

339427

50061
7701
T.2

成都工学院图书馆
基本馆藏

无 綫 电 技 术 和 雷 达

下 册

陶望平 王忠民 編

內 部 教 材



261
01

北 京 科 学 教 育 編 輯 室

1961. 12.

无线电技术和雷达 (下册)

*

出版者: 北京科学教育编辑室

印刷者: 中国人民解放军 535 工厂

787×1092 毫米 $1/16$ 印张 10 $\frac{1}{4}$

1961 年 8 月第一版

1961 年 12 月第二次印刷

定价: 1.25 元

无线电技术和雷达（下册）正誤表

第二篇 雷 达

頁数	行 数	誤	正
50	10行	<i>rocut</i>	<i>lotus</i>
55	倒数 6 行	赫芝/秒	赫芝
56	4 行	机器电表	指示电表
60	倒数 1 行	前后方	前方
61	2 行	……的合成不……	……的合成。不……
63	14行	鄂	际
76	倒数10行	……其是……	其中
81	15行	鄂	的
84	图 3-7	图 3-7 倒了	上下倒一下
84	1 行	而与…… f_{xp}	取消
84	倒12行	2. 矩波……	2. 矩形
84	倒 3 行	比电流	此电流
87	10行	再串	再并
89	倒 5 行	无阳极	至阳极
95	倒 3 行	最高点	最高点
98	5 行	合耦	耦合
99	倒14行	d 电子	b 电子
99	倒13行	……同步, b	……同步, a
99	倒12行	以 a 电子为中心	以 b 电子为中心
99	倒12行	a 电子始	b 电子始
101	14行	成傳轉綫	成傳輸綫
107	8 行	辐射波长	辐射場强
109	图4-10	介质透镜天……	金屬透鏡
109	3~4行	要如此……不同而改变	这段取消
112	1 行	振流……	扼流
112	4 行	振流	扼流
112	5 行	振流	扼流
112	倒13行	图 5-3 上图	图 5-3 上所示
112	倒12行	, 电容和总电	, 总电容和总电
112	倒 3 行	$l =$	$\tau =$
113	6 行	(升压 3)	(升压 3 倍)
114	倒 3 行	, 定在一	, 在一……
118	倒10行	杂音多数	杂音系数

頁數	行 數	誤	正
119	9 行	至十幾級	至八九級
125	4 行	數十種之多	十幾種之多
125	6 行	節三例	……節举例……
125	倒 6 行	豎	向
125	2 行	偏轉在	偏轉。在
130	13 行	感應系統	傳遞系統
131	1 行	偏磁	偏斜
132	2 行	……便到……	便得
133	3 行	及傾角	及仰角
133	21 行	導	射
134	3 行	導陣	導彈
136	倒 3 行	。炮彈爆炸，使……	。“炮彈爆炸”四字取消
143	10 行	為 1 米	為 2 米
143	10 行	(1 米—10 米)	(2 米)
143	11 行	400MC	420MC
144	2 行	橡	橡
144	7 行	(0—400碼)	(0—400呎)
144	7 行	(0—	(0—4
144	8 行	000碼)	000呎
148	4 行	(……11-4a)	(……11-4b)
152	4 行	自動的	目標的
153	式(11-5)	$e^{-0.115(L+D)}$	$e^{-0.23(L+r_{max})}$
154	4 行	3490米	34900米
155	倒 2 行	Mogin	Moritz
155	倒 6 行	軸1。	軸1°
157	14 行	相信……	相位
158	1 行	陀	陀
158	2 行	由目標來由磁波方向	到目標去的方向
158	4 行	對等……)	(對等……)
160	倒 2 行	發制波	發射波
163	倒 2 行	10—20公里間其……	10—20公里間，其……

內 容 提 要

本书共有二篇：第一篇是无綫电技术，共十六章；第二篇是雷达，共十一章。

第一篇着重介绍无綫电技术的基础知識，对傳輸綫与晶体电子管原理及棧路作較詳細的敘述。第二篇介绍雷达的基本工作原理和結構，并对微波元件和脈冲技术及雷达在导弹制导上的作用作了重点的說明。

本书可供高等工业院校非无綫电系专业学习无綫电技术和雷达的教科书，也可作为进修这方面工作人員的参考书。

本书第一篇第一章至第十三章在上册出版，其余在下册出版。本书一部分內容选自（經過改編）国内已有較完整和合于“少而精”原則的教材；另有一部分是重新編写的。

下 册 目 录

第一篇 无线电技术 (續)

第十四章 电子示波器和电子伏特計	1
§14—1 电子示波器.....	1
§14—2 电子伏特計.....	6
第十五章 晶体电子管基本原理	8
§15—1 引言.....	8
§15—2 半导体的基本原理.....	8
§15—3 晶体二极管.....	12
§15—4 晶体三极管.....	18
§15—5 半导体三极管与电子管的比較.....	24
第十六章 晶体电子管放大器	25
§16—1 引言.....	25
§16—2 晶体管放大器的特性指标.....	25
§16—3 晶体管的静态特性曲线.....	26
§16—4 晶体管的参数和等效电路.....	29
§16—5 晶体管电压放大器.....	34
§16—6 晶体管功率放大器.....	44
§16—7 晶体管视频放大器.....	48

