



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1180—2007

时间频率计量名词术语及定义

Glossary and Definition of Time and Frequency Metrology

2007-06-14 发布

2007-09-14 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

时间频率计量名词术语及定义

Glossary and Definition of Time and Frequency Metrology

JJF 1180—2007

本规范经国家质量监督检验检疫总局 2007 年 6 月 14 日批准，并自 2007 年 9 月 14 日起施行。

归 口 单 位：全国时间频率计量技术委员会

起 草 单 位：中国计量科学研究院

本规范由归口单位负责解释

本规范主要起草人：

马凤鸣（中国计量科学研究院）

参加起草人：

高小珣（中国计量科学研究院）

张爱敏（中国计量科学研究院）

目 录

1 技术基础	(1)
1.1 时标(时间尺度)	(1)
1.2 原子秒	(1)
1.3 平太阳秒	(1)
1.4 一类世界时(UT1)	(1)
1.5 国际原子时(TAI)	(1)
1.6 协调世界时(UTC)	(1)
1.7 闰秒	(1)
1.8 北京时间	(1)
1.9 儒略日(JD)	(2)
1.10 修定儒略日(MJD)	(2)
1.11 历元	(2)
1.12 时间频率基准	(2)
1.13 铯原子喷泉时频基准	(2)
1.14 数字时钟	(2)
1.15 原子钟	(2)
1.16 石英钟	(2)
1.17 白噪声	(2)
1.18 闪变噪声	(2)
1.19 白相噪声	(2)
1.20 闪相噪声	(2)
1.21 白频噪声	(3)
1.22 闪频噪声	(3)
1.23 随机游动频率噪声	(3)
2 时间	(3)
2.1 时刻	(3)
2.2 时间间隔	(3)
2.3 时延	(3)
2.4 时间间隔发生器	(3)
2.5 时间间隔计数器	(3)
2.6 时基	(3)
2.7 闸门时间	(3)
2.8 秒表	(3)
2.9 机械秒表	(3)
2.10 石英电子秒表	(4)

2.11	电秒表	(4)
2.12	毫秒仪	(4)
2.13	时间检定仪	(4)
2.14	秒表检定仪	(4)
2.15	电秒表检定仪	(4)
2.16	校表仪	(4)
2.17	钟差	(4)
2.18	钟速	(4)
2.19	日差	(4)
2.20	时间偏差	(4)
2.21	时间编码	(5)
2.22	时间比对	(5)
2.23	时间同步	(5)
2.24	同步不确定度	(5)
2.25	时间传输	(5)
2.26	无线电授时台	(5)
2.27	电视时间频率发播	(5)
2.28	网络授时	(5)
2.29	网络时间协议	(5)
2.30	电话授时	(5)
2.31	全球定位系统(GPS)	(5)
2.32	全球导航卫星系统(GLONASS)	(6)
2.33	GPS 共视法	(6)
2.34	卫星双向法	(6)
2.35	载频相位测量	(6)
2.36	时间标准偏差	(6)
2.37	时间标准	(6)
2.38	最大时间间隔误差(MTIE)	(6)
2.39	时间抖动	(7)
2.40	时间漂动	(7)
3	频率	(7)
3.1	频率	(7)
3.2	周期	(7)
3.3	相位	(7)
3.4	相位差	(7)
3.5	相位移	(7)
3.6	频率标准	(7)
3.7	原子频标	(7)

3.8	铯束原子频标	(7)
3.9	氢原子频标	(8)
3.10	铷原子频标	(8)
3.11	主动型原子频标	(8)
3.12	被动型原子频标	(8)
3.13	石英晶体频标	(8)
3.14	光频标	(8)
3.15	晶体振荡器	(8)
3.16	恒温晶振	(9)
3.17	温补晶振	(9)
3.18	频率标称值	(9)
3.19	频率实际值	(9)
3.20	频率偏差	(9)
3.21	频率差	(9)
3.22	频率准确度	(9)
3.23	频率稳定度	(9)
3.24	长期频率稳定度	(9)
3.25	短期频率稳定度	(9)
3.26	阿仑标准偏差	(9)
3.27	修正阿仑标准偏差	(10)
3.28	取样时间	(10)
3.29	取样个数	(10)
3.30	测量带宽	(10)
3.31	相位噪声	(10)
3.32	日老化率	(10)
3.33	月漂移率	(10)
3.34	开机特性	(10)
3.35	温度特性	(11)
3.36	负载特性	(11)
3.37	电压特性	(11)
3.38	频率复现性	(11)
3.39	频率复制性	(11)
3.40	频率合成器	(11)
3.41	频率计数器	(11)
3.42	通用计数器	(11)
3.43	分频器	(11)
3.44	倍频器	(11)
3.45	混频器	(11)

3.46	锁相环	(11)
3.47	频差倍增器	(12)
3.48	频标比对器	(12)
3.49	双混频时差法	(12)
3.50	比相仪	(12)
3.51	比相死区	(12)
3.52	频率校准	(12)
3.53	输入灵敏度	(12)
3.54	测量分辨力	(12)
3.55	比对不确定度	(12)
3.56	最大输入频差	(12)
3.57	GPS 控制的铷频标	(12)
3.58	GPS 控制的石英频标	(13)

