

应用笔记:

HFAN-02.6.0

Rev. 4; 12/08

减小低速(<622Mbps)光发送器的噪声和漂移

减小低速光发送器的噪声和漂移

1 引言

设计一个数据速率达数吉比特(2.7Gbps)的光模块是一项极富挑战性的工作。需要仔细考虑电感、阻抗和寄生电容等因素,以满足高速工作的要求。对于工作在较低数据速率(<622Mbps)系统,则需面对输出偏置、电压衰落和漂移等问题。这些因素对于工作在一长串连续相同数码(CID)的SONET系统来说,更加重要。

本文讨论低速(<622Mbps)光发送器中眼图开度减小的常见原因,有助于发送器的设计和测试。利用该方法也可改进性能。

本文将以MAX3735A和MAX3646为例,就此类器件在多速率(155Mbps至2.7Gbps)和低数据速率($\leq 622\text{Mbps}$)中的应用展开讨论。

2 检查测试系统

在诊断光模块问题之前,首先需要检查系统是否存在一些表面问题。许多情况下,性能变差归结于测试设备装置和/或测试装置的连接。由测试系统造成眼图闭合的常见原因有:

1. O/E转换器噪声/频带过宽
2. O/E转换器或示波器带宽不足
3. O/E转换器输入功率/增益
4. 光纤连接状况较差

2.1 O/E转换器噪声/频带过宽

准备测试系统时,应确保所用光-电(O/E)转换器的噪声相对于测量系统而言较低。许多情况下,选择一个适当带宽的转换器即可满足要求。如果带宽过高(>10倍数据速率),转换器的内部噪声会在转换器输出端产生非常高的额外噪声。但是,即使一个适当带宽的转换器也会有额外引入噪声,具体取决于设计方案。检查转换器噪声是否足够低的一个简单方法是:断开光输入信号,测量没有输入时的噪声输出。

2.2 O/E转换器或示波器带宽不足

O/E转换器或示波器通道带宽不足可能导致眼图闭合。系统应同时保证O/E带宽至少为0.75倍数据速率(如,数据速率为155Mbps时带宽为117MHz),并且示波器和互联设施的带宽至少为1倍至2倍数据速率。

2.3 O/E转换器输入功率/增益

假定低噪声O/E转换器的带宽合理,还需保证加在转换器上的光输入功率在合理的工作范围内。加在转换器上的功率过大可能导致眼图闭合、失真,并有可能损坏转换器。当输入信号很小时,示波器上观察到的信号幅度相对于转换器/系统噪声而言非常低,因此得到的眼图噪声较大。

关于这一点，还应注意的，光-电转换器输出应该与示波器探头的输入范围匹配。根据转换器的增益，需要一个低噪声放大器(增益不够时)或衰减器(增益较大时)，以便在示波器输入端获得适当的信号电平。

2.4 光纤连接

对于任何光学系统，测量之前应保持光纤和连接器清洁。连接器不应该有灰尘、污渍和潮湿。检查所使用的光纤类型(多模光纤或单模光纤)是否正确。用多模光纤替代单模光纤会产生额外的光学失真/噪声。如果在必须使用多模光纤的场合使用了单模光纤，则O/E转换器的噪声比预计情况要小得多。

3 基线漂移

基线漂移是多速率或低速率光模块工作在SONET模板时眼图闭合的常见原因。SONET模板有较长的连续相同数码(CID)。数据变换密度也随时间而变化。这两个因素导致数据模板中存在超低频分量。为了正常工作，系统必须能通过低频分量。

为确保系统能以最小衰减通过模板的低频分量，发送器的低频截止频率必须低于模板的低频分量。有关基线漂移的其它信息，请参考文献[1](#)和[2](#)。

发送器的低频截止频率受输入电容的影响，激光器和激光驱动器之间的连接采用自动功率控制环路和交流耦合(需要时)。如果MAX3735A和MAX3646激光驱动器设置在较大增益并限制其特性，工作在SONET模板时，0.22μF至0.47μF的电容对于155Mbps的数据速率比较合适。然而，通过选择输出架构或APC环路正确设置低频截止频率将是一个更大挑战。

3.1 基线漂移(输出架构)

MAX3735A³和MAX3646⁴激光驱动器输出可通过+3.3V电源直流耦合至激光器⁵。因为这类输出不会引入低频截止频率，非常适合采用SONET模板、数据速率为155Mbps的低频应用。但是，某些系统所要求的调制电流很大，直流耦合无法提供，此时需要交流耦合。