第二篇 雷 达

第一章 雷达基本工作概念	50
§1—1 雷达定义及发展史.....	50
§1—2 目标的发现及其坐标.....	52
§1—3 目标距离的测定.....	53
§1—4 目标方向的测定.....	56
§1—5 雷达距离和方向的工作范围及鉴别力.....	57
§1—6 雷达作用距离.....	59
§1—7 雷达波束的扫描方式.....	60
§1—8 雷达站原理方框图及其性能.....	62
§1—9 雷达的干扰与反干扰.....	63
第二章 脉冲技术	67
§2—1 概述.....	67
§2—2 限幅器.....	67
§2—3 微分电路和积分电路.....	70
§2—4 仿真线.....	74

§2-5 振鈴电路	75
§2-6 多諧振蕩器	76
§2-7 阻塞振蕩器	79
第三章 超短波及微波元件	81
§3-1 同軸綫	81
§3-2 波导	82
§3-3 空腔諧振器	87
§3-4 超高频电子管	88
§3-5 特种超高频电子管	93
第四章 雷达天綫	105
§4-1 雷达天綫的作用及方向系数	105
§4-2 几种米波、分米波雷达天綫	105
§4-3 几种常用的厘米波(微波)天綫	108
第五章 雷达发射机	110
§5-1 超高频脉冲振蕩器	110
§5-2 脉冲調制器原理	111
§5-3 脉冲調制器綫路	113
§5-4 天綫收发轉換开关	114
第六章 雷达接收机	116
§6-1 杂音与通頻带	116
§6-2 雷达接收机	118
§6-3 厘米波雷达接收机中的两个特点	119
第七章 雷达指示器	123
§7-1 概述	123
§7-2 基本距离指示器方框图	123
§7-3 指示器的型式	124
第八章 雷达自动装置	129
§8-1 随动系统及遙远指示系统	129
§8-2 目标方向及距离自动跟踪	130
第九章 雷达站军事用途分类	134
第十章 雷达站举例	138
§10-1 陆用炮瞄雷达站	138
§10-2 空用調頻雷达站	143
第十一章 雷达在导弹制导中的应用	146
§11-1 引言	146
§11-2 导弹制导的类型	147
§11-3 自动引导系统的目标坐标器和作用距离	151
§11-4 自动引导系统的几种典型組成	154
§11-5 指挥制导系统的基本构成	158
§11-6 指挥系统中跟踪雷达及信标的組成及其主要参数	159
§11-7 駕束制导系统的基本組成	162

第十四章 电子示波器和电子伏特计

§14-1 电子示波器

电子示波器是用来观察电的波形变化过程的一种仪器设备。它有下列的特点：

①电子示波器是利用电子运动的轨迹来显示图形的，因为电子的惯性小，因此，被测信号虽然变化极快，也能正确显示它的波形。电子示波器一般可测量几百千赫的信号，特殊的可测量几个兆赫以上的信号。

②一般的电子示波器只能观察周期性变化的信号，加上一些附加的装置，也可显示一次变化的信号。这种示波器主要在研究脉冲信号时应用，因此称为脉冲示波器。

③一般示波器只观察信号的交变成份，直流分量被隔去；有些示波器也能反应交直流全部信号的。

电子示波器的主要任务是把电量的变化显示出来，主要依靠电子射线管来完成。电子示波器应用静电聚焦和静电偏转的电子射线管，这种管子的结构已在33.32中讲过了。

下面先讨论一下电子射线管偏转板的作用和锯齿波发生器，然后讨论同步作用和方框图，最后讨论一下它的应用。

(一) 电子射线管的偏转板的作用和锯齿波产生器

自电子射线管“电子枪”射出的电子束，假使不再受到其他电场作用，则在荧光幕上就只显示出静止的光亮的一点。如果使电子束依一定的规律而偏转，则光点也将依这一定的规律而变更其在荧光幕上的位置。如这种规律是周期性的，则由于荧光幕的余辉以及人的眼睛有暂时保光性，在荧光幕上将显示出一个连续曲线。

