

高等学校教学用书

无线电量计

编者：邮电学院量计教材选编组



人民邮电出版社

內 容 提 要

本书主要讲述无线电测量的一些基本方法、原理以及常用的测试仪器。主要内容有：测量用信号电源，电子示波器，电流与电压测量，电路参数测量，频率测量，相移测量以及谐波分析和非线性测量等。

本书内容只限于无线电技术中几项共用的测量，至于电工测量和各专业测量则不包括在本书范围之内。

本书可作为高等学校无线电通信专业教学用书，也可用作一般参考书。

无 线 电 量 计

編 者： 邮 电 学 院 量 計 教 材 选 編 組

出版者： 人 民 邮 电 出 版 社

北京市西6条13号

(北京市书刊出版业营业登记证出字第048号)

印刷者： 邮 电 部 北 京 邮 票 厂

发行者： 新 华 书 店

开本 787×1092 1/32

1961年7月北京第一版

印张 3 22/32 字数 118 插页1

1961年7月北京第一次印刷

印刷字数 85,000 字

印数 1-3,150册

统一书号：15045·总1258-无321

定价：(10) 0.47 元

目 录

序 言

第一章 緒論

第二章 測試用信号电源

§ 2.1 概述 (3)

§ 2.2 低頻信号电源 (5)

一、LC 振盪器 (6)

二、RC 振盪器 (7)

三、差頻振盪器 (8)

§ 2.3 高頻信号电源 (10)

一、調幅高頻信号发生器 (10)

二、調頻信号发生器 (16)

§ 2.4 脈冲信号发生器 (19)

第三章 电子示波器

§ 3.1 概述 (21)

§ 3.2 电子示波器的基本組成部分 (21)

一、阴极射綫管 (22)

二、扫描电压发生器 (23)

三、放大器 (24)

四、电源设备 (30)

§ 3.3 电子示波器实例介紹 (30)

一、主要技术指标 (31)

二、各部分工作原理 (32)

三、示波器使用时应注意的事項 (35)

四、示波器的使用方法 (35)

§ 3.4 特种示波器 (37)

- 一、 双脉冲波器与电子开关的应用
- 二、 脉冲示波器

第四章 电流、电压的测量

- § 4.1 电流的测量
- § 4.2 热电偶仪表
- § 4.3 热电偶仪表的误差及减少误差的方法
- § 4.4 电流量程的扩大
- § 4.5 电压的测量
- § 4.6 电子管电压表
- 一、 概述
- 二、 单级电压表—检波的基本电路
- 三、 带有直流放大器的高频电子管电压表
- 四、 带有交流放大器的电子管电压表
- 五、 电子管电压表刻度的校核
- § 4.7 电子管电压表实例介绍
- 一、 主要技术指标
- 二、 工作原理
- § 4.8 电压测量的新方向——记数式电压表

第五章 电路参数的测量

- § 5.1 概述
- § 5.2 标准元件
- 一、 标准电阻
- 二、 标准电感
- 三、 标准电容
- § 5.3 用电桥法测量电路参数
- 一、 最简单的电桥电路
- 二、 双T型高频电桥
- § 5.4 用谐振法测量电路参数

