

深入剖析眼图

应用文章

摘要

本文介绍了什么是眼图，眼图是如何构建的，触发是生成眼图的一个共同方法。然后描述了使用不同的方式切割眼图，可以获得更多深入的信息。同时还讨论了一些发射机、传输链路和接收机测试的基本方法。本文的目的是为了工程师掌握眼图这个新领域的基本概念。

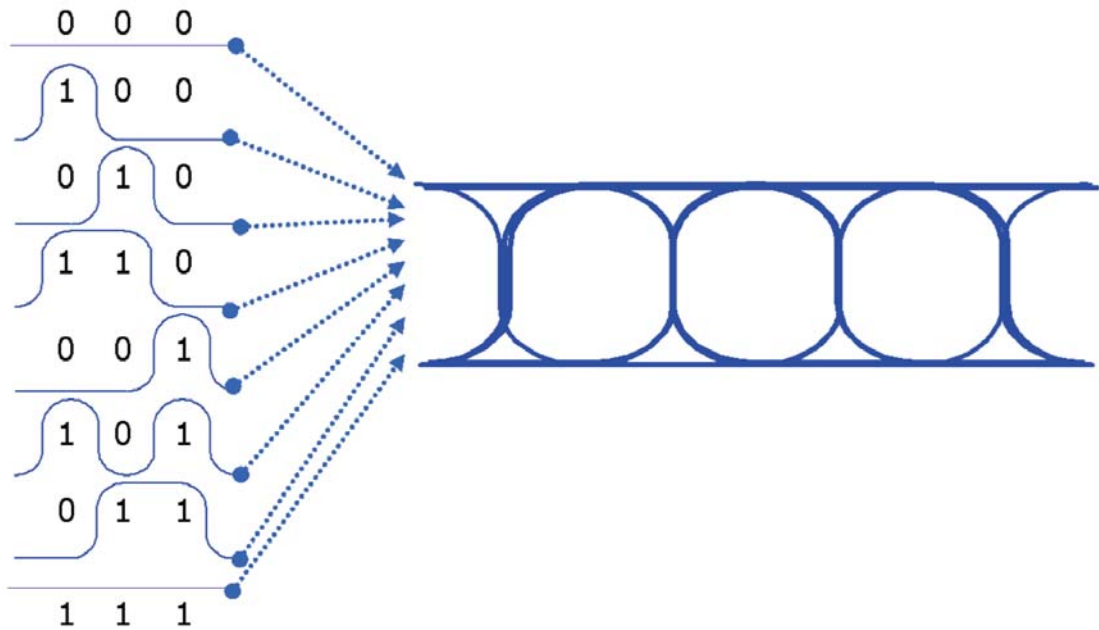


图 1：位序列叠加形成的眼图

眼图测量基础知识

眼图是一种快速、直观地评估一个数字信号质量非常成功的方法。一个正确构建的眼图应该包含从简单的 101 和 010 到对连续的长 0 序列后单独的 1 和其它问题序列的每一个可能的位序列，所以眼图往往可以看出系统设计中的问题。

眼图能告诉我们什么

眼图显示信号的参数信息 – 如系统带宽等物理层所产生的影响，这并不显示协议层或逻辑层的问题，如果一个逻辑 1 在眼图上是好的话，这并不表明该系统发送一个 0 事实，但是，如果该物理系统的逻辑 1 在眼图上失真的话，当逻辑 1 通过系统传送到远端的接收机就会错误的当作一个 0，这还应该是一个良好的眼图。

表征一个眼图常见的方法是测量的上升时间、下降时间、在眼图中间交叉点的抖动、过冲，和许多描述眼图行为其它数值。仪器通常提供自动测量，简化和加快眼图测量的任务。

关于眼图触发的影响

在测试设备上构建的许多眼图使用重复的测试码型，例如利用BERT(误码率分析仪)生成PRBS码型。这种仪器设备通常可以产生触发信号的类型有：

1. 同一速率的时钟触发，并与数据信号同步
2. 时钟分频触发，分频比是数据速率是2的幂，如 $\div 4$ 、 $\div 16$ 等
3. 码型触发 – 码型重复一次就提供一个触发信号
4. 数据本身可以作为一个触发
5. 最后一个方法是通过从数据信号中进行时钟恢复来获取触发信号。见图2。

