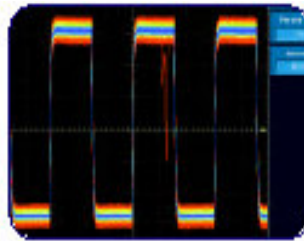


▶ ITU1363 标准 —
抖动标准



目录

数字电视基础标准介绍之三	2
(ITU1363 标准).....	2
第一部分 ITU-R BT.1363-1 主要讲述的几个问题	2
第二部分 VM700 的抖动和漂移测量.....	16
附录 2 比特串行数字演播室接口的抖动特性和测量	38

数字电视基础标准介绍之三

(ITU1363 标准)

ITU-R BT.1363-1 “符合 ITU-R BT.656、ITU-R BT.799 和 ITU-R BT.1120 建议书的比特—串行信号的抖动规范和抖动测量方法”是数字电视又一最基础的标准。它所针对的三个标准的当前版本分别是 ITU-R BT.656-4 “工作在建议书 ITU-R BT.601(部分 A)的 4:2:2 级别上的 525 行和 625 行电视系统中的数字分量视频信号接口”、ITU-R BT.799-3 “工作在 ITU-R BT.601(部分 A)推荐的 4:4:4 级 525 行和 625 行电视系统的数字分量视频信号接口”和 ITU-R BT.1120-3 “用于 HDTV 演播室信号的数字接口”。也就是说,ITU-R BT.1363-1 是适用于标准清晰度和高清晰度电视的串行数字信号的抖动规范和抖动测量方法。本标准将以 ITU-R BT.656 的 270Mb/s 串行数字接口 (SDI)信号作为例子进行论述,但同样的概念适用于串行传输的从 3.1Mb/s 的 AES-3 音频数据流到 1.5Gb/s 高清晰度电视 SDI 的所有信号。

这本资料共分三大部分:第一部分介绍 ITU-R BT.1363-1 主要讲述的几个问题;第二部分讲述 VM700T 的抖动和漂移测量;第三部分把 ITU-R BT.1363-1 的全文提供给大家,以进行深入研究。

第一部分 ITU-R BT.1363-1 主要讲述的几个问题

ITU-R BT.1363-1 主要介绍什么是抖动?抖动有什么危害?抖动的分类,设备和系统抖动的参数,抖动的基本测量方法,抖动参数的具体测量步骤,抖动的消除及有关术语的定义等问题。

一、抖动的含义及其危害

在 ITU-R BT.1363-1 中给抖动下的定义为:抖动是数字信号的跳变对它们的理想位置在时间上的变化。正如图 18 和图 21 所示,抖动的观测一般在数字数据信号的有效瞬间(significant instant)——跳变的零交叉点(zero crossings)上进行。

抖动是数字信号在形成、编码、处理、传送和变换中,所造成的数据跳变位置与它们理想状态的偏移。抖动也可以设想为串行数据流的相位变化或调制。

抖动的测量单位为 UI(单位间隔)。它代表一个时钟循环的周期。对 NRZ 或 NRZI 编码信号相应于串行数据间隔的最小标称时间。在图 18a)中示出了 NRZI 数据信号和相关的时钟标记。 $1\text{UI}=1/270\text{MHz}=3.7\text{ns}$ 。

抖动是串行数字传输系统性能中最重要的参数之一。它能够在数字数据的传送和恢复中引起差错。如,抖动能够造成恢复的时钟和数据在时间上的瞬间偏差。当这种偏差变得足够大时,数据可能被译错。另外,如果抖动通过数/模转换处理被传递,数字信号中的抖动可能会降低模拟信号的性能。表征和测量抖动性能对串行数字系统可靠和可预测的工作非常重要。

二、抖动的分类

相同大小的抖动量因抖动速率不同,会对数字接收机产生截然不同的影响。图 3-3 示出了不同的抖动频率成分使数字接收机失锁的抖动幅度频率曲线。从图 3-3 中可以看出抖动速率越高,对设备影响越严重,如频率为 10Hz 幅度为 60 μs 的抖动或频率为 1kHz 幅度为 500ns 的抖动才会使数字接收机失锁;而在 1MHz,1.2ns 的抖动就会使数字接收机失锁。可见抖动频率成分的高低对设备的正常运行影响很大。所以抖动的分类一般主要以抖动所包含的频率成分为依据进行划分。

抖动按所包含的频率成分可大致分为绝对抖动(absolute jitter)、定时抖动(timing jitter)、校正抖动(Alignment jitter)和低频抖动(low-frequency jitter),可参看图 20。

绝对抖动是信号上非常低到非常高的频率所有抖动频率分量的集合。实际上不可能精确地测出绝对抖动。这是因为很难产生一个绝对基准的数据沿。

除了定时抖动、校正抖动和低频抖动之外,漂移(wander)也包含在绝对抖动之中。信号跳变位置以非常低的频率变化(典型值为 10Hz 以下)称为漂移。漂移一般对时钟提取和电解码,以精确恢复数字数据流的能力方面没有影响。因为这种低频变化能够被锁相环跟踪(除非漂移使数据率变到基准振荡器控制范围之外)。然而,偏移可能使后续的码流处理出现问题。漂移通常定义为频率分量低于一个特殊频率的抖动。在 SDI 应用中,这个指定的切换点是 10Hz。测量漂移和绝对抖动时,要求用于识别沿抖动的时钟基准极为稳定,本身无抖动分量。一般提取时钟的锁相环达不到这个要求。这样准确的基准信号源可采用一台高 Q 值的晶体振荡器。漂移测量的有关问题可参考 VM700T 视频测量装置 SDI 应用中的漂移测量的相应论述。

2. 定时抖动

定时抖动是发生速率高于规定速率(典型值为 10Hz 或更低)的信号跳变位置的变化。如上所述,产生的变化低于这个规定频率的称为漂移。

定时抖动通常用于表征整个系统的运行状况。它能够通过把时钟恢复系统环路滤波器带宽设定为 f_1 来测量。这样,结果中将包括环路滤波器截止频率以上到测量上限频率的所有频率的抖动。定时抖动一般不明确给出引起数据恢复差错的对应的抖动值。

3. 校正抖动

在 ITU-R BT.1363-1 中,给校正抖动下的定义是:信号的跳变相对于从该信号中提取的时钟跳变在位置上的变化。时钟提取处理的带宽确定了校正抖动的低频限值。这个带宽通常在 1kHz~100kHz 间选取一点。校正抖动低频限值的典型值为 1kHz 或 100kHz。

校正抖动与绝对抖动、定时抖动及低频抖动相比,它是最重要的抖动测量。校正抖动能够直接给出影响数字接收机正确恢复数据能力的信息。数字接收机产生这种类型差错的原因是锁相环路不能跟踪输入信号的定时变化。如果定时误差变得足够大,解码器将“滑动”1比特,这会在解码的数据中造成一个误码。并要产生一个字的帧差错。直到下一个定时基准到来之前,它将不会被校正。

4. 低频抖动

低频抖动是定时抖动和校正抖动之间的差。它所覆盖的频率范围是 $f_1 \sim f_3$ 。在串行链路中,低频抖动一般不造成多大问题。即使比较大的低频抖动也能被串行链路接受。因为锁相环能跟踪这些低频的定时变化并维持正确的数据恢复。但是,我们必须注意:这个频带的抖动存在于恢复的并行时钟。如果在并行领域,把恢复的并行时钟作为基准信号,那么对监视器来说,这个参数就很重要。

低频抖动能够由定时抖动减去校正抖动而得到。对大多数类型的抖动,比如正弦或随机抖动,这都会给出准确的结果。而如果抖动源是个复杂的波形,如方波,这种计算将对频率和工作周期有所影响。

以上对抖动的分类原则是按其所包含的频率成分进行划分。如果按在系统中抖动累积的模型可把抖动分成随机抖动和系统抖动两种类型。

随机抖动定义为与系统中产生的其它抖动不相关的抖动。如,由限幅电路的热噪声产生的边缘抖动就是随机抖动的一个例子。由于它是不相关的,随机抖动按功率相加,幅度以方和根(有效值)进行计算。

系统抖动是与系统中的其它抖动完全相关的抖动。由专用数据序列产生的定时变化是系统抖动的一个例子。因为级联相同的再生源,同样的状态会出现在每个部分。由于系统抖动是相关的,它将以算术式进行累积。

大部分抖动是随机抖动和系统抖动的组合。然而,通过几个再生源以后,由于算术式累积,系统抖动通常占主导地位。因此,对简单的累积模型常把所有抖动都按系统抖动处理。

三、设备和系统的抖动参数

数字设备的抖动参数包括输入抖动容限、抖动传递和固有抖动。输出抖动是抖动的网络(系统)参数,它可用于规定设备接口的抖动限值。

1. 输入抖动容限

输入抖动容限定义为:当把该正弦抖动的峰-峰幅度加到设备的输入端,会引起规定的差错性能劣化。输入抖动容限适用于大多数串行数字输入。

对设备输入抖动容限的要求用抖动模板来规定。它覆盖一个规定的正弦幅频范围(见图 1)。这个模板给出设备不发生差错性能规定程度的劣化,而必须接受的最小抖动。满足抖动容限要求的设备必须有一个大于这个要求的实际抖动容限(见图 2)。输入抖动容限的要求用表 1 给出的参数规定。

表 1 输入抖动容限

参数	单位	描述
数据率	比特/秒	串行比特率。
f_1	Hz	规范的低频频率限值
f_2	Hz	低频抖动容限 A_1 的上边带沿频率
f_3	Hz	高频抖动容限 A_2 的下边带沿频率
f_4	Hz	规范高频频率限值
A_1	UI	f_1 到 f_2 的低频抖动容限
A_2	UI	f_3 到 f_4 的高频抖动容限
差错判据		差错起始判据
测试信号		用于测量的测试信号

频带 f_1 到 f_2 形成低频抖动容限通带。在这个通带至少应该允许 A_1

UI 峰-峰正弦抖动的输入,而不使设备超过规定的差错判据。同样,频带 f_3

到 f_4 形成高频抖动容限通带。在这个通带至少应该允许 A_2 UI 峰-峰正弦

抖动的输入,而不使设备超过规定的差错判据。UI(单位间隔)是 A_1 和 A_2 的单位。

在 f_2 和 f_3 之间,抖动容限要求的斜率应为 20dB/10 倍频。频率 f_2 和 f_3 的关系为: $f_2=f_3/(A_1/A_2)$ 。应该规定达到起始差错的判据。可采用误码率(BER)限值或以在规定的时间内最大误码秒数为判据。

2. 抖动传递

抖动传递是由加到输入端的抖动而引起的设备输出端的抖动。输出抖动与加到输入端抖动之比的频率函数称为抖动传递函数。抖动传递适用于从串行输入产生串行输出的设备,如再生装置等。抖动传递还能够由加到设备的基准信号(如模拟的带色同步的黑场信号)得到。

抖动传递的要求用模板来规定,它是预期的最大抖动增益的频率函数(见图 3)。满足抖动要求的设备要有一个位于该模板内的抖动传递函数(见图 4)。对抖动传递的要求用表 2 中给出的参数规定。

