

SHIJIAN PINLÜ PINLÜ
SHIJIAN CELIANG YIQI
CELIANGYIQI

时间频率测量仪器 原理与使用

■ 徐季平 王拂为 徐旻 等 编著



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

时间频率测量仪器 原理与使用

徐季平 王拂为 徐 旻 等编著

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

时间频率测量仪器原理与使用/徐季平等编著. —北京:中国计量出版社,2009.9
ISBN 978-7-5026-3132-1

I. 时… II. 徐… III. ①时间计量—测量仪器—基本知识 ②频率计量—测量仪器—基本知识 IV. TB939

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 149275 号

内 容 提 要

本书内容包括时间频率计量测试仪器设备的原理、使用、测量、维修等。分别叙述了电子计数器、通用计数器、微波频率与脉冲调制计数器、时间间隔测量仪、时频标准设备的原理、操作方法,以及时间频率仪器的检定、维护与修理。

本书适合时间频率测试人员及计量检定人员使用,也可作为高等院校相关专业的参考用书。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010)64275360

<http://www.zgjl.com.cn>

北京市密东印刷有限公司印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787mm×1092mm 16 开本 印张 20.75 字数 502 千字

2009 年 10 月第 1 版 2009 年 10 月第 1 次印刷

*

定价:52.00 元

编写人员名单

徐季平 王拂为 徐 旻 王宪智

张乐伟 郭 静 张晓文

前 言

本书主要包括了时间频率测量仪器设备的原理、使用、测量、维修等方面的内容。其编写目的是为从事相关电子技术和计量测试工作的科技人员提供一本实用的时频计量测试手册,也可作为理工类高等院校电子技术类相关专业师生的参考书,为其在科学实验或测量实践中合理地制定先进的测试方案,选用适宜的测试仪器,正确处理测量结果提供参考。编著者在收集汇总常用时间频率计量测试仪器设备资料的基础上,选出具有代表性的时间频率仪器设备,努力做到深入浅出、理论与实际相结合。

本书包括如下内容:时间频率基础知识、时间频率测量仪器基本原理、各类时间频率测量仪器的性能与使用方法、仪器使用注意事项与常见故障的处理、时频计量标准设备的选择与配套、时频仪器检定测试与注意事项、电子测试仪器检修程序、检修基本方法与技术条件等。

本书在选材上具有一定的通用性、系统性和实用性。根据常用计量测试仪器设备实际情况,包括了不同时期的各种通用计数器、微波频率与脉冲调制计数器、时间间隔测量仪器、时频标准设备的介绍。对进口设备的内容,作者结合国内仪器测试使用情况进行了翻译和重新编排,做到了图文并茂、内容丰富、简洁易懂、适用面广。

本书的作者都是在时间频率仪器检定、测试一线上工作多年的科技工作者,理论基础知识深厚,检定、测试经验丰富。在本书内容的处理上,取舍得当,引用了最新专业术语并紧密结合计量检定规程,充分反映了当代时间频率测试技术的最新成就,因此本书内容体系结构具有科学的合理性和鲜明的先进性。

时间频率参数是计量测试的重要参数之一,它具有所有物理量的最高测量精度,许多工程测量实践都可以将大量的物理量转化为时间频率量来进行测量,以大大提高测量的精度。正确掌握和使用时频仪器,对保证国防、科研和工程测试工作中的精度具有重要意义。近年来,随着电子测量技术的飞速发展,时间频率计量测试仪器不断更新换代,本书不可能涵盖全部内容,另外由于时间紧迫,难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

