

高等学校教学用书

有线电信量计

編者：邮电学院量計教材选編組



人 民 邮 电 出 版 社

73.612
628

高等学校教学用书

有 綫 电 信 量 計

編者：邮电学院量計教材选編組

人民邮电出版社

1962

內 容 提 要

本书共分六章，分別敘述了有綫電信技術中共同的測量技術和工作原理。內容包括基本儀表以及阻抗、頻率、衰減、非綫性失真和相移等測量，並以實用性較大的測量方法為主進行重點說明，同時也加強了典型儀器的說明。此外也介紹了一些較新的測量技術。

本書內容只限於有綫電信技術中幾種共同的測量。至於普通電工測量和各專業測量則不包括在本書範圍內。

有 綫 電 信 量 計

編 者： 郵 電 學 院 量 計 教 材 選 編 組

出版者： 人 民 郵 電 出 版 社

北京東四 6 條 13 號

（北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八號）

印刷者： 北 京 印 刷 廠

發行者： 新 華 書 店

開本 787×1092 1/32

1961年7月北京第一版

印張 4 14/32 頁數 142 插頁 2

1962年5月北京第三次印刷

印刷字數 102,000 字

印數 6,221—9,420 冊

統一書號：K 15045·總 1255—有 265

定價：(10) 0.58 元

序 言

本书共分六章，分别叙述有线电信技术中几种共同的测量技术和工作原理。内容包括基本仪表以及阻抗、频率、衰减、非线性失真和相移的测量，并以实用性较大的测量方法为主，适当结合典型仪器进行重点说明，同时还介绍了一些比较新的测量技术。内容安排力求理论结合实际，并考虑到当前测量技术水平和今后发展方向。本书内容范围根据教学大纲要求与“电路基础及量计”和各专业课程作了适当分工。

本书原稿是北京邮电学院电工教研组于1960年教学改革中师生结合编写的。1961年4月在北京邮电学院负责主持下，经邮电学院量计教材选编组以上述原稿为基础，进行审校改编，作为通信类专业的教学用书。

参加审编的教材选编组成员是：重庆邮电学院冯炳昌、武汉邮电学院朱永藩、南京邮电学院范懋本、北京邮电学院钱彭年、章文芝、安德宁、武汉邮电学院杨兰英等同志。参加本书绘图、缮写校对工作的还有北京邮电学院工程画教研组老师以及北京邮电学院的部分同学。

1961年5月

緒 論

在有綫電信技術各部門如電話、電報、有綫廣播等設備中，一般都包括有各種接收和發信設備以及傳輸設備。由於這些設備大量地採用了現代電子技術的成就和電子設備，如電磁器件、電子管和半導體器件等，故在製造這些設備，以及要保證它們高質量地工作，就必須進行科學的、可靠的測試和調整。這就需要研究測量方法和測量儀器。

雖然有綫電信測量已成為有綫電信技術中一個獨立部門，但是它的發展與有綫電信技術總的發展却是分不開的。隨着有綫電信技術的發展，測量技術也愈益完善。另一方面，由於在近代化有綫通信設備中，測試要在很低的電平、很高的增益、很大的衰減和很寬的頻帶上進行，所以對測試儀器的結構和測試方法也提出了更高的要求。例如隨着有綫電信技術向着多路化的發展，測試儀器的工作頻率也就越來越高，工作頻段也越來越寬；對精確度和靈敏度的要求也更加嚴格。同時，為了適應現代化生產及先進技術維護的需要，各種測試儀器也正在向自動化、數字化和小型化發展。各類綜合性測試儀器的應用也日益廣泛。而測量儀器的進一步發展又為電信技術創造了新的廣泛的發展條件。

解放前由於國民黨的反動統治及帝國主義的摧殘，我國的

仪器制造事业是相当落后的。解放后，在中国共产党的正确领导下，我国电信技术和仪器制造事业，得到了突飞猛进的发展。許多先进的电信設備和測試仪器都有我們自己的产品。这对我国进一步发展社会主义的通信事业創造了极有利的条件。

在有綫电信測量中，往往通过測量若干項目的量值来衡量通信設備的質量。例如：

1. 确定通信設備和仪器中各元件的参量，如电阻、电容、电感等的測量；
2. 确定那些能表征电信設備的工作状态的量，如电压、电流、頻率、相位等。
3. 确定通信設備的質量指标，如輸出电平、增益、衰减、非綫性失真等。

有綫电信量計按其測量場所的不同，大致可分下列三种：

(1) 生产測量。在大批生产过程中，力求測量过程簡單。因此在准确度方面一般要求略低，但对驗收測量則要求有較高的准确度；

(2) 維護測量。它要求測量簡單、迅速、可靠，并不使通信工作間断。如載波机的定期維護測試就是如此；

(3) 研究性測量。它对准确度有較高的要求。

正是由于有綫电信測量中，需要測定为数很多的 各种 参量，而且測量的范围和測量的准确度有各种不同的要求，这就增加了測量技术的复杂性。对于各自独立而差別很大的有綫电信技术各部門，都有它專門的測量仪器和測量方法。但其中也