一、用諧振法測量電容	(74)
------------	--------

二、用諧振法測量電感	(75)
------------	--------

§ 5.5 Q表的原理及其應用	(76)
-----------------	--------

第 六 章 頻率的測量

§ 6.1 概述	(78)
----------	--------

§ 6.2 音頻的測量	(79)
-------------	--------

一、用比較法測量頻率	(79)
------------	--------

二、用電橋法測量頻率	(81)
------------	--------

三、用電子記數器測量頻率	(82)
--------------	--------

§ 6.3 射頻的測量	(83)
-------------	--------

一、用諧振法測量射頻	(83)
------------	--------

二、用比較法測量射頻	(85)
------------	--------

§ 6.4 用電子記數器法測量頻率——記數式頻率計	(88)
---------------------------	--------

§ 6.5 頻率的标准	(92)
-------------	--------

第 七 章 相位移的測量

§ 7.1 概述	(93)
----------	--------

§ 7.2 相位移的測量法	(95)
---------------	--------

一、用示波器測量相位移	(95)
-------------	--------

二、直讀式相位計測量相位移	(98)
---------------	--------

§ 7.3 移相器	(101)
-----------	---------

第 八 章 諧波分析與非線性失真測量

§ 8.1 概述	(104)
----------	---------

§ 8.2 諧波分析儀	(105)
-------------	---------

一、外差式諧波分析儀	(105)
------------	---------

二、具有高度選擇系統的諧波分析儀	(106)
------------------	---------

§ 8.3 非線性失真的測量	(109)
----------------	---------

一、用抑制基波的方法測量非線性失真	(110)
-------------------	---------

二、用相互調制法測量非線性失真	(112)
-----------------	---------

第一章 緒 論

无綫電量計課程，是随着无綫電技術發展的需要而產生和發展起來的。另一方面，測試方法及儀器的改進與完善反過來又有助於无綫電技術的進一步發展。由此可見无綫電量計是无綫電通信技術中的一個重要組成部分。它与无綫電技術的發展是緊密聯系，息息相關的，

解放前由于國民黨反動統治及帝國主義的摧殘，我國的電信儀器製造事業是相當落後的，解放後在中國共產黨的正確領導下，我國電信技術和儀器製造事業得到了飛躍發展。許多新式的電信設備和測試儀器都有我們自己的產品，這對我國進一步發展電信事業創造了極有利的條件。

随着无綫電通信技術的發展，應用頻率越來越高，頻帶也越來越寬，所以无綫電通信測試儀器的工作頻率及頻帶也就必須与之相適應，對精確度及靈敏度的要求也更加嚴格。同時為了適應現代化生產的需要，各種測試儀器也正在向自動化、數字化、小型化發展。各類綜合性測試儀器的應用也日趨廣泛。

本課程所討論的內容，是普通電工測量以及專業測量範圍以外的，對无綫電通信系各專業有其共同性的一般測量方法和常用基本儀器的主要性能和特點。概括地說可以分為下列几項。

(1) 无綫電通信設備或電路各個元件或部件基本參數的測定和檢查，例如：電阻、電容、電感、互感、品質因數等；

(2) 表征无綫電通信設備工作狀態的各量值的測定和檢查，例如頻率、電流、電壓、相位等；

(3) 无綫電通信設備的各種質量指標的測定，如頻率穩定

度，非綫性畸变和波形等。

其次，对于一些脉冲技术测量和記数式仪表等新测量技术与新型测量仪器也作了簡略的介紹。

至于一些专业测量，如无线电收发信設備中及微波通信設備中的一些专门测量，則为了使更好地与各专业課程內容相配合，都放在各有关专业課程中去讲解。

由于无线电信設備的工作特点，如很多主要設備都工作于高頻率、寬頻帶、高阻抗、弱电流的状态，所以要求测量仪器必須与之相适应。也就是說也要求测量仪器有高輸入阻抗，吸收功率小，頻率响应寬等。

由于上述特点，故絕大多数在直流电路和低頻范围中所应用的电工仪表就不能应用来作高頻測試。譬如一般电工上用的电压表由于其輸入阻抗較低，并且其讀数与頻率有很明显的关系（主要由于分布电容、电感及寄生耦合等的影响），就不能直接用来测量高頻电压。否則其誤差将不可容許。

同时必須指出的，测量的誤差还与被测对象的性質和数值等有关。例如一般說来頻率可以測得比較精确，一般誤差可小于 10^{-5} 到 10^{-7} 之間，但如电容、电感、阻抗等就不易达到这样的精确度（誤差可达0.5%—5%）；高頻电压、电流的测量誤差一般为3%—5%；至于Q、电場强度、調制系数等的誤差就更大了，有时甚至可达20%。

必須說明，电信测量的目的，就是对电信傳輸和电信設備的真实情况作客觀的判断，因而测量技术本身就是一个实践过程。在本課程教学中，就应该遵循这个特点，把課堂讲授与实验环节密切結合起来，方可收到实效。

通过課堂讲授的理論学习和实验課的具体实践，学生应当掌握各种电路参量与工作状态的基本测量方法；能够根据实际

情况，正确地选择适当的测试方法；运用和校正一般的测试仪器；分析一般测量仪器的电路；并对测量结果的正确与否应具有一定的判断能力。

为了迅速地达到上述要求，必须对一般测量仪器的工作原理有足够的了解。因此本课程中有相当篇幅讨论几个典型的基本测量仪器。例如振荡器、电子管电压表和阴极射线示波器等。但是本课程的主要目的正如上述，是使学生能掌握无线电通信测量的基本原理和方法，并不是介绍各种具体仪器本身。至于这里介绍几种仪器的目的是要求学生能通过对这些典型仪器的具体分析和研究，举一反三地培养和提高对一般仪器的电路分析和障碍判断的实际能力，能根据说明书的叙述，正确地使用测试仪器。为将来从事具体工作打下坚实的基础。