多速率发送模块也经常采用交流耦合输出，以便差分驱动激光器，从而在多速率(吉比特)操作下获得最佳性能。这种输出的低频截止频率对于低数据速率工作而言过高。可以降低频率截止点，但需要大电容和电感(尺寸也较大)，这种元件很难放置在空间有限的SFP模块中⁶。

为验证输出是否受到基线漂移的影响，可以进行一个简单测试，改变测试模板，减少低频分量，观察输出的变化。例如，2²³-1 PRBS有很多低频分量，与SONET模板相似，当测试这种类型的光模块时是一个较好的模板。与之相比，2⁷-1 PRBS模板的低频分量很少。

作为例子，图1给出了交流耦合输出、数据速率为155Mbps、工作在2²³-1 PRBS模板的光模块测试眼图。该模块没有使用大电感或电容；输出网络的低频率截止频率相当高。所以眼图闭合较深。

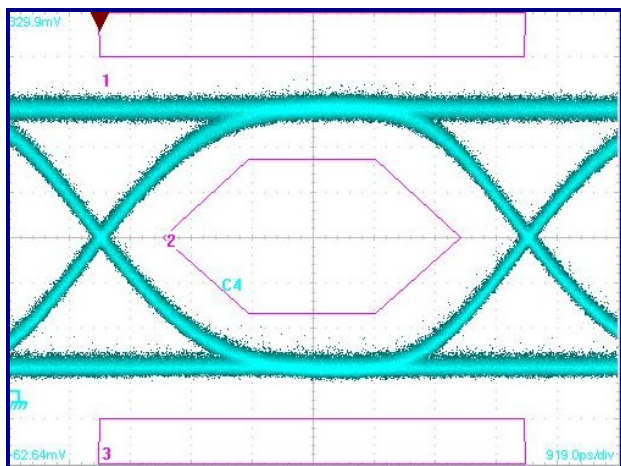


图1. OC-3 (滤波后), $2^{23}-1$ PRBS

将模板变为 2^7-1 PRBS, 改善后的眼图如图2所示。注意: 图1中的眼图闭合深度对于逻辑1和逻辑0相同, 并且眼图抖动增大。这些因素对于基线漂移影响眼图闭合度的模块来说非常典型。但是, PRBS在正向和负向的峰值漂移不同, 使得眼图上看到的斑点与PRBS序列的极性有关。

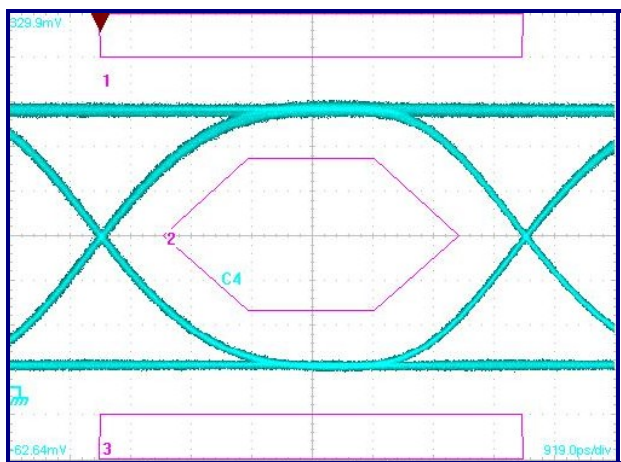


图2. OC-3 (滤波后), 2^7-1 PRBS

很难判断漂移是由APC环路引起的, 还是由输出电路的低频截止频率引起的, 或者是两者共同作用的结果。在使用交流耦合输出的场合, 可以用一个简单的电路仿真来确定低频截止频率, 必要时, 还可确定改进性能的参数(通过降低截止点), 一般来说, 数据速率为155Mbps的SONET模块的截止频率应该低于10kHz。

3.2 基线漂移(APC环路)

激光驱动器的自动功率控制环路(APC环路)也会在数据信号路径引入低频截止频率。如果环路电容(Capc和Cmd)选择不当, 不适合低数据速率, 眼图的闭合度可能会由于基线漂移而增加。与交流耦合输出相似, 关于这些因素的详细讨论见参考文献7。

