

Application Note

SDI 病态数据模式研究

Nick Peabody

摘要

本应用手册详细介绍了在不同视频模式发生器上实现的 12G SDI 病态数据模式。此外，还讨论了德州仪器 (TI) 最新 12G SDI 器件 LMH1239/1229 的病态视频性能。

内容

1 引言.....	2
2 病态模式分析.....	3
3 结语.....	12
4 参考资料.....	12

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

1992年8月，日本科学家 Takeo Iguchi 发表了一篇论文，讨论了使用 SDI 数据扰频器时的两个主要问题。第一个问题是低频成分可能导致直流偏移。第二个问题是具有长运行长度的数据模式可能导致 PLL 无法检测到数据转换。Iguchi 提出了一种方法来生成最不理想但仍可能出现的信号，并将其作为测试信号通过 SDI 通道。在这种情况下，为了重现这种不理想效果，活动行期间使用了 10 位的 0x300h 和随后 0x198h 的值，同时排除了 EAV、SAV 和辅助数据。

由于 SDI 的 NRZI 数据模式和扰频器公式，病态模式可能会生成一长串的 0 或 1。一长串的 0 或 1 会导致包络或直流偏移。通过使用较大的耦合电容值，可以消除这种直流偏移。RP178 SMPTE 规范是唯一描述使用 SMPTE159M/259M/244M 扰频器发生这种情况的 SMPTE 文档。在这些 SMPTE 规范中，该应力模式用于生成最大直流分量/偏移。通过在活动行期间连续应用 300h、198h 序列，当扰频器获得所需的起点或种子后，可以重复生成 19 个 1 (0) 接 1 个 0 (1) 状态的信号。

如前所述，可以使用容值较大的交流耦合电容器来消除病态数据模式导致的这种直流偏移。ST-292 和 ST-424 以及更高的数据速率中，要求直流漂移不超过 50mV。旧版 SDI 发生器使用纳法拉级的较小交流耦合电容值。在图 1-1 中，测得的直流漂移约为 152mV。

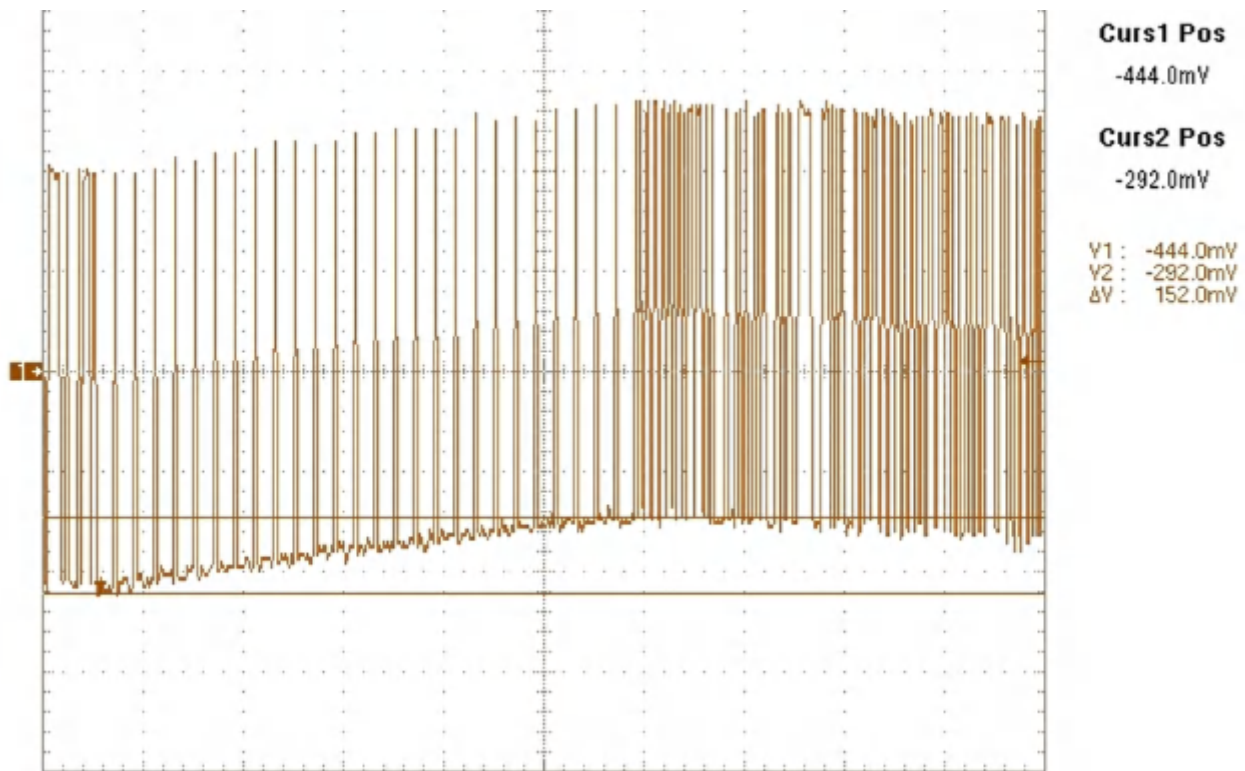


图 1-1. 270Mbps 下病态模式导致的直流漂移

2 病态模式分析

在讨论病态视频模式时，不要将 SDI 位流中因 TRS (时序参考信号) 字而造成的坑洼与数据模式活动部分中真正的病态数据模式混淆。TRS 在活动视频信号的开始和结束时发送。接收器通过检测 TRS 来确定信号的字和行对齐情况。每行的末尾会插入几个额外的字来告诉接收器当前的行号。同时还会包含一个 CRC，以便接收器可以确认是否已正确接收该行中的所有数据。

