

RIGOL

应用指南

MSO8000 系列示波器

眼图功能应用指南

文档版本 **1.0**

发布日期 **2020 年 5 月**

RIGOL TECHNOLOGIES INCCO., LTD.

前言

版权

© 2020 普源精电科技股份有限公司

商标信息

RIGOL®是普源精电科技股份有限公司的注册商标。

声明

- 本公司产品受中国及其它国家和地区的专利（包括已取得的和正在申请的专利）保护。
- 本公司保留改变规格及价格的权利。
- 本手册提供的信息取代以往出版的所有资料。
- 本手册提供的信息如有变更，恕不另行通知。
- 对于本手册可能包含的错误，或因手册所提供的信息及演绎的功能，以及因使用本手册而导致的任何偶然或继发的损失，**RIGOL**概不负责。
- 未经**RIGOL**事先书面许可，不得影印、复制或改编本手册的任何部分。

产品认证

RIGOL 认证本产品符合中国国家产品标准和行业产品标准及 ISO9001:2015 标准和 ISO14001:2015 标准，并进一步认证本产品符合其它国际标准组织成员的相关标准。

联系我们

如您在使用此产品或本手册的过程中有任何问题或需求，可与 **RIGOL** 联系：

电子邮箱：service@rigol.com

网址：www.rigol.com

本应用指南

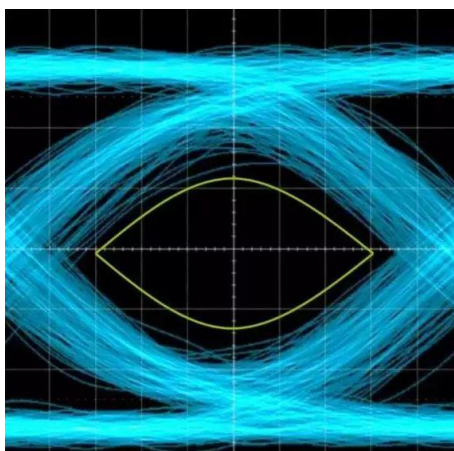
- 简要介绍眼图的概念。
- 阐述了眼图的基本原理和相关概念。
- 提供了眼图的生成方法。
- 详细描述了眼图功能的操作步骤。
- 总结了 **RIGOL** 现有提供眼图的功能的设备型号。

完成全文阅读，大概需要 30 分钟时间。

1. 简介

1.1. 什么是眼图？

眼图 (Eye Diagram) 是用余辉方式累积叠加显示采集到的串行信号的比特位的结果，叠加后的图形形状看起来和眼睛很像，故名眼图。



眼图示意图

1.2. 眼图能用来做什么？

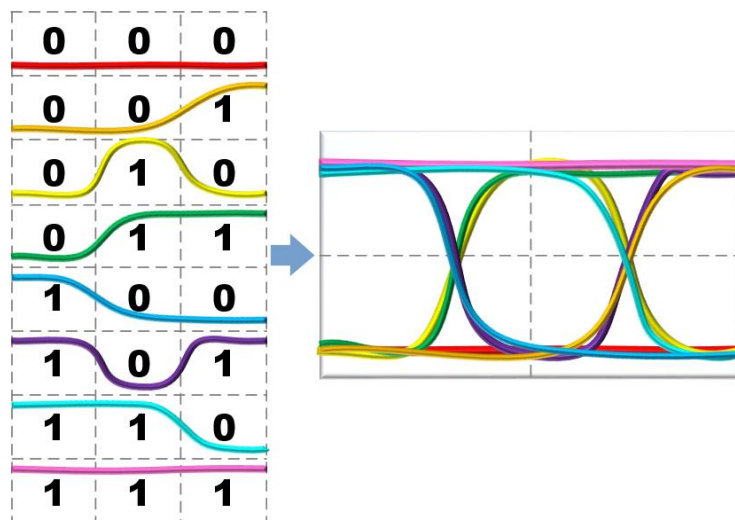
眼图中包含了丰富的信息，通过眼图可以观察码间串扰和噪声的影响，了解数字信号整体的特征，从而评估系统优劣程度。

因此，眼图分析是高速互连系统信号完整性分析的核心。工程师经常根据眼图对接收滤波器的特性加以调整，以减小码间串扰，改善系统的传输性能。

2. 原理描述

2.1. 眼图的形成

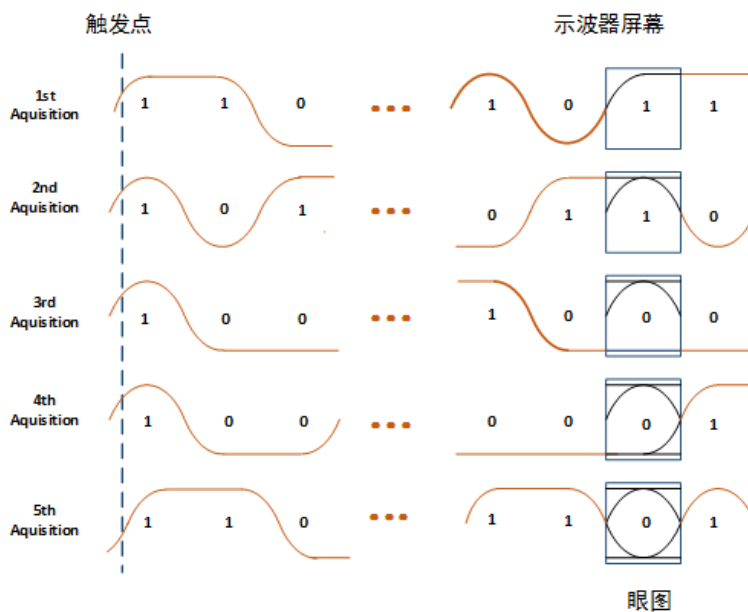
对于数字信号，其高电平与低电平的变化可以有多种序列组合。以 3 个 bit 为例，有 000~111 共 8 种组合。在时域上将足够多的上述序列按某一个基准点对齐，然后将其波形叠加起来，就形成了眼图。



眼图形成示意图

2.1.1. 传统眼图生成方法

传统眼图生成方法原理简单，很适合理解眼图生成机制。其示意图如下



传统眼图生成示意

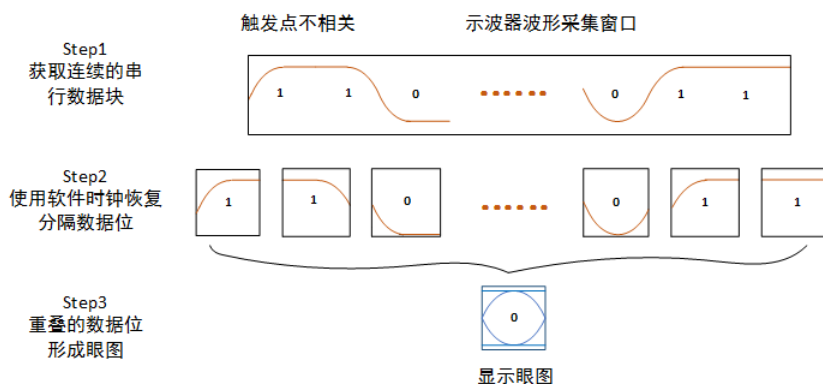
传统的眼图生成方法简单描述就是“每次触发叠加一个 UI”。方法简单，但效果并不理想。