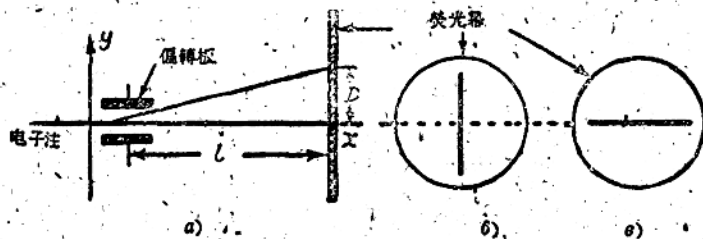


图14-1

一般偏转板的电压是自 $+U_0$ 至 $-U_0$ 作周期性的变化，如图14-1，a所示。这变化与电子的速度相比必须不太快，因此若以某一电子来说，在它通过偏转板的一段时间内，偏转板的电压可认为不变的，但以连续的电子束来说，则因 U_0 是周期性变化的，故电子束中各电子陆续到达荧光幕的位置自 $+D$ 逐步移至 $-D$ 且在其间往复变动（以上假设只在垂直偏转板上加周期性电压 e_y ，而水平偏转板上不加电压； D 为荧光幕上偏转距离）。此时电子束在荧光幕上所描绘出的图形是一条垂直线，它如图14-1，b所示。如果在水平偏转板上加周期性电压

e_x ，而垂直偏轉板上不加电压，那么荧光幕上显出一条水平直线如图14—1， e 所示。

锯齿波发生器是示波器的另一个重要部分。锯齿波发生器的主要部分是由闸流管、电阻 R 和电容器 C 所组成的。图14—2是它的原理电路，闸流管的阳极电压等于电容器 C 上的电压 U_c 。图14—3表示锯齿形波的发生过程。电源 E_a 经过电阻 R 使电容 C 充电， U_c 就沿充电曲线上升（ OA 段）。当 U_c 达到闸流管的电离电压 U_2 如图中 A 点时，闸流管突然发生电离作用，阳极电流产生。此时闸流管内阻变得很小，电容 C 上的电荷很快经过闸流管而放电，电压 U_c 急剧下降，但阳极电流继续存在，一直到 U_c 降至熄灭电压 U_1 如图中 B 点时，阳极电流才停止，栅极恢复了控制作用，电容器 C 停止放电。此后 U_c 又沿 BD 充电上升到 D 点后又恢复放电，如此周而复始就形成锯齿波。

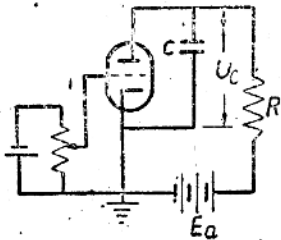


图14—2

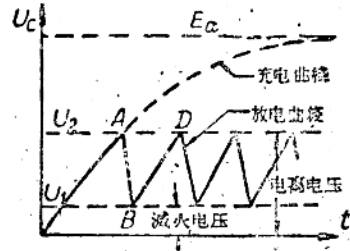


图14—3

充电曲线由 O 到 A 所需时间，决定于时间常数 RC 。 RC 的大小决定了充电的速度； RC 大则充电慢， RC 小则充电快。因此变更 RC 值就可以变更锯齿波的频率。为了调节锯齿波的频率，在实用上示波器中锯齿波产生器的频率调节分为“粗调”与“细调”两步。粗调是利用选择开关来变更电容器 C 的电容来进行的，而细调则是借改变电阻 R 来进行的。电阻有一部分是可变电阻，用来连续调节电阻大小，以获得连续的频率调节。

（二）信号波形的观察和同步作用

现在我们来讨论如何利用锯齿形波的扫描来观察周期性电压或电流的波形。

如果把 e_x 及 e_y 同时分别加入水平偏转板和垂直偏转板，那么在荧光幕上所显示的曲线即表示 e_x 及 e_y 二者的函数关系。如果 e_x 已知那么 e_y 的变化情形即可由此曲线推知。若使 e_x 为与时间成正比变化的锯齿形波，那么 e_y 与时间的关系曲线就是荧光幕上一所显示的曲线。参看图14—4来解释。

当 e_y 向正值增加或自负值向零上升时，电子由下向上移动，当 e_y 自正值向零或由零向负值增加时，则电子由上向下移动。同样，当 e_x 变动时，电子移动的情况相类似。因为 e_x 、 e_y 为交变电压，故电子也随之或上或下或左或右地移动。

设 $e_y = E_y \sin \omega t$ ， e_x 为锯齿波形，任何瞬时的电子在荧光幕上的位置由 e_x 及 e_y 使电子偏转的合力决定。在图14—4中可看出，当 e_x 及 e_y 均达到 B 点时， e_x 使电子向右方移动， e_y 使电子向上移动，荧光幕上电子的真正位置即在 B' 点，其他 C' 、 D' …… H' 、 I' 诸点可以类推。当 e_x 变至 I 点后，下一点突然变至 J 点，此时 e_y 也已变至 J 点了，于是在荧光幕上电子所扫描的轨迹为 $I'J'$ 。因 J' 与 A' 点恰好重合，于是又开始一个周期，如此连续不已。由于荧光幕的余辉及人眼的暂留视觉，由人眼看起来荧光幕上好象显出一静止的正弦曲线。图中 $I'J'$