时间频率计量名词术语及定义

1 技术基础

1.1 时标(时间尺度) time scale

时间坐标的简称,也叫时间尺度。选择一个时间的基本单位(秒),从一特定的起点累积而成。时标上的点代表时刻:年、月、日、时、分、秒。两点之差为时间间隔,如:几小时、几分钟、几秒钟。

1.2 原子秒 atomic second

目前国际单位制中时间的基本单位,1967年第十三届国际计量大会通过采用。定义为:“秒是铯-133原子在其基态的两个超精细能级间跃迁辐射 9192631770 个周期所持续的时间。”

1.3 平太阳秒 mean solar second

基于地球自转周期导出的时间基本单位,1820年正式定义:一平太阳秒为平太阳日的 86400 分之一。平太阳日简单理解为一年内真太阳日的平均值。

1.4 一类世界时(UT1) universal time

以平太阳秒为单位累积建立的时标,平太阳从观测者所在子午面的下方穿过的时刻为一天的起点,称为观测者所在地的地方平太阳时。本初子午面的平太阳时称为世界时。对地球自转轴的变化引起的观测误差(称为极移)修正后称为一类世界时,代号为 UT1,它能准确反映地球在空间的角位置,是天文界使用的时标。UT1 日长的不确定度为 $3\text{ms}(k=2)$ 。

1.5 国际原子时(TAI) international atomic time

以原子秒为单位,从 1958 年世界时 1 月 1 日零时开始累积的时标。由国际计量局利用分布在世界各地的约 300 台连续工作的原子钟读数加权计算得到自由原子时,再用秒定义的直接复现器进行校准,得到高度稳定和高度准确的国际原子时。

1.6 协调世界时(UTC) coordinated universal time

国际原子时(TAI)与世界时(UT1)协调后产生的时标,所用的时间单位与 TAI 一样为原子秒,在时刻上与 UT1 靠近,两者之差小于 0.9s ,与 TAI 相差整数秒。UTC 为国际上统一的法定时间,各国家或地区使用标准时间与 UTC 偏差整小时数,东半球超前,西半球滞后。

1.7 闰秒 leap second

为保持 UTC 与 UT1 之差小于 0.9s ,在 UTC 上引入的修正秒。闰秒时一分钟内的秒数变化为 61(正闰秒)或 59(负闰秒)。进行闰秒的时间由国际计量局提前 10 周通知各地的守时实验室。优先选定的闰秒时间是 6 月底或 12 月底的最后一分钟。到目前都是正闰秒。

1.8 北京时间 Beijing time

我国全国统一使用的标准时间,在时刻上超前 UTC 8h。

1.9 儒略日(JD) julian day

从公元前 4713 年世界时 1 月 1 日正午开始按十进制累计的天数。

1.10 修定儒略日(MJD) modified julian day

从 1858 年世界时 11 月 17 日午夜开始按十进制累计的天数。如 2005 年 9 月 1 日对应的修定儒略日为 $MJD = 53614d$ (加上 2400000.5 天即为儒略日)。主要用在天文计时和国际原子时的计算上, 作为日期的另一种标记。

1.11 历元 epoch

一个世纪的起始点, 或者一个计时系统的起始时刻。

1.12 时间频率基准 primary time frequency standard

直接复现秒定义(参见原子秒)的装置。通过独立测量和计算得到实际复现值及其不确定度, 此不确定度称为基准的准确度, 用相对值表示。目前只有少数几个国家研制出了时频基准, 准确度达到了 10^{-15} 量级。

1.13 铯原子喷泉时频基准 cesium fountain primary standard

新型的时间频率基准装置。铯原子以较低的初速度垂直上抛, 然后自由下落, 类似于喷泉, 故而得名。用上下、左右、前后六束激光把铯原子囚禁成一个超低温的粘团, 然后使原子以 $(3\sim 4)m/s$ 的初速上抛, 上升高度近于 1m。与传统的时频基准相比, 大大减小跃迁曲线宽度, 可小于 1Hz, 便于精确锁相。由于原子运动速度很低, 也大大减小与速度有关的一些因素在复现时引入的偏差, 故可得到很高的准确度。

1.14 数字时钟 digital clock

时标的具体显示装置, 包含主振器、计数器和显示器三个主要部分。主要显示一天内的时间, 即时、分、秒。

1.15 原子钟 atomic clock

以原子谐振频率为主振器频率的数字时钟, 除显示时、分、秒外, 还有秒脉冲输出, 外同步信号输入以及秒脉冲时延的调整部件。目前作为商品的有铯原子钟、氢原子钟及铷原子钟。