表 2 抖动传递要求

参数	单位	描述
数据率	比特/秒	串行比特率
f_1	Hz	规范的低频频率限值
f_c	Hz	抖动传递通带的上边带沿频率
P	dB	f_1 到 f_c 的最大抖动增益
测试信号		测量用的测试信号

频率 f_1 到 f_c 形成抖动传递通带。覆盖这一通带的最大抖动增益为 P 。频率从 f_c 到至少 $10f_c$ 的抖动传递模板将以 $20\text{dB}/10$ 倍频降低。 P 的单位为分贝(dB)。

3. 固有抖动

固有抖动定义为:不加输入抖动时,设备输出端的抖动。它是设备内产生的抖动量的量度,与任何抖动传递无关。固有抖动适用于大多数串行输出。

4. 输出抖动

输出抖动是籍在系统或网络中的设备,在其输出端的抖动。它包括固有抖动和在设备输入端上抖动的抖动传递。输出抖动是网络规范,而不是设备规范。单个设备应规定固有抖动、抖动传递和输入抖动容限等项目。网络接口规范可以采用输出抖动。

固有抖动和输出抖动用峰-峰值来规定,并在整个要求的抖动频带上测量。有两个测量频带,一个是另一个的子频带(见图 5)。固有抖动和输出抖动用表 3 中给出的参数来规定。

表 3 固有抖动和输出抖动

参数	单位	描述
数据率	比特/秒	串行比特率
f_1	Hz	定时抖动的下边带沿频率
f_3	Hz	校正抖动的下边带沿频率
f_4	Hz	上边带沿频率
A_1	UI	定时抖动限值
A_2	UI	校正抖动限值
t_m	s	测量时间
测试信号		用于测量的测试信号
n		串行时钟分频数

$f_1 \sim f_4$ 形成定时抖动测量通带。覆盖这一通带所容许的最大峰-峰抖动规定为 A_1 。 $f_3 \sim f_4$ 形成校正抖动测量通带。覆盖这一通带,所容许的最大峰-峰规范定为 A_2 。 A_1 和 A_2 的单位为 UI(单位间隔)。通带斜率至少应为 20dB/10 倍频。除非另有规定,应有最小的相位响应。阻带抑制至少为 20dB。通带波动应小于+1dB。对于固有抖动测量,测试源的抖动与固有抖动指标相比应可以忽略。

四、抖动的基本测量方法

根据抖动测量原理,所采用的仪器和基准信号的特点,抖动测量的基本方法可大致分成四种:用基准信号触发示波器的测量、借助时钟提取器的抖动测量、利用相位解调器的抖动测量和采用基准信号的相位解调器测量。

1. 用基准信号触发示波器的测量

如果能得到基准信号,就可进行最基本的抖动测量(见图 6)。示波器用基准信号直接触发。这个基准信号也可以是具有高稳定性的串行数字信号。例如,对 270Mb/s ITU-R BT.656 信号来说,它可以是 27MHz 并行时钟、270MHz 串行时钟或 ITU-R BT.656 串行信号。把被测数字数据信号连到示波器适当端接的垂直通道,以进行眼图测量。抖动通带在眼图交叉点上观测。测量结果中应给出:测试信号、抖动幅度、示波器带宽等参数和测量时间。

应该注意:这种测量方法只提供了对 SDI 信号抖动的粗略观测。测量结果取决于基准信号的稳定性(基准信号的抖动决定了测量基数)、示波器类型和测量时间(如,数字存储示波器的余辉工作方式)等因素。所有这些参数都影响测量结果,并且随条件的变化造成结果的可变性。这种方法不能按照通常在抖动规范中要求的那样进行带宽限制。如果可使用其它抖动测量方法,不推荐采用这种方法。

2. 借助于时钟提取器的抖动测量

利用时钟提取器获得的时钟信号去触发示波器或其它指示装置可完成对信号输出的抖动测量(见图 7)。

时钟提取器一般包括宽带时钟恢复电路和跟随的窄带锁相环(见图 8)。这个锁相环能够设定两个不同的环路带宽,所以可得到两个不同的抖动传递函数(见图 9),时钟输出 2 用于触发指示装置。时钟提取器应具有如下特性:

- 1) 时钟提取器要能与信号输出端串连,并可对指示设备提供足够大的信号。要求时钟提取器不能以模糊或改变信号上抖动的方法,而使输出信号特性发生改变。
- 2) 为了测量定时抖动(A_1),时钟提取器的时钟恢复带宽应为 f_1 。在测量校正抖动(A_2)时,时钟提取器的时钟恢复带宽为 f_3 (见图 9)。
- 3) 时钟提取器的抖动传递函数应有 20dB/10 倍频或更大的滚降,并且在没有另外规定时,应保持最小的相位响应。通带内的波动应小于 +1dB(见图 9)。
- 4) 提取的时钟应为串行时钟的 n 分频。时钟提取器可以有一个可选的时钟输出 1,它的时钟恢复带宽最好等于 f_4 。

用于观测抖动的指示设备应具有下列特性:

- 1) 指示设备的水平和/或触发带宽应不衰减被观测的抖动。触发带宽至少为 f_3 。
- 2) 指示设备不应在零交叉点引起码间干扰。这要求垂直系统的阶跃响应要保证跳变和稳定时间小于 $1UI$ 。
- 3) 指示设备应能采集足够的取样值,以确定峰-峰抖动。
- 4) 如果指示设备是一台示波器,则抖动测量通常在眼图交叉点上进行。推荐采用具有无限余辉的数字存储示波器。

下面具体介绍一下借助于时钟提取器的定时抖动测量。

时钟提取器的带宽应设置为 f_1 。时钟输出 2 连接到示波器的触发通道。依据被测的抖动幅度是否大于 $1UI$ ，以不同的连接方式把被测信号加到示波器的垂直通道。对于小于 $1UI$ 的抖动幅度，使用环通信号（见图 7）。抖动幅度大于 $1UI$ 时，可采用下列两种不同的连接方式：

- 1) 优选方式：对于大于 $1UI$ 的抖动测量，要求时钟提取器应有一个 n 分频的时钟输出 1（带宽为 f_c ），和 n 分频的时钟输出 2（带宽为 f_1 ），如图 8 所示。将输出 2 接到示波器的触发输入，把输出 1 加到示波器的垂直通道（见图 10）。这种连接确保被测抖动频率在 $f_1 \sim f_c$ 范围，实现了定时抖动的测量。
- 2) 如果时钟提取器同时有带宽 f_1 和带宽 f_3 两个输出端，一个输出连到垂直通道，而第二个输出作为触发。这种连接可测量 f_1 和 f_3 之间的抖动。这个抖动称为低频抖动。

测量结果的表示：应该以文件方式给出：测试信号、示波器类型、测量时间和在眼图交叉点测得的抖动幅度。建议画出屏上眼图。

校正抖动的测量与定时抖动测量在方法上相似。所不同的只有时钟提取器带宽设置到 f_3 。时钟输出 2 仍连到示波器的触发通道，环通信号连到示波器垂直通道（见图 7）。

3. 利用相位解调器的抖动测量

如果相位解调器的边带可外差低至直流，那么就可以很方便地进行抖动的观察和测量。一种流行的方法是由被测信号恢复两个时钟：一个具有非常宽的时钟恢复带宽，而另一个具有窄带宽，并把它们分别加到相位解调器（见图 12）。相位解调器的输出信号经过可选带通滤波器加到峰值读数电压表。输出还可加到频谱分析仪或具有快速付里叶变换(FFT)选件的示波器以观察抖动频率的成分（见图 13）。

抖动接收机一般采用的就是相位解调法。抖动接收机应该能够覆盖整个抖动测量通带。

测量结果的表示：应该以文件方式给出：测试信号、测量时间、被测抖动电平和测量通带，并应对测量设备进行描述。

4. 利用基准信号的相位解调器测量

这种方法与第 3 种方法的差别在于：它是利用基准信号以获得包含整个抖动信息的解调输出，然后再进行滤波、变换等处理，最后给出抖动数值、抖动波形或频谱。

按图 14 所示，将基准和数据信号连到数字相位解调器的两个输入端。解调器的输出可以用几种方法进行处理。第一种方法是将输出信号滤波，以确定下边带沿和上边带沿，然后通到示波器进行抖动结果显示（应注意，现在示波器的垂直刻度表示抖动幅度）。另一种方法，可以先捕获解调的抖动波形，然后进行数字滤波，确定上边带沿和下边带沿，以给出所需的抖动波形显示。最后一种方法是对捕获的波形进行快速付里叶变换(FFT)或连接解调输出到频谱分析仪，获得抖动频谱显示。在测量结果中应记录：测试信号类型、上边带沿和下边带沿频率、测量时间及峰-峰抖动幅度。

应注意：这种测量方法，对抖动解调器中的相位检波器引入的任何与图像有关的抖动都非常敏感。所选相位检波器的类型应避免与图像相关的抖动。这种方法还要求对相位解调器进行校准，以使示波器的垂直指示与抖动幅度相关。这可以通过在基准信号和数据信号之间提供一个频率偏移来实现，并记下相位解调器输出的斜率。最后再强调一下：这种技术只能分辨幅度小于 1UI 的抖动，因为解调器传递函数的非线性非常接近这个限值。

五、抖动参数的具体测量步骤

在这一部分重点讲述输入抖动容限测量和抖动传递测量的具体测量步骤。

1. 输入抖动容限测量

输入抖动容限测量需要一台已校准的抖动发生器和一个误码率测量装置(见图 15)。具体测量步骤如下:

- 1)按图 15 所示连接设备。把抖动发生器的抖动幅度设置为 $0U_{Ipp}$, 检验无差错运行状态。
- 2)按需要设定抖动发生器的抖动频率,并增加抖动幅度,直至达到差错判据。记下此时的抖动频率和幅度。
- 3)设置足够的频率点数,在各频率点重复步骤 2),以确定输入抖动容限曲线。

为核实输入抖动容限模板的符合性,可按如下方法进行:

- 1)按被检验的模板点设置抖动发生器的抖动频率和幅度。检验是否达到差错判据。
- 2)在频率 $f_1 \sim f_3$ 之间选择足够的模板点数,并重复步骤 1),完成对模板曲线的检验。

应注意:未校准的抖动发生器的抖动幅度可用已校准的抖动接收机来确定。

2. 抖动传递测量

抖动传递测量需要一台已校准的抖动发生器和一台已校准的抖动接收机(见图 16)。下面介绍的增强性方法则需要一台具有外抖动输入的抖动发生器,一台抖动接收机和一台带有跟踪发生器输出的频谱分析仪(见图 17)。

基本方法的测量步骤如下:

- 1)按上述方法先在整个频率范围内,对被测装置进行输入抖动容限的测量。
- 2)按图 16 连接设备。设定抖动发生器输出抖动,使它在整个频带内都小于在 1)已测得的输入抖动容限。但要使它足够大,以便得到更好的测量准确度。
- 3)按上述要求选定抖动发生器的抖动频率和抖动输出,记下抖动接收机