作 者

2009年6月

目 录

第一章 时间频率基础知识	1
第一节 时间、频率的基本概念	1
第二节 时间频率量的计量单位	2
第三节 频率源的技术指标	4
第四节 计数器的技术指标	10
第五节 时间频率测量的特点	18
第二章 电子计数器	20
第一节 电子计数器概述	20
第二节 计数器基本功能	21
第三节 计数器基本结构	23
第四节 计数器工作原理	24
第五节 微波频率测量原理	28
第六节 计数器测量误差	30
第七节 提高计数器测量分辨力的方法	34
第八节 提高时基的频率准确度	37
第三章 通用计数器	38
第一节 Agilent 53131A/53132A 通用计数器	38
第二节 E312A 通用计数器	63
第三节 SS7201/7200 智能计数器	80
第四节 1991 型纳秒通用计数器/计时器	95
第五节 SP3386&SP312B 系列高精度通用计数器/相位计	110
第六节 SP3165B 型多功能计数器	143
第七节 EE3386A/B××型通用计数器	148
第四章 微波频率与脉冲调制计数器	165
第一节 EE3382A1/B1/C1 型微波频率计数器	165
第二节 EE3388A 型连续/脉冲调制频率计	173
第三节 EE3395 型毫米波频率计数器	180
第五章 时间间隔测量仪	189
第一节 EE3572 型时间间隔计数器	189
第二节 411 型毫秒计	200
第三节 电子秒表	206
第四节 机械秒表	207
第六章 时频标准设备	210
第一节 时间频率计量标准设备	210
第二节 原子频标	211
第三节 高稳石英频率标准	220
第四节 频标比对器	228

第五节	程控射频开关	238
第六节	PO7D 型频标比对器	241
第七节	STG 标准时间间隔发生器	251
第八节	TFG5010T 时间合成器	255
第九节	秒表检定仪	269
第七章	时间频率仪器检定	275
第一节	频率标准源检定	275
第二节	计数器的检定	284
第三节	秒表检定	287
第四节	Agilent 授时系统测试平台	288
第八章	仪器的使用、维护与修理	296
第一节	仪器的使用与维护	296
第二节	检修一般程序	299
第三节	检修基本方法	300
第四节	检修条件	308
附录	计数器、频率标准一览表	312
参考文献		323

第一章 时间频率基础知识

第一节 时间、频率的基本概念

时间与频率是两个相关的物理量，表征连续出现的周期现象及其属性，二者在数学上互为倒数。时间单位——秒（s）是国际单位制中七个基本单位之一；频率是周期运动复现特性的度量，而频率单位——赫兹（Hz）是国际单位制的导出单位。

自然界中的周期现象具有三个基本特征，即：

- 1) 连续性——现象状态重复出现；
- 2) 周期性——现象重复状态所经历的时间相同；
- 3) 函数性——重复现象可用一个周期函数来表征，即

$$Y = F(t + nT) \quad (1-1)$$

式中：Y——重复现象；

t ——状态起算时刻；

T ——状态经历的时间；

n ——状态连续重复次数。

任何一个周期现象都可由时刻（ t 或 $t + nT$ ）、时间间隔（ T 或 nT ）来确定，即任何一个周期现象都可以作为确定时间的钟。单位时间内周期现象重复出现的次数定义为频率，是时间的导出量。时间和频率都是量度周期现象的量。

1 时间

时间是个基本的物理量，是无法感知、转瞬即逝、不能制造也不能消失、无始无终、无穷的量。时间包括“时刻”和“时间间隔”两个含义，广义上还包括时标、同步和测量等内容。

1) 时间尺度

指描述时间的尺度或坐标，又称时间坐标，有时可简称“时标”。坐标的原点又称“历元”，坐标的单位长度为“时间单位”。由于单位长度不同，历元不同，所得到的时间尺度亦不同。任何一个时标都是通过一个时钟或一组时钟的连续运转来体现的。

2) 时刻

指连续流逝的时间的某一瞬间，表征事件何时发生，在时间尺度上用某一点与原点间距离（或长度）来描述。

3) 时间间隔

指连续流逝的时间中两个瞬间的距离，表征事件持续了多久，在时间尺度上用两个特定点间的距离（或长度）来描述。

4) 时钟

指计时的器具，通常称表或钟（比较小的称“表”，较大的称“钟”）。利用时钟可以指

示时间，即能指示时刻和时间间隔。如 8 点钟（指时刻）；25 分钟（指时间间隔）。

2 频率

频率是时间的倒数，在法定计量单位中是具有专门名称的导出量。表征在 1 秒的时间间隔内，周期现象重复出现的次数，基本单位是“赫兹”。在 1 秒时间内周期现象出现一次，称为 1 赫兹（1Hz）。在 t 秒时间内，周期现象重复出现 n 次时，频率定义为 $f = \frac{n}{t}$ （Hz）。