一段扫描曲线我们不希望看见它，由于 I' 至 J' 时间很短，因此光强较 A' 、 B' 、…… I' 诸点为弱，可能在荧光幕上显示不出来。

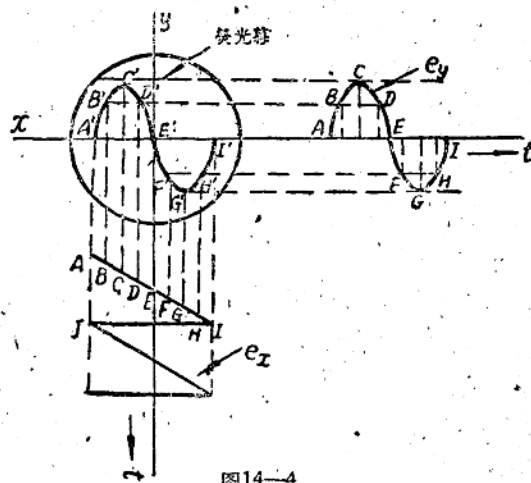


图14—4

由图14—4的图解法可知，经过适当的调节使所观测的波形稳定在荧光幕上，那么锯齿波的频率与所欲观测的波的频率间必须成简单的整数比，即

$$\frac{\text{锯齿波频率}}{\text{被测波的频率}} = \frac{1}{n}$$

式中： $n=1、2、3、\dots$ 。例如锯齿波频率为100周/秒，所欲观测波的频率为300周/秒，则 $n=3$ ，即荧光幕显出三个完全波形。

如果二者频率之比不能保持 $\frac{1}{n}$ 的关系，则荧光幕上的图形将移动不已，无法观察。因此为了得到稳定的波形，就必须使锯齿波与被观察信号的频率“同步”。这就需要调节锯齿波发生器中 R 及 C 的值，使所产生的锯齿波的频率符合上述的条件。

但是仅仅调节 R 、 C 的值，使锯齿波与被观察信号的频率同步，往往不能达到完全同步的条件，因为二频率之间没有内在的联系，其中任一频率如由某种原因略有变动，那么所得波形亦就随着移动。为了达到完全的同步，就必须采用“强迫同步”法。

为了说明“强迫同步”的作用，我们先来讨论一下使闸流管电离所需的阳极电压与栅极电压间的关系。在第三章中已经向大家介绍过，使闸流管电离所需的阳极电压值是随着栅极电压值的增加而降低，反之则增加。因此若在闸流管上加上交变电压，则使闸流管电离所需的板极电压值也是交变的。

由此，如果在闸流管的栅极上加上一个数值较小的被观察的信号电压，那么使闸流管电离所需的阳极电压值也将随观察信号电压的改变而改变。由图14—5可以清楚地看到，在这样的情况下，锯齿波频率将被迫和信号频率同步。

必须指出用来强迫同步的信号电压是不能太大的，太大会使锯齿波产生畸变，以致荧光幕上显示的图形产生畸变。因此在实用上，先不加入同步信号，首先变动 R 及 C 值，使锯齿波波形接近正确时，荧光幕上图形呈现缓慢的移动。然后加入最小的同步电压，使锯齿波同步，以得到稳定的图形。

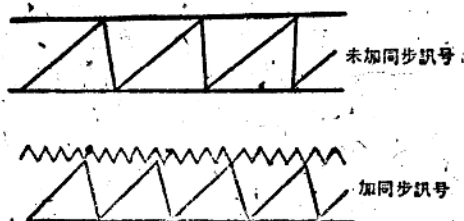


图14—5 同步信号的作用

同步的信号电压除了由被观察信号电源来供给外，也有用 50 赫电源及另外的电源来供给。但最常用的同步信号是由被观察信号电源供给的，这也叫做“内同步”。

(三) 示波器的构造方框图及使用方法

图14—6 为通用示波器的方框图，表示出锯齿波发生器、放大器、电源与阴极射线管的互相关系。

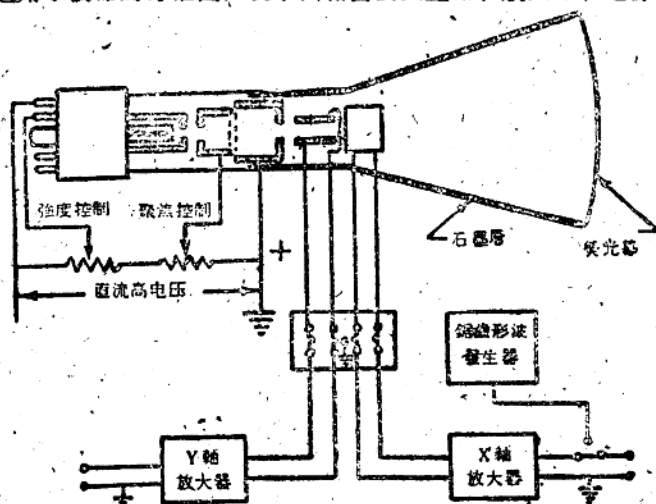


图14—6 示波器的组成图

放大器在这里的作用是用来放大被观察的信号电压，使它增至偏转板所需电压大小，然后再送至偏转板上。垂直偏转板的放大器称为Y轴放大器，水平偏转板的放大器称为X轴放大器。

