

高等
学校教材

无线电基础实验

南京大学物理系
应用电子学教研室编

高等教育出版社

高等学校教材



无线电基础实验

南京大学物理系
应用电子学教研室编

高等教育出版社

本书是南京大学物理系应用电子学教研室根据他們多年試用的“无綫电基础实验”讲义修改編成的。

共有二十五个实验,另有三个附录。

本书可作为綜合大学和高等师范学校物理专业无綫电基础实验課程的教学参考书。

无 线 电 基 础 实 验

南京大学物理系 编
应用电子学教研室

北京市书刊出版业营业許可证出字第 119 号

高等教育出版社出版(北京景山东街)

人 民 教 育 印 刷 厂 印 装

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 經 售

统一书号 K13010·1196 开本 850×1168¹/₃₂ 印张 6¹²/₁₆ 插页 3

字数 160,000 印数 3,401—6,900 定价(7)¥0.90

1965 年 7 月第 1 版 1965 年 9 月北京第 2 次印刷

序

目前无綫电技术已应用到現代科学的各个部門。对于物理专业的学生來說,除了应懂得一般电子管电路工作原理外,还必须掌握常用电子仪器的使用,无綫电测量方法和电子管电路的焊接、調整的初步知識。本課程的目的就是培养学生掌握这些实验技术和理論联系实际的工作能力。

本課程的基本要求:

一、仪器使用

正确而比較熟练地使用复用电子管电計、示波器、低頻訊号发生器和稳压电源等常用的电子仪器。了解上述仪器的工作原理、适用范围、誤差和使用注意事項。初步学会根据不同对象正确选用仪器。

学会正确地使用仪器是每一个实验的主要目的之一,所以在“实验目的”中不再一一列出。

二、无綫电測量

1. 电路元件参数、电压、頻率和相位等的測量。
2. 电子管电路特性的測量。
3. 放大倍数、頻率特性和相位特性等的測量。

三、焊接和調整

1. 对一些简单的电子管电路(例如由单管或双管所组成的电路),能根据电性能要求,合理安排元件并正确地进行焊接。
2. 能正确測量电子管的工作状态,并能判別它是否正常,
3. 初步学会一些調整电子管电路的方法,

四、理論联系实际的工作能力

1. 通过实验进一步掌握所学的理論知識。
2. 正确解釋实验中所发生的基本現象。
3. 对实验結果能进行认真而比較正确的討論，并对实验誤差能进行定性的分析。

本书共有 25 个实验，各校可根据以往实验的情况和仪器设备条件，选择合适的实验，但应考虑本课程的基本要求，对学生要有比較全面的训练。学生必做的实验不宜过多，应当留有余地，以便贯彻“少而精”和“因材施教”教学原則。

实验一到实验四是基本元件测量和基本仪器使用，实验五到实验二十一基本电路特性的研究，并进一步巩固基本仪器的使用和训练基本测量方法。实验二十二到实验二十五是电子管电路的焊接与調整。

每一实验最后所列的参考书仅供学生参考，不作为必讀。书中中小体字部分可作为选做內容。

书末尚編有附录 I 电路元件、附录 II 电子仪器和附录 III 无綫电測量，供学生在預习时參閱。

在編写过程中收到各兄弟学校寄来的教学大綱和教材；在初稿編写結束后，又收到南开大学等兄弟学校提出的很多宝贵意見，对我们的工作帮助很大；书中实验十四、十五由南京气象学院袁立功同志編写；在此表示深切的感謝。

我們大部分同志参加工作不久，水平很低，編写時間較紧，书中一定存在很多不妥和錯誤，希望讀者指正。意見請寄南京大学物理系应用电子学教研室。

編者 1964 年 10 月

符 号 表

I	直流电流、交流电流有效值	R_l	低频补偿电阻
i	交流电流瞬时值	R_o	输出电阻、稳压器内阻
I_a	板极直流电流、板极交流电 流有效值	R_P	板极直流电阻
i_a	板极交流电流瞬时值	r_L	交流负载电阻
I_m	交流电流振幅	Z	阻抗
E_l	板极电源电压	Z_i	输入阻抗
E_c	栅偏压	Z_{if}	有反馈时的输入阻抗
E_{c0}	截止栅压	Z_o	输出阻抗
U	直流电压、交流电压有效值	Z_{of}	有反馈时的输出阻抗
U_a	板极直流电压、板极交流电 压有效值	C	电容
u_a	板极交流电压瞬时值	C_a	板极电容
u_f	反馈交流电压瞬时值	C_c	耦合电容
U_g	栅极交流电压有效值	C_d	去耦电容
u_g	栅极交流电压瞬时值	C_G	帘栅极旁路电容
u_{gk}	栅阴极间交流电压瞬时值	C_i	输入电容
u_i	输入交流电压瞬时值	C_k	阴极旁路电容
u_o	输出交流电压瞬时值	C_l	低频补偿电容
R	电阻	C_o	输出电容
R_a	板极电阻	C_s	总分路电容
R_d	去耦电阻	C_w	分布电容
R_G	帘栅极降压电阻	L	电感
R_g	栅漏电阻	L_a	板极电感
R_i	板极交流内阻	L_c	临界电感
R_k	阴极电阻	L_g	栅极电感
R_L	直流负载电阻	L_h	高频补偿电感
		M	互感