如果APC环路的截止频率限制了响应特性, 通过改变模板并观察眼图闭合度和抖动可以很容易地发现这一点。为了排除这些可能的起因, 可以通过一个简单的实验测试眼图闭合度(图3), 将Capc电容增大到原来的4倍甚至10倍, 重新测试(图4)。如果眼图像图3和图4那样发生了显著变化, 则应调整环路电容使系统正常工作。既使在进行该实验时结果没有显著变化, 也应根据参考文献7 (MAX3735A和MAX3646)验证电容值, 以保证正确设置与APC环路有关的其它参数, 如开启时间、稳定度等。

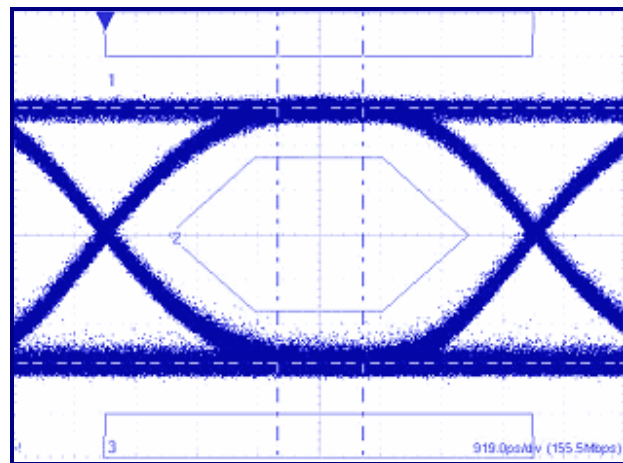


图3. 眼图—OC-3, $2^{23}-1$ PRBS, $C_{APC} = 0.01\mu F$

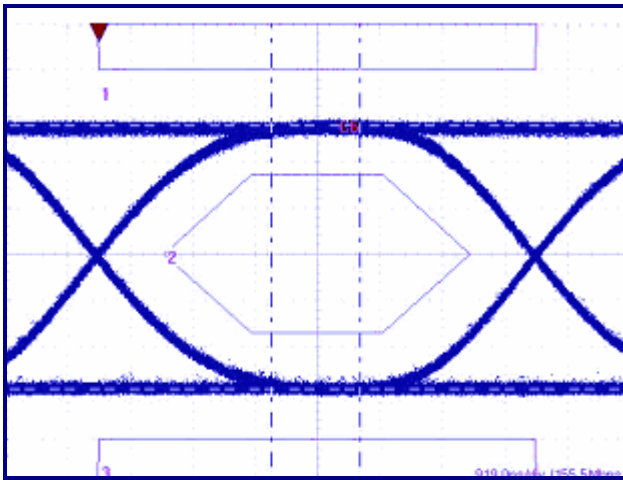


图4. 眼图—OC-3, $2^{23}-1$ PRBS, $C_{APC} = 0.1\mu\text{F}$

4 激光驱动器差分输出失配

造成低速发送器眼图闭合的第二个起因是激光驱动器输出的失配。MAX3735A和MAX3646采用差分驱动激光器。有几种连接激光器和驱动器的方式，一般来说，直流耦合输出比交流耦合输出更容易失配，因为，当输出采用交流耦合时每个输出偏置接近于VCC。