的抖动读数。用抖动接收机测得的抖动读数除以抖动发生器的输出抖动,以得到这个频率的抖动增量。

4)选择足够的频率点数,重复步骤 3),以确定抖动传递函数。

应注意:如果抖动发生器和抖动接收机频率响应不平坦,可把抖动发生器和抖动接收机直接连在一起,建立一个偏差表进行修正。

下面介绍增强性方法的具体测量步骤:

- 1)在整个频率范围内进行被测装置的输入抖动容限测量。
- 2)按图 17 连接设备。旁路被测装置,检验系统线性和无差错运行状态。
- 3)设定跟踪发生器输出幅度,使抖动发生器的抖动输出在整个频率范围内小于已测得的输入抖动容限。在频谱分析仪上选择一个适合的分辨力带宽。存储分析仪的轨迹。
- 4)接入被测装置。从显示的轨迹减去存储的轨迹。这个差就是被测装置的抖动传递函数。

应注意:可用网络分析仪代替频谱分析仪和跟踪发生器的组合。矢量网络分析仪可用于测量抖动传递函数的相位和幅度特性。

为了核实抖动传递模板的符合性,用基本方法或增强性方法,从 f_1 到 $10(f_c)$,检验抖动传递应小于模板要求。

六、如何消除抖动

在实际应用中,有时需要在系统中的某个位置消除抖动。这是因为足够的抖动累积会超出后续设备的输入抖动容限。另外,在 D/A 变换中,抖动会引入非线性。因此,对高质量的 D/A 变换,如果变换时钟由信号驱动,那么也需要去掉伴随信号的任何抖动。

抖动消除器是通过把串行数字信号变回并行形式来工作。让它们通过一个“先进先出”(FIFO first-in-first-out)寄存器,然后再用高稳定时钟把它们解串行(把输入的串行信号变成并行信号输出)。通常这种高稳定时钟是以“带有色同步的全黑场的同步信号”为基准。正如图 31 所示,信号输入到抖动消除器的方法与其它 SDI 输入设备一样。

抖动消除器的后一部分是具有足够长度的较小的 FIFO 寄存器,以适应由预期累积形成的最高抖动幅度相对应的最长时间变动。最后高质量的时钟源驱动并串变换器或数模变换器,以提供实际上无抖动的输出。这类设备经常用于系统中,以控制抖动累积或保证线性的模拟输出。要特别注意由抖动消除器所引起的附加时延并要保证时延是可预测的。

七、与抖动有关的术语的定义

1. 抖动:数字信号的跳变对它们的理想位置在时间上的变化。
2. 定时抖动:发生速率高于规定频率(典型值为 10Hz 或更低)的信号跳变位置的变化。产生的变化低于这个规定的频率被称为漂移。
3. 校正抖动:信号的跳变相对于从该信号中提取的时钟跳变在位置上的变化。时钟提取处理的带宽确定了校正抖动的低频限值(1kHz~100kHz,典型值为:1kHz 和 100kHz)。
4. 单位间隔(UI):缩写 UI,它是一个时钟循环的周期。它对应于串行信号跳变间的最小标称时间。
5. 输入抖动容限:当把该正弦抖动峰-峰幅度加到设备的输入端,会引起规定的差错性能劣化。
6. 抖动传递:由加到输入端的抖动而引起的设备输出端的抖动。
7. 抖动传递函数:输出抖动与加到输入端抖动之比的频率函数。
8. 固有抖动:不加输入抖动时,设备输出端的抖动。
9. 输出抖动:箝在系统或网络中的设备,其输出端的抖动。它包括固有抖动和在设备输入端上抖动的抖动传递。
10. 时钟提取器:一种能从串行数据流中提取串行数据时钟,并能输出与时钟有关的触发脉冲的设备。它还可以提供与提取时钟重新定时的串行数字数据信号。
11. 误码率测试仪:一种确定串行数字信号误码率量值的设备。主要有两种类型:一种是典型的误码率测试仪,另一种是 SMPTE RP165 中描述的场速率 CRC(循环冗余校验)法(EDIT:用交互传递法消除差错)。
12. 抖动发生器:这个装置可产生包含幅度和频率可调的正弦抖动的串行数字信号。

13. 抖动接收机:用于解调和测量串行信号中存在的抖动。它通常提供一个与解调抖动成比例的输出。
14. 相位解调器:一个可提供与两个输入信号相位差成比例的信号作为它的输出的设备。
15. SDI:串行数字接口的缩写。通常归类于建议书 ITU-R BT.656 系统。
16. DSO:数字存储示波器的缩写。
17. DUT:被测装置的缩写。

第二部分 VM700 的抖动和漂移测量

首先必须指出:利用 VM700T 视频测量装置测量数字视频信号的抖动和漂移,VM700T 必须配置 Option 1S 串行数字测量选件。

VM700T 可测量的串行数字视频信号为:143Mb 复合 NTSC 信号、270Mb 525 行分量信号、270Mb 625 行分量信号和 360Mb 分量信号。1S 选件的测量项目:1.电气性能:SDI 眼图、SDI 抖动和 SDI 漂移。2.视频格式和内容:SDI 格式监视、SDI 辅助数据分析、SDI 辅助数据分配分析、SDI 波形、SDI 闪电和 SDI 图像。3.音频格式和内容:SDI 音频格式分析和 SDI 音频测量。4.定时:SDI 通道间定时和 SDI 音频/视频定时。

在这本资料里只讲述 VM700T 的抖动测量和漂移测量。

一、眼图应用中的抖动测量

VM700T 中的眼图是等值时间取样显示。这表示 SDI 信号的取样率低于奈奎斯特速率。VM700T 以输入的 SDI 时钟速率的 1/19 对 SDI 信号取样。眼图显示由几千个单独周期取样组成。图 3-2 示出怎样从视频信号的取样得到眼图。

眼图可以设想成 SDI 信号的示波器显示,它用再生时钟触发。眼图的水平位移表示数据信号跳变与定义为再生时钟的平均跳变之间的差。

SDI 眼图应用中的抖动测量在眼交叉位置进行。抖动变大时,波形上升沿和下降沿之间的间隔(眼开度)变小。图 3-1 示出抖动使波形上升沿和下降沿间的空间减小的情况。

用眼图方式测量抖动参数时,最好在“波形子菜单”中选择“全信号”,并一定在“测量子菜单”中选择“抖动”项。当滤波器频率选择 10Hz 时,可测得定时抖动。滤波器频率为 1kHz 时,可得到校正抖动值。

SDI 眼图应用除“眼图”显示方式外,还有“测量与限值”显示方式。在“测量与限值”方式中,可给出包括“抖动”参数在内的每种测量的当前值,从最后一次消除算起的每种参数的最大和最小值以及用户定义的测量限值(见图 3-6)。

用眼图方式测量抖动有一定的局限性。在眼闭合之前,SDI 眼图的抖动测量仅能够给出最大值为 0.8UI 的抖动。在 270Mb 情况下,这相当于大约为 3ns 的抖动。当眼图闭合后,眼图方式的抖动测量将不能进行。但是,因为数字接收机的良好性能,数字数据信号的内容仍可能恢复。抖动转换速率最终确定数字接收机是否能够锁定到进来的数字信号。图 3-3 示出随抖动频率变化的抖动幅度,使数字接收机能够恢复数字信号的区域。眼图方式抖动测量的另一问题是行相关抖动的异常现象不易观测。因此,你应当用 VM700T “SDI 抖动应用”测量分析行相关的抖动异常和大的抖动幅度。

二、SDI 抖动应用

物理串行数据流由数据率从 143Mb/s 到 360Mb/s,在单同轴电缆上传送的二进制数据组成。串行数字接收机在这种速率工作必须有良好的特性,以使信号存在抖动和噪声时能正常工作。串行数字信号中的抖动通常是由分配放大器、路由开关和其它数字处理设备产生。

作为电测量应用之一,SDI 抖动应用通过测量信号的峰-峰定时抖动和峰-峰校正抖动来检验 SDI 传送层的电特性。VM700T 测量的定时抖动规定为 10Hz 以上的任何抖动,而校正抖动规定为 1kHz 以上的抖动。

SDI 抖动应用有两种显示方式:解调的抖动波形显示和抖动频谱显示。解调抖动波形可分别显示与行速率和帧速率相关的抖动。抖动频谱显示利用 FFT 技术给出抖动分量频谱。

解调抖动波形和抖动频谱都采用行速率和帧速率两种时基(见图 3-7 和图 3-8)。在抖动波形显示中,Y 轴是以 UI 或皮秒(ps)为单位的抖动幅度。X 轴代表时间,行速率时单位为 μs ,而帧速率时以相对于帧起始的视频行编号表示。在抖动频谱显示中,Y 轴表示以 dBUI 为单位的抖动幅度,而 X 轴表示以 Hz 为单位的抖动频率。在行速率,X 轴刻度到 10MHz;在帧速率,刻度到 20kHz。抖动频谱显示 dB 刻度的零基准为 1UI。当显示 360Mb/s 信号时,抖动频谱的 X 轴对时间而言为默认状态,而与行、场或帧编号无关。

抖动波形和抖动频谱显示非同步,因为抖动波形显示每秒更新 10 次,而抖动频谱显示每秒更新一次。你可以利用 VM700T 的“冻结”功能冻结显示。这时两种显示才是相关的。

波形和频谱显示有独立的触摸和放大功能。当前面板冻结按钮指示灯亮时,波形不能收缩得比 FFT 窗口小,也不能全景扫描超过 FFT 窗口。帧速率显示时,不能用触摸和放大使显示超出 FFT 窗口。

在频域和时域,光标可以给出抖动测量的相关数据。“相对于基准”工作方式允许内部存储两个抖动测量基准,并用它与在 SDI 通道 A 输入的信号进行差值测量。SDI 抖动应用还可利用选行方式。

下面就抖动滤波器、抖动幅度衰减、FFT 窗口及遗漏 FFT 数据等问题作进一步说明:

1. 抖动滤波器

SDI 眼图和 SDI 抖动应用采用同样的高通滤波器(由 SMPTE RP-184 推荐),以进行定时抖动和校正抖动测量。抖动滤波器频率设定共用于 SDI 眼图和 SDI 抖动应用。滤波器软键在两个应用中均出现。10Hz 滤波器用于定时抖动测量,而 1kHz 滤波器用于校正抖动测量。

2. 抖动幅度衰减

解调抖动信号可能包含一个宽范围的频谱分量。为了能够观测最多的相关频谱分量,抖动应用分成两种方式:帧速率和行速率。帧速率方式用于观察帧速率到行速率的频谱分量(15Hz~25kHz)。行速率方式用于观测行速率和更高速率的抖动分量(8kHz~10MHz)。

帧速率方式中的去假频滤波器有一个相当低的截止频率,以防止高能量的高频分量在抖动波形显示中引起瞬间扰动。在抖动频谱显示中对这个滤波器进行了补偿,从而不影响真实的频谱显示。因此抖动波形显示的抖动幅度就不可能准确地对应抖动频谱给出的幅度。抖动频谱范围的上端,抖动幅度的差异最大。表 3-4 示出在帧速率方式抖动幅度随抖动频率的衰减。