由于屏幕上的每个 UI 信号波形通过触发点对齐，眼图通过对信号多次触发采集后叠加生成。这样会导致仪器触发电路的抖动成分将被引入到眼图测量中。导致了测量不精确。

2.1.2. 新的眼图生成方法

新的眼图方法描述为“同步切割+叠加显示”。

示波器首先捕获一组连续比特位的信号，然后用软件 PLL 方法恢复出时钟，最后利用恢复出的时钟和捕获到的信号按比特位切割，切割一次，叠加一次，最终将捕获到的一组数据的每个比特位都叠加到了眼图上。其示意图如下：



现代眼图生成示意

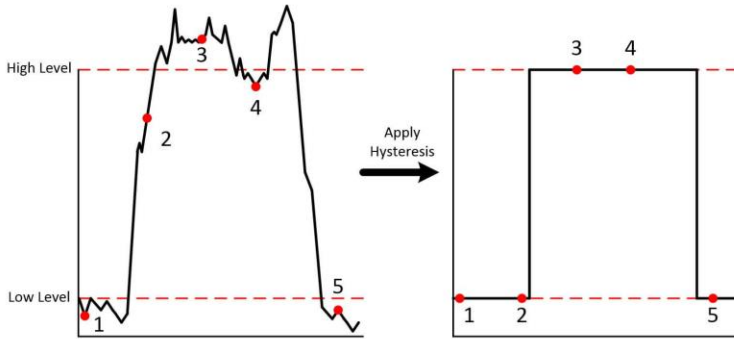
新的眼图生成方法解决了触发动抖问题，处理 UI 多，因此速度也快。

2.1.2.1. 数据边沿的提取

数据边沿的提取获取捕获数据的最大值为 Max，最小值为 Min，设置 $\text{Threshold} = 0.5 * (\text{Max} + \text{Min})$ ，当采样点电压值穿过 Threshold 时，记录下时间为 $\text{Edgetime_initial}[i]$ ，这将是后面进行理想时钟恢复的依据。

在进行数据边沿的提取时，需要注意的是，由于采样率有限当码元速率较高时，单个码元对应的采样点个数较少会使得求出的 Edgetime_initial 值误差较大，这时候就需要在 Threshold 附近进行插值。

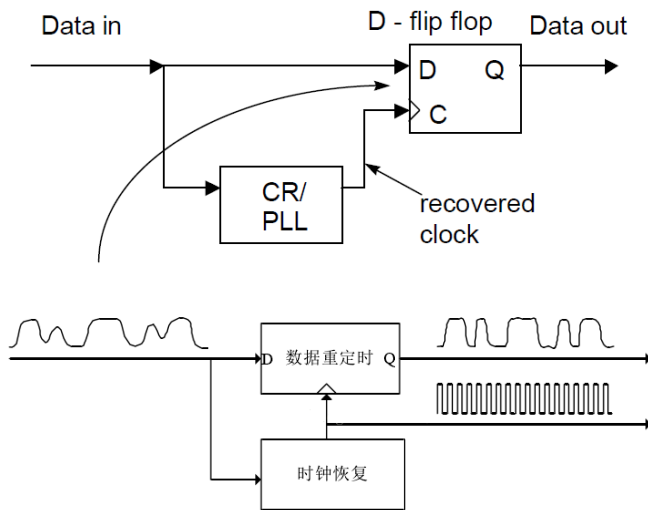
数据边沿的提取与边沿触发的原理较为相似，对于 Threshold 附近噪声干扰的处理方法可以参照触发的实现方式。触发粘滞比较处理如下图所示，将比较器输出高低电平比较信号，经过运算处理为 1 个比较信号。粘滞比较器的总的规则是信号大于高电平比较为高，小于低电平比较为低，否则保持不变。



迟滞比较示意图

2.1.2.2. 时钟恢复

时钟恢复是眼图抖动生成的关键。下图为一个简单的时钟数据恢复 CDR (Clock Data Recovery) 电路示意图。时钟数据恢复电路主要完成两个工作，一个是时钟恢复，一个是数据重定时，也就是数据恢复。



CDR 示意图

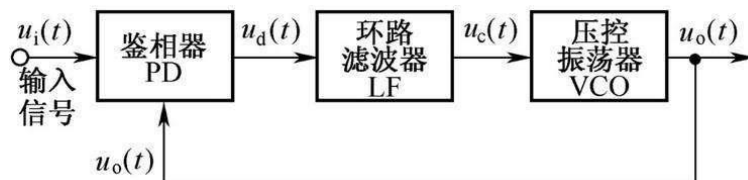
现在的宽带示波器一般提供如下几种时钟恢复方式：锁相环 PLL（包括主要是 Golden PLL），常数时钟恢复和外部时钟恢复。

- 黄金锁相环 (Golden PLL)

PLL 时钟恢复模块主要分为依靠硬件 PLL 来实现的硬件时钟恢复与利用软件 PLL 来实现的软件时钟恢复。

软件 PLL 也称为黄金锁相环，用来调节恢复时钟的频率并补偿由于工艺或温度的变化而导致的频率变化。黄金锁相环一般支持一级或二级 PLL，参数可以随意设置。

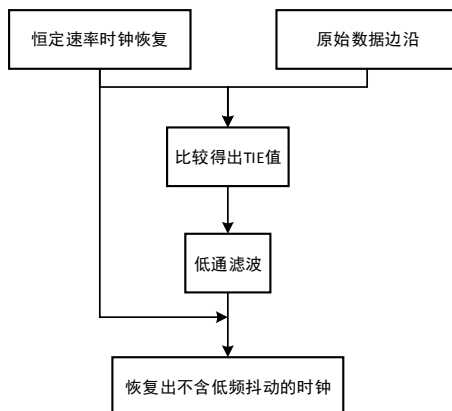
无论是硬件 PLL 还是软件 PLL，其结果和功能是类似的。包括鉴相器 (phase detector)、环路滤波器 (loop filter)、压控振荡器 (voltage controlled oscillator，简称 VCO) 三个基本部分组成，其基本的原理框图如下所示：



PLL 框图

● 常数时钟恢复方式

常数时钟恢复方法是通过：预置的码元速率结合数据边沿，运用最小二乘法进行拟合。通常会引入低频抖动，因此在常数速率时钟恢复的后面，在进行抖动的分解与分析之前，加入了一个滤波器。将常数速率时钟与原始数据边沿比较得出的 TIE 值，对 TIE 值进行低通滤波以消除低频抖动。再将经过低通滤波的 TIE 值加回到常数速率时钟当中，就能够恢复出不含低频抖动的时钟。