在 3G SDI 数据模式中，一行的 TRS 是 0x3FF、0x3FF、0x00、0x00、0x00、0x00。这代表一个由 20 个“1”位后接 40 个“0”位的序列。即使经过加扰，该序列仍然可能导致加扰后的 SDI 数据模式出现直流偏移或“坑洼”。如 RP 198 中所述，TRS 字的扰频频率与所需的扰频器状态相重合以允许这种应力模式的情况相对较少。即使发生这种情况，此应力模式的时序持续时间也是有限的，因此均衡器或重定时器 PLL 不会受到过大的应力，从而不会导致问题。

然而，在 12G 数据流中，这种坑洼效应会更加严重，因为 12G SDI 由 4 个复用的 3G 数据流组成。这意味着 TRS 可以包含一个 80 个“1”位后接 160 个“0”位的序列。这种位流会导致显著的直流漂移，并导致 SDI 应用中使用的交流耦合均衡器出现问题。为了解决这个问题，SMPTE ST2081 和 ST2082 修订了一种反坑洼模式，其中 TRS 字被修改，使得所有 0x3FF (除了一个) 都改为 0x002。这意味着 TRS 的“坑洼”效应类似于 3G SDI 信号。

如前所述，SMPTE RP198 定义了两种不同的病态视频模式，这些模式会为 SDI 均衡器和重定时器生成最坏情况的数据模式：

均衡器测试：一个由 19 个“0”位后接一个“1”位的序列，或者一个由 19 个“1”位后接一个“0”位的序列。该模式会产生最大的直流漂移，并在加扰前使用重复的 0x300、0x198 10 位值序列生成。请注意，视频帧内的整体数据是直流平衡的，这意味着“1”和“0”的数量相同。不过，由于连续的 19 个“0”后跟 1 个“1”或反之，可能会在一到两行中观察到直流漂移。

PLL 测试：一个由 20 个“0”位后接 20 个“1”位的序列。该模式代表了可在 SDI 数据流中传输的最低频率数据模式。这是在加扰前通过重复的 0x200 和 0x100 (10 位值) 序列生成的。

对于 ST-2081 和 ST-2082 标准，SMPTE 规范尚未提供类似于 RP198 的规范。但是，为 12G SDI 链路实现此模式要复杂一些。12G SDI 信号复用 4 个 3G 数据流。为了在复用数据的输出端创建这种应力数据模式，在四个 3G 虚拟链路复用后，输出像素流需要为 0x300、0x198 (EQ 病态) 或 0x200、0x110 值 (PLL 病态)。这意味着原始未复用图像中的实际像素值需要按如下方式呈现或被强制为如下方式：