有很大一部分，尤其在原理方面有其共同性。

本課程所討論的內容，包括那些普通電工測量範圍以外的、對各電信專業有共同性的一般電氣測量方法和常用基本儀表的主要性能和特點。其中包括阻抗、電平、衰減、相移、頻率和非線性失真等的測量。對一些脈沖技術測量和記數式儀表等先進測試技術與新型測量儀器也作了簡略的介紹。至於各專業的量計方法，為了更好地與各專業內容相配合，將在各專業課中去討論，不包括在本課程範圍之內。

必須說明，由於電信測量的目的就是對電信傳輸和電信設備的真實情況作客觀的判斷，因此，在本課程教學中，就應該遵循這個特點，把課堂講授與實驗環節密切結合起來，方才能達到本課程的目的。

通過理論學習和具體實驗，同學們應當掌握各種電路參量與工作狀態的基本測量方法；能夠根據實際情況，正確地選擇適當的測試方法；正確地運用和校正一般的測試儀器；正確地分析一般測量儀器的電路；並對測量結果的正確程度要有一定的判斷能力。

為了迅速地達到上述要求，必須對一般測量儀器的工作原理有足夠的了解。因而本課程中有相當篇幅討論幾個典型的基礎測量儀器。例如振盪器、電子管電壓表和陰極射線示波器等。但是本課程的主要目的正如上述，是使學生能掌握有線電信測量的基本原理和方法，並不是介紹各種具體儀器。這裡所介紹幾種儀器的目的是要求學生通過對這些典型儀器的具體分

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判断障碍的能力，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。

根据教学计划的規定，在学习本課以前，学生已掌握电路基础、电工量計、电磁場理論、电信网络、电子器件及放大器以及电子技术（包括脉冲技术）等专业基础知识，用不着以很大篇幅来讲解仪器的一般基本电路，对学习本門課程創造了有利条件。这就可能加强物理概念的叙述，进一步分析具体仪器的关键电路、深入討論测试中应注意的各种事項以及各种测试方法的特点。

目 录

緒 論

第 一 章 电信量計一般知識介紹

§ 1.1 測量的方法及分类	(1)
一 直接測量	(1)
二 間接測量	(2)
§ 1.2 測量的电源	(3)
一 測量用的直流电源	(3)
二 測量用的交流信号电源	(3)
三 对交流信号电源的要求	(4)
§ 1.3 电信測量用的标准元件	(4)
一 标准电阻箱	(4)
二 标准电容箱	(5)
三 标准电感和互感元件	(6)
四 可变衰减器	(7)
§ 1.4 由于电信測量的特点而影响准确度的各种因素及基本防护方法	(7)
一 寄生参数对測量的影响	(7)
二 干扰对測量的影响	(9)
三 寄生参数和干扰的几种防护措施	(9)
四 非线性失真对測量的影响	(11)
五 对地平衡与不平衡的問題	(11)

第 二 章 基本仪表

§ 2.1 正弦波振盪器	(13)
一 測試用振盪器的功用、种类和要求	(13)
二 典型RC型正弦波振盪器	(14)

三 其他各种类型的正弦波振荡器	(19)
§ 2.2 脉冲发生器	(22)
一 脉冲发生器的分类和特点	(22)
二 原理和结构	(23)
三 应用	(28)
§ 2.3 电子管电压表	(28)
一 电子管电压表的特点	(28)
二 典型电子管电压表	(29)
三 用电子管整流时静止板流的影响及其消除, 各种整 流方式的比较	(33)
四 输入阻抗可变的平衡式电子管电压表	(35)
§ 2.4 其他电压测量仪表	(36)
一 热偶式仪表	(36)
二 记数式电压表	(37)
§ 2.5 电子示波器	(39)
一 概述	(39)
二 电子示波器的基本组成部分	(40)
三 电子示波器实例介绍	(48)
四 特种示波器	(54)
§ 2.6 脉冲示波器	(56)

第三章 阻抗的测量

§ 3.1 阻抗测量的意义和一般测量方法	(62)
一 伏安法	(62)
二 电压表比较法	(63)
三 谐振法	(63)
§ 3.2 交流电桥	(64)
一 交流电桥的特性	(64)
二 交流电桥的质量指标	(65)