1) 周期

周期是指周期现象出现一次所经历的时间。在 t 时间内重复出现 n 次时，周期定义为 $T = \frac{t}{n}$ （s）

$$T = \frac{t}{n} = \frac{t/t}{n/t} = \frac{1}{f} \quad (1-2)$$

式中： T ——周期，单位为秒（s）；

f ——频率，单位为赫兹（Hz）；

t ——周期重复时间，单位为秒（s）；

n ——周期重复次数。

式（1-2）表征周期和频率在数学上互为倒数关系，频率越高，周期越短。

2) 波长

波长是指周期现象（如电磁振荡、水波、声波等）的一个周期所对应的距离。当每秒中周期现象重复出现 f 次，对应的距离为 c 米时，波长被定义为：

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1-3)$$

式中： λ ——波长，单位为米（m）；

c ——波传播速度，单位为米/秒（m/s）。

式（1-3）表征波长与频率成反比关系，即频率越高，对应的波长越短。

在 t 时间内，周期现象重复出现 n 次时，可得

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{c}{n/t} = \frac{ct}{n} = cT \quad (1-4)$$

式（1-4）表示波长与周期成正比关系，即周期现象历经的时间越长，对应的波长越长。电磁波频段通常按 10 倍关系划分，对应的波长也按 10 倍关系增减。如中频频段为 300kHz~3MHz，对应中波波长为 $1 \times 10^3 \text{m} \sim 1 \times 10^2 \text{m}$ 。

3) 距离

距离是指周期现象 n 个周期对应的距离（ D ），即：

$$D = n\lambda = (f\lambda)t \quad (1-5)$$

式中： D ——波传播的距离，单位为米（m）。

对于电磁波 $D = ct$ 或 $t = D/c$ ，由于传播速度（ c ）恒定，故电磁波传播时间 t 与传播距离 D 成正比，即由测量时间可以确定距离。如： $1\mu\text{s}$ 对应 300m， 1ms 对应 300km 等等。

第二节 时间频率量的计量单位

在我国法定计量单位中，时间频率量的计量单位主要包括以下几种：

1 国际单位制单位

1.1 SI 基本单位（主单位）

时间的 SI 基本单位是秒，单位符号为 s（小写）。

1967 年第 13 届国际计量大会将“秒”定义为：铯-133 原子基态的两个超精细能级间跃迁相对应辐射的 9192631770 个周期的持续时间。即在 1 秒时间内，重复出现 9192631770 个周期。

$$T=\frac{t}{n}=\frac{1}{9192631770}\text{s} \tag{1-6}$$

$$f=\frac{n}{t}=9192631770\text{Hz} \tag{1-7}$$

$$T \cdot f=1 \tag{1-8}$$

1.2 SI 导出单位

时间的导出单位是频率，单位名称为赫 [兹]，单位符号为 Hz，指 1 秒时间内周期现象重复出现的次数。单位名称以德国科学家 Hertz 的名字命名。

1933 年 10 月国际电工技术委员会决定将“赫兹”命名为频率的单位，1960 年第 11 届国际计量大会决定其为 SI 导出单位。

由 $f=\frac{1}{T}$ 知 $1\text{Hz}=1\text{s}^{-1}$ 量纲为 T^{-1} 。

注意：

- 1) s^{-1} （每秒）通常表示旋转频率；
- 2) 角频率（或角速度） $\omega=2\pi f$ ，单位名称为弧度每秒，单位称号为 rad/s。当 $f=1\text{Hz}$ 时， $\omega=2\pi\text{rad/s}$ ；
- 3) 旋转速度用转/分来表示，单位符号为 r/min， $1\text{r/min}=(1/60)\text{s}^{-1}$ 。