由于信号最高频率总要受到放大器特性的限制，所以信号频率不能太高。为了延展示波器可用的频率范围起见，有时示波器后面还附有接线柱，这样输入信号可不经过放大器直接送至水平或垂直偏转板，但是使用时必须先要将偏转板与放大器在接线板上的连接拆除才行。这样，观测频率可提高到几兆周至几十兆周。

(四) 示波器的应用

示波器除了可用来观察信号波形外，还可用来作比较相位、比较频率等用。

(1) 比较相位

如果水平偏转板输入电压为 $e_x = E_x \sin \omega t$ ，垂直偏转板输入电压为 $e_y = E_y \sin(\omega t - \varphi)$ ，

根据电子束在荧光幕上的偏转与偏转板间的电位差成正比的原理，可以假设沿Y轴的最大偏转为 $\pm E_y$ ，沿X轴的最大偏转为 $\pm E_x$ ，图14—7，可知在荧光幕上得到的图形是一个椭圆。

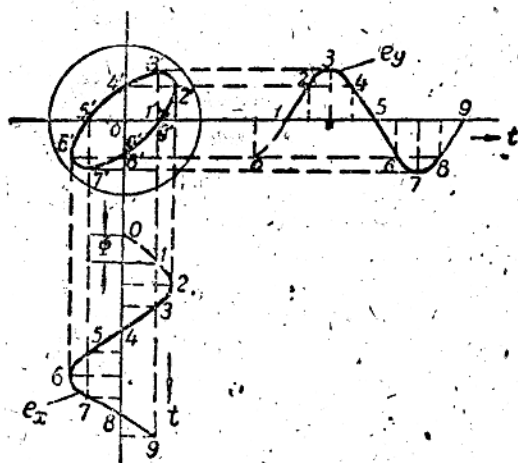


图14—7

当 $t=0$ 时，

$$e_y = -E_y \sin \varphi = 00' \text{ 长度；} \quad (1)$$

当 $\omega t - \varphi = 90^\circ$ 时，

$$e_y = E_y = 1'3' \text{ 长度。} \quad (2)$$

(1) ÷ (2) 得

$$\sin \varphi = \frac{00'}{1'3'} \quad (3)$$

量测 $00'$ 及 $1'3'$ 的长度则可由(3)式算出 φ 值。

当 φ 为各种不同数值时所形成的图形不同。在 $\varphi=0$ 时，椭圆变成一直线，它的斜率 $\frac{E_y}{E_x}$ 。在 $\varphi=90^\circ$ ，且 $E_x = E_y$ 时，椭圆变成为圆如图14—8，所示。

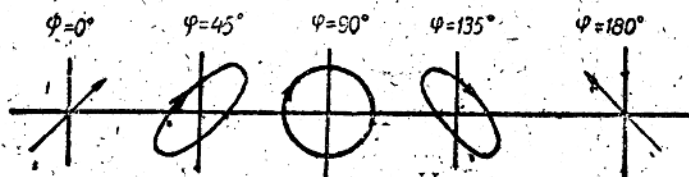


图14—8

(2) 比较频率

在上节比较相位时， e_x 与 e_y 的频率是相等的；如果二者频率不相等时，则荧光幕上的图形将不再是椭圆。但如果二者的频率成简单的整数比，则荧光幕上的图形仍是简单而稳定的，这种图形称为李沙育图形。

如果 $e_x = E_x \sin(\omega_x t + \varphi)$ ， $e_y = E_y \sin \omega_y t$ ，当 $\frac{\omega_x}{\omega_y} = \frac{1}{2}$ 时，所得图形如图14—9所示。

在图14—12中是 φ 及 $\frac{\omega_x}{\omega_y}$ 在各种不同数值时所得各种不同的图形。

应该指出：这些图形的外面都画出一矩形，这矩形的长度与 $2E_x$ 成正比，它的高度与 $2E_y$ 成正比。曲线与水平轴的交点数与 ω_x 成正比，而与垂直轴的交点数则与 ω_y 成正比，即：

$$\frac{\omega_x}{\omega_y} = \frac{f_x}{f_y} = \frac{\text{与垂直轴交点数}}{\text{与水平轴交点数}}$$