根据教学计划的规定，在学习本课程以前，还应掌握电工测量、电磁场理论、电子器件及放大器以及无线电基础（包括脉冲技术）等专业基础知识。这对学习本课程就具备了有利条件。因而也使本书节省许多讲述仪器一般电路的篇幅，从而有可能来较深入地讨论具体仪器的关键电路，和具体测试中应注意的各种事项以及各种测试方法的比较等。

第二章 测试用信号电源

§2.1 概 述

在无线电测量中将产生交流信号的电源叫做振荡器或信号发生器。对振荡器的要求要看测量的性质、条件和精确度而定。以下所谈的对于振荡器的要求是一般性的。

在大多数情况下，振荡器的输出波形应当尽可能近于正弦

形①。实际上所产生的信号总会有一定数量的諧波存在。諧波存在的程度用所謂非綫性系数来量計。非綫性失真系数的定义已經在电子管放大器課程中介紹过，茲不贅述。

一般良好的音頻振盪器的非綫性系数小于1%，当由于具体测量的需要而对波形有严格的要求时，可以利用特別設計的电路或用滤波器，将非綫性系数降低到0.1%—0.2%，在粗略的测量中或在测量結果不随頻率而变化的时候，可以用非綫性系数較大（10%—15%）的振盪器进行测量。

对高频振盪器而言，在許多情况下对非綫性系数的要求是不高的。

在振盪頻率的稳定度方面（特别是射頻振盪器）有严格的要求：如果振盪器的振盪頻率只有一个，可以用石英晶体来实现頻率稳定；如果振盪器应在一定的頻率范围内均匀地調节它的頻率，就必须利用其他稳定措施，这些措施在以后敘述各式振盪器时将要談到。在准确測量頻率时用的特种振盪器中可以达到 10^{-6} — 10^{-7} ，甚至还更高些。一般类型的振盪器頻率的稳定度約为 10^{-2} — 5×10^{-4} 。

音頻振盪器通常的輸出功率約为0.2—2瓦，在某些情况下可以碰到或大或小的輸出功率。振盪器額定輸出功率的变化范围很大，因为其大小在很大程度上由振盪器的用途而定。例如，根据差頻法測量頻率或檢驗接收机时用的振盪器，功率就可能极小（几分之一瓦）；而測量振盪电路的电阻和对諧振式波长表进行分度或校准的时候，就需要有較大功率的振盪器（数瓦）；而在試驗振盪电路的电容器或試驗絕緣子等测量中就需要功率更大的振盪器了。

（1）这里指对一般正弦波信号发生器，而脉冲信号发生器，則留在本章后部分另行討論。

振盪器的輸出電壓也隨用途不同而在很大的範圍內變化，從幾微伏至幾十伏甚至百伏以上。此外還提出能均勻調節的要求。

為了避免負載對輸出信號造成的影響，如幅度改變和波形畸變，所以振盪器的內阻應該愈小愈好。通常振盪器的內阻從幾歐至百餘歐，最常見的是十歐或數十歐。

總的來說，振盪器的主要指標是：（1）非線性系數；（2）輸出功率；（3）輸出電壓及其調節範圍；（4）頻率穩定度和刻度準確度，（5）頻率範圍；（6）輸出阻抗（即內阻）。

測量用的信號電源通常是產生正弦波及已調波的信號振盪器。但隨著脈沖技術的發展，在無線電測量中還要求得到各種脈沖測試信號。產生這種信號的振盪器稱為脈沖發生器。

下面我們將對各種信號振盪器進行討論：

§ 2.2 低頻信號電源

頻率在音頻範圍內的信號電源（低頻振盪器）按其工作原理可以分成下列幾種：

- 1) 電動音頻發電機；
- 2) 蜂音發生器及音叉振盪器；
- 3) 電子管振盪器（晶體管振盪器歸入這一類）。

在近代的測量裝置中，幾乎不應用電動音頻發電機，因為它產生的波形的非線性系數很大。通常當要求足夠大的功率（超過100瓦）及非線性系數沒有重大的意義時，才應用這種發電機。例如，頻率為1000赫的這種發電機可應用於地下電力電纜的斷路和短路檢查試驗。在要求不同頻率的振盪的測量技術中，幾乎都不應用電動發電機，因為它所產生的振盪頻率和發電機轉子的轉數有關，要在較寬的範圍內改變轉數是困難