1.3 SI 词头+SI 单位

(1) 由因数 10^{-n} 构成的十进倍数单位（常用）				(2) 由因数 10^n 构成的十进倍数单位（常用）			
ms	毫秒	mHz	毫赫	das	十秒	kHz	千赫
μs	微秒	μHz	微赫	hs	百秒	MHz	兆赫
ns	纳秒			ks	千秒	GHz	吉赫
ps	皮秒						

2 国家选定的非国际单位制单位

表 1-1 国家选定的时间非（SI）单位

名 称	SI 符号	中文符号	换 算
分	min	分	1min=60s
[小] 时	h	时	1h=60min
天（日）	d	天	1d=24h

3 应禁止使用的单位和符号

1) 禁止使用的时间单位, 见表 1-2。

表 1-2 禁止使用的时间单位

禁用单位	采用单位
m μ s (毫微秒)	ns (纳秒)
$\mu\mu$ s (微微秒)	ps (皮秒)
Sec, S (大写)、(″)	s (秒)
Hr, hrs	h (时)
y, yr	a (年)
m, (′)	min (分)

2) 禁止使用的频率单位, 见表 1-3。

表 1-3 禁止使用的频率单位

禁用单位	采用单位
c, c/s, kc/s	Hz, kHz
周, 每秒周	赫
MC, MC/s, 兆周	MHz 兆赫
kMC, 千兆周	GHz 吉赫

第三节 频率源的技术指标

根据有关频率源的国家计量检定规程, 本节对频率源的主要技术指标及表征方法进行阐述。

1 频率准确度

频率准确度 A 是用来定量表征被测频率与标准频率偏差的程度。根据 JJG180—2002 《电子计数器内石英晶体振荡器》中对频率准确度的检定要求, 用连续三次测量的相对平均频率偏差的绝对值来表示, 即:

$$A = \frac{1}{3} \left| \sum_{i=1}^3 y(\tau) \right| \quad (1-9)$$

其中, 相对平均频率偏差的定义如式 (1-10):

$$y(\tau) = \frac{f_x - f_0}{f_0} \quad (1-10)$$

式中: $y(\tau)$ ——相对平均频率偏差;

f_x ——被测晶振在 τ 时间内的平均频率值;

f_0 ——被测晶振的频率标称值;

τ ——平均时间或取样时间。

由于频率标准是次级频标, 它的频率准确度不能自身标定, 只能利用频率基准或利用准

确度比它更高的其他频率标准源来进行校准后才能给出。此外,由于频标的输出频率存在老化漂移的现象,所以经过校准后的频标工作一段时间后,其频率准确度通常会下降,因此在给出频率准确度指标时,还需给出校准时间,即指明是何时的准确度。

2 频率漂移率

频率漂移率(也称老化率)是指频率源在连续运行过程中,频率值随时间的单方向变化,在不太长的时间内,这种变化大多呈线性规律。频率漂移产生的原因及含意具体叙述如下:

1) 这种变化是由频率源内部元器件老化效应造成的。在晶体振荡器中多为石英谐振器的老化、控温元件(如热敏电阻)的老化引起;在铷原子频标中,铷灯发光强度随时间的变化、吸收仓中气体的成分和压力随时间的变化都能引起铷频标的频率漂移。外界因素引起的频率变化不在此范围内。

2) 因为系统内部的影响,频率值的漂移呈单方向变化,要么朝正方向漂移(即频率值逐渐增高),要么朝负方向漂移(即频率值逐渐减小)。

3) 值得强调的是,频率源经足够长的时间预热后,频率的漂移大体呈线性变化规律,因此频率漂移率表征的是频率源内部的系统变化。

频率漂移率是描述长期连续工作的高稳晶振或铷原子频标的一项重要技术指标。它是衡量上述频率标准源质量好坏的重要指标之一,因此这类频标每年周期检定时,必须对该项指标进行检定。对于断续运行的晶振如电子计数器内石英晶振就不作为考核指标。

