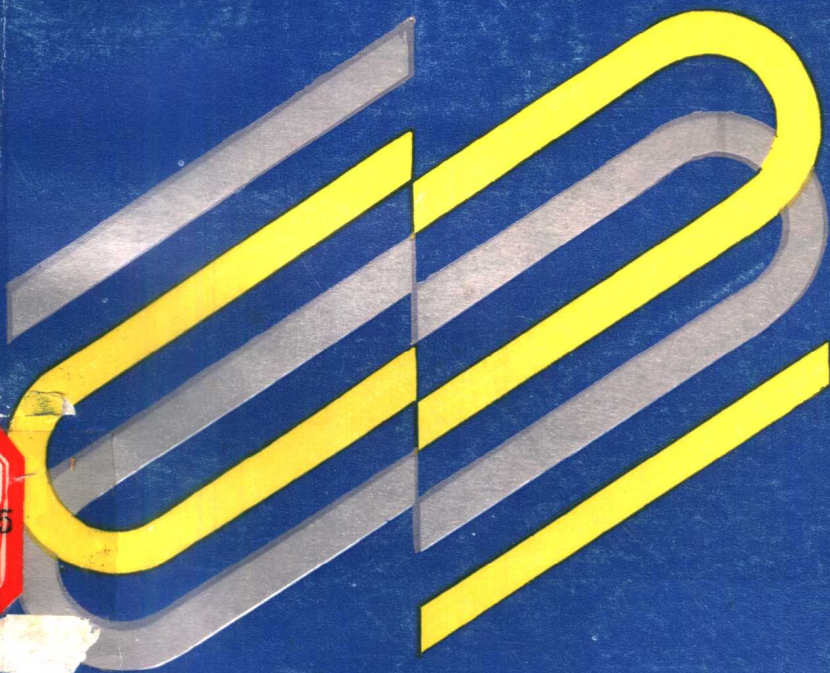


电子测量仪器的 误差及分贝

王汉卿 刘兆启 编著



115

大连理工大学出版社

电子测量仪器的误差及分贝

王汉卿 刘兆启 编著

大连理工大学出版社

(辽)新登字 16 号

图书在版编目(CIP)数据

电子测量仪器的误差及分贝/王汉卿,刘兆启编著.

大连:大连理工大学出版社,1994.8

ISBN 7-5611-0873-7

I. 电… I. ①王… ②刘… II. 电子测量设备-测量仪器-
测量误差 IV. TM930.115

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 02604 号

电子测量仪器的误差及分贝

Dianzi Celiang Yiqi de Wucha ji Fenbei

王汉卿 刘兆启 编著

* * *

大连理工大学出版社出版发行

(邮政编码 116024)

锦州印刷厂印刷

开本:787×1092 1/32 印张:7 $\frac{3}{4}$ 字数:167 千字

1994 年 8 月第 1 版 1994 年 8 月第 1 次印刷

印数 1—2000 册

* * *

责任编辑:刘晚晶 责任校对:王 青

封面设计:姜严军

* * *

ISBN 7-5611-0873-7 定价:5.00 元

TM·4

前 言

测量技术的水平、测量结果的可靠性、测量工作的价值,全在于测量误差的大小。测量误差不仅对工程技术和产品质量起着监督和保证的作用,而且往往还是工程成败的一项决定性因素。因而正确理解电子测量仪器的误差是十分必要的。本书第一至第四章系统而又全面地介绍了电子测量仪器中的误差表示方法、误差的换算、误差的给出方式及合成,电子测量仪器的检定。

在电子测量仪器中常用分贝(dB)表示功率、电压以及无量纲电参数的单位。以分贝为单位的电参数不仅繁多,而且内涵不同。本书第五章至第七章比较系统而又全面地介绍了电子测量仪器中绝对电平、相对电平、分贝误差。

本书一、二、三、四、五章由王汉卿副教授编写;第六、七章由刘兆启工程师编写;附录电子测量仪器中的英文缩写词由鲁宝春工学硕士收集整理,并由王汉卿副教授负责全书统稿工作。