表 3-4 在帧速率方式抖动幅度的衰减

滤波器频率	衰减(dB)	衰减(%)
10kHz	0	0
15kHz	3	30
20kHz	6	50
30kHz	12	75
42kHz	30	97

3. FFT 窗口

用一个 4096 个点的 FFT,从它接收的数据点(取样)计算抖动频谱。FFT 是一种将时间和幅度信息变换成频率和幅度信息的数学算法。选件 1S 提供两种 FFT 窗口:Hanning 窗口和矩形窗口。它影响各种方法显示的抖动频谱。

Hanning 窗口合并靠近的抖动频率,对比较低的幅度谐波比采用矩形窗口更容易看到。矩形窗口提供了比较好的频率分辨力,但掩盖了频谱的低幅度分量。可用 Hanning 窗口初步识别抖动频谱的主要频率和比较小的谐波。然后用矩形窗口分离并给出互相接近的更细的抖动频率分量。

可用图 3-9 图解说明 FFT 窗口的特性。从图中可以看到,矩形窗口有一个比较窄的主瓣,旁瓣的幅度缓慢地减小。Hanning 窗口有一个较宽的主瓣,但旁瓣幅度快速减小。主瓣的宽度影响分辨率;而旁瓣的幅度影响较小幅度频谱分量的可视性。

3. 遗漏 FFT 数据问题

抖动取样率不能精确地对应每两帧(帧速率)或每两行(行速率)4096 个取样。因此 4K FFT 产生的频谱把第二帧或第二行末端的一小部分排除在外。在表 3-5 中,以百分数和时间长度给出被排除的信号部分。这些数值表示在 FFT 计算期间,从两帧或两行取样序列末端被排除信号的量。

表 3-5 在 FFT 计算中,抖动波形的遗漏部分

视频格式	帧速率(0~20kHz)			行速率(0~10MHz)		
	取样频率	在第二帧末端信号遗漏部分		取样频率	在第二行末端信号遗漏部分	
143Mb NTSC	62.3kHz	1%	0.95ms	35.8MHz	10%	12.70ns
270Mb 525 行	61.9kHz	1%	0.59ms	33.8MHz	5%	5.75ns
270Mb 625 行	61.9kHz	17%	13.86ms	33.8MHz	5%	6.64ns
360Mb 525 行	62.1kHz	1%	0.74ms	36.0MHz	10%	13.33ns
360Mb 625 行	62.1kHz	18%	14.01ms	36.0MHz	11%	14.22ns

下面介绍一下 SDI 抖动应用菜单

SDI 抖动应用提供两种显示方式:帧速率和行速率。可用“速率”软键在两种显示方式间转换。图 3-7 和图 3-8 给出这两种显示方式。

主菜单:

图 3-10 给出 SDI 抖动应用的菜单树。可利用下一页的软键描述测量功能和设置。在 SDI 抖动应用显示底部的主菜单软键有如下功能:

速率(显示频率):触这个软键可在帧速率和行速率显示方式间转换。

滤波器(频率):触这个软键可使抖动滤波器频率在 10Hz 和 1kHz 间转换。窗口(类型):触这个软键 FFT 窗口可在 Hanning 和矩形间转换。

基准:触这个软键可打开基准子菜单。在那里你能够存储和比较抖动频谱显示。

光标/单位:触这个软键可打开光标/单位子菜单。在那里你可以接近和控制测量光标和测量单位。

自由运行:触这个软键可转换自由运行方式的开与关。

重调刻度:如果你已经使用过触摸和放大功能,触这个软键可使显示的刻度和偏移回到默认状态。

基准子菜单:

基准子菜单使你能够存储一个抖动频谱作为基准,然后与 SDI 通道 A 输入信号的另一抖动频谱进行比较。当显示基准或显示差值软键有效时,解调的抖动波形被消隐。应注意:当工作在显示差值方式时,被比较的抖动频谱格式标准必须匹配,并且被比较的信号必须在 SDI 的 A 输入端。

基准子菜单提供下列软键:

存储有效(作为基准):触这个软键为了拷贝当前的抖动频谱到基准缓冲器并存储在非易失随机存取存储器(NVRAM)中。

显示有效:触这个软键以显示当前信号的频谱(默认状态)。

显示基准:触这个软键为了显示存储在 NVRAM 中作为基准的抖动频谱。

显示差值:触这个软键可显示在 SDI 通道 A 信号的抖动频谱与已经存储在 NVRAM 中的基准抖动频谱的差。

光标/单位子菜单:

光标/单位子菜单使你能够接近并控制测量光标和单位。光标通过软键控制。被选光标位置通过前面板旋钮调整。被选光标软键被加亮。当你重新进入光标/单位子菜单时,光标重现在它们的初始位置。光标/单位子菜单提供下列软键:

波形光标 1:触这个软键,选择波形光标 1。

波形光标 2:触这个软键选择波形光标 2。

频谱光标 1:触这个软键选择频谱光标 1。

频谱光标 2:触这个软键选择频谱光标 2。

光标到中心:触这个软键可移动被选光标到屏幕中心。

抖动单位(测量单位):触这个软键可在 UI(单位间隔)或秒(ns 或 ps)间转换解调抖动波形显示的 Y 轴刻度。抖动单位的设置共用于 SDI 眼图和 SDI 抖动应用,并且这个软键在两种应用中都出现。

以上介绍的是 SDI 抖动测量,下面介绍 SDI 漂移测量的有关问题。

三、SDI 漂移应用

作为电测量应用之一,SDI 漂移应用用于检验 SDI 传送层的电性能。SDI 漂移应用提供一种方法,以检验用于演播室、馈送和分配级品质视频设备的频率定时稳定性。它不需要使用任何特殊的测试信号。

同步到外定时源的数字分配网络通常引起网络中的相位变化。这个相位变化(水平同步漂移)通常被传送到在编解码输出端恢复的视频信号。如果这样,在波形或矢量监视器上观察时,会出现视频信号色调的微秒变化或同步相位的改变。在网络中过量的指示符调整会引起视频漂移电平的累积。从而造成包括失去同步锁定等严重问题。

由于视频信号通道一般利用相位跟踪输入视频信号进行自同步,这不利于限制非常低的频率的特殊分量到一个固定的峰值。因此,SDI 漂移应用采用两种显示方式,即在漂移速率和频率偏移两个项目中处理这些低频相位变化。

1. 漂移速率和频率偏移显示方式。

实时漂移速率显示方式(见图 3-12)给出水平同步脉冲的频率漂移速率。水平同步频率漂移速率对演播室品质的记录和后期处理设备有非常大的影响。

频率偏移显示方式(见图 3-13)是视频信号与 VM700T 内部的精密频率基准的绝对频率误差的频率准确度测量。它可以进行准确到 100ppb(ppb—Parts Per Billion 十亿分之几,相当于 10^{-9})以内的输入视频信号频率准确度的测量。

在两种显示方式中,靠近 Y 轴刻度的指示器表示屏上显示波形部分的峰值时间变化。峰值保持功能使你能够跟踪有效期间的最大峰值定时变化。显示上的点状线代表测量限值。

2. 低频拐角频率选择

图 3-11 表明 0.25Hz、0.50Hz 和 1.00Hz LP(低通)拐角选择的作用。这些低通拐角漂移速率带宽值选择了漂移速率测量的上限频率。如,10ns 峰值抖动认为可接收,你不需要在 0.25Hz 以上限制峰值漂移速率到 28ppb/s。

为了更好地了解这个概念,设想一个典型的馈送级品质的视频信号(峰值抖动小于 2.5ns)。那么你仅需要测量漂移速率为 0.5Hz 以下的漂移和 0.5Hz 以上的抖动。再比如,对最终的分配级品质的视频信号,10ns 峰值抖动可被接受。在这种情况下,只需测量低于 0.25Hz 的漂移速率和 0.25Hz 以上的抖动。通常的概念是大的可接受的抖动底限采用低的低通拐角频率值。

3. 菜单说明

SDI 漂移应用的菜单树示于图 3-14。以下软键提供在 SDI 漂移显示的底部:

漂移速率:触这个软键,以选择漂移速率显示方式。

频率偏移:触这个软键可选择频率偏移显示方式。

低通拐角:触这个软键,以选择下列测量带宽。

1.00Hz:1ns 最大峰值抖动(演播室级品质);

0.50Hz:2.5ns 最大峰值抖动(馈送级品质);

0.25Hz:10ns 最大峰值抖动(分配级品质)。

光标:触这个软键可转换测量光标开与关。能够利用这个光标测量显示波形特殊部分的幅度。

峰值保持:触这个软键可以转换峰值保持方式开与关。峰值保持可以跟踪有效期间的最大峰值定时变化,在 Y 轴刻度上用“指示器”示出,见图 3-12。

记录:触这个软键可显示记录子菜单。在那里你可以转换记录功能开与关,并选择 SDI 漂移应用的记录报告目标。

重调刻度:触这个软键可重调刻度显示到最佳观测状态。

记录子菜单:

记录子菜单在显示的底部提供下列软键:

记录:触这个软键,以转换记录功能开与关。

记录口:触这个软键可传送记录报告到在“通讯装置设置文件”中选择的测量装置通讯口。

文件增补:触这个软键为了增补新的记录信息到测量结果记录文件中。文件改写:触这个软键为了改写“测量结果文件”中的原来记录信息为新的记录信息。

从以上论述可以看出:VM700T 视频测量装置是非常理想的串行数字接口信号测试设备。

第三部分 ITU-R BT.1363-1 标准

Rec.ITU-R BT.1363

建议书 ITU-R BT.1363-1

符合 ITU-R BT.656、ITU-R BT.799 和 ITU-R BT.1120 建议书的比特一串行信号的抖动规范和抖动测量方法

(课题 ITU-R 65/11)

(1998)

ITU 无线电通信全会

考虑到:

a)许多国家正在安装符合 ITU-R BT.656、ITU-R BT.799 或 ITU-R BT.1120 建议书的基于采用串行数字视频分量的数字电视制作设备;

b)为了保证这种串行数字接口的运行,需要有抖动参数规范和抖动测量

方法;

- c) 为了实现上述目标,在**规定和测量符合 ITU-R BT.656、ITU-R BT.799 和 ITU-R BT.1120 建议书**的**比特串行接口的抖动方面**达成一致的需求。
- d) 采用光接口传送符合 ITU-R BT.1367 新起草的**建议书的信号**需要**抖动参数规范和抖动测量方法**。

建议:

在采用符合 ITU-R BT.656、ITU-R BT.799 和 ITU-R BT.1120 建议书接口的地方,应规定抖动(参数),其抖动测量方法应符合附件 1 的规定。

注— 在抖动规范和测量方法方面的其它信息可参阅附录 2 和 EBU Tech3268。附录 2 指导性的支持本建议书。

附件 1 抖动规范

1. 范围

本建议书描述对自时钟比特串行数字系统中抖动所规定的技术。它可应用于源、接收器和再生设备。

2. 规范的基准

下列标准所包括的规定,通过在本文中作为基准,构成了本实践的规定。在出版时,指出的版本是有效的。全部标准有待修订,鼓励同意本实践的各方研究应用下面所指出标准最新版本的可能性。