常数时钟恢复流程

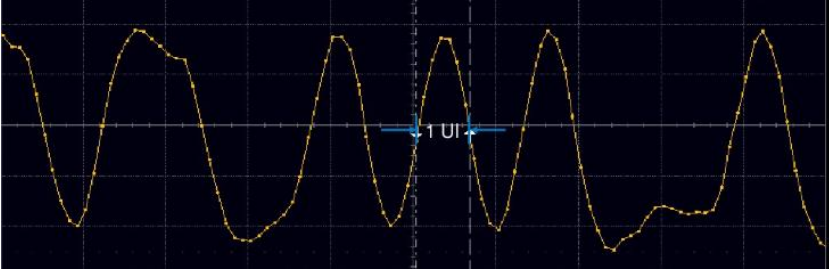
● 外时钟恢复方式。

外时钟恢复很简单，直接用外部的同步时钟来恢复数据。适合于源同步信号的测试（如 HDMI）。

2.2. 眼图相关概念

2.2.1. 单位时间间隔

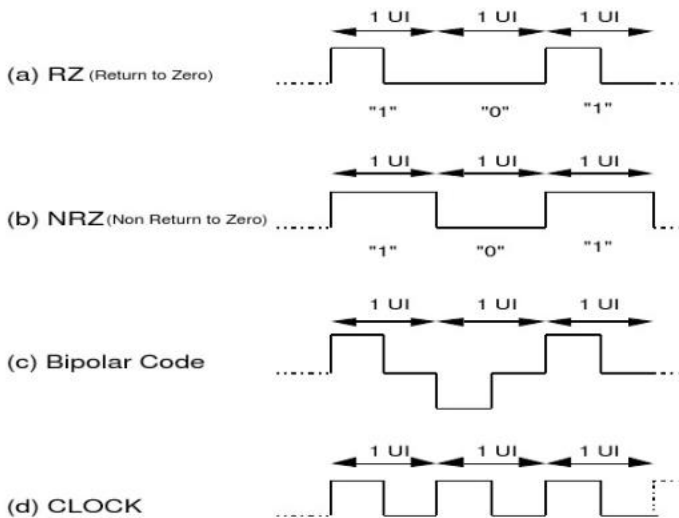
1 个单位时间间隔 UI (Unit Interval)，为 1bit 数据的周期（或称为码率）。



UI 定义示意图

2.2.2. 码型

眼图分析中，常用到“时钟恢复”，而要从数据中恢复出时钟信号，则对数据的码型和排列有一定的要求。常见码型有归零码，非归零码（NRZ）和双极性码几种。本文将非归零码（NRZ）数据进行眼图相关原理介绍。



码型图

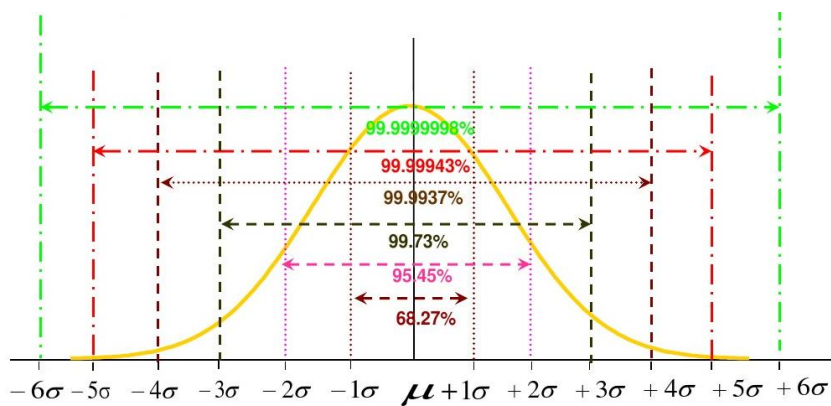
2.2.3. 概率密度函数

概率密度函数 PDF (Probability Density Function) 如下图，工程上用直方图统计。标准差也被称为标准偏差，是数据偏离均值的平方和平均后的方根，用 σ (Sigma) 表示，

μ 为 X 序列的均值。公式如下：

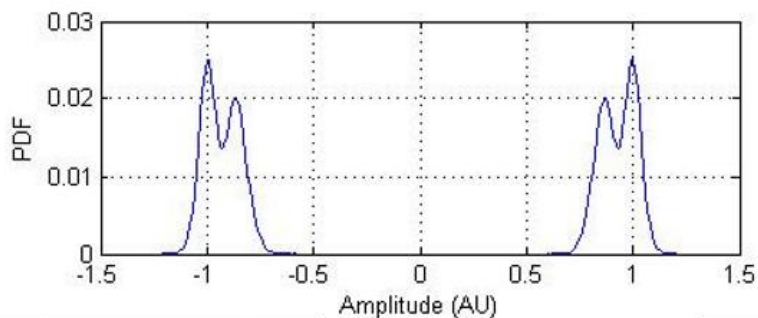
$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}$$

下图为正态分布的均值 μ 和标准差 σ 的关系； 3σ 包含了至少 99% 的概率信息。



正态分布概率图

本文眼图参数获取时，均会使用均值 μ 和标准差 σ 作为测量参考。例如，在眼图的眼幅度测量中，对应的 PDF 如下所示：

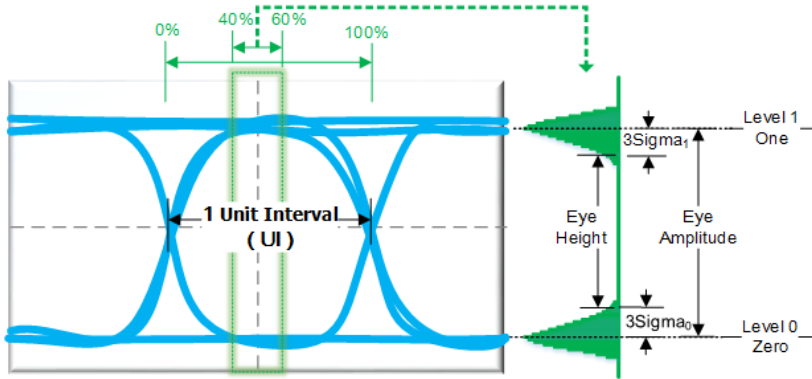


概率密度函数 PDF 图例

2.3. 眼图的关键参数

2.3.1. 眼幅度和眼高度

如下图所示，在 NRZ 编码中，只有 Level1/ Level0 (“1” 和 “0”) 两个电平。Level1 和 Level0 称为眼图电平。



眼图-垂直统计图

在眼图中 1 个 UI 的中间 20% 的区域，测量垂直方向的概率密度函数 (PDF)，即垂直轴上直方图概率最高的位置，对应得到 Level 值。

- 眼幅度 (Eye Amplitude)

$$\text{Eye Amplitude} = \text{Level1} - \text{Level0}$$

- 眼高度 (Eye Height)

利用 3Sigma (3σ) 的位置确定眼高度 (Eye Height)，公式如下：

$$\text{Eye Height} = (\text{Level1} - 3\sigma_1) - (\text{Level0} + 3\sigma_0)$$

2.3.2. 品质因子和误码率

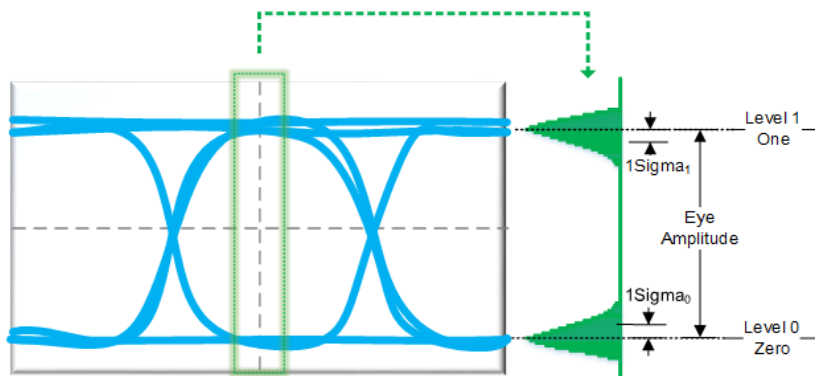
- 品质因子(Quality Factor)