的。

蜂音发生器和音叉振盪器所产生的振盪功率比較小，且頻率范围不够寬。通常，这种振盪器只在几个固定的頻率下，主要是低頻（200、400、800、1000、3000 赫）的情况下应用。此外，蜂音发生器发出的信号頻率极不稳定，且非线性系数极大，所以这种振盪器很少用于現代測量技术中。在一些阻抗电桥中可以碰到应用蜂音振盪器的例子。音叉振盪器有高的頻率稳定度，一般可达到 10^{-4} ，能作音頻的标准頻率。

电子管音頻振盪器得到了最广泛的应用，因为它沒有上述的許多缺点。

所有的音頻电子管振盪器可分成下列几种类型：

- 1) LC 型振盪器；
- 2) RC 型振盪器；
- 3) 差頻振盪器。

現在分別加以討論。

一、LC 振盪器

LC 型音頻振盪器的工作原理是利用电感 L 与电容 C 組成的回路的諧振特性和电子管的放大特性而組成。为了稳定这种振盪器的頻率，使用着与稳定高频振盪器相同的方法（在本章后面將讲到）。

LC 型电子管音頻振盪器的应用比較有限，因为应用这一类振盪器会遭遇到下述一系列的困难：

(1) 利用可变电容器改变所产生的振盪頻率时，回路的諧振阻抗 ($R_{oe} = \frac{L}{CR}$) 也随着改变，因此振盪电压的振幅也改变；

(2) 当电容器电容量的改变范围有限及电感值固定时，不能得到頻率范围較寬的振盪。所产生的振盪的极限頻率的比为

$$\frac{f_{\text{大}}}{f_{\text{小}}} = \sqrt{\frac{C_{\text{大}}}{C_{\text{小}}}},$$

而对大多数典型的电容器，此比值约为 $\sqrt{20}$ 到 $\sqrt{30}$ （ $C_{\text{大}}=750$ 微微法， $C_{\text{小}}=25$ 微微法）。

（3）由于 LC 很大，在制造上遭遇到一系列的困难。

（4）一般的线圈都有铁心（为了增大 L ）所以稳定性和波形都不会好。

因此，这一类型的振荡器，在测量装置中是少见的。

二、RC振荡器

RC型振荡器实质上是具有正反馈的阻容耦合放大器，其基本原理已在无线基础中讲过，这里就不再重复。本节只对RC振荡器的一般组成情况进行介绍。

一般RC振荡器还有以下几个附属设备：

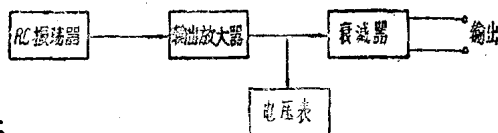


图 2.1 RC振荡器的方框图

1. 输出放大器；
2. 衰减器；
3. 电压表指示器。

对于振荡器要求频率稳定，非线性畸变小，即要求其波形尽量接近正弦波。

加入输出放大器的目的是为了使输出的低频振荡具有足够大的功率。为了使正弦振荡通过放大器后不致造成大的失真，必须要求放大器频率特性好，频率宽，非线性失真尽可能的小。为了使振荡器输出电压不致受被测机件输入阻抗的影响，还要求放大器的输出阻抗低，所以通常采用阴极输出器或变压器输出。