本书是根据作者近20年从事无线电计量和电子测量实践工作以及十几年从事电子测量、误差理论教学工作体会,并参考近年来国内、外有关资料和教材编写而成的。作者热诚期望本书能对电子测量工作的普及和提高作出菲薄的贡献。由于作者的实践经验与理论水平有限,疏漏谬误之处在所难免,欢迎读者指正。

作者

1993年9月

内 容 简 介

本书介绍了电子测量仪器的误差表示方法、误差的换算、误差的给出方式及合成；电子测量仪器的检定；电子测量仪器中的绝对电平、相对电平、分贝误差。并附有绝对电平、相对电平换算表、电子测量仪器中的英文缩写词。

本书可供从事电子测量、无线电计量工作的工程技术人员和大专院校有关专业师生参考，亦可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

目 录

第一章 电子测量仪器误差的表示方法	(1)
§ 1.1 绝对误差	(2)
§ 1.2 相对误差	(8)
§ 1.3 分贝相对误差	(14)
§ 1.4 $\pm n$ 个字误差	(16)
§ 1.5 用误差的代数和方法表示仪器的误差	(16)
§ 1.6 误差的其它表示方法	(21)
第二章 误差的换算	(26)
§ 2.1 实际相对误差与绝对误差的换算	(26)
§ 2.2 读数相对误差换算为绝对误差、实际相对误差	(30)
§ 2.3 满度相对误差换算为绝对误差和实际相对误差	(32)
§ 2.4 满度相对误差换算为读数相对误差	(35)
§ 2.5 分贝相对误差换算为绝对误差和实际相对误差	(37)
§ 2.6 分贝相对误差与读数相对误差的换算	(43)
§ 2.7 分贝相对误差与满度相对误差的换算	(46)
§ 2.8 分贝绝对误差换算为分贝相对误差	(47)
§ 2.9 线引用误差换算为绝对误差和实际相对误差	(49)
§ 2.10 $\pm n$ 个字误差换算为满度误差、绝对误差、读数相对 误差和实际相对误差	(50)
第三章 电子测量仪器的误差给出方式及合成	(54)
§ 3.1 电子测量仪器误差给出方式的规定	(54)
§ 3.2 《无线电测量仪器总技术条件(草案)》中有关误差	

给出方式的规定	(55)
§ 3.3 SJ943—75 中有关误差给出方式的规定	(57)
§ 3.4 GB6592—86 中有关误差给出方式的规定	(64)
§ 3.5 误差的合成	(71)
第四章 电子测量仪器的检定	(79)
§ 4.1 电子测量仪器检定的特点	(79)
§ 4.2 仪器用户的一阶检定	(81)
§ 4.3 误差检验的一般知识	(84)
§ 4.4 固有误差的检验	(84)
§ 4.5 变动量的检验	(86)
§ 4.6 工作误差的检验	(100)
§ 4.7 标准仪器的选择	(102)
§ 4.8 受检仪器合格与否的判定	(106)
§ 4.9 检定的可靠性	(108)
第五章 电子测量仪器中的绝对电平	(123)
§ 5.1 国际标准(ISO)和我国国家标准(GB)中有关级差和 分贝的定义	(124)
§ 5.2 绝对电平	(125)
§ 5.3 声压级和声强级	(133)
§ 5.4 绝对电平的换算	(134)
§ 5.5 声压级(L_P)与声压(P)的换算及声强级(L_I)与 声强(I)的换算	(143)
§ 5.6 奈培(neper)	(144)
第六章 电子测量仪器中的相对电平	(151)
§ 6.1 网络参数中的相对电平	(152)
§ 6.2 用相对电平表示抑制比	(157)
§ 6.3 噪声性能中的相对电平	(161)
§ 6.4 用相对电平表示频谱纯度	(162)