在JJG 181—2005《石英晶体频率标准》中,频率漂移率被定义为:单位时间内频率值的相对漂移量。如果单位时间为日,称为日漂移率,同理有月漂移率、年漂移率。频率漂移率由最小二乘法求得。

我们知道,频率源经过规定的时间预热以后,频率值随时间的变化可用直线方程 $f(t) = a + bt$ 来表示。那么如何根据实测点求出代表老化漂移的直线的斜率呢?众所周知,最佳的办法是采用最小二乘法。也就是要找出这样一条直线,使得各时刻测得的值与同一时刻直线上的值之差的平方和为最小。

图1-1中, $t_1, t_2, \dots, t_N$ 为每次测量的时刻。 $f_i = f_{t_1}, f_{t_2}, \dots, f_{t_N}$ 为对应上述时刻测得的频率值。从图中可以看出,该频率源的频率值随时间的变化包含两部分,一部分是频率随时间单方向漂移,另一部分是频率值相对于漂移直线上下起伏,后者是由频率源内部噪声引起的随机变化造成的。

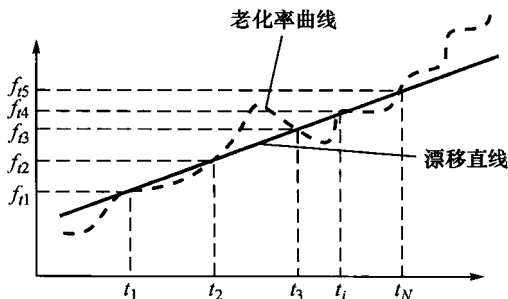


图 1-1 频率漂移曲线和频率漂移直线

若对某台频率源进行了 N 次测量, 每次测量的时刻为 t_i , 所测得的频率值为 f_i , 根据最小二乘法即可找到一条直线 $f(t)$, 使它经过 $\bar{f}_i$ 、 $\bar{t}_i$, 且该直线的斜率为 b , 如图 1-1 中的漂移直线。该直线方程为:

$$f(t) = \bar{f}_i + b(t - \bar{t}_i) \quad (1-11)$$

式中: $\bar{f}_i = \sum_{i=1}^n f_i / N$; $\bar{t}_i = \sum_{i=1}^N t_i / N$, 其中 t_i 为自然数列, b 为直线的斜率, 表示频率源的输出频率在单位时间内的变化量。设 Y_i 为 t_i 时刻频率实际值 f_i 与直线上的值 $f(t_i)$ 之差, 即:

$$Y_i = f_i - f(t_i) = f_i - [\bar{f}_i + b(t_i - \bar{t}_i)] = (f_i - \bar{f}_i) - b(t_i - \bar{t}_i) \quad (1-12)$$

根据最小二乘法原理, 必须使

$$Y = \sum_{i=1}^N Y_i^2 \quad (1-13)$$

为最小, 而要使 Y 为最小, 则必须使

$$\frac{dY}{db} = \frac{d}{db} \left[\sum_{i=1}^N Y_i^2 \right] = 0 \quad (1-14)$$

将式 (1-12) 代入式 (1-14) 有:

$$\begin{aligned} \frac{dY}{db} &= \frac{d}{db} \left\{ \sum_{i=1}^N [(f_i - \bar{f}_i) - b(t_i - \bar{t}_i)]^2 \right\} \\ &= \sum_{i=1}^N 2[(f_i - \bar{f}_i) - b(t_i - \bar{t}_i)](-1)(t_i - \bar{t}_i) = 0 \end{aligned}$$

由此可得:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f}_i)(t_i - \bar{t}_i)}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t}_i)^2} \quad (1-15)$$

上式是计算频率漂移率的基本公式。我们常用 $\frac{b}{f_0}$ 去表征频率漂移量, 其中 f_0 为频率源的标称频率值。最常用的表征频率源频率漂移量的单位是日, 常称为日老化率或漂移率, 用 K_D 表示。