第 n 行：所有 Y 像素和 C 像素的值都需要为 0x300 (均衡器模式) 或 0x200 (PLL 模式)。

第 n+1 行：所有 Y 像素和 C 像素都需要包含值 0x198 (均衡器模式) 或 0x110 (PLL 模式)。

请注意，这些 12G 病态模式并没有 3G 模式中旧的灰色和粉色配色。

为了更清楚地说明此映射的工作方式，请参阅图 2-1。

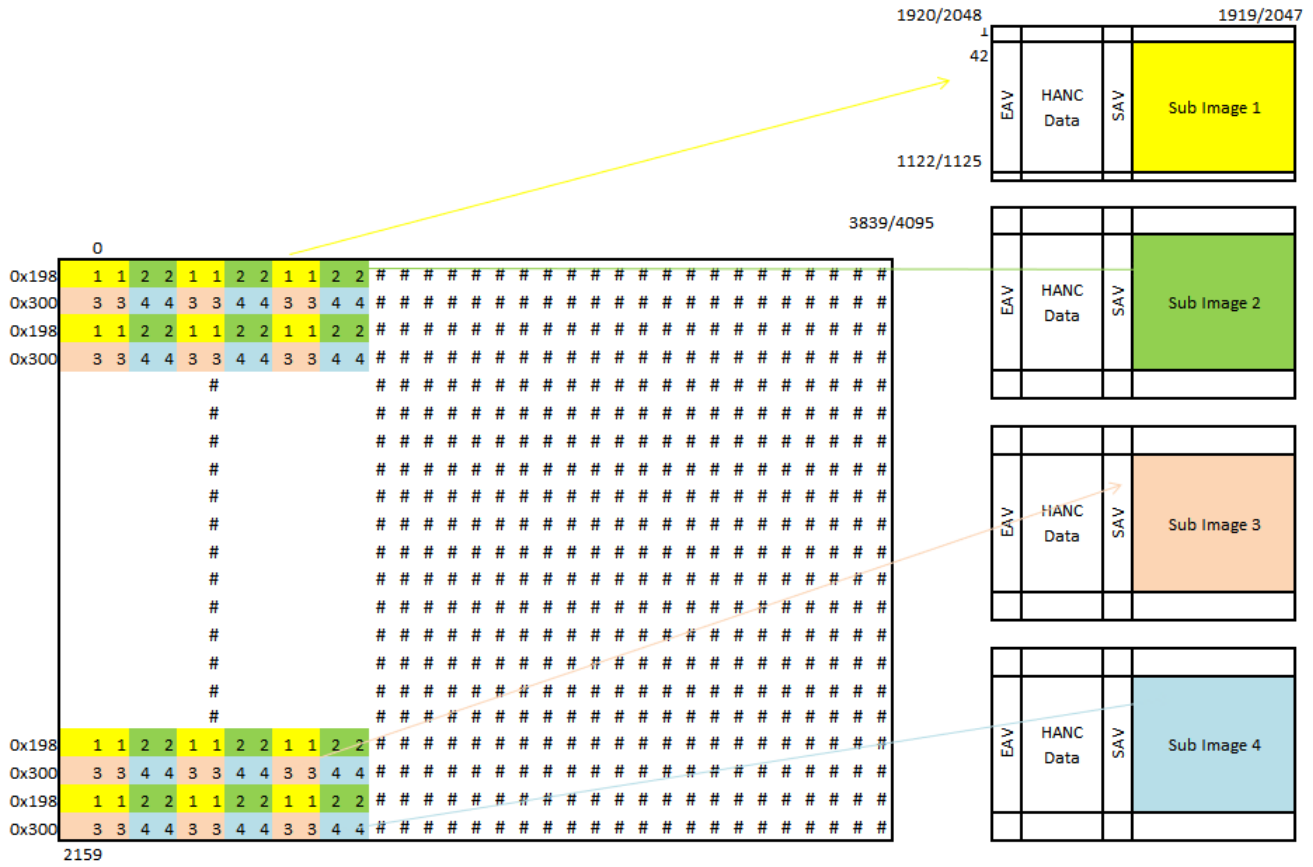


图 2-1. 接收病态模式的显示器的子图像细分

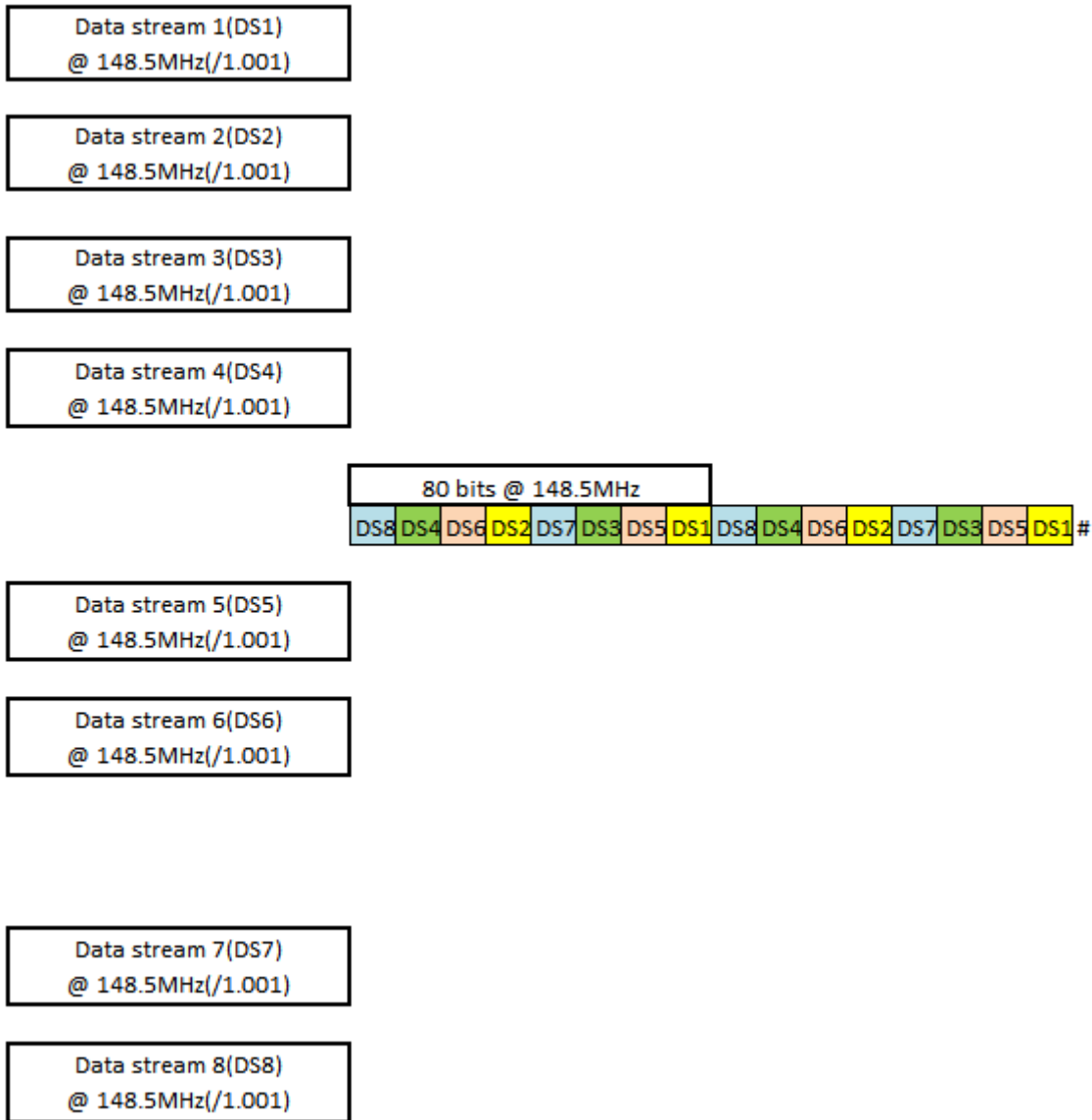


图 2-2. 交错数据流的 SDI 模式

如上面的映射所示，子图像 1 和子图像 2 需要强制设为 0x198 值，而子图像 3 和 4 需要强制设为 0x300 值。然后，这四个子图像会映射成 8 个交错的数据流，以形成 148.5MHz 速率下的 80 位数据，从而产生这种压力模式。

4K/UHD 提供两种高分辨率：用于影院分发的 4096x2160 和用于家庭分发的 3840x2160。根据映射结构，有两行交错的源映射到 4 个子图像/8 个数据流。因此，病态模式会持续两个活动行的时间。