品质因子又称为 Q 因子(Quality Factor)是用于测量眼图信噪比的参数。Q 因子是在最佳判决门限下信号功率和噪声功率的比值，计算公式如下：

$$\text{Quality Factor} = (\text{Level1} - \text{Level0}) / (1\text{Sigma1} + 1\text{Sigma0})$$

简写为

$$Q = \frac{L_1 - L_0}{\sigma_1 + \sigma_0}$$



眼图-品质因子统计图

Q 因子可以综合反映眼图的质量，Q 因子越高，眼图的质量就越好，信噪比就越高。

- 误码率 BER (Bit Error Ratio)

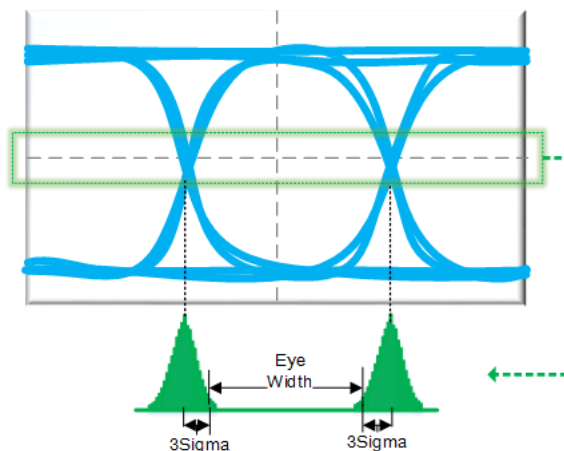
眼图信噪比 SNR (Signal-to-Noise Ratio) 为 $\text{Eye SNR} = 20\text{Log}(Q)$ ，单位是分贝。

误码率可以利用品质因子通过高斯误差函数(erf/erfc)计算得到，计算公式如下：

$$BER = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}Q} \exp\left(-\frac{Q^2}{2}\right)$$

2.3.3. 眼宽度

眼宽度 (Eye Width) 是水平两个眼交叉点 (Crossing Point) 之间的水平距离，单位为秒。如下图所示：



眼图-眼宽统计图

眼宽反映信号的总抖动，当总抖动大时，眼宽就小，甚至看不出眼睛的形状。

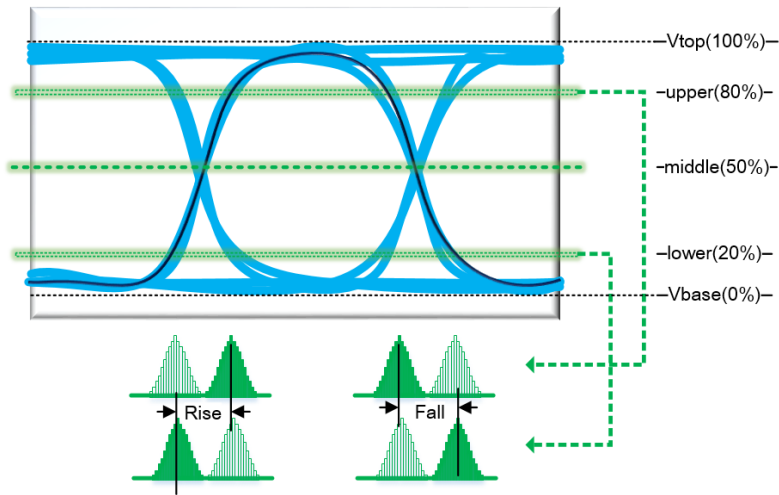
2.3.4. 眼图上升时间和下降时间

- 眼图上升时间（Eye Rise Time）

对眼图垂直方向进行直方图统计，找到顶值（Vtop）和底值（Vbase），由 Vtop 和 Vbase 确认眼图上升时间的阈值 lower 和 upper（通常为 20%-80%或 10%-90%之间）。再根据阈值，测量直方图得到上升沿（从低到高）的平均水平距离（单位秒）。

- 眼图下降时间（Eye Fall Time）

与上升时间类似，从高到低的平均水平距离，见下图中的 Fall 部分。



眼图-跳变沿统计图

- 眼图占空比（Eye Duty Cycle）

通过计算上升时间和下降时间最终可以计算得到眼图的占空比和抖动分量中的占空比失真(Duty Cycle Distortion)。

根据 Middle 阈值（50%）统计直方图，得到时间用于计算占空比时间：

$$DCD\ time = t_{rise_middle} - t_{fall_middle}$$

进一步得到眼图占空比数据：

$$DCD\ percent = \frac{(t_{rise_middle} - t_{fall_middle})}{bit\ period} \times 100\%$$

2.3.5. 眼图交叉幅度和眼图交叉比

- 眼图交叉幅度(Eye Crossing Amplitude)

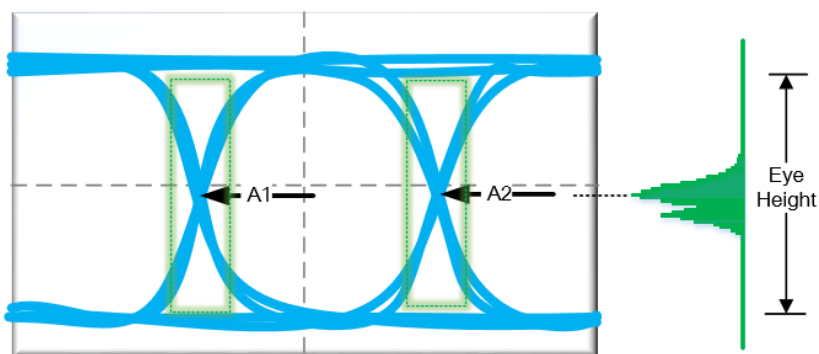
按照 UI 的边界位置为参考, 统计眼高度范围内概率分布, 可以得到眼交叉点(Crossing points)的位置, 眼交叉点对应的幅度平均值就对应眼图交叉幅度。

- 眼图交叉比(Eye Amplitude)

眼图交叉比是眼交叉幅度与眼幅度的比例关系。公式如下:

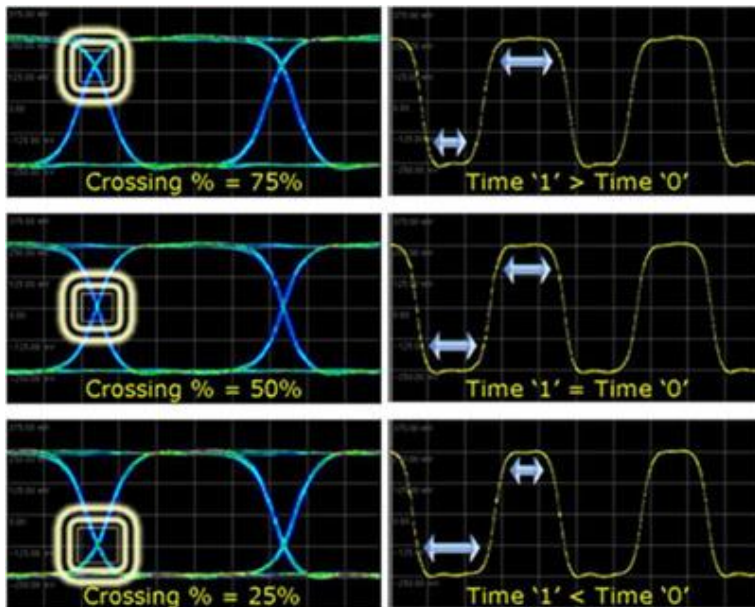
$$\text{Eye Crossing Percentage} = \frac{\text{Eye Crossing Amplitude} - \text{Level0}}{\text{Level1} - \text{Level0}} \times 100\%$$