当用来构造波形时，每种方法将会提供了不同的结果。

时钟触发提供了一个经典的眼图，在眼图中包含了所有可能的位跳变

分频时钟触发也可以产生眼图，当用来测量眼图的仪器的触发输入带宽比被测信号的数据速率窄时，这可能是非常有用。只有当该码型的长度分割和分频比是一个整数，这种方法能产生很好的眼图，例如一个128位的码型使用一个 $\div 4$ 时钟观测。利用分频时钟触发构建眼图，触发信号将与码型的每个时间的同位同步，而始终会丢失其它部分码型 – 导致一个不完整的眼图。见图3。

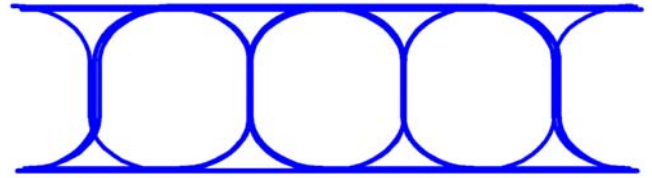


图2. 使用一个全速率时钟触发形成的眼图

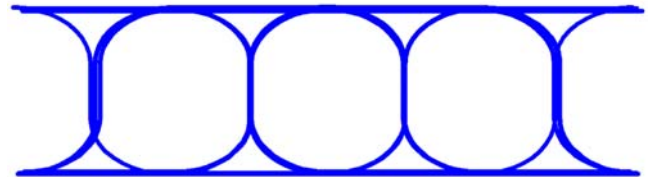


图3. 使用一个分频时钟触发形成的眼图



图4. 使用码型触发捕获一个位序列

码型触发：用于显示码型中的各个位。要查看完整的码型，用户必须是通过改变示波器的时基或改变码型触发位置。由于时基电路的某些弱点，通过改变示波器时基的方法会导致增加明显的抖动；增强的码型触发，无论是在BERT还是在一些更复杂的示波器内都可以很好的避免这个问题。见图4。

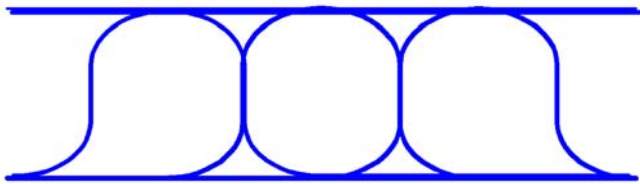


图 5. 由数据触发形成不完整的眼图

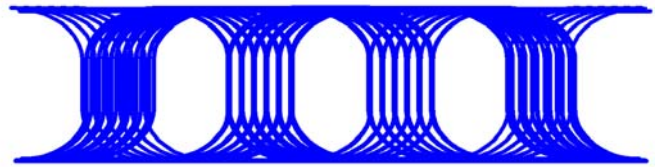


图6. 采用窄的环路带宽时钟恢复单元从数据恢复时钟信号触发形成的眼图

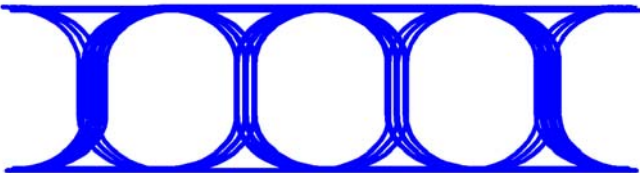


图7. 采用宽的环路带宽时钟恢复单元从数据恢复时钟信号触发形成的眼图

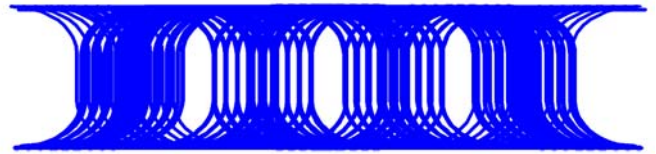


图 8. 含有抖动的时钟和含有抖动的数据之间延迟形成的眼图

数据触发是构建眼图最差的方法，只应作为一种快速查看。数据触发是运行相同的字符，没有跳变来触发，所以完整的眼图几乎是不可能实现的。见图 5。

利用恢复时钟触发：在日益复杂系统中，这种方法有一些优点：

- 在某些情况下，没有时钟信号可用，所以必须通过其它的设备来恢复时钟。
- 在一些其它情况，尤其是长距离光纤通讯，在发送端的时钟和接收端的数据的关系在传输路径中可能被快时变效应损坏。
- 最后的情况，接收机使用了时钟恢复，需要查看接收端的眼图也需要时钟恢复(这可能需要一些标准，特别是对抖动测试)。