§ 6.5	用相对电平表示调制特性	(165)
§ 6.6	元器件参数中的相对电平	(167)
§ 6.7	测量量仪器输入特性中的相对电平	(170)
§ 6.8	用相对电平表示的其它参数	(172)
§ 6.9	相对电平奈培(N_p)	(176)
§ 6.10	相对电平的换算	(178)
第七章	电子测量仪器中的分贝误差	(183)
§ 7.1	分贝绝对误差	(183)
§ 7.2	供给量或测量量的分贝相对误差	(186)
§ 7.3	正弦信号发生器输出特性中的分贝相对误差	(189)
§ 7.4	用分贝相对误差表征测量量仪器的频率特性	(196)
§ 7.5	奈培绝对误差	(199)
附表 1	绝对功率电平 dBm 与功率 mW 的换算表	(203)
附表 2	绝对电压电平 dBV(dBmV、dB μ V)与 电压的换算表	(205)
附表 3	绝对电压电平 dBu 与电压(V)的换算表 (绝对功率电平 dBm 与 600 欧姆阻抗上 电压的换算表)	(208)
附表 4	绝对功率电平(dBm)与 75 欧姆阻抗上 电压换算表	(211)
附表 5	绝对功率电平(dBm)与 50 欧姆阻抗上 电压换算表	(214)
附表 6	相对电平与电压比、功率比的换算表	(216)

附表 7 误差函数表.....	(221)
附 录 电子测量仪器中的英文缩写词	(223)
参考文献	(238)

第一章 电子测量仪器误差 的表示方法

测量是用仪器、量具确定某一物理量的量值。应用电子技术进行的测量称电子测量。电子测量仪器是一个或一组由电子元器件组合的仪器,用于测量电量或为了测量而提供电量。

电子测量仪器的误差是表征电子测量仪器性能品质的。由于电子测量仪器的种类较多,其功能、原理及读数机构不同,所以仪器的误差表示方法不同。为了系统地了解电子测量仪器的误差表示方法,本章介绍了绝对误差、相对误差、分贝误差。

电子测量仪器的性能用性能特性表示,而通常用数值、公差范围等来定义仪器的性能。性能特性中最重要的是公差(误差极限)。误差极限是在规定条件下使用仪器时,读数值(指示值或供给值)的误差最大值。国际电工委员会(IEC)—359号公报《电子测量设备工作性能表示》和国标 GB6592—86《电子测量仪器误差的一般规定》中对电子测量仪器的误差表示方法只给出一般原则性规定。而仪器制造厂给出误差的表示方法比较多。各种误差表示方法出现在不同仪器的说明书中,文献中不易查到。所以有必要对电子测量仪器的误差表示方法予以介绍。

§ 1.1 绝对误差

1.1.1 绝对真误差

绝对真误差的数学定义

$$\Delta = x - A_0 \quad (1.1)$$

式中 Δ 为绝对误差； x 为仪器的读数； A_0 为被测量或供给量的真值。

IEC—359 号公报推荐标准，对于供给量仪器（信号源、稳压电源等）的绝对误差定义为 $\Delta = A_0 - x$ ；对于测量量仪器（电压表、频率计等）绝对误差定义为 $\Delta = x - A_0$ 。而国标 GB6592—86 关于绝对误差均按式(1.1)定义。本文采用国标的定义方法。

1.1.2 绝对误差

在某时空条件下，真值虽然是客观存在，但由于任何测量都存在误差。所以，确切地求得真值却很困难，因而式(1.1)只具有理论意义。在测量工作中，通常用约定真值 A （实际值）代替真值。约定真值是足够地接近一个量真值的值，从实际使用它的目的来考虑，它与真值的差可以忽略不计。一个量的约定真值通常是借助于某些方法以及适当精度的仪器来确定。 x 与 A 之差称为绝对误差。

$$\Delta = x - A \quad (1.2)$$

1. 绝对误差极限

绝对误差用极限值的方法表示

$$\Delta = \pm a \quad (a \geq 0) \quad (1.3)$$

对于批量生产的同一型号仪器，其绝对误差不确定度为

$\pm a$ (绝对误差极限)。若干台同一型号的仪器中,某一台仪器的绝对误差在 $[-a, +a]$ 区间内。

例 1.1 上海无线电仪器厂生产的 XO11 型同轴热噪声标准的标准噪声源之噪声温度 $673 \pm 1.5 \text{ K}$ 。其中 $\pm 1.5 \text{ K}$ 为绝对误差极限,标温噪声源的温度范围为 $671.5 \sim 674.5 \text{ K}$ 。