1.16 石英钟 quartz clock

以石英晶体振荡器为主振器的数字时钟。主要用于显示时、分、秒。准确度稍高的设备有秒脉冲输出和外同步功能。

1.17 白噪声 white noise

在给定的频带内具有连续的均匀的功率谱密度, 在频谱仪上显示为一条近于平坦的噪声功率曲线。

1.18 闪变噪声 flicker noise

一种低频噪声。功率谱密度与频率成反比, 故也称为 $1/f$ 噪声。

1.19 白相噪声 white phase noise

白噪声对频标信号的相位调制。其表现为频率稳定度与取样时间成反比。

1.20 闪相噪声 flicker phase noise

闪变噪声对频标信号的相位调制。其表现为频率稳定度与取样时间成反比。

1.21 白频噪声 white frequency noise

白噪声对频标信号的频率调制。其表现为频率稳定度与取样时间的平方根成反比。

1.22 闪频噪声 flicker frequency noise

闪变噪声对频标信号的频率调制，表现为频率稳定度与取样时间无关。此时的稳定度有时称为 flicker 平坦区。

1.23 随机游动频率噪声 random walk frequency noise

引起频率稳定度与取样时间成正比的噪声。

2 时间

2.1 时刻 instant/date of day

时标上的点，或一台具体时钟的读数。

2.2 时间间隔 time interval

时标上两点之差，或两个事件之间流逝的时间，时频计量中所测的时间间隔一般都小于 1s。如多少毫秒、微秒、纳秒、皮秒等。

2.3 时延 time delay

一个时间信号通过一段空间、一段电缆或一部分电路、一台电子设备等所用的传输时间，该信号到达时刻与发生时刻之差在时间同步系统计量时称为时延，也称为时间延迟。

2.4 时间间隔发生器 time interval generator

以内部晶体振荡器的周期为参考，通过数字电路和模拟电路(延迟线)产生各种时间间隔，最小间隔可达 1ns。间隔值以单列脉冲宽度，脉冲周期或双列脉冲时间差给定。

2.5 时间间隔计数器 time interval counter

用计数法测量两个电信号间的时间间隔。测量时选用的单位时间称为时基，由计数器内的晶振信号通过倍频和分频后产生。传统的时间间隔计数器(TIC)都只是采用直接计数法，所能测的最小间隔(分辨力)受触发器翻转时间所限，一般为 10ns。近代出现了一些新型的 TIC，在直接计数基础上加上扩展技术，如内插法、游标法和 A/D 变换法。测量分辨力可达几十甚至几个 ps。

2.6 时基 time base

时间间隔测量所选用的单位时间，如 1ns, 1 μ s, 1ms。按照测量仪最小显示值选取。

2.7 闸门时间 gate time

计数器测量时，电子门打开的时间。

2.8 秒表 stop watch

最简单的、低精度时间间隔测量仪，一般用人手启动和停止。

2.9 机械秒表 mechanic stop watch

整套结构为机械式，内设的游丝摆动的周期为参考，以度盘和指针停在度盘上的刻度值显示测量结果。分辨力一般为 0.1s。

2.10 石英电子秒表 quartz electronic stop watch

简单的电子式时间间隔计数器,所用时基由内设晶振产生,以数字显示器给出测量结果。分辨力一般为 0.01s。

2.11 电秒表 electromotive stop watch

以 50Hz, 220V 的市电为动力启动马达通过离合器带动指针旋转,以指针在度盘上的位置确定所测时间间隔。主要用于测量机械继电器的动作时间。测量误差为 50Hz 的频率准确度和离合器的时延。

2.12 毫秒仪 millisecond meter

一种数字式时间间隔测量仪,所测时间间隔大于 1ms,分辨力为 0.1ms。功能较全,既可测电信号的时间间隔也可测机械触点(如继电器)的闭合与断开的的时间间隔。

2.13 时间检定仪 time interval verification device

大量使用的中精度时间计量标准装置,主要用于检定毫秒仪、秒表、电秒表等。

2.14 秒表检定仪 stop watch verification device

用于检定各种电子秒表、机械秒表的计量标准装置。

2.15 电秒表检定仪 electromotive stop watch verification device

用于检定各种电秒表的计量标准装置。

2.16 校表仪 watch calibrator

钟表生产厂使用的一种仪器,用于快速测定钟表的相对走时速率,以校表仪内的晶振作参考源。相对走时速率以秒/天或秒/月为单位给出。

2.17 钟差 clock time difference

两台钟的读数差,当差值小于 1s 时,不能直接读出,需用时间间隔测量仪测定。设 A 钟的秒脉冲启动计时器, B 钟的秒脉冲停止计时器,测得值为 ΔT , 则两台钟的读数差为 $A - B = \Delta T$ 。若 ΔT 为正,表明 A 钟显示的时刻超前 B 钟;若 ΔT 为负,则滞后。

2.18 钟速 clock rate

两台钟读数差的变化率,设 A、B 两台钟在某时刻的读数差为 $A - B = \Delta T_{AB1}$, 经过一段时间 τ 后,变为 $A - B = \Delta T_{AB2}$, 则在 τ 时间内 A 钟相对 B 钟的平均速率为 $R_{AB} = (\Delta T_{AB2} - \Delta T_{AB1}) / \tau$ 。若 R_{AB} 为正,表明 A 钟比 B 钟走得快;若 R_{AB} 为负,则 A 钟比 B 钟走得慢。 R 的单位一般为 ns/d、 μ s/d 或 ms/d。把钟速的单位约掉,可从两台钟相对速率得出两台钟主振器的相对平均频率偏差。例如: $R_{AB} = 2\mu$ s/d, 则

$$y(\tau) = \frac{f_A - f_B}{f_0} = R_{AB} \cdot \frac{2 \times 10^{-6} \text{ s}}{86400 \text{ s}} = 2.32 \times 10^{-11}$$