时钟恢复的电路通常有一个环路带宽，或者具有过滤功能，消除从数据信号带来的时钟抖动。根据不同的测量，需要深入理解，有时是有用或有时有害的。

窄的环路带宽时钟恢复往往恢复出一个稳定的时钟触发信号作为参考，任何抖动、或与时间边沿的变化都会在数据眼图中显示。这是一个有用的绝对测量抖动，但可能无法正确反映一个真实的系统(如果使用了时钟恢复的接收机会跟踪一些抖动)。见图 6。

宽频带时钟恢复通过时钟往往让一些抖动存在数据中。这就意味着，向一个方向和另一个移动边缘就产生数据抖动；恢复的时钟可以跟踪这个抖动，由此产生的眼图只有很少抖动。这种跟踪功能是许多系统接收机的工作方式，以减少通过该系统上的抖动。见图 7。

条件也可以产生相反的效果 - 数据信号和触发信号之间延迟就是这样，当数据边沿正在朝着一个方向的最远的程度移动，用作触发的恢复时钟信号从相反方向最远的范围移动恢复出来的，以及由此产生的数据眼图显示为抖动的两倍。见图 8。

而最后的情况是很少可取的，前面的两种情况，所有的抖动都会在眼图上显示出来，其中大多数抖动会被跟踪，使用时钟恢复的哪些功能取决于测量要求。幸运的是，大多数标准规定了测量要求触发机制。

眼图和 BER

虽然眼图提供了系统性能一个方便和直观表现，但是位是否正确，有没有错误，还最终需要系统自己的能力来判断。BER 误码仪，可以测量所收到的错误位和所有位的比例。误码分析仪为判断系统的性能的好坏提供了一个良好的验证方法，但误码分析仪不能告诉我们系统的性能为什么可能会低于预期。应该指出的是，BER 是测试逻辑性的问题和参数的(无论是在正确的位首先发送)。

那么，为什么不把眼图和误码分析仪联系在一起呢？一个完美的眼图会显示所有可能的位序列的所有参数，不论是偶尔出现一些问题。换言之，眼图含有很高的信息深度。通常情况下，眼图是由电压/时间采样数据组成的。对于取样示波器，每秒只获取 105 个样本。这意味着大多数眼图是由很少测试样本组成，不容易发现一些罕见偶发的事件。

当问题偶尔出现的话，这将成为一个问题。这些问题可能是码型相关的、噪声相关或从串扰和其它形式的干扰所产生的影响。这些可能无法在示波器的眼图看得见，但防止影响到所需的性能水平。例如，系统往往要求误码率好于百万分之一， 1×10^{-12} 误码率，而眼图只能显示小于 1×10^{-5} 的发生概率事件。

这信息鸿沟可以通过多种方式解决。首先利用更高采样效率测量的电压 / 时间样本构建眼图，这个系统，如 BERTScope，允许快速、简单的观测眼图，并比采用示波器眼图测试样本多三个数量级。