以 4096 像素乘以 20 (假设 422 转换)，再乘以 2 (代表两行) 和 10 位/像素，总共是 163,840 位。在 11.88Gbps 时，这意味着病态模式的时间长度为 13.79μs。然而，某些测试设备通过强制执行子图像 1 至 4 的内容来手动生成这种病态模式。

SMPTE ST-2082 在 AFR (额外的帧速率) 条件下支持每像素 10 位或 12 位。在 ST-2036-1 和 ST-2048-1 标准中，每像素 10 位有两种映射结构，适用于 3840x2160 和 4096x2160 分辨率并支持 48/50/60 或 /1.001 帧速率。映射结构 1 和 2 使用每像素 10 位。此外，映射结构 3 和 4 使用每像素 10 位，并且第 9 位是第 8 位的补码，因此不会出现病态模式。

此外还有 12 位 AFR (ST-2036-1、ST-2048-1)，适用于 3840x2160 和 4096x2160 并支持 24/25/30 帧速率。在该结构中，每隔一个像素，第 9 位是第 8 位的补码，第 1 位处的位 0 设为 0。因此，这里也不会出现病态模式。如前所述，一些测试设备供应商通过手动强制将所有第 n 行的 Y 和 Cr 设为 0x300 值，而将第 n+1 行设为 0x198