为了保证输出信号杂音比，我们不是使放大器输入信号减

小来取得小的信号，而是在放大器输出端加衰减器来取得小幅的信号。

为了指示输出信号的大小，一般都把电压表接在衰减器前。这样，就不需要灵敏度很高的电压表作指示器。

三、差频振荡器

差频振荡器是基于两个频率相近的高频振荡波的变频用，在振荡器输出端便得其频率等于两个加于混频器上高频频率差的振荡信号。

利用电子管的非直线性特性，在其适当的级上加上两个同频率的电压，就可以得到二者的频率差。

差频振荡器的电路原理图如图 2.2 所示。现在用它来说

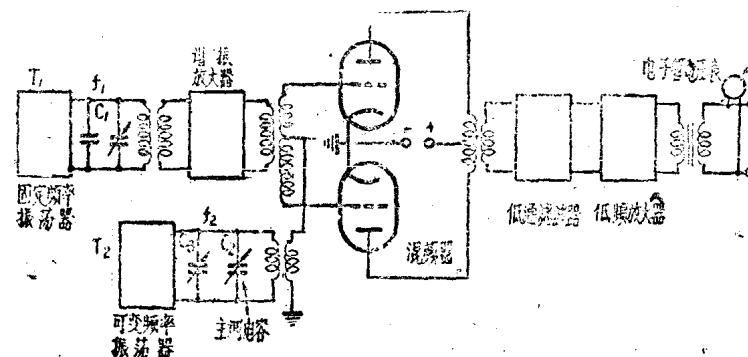


图 2.2 差频振荡器的方框图

差频振荡器的工作原理， T_1 与 T_2 为两个高频振荡器， T_1 为固定频率振荡器；其频率为 f_1 。 T_2 为可变频率振荡器，其频率为 f_2 (f_2 在 f_1 到 $f_1 - f$ 大到 $f_1 + f$ 大范围内均匀变化)。 T_1 产生的振荡，经放大器与 T_2 产生的可变频率振荡都加到混频器上。假设两个高频振荡器均给予纯正弦振荡，并设混频器具有平方律特性，那么在混频器上就能得到 f_1 、 f_2 、 $2f_1$ 、 $2f_2$ 、

、 $f_1 - f_2$ 等頻率。其中只有 $f_1 - f_2$ 為低頻，而其他頻高頻。因此我們就可以利用接于混頻器之后的低通濾波高頻成分濾掉，並利用電容器將直流隔斷，那麼我們就波器的輸出端得到差頻 $f_1 - f_2 = f$ 的信號。如果調節主器 C_2 ，將 f_2 從 f_1 變到 $f_1 - f$ 大，那麼差頻 f 將從零均勻 f 大。 f 即為我們所需要的低頻振盪，然後再將差頻振頻放大器進行放大。

果 T_1 與 T_2 產生的振盪不為純正弦振盪，而含有諧波，頻之后除了差頻 f 之外，將還會得到 $2f_1 - f_2$ 、 $2f_2 - f_1 - 2f_2$ 、 $3f_1 - 3f_2$ 等頻率。其中頻率較低的 $2f_1 - 2f_2$ 、 f_2 等頻率不容易被濾波器濾掉。這將會使輸出波形產生。

外，由於通常所採用的變頻器由於電子管的非線性特性使加至其輸入端的两信號都為純正弦波，但在其輸出端產生高次組合波，與上述情況相似。這些不需要的組合波分（奇次項）是高頻的，可以用低通濾波器加以消除，的偶次項是低頻，不能用低通濾波器濾掉。抑制的辦法的振盪器與混頻器之間加一級調諧放大器或低通濾波樣只有一個振盪器中可能含有高次諧波，故混頻后的頻 $f_1 - f_2$ 外只有 $2f_2 - f_1$ 、 $3f_2 - f_1$ 等高頻振盪，它們是可以低通濾波器濾掉的。至於防止混頻器本身所的偶次組合波則可以採用推挽（平衡）式混頻器電路來加上。

為了保證低頻段刻度誤差小，可以用 C_3 來調整，使刻度保持準確的位置上。如果當刻度盤指示在零赫時，輸出電壓不為零，那麼我們就調節電容 C_3 使輸出電壓為 0，這得到 $f_1 = f_2$ 。為了知道是否已調到零拍，可利用接在振盪

器輸出端的听筒来听零拍，或者根据接于輸出端的电子管电压表决定零拍。

現在我們將差頻振盪器与 RC 振盪器作一比較：

1. 差頻振盪器頻率穩定度比 RC 振盪器差；
2. 差頻振盪器的刻度需要經常进行校准，而 RC 振盪器的刻度較穩定，不需經常校准；
3. 差頻振盪器在整个低頻范围内只用一个波段，因而能均匀連續地改变頻率。因而它适用于自动測量，而 RC 振盪器要分几个波段，所以它的頻率不能在广大的范围内均匀連續地改变。

§ 2.3 高頻信号电源

产生高頻信号都采用电子管振盪器，測量用高頻振盪器的主要特点是它的屏蔽要非常严密。这是为了防止高頻电压除了由振盪器輸出端子以外的任何途径渗入測量綫路。

高頻振盪器允許得到頻率可連續变动的与振幅稳定的振盪。它的主要用途是測試接收机、高頻放大器、寬頻带放大器等設備时作为信号电源；其次就是作为高頻阻抗电桥的电源。一般可以分为普通高頻振盪器和超高頻振盪器两大类。普通高頻振盪器一般是从10千赫至50兆赫；超高頻振盪器一般自10兆赫至350兆赫，專門用的可以高至几千兆赫。本书仅就前者加以介紹。

