

21世纪高等学校规划教材

WUXIANDIAN

JILIANG YU CESH

无线电计量与测试

■ 陈永良 金宁 编著



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

21 世纪高等学校规划教材

无线电计量与测试

陈永良 金宁 编著



中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

无线电计量与测试/陈永良, 金宁编著. —北京: 中国计量出版社, 2009. 9

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5026-3147-5

I. 无… II. ①陈…②金… III. 无线电参量计量—高等学校—教材 IV. TB973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 150229 号

内 容 提 要

本书的主要内容包括: 无线电计量测试的基本概况, 高频电压的计量与测试, 脉冲波形参数计量测试, 失真度与调制度计量测试, 相移和相位的计量测试, 集总参数阻抗的计量测试等。各参量内容主要包括量值的定义、计量测试原理、主要计量标准和器具、量值传递系统和检定规程等。

本书可作为计量测试类专业、无线电通信测试类专业、测试计量技术及仪器专业、电子测量与仪器专业以及电子信息工程等专业的教科书或参考书, 也可供相关专业的研究生和教师以及从事电子技术和计量工作的科技人员参考, 还可作为成人职业教育的培训教材使用。

中国计量出版社 出版

地 址 北京和平里西街甲 2 号 (邮编 100013)
电 话 (010) 64275360
网 址 <http://www.zgjl.com.cn>
发 行 新华书店北京发行所发行
印 刷 北京市媛明印刷厂印刷
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 14.25
字 数 343 千字
版 次 2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷
印 数 1—2 000
定 价 36.00 元

如有印装质量问题, 请与本社联系调换
版权所有 侵权必究

前 言

《无线电计量与测试》是一门理论性和实践性都很强的专业课程,本书从无线电基本量的计量和测试原理出发,以量值传递系统为线索,对各等级计量标准和计量器具的工作原理、操作使用要求、测量误差和检定规程等方面作了较为全面的阐述;对一些专业术语、检定规程,引用了最新的国家标准。其目的是使读者能较好掌握无线电计量与测试的基础理论和计量器具的原理与应用,在科学实验或生产实践中能制定先进的计量测试方案,合理选用计量仪器和器具,正确处理测量数据,获得最佳的计量和测试结果。

本书主要由陈永良教授、金宁副教授在多年使用的《无线电计量》讲义的基础上,结合最新的国家标准和检定规程的要求编写而成的。李飞标同学参与了文稿的整理工作。本书在编写过程中参考、引用了部分国家标准和计量检定规程等资料。另外,本书得到了中国计量学院教材出版基金的支持,在此顺致衷心的感谢!

本书共六章,分别是第一章无线电计量的概况,第二章高频电压计量与测试,第三章脉冲波形参数计量测试,第四章失真度与调制度计量测试,第五章相移计量测试,第六章集总参数阻抗计量测试。

由于作者水平所限,错漏之处,恳请同行和读者提出宝贵意见。
E-mail:cimcyl@cjlu.edu.cn

编 者

2009.8

目 录

第一章 概 论	(1)
本章主要内容	(1)
第一节 无线电计量的意义	(1)
第二节 计量单位和单位制	(2)
第三节 无线电计量测试的内容	(4)
第四节 无线电计量测试的特点	(7)
一、量程和频程均极宽广	(7)
二、影响量众多,影响特性复杂	(7)
三、误差问题较难处理	(8)
四、准确度方面的悬殊	(9)
第五节 国内外无线电计量概况	(9)
一、国际计量组织	(9)
二、国外主要计量机构	(10)
三、我国无线电计量测试发展概况	(11)
第二章 高频电压计量测试	(12)
本章主要内容	(12)
第一节 概述	(13)
一、电压的定义	(13)
二、电压计量测试的主要特征	(14)
三、电压的量值表示	(15)
四、电压的各种量值之间的关系	(16)
第二节 电压测量的基本方案	(17)
一、检波法	(17)
二、热偶法	(28)
三、测热电阻法	(31)
四、外差法	(32)
五、模/数变换法	(33)
六、取样法	(33)
七、电位差计法	(34)
八、补偿法	(35)
第三节 电压量值的传递与检定	(38)
一、量值传递系统	(38)
二、检定测试中仪器合格的判断	(41)
三、检定方法	(44)