值，实现每像素 10 位 12G SDI 病态模式。这样可以生成具有显著无噪声平坦场的视频信号，并且该信号是手动生成的。

以下是在不同仪器上记录的病态模式：

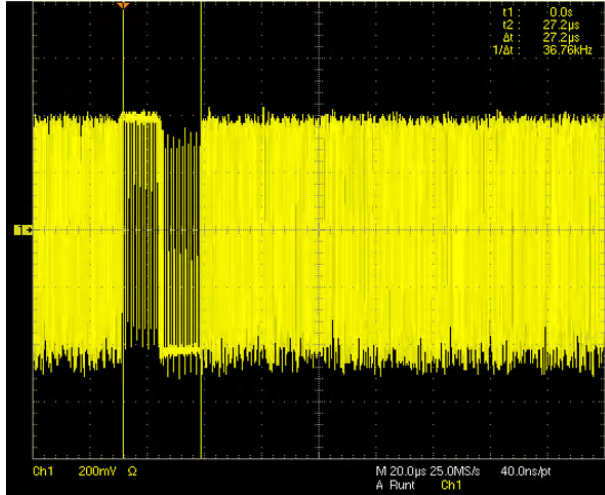


图 2-3. 3G-A 1080p60 直流漂移：反极性应力模式

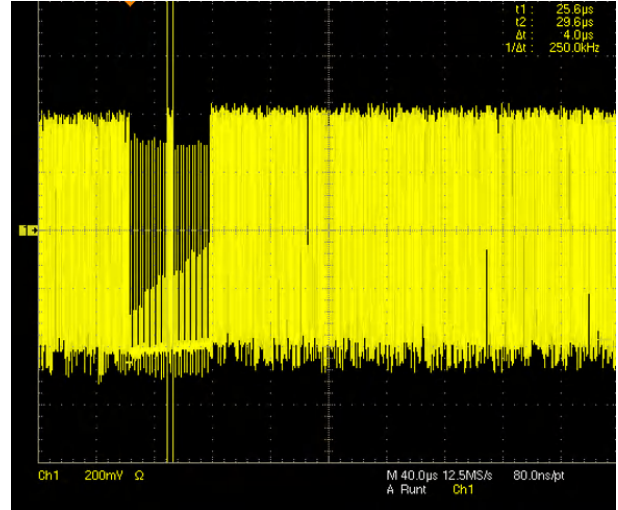


图 2-4. 1080p60 3G-B 直流漂移：连续应力模式

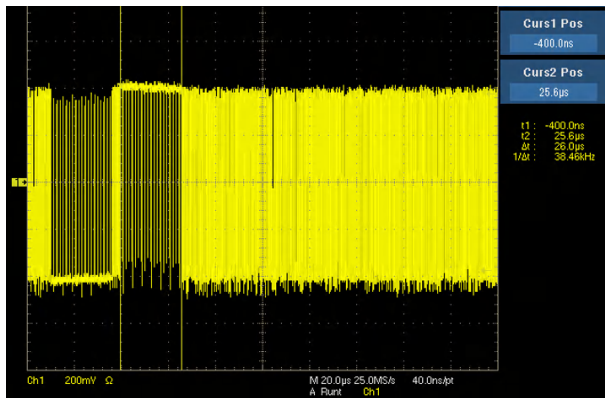


图 2-5. HD 1080p30 直流漂移：反极性应力模式

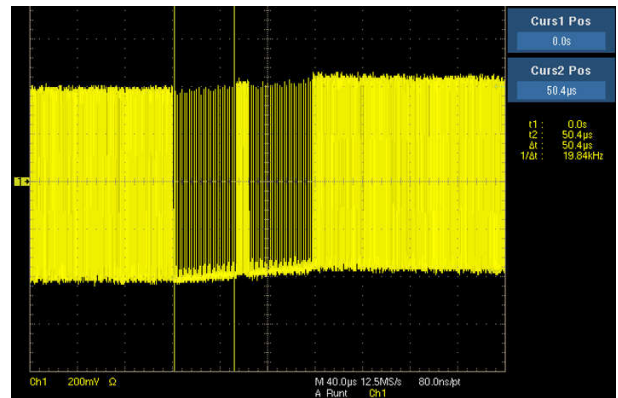


图 2-6. SD625i 直流漂移：导致直流漂移增加的连续应力模式

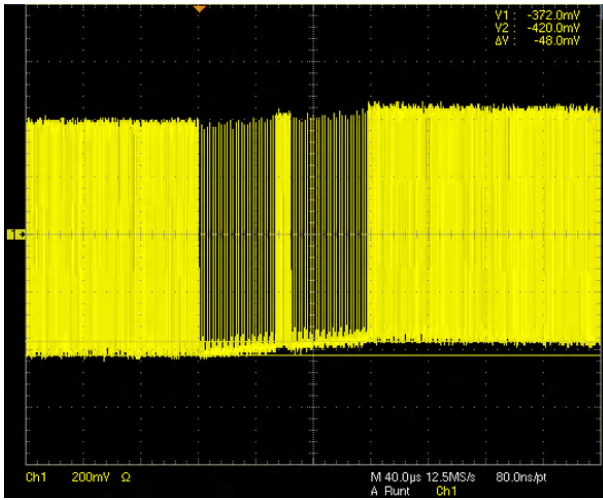


图 2-7. SD625i 直流漂移：导致直流漂移增加的连续应力模式

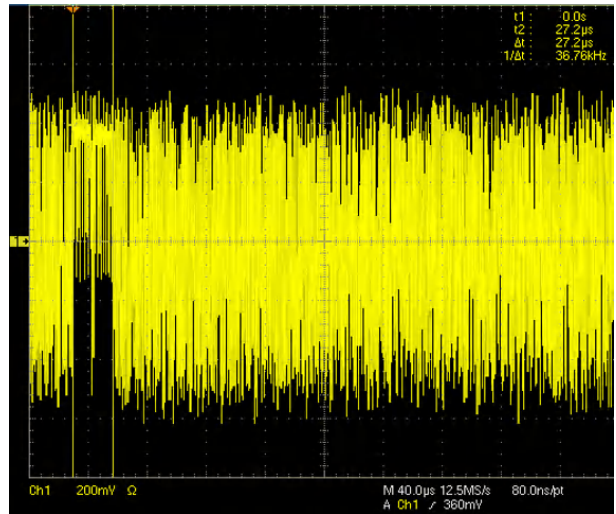


图 2-8. 12G 直流漂移：导致直流漂移增加的连续应力模式

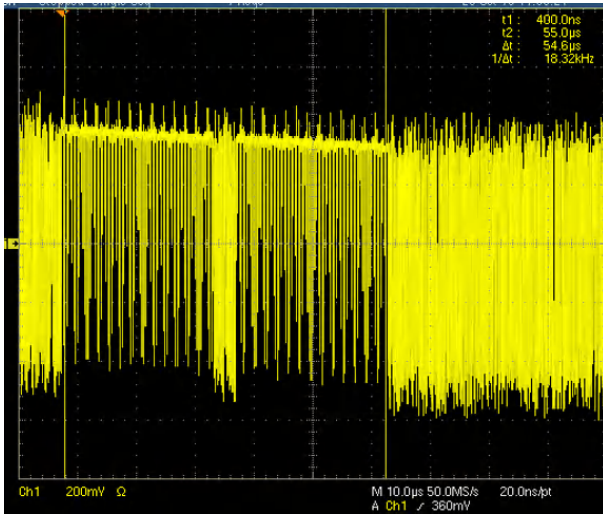


图 2-9. 6G 直流漂移：导致直流漂移增加的连续应力模式

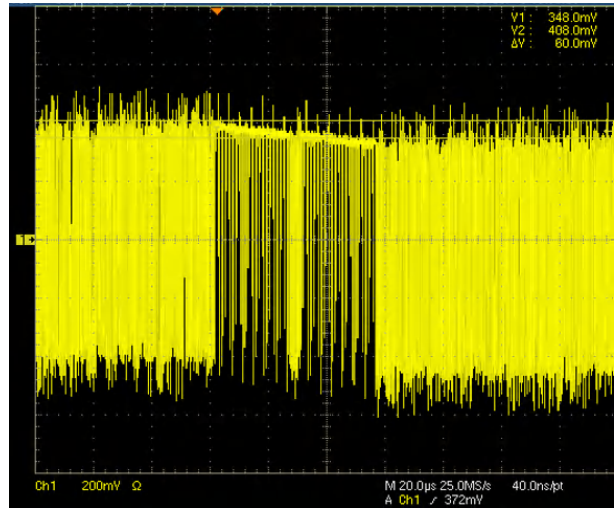