3. 定义

3.1 校正抖动:信号的跳变相对于从该信号中提取的时钟跳变在位置上的变化。时钟提取处理的带宽确定了校正抖动的低频限值。

3.2 输入抖动容限:当把正弦抖动峰-峰幅度加到设备的输入端,会引起规定的差错性能劣化。

3.3 固有抖动:不加输入抖动时,设备输出端的抖动。

3.4 抖动:数字信号的跳变对它们的理想位置在时间上的变化。

- 3.5 抖动传递:由加到输入端的抖动而引起的设备输出端的抖动。
- 3.6 抖动传递函数:输出抖动与加到输入端抖动之比的频率函数。
- 3.7 输出抖动:籍在系统或网络中的设备,其输出端的抖动。它包括固有抖动和在设备输入端上抖动的抖动传递。
- 3.8 定时抖动:发生速率高于规定频率(典型值为 10Hz 或更低)的信号跳变位置的变化。产生的变化低于这个规定频率被称为漂移,本实践不论述漂移问题。
- 3.9 单位间隔(UI):缩写 UI,它是一个时钟循环的周期。它对应于串行信号跳变间的最小标称时间。

4. 抖动规范

设备抖动规范分成三类:输入抖动容限、抖动传递和固有抖动。第四类规范(输出抖动)是个网络规范,它可用于规范设备接口的抖动限值。

4.1 输入抖动容限

输入抖动容限是正弦抖动的峰-峰幅度。当把它加到设备输入端时,会使差错性能发生规定的劣化。输入抖动容限适用于大多数串行输入。

4.1.1 输入抖动容限的要求用抖动模板来规定,它覆盖一个规定的正弦幅频范围(见图 1)。这个模板给出设备不发生差错性能规定程度的劣化而必须接受的最小抖动量。满足抖动容限要求的设备必须有一个大于这个要求的实际抖动容限(见图 2)。

4.1.2 输入抖动容限的要求用表 1 给出的参数规定。

表 1 输入抖动容限

参数	单位	描述
数据率	比特/秒	串行比特率
f_1	Hz	规范低频频率限值
f_2	Hz	低频抖动容限 A_1 的上边带沿频率

f_3	Hz	高频抖动容限 A_2 的下边带沿频率
f_4	Hz	规范的高频频率限值
A_1	UI	f_1 到 f_2 的低频抖动容限
A_2	UI	f_3 到 f_4 的高频抖动容限
差错判据		差错起始判据
测试信号		用于测量的测试信号

图 1 输入抖动容限模板(所有图附于资料后)

图 2 抖动容限规范和顺应的抖动容限

- 4.1.2.1 频带 f_1 到 f_2 形成低频抖动容限通带。在这个通带至少应该允许 A_1 UI 峰-峰正弦抖动而不超过规定的差错判据。
- 4.1.2.2 频带 f_3 到 f_4 形成高频抖动容限通带。在这个通带至少应该允许 A_2 UI 峰-峰正弦抖动而不超过规定的差错判据。
- 4.1.2.3 以 UI 为单位规定 A_1 和 A_2 值。
- 4.1.2.4 在 f_2 和 f_3 之间,抖动容限要求的斜率应为 20dB/10 倍频。频率 f_2 和 f_3 的关系如下: $f_2=f_3/(A_1/A_2)$
- 4.1.2.5 应该规定达到起始差错的判据。可采用误码率(BER)限值或以在规定的时间内间隔内的最大误码秒数为判据。
- 4.1.2.6 应该规定用于测量的测试信号(加有正弦抖动)。
- 4.1.3 在对应本实践的适合的 SMPTE 标准中,给出了输入抖动容限数值。术语应遵照 4.1.2 节。

4.2 抖动传递

抖动传递是由加到输入端的抖动而引起的设备输出端上的抖动。抖动传递可应用于从串行输入产生串行输出的设备,比如再生设备。抖动传递还能够由加到设备的基准信号(例如,模拟的带色同步的黑场信号)得到。下述的抖动传递模板是预先规定的从串行输入到串行输出的抖动传递。

4.2.1 抖动传递的要求用模板来规定,它示出了最大抖动增益的频率函数(见图 3)。满足抖动要求的设备要有一个位于该模板内的抖动传递函数(见图 4)。

图 3 抖动传递模板

图 4 抖动传递规范和顺应的抖动传递函数

4.2.2 抖动传递的要求用表 2 中给出的参数规定

表 2 抖动传递要求

参数	单位	描述
数据率	比特/秒	串行比特率
f_1	Hz	规范的低频频率限值
f_c	Hz	抖动传递通带的上边带沿频率
P	dB	f_1 到 f_c 的最大抖动增益
测试信号		测量用的测试信号

4.2.2.1 频带 f_1 到 f_c 形成抖动传递通带。覆盖这一通带的最大抖动增益为 P。

4.2.2.2 频率从 f_c 到至少 $10f_c$ 的抖动传递模板将以 20dB/10 倍频降低。

4.2.2.3 应以分贝(dB)为单位规定 P。

4.2.2.4 应规定用于测量的测试信号(加入正弦抖动)。

4.2.3 在对应本实践的适合的 SMPTE 标准中,给出可抖动传递的数值。术语应遵照 4.2.2 节的规定。

4.3 固有抖动和输出抖动

固有抖动和输出抖动两个都是在设备输出端进行的抖动测量。它们的差别是对设备输入信号的规范不同。除此之外,对它们的测量是相同的。

固有抖动定义为:当加入无抖动的输入信号时,设备输出端的抖动量。它是设备内产生的抖动量的量度,与任何抖动传递无关。固有抖动适用于大多数串行输出。

输出抖动是箝在系统或网络中的设备输出端的抖动量。它包括固有抖动和在设备输入端抖动的抖动传递。输出抖动是网络规范,而不是设备规范。单个设备应规定固有抖动、抖动传递和输入抖动容限等项目。网络接口规范可以采用输出抖动。

4.3.1 固有和输出抖动要用峰-峰值来规定,并在整个规定的抖动频带上测量。规定了两个测量频带,一个是另一个的子频带(见图5)。

图5 固有和输出抖动测量通带

4.3.2 固有和输出抖动用表3中给出的参数来规定

表3 固有和输出抖动

参数	单位	描述
数据率	比特/秒	串行比特率
f_1	Hz	定时抖动的下边带沿频率
f_3	Hz	校正抖动的下边带沿频率
f_4	Hz	上边带沿频率
A_1	UI	定时抖动
A_2	UI	校正抖动
t_m	s	测量时间
测试信号		用于测量的测试信号
n		串行时钟分频数

4.3.2.1 f_1 到 f_4 形成定时抖动测量通带。覆盖这一通带所容许的最大峰-峰抖动规定为 A_1 。

4.3.2.2 f_3 到 f_4 形成校正抖动测量通带。覆盖这一通带所容许的最大峰-峰抖动规定为 A_2 。

- 4.3.2.3 通带斜率至少应为 20dB/10 倍频。除非另有规定,应有最小的相位响应。阻带抑制至少为 20dB。通带波动应小于+1dB。
- 4.3.2.5 可以规定一个测量时间(t_m)。如果被省略,则测量时间将通过测量系统的特性来确定。
- 4.3.2.6 要规定用于测量的测试信号。对于固有抖动测量,测试源的抖动与固有抖动指标相比应可以忽略。
- 4.3.2.7 应该规定用于时钟提取器中的串行时钟分频器“n”(见附录 1,在时钟提取器和基于时钟提取器的测量方法方面的信息)。串行时钟频率对时钟提取器频率之比为“n”。它对时钟提取器抖动测量方法是有意义的。但对其它测量技术可能不予应用。
- 4.3.3 固有和输出抖动的数值,规定在涉及本实践的适合的 ITU 建议书中。术语应遵照第 4.3.2 节的规范。

附录 1 比特串行数字接口中的抖动测量步骤

1. 范围

本附录 1 描述比特串行数字接口中抖动性能的测量方法。

1.1 引言

抖动是串行数字传送系统性能中最重要的参数之一。它能够在数字数据的传送和恢复中引起差错,并且,如果抖动通过数—模变换处理被传递,它可能会低模拟信号的性能。表征和测量抖动对串行数字系统可靠和可预测的工作非常重要。

2. 参考资料

3. 定义

- 3.1 校正抖动:信号跳变位置相对于从该信号中提取的时钟跳变位置的变化。时钟提取处理的带宽确定了校正抖动的低频限值。

- 3.2 时钟提取器:一种能从串行数据流中提取串行数据时钟,并能输出与时钟有关的触发脉冲的设备。它还可以提供与提取时钟重新定时的串行数字数据。
- 3.3 DSO:数字存储示波器的缩写。
- 3.4 DUT:被测装置的缩写。
- 3.5 误码率测试仪:一种确定串行数字信号误码率量值的设备。两个例子是典型的误码率(BER)测试仪和在 SMPTE RP165 中描述的场速率 CRC(循环冗余校验)法(EDIT 用交互传送法消除差错)。
- 3.6 输入抖动容限:当把这样峰-峰幅度的正弦抖动加到设备的输入端时,会引起规定的差错性能劣化。
- 3.7 固有抖动:在不加输入抖动的情况下,设备输出端的抖动。
- 3.8 抖动:数字信号的跳变对它们的理想位置在时间上的变化。
- 3.9 抖动发生器:这个装置可产生包含幅度和频率可调的正弦抖动的串行数字信号。
- 3.10 抖动接收机:解调和测量串行信号上存在的抖动。它通常提供一个与解调抖动成比例的输出。
- 3.11 抖动传递:由加到输入端的抖动而引起的设备输出端上的抖动。
- 3.12 抖动传递函数:输出抖动与加到输入端抖动之比的频率函数。
- 3.13 输出抖动:籍在系统网络中的设备输出端上的抖动。它包括固有抖动和加在设备输入端上抖动的抖动传递。
- 3.14 相位解调器:一个提供与两个输入信号相位差成比例的信号作为它的输出的设备。
- 3.15 SDI:串行数字接口的缩写,通常归类于建议书 ITU-R BT.656 系统。
- 3.16 定时抖动:变化速率比规定的频率(典型值为 10Hz 或更低)高的信号跳变沿位置的变化。低于这个规定频率的变化称为漂移,漂移不在本实践中论述。
- 3.17 单位间隔(UI):一个时钟循环周期。它对应于串行信号跳变沿之间最小的标称时间。

4. 抖动规范

共讲述四种方法:第一种方法是利用可得到的基准时钟触发示波器;第二种方法是利用具有规定特性的时钟提取器触发示波器;第三种和第四种方法是基于相位解调器的抖动接收机。

4.1 借助于基准信号触发示波器方法进行测量

如果可得到基准信号,就能够进行基本的抖动测量(见图 6)。示波器用基准信号直接触发。这种基准信号也可以是具有高稳定性的串行数字信号,例如,对 270Mb/s ITU-R BT.656 信号来说,它可能是 27MHz 并行时钟、270MHz 串行时钟或 ITU-R BT.656 串行信号。数字数据信号连到示波器适当端接的垂直通道,并进行眼图测量。抖动通常在眼图交叉点测量。