如果 f_x 为已知，那么 f_y 的值可立即求出，如图14—10所示的 $\frac{f_x}{f_y} = \frac{1}{2}$ 的或其他比例的图形。

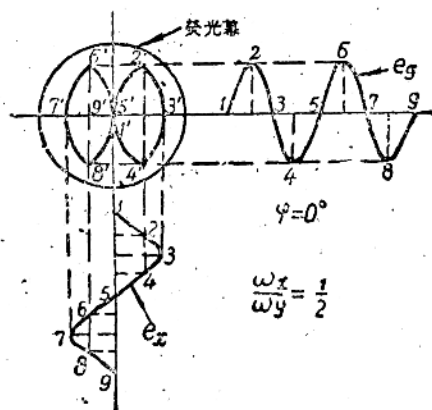


图14—9

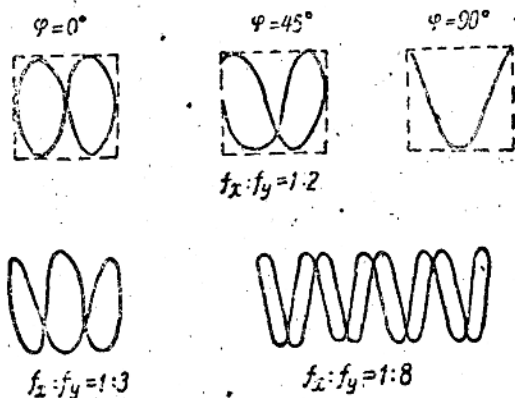


图14—10

§14—2 电子伏特计

电子伏特计又称真空管伏特计，是利用电子管板流的变更与外加电压的关系作为测量基础，板流的变更是利用很灵敏的动圈式电流计来测量的。由于电子管的输入电阻很大，所以这种伏特计的灵敏度非常巨大，和静电计类似。在无綫电工学上广泛地应用于高频率电压的测量，这是由于电子管的输入电容量可以作得很小，使待测高频率电压不感觉负荷增加。电子伏特计的刻度只需用50赫电压进行校准，即可应用于高频率范围内，所以校准工作是很便当的。

电子伏特计的线路种类很多，以下只就几种最简单的形式进行讨论。

(a) 板极检波电子伏特计 (图14—11)。这是一个板极检波电路，工作点选在 i_a-u_c 特性曲线下方A点上。当正弦电压接进栅极上时，板流的平均增量将正比于此电压的正幅值的平方。由于板流是脉冲式的，所以使用一大容量的旁路电容器C。回路的时间常数(RC)应大于待测电压的最大周期，以便电流计内电流在待测电压周期内，保持稳定不变。电流计指出脉冲板流的平均值，可预先用已知电压将它的刻度表成伏特数。

(b) 峰值伏特计 (图14—12)。为了测定电压的最大值(峰值)，可用峰值伏特计。它的栅偏电压可以随时调节，在沒有测量之前，将工作点选在 i_a-u_c 特性曲线下方弯曲的启点A处，使板路内呈现微小电流(若干微安)。通入待测电压 u 以后，板流加大，此时再减小栅偏电压直到板流回到原来数值为止。显然，栅偏电压增量 ΔU_g 即等于待测电压的高峰值。栅偏电压的增量 ΔU_g 须用准确的直流伏特计测量。

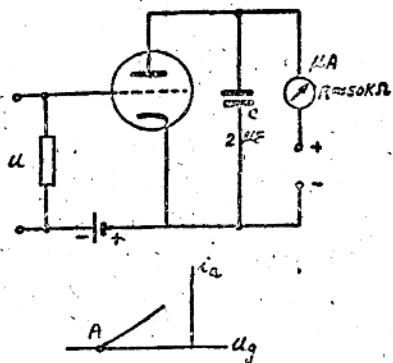


图14—11 板极检波的伏特计

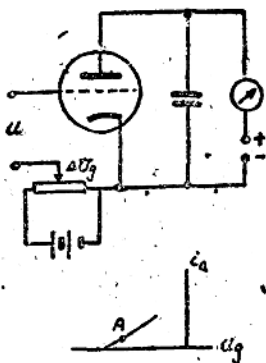


图14—12 峰值伏特计

(c) 一电池组的伏特计 (图14—13)。电子伏特计比较普通伏特计体积庞大, 因为电子管须要附带的各项电源供给。努力缩小电子伏特计的体积应该是设计线路注意之点。图14—13表示一个仅用一电池组供电的伏特计。 R_K 及 R_I 分别产生栅偏电压及板极电压。 C_K 及 C_I 为维持此等电压恒定不变的旁路电容器。利用 R 来调节电流计的零点 (转换开关在位置1处)。当转换开关拨到位置2处, 待测电压 u 使电流计发生偏转, 其理与9.1图同。

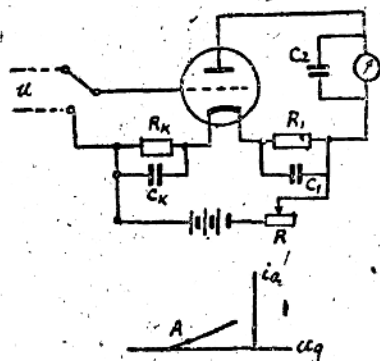


图14—13 仅用一电池组供电的伏特计

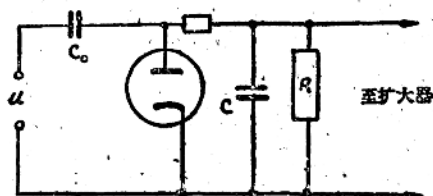


图14—14 二极管伏特计

(d) 二极管伏特计 (图14—14)。用二极管的检波作用来装置电子伏特计, 效果更较完善。待测电压 u 通过隔直流电容器 C_0 后, 在正半周内被二极管导电性能所短路, 而在负半周内使电容器 C 充电。因此, 在巨大电阻 R 上呈显直流电压降落, 它和待测电压的振幅成正比 (在回路的时间常数 RC 相当巨大的情况下); 通常用扩大装置将此直流电压予以放大; 再以灵敏电流计指示之。