X	电抗	k	耦合系数
S	开关	m	調幅系数
T	变压器	n	变压器圈数比
V	电子管	P	直流功率
		p	交流功率
F	重复频率	Q	品质因数
f	频率	r	紋波因数
f_o	載波频率	r_G	电容滤波紋波因数
f_H	高频半功率点	r_L	L 型滤波紋波因数
f_L	低频半功率点	r_H	H 型滤波紋波因数
f_m	調制频率	S	电子管跨导
f_o	諧振频率、准諧振频率	S_P	功率灵敏度
		S_T	穩压器穩定度
Ω	相对频率	α	傳輸系数
		β	反饋系数
T	重复周期	η	效率
T_p	脉冲持續時間	μ	放大因数
τ_a	高频時間常数	A	安培
τ_o	充电時間常数	F	法拉
τ_d	放电時間常数	H	亨利
τ_g	低频時間常数	Hz	赫
ϕ	相角	s	秒
H	非綫性畸变系数	V	伏
K	放大倍数	Ω	欧
$ K $	放大倍数的模	m	毫
K_f	有反饋时的放大倍数	μ	微
K_h	高频段放大倍数	n	毫微
K_l	低频段放大倍数	p	微微
K_o	諧振、准諧振频率时的放大倍数	K	千
		M	兆

目 录

序	v
符号表	vii
实验一 元件的测量	1
实验二 电子管特性曲线和参数的测量	7
实验三 音频和高频电压的测量	12
实验四 示波器的使用	21
实验五 耦合调谐电路的强迫振荡	26
实验六 电阻电容耦合放大器特性的研究	32
实验七 电阻电容耦合放大器的高低频补偿	36
实验八 单管功率放大器	41
实验九 直流放大器	46
实验十 负反馈放大器	52
实验十一 双T电桥选频放大器	60
实验十二 整流电源	68
实验十三 电感电容振荡器的研究	75
实验十四 调幅	80
实验十五 检波	84
实验十六 多谐振荡器和脉冲波形的变换	88
实验十七 单稳态多谐振荡器	93
实验十八 锯齿波发生器和同步	98
实验十九 电子管伏特计的研究	106
实验二十 超外差接收机的调整	110
实验二十一 超外差接收机特性的测试	117
实验二十二 焊接技术	124
实验二十三 电子稳压器的焊接、调整和特性测试	131
实验二十四 文氏桥振荡器的焊接和调整	137
实验二十五 多级阻容耦合放大器的焊接和调整	146
附录 I 电路元件	154
附录 II 电子仪器	173
附录 III 无线电测量	199

实验一 元件的测量

一 实验目的

1. 了解各种元件参数的测量原理。
2. 掌握各种元件参数的测量方法。

二 实验原理

1. 欧姆计法

某些元件的直流电阻可用欧姆计测量。欧姆计的电路如图 1.1 所示，其中电阻 R_2 包括电流计的内阻。

当被测电阻等于零，也就是欧姆计测试端短路时，同时调节电阻 R_2 的阻值，使电流计指针偏转到最大值。则

$$I_{\max} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = E. \quad (1.1)$$

当被测电阻不为零时，电阻 R_2 的阻值不变，则

$$I \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_x \right) = E. \quad (1.2)$$

因此

$$R_x = \left(\frac{I_{\max}}{I} - 1 \right) \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \quad (1.3)$$

当 $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ 已知时，从电流计读数 I 就可知道被测电阻的阻值。

一般用干电池作为电源。随使用时间的增加，干电池的电动势会下降。这时可改变电阻 R_2 的阻值来保证满足(1.1)式的条件，随电阻 R_2 的改变， $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ 的改变满足