以一个常规的单端直流耦合驱动为例(图5)，激光器阴极通过串联电阻连接到驱动器的OUT+引脚，驱动器的OUT-引脚通过电阻连接到VCC。

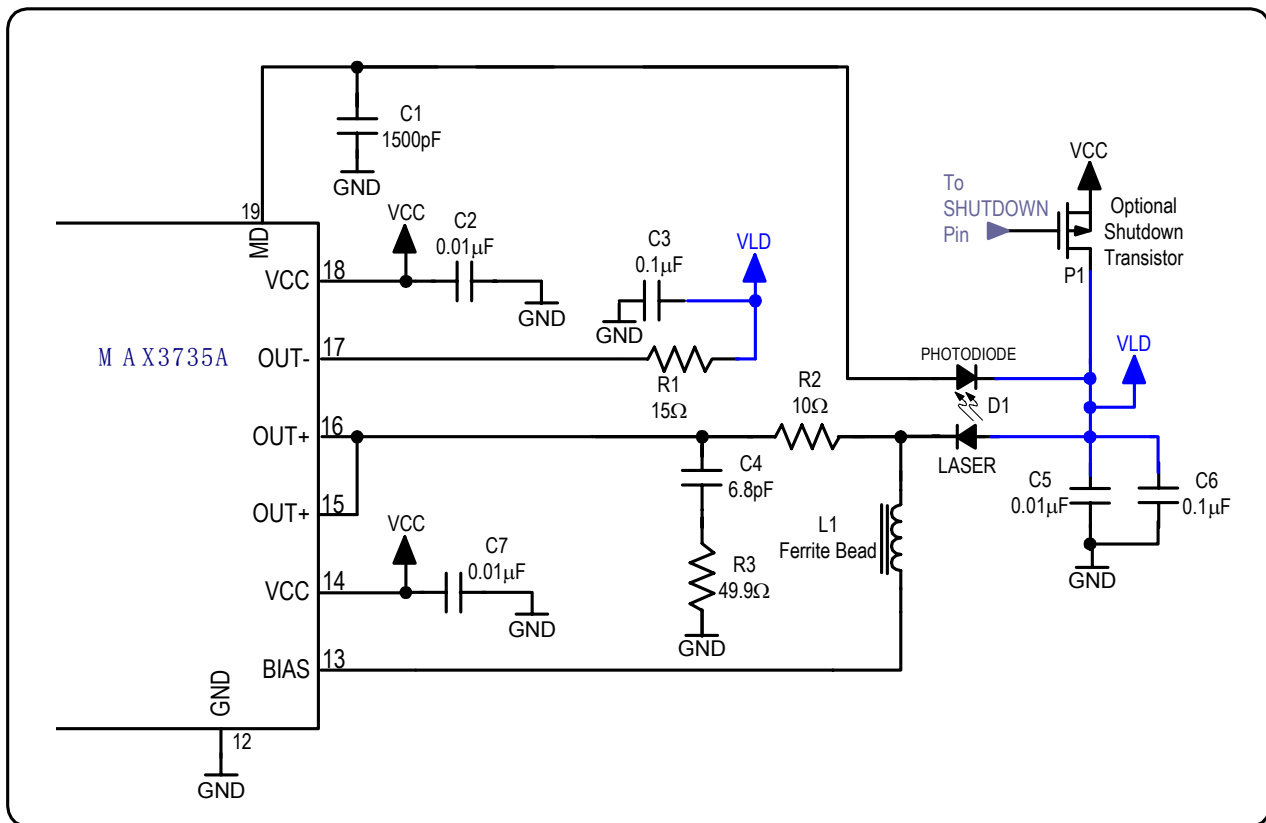


图5. 典型直流耦合激光器接口电路

如果忽略电感影响, 吸收电流时OUT+引脚电压为:

$$V_{OUT+}(V) = VCC(V) - VF_{LD}(V) - 10(\Omega) * I_{MOD}(A)$$

(其中 VF_{LD} 是电流为 I_{MOD} 时激光器的正向压降)

当OUT-引脚吸收电流时, 其电压为:

$$V_{OUT-}(V) = VCC(V) - 15(\Omega) * I_{MOD}(A)$$

将典型值 $I_{MOD} = 30mA$, $VCC = 3.3V$ 和 $VF_{LD} = 1.4V$ 代入上述公式, 可以看出, OUT+电压近似为1.6V, OUT-电压近似为2.85V。压差主要是激光器的正向压降产生的, 这有可能造成驱动器输出的失配, 在具有较长CID码、低数据速率系统中导致眼图闭合。由于失配导致低数据速率系统的眼图闭合, 这一内容的讨论超出了本文范围, 但其影响如图6眼图所示。