图 2-10. 3G 直流漂移：导致直流漂移增加的连续应力模式

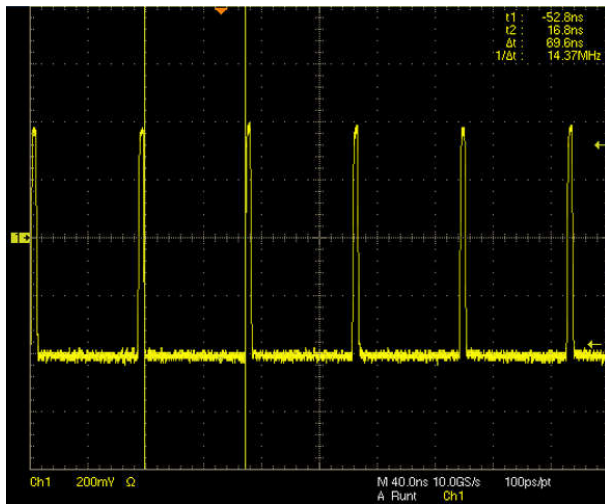


图 2-11. 270Mbps 病态模式 (包含 19 个 0 和 1 个 1) 的脉冲周期

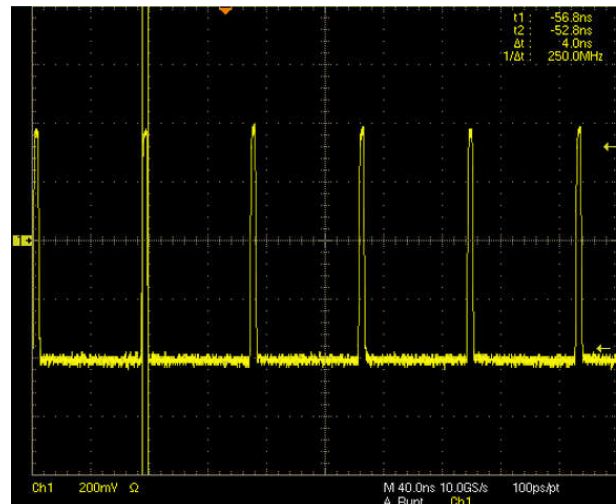


图 2-12. 270Mbps 病态模式 (包含 19 个 0 和 1 个 1) 的脉冲宽度

最新的 12G SDI 信号发生器和分析仪提供了额外的应力模式，用于在存在 EQ 病态模式和高转换密度时钟模式的更恶劣环境下检查接收器的性能。尽管我们可以在整个低频带宽内观察到信号强度，但也可以观察到强烈的时钟频率或信号强度。以下示例展示了不同 12G 病态在实时和频域中的表现。以下波形通过一个 7dB 75 Ω 至 50 Ω 的适配器模块捕获，比较了不同视频模式在频域中的差异。

请注意，在 11.88GHz 处，由于存在色条 12G SDI 视频模式，因此存在信号。通常，对于差分系统，2× 奈奎斯特频率处会有零点，因此无法看到该音调。然而，对于 SDI，由于使用单端信号传输，因此上升和下降转换之间的任何不对称都会导致出现该音调。

请注意，在 11.88GHz 处，由于存在色条 12G SDI 视频模式，因此存在信号。通常，对于差分系统，2× 奈奎斯特频率处会有零点，因此无法看到该音调。然而，对于 SDI，由于使用单端信号传输，因此上升和下降转换之间的任何不对称都会导致出现该音调。