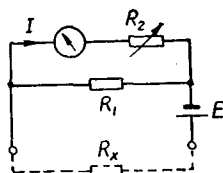


图 1.1

$$\frac{d\left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\right)}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \frac{dR_2}{R_2} \quad (1.4a)$$

当 $R_1 \ll R_2$ 时, $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ 的变化比 R_2 的变化小得很多. 例如, 当

$R_1 = \frac{R_2}{100}$ 时, 若 R_2 改变 30%, $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ 的改变近似为 0.3%. 因此,

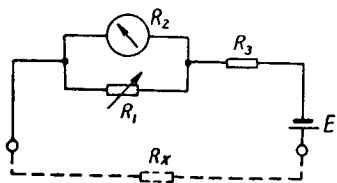


图 1.2

当电源电动势变化 30% 时, 欧姆计的测量误差小于 1%.

当被测电阻很大时, 欧姆计的电路可改用图 1.2 所示的形式. 这时

$$R_x = \left(\frac{I_{\max}}{I} - 1 \right) \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 \right). \quad (1.4b)$$

当 $R_3 \gg R_1$, $R_3 \gg R_2$ 而 $R_1 \approx R_2$ 时, 同样可保证当电源电动势变化时, 测量误差较小.

欧姆计经常是复用电计的一部分.

2. 电桥法

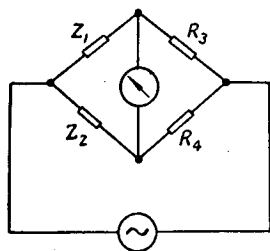


图 1.3

阻抗性元件可以用电桥法测量 (图 1.3). 当然, 测量阻抗性元件时, 应该用交流电源. 而且电桥中, 除被测元件外, 还应该有一个或三个阻抗性元件. 一般是用一个阻抗性元件和两个电阻.

电桥平衡的条件是

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{R_3}{R_4},$$

其中

$$Z_1 = R_1 + jX_1$$

和

$$Z_2 = R_2 + jX_2,$$

因此

$$Z_1 = \frac{R_3 Z_2}{R_4}$$

当被测元件是一电容性元件时, 即

$$X_1 = -\frac{1}{2\pi f C_1},$$

则 X_2 也应该是一电容性元件(图 1.4),

即

$$X_2 = -\frac{1}{2\pi f C_2}.$$

因此

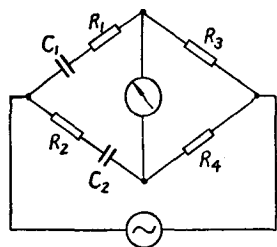


图 1.4

$$\left(R_1 - j\frac{1}{2\pi f C_1}\right) = \frac{R_3}{R_4} \left(R_2 - j\frac{1}{2\pi f C_2}\right).$$

则

$$R_1 = \frac{R_3 R_2}{R_4}, \quad (1.5)$$

$$C_1 = \frac{R_4 C_2}{R_3}. \quad (1.6)$$

当知道 R_3, R_4, R_2 和 C_2 时, 就能知道 R_1 和 C_1 的值.

用电桥法测元件参数的仪器有电阻电容测定仪、万用电桥等.

用电桥法测元件参数, 在低频时比较方便.

3. 谐振法

谐振法即 Q 计法(图 1.5).

(1) 当在电感电容串联电路两端加上一讯号电压 u_i , 则在电容器 C 两端产生一电压降 u_c ,

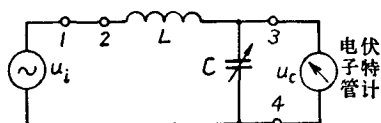


图 1.5

因此, 当知道 C 的电容量、讯号频率 f 、 u_0 和 u_i 时, 由

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C}, \quad (1.7)$$

$$\left| \frac{u_C}{u_i} \right| = \frac{1}{2\pi f C R} = \frac{2\pi f L}{R} = Q \quad (1.8)$$

和

$$R = \frac{1}{2\pi f C Q} \quad (1.9)$$

可求得电感 L 的电感量、 Q 值和电感 L 本身的电阻 R 。

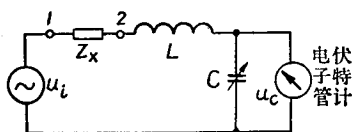


图 1.6

(2) 当电感 L 和 Q 值已知时, 利用谐振法可测得和电感 L 串联的阻抗 $Z_s = R_s + jX_s$ (接在图 1.5 中 1、2 点之间, 如图 1.6 所示)。