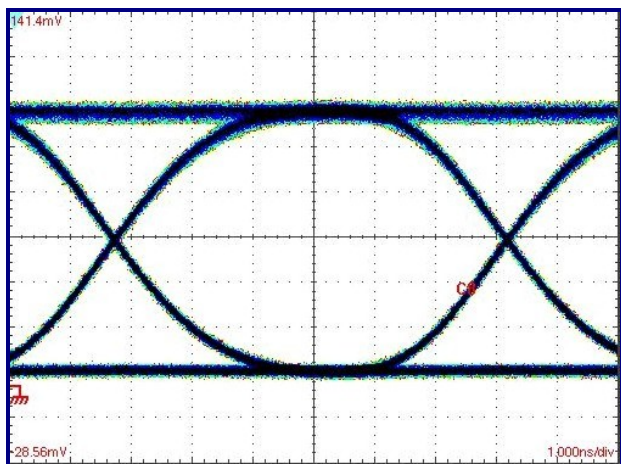


图6. OC-3 (滤波后), $2^{23}-1$ PRBS, 标准配置

由于眼图闭合是基线漂移(低频截止点设置过高)引起的, 因此将模板改变为长PRBS序列, 如 $2^{23}-1$ 将加深眼图的闭合。失配同样导致眼图闭合, 它与漂移问题的区别在于, 眼图在逻辑1有轻微“噪声”, 而不是在逻辑0。这种情况下的“噪声”实际归结于调制电流在较长时间的缓慢增大, 这一现象可以通过超低频重复模板1010观察(图7, 20ns/div)。使用PRBS测试模板观察眼图, 缓慢斜坡看起来就像噪声(图6)。

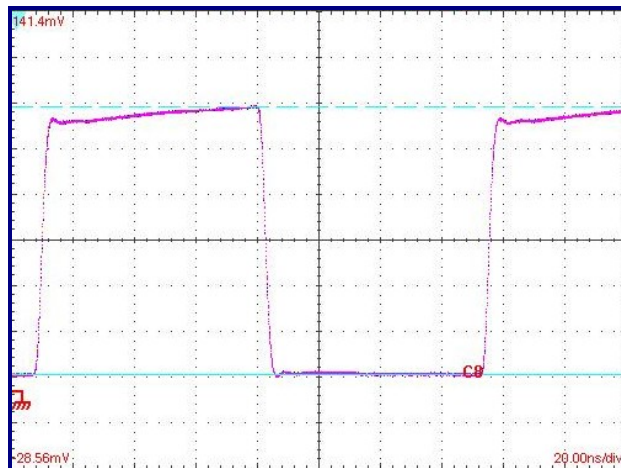


图7. 1010重复模板, 20ns/div, 标准配置

判断眼图闭合是否归因于失配的第二种简单方法是: 当VCC在3.0V和3.6V之间缓慢变化时观察输出。假定驱动器的工作状态没有超出电压余量($V_{OUT+} > 0.6V$), 眼图质量将随着VCC的减小而得到改善(图8)。换句话说, 在逻辑1上“噪声”将随着VCC增加而增大。

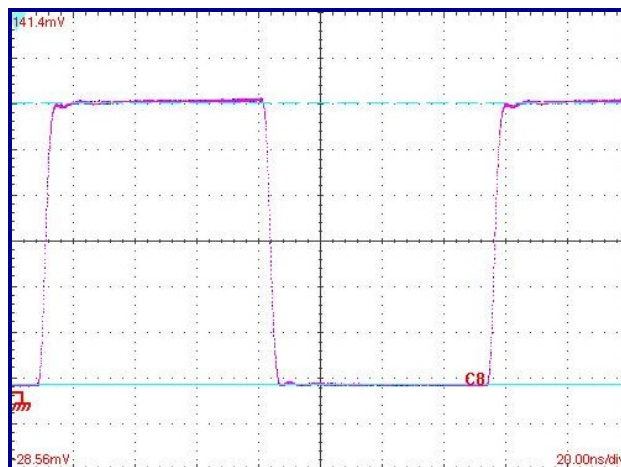


图8. 1010重复模板, 20ns/div, VCC电压下降

任何有助于减小OUT-和/或增加OUT+的方法均可在吸电流时改善眼图质量。例如: 通过使用电阻网络, 能将OUT-连接到比VCC更低的电压, OUT-引脚使用较大的电阻, OUT+引脚使用较小的电阻, 或将OUT-和VCC之间的电阻串联一个小的快速开关二极管。上述所有情况下, 都应保证OUT-和OUT+引脚的瞬时电压不低于器件极限值(MAX3735A和MAX3646约为0.6V)。在OUT-串联一个二极管可以改善眼图质量, 如图9所示。