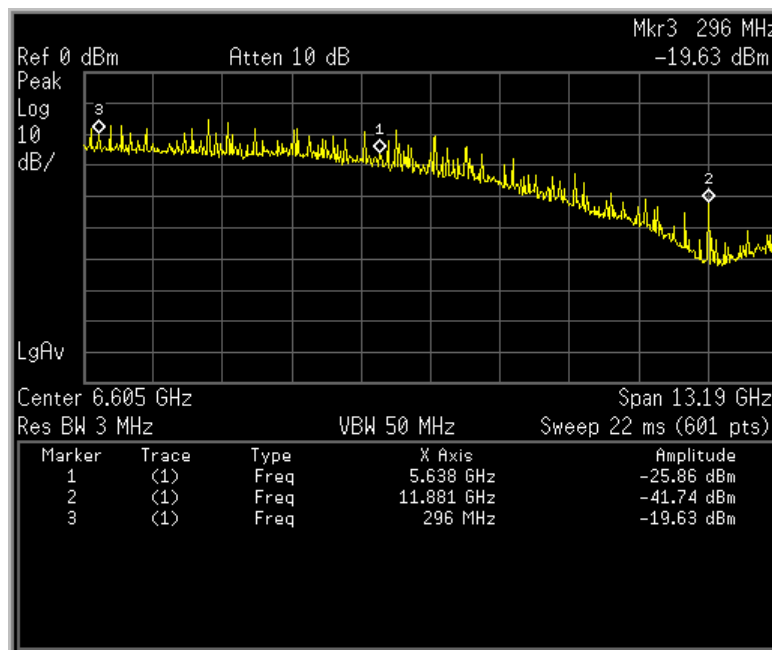


图 2-13. 12G SDI 3840x2160 色条模式

注意信号出现在 12G SDI 奈奎斯特频率处，经过 1.001 分频，PLL 时钟模式为 5.638GHz 并经过 40 分频 (297MHz)

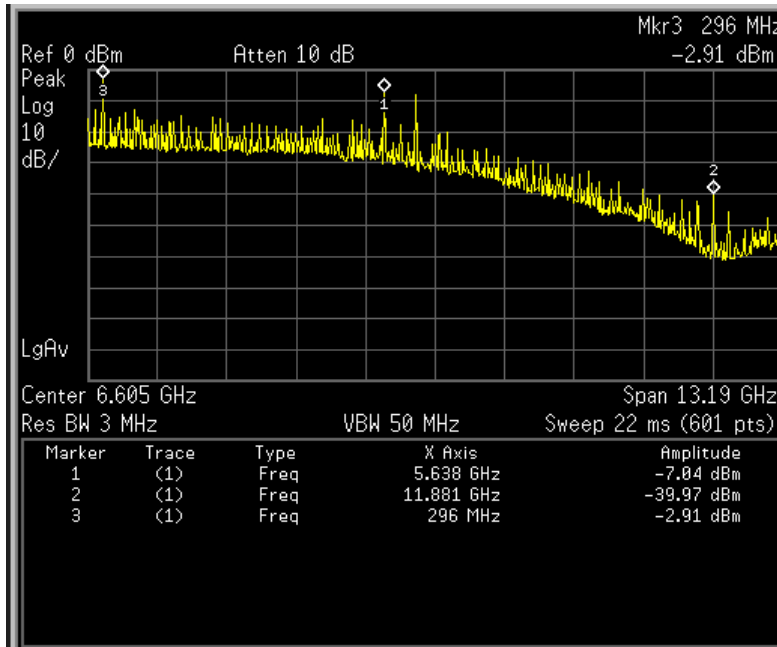


图 2-14. 检查场、PLL 和时钟模式

在纯 12G SDI 均衡器模式下，我们可以看到更多的低频成分、更宽的信号频谱，并且时钟信号的存在不明显。

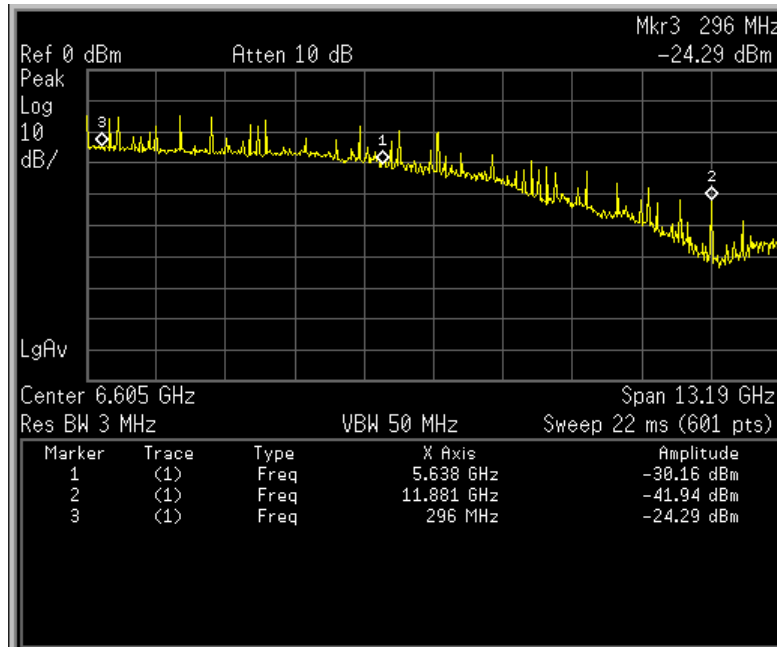


图 2-15. 12G SDI EQ 病态

该模式显示了 EQ 病态模式，并且在奈奎斯特频率处和奈奎斯特区域或 1.001 分频处，时钟信号非常强烈，具体取决于我们使用的是标准帧速率（例如 60Hz）还是除以 1.001 后的帧速率 (59.94Hz)。