2. 变值绝对误差

变值绝对误差通常随着仪器的读数增加而增大。

(1) 绝对误差与仪器读数成正比

$$\Delta = \pm cx \quad (1.4)$$

式中 c 为误差系数(常系数)。

例 1.2 四平市电子仪器厂生产的 XFD-7A 型低频信号发生器,主度盘频率范围 $20 \text{ Hz} \sim 200 \text{ kHz}$,频率微调范围 $\pm 0.015f \text{ (Hz)}$ (f : $20 \text{ Hz} \sim 200 \text{ kHz}$),微调误差 $\pm 0.003f \text{ (Hz)}$ 。其中 f 为仪器频率主度盘的频率读数值,0.003 为误差系数。当频率主度盘读数为 100 Hz 时

频率微调范围: $\pm 0.015 \times 100 = \pm 1.5 \text{ Hz}$

微调误差: $\pm 0.003f = \pm 0.003 \times 100 = \pm 0.3 \text{ (Hz)}$

(2) 绝对误差是仪器读数的一次函数

$$\Delta = \pm (b + cx) \quad (1.5)$$

式中 b 为与 x 无关的加性误差; cx 为与 x 成正比的积性误差。

例 1.3 四平市电子仪器厂生产的 XFD-7A 型低频信号发生器,频率范围 $20 \text{ Hz} \sim 200 \text{ kHz}$,频率刻度基本误差为 $\pm (0.02f + 1) \text{ Hz}$,其中 f 为频率的读数值,1 为与 f 无关的加性误差,0.02 f 为积性误差。当频率主度盘读数为 100 Hz 时,基本误差为 $\pm (0.02 \times 100 + 1) = \pm 3 \text{ Hz}$ 。

(3)绝对误差是仪器读数的二次函数

$$\Delta = \pm(b + dx^2) \quad (1.6)$$

式中 d 为误差系数(常系数)。

例 1.4 邮电部北京仪表研究所 1982 年投产的 TY-710 型 100 MHz 频率合成式传输测试仪的 QF-01 型反射桥测量范围 ρ : $0 \sim 1$; 测量精度: $\pm 0.002 \pm 0.1\rho^2$ 。其中 ρ 为反射系数的读数值, ± 0.002 为与 ρ 无关的加性误差, 0.1 为误差系数。

当 $\rho=1$ 时, 测量误差为 $\pm 0.002 \pm 0.1 \times 1^2 = \pm 0.102$ 。

1.1.3 电平的分贝绝对误差

1. 绝对电压电平的分贝绝对误差

绝对电压电平的数学定义: $20\lg(U/U_0)$, 其中 U 为供给量或测量量的电压; U_0 为基准电压。绝对电压电平实质上是使用分贝作为电压的单位。在电子测量仪器中常用的绝对电压电平单位有 dBV ($U_0=1\text{ V}$)、dBu ($U_0=0.775\text{ V}$)、dBmV ($U_0=1\text{ mV}$)、dB μ V ($U_0=1\text{ }\mu\text{V}$) 等。以 dBV 为例绝对电压电平的分贝绝对误差 $\Delta(\text{dBV})$ 为

$$\Delta(\text{dBV}) = (x - A) \text{ dBV} \quad (1.7)$$

式中 $\Delta(\text{dBV})$ 为分贝绝对误差; $x(\text{dB})$ 为仪器读数值; $A(\text{dB})$ 为测量量或供给量的实际值。

特别值得注意的是 $x(\text{dBV}) - A(\text{dBV}) \neq (x - A) \text{ dBV}$ 。

式(1.7)对于单位 dBu, dBmV, dB μ V 等均适用。

例 1.5 英国雷卡尔-达纳仪器公司生产的 6000 系列微处理器数字万用表, 绝对电压电平量程: $-100 \sim +60$ dBV, 精度 ± 0.1 dBV。试求当仪器示值为 20 dBV 时, 被测量绝对电压电平实际值 L_{VA} 所处区间, 并证明 $(20 \pm 0.1) \text{ dBV} \neq$

20 dBV $\pm$ 0.1 dBV。

解: $L_{VA} = (20 - 0.1) \sim (20 + 0.1) = 19.9 \sim 20.1$ dBV

证明: 因为 20 dBV = 10 V, ± 0.1 dBV = 1.01 V, 所以
20 dBV + 0.1 dBV = $(10 + 1.01)V = 20 \lg[(10 + 1.01)/1] \approx$
20.8 dBV, 而 $(20 + 0.1)$ dBV = 20.1 dBV, 故 20 dBV + 0.1
dBV $\neq$ $(20 + 0.1)$ dBV. 同理 20 dBV - 0.1 dBV $\neq$ $(20 - 0.1)$
dBV.