四、检定规程.....	(47)
第四节 高频中电压标准	(51)
一、概 述.....	(51)
二、高频中电压国家基准.....	(52)
三、DO—2 型高频电压校准装置	(58)
四、同轴热电转换式电压标准.....	(63)
第五节 高频小电压标准	(65)
一、高频小电压校准装置.....	(65)
二、微电位计.....	(67)
三、DO16 型超高频微伏电压校准装置	(68)
第六节 高频电压计量测试中的几项主要误差	(74)
一、波形误差.....	(74)
二、传输误差.....	(78)
三、加载误差.....	(79)
四、接地电流的影响.....	(81)
五、杂散场的影响.....	(82)
六、人为误差及接触电压降.....	(82)
第三章 脉冲波形参数计量测试	(84)
本章主要内容	(84)
第一节 概述	(84)
一、脉冲波形的主要参数.....	(84)
二、矩形脉冲的频谱.....	(86)
三、阶跃信号通过理想低通滤波器.....	(91)
第二节 脉冲幅度的测量方法	(93)
一、利用示波器测量脉冲幅度.....	(93)
二、利用检波器测量脉冲电压.....	(94)
第三节 脉冲波形参数测量	(96)
一、定扫速测量法.....	(96)
二、电子时标法.....	(96)
三、位移法.....	(97)
四、示波器本身的上升时间对波形参数测量的影响.....	(97)
第四节 脉冲参数的量值传递及计量器具	(99)
一、量值传递系统.....	(99)
二、标准脉冲电压表.....	(99)
三、脉冲幅度标准	(102)
四、示波器校准仪	(104)
第五节 示波器的检定.....	(108)
一、概述	(108)
二、示波器的主要工作特性	(108)

三、检定项目	(109)
四、模拟示波器检定规程(JJG262—1996)	(110)
第四章 失真度、调制度计量测试	(125)
本章主要内容	(125)
第一节 概述	(125)
一、失真度	(125)
二、调幅度(调幅系数)	(128)
三、调频系数和最大频偏	(130)
第二节 基波抑制法失真度测量原理	(132)
第三节 失真度仪的误差分析	(134)
第四节 失真度量值传递及检定装置	(137)
一、失真度检定系统	(137)
二、BO—13 型失真度测量仪检定装置	(137)
三、失真度标准装置	(142)
四、失真度仪的检定	(143)
第五节 失真度测量的发展	(146)
一、基波抑制法	(146)
二、交互调制法	(147)
三、白噪声法(动态法)	(149)
四、信号的频率统计分析法	(151)
第六节 频偏的测量方法	(153)
一、电子计数器法	(153)
二、鉴频器法	(154)
三、微积分电路法	(154)
四、贝塞尔函数零值法	(155)
五、频谱分析法	(155)
六、示波测量法	(155)
第七节 调幅系数的测量	(157)
一、示波测量法	(157)
二、双重检波法	(159)
三、频谱分析法	(160)
第八节 调制度量值传递及检定装置	(160)
一、调制度测量仪	(160)
二、频偏仪检定标准装置	(161)
第五章 相移计量测试	(165)
本章主要内容	(165)
第一节 概述	(165)
第二节 测相原理	(166)
一、示波器法	(167)