第二个解决方案是使用误码仪的样本数据，能更好地看到将影响系统性能的罕见事件。

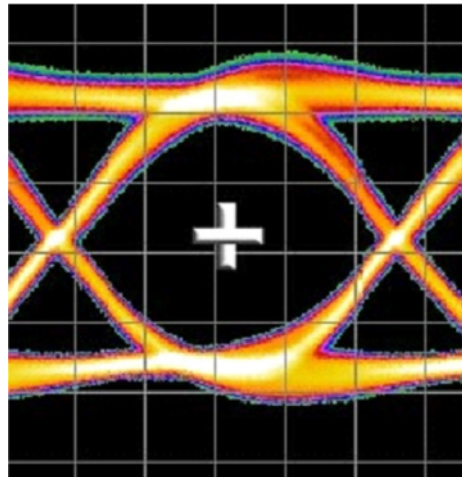


图 9. 一个接收端的判决点在眼图中间

切片眼图

典型的接收机设计都是在瞬间信号是否高于或低于某一特定阈值电压作出判断。见图 9。

由此决定输入信号是一个数据 1 还是数据 0。聪明的系统设计人员尽可能把判决点放在上升沿、下降沿、高电平、低电平地方，换句话说眼图最不容易闭合的地方通常是中心。BERT 仪器可以移动到这一决定的最佳判决位置点之外的时间或电压位置。通过移动判断点，有可能探讨的眼图其它部分，并通过测量遇到的错误，侧面剖析眼图。

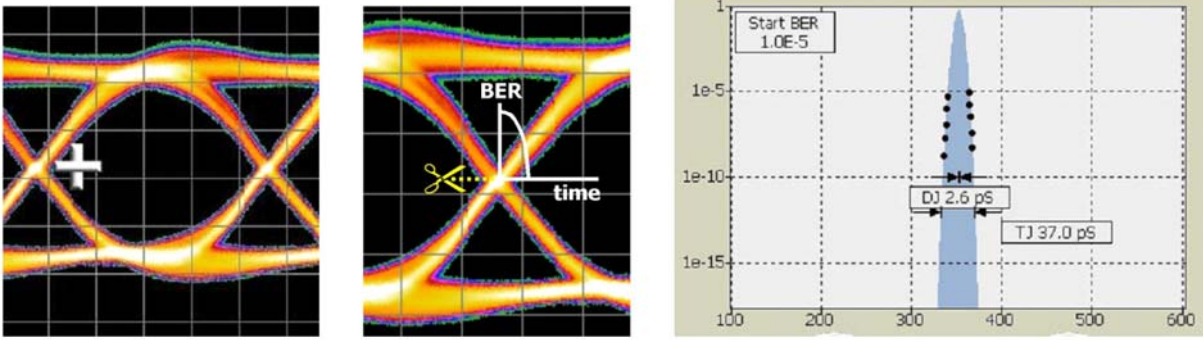


图 10. (a),(b),(c). 从时间方向移动 BERT 判决点描绘出交叉点 BER 轮廓图

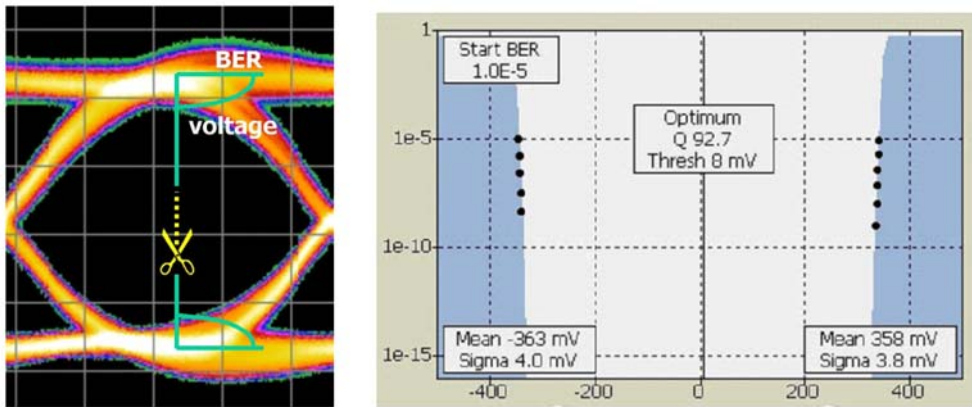


图 11. (a),(b). 从电压方向移动 BERT 判决点描绘出 1 和 0 电平的 BER 轮廓图

抖动测量是伴随误码率测试一起的常见测量，通过探测眼图交叉点进行分析出来的结果。这种测量方法有 BERTScan、浴盆抖动、抖动、抖动峰值等各种名称。更充分详细的说明见 MJSQ。由 BERT 测量抖动的优点是 BERT 误码分析仪可以看到每一个比特位，所以是最有可能捕获罕见的抖动事件。见图 10。