2.19 日差 daily clock time difference rate

两台钟的读数差经过一天后的变化量。如第一天某一时刻 A、B 两台钟的读数差为 ΔT_{AB1} , 第二天同一时刻读数差为 ΔT_{AB2} , 则日差为 $\Delta T_{AB2} - \Delta T_{AB1}$ 。日差是电子秒表的重要指标。

2.20 时间偏差 time offset

一个时标(或时钟)相对一参考时标(或参考钟)的时刻差。可用时间间隔计数器直接测量两时标同一标志的秒脉冲间的间隔,也可间接计算得到,如 BIPM 时间公报中给出

的地方协调世界时相对国际统一的协调世界时的偏差, 即 UTC(K) - UTC。

2.21 时间编码 time code

时间信号的二进制编码, 用于无线或有线远距离传输标准时间。一般包含年、月、日、时、分、秒。

2.22 时间比对 time comparison

利用比对装置测定和计算两个时标(时钟)的时间偏差和偏差的稳定度的操作过程。

2.23 时间同步 time synchronization

在某一时刻, 使两台或多台时钟具有同一读数的操作过程。

2.24 同步不确定度 synchronization uncertainty

时钟同步后, 剩余时差的最大范围, 取决于所用的同步方法。

2.25 时间传输 time transfer

参考时间以编码形式通过有线或无线传送到远距离, 供时间比对、时间同步使用, 也可直接解码使用参考时间。时间传输中一重要技术指标是传输时延, 通过计算或测量得到。

2.26 无线电授时台 radio time service

用于发射标准时间信息的无线电台, 标准时间为 UTC, 同时发送 UTC 与 UT1 的时差 DUT1, 也可直接发送当地时间。所有信息都以二进制数字编码通过载频发送。

2.27 电视时间频率发播 TV time frequency transfer

在电视场扫描逆程中插入标准时间频率信息, 随同全电视信号发送。标准时间频率来自一台高准确的原子钟, 用特定的解码接收机得到。电视中的副载频和场、行扫描频率也来源于该原子钟, 故也可作计量标准使用。

2.28 网络授时 internet time service

在互联网上按照网络时间协议(NTP)发送标准时间信息。主要用于校准用户计算机内的时钟。

2.29 网络时间协议 network time protocol

在互联网上发送时间编码的标准协议。编码为 64 位的二进制定点数, 前 32 位是 1900 年 1 月 1 日零点零分零秒开始至今的 UTC 的总秒数, 可到 2036 年。后 32 位表示秒的小数部分, 分辨力可达 200ps。

2.30 电话授时 telephone time service

在有线电话网上, 通过调制解调器传送和接收标准时间编码信息。主要用于校准用户计算机内的时钟。接收方式有两种: 单向的, 不扣除传输时延; 双向的, 扣除传输时延, 不确定度可优于 10ms。

2.31 全球定位系统(GPS) global positioning system

美国国防部建立的高精度全球卫星无线电导航系统。至少有 24 颗卫星分布在 6 个固定平面上围绕地球旋转, 卫星高度约 20200km, 旋转周期为 11 小时 58 分。地球上的用户在任一时刻都可同时收到 4 颗以上卫星, 确定自己的位置。星上备有铯原子钟和铷原子钟。钟的时间每天由地面监测, 并给出相对标准时间 UTC(或 GPS 时间)的偏差。偏差值保持小于 100ns, 用户可以从收到的导航电文中得到标准时间信息校准本地

时钟。

2.32 全球导航卫星系统(GLONASS) global navigation satellite system

俄罗斯建立的全球卫星导航系统。与GPS类似,区别是GLONASS采用频分多址,而GPS是码分多址,星上都配有铯原子钟。用户可以从接收到的信息中得到标准时间信息。

2.33 GPS 共视法 GPS common-view

用于相距较远的两台钟或两个地方世界时的时间比对。共视意味着两地同时能看到同一颗卫星,同时测出本地钟与所接收到卫星给出的GPS时间差,事后交换数据得出两地时钟的时差。设A、B两地钟测得值为 $A - \text{GPS} = \Delta T_A$, $B - \text{GPS} = \Delta T_B$,则 $A - B = \Delta T_A - \Delta T_B = \Delta T_{AB}$ 。在此期间GPS时间起到媒介的作用,GPS带来的定时误差基本上可以抵消掉。由此得到的 ΔT_{AB} 的不确定度可达几个ns。同时由 ΔT_{AB} 的变化量可以求出两地钟主振器的频率偏差,实现频率的远距离校准。如连续两次测得 ΔT_{AB} 的间隔为1d,则频率偏差的测量不确定度可达 10^{-14} 量级,在国际原子时的计算中,所用各地原子钟的联系手段主要利用GPS共视法。