二、比较法	(169)
三、变换法	(170)
四、频率变换法	(174)
第三节 相位计	(175)
一、瞬时值相位计	(176)
二、平均值相位计	(176)
三、相位电压变换式相位计	(177)
第四节 移相器及相位信号发生器	(177)
一、电桥式 RC 电路	(177)
二、正切移相器	(178)
三、数字法精密差值相位发生器	(179)
第五节 相位测量的误差	(180)
第六章 集总参数阻抗计量测试	(184)
本章主要内容	(184)
第一节 集总参数阻抗元件	(184)
一、高频阻抗的定义和特性	(184)
二、电感	(185)
三、电容器	(186)
四、电阻器	(187)
第二节 零示法阻抗计量测试仪器	(189)
一、四臂电桥	(189)
二、变量器电桥	(200)
三、双 T 电桥	(202)
第三节 谐振法高频阻抗计量测试仪器	(204)
一、谐振式阻抗测量仪	(204)
二、回路品质因数的测量及 Q 表	(206)
第四节 复数伏安比阻抗测量法	(208)
第五节 利用变换器测量阻抗	(210)
第六节 高频阻抗量值传递系统与检定	(211)
一、高频阻抗标准及零示法仪器的检定	(212)
二、高频 Q 值标准及 Q 表检定	(213)
附录	
附录一 射(高)频阻抗计量器具检定系统框图	(216)
附录二 无线电计量专业各类检定规程汇总表(截止 2009 年 1 月)	(217)

第一章 概 论

本章主要内容

无线电计量测试是一个重要的计量测试领域,它已成为现代工业的重要基础,直接影响到产品的质量或工程的成败。

无线电计量测试以电子科学技术中常遇到的电磁量为对象,并用一些具体的易于测量的参量来描述,大体上包括 30kHz 以上一直到 110GHz 的频段。

为便于量值的统一与更准确的传递,无线电计量工作中建立了一系列导出单位的标准。目前我国开展量值传递的参量有 19 个,其中以电压、功率、阻抗、衰减、相位、噪声、场强为基本参量。

无线电计量测试的特点是量程和频段宽广,影响量众多,影响特性复杂,误差问题较难处理,计量器具的准确度差别悬殊。

计量工作的性质决定了必须在国际范围内进行广泛的交流与合作,本章最后简单介绍了国内外无线电计量的概况。

第一节 无线电计量的意义

无线电计量亦称电子计量,是随着电子科学技术的发展而逐步形成和发展起来的一个重要的计量测试领域。

电子科学技术的发展和无线电计量测试技术是密切联系相辅相成,互相依赖的。电子科学技术不断的向无线电计量测试提出新的课题和要求。计量测试的准确度是影响电子科学技术进步的主要因素之一。计量科学技术不但是保证实验数据准确一致的基础条件。而且还是验证科学理论正确性、发现新现象、建立新的原理的手段。

从 19 世纪马可尼发明无线电起,直到今天的长波、短波、超短波、微波、毫米波、亚毫米波以至激光频率的通信工程,推动了一系列电子计量标准和测试手段的发展,并成为邮电通信、大地测量、广播电视及其他科学研究、工业生产各个领域中所不可缺少的技术基础条件。

二次大战结束后雷达技术的迅速发展,使微波计量及脉冲参数计量成为无线电计量的一个重要组成部分。

从工程角度看,无论是由数量很大,种类繁多的分机、仪器、部件等组成的一个复杂庞大的国防尖端技术系统,还是一个普通的民用录音机或者电视机,其中各元、部、组件都必须通过精密测试和计量来检查它们是否能全面满足严格的技术指标。这些测量都应该是严格一致的,即能以相当高的准确度追溯到同一计量标准。否则各元、部、组件就不可能组合为所需的系统或整机,或者组成系统或整机之后,系统或整机的总性能将与设计的预期性能大不相同。这种

测量和检验,不仅施行于产品,而且在整个制造过程中都必须进行经常的或不断的监测,在以后产品使用过程中,还需要经常加以检查测试,以保证产品能可靠工作。因此,无线电计量测试技术已经成为现代工业的重要基础,它直接影响到产品的质量或工程的成败。