三 各式交流电桥性能和使用范围的比較	(69)
§ 3.3 差动电桥	(71)
一 差动电桥的特性	(71)
二 各种差动电桥的比較	(72)
三 典型的差动电桥	(72)
§ 3.4 影响电桥准确度的各种因素及其消除方法	(78)
一 影响电桥准确度的内部因素	(78)
二 影响电桥准确度的外部因素	(80)
§ 3.5 Q表的原理及其应用	(82)
第 四 章 傳輸电平、衰減和相移的測量	
§ 4.1 电平的測量	(85)
一 电平及其分类	(85)
二 傳輸电平的測量	(87)
§ 4.2 衰減的測量	(88)
一 固有衰減、工作衰減、介入衰減和傳輸衰減	(88)
二 衰減的測量方法	(90)
三 失配衰減(反射系数)和平衡衰減	(93)
§ 4.3 相移的測量	(97)
一 三电压法	(97)
二 示波器法	(98)
三 脈冲法	(99)
第 五 章 頻率の測量	
§ 5.1 利用电抗元件构成的网络对信号頻率的不同反应而进行的間接測量法	(102)
一 电桥法	(102)
二 諧振法	(103)
§ 5.2 用比較法測量頻率	(107)

一 示波器法	(107)
二 拍頻法	(110)
三 差頻法	(112)
§ 5.3 記數式頻率計	(114)
一 電容器充放電法	(114)
二 電子記數式頻率計	(115)

第 六 章 非直綫性失真的測量和波形分析

§ 6.1 概述	(122)
§ 6.2 振幅特性的測量方法	(122)
一 電平差法	(123)
二 比較法	(124)
§ 6.3 非直綫性系數和非直綫衰減的概念和測 量方法	(125)
一 直讀法	(126)
二 頻譜分析法	(129)

第一章 電信量計一般知識介紹

在進行有線電信測量時，一般總是需要特別的電源和元件，而且希望它們具有高度的準確性和穩定性。但是，由於電信器材製造工藝的限制以及電信器材的特點，使得它們不能完全滿足我們的要求。這就限制了測量值的準確度。此外電信測量的準確度還與其它因素有關。所以在電信測量中，對如何減小誤差、提高精確度，是我們經常關心的問題。本章就對測量所用的電源和各種交流測量用的標準元件進行研究，並且重點討論由於交流測量的特點所形成的誤差和影響準確度的各種因素以及基本防護方法。

§1.1 測量的方法及分類

在電信測量中，由於測量對象以及測量條件的不同，因而測量方法也各不同。歸納起來，可以分為下面三種：

直接測量；

間接測量；

綜合測量。

在電信測量方面採用直接測量的方法較多。間接測量次之，綜合測量用得很少，這裡就不予以說明。

一、直接測量

直接測量是將測量的結果由儀表直接指出（例如：用安培計測量電流）。直接測量按其指示的方式不同，又可分為下面三種。

1. 直讀法：這種方法的特點是用儀器的指針或其他方式

直接指示出被测对象的量。这种测量方法很简单，所需时间最短，在实际应用中最广泛，但准确度不高。这是因为测量结果的准确度要受仪器准确度的限制。在一般情况下，仪表的准确度不可能很高。目前采用了准确度较高的直讀記数式仪表来进行测量，如用电子記数式頻率計来測量頻率，就能获得較高的准确度。

2. 比較法：比較法的实质是把仪表对被测量所引起的反应与对已知量所引起的反应相比較。当指示器指在同一位置时，则表示这两个量相等的。由于比較法准确度較高，故应用較广。

3. 零示法：它是比較法的特例，其特征是在測試仪器中被测量与已知量达到平衡条件时，測試仪器上的指示器，指在零的位置（例如电桥測量法）。一般說来，零示法比直讀法复杂，所需測量時間較长，但准确度較高。零示法准确度可高达0.02%，而最优良的直讀指針式仪表很难达到这样高的准确度。

二、間接測量

間接測量的特点是測量的結果不是所求的量，而是与所求的量有一定关系的輔助量；例如用开路、短路法測量四端网络的特性阻抗。它是把不同条件下所測得的輸入阻抗值 Z_0 和 Z_s 用下列公式来求出它的特性阻抗 Z_c 的数值。

$$Z_c = \sqrt{Z_0 Z_s}。$$

由于对几个輔助量进行直接的測量，它的誤差是累积的，所以准确度要比比較法低得多。同时操作不便，故在測量中，应尽量避免采用这种測量的方法，

§ 1.2 测量的电源

在进行测量时，根据不同的测量条件要求供给不同的测量电源。测量用的电源，概括来说可分为直流电源（一般为供电用）和交流信号电源两种。

一、测量用的直流电源

测量用的直流电源的电压要求有高度稳定性，即不随电源使用时间及温度等因素而变。直流电源的内阻要尽量低，这样当负载改变时，不致影响端电压的稳定。

测量用的直流电源，可用标准电池、干电池、蓄电池以及整流器等。标准电池的电势很稳定，但维护较麻烦，故一般少用。一般只在比较时作为标准。干电池须及时更换，蓄电池须经常充电，故这两种一般只用于移动式设备中。如用整流器时，除应具有良好的滤波设备外，另须附装稳定其输出电压的稳压设备。