在未接入阻抗 Z_s 之前, 当 $C = C_1$ 时, 电路谐振, 则

$$2\pi f L = \frac{1}{2\pi f C_1},$$

$$Q_1 = \frac{1}{2\pi f C_1 R}.$$

接入被测阻抗 Z_s 后, 讯号频率 f 不变, 调节电容器 C 。当 $C = C_2$ 时, 电路重新谐振。这时电容器 C 两端电压为 u_{C2} ,

$$X_s + 2\pi f L = \frac{1}{2\pi f C_2}.$$

因此

$$X_s = \frac{1}{2\pi f C_2} - 2\pi f L = \frac{C_1 - C_2}{2\pi f C_1 C_2}.$$

当 $C_1 > C_2$ 时, 被测元件是电感性元件, 则

$$L_s = \frac{C_1 - C_2}{(2\pi f)^2 C_1 C_2}. \quad (1.10)$$

当 $C_1 < C_2$ 时, 被测元件是电容性元件, 则

$$C_x = \frac{C_1 C_2}{C_2 - C_1}. \quad (1.11)$$

由

$$\left| \frac{u_{C_2}}{u_i} \right| = \frac{1}{2\pi f C_2 (R + R_x)} = Q_2,$$

可得

$$R_x = \frac{1}{2\pi f C_2 Q_2} - R = \frac{C_1 Q_1 - C_2 Q_2}{2\pi f C_1 C_2 Q_1 Q_2}. \quad (1.12)$$

而 Z_x 本身的 Q 值

$$Q_x = \frac{X_x}{R_x} = \frac{Q_1 Q_2 (C_1 - C_2)}{C_1 Q_1 - C_2 Q_2}. \quad (1.13)$$

(3) 同样, 当已知电感 L 和 Q 值时, 利用谐振法可测出和电容器 C 并联的阻抗 $Z_x \left(\frac{1}{Z_x} = \frac{1}{R_x} + \frac{1}{jX_x} \right)$ 的参数, (Z_x 接在图 1.5 中 3、4 两点之间, 如图 1.7 所示).

当 $C_1 > C_2$ 时, 被测元件是电容性元件, 则

$$C_x = C_1 - C_2. \quad (1.14)$$

当 $C_1 < C_2$ 时, 被测元件是电感性元件, 则

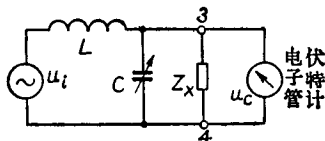


图 1.7

$$L_x = \frac{1}{(2\pi f)^2 (C_2 - C_1)}. \quad (1.15)$$

而

$$R_x = \frac{Q_1 Q_2}{2\pi f C_1 (Q_1 - Q_2)}, \quad (1.16)$$

$$Q_x = \frac{Q_1 Q_2 (C_1 - C_2)}{C_1 (Q_1 - Q_2)}. \quad (1.17)$$

用谐振法测元件参数的仪器是 Q 计。

諧振法在高頻时比較方便。

三 实验內容和方法

1. 用欧姆計法測量一組电阻器的阻值。每一个电阻器測二次。并記下它們的标称值。
2. 用电桥法測量同一組电阻器的阻值。每一个电阻器測二次。
3. 用諧振法測量同一組电阻器的阻值。每一个电阻器測二次。
4. 用电桥法測量一組电容器的电容量。每一个电容器測二次。并記下它們的标称值。
5. 用諧振法測量同一組电容器的电容量。每一个电容器測二次。
6. 用諧振法測量一組电感器的电感量。每一个电感器測二次。并記下它們的标称值。

四 实验預习要求

1. 了解三种測量元件参数的原理。
2. 閱讀附录 II-I、II-II 和 II-VII 各节。

五 实验报告要求

1. 以表列出用各种方法測量的每个电阻器的各次測量值、它們的平均值和它們的标称值。
2. 以表列出用各种方法測量的每个电容器的各次測量值、它們的平均值和它們的标称值。
3. 以表列出用諧振法測量的每个电感器的各次測量值、它們的平均值和它們的标称值。
4. 从測量結果討論各种測量仪器的特性。

