

一种因光纤漂移引起 SERDES FIFO 溢出的解决方案

李俊明

摘要

分布式基站系统中，RRU 通常会通过光纤拉远实现与 BBU 的远程互联。由于光纤自身的特性，传输过程中必然会引入抖动和漂移；尤其是漂移，因其低频特性，并且难于滤除，在 SERDES 的 FIFO 深度不够的情况下有可能会造成 FIFO 的溢出。

本文首先会对这个问题进行一般性地分析，在此基础上我们将以德州仪器公司 10G SERDES 器件 TLK10002 为例，提出一个新的解决方案，即采用双时钟模式提供 SERDES 系统时钟，并且探讨了这种模式的具体实现方式。同时，为了验证双时钟方案的可行性，我们搭建了相应的测试平台，并给出了相应的测试结果。

目录

1 光纤漂移引起的 SERDES FIFO 溢出问题分析	2
1.1 漂移及漂移形成的原因.....	2
1.2 漂移引起的 SERDES FIFO 溢出问题分析	2
2 BBU SERDES 双系统时钟方案及具体实现	3
2.1 TLK10002 内部时钟架构.....	3
2.2 TLK10002 双时钟系统方案	4
2.3 双系统时钟方案的具体实现.....	5
3 双系统时钟方案实际测试	6
3.1 测试设置	6
3.2 实测结果.....	6
4 结论	8
5 参考文献	9

图表

图 1 BBU/RRU 系统级联方案	2
图 2 TLK10002 内部时钟架构	4
图 3 TLK10002 双系统时钟方案	5
图 4 采用双时钟方案构建 BBU SERDES 系统	5
图 5 TLK10002 双时钟系统方案测试设置	6
图 6 TLK1002 串行输入信号眼图	7

图 7 TLK10002 CDR 输出相噪..... 7
 图 8 LMK04808 输出相噪 8
 图 9 TLK10002 发射通道输出眼图 8

1 光纤漂移引起的 SERDES FIFO 溢出问题分析

1.1 漂移及漂移形成的原因

漂移是一个数字信号的有效瞬时 在时间上偏离其理想位置的，非累计性的偏离。所谓的“长期的偏离”是指偏离随时间较慢的变化，通常认为变化频率低于 10Hz 就属于较慢的变化。

实际数字信号存在的相位噪声，抖动时相位噪声的高频成分，漂移是相位噪声的低频成分，工程中以 10Hz 来划分高、低频。产生这两种频率成分的机理有所不同。产生低频成分，也就是产生漂移的主要原因是传输媒质和设备中传输时延的变化，例如光纤白天受热变长，时延增加，信号迟到，相位滞后；光纤夜间受冷变短，时延减少，信号早到、相位超前。产生高频成分，也就是产生抖动的主要原因是内部噪声引起的信号过零点随机变化，例如振荡器输出信号的相位噪声，数字逻辑开关时刻的不确定性等。