二、测量用的交流信号电源

在有线通信技术中，由于载波多路通信的发展，工作频率范围十分宽广，因此所用的交流信号电源也应与之相适应。另外，对测量要求不同也须用不同种类的信号电源。因此按不同的需要交流电源可分为下面几类：

测量用交流电源按其输出频率高低，可分为音频振荡器、高频振荡器以及超高频振荡器。

按其输出频率可变与否，可分为固定频率振荡器，可变频率振荡器以及同时产生多种频率的振荡器。

按其输出波形而分类，常用的有正弦波振荡器，矩形波发生器，锯齿波发生器以及脉冲发生器等数种。

按其所用振荡元件性质分，则可分为机电的和电子管（包括

晶体管)的两种。机电的振盪器有蜂鳴器及音叉振盪器等，电子管振盪器又有RC、LC以及差頻振盪器等。

三、对交流信号电源的要求

根据测量的需要，对交流电源有下列各方面的要求：頻率范围、輸出电压、頻率的准确和稳定度、諧波系数及內阻等。

測量用的正弦交流电流，一般用电子管振盪器供給。由于振盪器內部的非綫性影响，实际上在其輸出免不了有一定的諧波分量。諧波的存在对測量結果会造成很大的誤差。如果測試用信号电源本身不能保証所要求的最小非綫性失真，則电源必須附装低通滤波器，这样可以消除振盪器輸出中的諧波成份，以使尽可能减少非綫性失真，提高測量准确度。

測量用振盪器輸出的頻率和电压不稳定，对測量的准确度有很大影响。关于穩定頻率和穩定輸出的各种措施将在第二章第一节中讲述。

§ 1.3 电信測量用的标准元件

在电信測量中常要用到一些数值准确，性能单纯（如电阻內无电感、电容），很稳定（不随頻率、溫度、時間等变化）的标准元件。这些标准元件有电阻箱、电容箱、电感器和互感器等。

一、标准电阻箱

电流測量用的标准电阻箱外形，一般都是十进位轉柄式，在工作頻帶較高的电阻箱中，均設有靜电屏蔽，并有特別的引出端供电路联接用。組成电阻箱的各个电阻，通常是用綫繞电阻。

一般綫繞电阻是在云母片上用电阻絲繞制，也有繞在磁管上的，故一般都有較显著的寄生电感和分布电容存在。其等效

电路如图 1.1 所示，这样就造成了它在高频运用情况下的阻值不稳定。因此在繞制方法上及选取材料上要提出特殊的要求。例如采用双重繞法，分段繞法等可以减少寄生电感、电容，但終究不能完全消除电抗成分，故在高频电阻箱中，是采用优质的非繞繞电阻，如高质量的炭膜电阻，以提高它的稳定性。

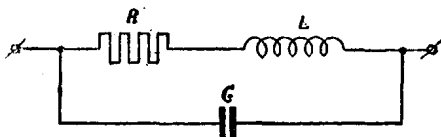


图 1.1 繞繞电阻器的等效电路

二、标准电容箱

标准电容箱，大都是十进位轉柄式，其工作电容值在很寬頻帶內要求稳定。一般多装在屏蔽盒內，如图 1.2 所示。設端子 1 及 2 是电容器的两极片的引出端，电容器的自身电容是 C_{12} ，电容器两端对屏蔽盒的分佈电容分别为 C_{10} 及 C_{20} ，則整个电容器的电容量是 $C = C_{12} + \frac{C_{10}C_{20}}{C_{10} + C_{20}}$ 。这个电容量即为电容器的工作电容。另外由于电容器存在有介質損耗、漏电損耗、接綫損耗及

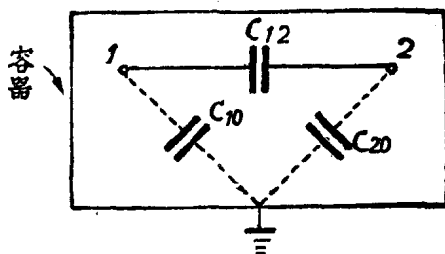


图 1.2 电容器工作电容的組成

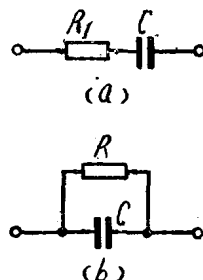


图 1.3 电容器的等效电路

高频时电容器极片中的渦流等損耗。在这些損耗中前两种可用与电容器并联的电阻来表示，如图 1.3(b) 所示。后两种損耗可用与电容器串联的电阻来表示，如图 1.3(a) 所示。因此就