六 参考书

1. Г. А. 斯尼采列夫著, 王济光等譯: “收音机的測量”, 第 39—46 頁, 人

民邮电出版社, 1958 年。

2. P. M. 馬利宁著, 周承联等译: “自制欧姆表及万能表”, 第 5—11 页, 人民邮电出版社, 1955 年。

3. 陈季丹等译: “无线电原理”, 第 71—72 页, 龙门联合书局, 1952 年。

4. B. IO. 罗金斯基讲, 成都电讯工程学院 201 教研组译: “无线电测量”, 第 188 页, 第 195—196 页, 第 209—213 页, 高等教育出版社, 1958 年。

实验二 电子管特性曲线和参数的测量

一 实验目的

1. 掌握电子管的静态和动态特性曲线的测量方法。
2. 学会用交流平衡电路的方法测电子管的静态参数。
3. 学习查电子管手册。

二 实验原理

1. 电子管的特性曲线和参数

电子管是非线性元件。三极管的板流是板压和栅压的函数, $I_a = f(U_a, U_g)$ 。习惯上固定其中之一, 而求其他两者之间的关系。常用的有: 栅压保持不变的板压板流特性曲线(图 2.1)和板压保持不变的栅压板流特性曲线(图 2.2)。对于五极管, 还有帘栅压

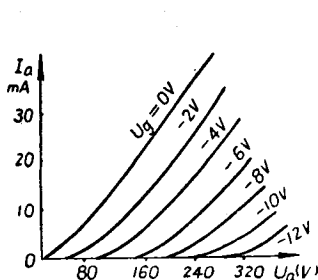


图 2.1

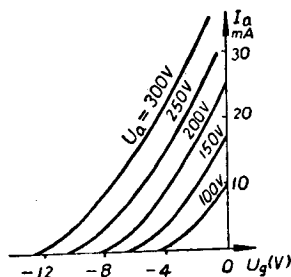


图 2.2

的影响,习惯上固定其中之一,而求其他两者之间的关系。

在应用电子管时,根据不同的要求,可以利用电子管手册来确定电子管的工作点。但是,电子管手册给出的是平均特性,不一定和所采用的电子管的参数完全一样。必要时,必须测量电子管的特性曲线。

当电子管板极电路存在阻抗元件时,固定电源电压。这时的板流和栅压的关系曲线叫做动态特性曲线。用图解法,也可以在静态特性曲线上另外作出动态特性曲线。

放大因数 μ 、内阻 R_i 和跨导 S 是电子管的基本参数,它们表示板流、板压和栅压之间的变化关系。

(1) 放大因数

$$\mu = - \left. \frac{\partial U_a}{\partial U_g} \right|_{I_a = \text{常量}} \quad (2.1)$$

表示栅压控制板流的能力比板压控制板流的能力强多少倍。因为当保持板流不变时,板压的变化始终和栅压的变化相反,为使 μ 保持正值,式中加一负号。放大因数 μ 决定于电子管的构造。

(2) 内阻

$$R_i = \left. \frac{\partial U_a}{\partial I_a} \right|_{U_g = \text{常量}} \quad (2.2)$$

表示板压和板流的变化关系,通常以千欧作单位。

(3) 跨导

$$S = \left. \frac{\partial I_a}{\partial U_g} \right|_{U_a = \text{常量}} \quad (2.3)$$

表示栅压控制板流的有效能力,用毫安/伏作单位。

这三个参量相互间的关系是

$$\mu = SR_i. \quad (2.4)$$

(2.4)式称为电子管的内部方程。它不仅适用于三极管,对其他电

子管亦同样有效。由于电子管的非线性,不同工作点的 μ 、 R_i 和 S 是不一样的。

2. 用平衡电路法测电子管的参数

电子管的三个基本参数,除了可以从静态特性曲线求出外,还可以用平衡电路的方法直接测出。它的电路如图2.3所示。

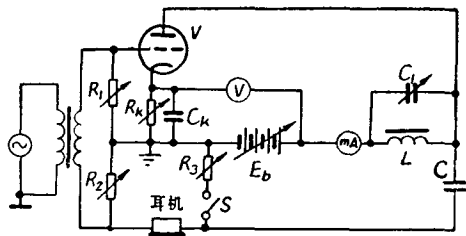


图 2.3

(1) μ 的测定

当开关 S 开路,电阻 R_1 在100欧左右时,调节 R_2 和 C_1 ,使电路达到平衡。由于流过电阻 R_1 、 R_2 中的电流 i 相同,而

$$u_a = -R_2 i$$

和

$$u_g = R_1 i,$$

因此

$$\mu = -\frac{\partial U_a}{\partial U_g} = -\frac{u_a}{u_g} = \frac{R_2}{R_1}. \quad (2.5)$$

(2) R_i 的测定

当开关 S 通路,而 $\frac{R_2}{R_1} < \mu$ 时,调节 R_3 和 C_1 ,使电路达到平衡,因此

$$u_a = -i R_2 = i_a R_3 \quad (2.6)$$

和

$$u_g = i R_1.$$

对一个三极管而言,

$$-\mu u_g = i_a R_i + u_a,$$

即