日老化率 K_D 的基本计算公式为:

$$K_D = \frac{n \sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f}_i)(t_i - \bar{t}_i)}{f_0 \sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t}_i)^2} \quad (1-16)$$

式中: n ——每日测量的次数, 即 24 小时与取样周期之比;

N ——每次测量取样个数;

t_i ——取样时序, 用自然数列表示;

f_i —— t_i 时刻测量的频率标准源输出频率值。

$$\bar{f}_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i \quad (1-17)$$

$$\bar{t}_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \quad (1-18)$$

在《高稳定度晶体振荡器检定规程》和《铷原子频率标检定规程》中,老化率(漂移率)的计算公式相同,但具体测量方法略有差别。根据所选用的测量仪器及不同的测量方法,亦有相应的漂移率计算公式,规程中也给出了实用的计算公式。

3 频率稳定度

3.1 噪声对频率的影响

由于频率源输出的信号一般都是利用某种物质的物理效应产生振荡信号(例如石英晶体振荡器利用石英晶体的压电效应;原子频标利用量子跃迁效应),并配以适当的电子线路后,才能形成标准频率信号。因此在信号的产生、传输等过程中,或多或少都存在着各种噪声和干扰信号,这些噪声和干扰信号都是随机变化的,它们影响着振荡信号的幅度、相位以至频率,从而使频率源的输出信号不能保持其原有特性。影响晶体振荡器频率稳定度的各种噪声大体有如下三种:

1) 干扰噪声(即调频白噪声):是由振荡器内部的热噪声和散粒噪声干扰振荡而形成的。

2) 附加噪声(即调相白噪声):是由振荡器电路外的附加电路内的热噪声和散粒噪声叠加于信号之上形成的,它并不干扰振荡。

3) f^{-1} 噪声(即调频闪变噪声):是晶振本身的频率起伏以及线路参数变化引起谐振频率的起伏,其起伏是以 f^{-1} 型幂律谱出现的。

一般来说噪声频率较高,这种频率起伏就越快,前两种类型的噪声就是这样。它只在较短的测量时间(几十秒以下)内影响显著,如果测量时取样时间较长,这种影响就被平均掉。由于调频闪变噪声含有很丰富的低频成分,因此在测量取样时间很长时对频率的影响也不能忽视。

凡是噪声引起的频率变化都用频率稳定度来描述。

3.2 频率稳定度的表征

在频率源内部,噪声(白噪声、闪变噪声等)对振荡信号的频率和相位均会产生调制。频率稳定度是描述“由于噪声调制造成的频率随机起伏程度的量”。描述频率源的频率稳定度是在系统变化不存在(或者可忽略,或者已修正)的前提下进行的,即把频标的不稳定因素作为随机过程来处理的。

频率稳定度的定义为:由内部噪声引起的,频率源输出频率取样(取样时间 τ) 值的随机变化,可用阿仑方差表征。

频率稳定度有两种表征方式:

1) 频域表征

由于噪声的影响是各种频率源频率不稳定的根源,因此用频域表征方法求其谱密度分布是对频率稳定度的本质描述。目前,由于频域测量部分在国内开展得不普遍,一般产品技术条件中也没有此项指标,所以在有关晶振的检定规程(JJG 180—2002 及 JJG 181—2005)以及铷原子频标检定规程(JJG 292—1996)中,没有频域频率稳定度的测量方法。

2) 时域表征

时域表征是描述频率源在某一时间间隔内平均频率的随机起伏程度,该时间间隔称为取样时间。目前广泛采用双取样方差——阿仑方差 $\sigma_y(\tau)$ 作为频率稳定度的时域表征形式。其

基本公式为:

a) 全部连续取样, 取样个数为 $(m+1)$, 如图 1-2 (a)。

$$\sigma_y(\tau) = \frac{1}{f_0} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (f_{i+1} - f_i)^2}{2m}} \quad (1-19)$$