漂移不会直接导致传输产生误码，因为传输设备的恢复时钟电路能跟踪相位的慢变化。漂移幅度变化虽慢，但长期累积幅度可能高达 1000UI^[3]。

1.2 漂移引起的 SERDES FIFO 溢出问题分析

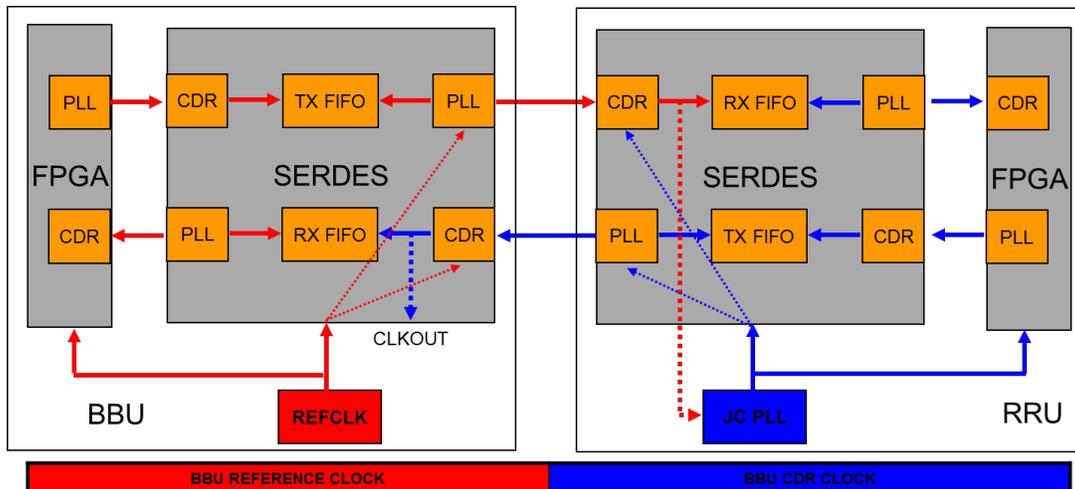


图 1 BBU/RRU 系统级联方案

一个典型的 BBU 和 RRU 系统级联方案如图 1 所示，在 RRU 一侧，由于 JC PLL（主时钟芯片）会自动跟踪输入的串行数据流，当输入频率发生变化时，JC PLL 会调整输出频率以匹配输入频率的变化。在这个跳变瞬间，如果 SERDES 的 FIFO 的读写速率可能不一致，导致 FIFO 的冲突，从而造成溢出。但是，通过选择跳变速度足够快的 JC PLL，这种溢出是完全可以避免的，而一旦 JC PLL 锁定到输入数据流，FIFO 读写工作在同一速率，就不会存在溢出问题。

在 BBU 一侧，值得注意的是时钟信号的抖动，尤其是漂移引起的 FIFO 溢出。如果这种漂移来自于 BBU 自身的参考时钟，由于输入数据速率是与 BBU 速率匹配的，不会造成任何问题；但是，如上节所阐述的，光纤的温漂等特性有可能引入新的漂移，如果 RX FIFO 两侧工作在不同的时钟域，这种光纤引入漂移会造成 SERDES 内部 FIFO 的碰撞，FIFO 自身的深度如果不足以吸收这种碰撞，就会引起 FIFO 溢出。

2 BBU SERDES 双系统时钟方案及具体实现

2.1 TLK10002 内部时钟架构

TLK10002 是德州仪器公司推出的双通道 10G SERDES 芯片，它可以支持目前所有的 CPRI 和 OBSAI 速率，从 1.2288Gbps 到 9.8304Gbps，因而特别适合无线基站的应用。

TLK10002 内部的时钟架构如图 2 所示，它的 A/B 通道可以通过 REFCLK0P/N 或者 REFCLK1P/N 管脚来提供参考时钟，这两个参考时钟的选择可以通过 MDIO 或者 REFCLKA_SEL 和 REFCLKB_SEL 管脚来实现。

高速侧 SERDES 的 CDR 主要用于从输入串行数据中恢复时钟信号，恢复的时钟信号从 CLKOUTAP/N 和 CLKOUTBP/N 输出。输出信号频率有多种选择：通过寄存器配置，用恢复时钟频率除以 1, 2, 4, 5, 8, 10, 16, 20, 或者 25 均可。

对于每个通道而言，高速侧 SERDES 和低速侧 SERDES 可以工作在一个时钟域，即两者使用同一参考时钟；同时，TLK10002 也提供了另外一种时钟模式，即高速侧 SERDES 和低速侧 SERDES 使用不同的参考时钟，这种情况下，高速侧锁相环和低速侧锁相环会工作在不同的时钟域。