第二节 计量单位和单位制

凡是可以定量描述的物理现象都是物理量。物理量常被简称为量,物理量是物理对象或各种物质或物理系统的固有性质。这种性质包括它们的大小、数值的含义以及它对某些标准量的比值,也就是单位值。有明确定义和名称并命名其数值为1的一个固定的量便称为计量单位。例如,电流的单位为安培(A),安培是一恒定电流,若保持在处于真空中相距1m的两无限长而圆截面可忽略的平行直导线,则此两导线之间产生的力在每米长度上等于 $2 \times 10^{-7} \text{N}$ 。

物理量的单位必须以严格的科学理论为依据来加以定义,而同一物理量的各个测量仪器和计量器具所表示的单位量都必须与所定义的单位量相统一。

计量单位涉及各行各业,计量单位的统一是经济及科学发展的必然规律,保障国家计量单位制的统一和量值的准确可靠,就有利于生产、贸易、科学技术的发展和人民的利益。

长期以来,世界各国,尤其是科技界纷纷感到,为了加强和促进国际科技、文化、贸易等交流与协作亦应建立统一的单位制。1948年第九届国际计量单位制的建议,得到了大会的支持。后来又经过充分研究和试验,亦多次向世界各国征集意见,在1960年第十一届国际计量大会上正式通过并被命名为国际单位制。简称“SI”。

国际单位制由7个基本单位;2个辅助单位;19个具有专门名称的导出单位;20个用以构成SI单位的十进倍数和分数单位的词头。如表1—1~表1—4所示。

表 1—1 国际单位制的基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克(公斤)	kg
时间	秒	s
电流	安[培]	A
热力学温度	开[尔文]	K
物质的量	摩[尔]	mol
发光强度	坎[德拉]	cd

表 1—2 国际单位制的辅助单位

量的名称	单位名称	单位符号
[平面]角	弧度	rad
立体角	球面度	sr

表 1—3 国际单位制中具有专门名称的导出单位

量的名称	单位名称	单位符号
频率	赫[兹]	Hz
力	牛[顿]	N
压力,压强,应力	帕[斯卡]	Pa
能[量];功;热量	焦[尔]	J
功率;辐[射能]通量	瓦[特]	W
电荷[量]	库[仑]	C
电压,电动势,电位(电势)	伏[特]	V
电容	法[拉]	F
电阻	欧[姆]	Ω
电导	西[门子]	S
磁通[量]	韦[伯]	Wb
磁通[量]密度,磁感应强度	特[斯拉]	T
电感	亨[利]	H
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$
光通量	流[明]	lm
[光]照度	勒[克斯]	lx
[放射性]活度	贝克[勒尔]	Bq
吸收剂量,比授[予]能,比释动能	戈[端]	Gy
剂量当量	希[沃特]	Sv

表 1—4 用于构成十进倍数和分数单位的词头

所表示的因数	词头名称	词头符号
10^{24}	尧[它]	Y
10^{21}	泽[它]	Z
10^{18}	艾[可萨]	E
10^{15}	拍[它]	P
10^{12}	太[拉]	T
10^9	吉[咖]	G
10^6	兆	M
10^3	千	k
10^2	百	h
10^1	十	da
10^{-1}	分	d
10^{-2}	厘	c
10^{-3}	毫	m
10^{-6}	微	μ
10^{-9}	纳[诺]	n
10^{-12}	皮[可]	p
10^{-15}	飞[母托]	f
10^{-18}	阿[托]	a
10^{-21}	仄[普托]	z
10^{-24}	幺[科托]	y

1984年2月27日,我国发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》。我国的法定计量单位,是以国际单位制的单位为基础,根据我国的情况,适当增加了一些其他单位构成的。

我国的法定单位包括:

- (1)国际单位制的基本单位;
- (2)国际单位制的辅助单位;
- (3)国际单位制中具有专门名称的国际导出单位;
- (4)国家选定的非国际单位制单位;
- (5)由以上单位构成的组合形的单位;
- (6)由词头和以上单位构成的十进倍数和分数单位。

由此可见,我国的法定计量单位,除目前国家选定的16个非国际单位外,其余的均与国际单位制单位及其组成原则是一致的,并且也规定了我国选定的16个非国际单位制单位,也可与SI单位构成组合单位使用。

表 1—5 国家选定的非国际单位制单位

量的名称	单位名称	单位符号
时间	分	min
	[小]时	h
	日(天)	d
平面角	[角]秒	($''$)
	[角]分	($'$)
	度	($^{\circ}$)
旋转速度	转每分	r/min
长度	海里	n mile
速度	节	kn
质量	吨	t
	原子质量单位	u
体积	升	L, (l)
能	电子伏	eV
级差	分贝	dB
线密度	特[克斯]	tex
面积	公顷	hm ²

第三节 无线电计量测试的内容

无线电计量测试以无线电电子技术中常遇到的电磁量为对象。大体上包括30kHz以上一直到110GHz的频段。即从低射频直到微波中的亚毫米波波带,如图1—1所示。由于不同

频段计量测试所用的原理、方法和设备都不相同,所以无线电计量可以从频段上划分为高频计量及微波计量。

严格说来,对电磁波的完整描述,必须确定电磁场的大小,空间分布和时间变化。但实际上,人们宁肯用一些具体的易于测量的参量来描述,这些参量很多,大体上可分为六类。

(1)有关电能的量,如电流、电压、功率、电场强度,以及电磁干扰等。

(2)有关信号特征的量,如频率、波形参数、脉冲参数、调制参数、频谱、噪声等。

[注]1967年起,秒(时间)单位已改由原子秒来定义,即是以铯-133原子射束在指定条件下超精细能级跃迁的微波辐射振荡的9 192 631 770个周期为1s,周期的倒数即为频率。频率原本属于无线电计量测试的传统项目,现在已经分离出去,与时间计量合在一起,称为时间频率计量。然而,频率计和波长计的校准和检定,往往依旧是无线电计量的业务范围。

(3)有关电路元件及材料参数的量,如阻抗或导纳、电感、电容、品质因数、介质损耗、介电常数、导磁率等。

(4)有关无源和有源网络性能特性的量,如网络的反射参量、传输参量,以及表征无线电电子设备性能特性的一些参量,如灵敏度、频带宽度、噪声系数等。

(5)有关电子器件特性的量:如电子管、晶体管、集成电路等的高频参量。

(6)有关电子设备性能的量:如灵敏度、噪声系数等。

无线电计量的基本工作包含两个方面:基本无线电计量标准的建立和保存,以及建立无线电量值的传递和统一。

激 光	亚毫米波	1mm	300GHz	远红外线
	毫米波	1cm	30GHz	极高频(EHF)
微 波	厘米波	1dm	3GHz	特高频(SHF)
	分米波	1m	300MHz	超高频(UHF)
无 线 电 波	米波	10m	30MHz	甚高频(VHF)
	短波(SW)	100m	3MHz	高频(HF)
	中波(MW)	1km	300kHz	中频(MF)
	长波(LW)	10km	30kHz	低频(LF)

注:低频不是音频,音频是指20Hz~20kHz。

图 1-1

原则上,一切单位都可以从基本单位导出。但是为了实用起见,在计量工作中常常还建立一系列导出单位的标准,并进行这些导出单位的对比和传递。因为这可以使一些最常用的导出单位便于统一,而且也能获得更准确的传递。例如,电压就是导出单位,定义流过1A恒定电流的导线内,如果两点之间所消耗的功率为1W时,这两点之间的电位差为1V。

$$1\text{V}=1\text{W}/\text{A}$$

如用SI基本单位来表达,即

$$\text{V}=\text{W}/\text{A}$$

$$W = J/s$$

$$J = N \cdot m$$

$$N = m \cdot s^{-2} kg$$

则 $1V = 1m^2 kg \cdot s^{-3} A^{-1}$, 读写传递都很麻烦。

导出单位标准器的建立主要是基于实用上的考虑。常根据实际需要与可能的条件, 可利用的测量技术与手段等因素, 在种类繁多的各种无线电参量之中, 确立较为基本的计量项目。