信噪比测量: 第二个常见的眼图测试就是 Q- 因子测量。Q- 因子测量特别对性能受噪声影响系统非常有用。描绘眼图中的 1 和 0 垂直电平 BER 轮廓。测量沿眼图中间的误码率滚降方式来显示系统噪声的大小，以及它将如何影响系统。见图 11。

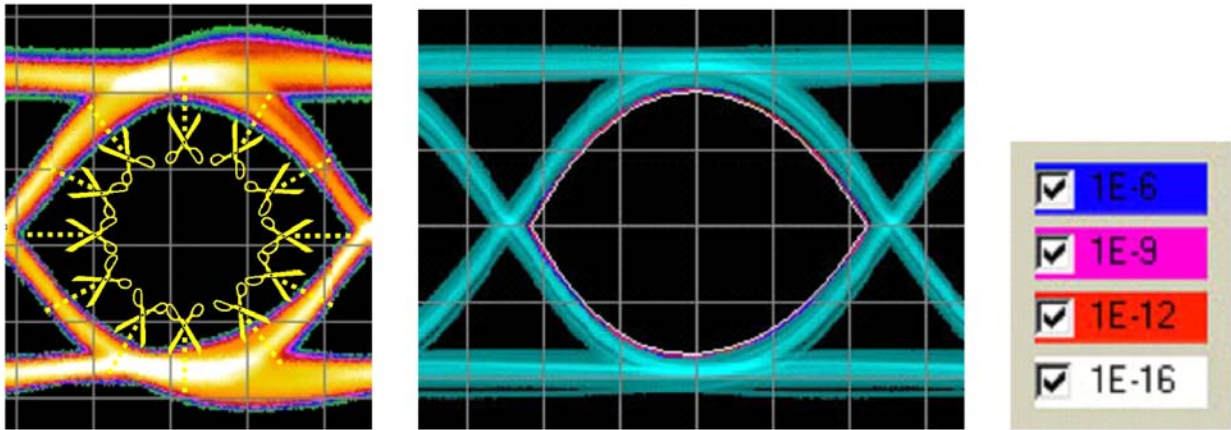


图 12. (a),(b). 沿多个轴的切片眼图，形成眼图轮廓

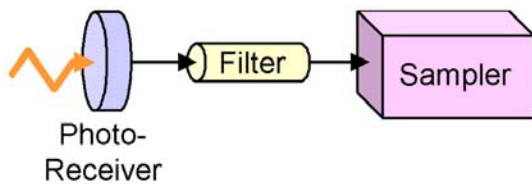


图 13. 参考接收机框图

BER 轮廓是最后两个测量的扩展集，也是眼图和 BER 误码率之间的完美联系。这里的判决点在眼图内部周围按步进改变，围绕眼图周围的一系列角度切片就绘出了 BER 误码率轮廓图。这提供了系统参数可能有问题的更完整和清晰的图片。泰克 BERTScope 经过优化，使之成为能够快速测量 BER 轮廓。见图 12。

测量速度的需求

这些测量的实际问题是，单光标误码仪测量速率 10 Gb/s 的数据，测量 1×10^{-12} 误码率需要几分钟。由于许多系统预期功能优于 1×10^{-15} 误码率，单光标误码仪可能需要几个月来测量。因此，能够更快地进行测量，然后利用测量的数据进行推算更深的误码是有价值的。测量 BER 误码率轮廓测量很快。

测试发射机

测试发射机通常测眼图。由于测试设备输入端特点各有不同，国际标准(例如用于测试光发射机设备 ITU 国际电信联盟)设计了标准化的测试方法，称为参考接收机。输入滤波器也用在现在的一些电气标准。见图 13。