2.34 卫星双向法 two way time and frequency transfer

相距较远的两台钟的时间比对方法。利用地球同步卫星的转发器作为媒介,两地同时发送各自的时间信号,一般为秒脉冲,同时测量本地钟秒脉冲与接收到的对方发来的秒脉冲间的时差。两个测量结果相减并去掉传送中的附加延迟后,可得到两地钟的真正时差。时差的不确定度小于1ns。这是目前远距离时钟比对不确定度最小的方法。若两次测量间隔10d,则由时差的变化量可求出两地时钟主振器频率偏差,不确定度小于 1×10^{-15} 。可用于国际间时频基准的比对。

2.35 载频相位测量 carrier phase measurement

是GPS定位时一种精密的测距方法。直接收到测量卫星发射的载频信号从卫星到接收天线所累积的相位值,乘以载频的周期可以精确地得到信号在空间的传输时间,与正常的码相关测量技术相比,理论上由于载频大约为码元频率的1000倍,故传输时间的测量不确定度可以减少1000倍。时频计量上主要用于相距较远的两地的时钟比对。在两地各自测出两地时钟相对卫星信号载频的相位差,从而求出两地时钟的读数差。目前实验结果显示测量不确定度可小于0.1ns。关键技术是判断相位累积值中整周期部分。

2.36 时间标准偏差 time standard deviation

多次测得的时差与其平均值之差的均方根值,用贝塞尔公式计算。主要用于分析时间传递方法的优劣程度。目前多用于分析GPS共视法的测量结果及其不确定度。

2.37 时间标准 time standard

一套具体装置,能以编码形式给出标准时间(年、月、日、时、分、秒),以及参考秒脉冲。

2.38 最大时间间隔误差(MTIE) maximum time interval error

同步数字通信网中的统计检验参数。为同步后本地信号与参考信号相位差(时差)的最大变化量。用峰—峰值表示。它有助于直接检测频率或相位的突跳,这种突跳会产生

漏码, 丢失通信数据。

2.39 时间抖动 time jitter

通信领域用的术语, 表征定时信号相对理想状态的短期随机快速变化, 变化频率大于 10Hz。

2.40 时间漂动 time wander

通信领域用的术语, 表征定时信号相对理想状态的长期随机慢变化, 变化频率小于 10Hz。

3 频率

3.1 频率 frequency

重复事件的速率。频率的标准单位是赫(兹), 符号为 Hz, 定义为 1s 内事件重复的次数。电信号的频率通常用赫(兹)的倍数度量, 如千赫(1kHz = 10³Hz)、兆赫(1MHz = 10⁶Hz)、吉赫(1GHz = 10⁹Hz)。

3.2 周期 period

重复事件的重复时间, 与频率互为倒数。电信号的周期通常用秒的分数度量, 如毫秒(1ms = 10⁻³s)、微秒(1μs = 10⁻⁶s)、纳秒(1ns = 10⁻⁹s)。

3.3 相位 phase

在正弦信号一个完整的周期内某一时刻信号的位置。相位单位用度表示, 一个周期为 360°。有时也用弧度表示, 360°相当于 2π 弧度。

3.4 相位差 phase difference

两个同频率的正弦电信号在某一时刻的相位值之差。在时频计量中相位差用时间单位表示。如用度表示的相位差为 Δφ, 信号的周期为 T, 则此相位差用时间表示时为:

$\Delta T = \frac{\Delta \phi}{360^\circ} \times T$ 。时频计量中通过测量相位差的变化量得出相对频率差。如在 t_1 和 t_2 时刻分别测得的相位差为 ΔT_1 和 ΔT_2 , 则在 $t_1 - t_2$ 间隔内平均频率差为 $y(t_2 - t_1) = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{t_2 - t_1}$ 。

3.5 相位移 phase shift

简称相移, 人为地使周期信号的相位发生改变, 改变过程又称为移相。

3.6 频率标准 frequency standard

简称频标。一台独立工作的, 只输出几个频率值的装置, 一般有三个值: 1MHz, 5MHz 和 10MHz。其频率准确度需用基准或高一级的标准校准。

3.7 原子频标 atomic frequency standard

以原子在两个能级间跃迁时发射或吸收振荡信号的频率为参考, 通过锁相环路锁定一个给出实用频率的晶体振荡器, 晶振频率与原子跃迁频率具有同样的准确度。原子频标具有很高的频率准确度、长期稳定度、频率复制性和重现性。

3.8 铯束原子频标 cesium beam frequency standard

简称铯频标或铯原子钟。利用铯-133 原子在其基态的两个超精细能级间的跃迁信

号控制一台晶体振荡器,跃迁频率为 9192631770Hz,是一种被动型原子频标。晶振的频率,一般为 5MHz 和 10MHz,综合成微波激励信号,其频率接近原子跃迁频率,使铯原子在激励信号的感应下发生跃迁。当激励信号频率偏离原子跃迁频率时,产生一信号去调整晶振频率,使偏差为零,稳定控制后,晶振的输出频率与实际发生的跃迁频率具有同样的准确度。目前商品型铯频标的准确度已达到 5×10^{-13} 。