式中: m ——表示取样组数;

f_i, f_{i+1} ——分别为第 i 次和第 $i+1$ 次测量的频率值。

b) 相邻两次为一组, 组内无间隙, 组间有间隙取样, 间隙时间无严格要求, 取样个数为 $2m$, 如图 1-2 (b)。

$$\sigma_y(\tau) = \frac{1}{f_0} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (f_{i2} - f_{i1})^2}{2m}} \quad (1-20)$$

式中: f_{i2}, f_{i1} ——分别为某组测量的两个频率值。

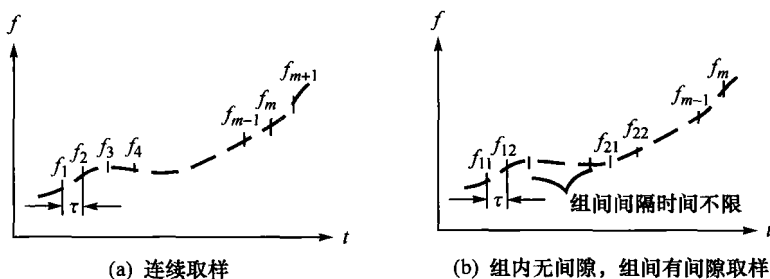


图 1-2 取样示意图

需强调指出的是, 频率稳定度表征某一取样时间内频率平均值的随机起伏程度, 在谈及和给定具体频率稳定度指标时, 一定要指明相应的取样时间。

4 频率重现性

频率重现性是指频率源多次开机后某频率实际值的符合程度, 这个指标对于断续使用的频标尤为重要。

频率重现性是频率源连续工作一段时间 t_1 后, 关机一段时间 t_2 , 再开机一段时间 t_3 时的频率实际值 f_{i3} 与关机前 t_1 时的频率实际值 f_{i1} 的相对频差, 如图 1-3 所示。频率重现性用式 (1-21) 表示:

$$R = \frac{f_{i3} - f_{i1}}{f_0} \quad (1-21)$$

同一台频标, 取不同的 t_1 、 t_2 和 t_3 , 其重现性不同。因此规程明确规定 $t_1 = t_3$ 为规定的预热时间, t_2 视不同的频率源而不同。在计数器内晶振检定规程中 t_2 规定为 24 小时。在高稳晶振检定规程中规定为 48 小时。在铷频标检定规程中规定 $t_1 = t_2 = t_3$, 为 24 小时。

5 开机特性

通常晶体振荡器从常温状态加电后, 由于恒温箱迅速加热, 晶体受到热冲击, 频率值从 A 点急剧下冲, 直到 C 点开始回升, 到 D 点逐步稳定, 如图 1-4 所示, 每次关机冷却后再开机都要重复上述过程。

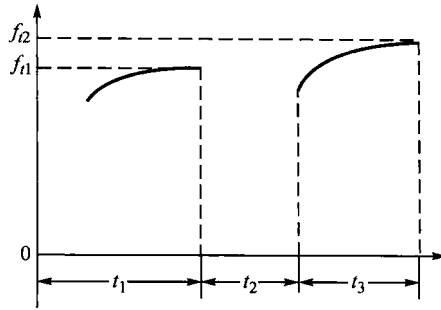


图 1-3 频率重现性曲线

不同类型的晶振有不同频率的下冲幅度和下冲时间。根据实验，国产计数器内晶振到达 C 点约 20~30 分钟，最大频率变化进入到 10^{-6} 量级。到达 D 点时间一般为 1 小时到一个半小时。这主要取决于恒温箱的升温速度，即与恒温箱的起始加热功率和热容量有关，热容量相同的恒温箱加热功率越大，频率下冲时间越短，下冲幅度越大。开机特性反映了断续使用的频率源接通电源后达到稳定这一段时间内输出频率随时间的变化规律，通常用频率-时间曲线来表示，如图 1-5 所示。