例如, 在电能和电路参量之间存在下列两个简单的基本关系:

$$P = UI^* \quad (1-1)$$

$$Z = \frac{U}{I} \quad (1-2)$$

式中 P ——功率, W ;

U ——电压, V ;

I ——电流, A ;

Z ——阻抗, Ω ;

* 表示复数共轭。

这里有四个参量, 由两个方程式相联系, 因此, 只要定出其中两个参量, 就能容易地从式(1-1)和式(1-2)两式导出其余两个参量。

在电学计量测试发展的初期, 由于未能获得稳定的电压源, 所以国际单位制中采用电流单位安培来作为 7 个基本单位之一, 直接用长度和力学单位来定义安培, 并用电流天平来实现。另外, 最初用汞柱, 后来用标准线绕电阻来保持电阻单位欧姆。从安培和欧姆按式(1-2)导出伏特。随着科学技术的发展, 现在事实上几乎都是用标准电池组来保持电压单位伏特。同时, 改用计算电感, 后来又改用计算电容来保持欧姆(这是电学计量的情况)。许多无线电单位目前是从电学单位导出的, 在电子管伏特计出现之前, 热电偶式电流表是无线电测量最常用的手段。随着电子电压表的出现, 由于它所具有的许多优点(寄生参量影响较小, 量程和频程宽广, 输入阻抗高, 承受过载能力强等), 几乎全部取代了高频电流表的地位。于是, 电压计量就成为无线电计量的传统基本项目。

随着无线电电子学向更高频段扩展, 出现了分布参数系统。在非 TEM 型传输线中, 电压失去了惟一性定义。于是, 功率测量取电压测量, 在此情况下, 一般只能利用概率统计代替电压测量, 功率计量成为微波计量的传统基本项目。

至于阻抗, 现在都以计算电容为基础导出阻抗的单位。在较低频率, 用广义惠斯登电桥来实现阻抗计量是方便的, 原则上, 阻抗与导纳的二者是简单的互为倒数关系, 有了阻抗计量, 就不必做导纳计量。然而, 在射频高段, 由于广义惠斯登电桥在接地处理上的困难, 使得直接测量导纳的双 T 型电桥之类的测量电路更为适用。这就又要求建立高频导纳计量工作。

有些参量如失真度、频偏、调幅度等除俄罗斯外多数国家都认为它们在无线电计量中不是基本的重要参数。因而通常不建立相应的国家标准, 而只对相应仪表的检定定标方法进行研究 and 规定。但是随着对通讯信号质量要求的提高, 高保真度音响设备、录音设备和调频广播的普及推广以及飞机盲目着陆系统对调幅度系数测定的要求, 人们对这几个参量的重要性又有

了新的认识。小失真、超小失真量的测量、调幅度计量在我国无线电计量中也已开展。目前我国开展量值传递和测量的参量有：

(1)电压；(2)电流；(3)功率；(4)电阻；(5)电容；(6)电感；(7)品质因数；(8)介质和磁性材料的电特性；(9)相位；(10)调幅度；(11)频偏；(12)失真度；(13)脉冲参数；(14)微波阻抗；(15)场强；(16)干扰；(17)衰减；(18)噪声；(19)晶体管参数。