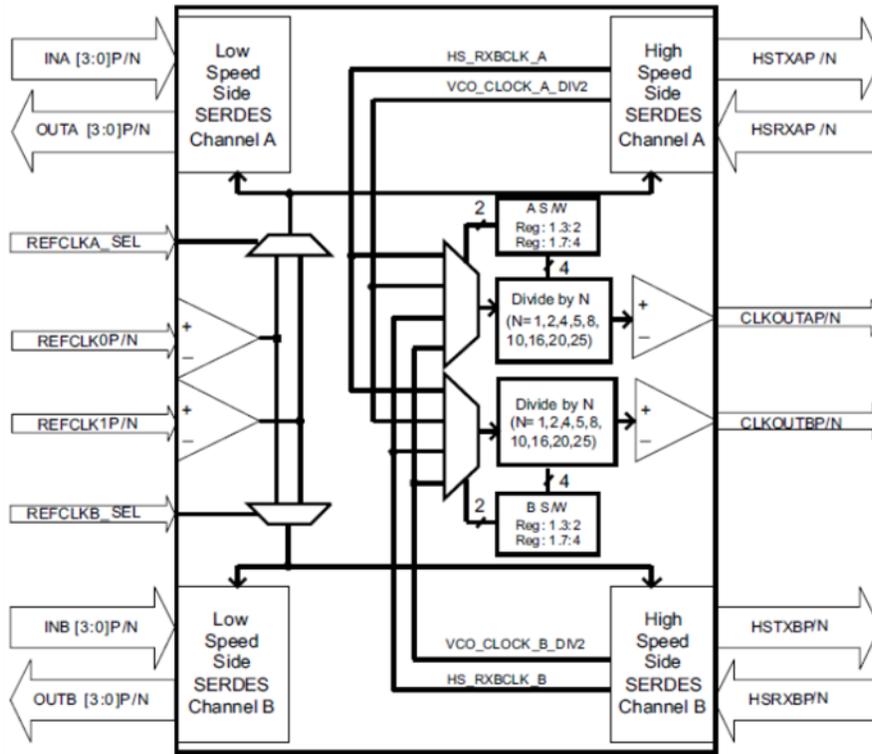


图 2 TLK1002 内部时钟架构

2.2 TLK1002 双时钟系统方案

基于双时钟 TLK1002 构建的系统级联方案如图 3 所示。在这种方案中，TLK1002 高速侧 SERDES 和低速侧 SERDES 采用不同的参考时钟。

在 BBU 一侧，高速侧锁相环采用本地的参考时钟，一旦高速侧锁相环锁定，并且 BBU 和 RRU 之间建立稳定的链路，BBU 一侧 TLK1002 的 CDR 会有稳定输出，这个输出给 BBU 上的 Jitter Cleaner 提供参考输入。一旦 Jitter Cleaner 正常锁定，它的输出又会作为低速侧锁相环的参考输入。

采用这种配置，由于 SERDES 本身可以处理最高 200ppm 的频率偏移，发射和接收通道的速率是完全相互独立的。这样，FIFO 的两侧完全工作在同一时钟域，FIFO 就不会存在溢出的风险。在这种情况下，FIFO 仅仅用来吸收不同时钟之间的相位偏移和补偿 jitter cleaner 的跟踪能力。