- 测量结果的表示:应该给出测试信号、抖动幅度、示波器的参数(带宽等)和测量时间。
- 背景信息:这种测量方法提供了对 SDI 信号抖动的粗略观测。测量结果取决于基准信号的稳定性(基准信号的抖动决定了测量基数)、示波器和测量时间(例如,当数字存储示波器用于余辉工作方式)等因素。所有这些参数都影响测量结果,并且随条件的变化造成结果的可变性。这种方法不能按照通常在抖动规范中要求的那样进行带宽限制。如果可使用其它抖动测量方法,不推荐这种方法。

图 6 借助于基准信号的示波器抖动测量

4.2 借助于时钟提取器的抖动测量

利用设备提取时钟,然后触发示波器或其它指示装置能够测量信号输出端的抖动(见图 7)。

图 7 利用时钟提取器测量小于 1UI 的抖动

4.2.1 时钟提取器框图

时钟提取器一般包括宽带时钟恢复电路和跟随的从属窄带锁相环

(见图 8)。这个从属锁相环能够设定两个不同的环路带宽,所以可得到两个不同的抖动传递函数(见图 9)。时钟输出 2 用于触发指示装置。时钟提取器应具有如下特性:

- 1) 它要能与信号输出端串连,并对指示设备提供足够大的信号。不能以模糊或改变信号上的抖动的方法而使输出信号特性发生改变。
- 2) 为了测量定时抖动(A_1),时钟提取器的时钟恢复带宽应为 f_1 。在测量校正抖动(A_2)时,时钟提取器的时钟恢复带宽为 f_3 (见图 9)。
- 3) 时钟提取器的抖动传递函数应有 20dB/10 倍频或更大的滚降。并且在没有另外规定时,保持最小的相位响应。通带内波动应小于 +1dB(见图 9)。
- 4) 提取的时钟频率应为串行时钟频率的 n 分频,这里的“ n ”由本建议书正文的第 4.3.2 节规定。
- 5) 时钟提取器可以有一个可选的时钟输出 1,它的时钟恢复带宽大于或等于 f_3 ,最好等于 f_4 。

图 8 时钟提取器框图

4.2.2 指示设备规范

用于观测抖动的指示设备应具有下列特性:

- 1) 指示设备的水平和/或触发带宽应不衰减观测的抖动。触发带宽至少为 f_3 。
- 2) 指示设备不应在零交叉点引起码间干扰。这要求垂直系统的阶跃响应使跳变和稳定时间小于 $1UI$ 。
- 3) 指示设备应能采集足够多的取样值,以确定峰-峰抖动。这需要在知道抖动分布的形状之前一直取样。如果抖动规范包括测量时间,它应该是最短的采集时间。最长的采集时间将取决于设备的取样率和抖动分布的类型。例如,正弦分布和高斯分布相比,一般需要较少的取样就可确定。

注—所需的最小测量时间取决于测量设备采集样值有多快。对于数字存储示波器(DSO),这由采集速率和每次采集的样本数确定。虽然一项与 DSO 规定的取样率有关,但前一项与此无关。具有相

同取样率的 DSO,为建立足够的样值记录进行测量,所花费的时间可能相差很多。

对于给定的示波器,最短的测量时间可以按下述方法确定:首先,用非常长的时间进行示波器采集以确定抖动电平。然后,连续缩短测量时间直到测量结果开始呈现不可接受的差错或变化。这样就确定了示波器的最短测量时间。有经验的用户基于在怎样的取样分布中填充,对最短测量时间值往往会有一个直观地感觉。

4)如果指示设备是一台示波器,则抖动测量通常在眼图交叉点上进行。推荐采用具有无限余辉的数字存储示波器。

图 9 抖动测量带宽和对应的时钟提取器抖动传递函数

4.2.3 定时抖动的测量

时钟提取器设置到带宽 f_1 。时钟输出 2 连到示波器的触发通道。依据被测的抖动幅度,把信号连到示波器的垂直通道。对于小于 1UI 的抖动幅度,使用环通信号(见图 7)抖动幅度大于 1UI 时,可采用下列两种不同的连接方式:

1)(优选方式)如果时钟提取器有时钟输出 1(图 8),将这个信号加到示波器垂直通道(见图 10)。这种连接将确保(被测)抖动频率在 f_1 和 f_c 之间。

在这里 f_c 宽带时钟恢复电路的带宽。

2)如果时钟提取器同时有带宽 f_1 和带宽 f_3 两个输出端,一个输出连到垂直通道,而第二个输出作为触发。这种连接可测量 f_1 和 f_3 之间的抖动。

— 测量结果的表示:应该以文件方式给出:测试信号、示波器类型、测量时间和在眼图交叉点测得的抖动幅度。建议画出屏上眼图。

图 10 使用时钟提取器和示波器测量大于 1UI 的抖动

4.2.4 校正抖动的测量

时钟提取器带宽设置到 f_3 , 时钟输出 2 连到示波器的触发通道。环通信号连到示波器垂直通道(见图 7)。

— 测量结果的表示:应该以文件方式给出:测试信号、示波器类型、测量时间和在眼图交叉点测得的抖动幅度。建议给出眼图的屏上显示。

4.2.5 借助于时钟提取器的相位噪声测量

这一条款描述利用频谱分析仪在提取的时钟上进行相位噪声测量的简单方法。这项技术能够检验时钟信号的边带,它对应于 SDI 信号的抖动频率(见图 11)。

时钟提取器的输出 1 连到频谱分析仪。频谱分析仪切换到相位噪声测量方式,以进行被测时钟相位噪声的检测。

— 测量结果的表示:应该给出:测试信号、时钟提取器 PLL(锁相环)带宽和频谱分析仪的分辨力带宽、跨度并给出频谱图。

图 11 借助于时钟提取器和频谱分析仪的抖动测量

4.3 利用相位解调器的抖动测量

如果相位解调器的边带可外差低至直流,那么就可以很方便地进行抖动的观察和测量。一种流行的方法是由信号恢复两个时钟:一个具有非常宽的时钟恢复带宽而第二个具有窄带带宽,并把它们加到相位解调器(见图 12)。然后输出信号经过可选带通滤波器加到峰值读数电压表。输出还可以加到频谱分析仪以观察抖动频率的成分(见图 13)。抖动接收机一般采用相位解调法。

4.3.1 抖动接收机应该能够测量覆盖抖动测量通带的峰-峰抖动,通带描述在建议书正文的第 4.3.2 节。

4.3.2 抖动频谱能够通过接到相位解调器输出端的频谱分析仪或具有快速付里叶变换(FFT)选件的示波器进行观测(见图 13)。

测量结果的表示:应该此文件方式给出:测试信号、测量时间、被测抖动电平和测量通带,并应对测量设备进行描述。

4.4 采用可得到基准信号的相位解调器测量

如果可得到基准信号,那么就可以利用示于图 14 的装置进行解调的抖动测量。基准和数据信号连到数字相位解调器的两个输入端。解调器的输出可以用几种方法进行处理。输出可以被滤波以确定下边带沿和上边带沿,然后通到示波器以显示抖动结果(应注意:现在示波器的垂直刻度表示抖动幅度)。另一种方法,可以先捕获解调的抖动波形,然后进行数字滤波,以确定上边带沿和下边带沿。最后一种方法是对捕获的波形进行快速付里叶变换(FFT)或连接解调输出到频谱分析仪以获得抖动频谱。

- 测量结果的表示:应该记录:测试信号类型、上边带沿和下边带沿、测量时间及峰-峰抖动幅度。
- 背景信息这种测量方法对抖动解调器中的相位检波器引入的任何与图像有关的抖动都非常敏感。相位检波器的类型应当避免引入图像相关的抖动。这种方法还要求对相位解调器进行校准以使示波器的垂直指示可与抖动幅度相关。这可以通过在基准和数据信号之间提供一个频率偏移来实现并记下相位解调器输出的斜率。最后,这种技术只能分辨比幅度极限 $1UI$ 小,而实际上也小于 $1UI$ 的抖动,因为解调器传递函数的非线性接近它的极限范围。

图 12 抖动接收机框图(时钟提取器高质量 PLL,解调器)

图 13 抖动接收机输出连接

图 14 利用可得到的基准信号的相位解调器测量

5. 抖动容限测量

抖动容限测量需要一台校准的抖动发生器和一个误码率测量设备(见图 15)。

— 步骤

- 1) 按图 15 所示连接设备。把发生器抖动幅度设置到 $0UI_{pp}$ 。检验无差错运行状态。

- 2) 按需要设定发生器抖动频率,并增加抖动幅度,直至达到差错判据,记下抖动幅度和频率。
- 3) 设置足够的频率点数并重复步骤 2),以确定抖动容限曲线。

— 核实抖动容限模板的符合性

- 1) 设置抖动幅度和频率到模板点。检验是否达到差错判据。
- 2) 在频率 f_1 和 f_3 之间选择足够的模板点数,并重复步骤 1)。模板形状已在本建议书正文中描述。

注— 已校准的抖动接收机能够用于确定未校准的抖动发生器的抖动幅度。

图 15 抖动容限测量

6 抖动传递测量

抖动传递测量需要一台已校准的抖动发生器和一台已校准的抖动接收机(见图 16)。一种增强方法需要一台具有外抖动输入的抖动发生器、一台抖动接收机和一台带有跟踪发生器输出的频谱分析仪(见图 17)。

— 基本方法

- 1) 在整个需要的频率范围进行被测装置的抖动容限测量。
- 2) 按图 16 所示连接设备。设定抖动发生器电平,使它在整个感兴趣的频带内都小于已测得的抖动容限。但要使它足够大,以得到更好的测量准确度。
- 3) 记下抖动接收机读数和抖动频率。
- 4) 用抖动接收机读数除以抖动发生器电平,以得到这个频率的抖动增益值。
- 5) 选择足够的频率点数重复步骤 3),以确定抖动传递函数。

注— 如果抖动发生器或抖动接收机频率响应不平坦,可把发生器和接收机直接连到一起,以建立一个偏差表。

— 增强方法:

- 1) 在整个需要的频率范围进行被测装置的抖动容限测量。
- 2) 按图 17 所示连接设备。旁路被测装置,检验抖动接收机的线性和无差错进行状态。
- 3) 设定跟踪发生器输出幅度,使抖动发生器电平在整个需要的频率范围内小于已测得的抖动容限,在频谱分析仪上选择一个适合的分辨力带宽。存储分析仪上的轨迹。
- 4) 接入被测装置。从显示的轨迹减去存储的轨迹。这个差就是被测装置的抖动传递函数。

注——一台网络分析仪能够用来代替频谱分析仪和跟踪发生器的组合。一台矢量网络分析仪能够测量抖动传递函数的相位和幅度。

为了核实抖动传递模板的符合性,用基本方法或增强方法,从 f_1 到 $10(f_c)$,检验抖动传递应小于模板要求。

图 16 抖动传递函数测量(基本方法)