3.9 氢原子频标 hydrogen maser

简称氢频标或氢原子钟。分被动型和主动型两种,所用的原子跃迁频率为 1420405752Hz,被动型的工作过程类似铯频标,见“铯原子频标”。

主动型的又称为氢脉泽。与被动型不同,它不是在外界激励信号的感应下发生跃迁,而是满足一定条件时跃迁自动发生。相当一台自激振荡器。以自激振荡信号为参考锁定一台使用方便的 5MHz 或 10MHz 晶体振荡器。

两种氢频标的准确度都需直接或间接用时频基准校准得到。目前商品型的氢准确度也可达到 5×10^{-13} 。

与铯频标相比,频率短期($\tau \leq 1d$)稳定度比较好,但长期略差,且有频率漂移。

3.10 铷原子频标 rubidium frequency standard

简称铷频标。目前商品的铷频标都是被动型的,所用的原子跃迁频率为 6834682608Hz。工作过程类似铯频标。见“铯原子频标”。

铷频标的频率准确度较低,一般为 $10^{-10} \sim 10^{-11}$ 。需用铯或氢频标校准得到。与铯和氢频标相比,具有较大的频率漂移,大约在 1×10^{-11} /月量级。但铷频标体积很小、成本低,故应用非常广泛。

3.11 主动型原子频标 active atomic frequency standard

相当于一台自激振荡器,即原子跃迁自动发生,利用其跃迁频率经变换后锁定一台频率方便使用的晶体振荡器。

3.12 被动型原子频标 passive atomic frequency standard

相当一台鉴频器,原子跃迁是在外加的激励信号感应下发生。激励信号来自一台晶体振荡器,激励信号频率与原子跃迁频率进行比较,产生与频偏成比例的信号,调整和控制晶振的频率。

3.13 石英晶体频标 quartz frequency standard

一台独立使用的高稳恒温石英晶体振荡器。一般输出三个频率:1MHz, 5MHz 和 10MHz。与原子频标相比,具有较大的频率漂移,频率准确度利用原子频标校准得到。

3.14 光频标 optical frequency standard

一种还在研制和试验阶段的频率标准,是基于离子或原子在光频范围内的跃迁。比之基于微波跃迁的原子频标具有潜在的更高的频率稳定度,未来有可能用于更改秒定义。

3.15 晶体振荡器 quartz oscillator

利用石英晶体的压电效应产生振荡信号的频率源,简称晶振。在多种仪器内作为主振器。应用极其广泛,从手表、时钟、时频测量仪、信号发生器乃至原子频标都要配备晶振。晶振的最大弱点是谐振频率易受温度影响。

3.16 恒温晶振 oven controlled crystal oscillator

为减少环境温度变化引起晶体谐振频率的变化,把石英晶体放在一个温度高度稳定的恒温槽内,配备良好的振荡、放大、控制电路,具有优异的频率短期稳定性和相位噪声特性。

3.17 温补晶振 temperature compensated crystal oscillator

对温度引起的频率变化进行补偿的晶振。采用温度敏感的元件接在一个桥式电路内,电路两端的电抗会随着温度变化,此等效电抗接在晶振的振荡电路上,引起振荡频率变化,并与温度引起的变化相反,达到补偿。温补晶振与恒温晶振相比,体积很小功耗很低。当环境温度从 -40°C 变到 $+70^{\circ}\text{C}$ 时,补偿后的频率变化小于 1×10^{-6} 。

3.18 频率标称值 nominal frequency

理想的具有零不确定度的频率值。只是一个纸面上的或频标面板上输出频率的标志值。

3.19 频率实际值 actual frequency

通过测量得到的频率值。

3.20 频率偏差 frequency offset

频率实际值与标称值之差,一般用相对值表示,如偏差 $y = \frac{f_x - f_0}{f_0}$, f_0 为标称值, f_x 为实际测得值。由于 f_0 只是纸面值,实际选取一个频率偏差比欲测频率偏差小一个量级的参考频率近似作为标称频率。

3.21 频率差 frequency difference

两个频标频率实际值之差。

3.22 频率准确度 frequency accuracy

频率偏差的最大范围。表明频率实际值靠近标称值的程度。用数值定量表示时,不带正负号。如一个频标频率标称值为5MHz,频率准确度为 2×10^{-10} ,其含意是频率实际值可能高,但不会高出 2×10^{-10} ,也可能低,但不会低出 2×10^{-10} ,即频率实际值 f 满足下式: $5\text{MHz}(1 - 2\times 10^{-10}) \leq f \leq 5\text{MHz}(1 + 2\times 10^{-10})$ 。

3.23 频率稳定度 frequency stability

描述平均频率随机起伏程度的量,平均时间称为取样时间,为一重要参数。不同的稳定度量值对应不同的取样时间。

3.24 长期频率稳定度 long-term frequency stability

一般是指取样时间大于100秒的频率稳定度,更多的是指一天以上。

3.25 短期频率稳定度 short-term frequency stability

一般是指取样时间在1ms~100s范围内的稳定度。

3.26 阿仑标准偏差 Allan deviation

频率稳定度在时域的数学表征,区别于统计学上的标准差。估算公式为:

$$\sigma_y(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2(M-1)} \sum_{i=1}^{M-1} [y_{i+1}(\tau) - y_i(\tau)]^2}$$