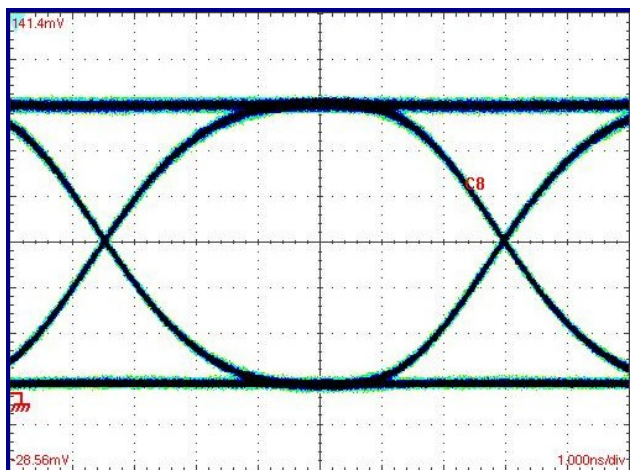


图9. OC-3 (滤波后), $2^{23}-1$ PRBS, 使用一个二极管降低OUT- 电压

5 去耦不足

MAX3735A和MAX3646激光驱动器设计用于驱动共阳极激光器。在标准配置下，激光器的阴极通过串联电阻连接到激光驱动器内部差分对儿的集电极(OUT+), 激光器的阳极连接到VCC。为了获得满意的高速和低速工作特性，为激光器阳极提供充分去耦很重要，这样可以提供更大的开关电流(高达85mA)，并且获得非常快的开关电流切换速度。如果激光器阳极的电压下降过多，眼图开度将会减小，如果OUT+引脚的瞬时电压降至0.6V以下，抖动将增加。

假设激光驱动器的输出是差分输出，OUT-也应连接到旁路良好的结点，并且在可能的情况下连接到与激光器阳极一样的结点(VLD，图5)。这将减少VCC噪声，提供一个更加干净的光输出信号。

低频应用设计中须注意：无论工作速率或输入跳变时间如何，激光驱动器的开关速率应非常高。因此，去耦应该由50ps (20%至80%)的典型瞬变时间确定，有关瞬变时间的内容请参考驱动器资料。在低频应用中，去耦电容应在SONET系统出现长串CID时提供最小压降，这一点也很重要。

6 背向反射振荡

虽然背向反射振荡与低数据速率应用不相关，但会影响眼图的开度。当反射进入激光腔时，激光二极管输出会进入振荡状态。这种导致振荡的机制超出了本应用笔记的范围，对于我们来说，了解它的存在，并且知道它是由光反射造成的就足够了。一般来说，DFB激光器比其它类型激光器更易受背向反射的影响，但FP激光器也可能发生激光振荡。

许多情况下，激光器内部嵌入了一个或多个光隔离器，以保证反射不会进入激光腔。振荡频率与形状、结构、激光器的偏置以及温度有关，大体来说，光纤通信中的边沿发射激光二极管振荡频率> 1GHz。发生振荡时，滤波后的输出眼图出现噪声。噪声主要位于逻辑1电平、0电平或平衡在1和0电平之间，具体取决于激光器及其参数/工作条件。

如果O/E带宽不足以捕获振荡，则会由于O/E带宽的限制造成振荡衰减，眼图仅出现轻微噪声。图10所示的OC-48眼图为例，从图中可以看出，眼图开度由于噪声而降低。这种情况下O/E转换器的带宽是2.3GHz。

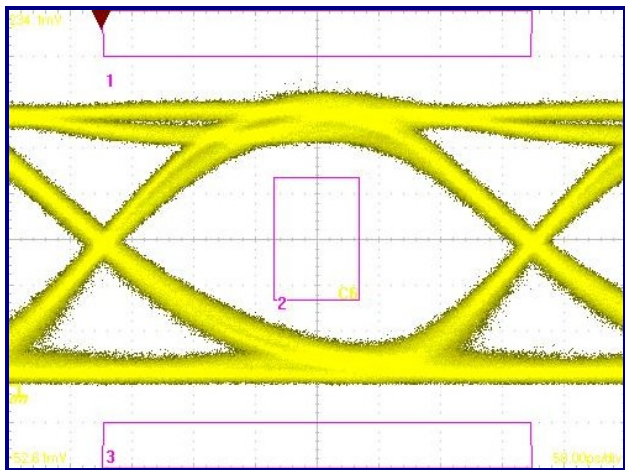


图10. OC-48 (滤波后), $2^{23}-1$ PRBS

采用带宽为11GHz的O/E转换器时，同一情况的观察结果如图11所示。使用1010模板时振荡很明显，如图12所示(注意，只有当振荡与并非一成不变的数据相关联时才能观察到)。