其中基本参量为电压、功率、阻抗、衰减相位、噪声、场强。

第四节 无线电计量测试的特点

除上面提到过的无线电计量的参量种类繁多之外，同其他计量测试相比较，无线电计量测试在下述一些方面也表现得十分突出。

一、量程和频程均极宽广

在无线电计量测试中所遇到的具体被测对象，其量值可能十分微小，也可能非常巨大。例如，接收宇宙飞船发自外空的信号功率可能小到 10^{-14} W，而远程雷达的发射功率可大到 10^8 W 以上。总量程达到 $1:10^{22}$ 量级，显然不可能只用一种测量方法和一种测量仪器来覆盖整个量程。当然，无线电测量仪器中也有可能覆盖很宽的量程的。例如，一台数字式万用表所能直接测量的电阻值，可由 $3 \times 10^{-5} \sim 3 \times 10^8 \Omega$ ，即达到 $1:10^{13}$ 的量程。而一台完善的电子计数式频率计则可测量 $10^{-6} \sim 10^{11}$ Hz 的频率，量程为 $1:10^{17}$ 。这种情况，在非无线电计量测试中则是罕见的。

另一方面，在无线电计量测试中还有一个非常独特的问题，就是工作频率范围非常宽。一般而言，同样的物理量，在不同频段时，其计量测试所用的方法和设备也往往不同，甚至差异极大。例如，在低频常用电流电压法测量阻抗，而在微波段则采用开槽测量线或反射计技术，无论在概念、方法或设备上都大不相同。

二、影响量众多，影响特性复杂

来自仪器外部，并可能影响仪器性能的量，称为影响量。影响量通常来自测量系统的外部，如环境温度、电源电压等。此外，测量系统本身的某个工作特性的变化也可能影响到系统的另一工作特性从而影响到测量结果。例如，电压表的频率响应特性或检波特性就直接影响其电压测量结果。这些对测量结果会产生影响的工作特性，称为影响特性。

无线电计量测量测试系统以及被测对象，它们内部所包含的元器件数目往往多得惊人，而这些元器件对外界和内部影响也常常相当敏感。外界影响对无线电计量测试结果所产生的不良作用，常常是不可忽略的。

因此，在许多无线电计量测试工作中，对工作条件的控制常常是必要的。尤其是在计量器具和测量仪器、设备的检定中，为了评定其计量学性能并确定其是否合格，对于工作条件应予以严格规定。

《电子测量仪器误差的一般规定》(SJ 943—82)中有严格规定的条件称为基准条件。

电子测量设备的基准条件如表 1—6，表中括号内是国际电工委员会 IEC 359 号公告的规定，与我国 SJ 943—82 略有出入。

表 1—6

影响量	基准数值或范围	允许公差
环境温度	20℃ (20, 23, 25, 27℃) (未指明时: 20℃)	±2℃ (功耗≤50W) ±1℃ (功耗>50W) ±2℃
相对湿度	45%~75%	
大气压强	86~106kPa	
交流供电电压	220V(额定值)	±2%(±1%)
交流供电波形	正弦波	$\beta=0.05$
直流供电电压	额定值	±1%
直流供电电压波纹	无	0.1%
外电磁场干扰	应避免	
通风	良好(无阻碍)	
阳光照射	避免直接照射	
工作位置	按制造厂规定	±1°

注: (1) 交流电压波形应保持在 $(1+\beta)A\sin\omega t$ 与 $(1-\beta)A\sin\omega t$ 所形成的包络之内;