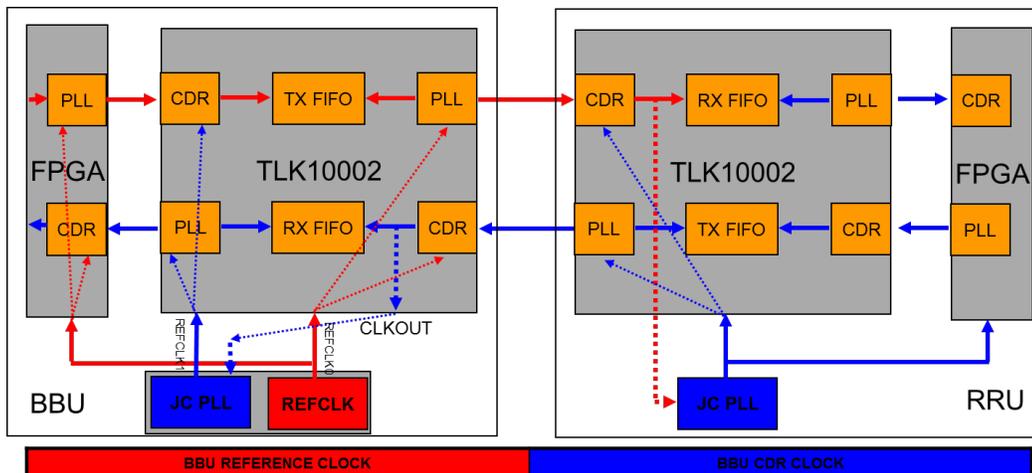


图 3 TLK10002 双系统时钟方案

2.3 双系统时钟方案的具体实现

以 BBU 一侧为例，双系统时钟方案具体实现方式如下图 4 所示。在这个方案中，由于 LMK04808 具有超低相位噪声特性，我们使用它作为抖动消除器。

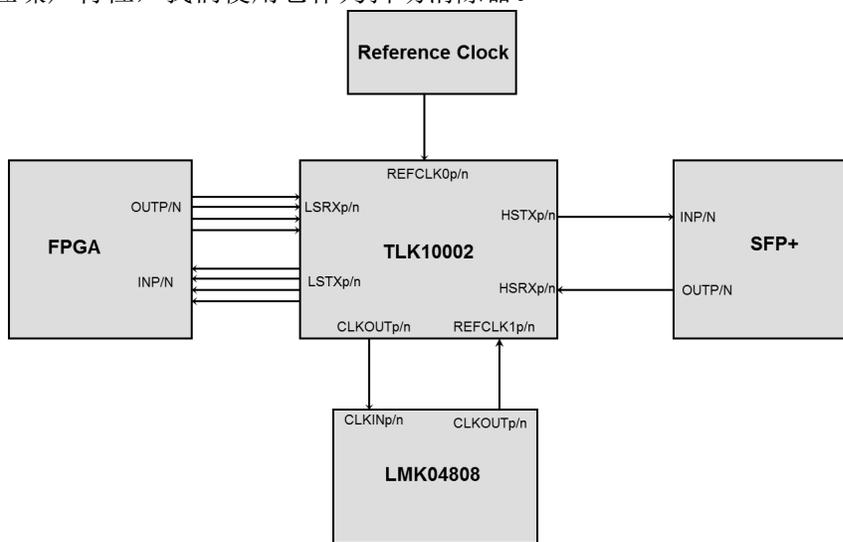


图 4 采用双时钟方案构建 BBU SERDES 系统

对图 4 所示的系统，系统配置及操作顺序如下：

- 1) 正常配置 TLK10002 0X00 到 0X0D 寄存器。
- 2) 等待 TLK10002 高速侧锁相环 HS PLL 正常锁定。// 只要本地参考时钟准备就绪，高速侧锁相环即可锁定（此时并不需要建立稳定的 10G 链路）。
- 3) 切换 TLK10002 ENRX：先置为 0，再置为 1。// 使 HS SERDES 自适应链路状况。
- 4) 等待 10ms。// 等待 HS SERDES 设置参数，确保 CDR 为 LMK04808 提供有效的参考时钟。
- 5) 配置 LMK04808 确保其正常锁定。

- 6) 等待 TLK10002 低速侧锁相环 LS PLL 正常锁定。//只要 LMK04808 锁定并且正常输出, LS PLL 就可以正常锁定
- 7) 重启数据通路。//此时, 低速侧和高速侧 SERDES 都具有有效时钟, 重启数据通路可以优化 FIFO 的指针位置和触发低速侧 Lane 重新对齐

3 双系统时钟方案实际测试

3.1 测试设置

TLK10002 双系统时钟方案测试设置如图 5 所示。J-BERT 用来产生 9.8304Gbps 的 PRBS7 测试信号, 在这个信号上会加载 45ps 的宽带随机抖动; VXI Clock Generator 用于产生 122.88MHz 的本地时钟, 作为 TLK10002 高速侧锁相环的参考时钟; LMK04808 作为本地的 Jitter Cleaner, 采用 LMK04808 评估板默认的配置, TLK10002 CDR 输出 122.88MHz 信号作为 LMK04808 参考输入, LMK04808 输出的 122.88MHz LVPECL 信号作为 TLK10002 低速侧锁相环的参考时钟; TLK10002 配置成 9.8304Gbps PRBS 测试模式, 发射通道采用默认的设置; 高速示波器用于观测 TLK10002 发射通道输出 9.8304Gbps 高速串行信号。