如下图所示:



眼图-交叉点统计图

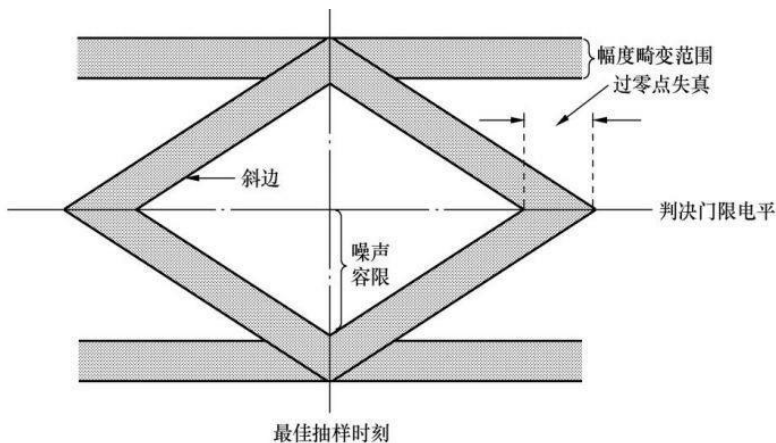
不同交叉比例关系可传递不同信号位准。一般标准的信号其交叉比为 50%，即表示信号“1”及“0”各占一半的位。下面的眼交叉比关系反映“1”与“0”占空比的关系。



交叉比与占空比关系图

2.3.6. 眼图与系统性能

当接收信号同时受到码间串扰和噪声的影响时，系统性能的定量分析较为困难，一般可以利用示波器，通过观察接收信号的“眼图”对系统性能进行定性的、可视的估计。如下图所示，通过眼图我们可以观察到符号间干扰和噪声的影响。



眼图与系统性能图

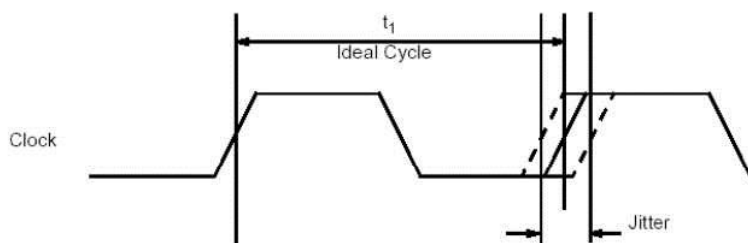
- 最佳抽样时刻应选在眼睛张开最大的时刻，眼睛张开越大表示码间串扰越小。
- 眼图斜边越陡，系统对定时误差越灵敏。

- 在抽样时刻上、下两阴影区离门限最近的线到门限的距离为噪声容限，如果噪声瞬时值超过噪声容限就有可能发生错误判决。
- 对于利用信号过零点取平均来得到定时信息的接受系统，眼图倾斜分支与横轴相交的区域的大小表示零点位置的变动范围，这个变动范围的大小对提取定时信息有重要影响。

2.4. 抖动

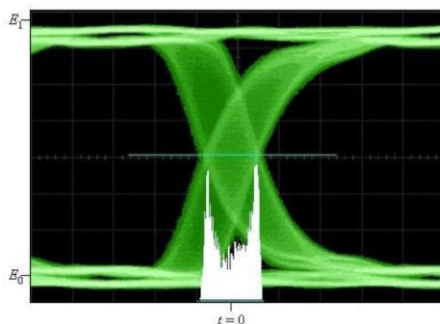
2.4.1. 抖动的概念

抖动（Jitter）是指：数字信号在短期内重要的瞬时变化相对于理想位置发生的偏移，示意图如下：



抖动示意图

抖动在眼图中的现象如下：



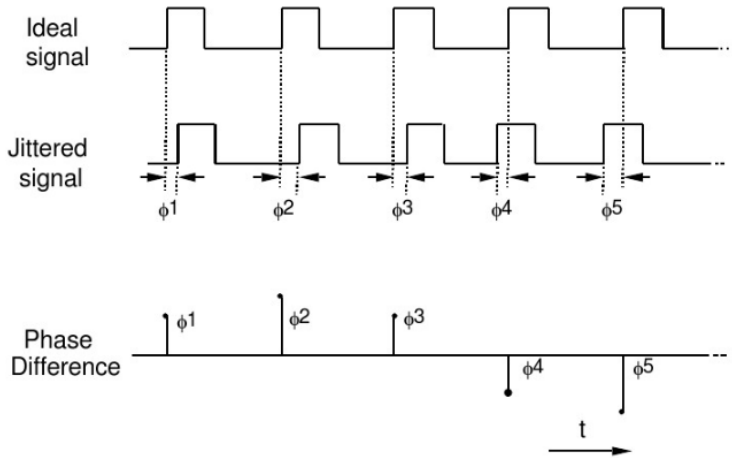
眼图-抖动示意图

2.4.2. 抖动分析

眼图分析偏直观和感性认识，而抖动分析可以将系统性能做进一步的分析和测量，以提升高速电路的时序冗余度。常用波形直方图统计、时间间隔误差（TIE）直方图、TIE 趋势图和抖动频谱图等方法进行抖动分析。

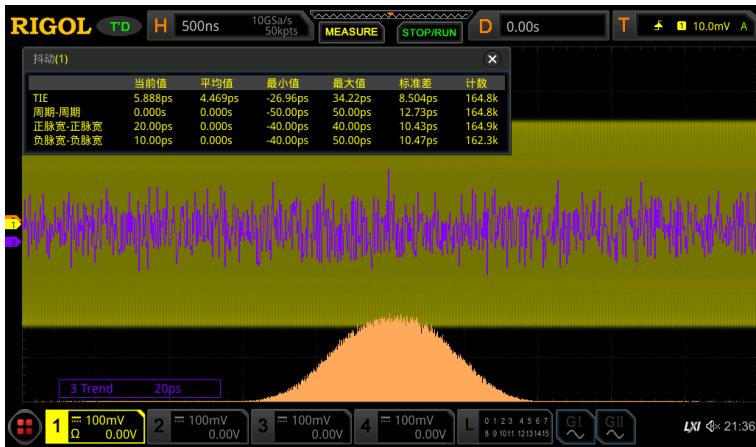
2.4.2.1. 时间间隔误差分析方法

时间间隔误差 TIE (Time Interval Error)，表示时钟的每个有效沿相对于理想位置的变化。TIE 示意图如下所示：



抖动 TIE 示意图

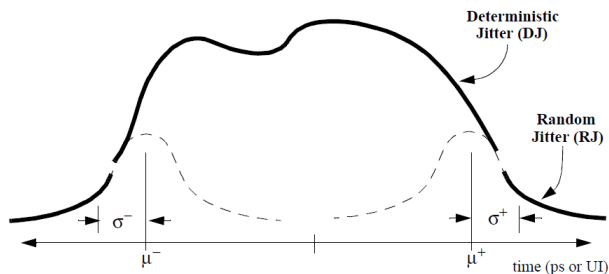
以时间为横坐标，TIE [i]值为纵坐标可以得到 TIE trend（趋势图）的时域波形，如下图中的紫色曲线。统计 TIE 这个数组中所有值得分布情况可以 TIE 的直方图，如下图中橙色直方图，横坐标为 TIE 值的范围，纵坐标为不同 TIE 值对应的统计点个数。