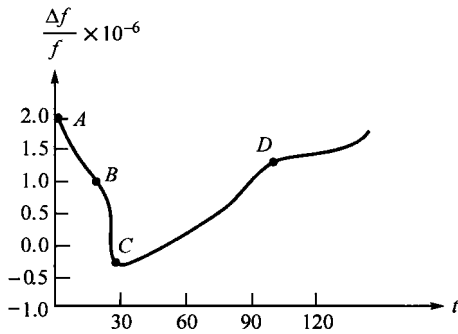


图 1-4 开机特性的频率温度曲线

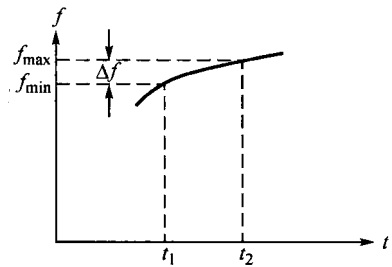


图 1-5 开机特性曲线

开机特性有两种表示方法：

1) 对于电子测量仪器内石英晶体振荡器，以开机以后在某一段时间间隔内频率值的最大相对变化来表达。如图 1-5。

其表征公式为：

$$V = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_0} \quad (1-22)$$

式中： $f_{\max}$ ——测量的频率最大值；

$f_{\min}$ ——测量的频率最小值；

f_0 ——频率标称值。

JJG 180—2002《电子计数器内石英晶体振荡器》就是用这种方法表征开机特性。它规定被测量频率源开机 1 小时后，7 小时内频率的最大相对变化。

2) 对于标准频率源，以开机以后，输出频率与稳定频率值达到规定的相对频差所需要的时间来表示，这段时间称为相对频差的稳定时间。JJG 181—2005《石英晶体频率标准》是用这种方法表征。

6 日频率波动

日频率波动是指在环境条件保持不变, 频率源经过规定的预热时间后输出频率在 24 小时内的最大相对变化量, 如图 1-6 所示。

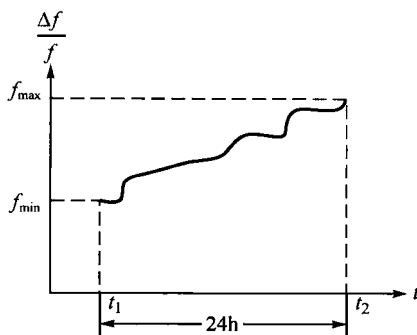


图 1-6 日频率波动曲线

日频率波动用下式表示:

$$S = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{M f_0} \quad (1-23)$$

日频率波动是电子计数器内晶振的一个重要的技术指标。这一指标虽然是在环境条件保持不变的情况下测得的, 但仍是一个综合指标, 它既包含随机起伏又包含系统变化。在大多数情况下, 单方向的老化占主要地位, 但某些晶振以波动为主而掩盖了单方向漂移, 这主要是由于晶振受环境条件影响较大的原因。

第四节 计数器的技术指标

1 频率测量

1) 频率测量范围 (frequency range)

频率测量范围是指在输入电压符合规定要求 (技术条件) 时, 能够正常进行测量的频率区间。指标水平一般为 10Hz~100MHz, 10Hz~1GHz。

2) 测频灵敏度 (sensitivity)

测频灵敏度是指计数器符合技术条件 (或产品标准) 中频率测量范围时的最小输入电压。指标水平一般为 10mV, 20mV, 50mV。

3) 动态范围 (dynamic range)

动态范围是指从灵敏度 (最小输入电压) 到最大输入电压的电压范围。指标水平一般为 10mV~5V。

4) 输入阻抗 (input impedance)

输入阻抗是指输入端对地之间测得的, 从被测计数器输入端看去的输入电路所呈现的阻抗 (包括直流电阻值和并联电容值)。指标水平为 1MΩ/30pF; 50Ω (频率高于 300MHz 的高速计数器)。

5) 闸门时间 (gate time)

闸门时间是指在一次测量过程中, 主门从开启至终止的时间间隔。指标水平为 1ms,