在 A、B、C、D 四个测试点, 我们将分别测试 TLK10002 串行输入信号眼图、TLK10002 恢复时钟信号相噪、LMK04808 输出信号相噪以及 TLK10002 发射机输出眼图。

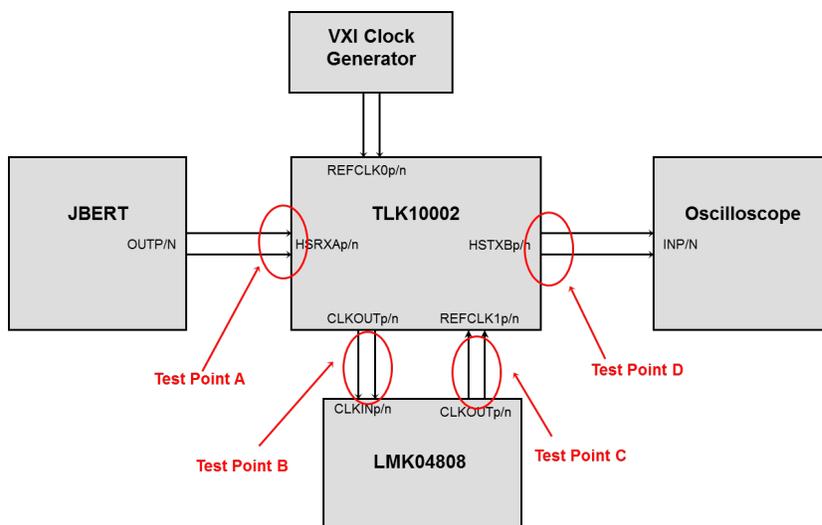


图 5 TLK10002 双时钟系统方案测试设置

3.2 实测结果

TLK10002 串行输入信号眼图如图 6 所示, 它的随机抖动 (R_j) 为 2.98ps, 确定抖动 (D_j) 为 4.23ps, 总的抖动 (T_j) 为 44.98ps, 通常, 这种类型的宽带随机抖动是很难通过均衡来消除的。

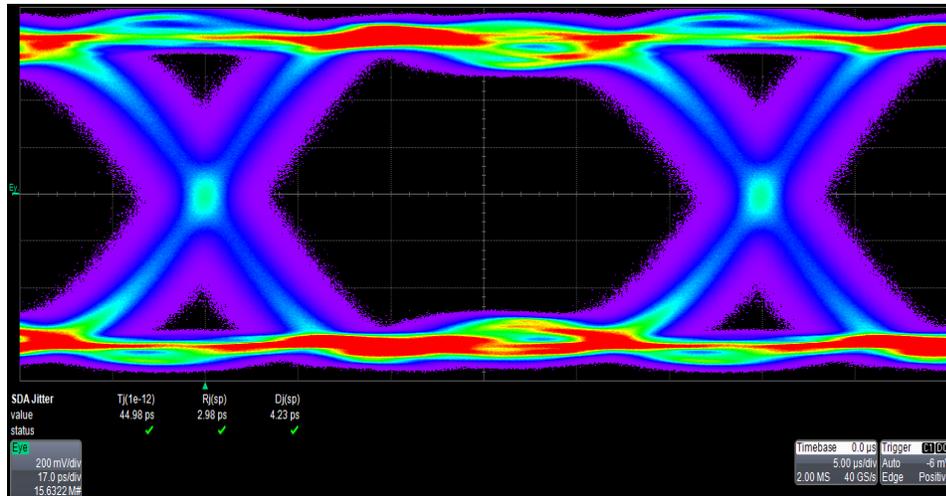


图 6 TLK1002 串行输入信号眼图

TLK10002 恢复时钟输出相噪曲线如图 7 所示，采用图 6 所示的输入信号，TLK10002 的恢复时钟 RMS 抖动为 3.98ps（1KHz~20MHz）。