高頻信号电源可分为調幅与調頻的两种，下面就对它們分別进行敘述：

一、調幅高頻信号发生器

以下簡称为高頻信号发生器，它的主要部分有：

1. 頻率可变的高頻振盪器；

2. 产生调制信号的调制信号发生器；
3. 可以调节输出电压大小的衰减器；
4. 载波和调制系数指示电表；
5. 稳定的电源供给。

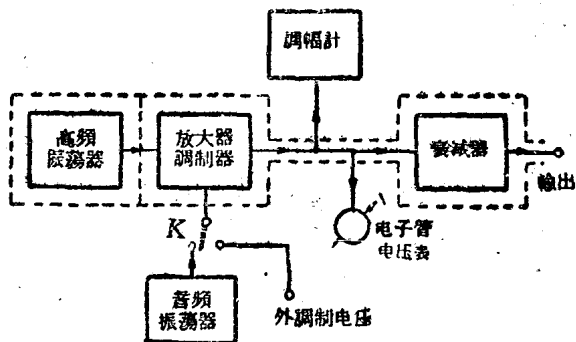


图 2.3 高频信号发生器的方框图

由于对高频信号发生器有频率稳定度高的要求，所以在振荡回路中有时采用特制的元件和温度补偿电路的设备。另一方面，为了要满足频段变化的要求，振荡器的频段划分是很多的。

为了使输出的负载或衰减器的变动对振荡器频率不发生影响起见，隔离放大器是必需的。使用隔离放大器的另一原因是使调制信号不直接加于振荡管之上，否则将会大大的破坏了振荡器的频率稳定性而使输出信号带有附加的调频现象。一般情况，隔离放大器工作于甲类状态以减轻振荡管的负载，同时还兼任被调放大器。

调制器的装制一般都有内部调制和外部调制二种。

内部调制是利用简单的LC型音频振荡器，频率为400赫（或1000赫），该振荡器的输出电压送到隔离放大器去作调幅。外部调幅是由外面其他的音频振荡器来供给调幅信号。外

部調制与内部調制的轉換，藉助于开关K来完成。

衰减器的型式很多。在标准信号发生器内这里是采用T型衰减器，如图2.4所示。图中信号电源T代表放大器输出的稳定的

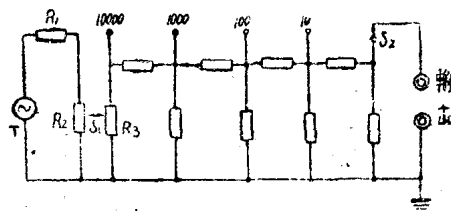


图 2.4 电阻式衰减器

的一伏的电压，经过 R_1 降压至0.1伏，再送至衰减器。衰减器包括两部分。一个是T型多节网络，每一步衰减10倍，一个

是 R_2 、 R_3 组成的分压器，可以在0—0.1伏范围内变化。这个分压器使输出阻抗不变化。利用 S_1 可以均匀调节输出电压的大小。 S_2 可供跳跃调节，二者联合起来可以使输出电压从0—10000微伏内平滑地变化。标准信号发生器之所以要用衰减器，一方面是为了能在宽广的电压变化范围内得到均匀调节，另一方面由于进入毫伏或微伏范围内的高频电压很难用仪表指示。于是将隔离放大器输出的一伏作为标准（这是较易量测的），然后加以衰减以得到低电压。根据衰减器的步位即可推算出输出电压的大小。还有就是为了得到足够大的信号杂音比。

由于衰减器的集肤效应、杂散电容、引线电感等在高频时不可忽略，所以高频振荡器的输出电压在高频时是不准确的，有时误差达到20%。

载波电压的大小和调幅百分数都需要用仪表指示出来，这两种指示可以合用一个电表（由开关 K_2 来控制）。也有用两个电表的。指示电表一般都用电子管电压表。表上刻有载波电压的基本参考点，可改变电子管的板压使载波电压调到这个数值。表上还刻有调幅度的百分数，实际上仅代表调幅音频信号的大小。它是按照上述固定载波电压为标准而校核的。因为电