2. 绝对功率电平的分贝绝对误差

绝对功率电平的数学定义: $10 \lg(P/P_0)$, 其中 P 为供给
量或测量量的功率; P_0 为基准功率。绝对功率电平实质上
是用分贝作为功率的单位。在电子测量仪器中常用的绝对功率
电平单位有 dBm ($P_0 = 1$ mW), dBW ($P_0 = 1$ W), dBm ($P_0 =$
1 pW) 等。以 dBm 为例绝对功率电平的分贝绝对误差 Δ
(dBm) 为

$$\Delta(\text{dBm}) = (x - A) \text{ dBm} \quad (1.8)$$

式中 $\Delta(\text{dBm})$ 为分贝绝对误差; x 为读数; A 为实际值。

同理 $x(\text{dBm}) - A(\text{dBm}) \neq (x - A) \text{ dBm}$ 。

式(1.8)对于单位 dBW, dBm 等均适用。

例 1.6 美国科尔毕仪器公司生产的 SG4000A 型信号
发生器输出最大电平 +13 dBm, 精度 ± 0.5 dBm, 则最大输出
电平范围为 +12.5 ~ 13.5 dBm。

3. 相对电平的分贝绝对误差

相对功率电平的数学定义: $10 \lg(P_1/P_2)$ dB, 其中 P_1, P_2
代表两个功率; 相对电压电平的数学定义: $20 \lg(U_1/U_2)$ dB,
其中 U_1, U_2 代表两个电压。1 dB 是当 $10 \lg(P_1/P_2) = 1$ 或 $20 \lg$
 $(U_1/U_2) = 1$ 时的相对电平。实质上是用 dB 作为单位表示两

个功率比或电压比的相对大小。在电子测量仪器中常用相对电平表示网络参数、频谱纯度、噪声性能等。相对电平的绝对误差 $\Delta(\text{dB})$ 为

$$\Delta(\text{dB}) = x(\text{dB}) - A(\text{dB}) \quad (1.9)$$

式中 $\Delta(\text{dB})$ 为分贝绝对误差； $x(\text{dB})$ 为读数值； $A(\text{dB})$ 为实际值。

对于相对电平来说， $x(\text{dB}) - A(\text{dB}) = (x - A) \text{dB}$ 。

例 1.7 上海无线电二十六厂生产的 YM1152 型衰减器，衰减量 $20 \pm 1.5 \text{ dB}$ 。其中 20 dB 为相对电平， $\pm 1.5 \text{ dB}$ 为分贝绝对误差，衰减量所处区间 $18.5 \sim 21.5 \text{ dB}$ 。

1.1.4 电平的奈培绝对误差

1. 绝对电平的奈培绝对误差

以奈培为单位的绝对电压电平的定义： $L_v = \ln(U/U_0)$ (Np)。其中 U 为供给量或测量量的电压； U_0 为基准电压。绝对电压电平实质上是用奈培作为电压的单位。

以奈培为单位的绝对功率电平的定义： $L_p = (1/2) \ln(P/P_0)$ (Np)，其中 P 为供给量或测量量的功率； P_0 为基准功率。绝对功率电平实质上是用奈培作为功率的单位。

在电子测量仪器中的通讯测量仪器，如：电平表、电平振荡器等，有时用奈培作为电平单位。

绝对电平的奈培绝对误差 $\Delta(\text{Np})$ 为

$$\Delta(\text{Np}) = (x - A) \text{Np} \quad (1.10)$$

式中 $x(\text{Np})$ 为仪器的读数值； $A(\text{Np})$ 为测量量或供给量的实际值。

例 1.8 国营南京有线电厂生产的 UX15 型电平振荡器。频率范围： $0.3 \sim 1700 \text{ kHz}$ ；电平范围： $-6 \sim +1 (\text{Np})$ ；