τ 为取样时间, $y(\tau)$ 为 τ 间隔内平均频率偏差, M 为 $y(\tau)$ 的个数, 称为取样个数。
 $y(\tau)$ 可以通过测量相位差 (以时间为单位) 得到, 相应的计算公式为:

$$\sigma_y(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2(N-2)\tau^2} \sum_{i=1}^{N-2} (x_{i+2} - 2x_{i+1} + x_i)^2}$$

x_i 为测得的相位差, τ 为相邻两次测量 x_i 的间隔, N 为 x_i 的个数。

实用上常常需要得到 $\sigma_y(\tau)$ 随 τ 的变化曲线, 它能揭示频率源的噪声类型, 有助于改进频率稳定度。

3.27 修正阿仑标准偏差 modified Allan deviation

阿仑标准偏差的一种模式, 它能从随取样时间变化的关系上区别出频率不稳定是由白噪声调相还是闪烁噪声调相引起的, 这两种噪声表现都是在取样时间小于 1s 的频率稳定度上。

3.28 取样时间 sample time

频率稳定度是描述平均频率随机起伏程度的量, 测量时采用的平均时间称为取样时间。

3.29 取样个数 sample number

计算阿仑标准偏差时, 所取的平均频率偏差 $y(\tau)$ 的个数。当个数较少时, 计算结果的变化较大, 计量时给出统一规定。

3.30 测量带宽 measurement bandwidth

频率稳定度测量装置的信号通带宽度, 带宽愈窄, 装置引入的噪声被抑制的愈多, 能减小测量不确定度, 但过窄也会抑制被测信号本身的噪声使测量结果不真实。一般规定测量带宽要大于取样时间倒数的 5 倍。

3.31 相位噪声 phase noise

频率稳定度的频域表征。定义为单边带偏离信号载频处单位带宽 (取 1Hz) 内功率与载频功率之比。单位为 dBc/Hz。偏离载频的偏离值称为傅立叶频率, 一般取 1Hz~100kHz。

3.32 日老化率 daily aging rate

老化表征石英晶体频标连续工作时频率随时间单方向慢变化程度。每天的变化量称为日老化率, 用最小二乘法估算, 变化量用相对值表示。

3.33 月漂移率 monthly drift rate

漂移表征原子频标连续工作时频率随时间单方向的慢变化程度, 每月的漂移量称为月漂移率, 用最小二乘法估算。铷原子频标漂移较大, 可达 $(1\sim3) \times 10^{-11}$ /月, 氢原子频标较小, 为 $(1\sim3) \times 10^{-14}$ /月, 铯原子频标很小, 几乎可以忽略, 故一般不给漂移率。

3.34 开机特性 warm-up

一般用于描述石英晶体频标和晶体振荡器在开机初始阶段的频率不稳情况。目前在计量上规定开机 8h 内频率的最大变化量, 即最大值与最小值之差。

对于原子频标一般锁定后即能得到所给定的频率准确度。但铷频标特殊, 锁定后也需较长时间才能得到所给的准确度。故铷频标的开机特性是给出开机 4h 和 8h 后的频率准确度, 或指明开机多长时间能达到给定的频率准确度。

3.35 温度特性 temperature stability

当环境温度改变时, 频标输出频率随之变化的情况。一般给出在温度变化范围内引起的频率最大变化量, 也有的给出在一定温度范围内, 频率的温度系数, 即每变化1度, 频率的变化量。

3.36 负载特性 load stability

当频标的负载由空载到短路, 两种状态下的频率变化量。测量时以 50Ω 负载代替短路, 以 $1k\Omega$ 负载代替空载。

3.37 电压特性 power stability

当外加电压(一般指市电交流电压)变化10%时, 频标输出频率的最大变化量。

3.38 频率复现性 frequency repeatability

频标工作一段时间关机后, 下次再开机达到稳定后, 频率值与上次关机时频率值的一致程度。用两次相对频差表示。

3.39 频率复制性 frequency reproducibility

按同样设计制造出的一批频标, 产生同一频率值的能力。用多台频标频率值的标准偏差表征。进口的原子频标大都给出复制性指标。

3.40 频率合成器 frequency synthesizer

以内部晶振的频率值为参考通过加减乘除的电路变换产生多种近于连续的频率。合成器输出频率的准确度与内部晶振的频率准确度相同, 短期频率稳定度略微变差。一般有外标输入功能, 可以得到更高的准确度。

3.41 频率计数器 frequency counter

用计数法测量电信号频率的仪器, 以数字显示结果, 测量结果都是闸门时间内的平均值, 闸门时间由仪器内部的晶振信号通过分频产生, 一般为 $1ms \sim 10s$ 。