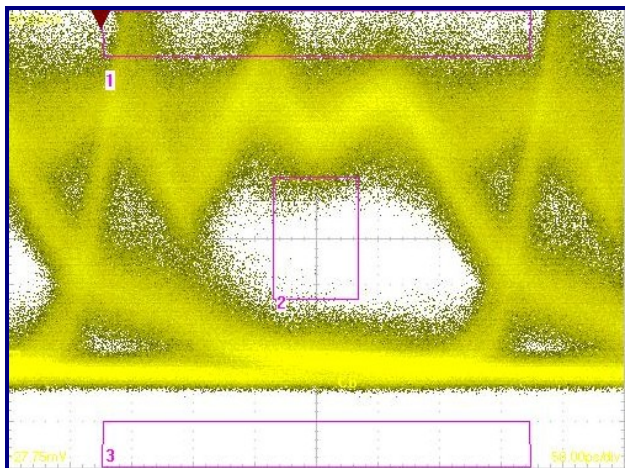


图11. OC-48 (未滤波), $2^{23}-1$ PRBS, 有光学振荡

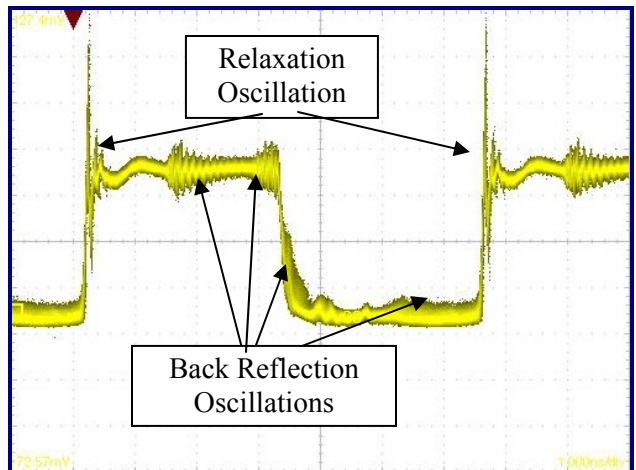


图12. 1010模板下的张弛振荡(1ns/div)

可改变以下参量检查背向反射振荡：

1. 观察宽带O/E转换器输出，并检查是否有额外噪声。
2. 改变激光器的偏压和温度，背向反射振荡将随激光器偏压和温度变化。
3. 调整光纤和激光器之间的间距。拉动光纤使之远离激光器时，与信号电平相关的振荡应减小，如图13所示。



图13. 改变光纤排列位置

针对此类眼图的闭合深度进行修正：

1. 确认所有光连接器清洁、不潮湿。
2. 检查所使用的光纤是否恰当，如果系统需要，是否使用了APC光纤接头。
3. 使用内置光隔离器的激光器，或在激光器和光反射处放置光隔离器。

7 附录/结束语

造成光发送器眼图闭合的原因很多，本应用笔记介绍了几种常见原因，如：系统结构、基线漂移、差分失配、去耦不足和反射振荡等。如需其它帮助，确定造成眼图闭合的起因和/或性能改进措施，请与 Maxim 光纤应用部联系：<https://support.maxim-ic.com/cn>。

参考资料：

1. 应用笔记：“[NRZ Bandwidth - LF Cutoff and Baseline Wander](#)” – HFAN-09.0.4, Maxim Integrated Products, 2002年9月。
2. 技术文章：“[NRZ测试码型的频谱成分](#)” – HFTA-11.0, Maxim Integrated Products, 2005年1月。
3. 数据资料：“[MAX3735/MAX3735A : 2.7Gbps、低功耗、SFP激光驱动器](#)” – Maxim Integrated Products, 2003年5月。
4. 数据资料：“[MAX3646 : 155Mbps to 622Mbps SFP Laser Driver with Extinction Ratio Control](#)” – Maxim Integrated Products, 2004年7月。
5. 应用笔记：“[MAX3735A：激光驱动器输出配置，第1部分：直流耦合优化技术](#)” – HFDN-26.0, Maxim Integrated Products, 2003年6月。
6. 应用笔记：“[MAX3735A：激光驱动器输出配置，第3部分：差分驱动](#)” – HFDN-26.2, Maxim Integrated Products, 2003年9月。
7. 应用笔记：“[MAX3735: Choosing the APC Loop Capacitors Used with MAX3735/MAX3735A SFP Module Designs](#)” – HFDN-23.0, Maxim Integrated Products, 2002年9月。