图 17 抖动传递函数测量(增强方法)

附录 2 比特串行数字演播室接口的抖动特性和测量

引言

把数字信号从一个地方传送到另一个地方,需要在发送端把信号变换为模拟物理表述,然后在接收端对这种表述进行译码以提取数据,这是必要的,因为物理表述的任何信号都具有固有的模拟特性。这些特性包括电平、数据间隔的定时、它们之间的转换、所形成的频谱分布和在传输系统中产生的任何信号失真。不管信号调制在射频载波上还是采用适当的编码方式直接以数据传送,这都是真实的状态。

能够改变数字信号的模拟效应是衰减、频谱滚降和异常、过冲、下冲、时间漂移和抖动。前几个都是与频率和幅度有关的影响,而只有抖动是唯一与定时有关的干扰。

1. 范围

本指南研究在直接传送的数据信号中抖动的类型、各种测量方法和它们对系统运行的一些影响。另外还介绍能够使抖动影响极小化或减轻的一些系统设计方法。

2. 抖动定义

在本指南中,将以建议书 ITU-R BT.656 的 270Mbit/s(Mb/s) 串行数字接口(SDI)信号作为例子,但同样的概念适用于串行传输的从 3.1Mbit/s AES-3 音频数据流到 1.5Gbit/s 高清晰度电视型式的 SDI 的所有信号。当覆盖这样大范围的数字信号时,只需改变设备规范和测量的数值。

为了通过单电缆或光纤把数字数据流从一个地方传送到另一个地方,需采用几种自时钟法之一对数据进行编码。这些包括象 NRZ、NRZI、AMI 那样的电路,块编码,相位比特标记,使数据信号带宽和频谱成形以利于时钟提取的其它典型折衷方案,误码检测能力或其它性能特点。对于所有这些设计,重要的是能够从数据流中提取出时钟,使它能够用于数据恢复。

通常采用锁相环电路提取时钟信息。数据流中的跳变位置与来自接收机的本机振荡器(典型的是 RC 或 LC 型压控振荡器)的同步时钟信号瞬时比较。然后向上或向下调整本机时钟频率直到提取的时钟沿与进来的数据沿一致。只要在期望的时间间隔内产生数据跳变,这种处理就很简单,其时间间隔应是串行时钟周期的整数倍。然而,在实际系统中,数据跳变将与它们理想的位置有所偏移。这是相对于高稳定频率锁定时钟的脉动位置变化。这个不希望有的脉动位置变化就是抖动。

抖动定义为数字信号有效瞬间(例如跳变)与它们理想位置在时间上的变化。抖动能够造成恢复的时钟和数据在时间上的瞬间偏差。当这种偏差变得足够大时,数据可能译错(在错误发生时出现)。

抖动以单位时间间隔(UI)为单位测量,它代表一个时钟循环的周期,对 NRZ 或 NRZI 编码数据相应于串行数据跳变间的最小标称时间。这能在图 18 a)中看到,在那里示出了 NRZI 数据信号和相关的时钟标记。图 18b)象在眼图显示上所看到的那样(跳变点的重复显示,一个叠加在另一个上),示出在数据跳变交叉中点上的抖动效应。增加抖动会在时间标度方向上造成眼图闭合并使判定数据间相应状态更加困难,正象信号电压噪声在幅度标度方向上的影响一样。

因此,抖动能够设想为串行数据流的相位变化(或调制)这种相位调制具有的频谱对应于调制的数据时钟带有的频率。因此,可能画出一个抖动的幅度对频率的特性。例如,在图 19 中,6144Hz 处的单尖峰信号表示存在一个速率为 6144Hz 的正弦相位变化(抖动)。尖峰信号的幅度会指示出数据眼图闭合的程度。

3. 抖动分类

绝对抖动是信号上从非常低到非常高频率的所有抖动频率分量的集合。实际上不可能精确地测出绝对抖动,因为很难产生一个绝对基准的数据沿。基于抖动调制的频率含量,对抖动的实际研究分成三个种类。

信号跳变位置非常低的频率变化称为漂移。漂移一般对时钟提取和电解码以精确恢复数字数据流的能力方面没有影响,因为这种低频变化能够被锁相环跟踪(除非漂移使数据率变到基准振荡器控制范围之外)。

图 18 串行数据信号成分和对抖动的关系

- a) 示出单位时间间隔和有效瞬间的 SDI 信号的数据与时钟的关系
- b) 示出有效瞬间抖动的眼图

图 19 抖动频率

然而,漂移可能在后面的后续码流处理中出现。漂移通常定义为频率分量低于一个特殊频率的抖动。在 SDI 应用中,这个指定的切换点是 10Hz。测量漂移和绝对抖动意味着用于识别沿抖动的时钟基准极为稳定,本身没有抖动分量。一般提取时钟的锁相环不适合这种测量。这样准确的基准信号源可能是一台高 Q 值的晶体振荡器。然而,这种类型的信号在 SDI 应用中不通用,这种局限性一般使漂移排除在抖动测量之外。

出现在定义为漂移的最高频率以上的抖动称为定时抖动。相对于环路带宽规定为 f_3 (图 20)的恢复时钟所测得的抖动称为校正抖动。定时抖动和校正抖动之间的差是低频抖动。

图 20 抖动测量范围

定时抖动测量用于提供整个系统正在如何运行的概念。它能够通过把时钟恢复系统环路滤波器带宽设定为 f_1 来测量。这样,结果中将包括环路滤波器截止频率以上到测量的上限频率的所有频率的抖动。这种宽带测量将不明确给出能够引起数据恢复差错的抖动大小。

校正抖动能够提供直接影响接收机正确恢复数据能力的抖动方面的信息。发生这种类型的差错是因为锁相环环路不能跟踪进来信号的定时变化。如果定时误差变得足够大,解码器将“滑动”1 比特,这会在解码的数据中造成一个误码。这要产生一个字的帧差错,直到下一个定时基准信号到来之前,它将不会被校正。

在串行链路中,低频抖动一般不造成问题。大的低频抖动也能够被串行链路容许,因为锁相环能够跟踪这些定时变化并维持正确的数据恢复。然而,我们必须知道,这个抖动的频带,因为它将存在于恢复的并行时钟。如果在并行领域,恢复的时钟被用作基准信号,那么对监视器来说,这个参数就很重要。

低频抖动能够由定时抖动减去校正抖动求得。对大多数类型的抖动,例如,正弦或随机抖动源,这都将给出准确的结果。如果抖动源是

一个复杂的波形,例如方波,这种计算将对频率和工作周期有一定的影响。

在 ANSI/SMPTE 259M — 1993 “电视— 10 比特 4:2:2 分量和 $4f_{sc}$ NTSC 复合数字信号— 串行数字接口” 串行数字视频应用的情况下,对校正抖动测量所规定的滚降频率(f_3)为 1kHz。因为有许多流行的 SDI 接收机已经用于整个工业界,对于所有在用系统必须选择这个值。当选择这一数值时,高到足以排除典型的同步锁相电路(200Hz 或更高)的抖动,低到足以包含所有已发现的流行的接收机集成电路的时钟恢复带宽(10kHz 或更低)的频率。

4. 抖动测量

几种不同的仪器和连接方式能够用于测量各种类型的抖动。越复杂的技术将给出信息越丰富的结果。但简单的方法用于了解复杂系统的抖动类型可能是有意义的。

观察和测量抖动的简单方法是采用一台具有外基准触发的示波器,如图 21 所示。SDI 源和外基准必须锁定到一个共同的时钟,因为任何频率差(它不是抖动)都可能干扰测量。眼图显示的交叉点跨距将揭示出抖动幅度。如果采用高稳定的外基准(例如从带有色同步的全黑场得到的时钟),那么将显示出包括漂移的绝对抖动。

图 21 使用示波器和外基准触发的抖动测量

当没有可使用的外触发基准时,基准时钟必须从数据本身提取。用这种方法可以得到有关抖动特性的较多细节。这能够通过使用时钟提取器做到。时钟提取器是从进来的数据流恢复基准时钟的一种设备。典型的时钟提取器的框图示于图 22。时钟提取器的相位锁定到数据流,以合成基准时钟。这种处理使它具有固有的频率响应。具有 1kHz 固有频率锁相环的时钟提取器将只能测量 1kHz 频率以上的抖动。因为从数据提取的合成基准时钟将在低于 1kHz 速率时跟踪频率的变化。由于这个理由,时钟提取器一般都支持多环滤波器滚降频率。

图 22 时钟提取器框图

一种增强型时钟提取器,也称为抖动接收机,包括三部分并提供三种输出(见图 23)。第一部分有一个无源环通输入(或功率分离器)、均衡器和一个宽带锁相环(PLL)。锁相环的高带宽使低于锁相环滚降频率的抖动通过被提取的输出时钟(输出 1)。由时钟提取器再生的抖动的上限频率(图 20 中的 f_4)被锁相环的环路带宽设定。另外,在时钟输出之前,提供一个可设定分频比的分频器以使跳变沿之间有更多的时间。因为数字分频器将使通过的全部输入时钟抖动作为输出抖动,所以示波器测得的抖动幅度可能大于 1UI。第二部分是增强时钟提取器,它包括一个第二锁相环,这个锁相环是可变带宽的环路滤波器和高质量(高 Q)压控晶体振荡器的组合。第二锁相环的环路带宽的设定就确定了漂移频率的上限(抖动测量的下限— f_1 示于图 20)。另外,环路带宽的设定还规定了定时抖动和校正抖动(图 20 中的 f_3)测量的转换频率。这部分的输出(输出 2)还包括一个分频器,它类似于抖动幅度大于 1UI 的示波器的输出 1 通路。

抖动接收机的第三部分是相位解调器。相位解调器产生一个模拟电压,它代表两个输入信号的相位差。在这种情况下,解调器首先利用两个部分的时钟输出作为输入。解调器输出含有锁相环 2(PLL2)和锁相环 1(PLL1)之间的抖动差,它是频率 f_1 (或 f_3)和 f_4 之间的输入信号抖动。那么,这个解调器输出(输出 3)就能够用于频率成分的研究。例如,这个信号能够送给频谱分析仪、选频电平电压表(实际上是一台可调谐的接收机)或滤波器和电压表的结合,以测量幅频特性。这个组合还特别适合测量设备特殊部分规定频带的峰-峰抖动。

图 23 抖动接收机框图

相位解调器法通常限定带宽到小于时钟频率的十分之一。如果超过这个抖动频率需要研究,那么可能要用其它方法,如上面讨论过的眼图法。这起因于这样的事实—已经知道象时钟频率的 20%那样高的抖动频率(54MHz,在 270Mbit/s 系统并出现 2 倍 10 比特字速率)会破坏后面设备的正常工作。

采用带有频谱分析仪的时钟提取器的组合也能进行非常有用的测量。精确地配置取决于所用频谱分析仪的潜在能力。

如果有一台具有窄带分辨力带宽的高频频谱分析仪,那么恰好时钟提取器的第一部分能够用于带有它的组合中,以显示有关幅度和频率的抖动频谱特性。它示于图 24,在这里频谱分析仪被调谐到时钟频率(在这个例子中为 270MHz),并可看到两个清晰的边带。这两个边带代表单一的调制频率(大约 40kHz),它表示在系统时钟的某个地方加有这个抖动。