(2) 纹波电压的峰值不得超过额定电压的 0.1%。

三、误差问题较难处理

测量不可避免有误差。测量技术的水平、测量结果的可信赖性或可靠性, 计量测试工作的全部意义和价值, 全在于计量测试的准确度, 即全系于测量误差的大小。

在无线电计量测试中, 从上面关于影响量和影响特性的论述, 不难想到, 无线电计量测试中的误差因素特别繁多, 而且情况复杂, 即使在严格控制的基准条件下, 也往往难以充分掌握, 何况, 许多日常测量又往往是在偏僻基准条件甚远的工作条件下进行的。此外, 在无线电计量测试中, 常会遇到很多带有随机性的系统误差。也就是说, 我们掌握某些误差产生的原因, 但误差实际出现的具体数值则可能视具体情况而定或大或小, 或正或负, 似乎纯属偶然而无法用确切的方法处理。然而它们又往往不符合概率分布的正态律, 所以还不能用常规正态方法去处理。另外, 统计方法的基础是先要取得大量的样本, 而在无线电计量测试中, 则常限于时间、精力和实际条件而无法取得大量采样。这就难以获知这些非正态误差的分布规律, 从而使问题难上加难。即使这些问题能得到某种程度的解决, 那么还有最后一道难题, 怎样把这些系统的、可确切掌握的半系统半随机的往往是非正态的和纯粹随机的误差总合起来, 最后估计出计量测试结果的总误差或不确定度。

《电子测量仪器误差的一般规定》(SJ 943—82) 标准中规定了电子测量仪器给出误差的原则。

(1) 额定值: 制造厂对仪器工作特性规定的量值。

(2) 额定范围: 制造厂对仪器工作特性规定的量值的范围。

(3)有效范围:在额定范围内保证误差极限的部分;不加说明时,有效范围等于额定范围。

(4)基准条件:为了进行比较试验和校准试验,对各影响量所规定的一组标明了公差数值或范围;影响特性的基准条件为其额定值或有效范围。具体数值或范围由门类或产品标准统一规定。

(5)额定使用范围:是制造厂给一个影响量规定的数值范围,仪器在该范围内使用时,应保证规定误差极限的要求。

(6)额定工作条件:给定影响量的额定使用范围和给定工作特性的有效范围的总和,仪器在此条件下使用时,保证工作误差极限的要求。

(7)固有误差:在基准条件下测定的某工作特性的误差。

(8)工作误差:在额定工作条件内任一点所测定的某工作特性的误差。

(9)影响误差:一个影响量在其额定使用范围内,或一个影响特性在其有效范围内取任一值,而其他影响量和影响特性均处在基准条件时所测定的误差。

(10)稳定误差:仪器的示值在其他影响量,影响特性保持恒定的情况下,于规定的时间内所产生的误差极限。

(11)误差极限:在规定条件下使用时,仪器示值误差的最大值,它由制造厂给定。

四、准确度方面的悬殊

迄今,时间频率计量所能达到的最高准确度为 10^{-13} 量级,其他一切计量的准确度都比这差好几个量级。另一方面,无线电计量单位都是导出单位,它们不外乎从质量、长度、时间、温度等基本单位导出,或者从直流或低频交流电磁计量单位导出。导出单位的准确度,不可能优于它所赖以导出的原始单位的准确度,这是不言而喻的。再加上上述影响和影响特性的不良作用,以及频程、量程宽广带来的限制,使得无线电计量单位,除频率一项外,准确度都比其他单位低,甚至低很多,例如,直流电压准确度达 10^{-8} 量级,音频电压则达到约 10^{-4} 量级,而射频电压则仅能达到约 10^{-3} 量级或更差。

第五节 国内外无线电计量概况

一、国际计量组织

计量学的发展离不开国际间统一单位制的确立、推广、应用和发展。为保证国际单位制所包括的长度、质量、时间等基本单位的量值在国际范围内的一致,1875年在巴黎签订了米制公约,并成立了国际计量局(International Bureau of Weights and Measures, BIPM)。国际计量局是国际计量大会和国际计量委员会的常设办事机构,负责执行国际计量大会(每隔四年集会一次)和国际计量委员会(是大会的常设领导机构)的决议和建议,负责检定和组织比对各成员国所持有基准器和标准器,做少量的对各国具有普遍意义的研究工作。

随着科学技术的发展,在国际计量局领导下设立了若干个咨询委员会,其中电学咨询委员会(The Consultative Committee for Electricity, CCE)成立于1927年,是现有7个咨询委员会中成立最早的一个。