TIE 跟踪和柱状图

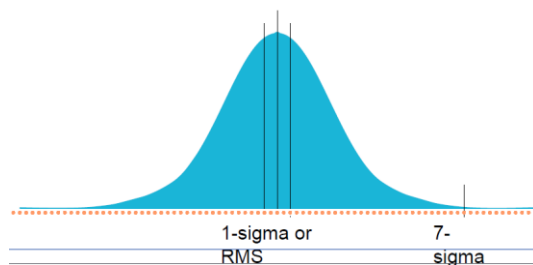
2.4.2.2. 抖动分类

通过 TIE 直方图分析可知，抖动主要分为确定性抖动 Dj (Deterministic Jitter)和随机抖动 Rj (Random Jitter)。



抖动分解示意图

- 随机抖动 Rj (Random Jitter)符合高斯型分布，源可能是热噪声、散粒噪声、随机噪声，非平稳干扰。示意图如下：



抖动-随机抖动典型 PDF

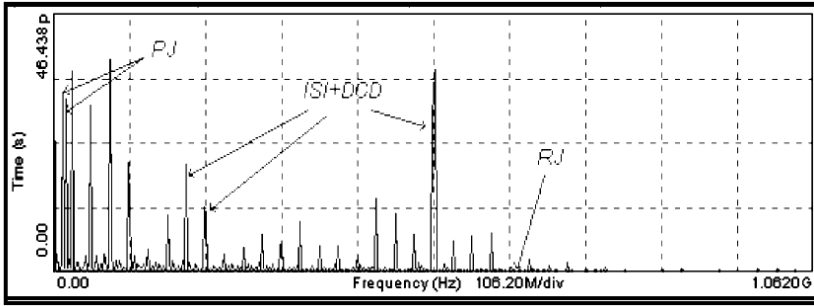
- 确定性抖动 Dj (Deterministic Jitter)是非高斯分布并且有界，确定性抖动的 PDF 函数呈现离散分布。可能是带宽限制、反射、串扰、EMI、地面反弹、周期调制产生。示意图如下



抖动-确定性抖动典型 PDF

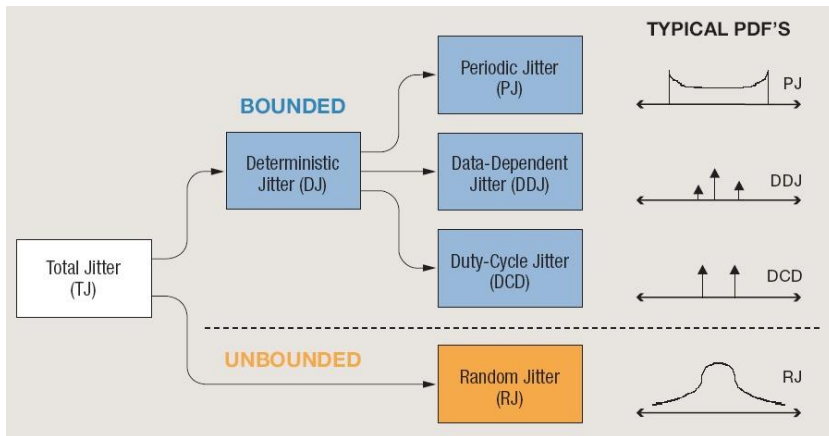
2.4.2.3. 确定性抖动分解

测量 TIE trend 频谱将 TIE 波形进行 FFT（快速傅立叶变换），可以将确定性抖动做进一步分解。



TIE 的频谱分析

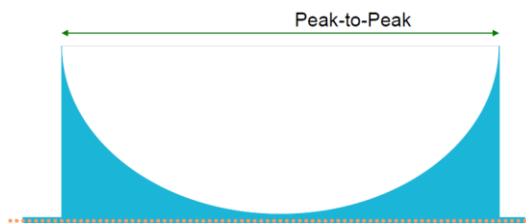
抖动各分量的分解和含义如下：



抖动分解图

- 确定性抖动中的周期性抖动 Periodic Jitter (Dj.Pj)

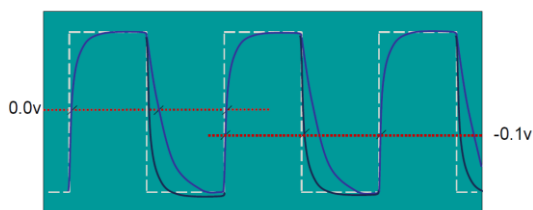
Dj.Pj 的 TIE 随时间的变化是重复的、周期性的，例如测量周期性波形，系统时钟（抖动频率在 MHz 量级）或开关电源（抖动频率在 KHz 量级）



抖动-周期性抖动典型 PDF

- 确定性抖动中的占空比失真抖动 Duty Cycle Distortion (Dj.DCD)

Dj.DCD 反映了上升时间和下降时间不对称或者测试时参考电平选择不当。眼图中的眼交叉比和占空比类似。



抖动-占空比失真示意图

- 确定性抖动中的码间干扰抖动 Inter-Symbol Interference (ISI)

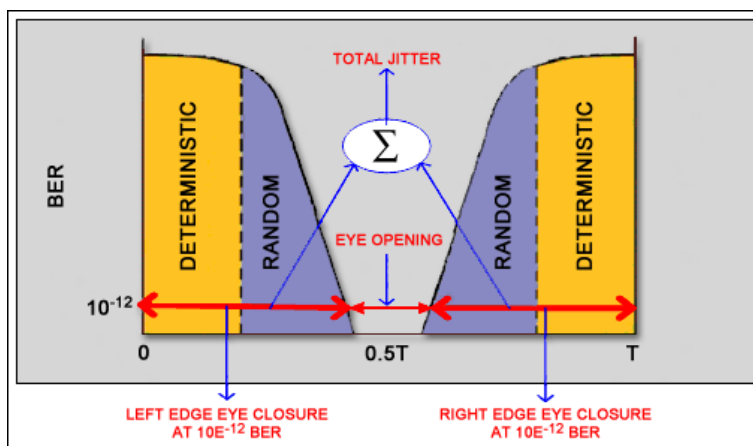
码间干扰又称为数据相关抖动(DDJ)或码型相关性抖动(PDJ)。由于传输链路的效应、反射等造成。

由于阻抗不匹配导致信号发射。被发射的信号叠加在原信号上导致信号幅度增加而最终使转换电平所耗费的时间更多。所以连续不变码会到达更高的电平，在跳变时需要更多的时间才能到达门限电平，导致信号抖动。因为这个抖动的幅度与码型相关，所以又称码型相关抖动。