如果一台低频频谱分析仪或一台带有内装 FFT(快速付里叶变换)分析仪的示波器,它能够与完整的抖动接收机一起,类似于刚刚描述的那样,给出幅度对频率的显示。如图 25 所示,显示出解调边带的能量。根据所用的设备对于高到大约为时钟频率一半的抖动测量这也是一个很好的方法。这个限值来自所用抖动接收机时钟提取器的锁相环带宽。正象将在下面讨论那样,这可能不够充分。虽然在它的通带内,适于发现特殊的抖动调制频率和它们的幅度。

图 24 采用时钟提取器和频谱分析仪的抖动测量

到目前为止所描述的示波器抖动测量的方法都是适合于低于 1UI 总偏移的抖动。如果用这些方法在示波器上观察大于 1UI 的抖动,结果会是一个完全闭合的眼图,用它不可能确定抖动的大小。当抖动超过 1UI 并使用示波器时,可以设定抖动接收机输出 1 和输出 2 中的分频器的分频比高于 1。这是以所用的分频比降低载波频率和以成比例的数值降低调制频偏的作用。通过适当地选择分频比,结果是载波的相位旋转不超过 360° 而眼图也象在其它情况下的 1UI 一样不再闭合。这种组合示于图 26,在那里输出 2 用于触发宽带示波器,而输出 1 驱动垂直通道。重要的是当进行这些测量时,只要不掩蔽任何有关字抖动的效应,要保持分频比尽可能低,可能比率为 10 或它的约数。

5. 设备规范

现有的测量方法用于表征设备有关抖动性能的特性。它们还用于确定系统运行过程足以引起数据差错或在数模变换期间降低性能所不容许的抖动累积。

图 25 利用抖动接收机的相位解调器输出的抖动测量

图 26 利用示波器和具有输出分频的抖动接收机进行 $<1UI$ 的抖动测量

设备的抖动性能以几种方法表征特性。输入抖动容限是正弦抖动的峰-峰幅度,当把它加到设备的输入端时,会引起规定的差错性能劣化。每种设备的输入抖动容限能够用模板来规定,如图 27 所示。模板规定出设备预期的最小输入抖动容限。对于正常运行的设备,实际测得的输入抖动容限(也示于图 27)将高于模板。

图 27 输入抖动容限模板和顺应的输入抖动容限

抖动传递是由加到设备输入端的抖动而产生的设备输出端的抖动。抖动传递函数是输出抖动对加到输入端抖动之比的频率函数。用模板规定以抖动增益对应于频率的抖动传递函数。它示于图 28,图中给出顺应抖动传递函数,它低于模板规范。模板被规定并从 f_1 (规范的低频界限)到 f_c (抖动传递通带的上边带沿)。

设备输出端的抖动分成两类。固有抖动是设备输入端不加抖动时,设备输出端抖动的大小。它实质上是设备本身产生的抖动。输出抖动是设备连在系统中时,在设备输出端测得的抖动大小。它是设备输入端抖动的抖动传递和设备的固有抖动之和。

6. 系统考虑

抖动通常随着信号通过系统进行累积。无差错运行要求每台设备的输出抖动不超过随后设备的输入抖动容限。抖动规范用于评价级联数字设备的抖动累积。

按抖动累积的模型把抖动分成两类:随机的和系统的。随机抖动定义为与系统中产生的其它抖动不相关的抖动。由限幅电路中的热噪

声产生的边缘抖动就是随机抖动的一个例子。由于它是不相关的,随机抖动按功率相加,幅度以方和根(有效值)增加。系统抖动是与系统的其它抖动完全相关的抖动。由专用数据序列产生的定时变化是系统抖动的一个例子。因为级联相同的再生源,同样的状态发生在每一部分。因为它是相关的,系统抖动以算术式累积。

图 28 抖动传递模板和顺应的抖动传递函数

大部分抖动是随机和系统抖动的组合。然而,通过几个再生源以后,由于算术式累积,系统抖动通常占主导地位。因此,简单的累积模型把所有抖动按系统抖动处理。

按下述方法估算抖动累积:

- 1) 设备输入端的抖动乘以设备的抖动传递函数。
- 2) 这个换算出的抖动加上设备的固有抖动,得到输出抖动。
- 3) 这个输出抖动变为下一级的输入抖动,并重复这个过程。
- 4) 不能有那一点输出抖动超过下一级输入抖动容限。

例如:



$f_1=10\text{Hz}$		$f_1=10\text{Hz}$	$f_1=10\text{Hz}$
$f_3=1\text{kHz}$		$f_3=1\text{kHz}$	$f_2=20\text{kHz}$
$f_4=27\text{MHz}$	$f_1=10\text{Hz}$	$f_4=27\text{MHz}$	$f_3=100\text{MHz}$
$A_1=0.5\text{UI}$	$f_c=1\text{MHz}$	$A_1=0.2\text{UI}$	$f_4=5\text{MHz}$
$A_2=0.1\text{UI}$	$P=0.5\text{dB}$	$A_2=0.15\text{UI}$	$A_1=2.5\text{UI}$
			$A_2=0.5\text{UI}$
单元 A 的输出抖动	单元 B 抖动传递	单元 B 固有抖动	单元 C 抖动容限

步骤 1:单元 A 的输出抖动乘以单元 B 的抖动传递函数

单元 B 的抖动传递函数为 0.5dB 峰值,覆盖 10Hz~1MHz 范围,滚降超过 1MHz。0.5dB 对应于增益 1.06。

$$f_1 \sim f_c(10\text{Hz} \sim 1\text{MHz}): (A_1) [\log^{-1}(P/20)] = (0.5UI)(1.06) = 0.53UI$$

$$f_3 \sim f_c(1\text{kHz} \sim 1\text{MHz}): (A_2) [\log^{-1}(P/20)] = (0.1UI)(1.06) = 0.11UI$$

注意:抖动计算限定到 1MHz(f_c),即使通过的输入抖动(单元 A 的输出抖动)规定到 27MHz(f_4)。这是因为单元 B 的抖动传递函数把输入抖动低通滤波到 1MHz。即使存在再高的频率成分,它们也不能被单元 B 传送,因此不再进入累积计算。

步骤 2:把单元 B 固有抖动加到单元 B 的传递抖动,得到单元 B 的输出抖动

$$f_1(10\text{Hz}) \text{ 以上:输出抖动} = 0.53UI + 0.2UI = 0.73UI$$

$$f_3(1\text{kHz}) \text{ 以上:输出抖动} = 0.11UI + 0.15UI = 0.26UI$$

$$f_c(1\text{MHz}) \text{ 以上:输出抖动} = 0.15UI$$

第三个式子是因为在 $f_c(1\text{MHz})$ 以上,没有抖动传递所造成的。于是,仅输出超过单元 B 固有抖动以上频率的抖动。虽然不知道 0.15UI(的固有抖动)是发生在 1kHz 和 1MHz 之间,还是 1MHz 以上,但常规的方法是在 $f_3 \sim f_4$ 的整个范围都假定有一个恒定大小(的抖动,0.15UI)。

步骤 3:用单元 C 的输入抖动容限与单元 B 的输出抖动进行比较

单元 C 的抖动容限要求超过 $f_3(100\text{kHz})$ 的抖动必须小于 0.5UI,而在 $f_1(10\text{Hz})$ 和 $f_2(20\text{kHz})$ 之间的抖动必须小于 2.5UI。单元 B 在 $f_c(1\text{MHz})$ 以上的输出抖动是 0.15UI,在 $f_3(1\text{kHz})$ 以上(但 $<1\text{MHz}$) 是 0.26UI,在 $f_1(10\text{Hz})$ 以上(但 $<1\text{kHz}$) 是 0.73UI。一个保守但是方便的假定是在 f_1 和 $f_3(10\text{Hz}$ 和 $1\text{kHz})$ 之间出现的(抖动)都认为是 0.73UI。注意,单元 B 的输出抖动小于单元 C 的输入抖动容限(见图 29)。

所以,这个级联设备能够工作。

图 29 单元 B 输出抖动与单元 C 抖动容限的比较

上述的简单方法能够对打算级联的设备进行书面计算。这要求由设备的生产厂得到抖动容限、抖动传递和固有抖动等指标。如果得不到,能够测出这些参数。

当输出抖动超出跟随设备的输入抖动容限,就会引起抖动失效。在系统中,通常的原因是:

- 1) 过大的固有抖动,通常是由不良的设备设计或设备失效引起。
- 2) 在具有高到 f_c 的抖动传递的设备级联后,加一个设备,它的抖动容限中止点 f_3 比频率 f_c 低很多。在低于 f_c 时,抖动将算术式的累积,最后超出了高频抖动容限 A_2 。超过 f_c ,基本上没有抖动累积。
- 3) 抖动传递函数的峰值通常靠近 f_c (见图 30)。具有这种特性的级联设备能够显示出明显的抖动增长。

图 30 示出抖动峰值的抖动传递函数

项目 2) 和项目 3) 是为什么,在抖动传递和抖动容限方面公布的规范是重要的,一个很好的例子。通过适当的设备选取,适宜地安排级联设备或通过具有较低频率 f_3 的抖动容限中止点的设备之前安装一个抖动消除器等方法能够避免项目 2)。通过适当的设备选择(小的抖动峰值),或围绕抖动消除器的设计或通过限定级联的长度等方法能够避免项目 3)。所有这些解决方法都要求知道系统组成部分的抖动传递和容限。

7. 减轻抖动

可能需要在系统中各种各样的点消除抖动。这是因为足够的抖动累积会超出后继设备的输入抖动容限,正如讨论过的那样,或者是为了高质量地变换到模拟形式。在数模(D/A)变换器中,抖动会引起非线性。因此,对高质量的 D/A 变换,如果变换时钟是由信号驱动,那末就要求去掉伴随信号的任何抖动。

抖动消除器是通过把串行数字信号变回并行形式来工作。使它们通过一个“先进先出”(FIFO first-in-first-out)寄存器,然后再用高稳定时钟重新把它们解串行。通常高稳定时钟是以象“带有色同步的全黑场”那样的同步信号为基准。正如图 31 所示,输入到抖动消除器的

结构非常象输入到具有 SDI 输入的任何设备。它后面是具有足够长度的较小的 FIFO(寄存器),以适应由预期累积的最高抖动幅度引起的最长时间变动量。最后高质量的时钟源驱动并串变换器或数模变换器,以提供实际上无抖动的输出。这类设备能够作为经常需要加在系统中以控制抖动累积或保证线性的模拟输出。必须注意:在实际的抖动消除器中,应考虑由它们引起的附加时延并保证时延是可预测的。

图 31 “抖动消除器”框图

文献目录

ANSI S4.40-1992,推荐的数字音频技术的实践——用于两通道线性表示的数字音频数据(AES-3)的串行传送格式。