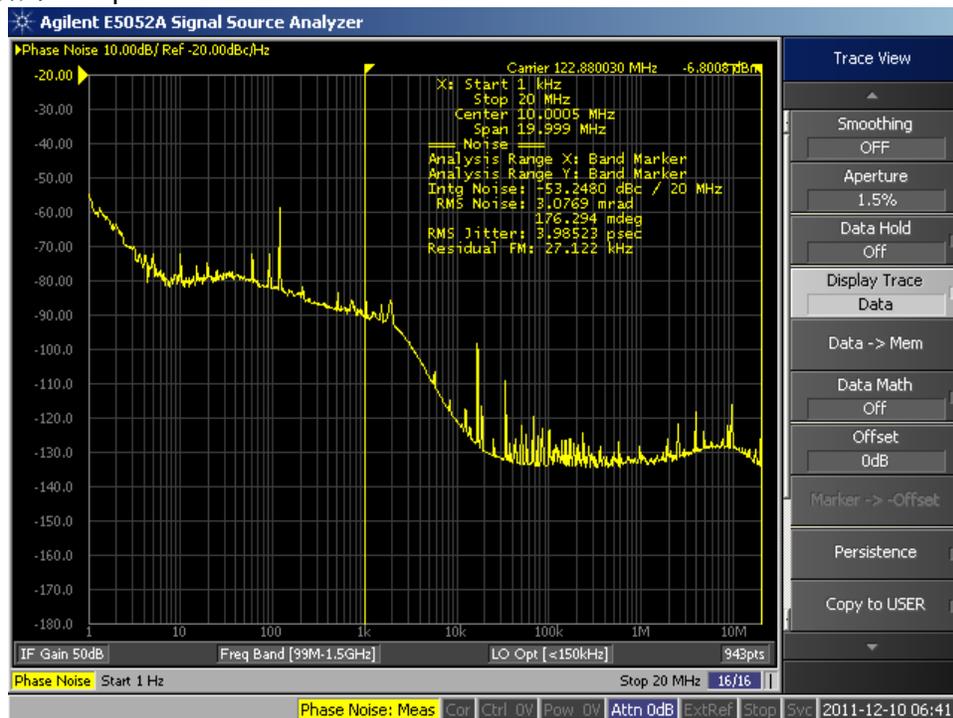


图 7 TLK10002 CDR 输出相噪

LMK04808 输出相噪如图 8 所示，可以看到在通过 Jitter Cleaner（LMK04808）之后，由于 LMK04808 的强劲抖动消除能力，其输出 RMS 抖动仅为 121fs（1KHz~20MHz）。