第十五章 晶体电子管基本原理

§15-1 引言

晶体电子管是半导体物理学中的一个研究部门，它是近十年来迅速发展起来的新颖学科，其发展过程和无线电技术有不可分割的关系。

在电子管发明以前，人们早已在利用半导体，如无线电矿石收音机中所采用的检波器就是由天然的矿石——半导体——和金属弹簧相接触所组成的。这种矿石以黄铁矿，红锌矿或黄铜等制成。但这一类天然的半导体所制成的检波器是不稳定的，它经不起机械的震动，并且每次使用的时候都必需在矿石上寻找灵敏点。天然矿石存在着这些缺点，因此当电子管问世以后，天然矿石很快就被电子管所取代。

随着无线电技术的发展，无线电所使用的电磁波频率范围也越来越宽，尤其在雷达技术兴起以后，迫切要求人们解决频率很高的微波范围内的技术问题。但在普通电子管各极之间不可避免地存在着较大的极间电容，电子越过电极需要一定的渡越时间，在微波频率，这些因素严重地影响了机器的正常工作。为了解决电子管所存在的这些缺点，科学家们创造了用硅半导体所组成的二极管。这些二极管基本上没有电子管所存在的缺点，并且体积比较电子管小，用电大大节省，不需要灯丝电源的供给。而且它有一个更大的优越性，就是使用寿命很长。除了上述优点以外，锗、硅二极管与天然矿石检波器不同，它们具有很高的机械强度和稳定的工作特性。从此以后，半导体管在无线电技术上的应用被人们重视起来，而且促使科学家们进一步对半导体的本质作更深入的研究。

人们在研究半导体过程中，又发现它具有放大电压的特性，利用这种特性终于制成了点触式锗放大管（锗三极管）。

这种利用半导体制成的二极管及三极管习惯上称它们为半导体二极管及三极管（或称晶体二极管及三极管）。

到目前为止，半导体二极管和三极管已在无线电技术中获得了广泛的应用，因而使无线电技术向前推进一步。它们除了作为整流器，检波器，高频放大器，低频放大器，调制器，振荡器外，同样也被应用在各种特殊电路，如电子计算机，自动控制等各种仪器中。

应该指出，半导体二极管和三极管，现在正处在迅速发展的时期。目前产品中还存在着某些缺点，如噪音较大，功率输出较小，但是这些缺点在不久将来都可以设法改进的。

§15-2 半导体的基本原理

（一）导体、半导体及绝缘体

在十九世纪及二十世纪初叶的电工学中，称金属为导体，介质为绝缘体。而在最近几十年来物理学和电工学的相互充实和发展，使电工材料中又产生了半导体材料。

根据不同的电导率，我们可以把物质区分为导体、半导体与绝缘体三种。有的文献中用电导率的倒数电阻率来表示物质的导电性能。电阻率是指截面积为1平方厘米，长为1厘米。

物质的电阻值。它的单位是欧·厘米³。导体、半导体与绝缘体的电阻率如表15-1所示。

表15-1 各种物质的电阻率

名 称	电 阻 率 (欧·厘米 ³)
导 体	$10^{-8} \sim 10^{-3}$
半导体	$10^{-3} \sim 10^8$
绝缘体	$10^8 \sim 10^{20}$

金属与它的合金均属于导体。最常用的绝缘体有橡胶，胶木，石英，玻璃等。属于半导体的有许多化合物，如氧化物，硫化物，碳化物等；元素中硅、锗、砷等均具有半导体的特性。

半导体与金属之间除了电导率不同以外其电导率对温度变化的关系也有显著的差别。对金属导体来说，当温度下降的时候，它的电导率就上升；半导体就相反，当温度下降的时候它的电导率也随着下降。而且另一个不同之处是半导体电导率的变化受温度的影响极大，当温度接近绝对零度的时候，半导体的电导率亦渐渐降低逼近于零，成为绝缘体。

导体、半导体、与绝缘体三种物质可以从其能带的理论来说明。金属导体中的电子部分处于导带（或称空带），部分处于满带，满带与导带有一部分互相重叠。半导体与绝缘体在绝对零度时，所有电子均处于满带上。半导体中导带与满带间存在的禁带甚狭，电子在常温时即可由满带越过禁带而进入导带。绝缘体中满带与导带间的禁带较宽，电子在常温时不易由满带越过禁带而进入导带。这在物理学中已详细讲述过。