2.4.2.4. 浴盆曲线分析

浴盆曲线表示眼图开度与误码率 BER 的关系。在许多串行通信标准中，工作在最大误码率 (BER) 10^{-12} 已经成为一个实际要求。

如下图所示，浴盆曲线的 Y 轴是误码率，X 轴是采样时刻，范围是一个码元周期(1UI)。浴盆曲线的纵坐标是一个对数坐标，表示了采样时刻和误码率之间的关系。



浴盆曲线示意图

确定性抖动形成浴盆曲线近似平坦的水平部分(金色区域),而斜坡部分(蓝色区域)由随机抖动 Random Jitter 形成。

如上图所示,当采样时刻位于跳变沿或其附近时,BER 是 0.5。随着采样时刻不断向中间移动,误码率逐渐降低,正如我们所知道的那样,单位间隔的中间通常是最佳的采样时刻。浴盆曲线显示出在感兴趣的误码率水平下的传输误差范围。浴盆曲线的两条线余 TIE 直方图的尾部高斯函数直接相关的。总体抖动计算公式如下:

$$TJ = UI \times [1 - \text{jitter eye opening}]$$

浴盆曲线建立了误码率与抖动之间的联系,但是需要注意的是,浴盆曲线不是为了测算误码率,而是测试不同误码率情况下的总体抖动。从形成上来说,将一个总体抖动直方图从中间进行切分,右半边搬到左边,左半边搬到右边就可以得到我们想要的浴盆曲线。

3. 眼图操作步骤


下面以 RIGOL MSO8000 系列数字示波器为例,介绍一下眼图功能的使用方法。



测试环境图

3.1. 实时眼图分析

3.1.1. 启动眼图分析功能

您可以使用触摸屏功能,点击屏幕左下角的功能导航图标 ,打开功能导航,然后点击“眼图”图标,屏幕右侧会弹出“眼图”设置菜单。

在“眼图”设置菜单中,连续按 **眼图使能** 键,可打开或关闭眼图分析功能。

3.1.2. 选择眼图信源

按 **信源** 键，可选择模拟通道 CH1-CH4 可以作为眼图信源。

3.1.3. 阈值设置

按 **阈值设置** 键，设置高、中、低阈值。

3.1.4. 设置时钟恢复

时钟恢复可提供用于同实际信号边沿进行比较的理想时钟。在“眼图”设置菜单中，按 **时钟恢复** 键，进入“时钟恢复”菜单。本示波器支持的时钟恢复方法多样，包括常数时钟、锁相环恢复和外部时钟。

设置常数时钟恢复方法

按 **时钟恢复方法** 键，选择“常数时钟”。

按 **速率方式** 键，设置速率方式，常数钟的速率方式包括手动、半自动和自动。

- 手动：根据手动输入的数据速率来恢复时钟。
- 半自动：根据手动预设的数据速率和信号边沿来恢复时钟。
- 自动：根据信号最小脉宽来恢复时钟。

按 **数据速率** 键，通过弹出的数字键盘对数据速率进行设置。

设置锁相环恢复方法

按 **时钟恢复方法** 键，选择“锁相环恢复”再按下该旋钮选中。

按 **数据速率** 键，通过弹出的数字键盘对数据速率进行设置。

按 **锁相环阶数** 键，选择 PLL 阶数，MSO8000 支持一阶锁相环和二阶锁相环。

按 **环路带宽** 键，通过弹出的数字键盘对带宽进行设置。

按 **阻抗因子** 键进行设置，当锁相环为二阶时，还需设置阻抗因子，此参数是传输函数的阻尼系数。典型的阻抗因子为 1.0 和 0.707，前者表示临界阻抗值，后者为最佳阻抗值。

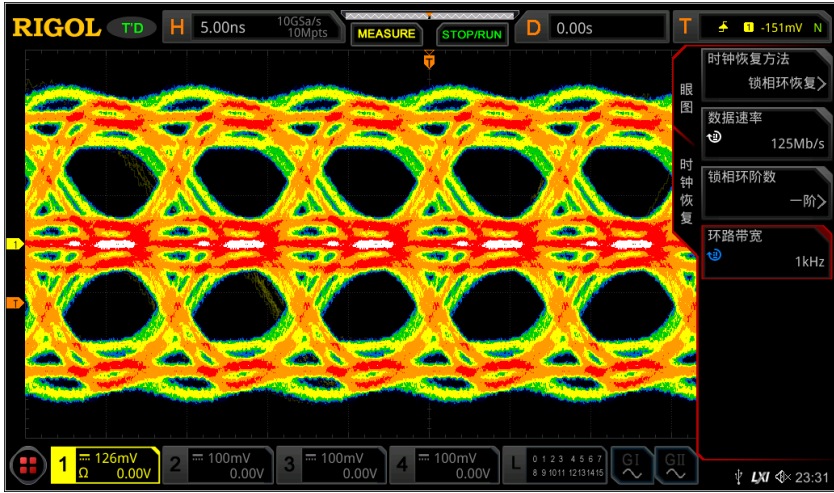
设置外部时钟恢复方法

按 **时钟恢复方法** 键，选择“外部时钟”再按下该旋钮选中。

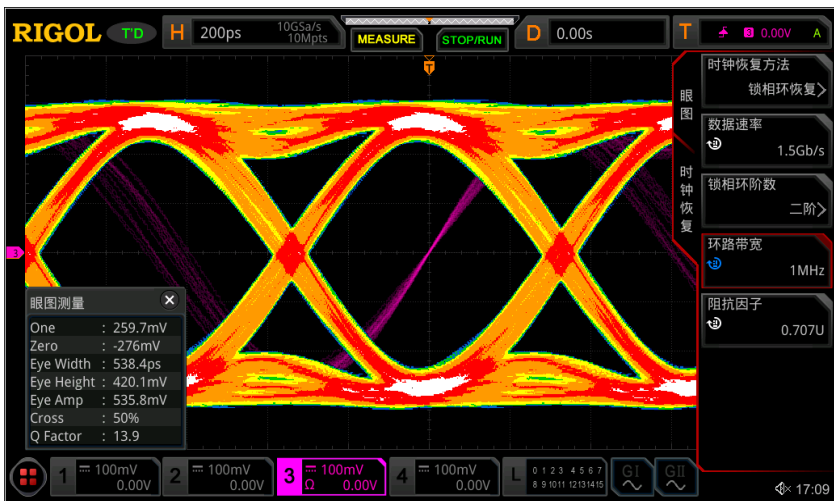
按 **信源** 键，选择所需的信源，模拟通道 CH1-CH4 均可以作为外部时钟的信源。

3.1.5. 查看眼图测量结果

在“眼图”设置菜单中，按 **测量结果** 键，在弹出的“眼图测量”窗口中查看眼图测量结果，如下图所示：



眼图测量结果（一阶锁相环）



眼图测量结果（二阶锁相环）


眼图测量参数的含义如下表：

参数	含义	参数	含义
One	“1”电平	Eye Amp	眼幅度
Zero	“0”电平	Cross	眼交叉比
Eye Width	眼宽	Q Factor	Q 因子
Eye Height	眼高		