输出电压电平误差在 100 kHz, 0 Np, 75 Ω 内阻及电平表刻度为 0 Np 时, 输出误差 $\leq \pm 0.01$ Np。其含义是输出 0 Np 时, 绝对误差为 ± 0.01 Np。

但应注意 $(x-A)N_p \neq x(N_p) - A(N_p)$

2. 相对电平的奈培绝对误差

以奈培为单位的相对电压电平的数学定义: $\ln(U_1/U_2)$ (Np), 其中 U_1, U_2 代表两个电压。而相对功率电平的数学定义: $(1/2)\ln(P_1/P_2)$ Np, 其中 P_1, P_2 代表两个功率。1 Np 是当 $\ln(U_1/U_2)=1$ 或当 $(1/2)\ln(P_1/P_2)=1$ 时的相对电平。实质上是用电平作为单位表示两个电压比或两个功率比的相对大小。在电子测量仪器中用相对电平(Np)表示衰耗、增益等。相对电平的绝对奈培误差 $\Delta(N_p)$ 为

$$\Delta(N_p) = x(N_p) - A(N_p) \quad (1.11)$$

例 1.9 南京无线电仪器厂生产的 SHK-10 型可变衰耗器。当频率在 300 kHz 以下, 衰耗范围为 0.1~1 Np 时, 误差 $\leq \pm 0.01$ Np。其中 ± 0.01 Np 是绝对误差。

对于相对电平的奈培绝对误差

$$\Delta(N_p) = x(N_p) - A(N_p) = (x-A)(N_p)$$

有些电参数没有量纲而用百分数表示, 例如失真度、调幅度(调制系数)等。当这些电参数测量仪器的误差用绝对误差(百分数)表示时, 注意不要与相对百分比误差混淆。

例 1.10 上海无线电仪器厂生产的 S907 型自动失真度测试仪, 失真度测量范围 0.03%~30%, 共 6 个量程: 0.1%, 0.3%, 1%, 3%, 10%, 30%(满度); 准确度 $\leq \pm 10\%$ (满度) $\pm 0.01\%$ 。其中 6 个量程中的满度是指各量程满度值; 准确度中 $\pm 10\%$ (满度)系指满度误差(下面将讨论), 准确度中

$\pm 0.01\%$ 是失真度的绝对误差。

例 1.11 国营前锋无线电仪器厂生产的 QF1074 型标准信号发生器,调幅度范围 $0\sim 100\%$,调幅度的误差 $\leq$ (指示值 $\times 0.08+2$)%(调制频率为 1 kHz,调制系数 $\leq 80\%$ 时)。其中(指示值 $\times 0.08+2$)%为绝对误差。

绝对误差表示仪器误差的优点:绝对误差的大小和符号分别表示了仪器的读数偏离实际值的程度和方向。但是绝对误差往往不能确切地反映测量的精确程度。下面通过一个例子来说明这个问题。

例 1.12 英国马可尼仪器公司生产的 TF2904 型彩色增益和延迟测试仪,延迟测试范围 $-110\sim 110$ ns,准确度 ± 2 ns (<10 ns); ± 5 ns (>10 ns)。

尽管绝对误差 ± 2 ns 小于 ± 5 ns,可是我们并不能因此得出测量延迟 <10 ns 时较测量延迟 >10 ns 时精确的结论。例如当延迟读数为 8 ns 时,绝对误差 ± 2 ns 对读数 8 ns 来讲占 $\pm 25\%$;当读数为 100 ns 时,绝对误差 ± 5 ns 对读数 100 ns 而言占 $\pm 5\%$ 。为了弥补绝对误差的不足,又提出了相对误差的表示方法。

§ 1.2 相对误差

绝对误差与指定值的比值称相对误差。因为比值的表示方法不同,所以相对误差的表示方法也不同。

1.2.1 百分比误差

比值用百分比形式表示的相对误差称百分比误差。因为相对误差是绝对误差与指定值的比值,所以指定值不同,百分