为了能对半导体的整流，放大作用有明晰的概念，必须对半导体的导电机构有一定程度的了解。本节以下各部分就半导体的点阵结构及空穴导电性能开始来说明它的整流及放大作用。

(二) 物质的电子导电和晶体的点阵结构

物质的电子导电是和原子内部原子核和电子的结构有关的。电子的轨道容纳一定数目的电子，凡未被填满层上的电子称为价电子。价电子距原子核最远，束缚力最弱，如果有外来能量，可使价电子完全脱离原子核的束缚而处于电离状态。这些不受原子核束缚而能自由运动的电子称为“自由电子”。

当许多原子结合成固体的时候，由于原子与原子间的相互作用及原子热运动的结果，也会有自由电子产生。

在绝缘体中自由电子的数目很少，可以忽略不计，所以在受到外加电压以后，原子内部并不产生反应。金属导体则不然，每立方厘米中含有 $10^{22} \sim 10^{23}$ 个自由电子，它们没有被固定的原子核所束缚，而能在金属中自由运动，当外加电势加在金属导体上以后，这些自由电子就沿着金属导体向着一定的方向（向正电极的方向）移动。电子的移动就造成了电流，这种导电方式就称为“电子导电”。

半导体自由电子数目介于导体与绝缘体二者之间，在 30°C 时，硅的自由电子数每立方厘米有 6.8×10^{10} 个，锗的自由电子数每立方厘米中有 2.5×10^{13} 个。所以半导体电子的导电性能较绝缘体强，但是比导体为弱。

谈到温度与电子导电性能的关系，金属导体的自由电子数目与环境温度无关，电子导电的导电率与温度成反比的关系，温度升高，金属的导电率降低。半导体的情况就不同了，在绝对温度零度时，所有价电子都被各固有的原子核所束缚，不能自由流动，所以在绝对温度零度时，半导体的导电率等于零；当温度逐渐升高时，部分电子由于原子热运动的结果，就脱离了固定原子核的束缚，变成了自由电子，它的导电率就逐渐升高了。因此温度越高，半导体电子导体的能力也就越强。

在导电方式方面，半导体除了上面所述的自由电子参与的“电子导电”以外；还有所谓空穴也能参与导电，这种导电方式称为“空穴导电”。这种特殊的空穴导电在实用上有着非常重大的意义。下面将通过具体的例子来说明半导体空穴导电的性能。

为了解释空穴导电的原理，首先要了解半导体的内部结构，硅和锗是二种典型的具有半导体性质的元素，也是很重要的半导体材料。在目前所有的半导体二极管和三极管都是用锗或硅来制造的，因此用锗的晶体结构为例来说明半导体的导电机构是较为适当的。

如同其它固体一样，锗是由许多微小的晶体所组成的，在微小的晶体里，锗原子按着严格的规律排列着。锗原子具有四个价电子，每一锗原子的一个价电子与另一个锗原子的一个价电子组成一个电子对，这电子对存在于二锗原子之间，并且依靠它们才把原子与原子互相结合在一起，这种结合的方式，称为“共价键”的结合。由于锗原子有四个价电子，所以在锗晶体中每一个锗原子与相邻四个锗原子以共价键的方式互相结合着。形成一个稳定的所谓“原子根”。

图15—1表示锗原子的结构图，图中圆球表示原子，球间代表共价键，图中每个原子被距离相等的四个邻近原子依靠共价键相结合着。原子所在位置称为结点。这一种结合的结构形式，称之为锗晶体的“点阵结构”。图中黑球及黑圆柱体部分组成一个单元，称为“原子根”。

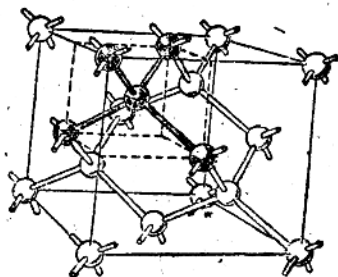


图15—1 锗晶体的点阵结构

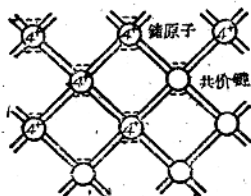


图15—2 锗晶体点阵结构平面图

为了说明方便起见，可以把锗晶体的点阵结构表示到平面上来，如图15—2所示。其共价键是以二条直线来表示的，每一个电子的键都用一条直线来代表，因为相邻二原子间共价键中有二个电子在一起，所以用二条直线来表示。在图中每个原子和相邻四个原子相结合，共是八条线，即表示有八个电子起作用，其中四个是自己的，另外四个各属于一个相邻的原子。

在理想情况下，所有价电子都用来组成了共价键。换言之，在晶体点阵结构中每个结点上都有原子，即无空余结点，也没有剩余电子，这种点阵结构的晶体称为“理想晶体”。