3.2. 抖动分析

抖动分析功能主要应用于高速串行信号的完整性分析，分析测量方差随时间的变化情况。

3.2.1. 启动抖动分析功能

使用触摸屏功能，点击屏幕左下角的功能导航图标 ，打开功能导航，然后点击“抖动”图标，屏幕右侧弹出“抖动”设置菜单。

在“抖动”设置菜单中，连续按 **抖动使能** 键，可打开或关闭抖动分析功能。

当打开抖动分析功能并且打开抖动趋势图时，默认打开 **Math3** 的趋势运算功能，并且在屏幕显示趋势图。

3.2.2. 选择抖动信源/阈值设置/设置时钟恢复

设置方法请参考“实时眼图分析”一节相关内容。

注意：仅当测量项为 TIE 时，需设置时钟恢复；选择其他测量项不需要配置此项。

3.2.3. 设置抖动测量

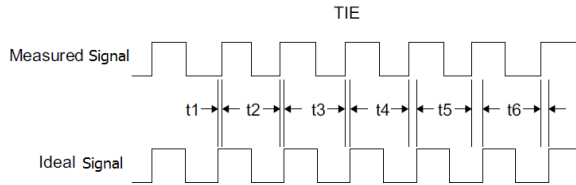
按 **抖动测量** 键，进入“抖动测量”菜单，用户可设置抖动测量项和抖动测量结果的图形显示方式。

设置抖动测量项

按 **测量项** 键进行选择，MSO8000 支持的抖动测量项包括 TIE、周期-周期、正脉宽-正脉宽和负脉宽-负脉宽。

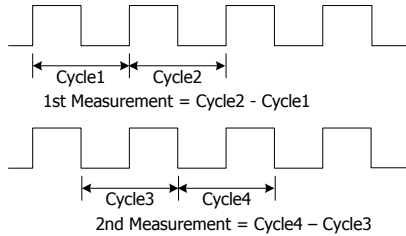
➤ TIE

将某个被测信号中的边沿与由时钟恢复功能确定的理想信号中的边沿进行比较，然后按照理想数据速率测量所有的信号间隔，并计算错误统计值。



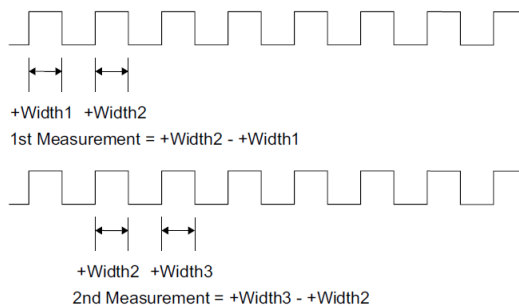
➤ 周期-周期

对第一个周期进行测量，然后再从第二个周期中减去第一个周期。依此类推进行测量。



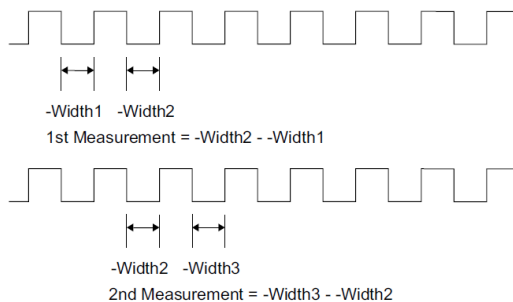
➤ 正脉宽-正脉宽

从第二个周期的正脉冲宽度中减去第一个周期的正脉冲宽度，作为第一个测量结果。然后，从第三个周期的正脉冲宽度中减去第二个周期的正脉冲宽度，作为第二个测量结果。依此类推，直到波形中所有的周期都测量完为止。



➤ 负脉宽-负脉宽

从第二个周期的负脉冲宽度中减去第一个周期的负脉冲宽度，作为第一个测量结果。然后，从第三个周期的负脉冲宽度中减去第二个周期的负脉冲宽度，作为第二个测量结果。依此类推，直到波形中所有的周期都测量完为止。



抖动边沿

测量项为 TIE 或周期-周期时，需设置测量信号的边沿，包括上升沿、下降沿或任意沿。按 **边沿** 键进行选择。

抖动趋势图

趋势图可以显示抖动测量结果的趋势，将同一帧波形下测得的多个数据绘制成曲线，方便用户查看影响抖动的原因。

连续按 **趋势图** 键，可打开或关闭趋势图显示。

注意：设置时钟恢复方法为“锁相环恢复”时，锁相环系统需要一定的锁定时间才能稳定到期望的理想时钟频率。在锁定时间内，基于理想恢复时钟的 TIE 抖动测量结果是不正确的，数据处理时会将这部分数据丢掉。因此，在基于锁相环恢复的 TIE 抖动趋势图中，屏幕左侧会有部分趋势图形的缺失。当趋势图下方提示“Invalid settings”，请改变环路带宽或水平时基等设置，进行有效测量。

抖动直方图

直方图可以显示抖动测量结果的分布。高斯分布表示随机抖动，非高斯分布表示确定性抖动。连续按 **直方图** 键，可打开或关闭直方图显示。

注意：选择相应的测量项并打开直方图显示后，选择的测量项同步显示在直方图设置菜单的 **测量项** 菜单中，并且联动打开直方图设置菜单中的抖动分析功能，直方图类型切换为抖动测量直方图。此时，在屏幕底部条形直方图以列的形式显示抖动测量结果统计次数及分布。

3.2.4. 打开或关闭抖动测量结果

在“抖动”设置菜单中，连续按 **测量结果** 键，可打开或关闭抖动测量结果。当打开抖动测量结果后，屏幕会显示抖动测量数据结果，如下图所示。

	当前值	平均值	最小值	最大值	标准差	计数
TIE	872.1ps	324.6ps	-2.258ns	3.935ns	2.109ns	5
周期-周期	2.900ns	-1.260ns	-5.000ns	2.900ns	2.514ns	5
正脉宽-正脉宽	-2.100ns	180.0ps	-2.100ns	3.000ns	2.274ns	5
负脉宽-负脉宽	700.0ps	-1.060ns	-5.000ns	2.100ns	2.436ns	5

4. 总结

RIGOL 生产的 MSO8000 系列示波器, 提供了带时钟恢复功能的实时眼图绘制和抖动测量分析功能。可以帮助用户直观的了解系统中码间串扰的强弱, 准确快速的对高速串行信号进行确定性抖动测量。

购买并激活 MSO8000-JITTER 选件后, 示波器可以同时支持实时眼图和抖动分析功能。

型号	 MSO8000 系列
模拟带宽	600 MHz~2 GHz
模拟通道数	4
最高实时采样率	10 GSa/s
最大存储深度	500Mpts
最高波形捕获率	600,000 wfms/s
数字通道	16
选配探头	 PVA7250
	 RP7150
	 RP7150S

附录

缩略语

缩略语	英文全名	中文解释
BER	Bit Error Ratio	误码率
CDR	Clock Data Recovery	时钟数据恢复
Erf/Erfc	error function or Gauss error function	高斯误差函数 Erfc 为互补误差函数
NRZ	Non-return-to-zero Code	不归零编码
PDF	Probability Density Function	概率密度函数
RMS	Root Mean Square	有效值，均方根值
SNR	Signal-to-Noise Ratio	信号噪声比，信噪比
UI	Unit Interval	单位时间间隔
TIE	Time Interval Error	时间间隔误差
Tj	Total Jitter (Tj):	总体抖动
Rj	Random Jitter (Rj)	随机抖动
Dj	Deterministic Jitter (Dj)	确定性抖动
Pj	Periodic Jitter (Pj)	周期性抖动
DDJ	Data-Dependent Jitter(DDJ)	数据相关抖动
DCD	Duty Cycle Distortion (DCD)	占空比失真
ISI	Inter-Symbol Interference (ISI)	码间干扰