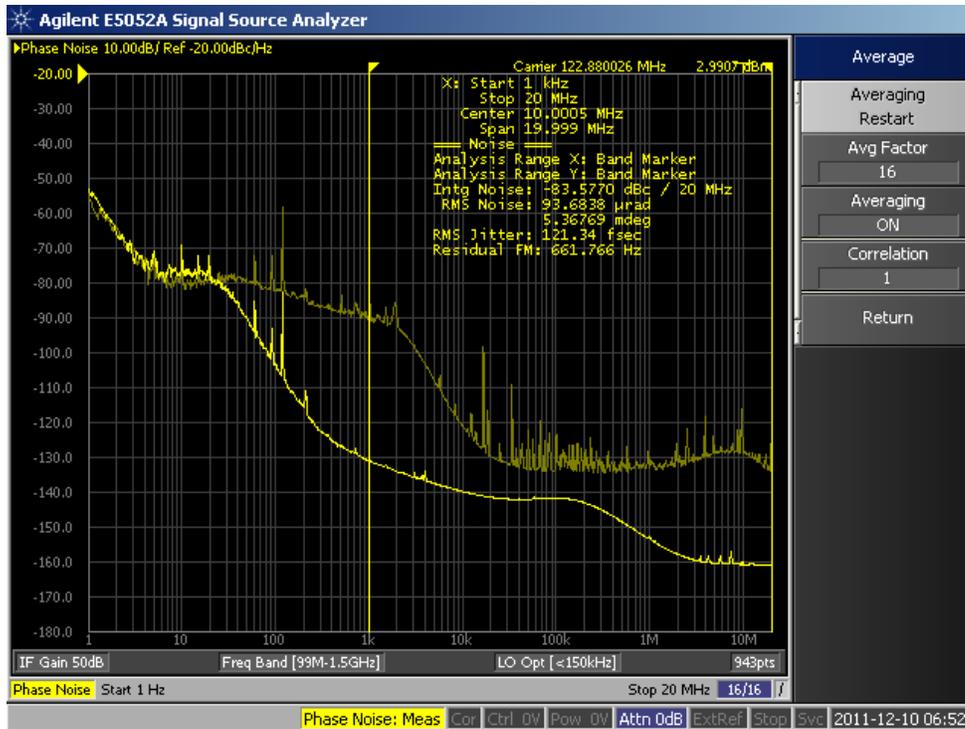


图 8 LMK04808 输出相噪

TLK10002 发射通道输出眼图如图 9 所示，其随机抖动 (Rj) 为 1.02ps，确定抖动 (Dj) 为 5.79ps，总的抖动 (Tj) 仅为 19.6ps，眼图清晰。

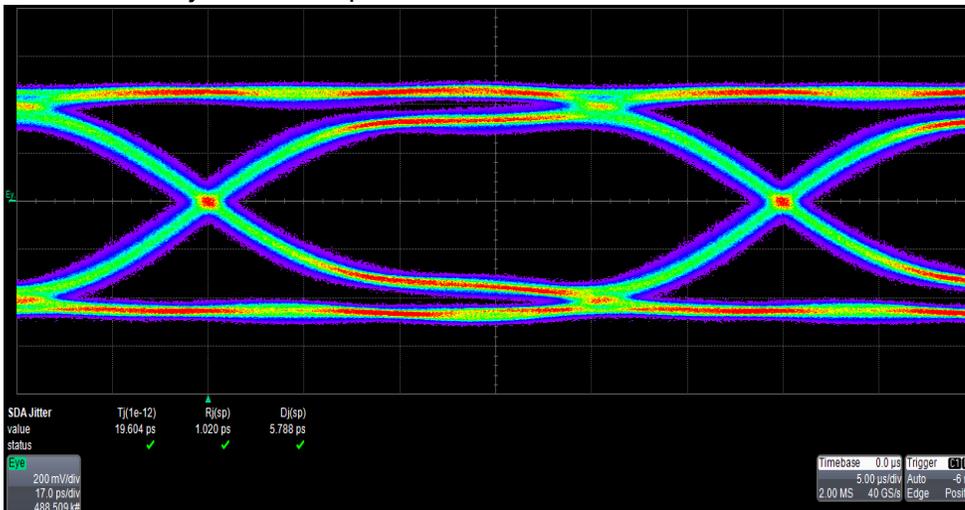


图 9 TLK10002 发射通道输出眼图

4 结论

由上述理论分析和实际测试结果可以清楚地看到由 TLK10002、LMK04808 构建的双时钟系统方案完全可以避免因光纤引入漂移从而导致 SERDES FIFO 溢出的问题；同时，由于发射机眼图主要是由本地参考时钟的相噪决定，采用这种双时钟模式对眼图以及发射机输出噪声性能没有影响。

5 参考文献

[1] TLK10002 Datasheet

[2] LMK04808 Datasheet

[3] 光同步传送网和波分复用系统, 邓忠礼, 清华大学出版社

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP应用处理器	www.ti.com.cn/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity	德州仪器在线技术支持社区	www.deyisupport.com

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122
Copyright © 2013 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司