 $-50\sim-100$ 伏),阴极发射的电子全部不能穿过栅极。荧光屏上不再出现亮点。示波器面板上的“辉度”旋钮就是调节栅极与阴极之间电位差的电位器。

第一、第二阳极 A_1 、 A_2 都做成圆筒形(或盘形),第二阳极分成两段,第一阳极夹在中间,其间有几个由中心穿孔的膜片组成的间壁。对阴极而言,第一阳极上加有数百伏的正电压,第二阳极加有数千伏的电压。由阴极发射出来的电子进入第一、二阳极后,一方面受到由 A_1 、 A_2 组成的加速电场加速,使电子获得足够的速度;另一方面, A_1 、 A_2 构成的电场形成一个电子透镜,使电子束聚焦。只要正确设计各电极的结构和尺寸,再适当调节 A_1 、 A_2 的电位,就可使电子的焦点正好落在屏幕上。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”就是调节第二阳极的电位。

(2) 荧光屏: 示波管的荧光屏是在玻璃管的底部内壁上涂敷

一层或几层荧光物质构成。荧光屏受到由电子枪射来的电子流的冲击后,受到冲击的部位就会局部发光。光点的亮度除与材料有关外,还与电子流的能量及密度有关。为增强发光亮度,希望电子流有尽可能高的速度,但又不影响示波管的偏转灵敏度,因此现在的示波管中,荧光屏附近又增加一个后加速阳极,如图(1-1)中 A_3 所示。后加速阳极的电位可达数千伏至上万伏。

(3) 偏转板: 在示波管中共有两对相互垂直的偏转板,一对是垂直偏转板 Y_1 、 Y_2 ,另一对是水平偏转板 X_1 、 X_2 。前者用来控制电子流沿垂直方向作上、下运动,后者用来控制电子流沿水平方向作左、右运动。

图(1-2)是垂直偏转板的工作原理示意图。由图可见,偏转板

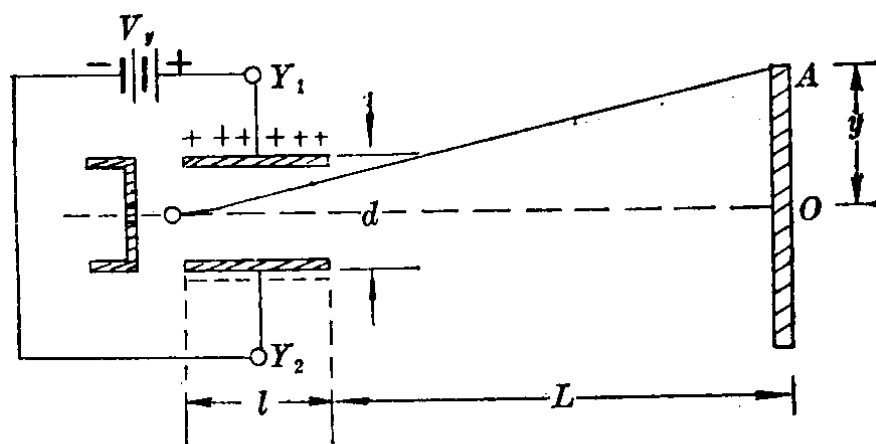


图 (1-2)

就是两块互相平行,相距很近的金属板。由电子枪射来的电子束从这两块板之间穿过。如果在两板之间未加任何电压(即 $V_y=0$),则电子束将沿电子枪的轴线直线前进,最后落在荧光屏的中心点 O 。但是,若在两板之间加一直流电压 V_y (其极性如图中所示),那么两板之间就会形成一个静电场,当电子束进入此电场后,在电场力的作用下,将朝高电位的偏转板那边偏转,电子束沿抛物线运动。一旦电子束飞出偏转板,由于不再受电场力的作用,电子束将沿抛物线在边缘处的切线方向作直线运动而后落在荧光屏上的 A

点。A 点偏离中心位置 O 点的距离为 y 。其值可由下式决定:

$$y=\frac{1}{2}\frac{V_y l L}{dV_a}=h_y V_y \tag{1-1}$$

式中: V_y 是加在偏转板上的电压; V_a 是第二阳极相对于阴极的电位差; d 、 l 、 L 是示波管的几何尺寸, 如图(1-2)所示。(1-1)式表明, 当示波管给定后, 因 d 、 l 、 L 是已知常数, V_a 是示波管规定值。因此, h_y 是常数, 电子束的偏转距离 y 就完全受 V_y 的控制, V_y 越大, y 也越大, 反之亦然。 $\frac{1}{h_y}$ 称为示波管垂直偏转板的偏转因数, 单位是“V/cm”。

同样, 如果将一直流电压 V_x 加到水平偏转板 X_1 、 X_2 之间, 电子束就会沿水平轴方向偏转, 偏转距离也可用(1-1)式计算, 只是将式中的 V_y 换成 V_x , d 、 l 、 L 应换成水平偏转板的几何尺寸。

根据上面的原理, 就不难理解被测信号的波形图是如何在荧光屏上形成的。现以正弦信号为例, 其波形如图(1-3)(a)所示, 工

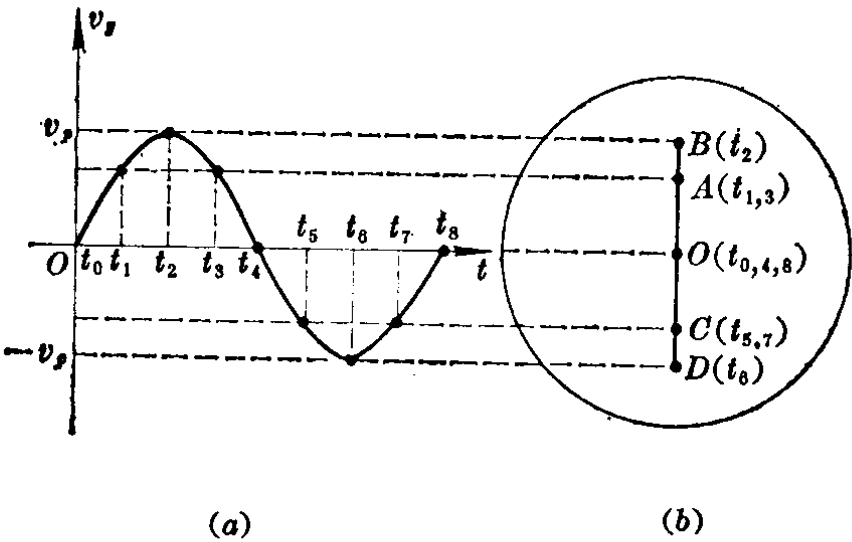


图 (1-3)

作过程如下: 在 t_0 时刻, 偏转板上电压 $v_y=0$, 光点不发生偏转, 落在荧光屏中心的 O 点; 在 t_1 时刻, 电压向正方向增加, 光点向上偏转到 A 点; 在 t_2 时刻, v_y 升到最大值 v_p , 光点向上偏转到最高点 B; 然后电压逐步减小, 在 t_3 时刻, 光点回到 A 点; 在 t_4 时刻, $v_y=$