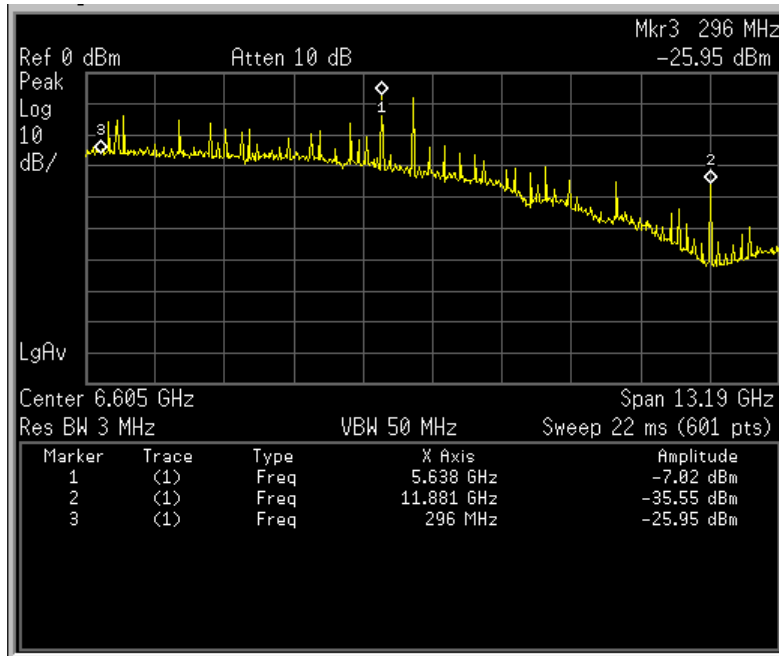


图 2-16. 具有 EQ 病态的时钟模式和正常时钟模式

由于 PLL 病态由 20 个 0 和 20 个 1 组成，或者反过来，因此在约 296MHz 处有一个 11.88 (或除以 1.001) 并进行 40 分频 (20 个 0 和 20 个 1) 的时钟模式：

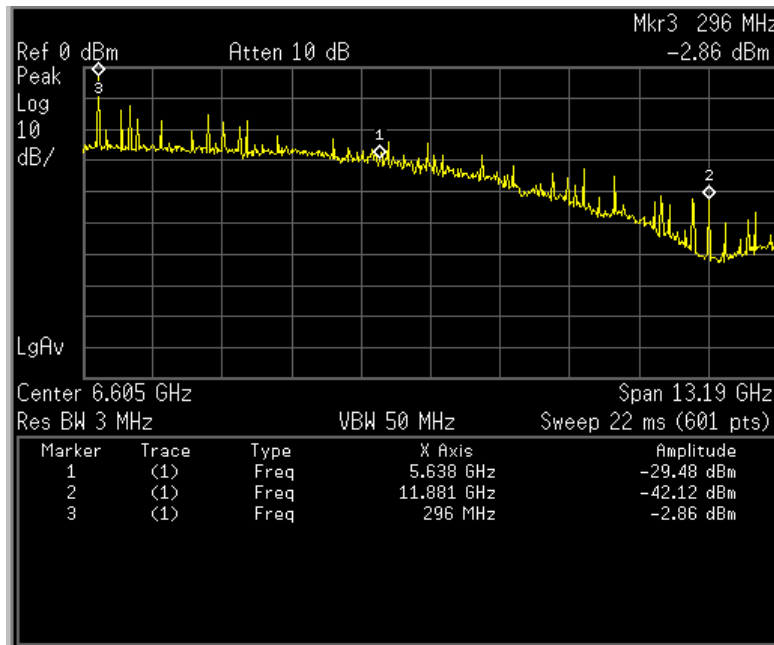


图 2-17. PLL 病态

LMH1239/1229 病态性能：

LMH1239/1229 器件设计用于支持病态视频模式。器件内置了直流漂移校正电路来补偿由 0 和 1 数量不均引起的漂移、偏移或波动。这些器件在不同温度、启动幅度和电缆长度条件下，使用检查场、时钟和 PLL 模式进行了表征。

1. 在使用此 SDI 发生器/分析仪进行病态性能测量时，需要对发生器/分析仪进行校准。例如，在使用 Phabrix 12G SDI QX 系列 SDI 视频生成器/分析仪时，我们需要使用“系统设置”->“驱动程序校准过程”进行校准。
2. 考虑到射频推理，建议在开放装置环境中使用 EVM 时关闭手机或 WiFi。射频噪声干扰可能会引入额外的噪声，从而减小整体电缆长度。
3. 这些测量是使用 B1694A 电缆进行的。使用 5.5CUHD 电缆时，预计电缆长度会增加 20% 至 25%。
4. 在这些测量中，SDI_OUT 被禁用。

表 2-1. LMH1239 在不同数据速率下的性能

视频速率	典型 100% 色条长度 (m)	典型的检查场 + PLL + 时钟 + 色条长度 (m)
12G	100	90
6G	150	140
3G	220	220
HD	300	300
SD	600	600

3 结语

总的来说，RP198 是唯一讨论 3G 和 HD 病态规范的 SMPTE 规范。在 SD 数据速率下，并没有定义直流漂移限值。有些测试设备能够在 SD 下产生超过 150mV 的直流漂移。SMPTE 规定了所有速率（SD 速率除外）下的直流漂移最大值为 50mV。12G SDI 病态模式是手动创建的。LMH1239/1229 是最新一代的长距离电缆均衡器，旨在支持 12G 和更低速率的病态视频模式，包括直流漂移超过 150mV 的 SD 病态视频模式。

4 参考资料

- Brown, [Motion Imaging Journal](#), 2011.

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司