3.42 通用计数器 universal counter

功能较全, 除测量频率外还能测量周期、时间间隔、相位差的计数器。

3.43 分频器 frequency divider

一台仪器或一个电路, 把输入频率变成较低的频率, 有直接数字分频和锁相分频。可变数字分频可用输出信号的移相。

3.44 倍频器 frequency multiplier

一台仪器或一个电路, 把输入频率变成较高的频率, 如一个倍频系数为10的倍频器可把 $1MHz$ 输入频率变成 $10MHz$ 输出频率。

3.45 混频器 frequency mixer

一台仪器或一个电路, 输入两个不同频率的信号, 产生一个频率等于两个输入频率之差的信号。在测量系统内用于提高测量分辨力。如一个 $5MHz$ 与一个 $5.000001MHz$ 的信号, 混频后产生 $1Hz$ 的差频信号, 再用计数器测量, 能测出输入信号更微小的频率变化。

3.46 锁相环 phase locked loop

用于控制和调整晶体振荡器频率的闭合环路。相位锁定后, 被控晶振与参考信号具有同样的频率并始终保持。锁相环包含有压控晶振、相位比较器和控制电压发生器。

3.47 频差倍增器 frequency difference multiplier

提高两台频标差频测量分辨力的装置, 为避免高次倍频的困难, 采用倍频、混频方法、逐级重复进行, 最后得到仅将差频倍增的结果。如一台频标的频率为 f_0 , 另一台为 $f_0 + \Delta f$, Δf 很小。两者倍频后为 $m(f_0 + \Delta f)$ 和 $(m-1)f_0$, 混频后得到 $f_0 + m\Delta f$, 同样进行第二次、第三次, 一直到第 n 次, 到最后得到 $f_0 + m^n \Delta f_0$ 。

3.48 频标比对器 frequency standard comparitor

两台频标进行比对的装置, 大都采用频差倍增技术, 以较高的测量分辨力测出两台频标的相对平均频率差。通过软件处理可得出频率准确度、频率稳定度等计量性能指标。也可给出频率稳定度随取样时间变化的曲线。频标比对器的输入频率大多为几个点频, 如 1MHz, 5MHz, 10MHz。

3.49 双混频时差法 dual mixer difference method

频标比对器采用的一种测量方法。内设一个媒介振荡器, 分别与两比对频标的频率进行混频, 产生两个低频信号, 低频信号的标称频率一般取 1Hz, 10Hz, 100Hz 或 1kHz, 由欲测的频率稳定度最小取样时间决定。最后测量两低频信号的相位差(时差), 通过相位差的变化量求出两频标的相对平均频率偏差, 并利用软件计算多种取样时间的频率稳定度。

3.50 比相仪 phase comparitor

用相位比较法测量两台频标相对频差的装置, 主要用于测量取样时间较大的平均频率差。一般由 100s 到 1d, 甚至更长。适用于测量频标的长期稳定度。相位差值大都用电压笔式记录仪观测, 也有的用时间间隔计数器测量。

3.51 比相死区 phase comparitor dead time

比相法中关键电路是双稳态触发器, 由于触发器翻转速度所限, 当两比对信号相位差很小时, 触发器不翻转, 致使比相器无对应信号输出。这个限制触发器翻转的最大相位差值称为比相死区。有的比相仪采用较新的变换技术可消除比相死区。

3.52 频率校准 frequency calibration

以一准确度已知的频标作参考, 调整一台被校频标频率值的操作过程。校准结果要给出测量不确定度。

3.53 输入灵敏度 input sensitivity

测量仪(如计数器或频标比对器)能进行正常测量时, 要求正弦输入信号具有的最小电压值。用有效值表示。

3.54 测量分辨力 measurement resolution

理论上, 一台测量仪可能有的最小测量误差。

3.55 比对不确定度 comparison uncertainty

频标比对器对测量结果引入的测量误差范围, 也称为比对器引入的测量不确定度。

3.56 最大输入频差 maximum input frequency difference

频标比对器正常工作时所允许的两比对信号间的最大频差。

3.57 GPS 控制的铷频标 GPS controlled rubidium oscillator

用 GPS 信号控制一台铷原子频标, 使其具有较高的频率准确度, 并大大减小铷频

标固有的漂移。采用的控制方法是驾驭，测量铷频标分出的秒脉冲与 GPS 秒脉冲的时差，通过多次测量算出铷频标相对 GPS 的频差，然后调整铷频标的频率，两次调整的间隔可由 1h~12h。

3.58 GPS 控制的石英频标 GPS controlled quartz oscillator

利用 GPS 信号通过相位锁定控制石英晶体振荡器的频率，成为一台高度准确并大大减小老化影响的石英晶体频标，具体方法是令晶振分出的秒信号与 GPS 秒信号比相，利用锁相环锁定晶振。频率准确度可达 10^{-12} 量级，但频率短期稳定度会变坏。

中华人民共和国
国家计量技术规范
时间频率计量名词术语及定义
JJF 1180—2007
国家质量监督检验检疫总局发布

*

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>
北京市迪鑫印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
版权所有 不得翻印

*

880 mm×1230 mm 16开本 印张1.25 字数 19千字
2007年8月第1版 2007年8月第1次印刷
印数 1—2 000
统一书号 155026—2260 定价: 20.00元