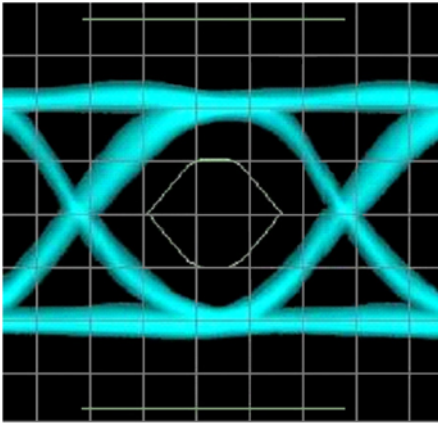


图 14. 眼图模板测试

测量系统的整体频率响能够很好的被设计：四阶 Bessel-Thompson 曲线在规定的容限窗口内，比特率的 0.75 在系统 -3dB 点。从理论上讲，这意味着利用以不同的仪器进行的测量应该是兼容的。

模板测试是在制造业快速进行发射端简化的眼图测量。并不测量眼图的所有参数，模板测试定义了眼图的关键区域，这些区域称为“敏感区”，如果检测到任何信号落到这一区域，则设备失败(不合格)。模板测试是往往在几秒钟内完成。应该指出的是，模板测试仅仅检测发射端的总问题，它根本不具备在很短的时间来捕获罕见事件的数据深度，然而 BERTScope 在几秒钟比其它仪器采集更多的样本数据进行模板测试。见图 14。

测试通道

通道可以作为一个独立的单元测试，或作为发射端和链路的组合来测试。作为一个独立的链路测试通常是进行如损耗、衰减、反射和色散参数测量。这适用于光链路和电气链路，但在短距离电传输如背板，S 参数测量往往作为上述所有参数的准确地表征。作为一个独立的实体传输链路表征的挑战是如何转换成测量眼图和误码率相连起来。如 StatEyeiv 建模程序将其参数表征转换成预测的 BER 轮廓。

另一种衡量方法是测量一个具有代表性的发射端和通道链路。这种测试方法的缺点是测试结果是发射端和通道链路共同作用的结果，优点是可以直接测量眼图特性和误码率性能。用来生成一个测量误码率轮廓，然后可以与用一个如 StatEye 建模软件的模拟结果进行比，这可能是有用的。

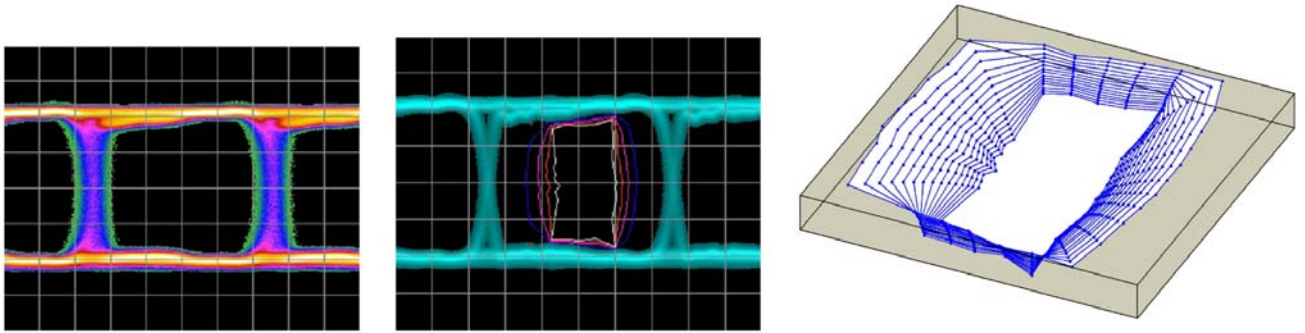


图 15. (a), (b), (c). 眼图, BER Contour 误码率轮廓, (c)眼图碗状图

三维 BER 轮廓 – 眼图碗状图

可以通过绘制三维BER轮廓,可以得到能包括偶发事件的影响、良好的可视化的眼图,如图 15。

测试接收机

传统的接收机测试只是误码率测试,而不进行眼图相关测试。输入信号到接收机,慢慢减少输入信号的幅度大小,在然后看接收机在极限条件是否能正常工作。如果接收机是能够正常运行并无错误码,那么合格。

对接收机测试感兴趣的是测量抖动容限,或接收机对每个输入位能够正确接收的能力(甚至信号数据边沿有抖动)。如前所述,时钟恢复往往会消除这种抖动。在SONET / SDH传输系统,通过注入正弦抖动(根据模板,这个正弦信号的幅度和频率是变化的)对数据边沿按时间方向移动进行抖动容限测试。最近,又引入压力眼的概念,就是数据的边沿是用各种不同的方法变坏。这已经发展到不仅仅是一个抖动测试,例如加入了幅度方面的

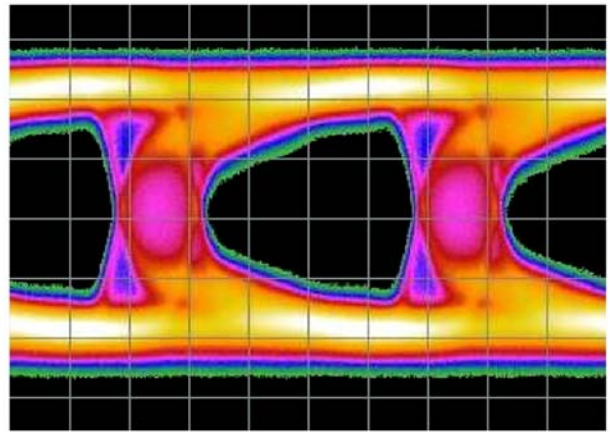


图 16. 带压力的眼图

损伤。总的来说,压力眼被设置为最坏的情况下测试接收机的运行情况,如果是能够在这样一个信号下没有出现错误,则该设备合格。见图 16。

应用文章

总结

如果采集的样本数据正确,并有足够深度的数据,一个眼图可以包含大量的信息。眼图可以告诉设计者所设计产品的很多性能参数,以可以现场告诉制造工程师是否会导导致以后的问题。

参考文献

- i MJSQ 抖动和信号质量规范的方法-INCITS T11.2 书面文 <http://www.t11.org/index.htm>
- ii N.S. Bergano, F.W. Kerfoot, and C.R. Davidson “光放大器系统余量测量” IEEE光子技术快报 vol. 5, no. 3, pp. 304-306, Mar. 1993.
- iii IA/EIA-526-4-A 光眼图码型测量程序(<http://www.tiaonline.org/standards/>) 和测量 SDH 光发射机: ITU G.957, SONET 发射机: Bellcore GR-253-CORE
- iv Stateye 通道响应模型预测 BER 误码率轮廓: <http://www.stateye.org>

泰克科技(中国)有限公司

上海市浦东新区川桥路1227号
邮编: 201206
电话: (86 21) 5031 2000
传真: (86 21) 5899 3156

泰克北京办事处

北京市海淀区花园路4号
通恒大厦1楼101室
邮编: 100088
电话: (86 10) 5795 0700
传真: (86 10) 6235 1236

泰克上海办事处

上海市徐汇区宜山路900号
科技大楼C楼7楼
邮编: 200233
电话: (86 21) 3397 0800
传真: (86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处

深圳市福田区南园路68号
上步大厦21层G/H/I/J室
邮编: 518031
电话: (86 755) 8246 0909
传真: (86 755) 8246 1539

泰克成都办事处

成都市人民南路一段86号
城市之心23层D-F座
邮编: 610016
电话: (86 28) 8620 3028
传真: (86 28) 8620 3038

泰克西安办事处

西安市二环南路西段88号
老三届世纪星大厦20层K座
邮编: 710065
电话: (86 29) 8723 1794
传真: (86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处

武汉市汉口建设大道518号
招银大厦1611室
邮编: 430022
电话: (86 27) 8781 2760/2831

泰克香港办事处

九龙尖沙咀加连威老道2-6号
爱宾大厦15楼6室
电话: (852) 2585 6688
传真: (852) 2598 6260

了解有关的更多信息 泰克公司不断收集应用文章,技术简报和其它资源,帮助工程师了解最前沿技术。请访问 www.tektronix.com.cn



版权©泰克。保留所有权利。泰克公司的产品涵盖受美国和外国专利,发表之前。本出版物中的信息取代,在所有先前公布的材料。规格和价格改变特权保留。泰克和泰克的注册商标 泰克公司的所有其他商品名称参照是服务商标,商标或注册商标,其各自公司所有。

09/10 EA/WWW

65C-26042-0

Tektronix®