

DP83640

*Application Note 1730 DP83640 Synchronous Ethernet Mode: Achieving
Sub-nanosecond Accuracy in PTP Applications*



Literature Number: ZHCA334

DP83640同步以太网模式： 在PTP应用中实现次纳秒精度

美国国家半导体公司
应用注释1730
David Miller
2007年9月



1.0 引言

美国国家半导体产品DP83640的独特性能，即100 Mb/s下的同步以太网技术，可在用以太网连接的IEEE1588精密时间协议（PTP）系统之间实现非常精确的同步。采用这种特性，便可工作在要求的网络拓扑约束内，实现PTP应用达到次纳秒级的主从同步精度。同时也能产生一个与主PTP时钟锁定和校准的从结点时钟输出。

本应用注释首先提供了采用同步以太网模式测量主从结点同步所得到的经验结果的总结。然后，提供了与同步以太网模式相关的工作原理和拓扑限制有关的背景信息。接着讨论了典型应用，通过经验数据清楚地解释了采用同步以太网模式的潜在精度。本应用注释适用于下列产品：

DP83640

2.0 测量同步

同步精确性可定义为主时钟计数器和相应的同步从时钟计数器之间的瞬间时差。通过测量在特定时间触发的主信号和由本地同步时钟计数器在相同时间触发的相应从信号之间的时间差，可以确定同步精度。通常，在PTP讨论的上下文中，这些触发信号每1秒发生一次，故定义为平均每秒脉冲，或称之为PPS（秒脉冲）信号。

根据主从同步的精确性，也可直接测量控制PTP计数器的主从PTP时钟输出的相位关系。

在扩展周期内重复进行测量，采集的统计数据可提供主从时钟或者PPS信号之间的平均值、标准偏差和一个最大时间或“峰峰值”差。

当连接从器件并与主器件进行同步时，在主从PTP时钟之间确立一个固定的相位关系。采用在特定时间内积累的统计数据的平均值来测量这种固定的相位关系。这种相位关系变化的程度受到内部PTP计数器的精度限制。在DP83640T器件中，内部PTP计数器（或数字时钟）在125 MHz频率下以8 ns为增量不断更新。因此，固定的相位关系，或者主从器件之间确定的平均值变化范围从+8 ns到-8 ns。主PTP时钟和从PTP时钟之间的物理层双向路径中的任何不对称也会导致额外的变化。

只要维持同步连接，平均值就会保持恒定。然而，当连接断开并重新建立时，就会确定一个新的，采样时钟限制内的固定平均值。

根据本文的用途，用术语“精度”来描述当确立同步时在符合固定平均值的一个主信号和一个从信号之间测得的标准偏差。

3.0 结果总结

在为同步以太网工作配置的点对点PTP系统中，正常条件下在扩展周期内进行的测试表明，主时钟到从时钟的同步可获得优于100 ps的精度，测量的峰峰值小于1 ns。这些结果与同步以太网模式禁止时的类似测试相比大约精确100倍。

经验数据还说明了产生的高达125 MHz的从时钟并将其与PTP主时钟连接的网络锁定和校准的性能。采用一个外部精确时钟器件，例如NSC LMK3000系列的器件，可实现更高的锁频时钟。

还需注意，若使能同步以太网模式，可以消除任何本地参考时钟的不稳定性，因为从PTP时钟被锁定到主时钟上。

4.0 背景介绍

IEEE 1588精密时间协议在主从系统之间提供了网络连接、基于信息包的同步功能。当仅使用纯软件过程时，系统获得的同步精度一般在毫秒数量级。

在PTP使能的点对点连接中使用DP83640提供的硬件主导的优势，有可能实现优于10 ns的同步精度。

此外，使能同步以太网模式，在点对点连接中有可能实现次纳秒级的精度。

为了利用同步以太网模式，网络系统必须符合特定的拓扑约束。为了帮助解释这些限制，一些关键参数，器件的内部时钟结构和网络拓扑要求描述如下。

4.1 重要术语

主结点：主结点是已使能精密时间协议（PTP）的一个网络结点，其包含或传播一个主PTP时钟信号和主PTP计数器数据。

从结点：从结点是已使能PTP的一个网络结点，其包含了一个从PTP时钟和计数器。从结点通常会通过网络连到一个主结点。采用PTP将一个从PTP时钟和计数器同步到一个主PTP时钟和计数器。

PTP 时钟：一个PTP时钟是与PTP计数器锁定的输出时钟信号源。在DP83640中，本地PTP时钟工作在250 MHz，配置时钟用来控制CLK_OUT信号。这种PTP CLK_OUT信号

可被编程为250 MHz PTP时钟的整除频率，整除数范围从2到255（相应频率为125 MHz到0.98 MHz）。

PTP 计数器: PTP计数器包含时间信息，并与PTP时钟锁定。在主结点上，PTP计数器是使用精密时间协议时的数据源，目的是同步PTP从结点中的计数器。PTP计数器的增量值为8 ns。

本地参考时钟: 本地参考时钟用来产生网络流量。本地参考时钟被嵌入到发送的网络信息流，并在接收器结点从网络信息流中恢复。所有以太网物理层器件都采用本地参考时钟源。在DP83640内部的本地参考时钟工作频率为125 MHz。

4.2 关键的配置要求

当网络结点执行PTP从器件功能时，结点必须连到一个对接点（为结点，开关或者转发器）上，提供到主PTP时钟的通路，PTP协议必须被使能并且是活动的。

此外，对接点必须将其本地参考时钟锁频到PTP主时钟上。如果也要求在主从器件之间进行PTP时钟相位对准，PTP主时钟必须与主PTP计数器进行相位对准。（欲知DP83640中输出时钟相位对准的信息，请参考应用注释AN-1729 – “DP83640 IEEE 1588 PTP 同步时钟输出”。）

还有一点也很重要，仅在用作一个从PTP时钟结点的器件中使能同步以太网模式。在主结点中使能同步以太网模式将会产生不希望的结果。

4.3 使能同步以太网模式

仅在指定为从结点的结点上使能同步以太网模式。只要设定PHYCR2扩展页0寄存器的SYNC_ENET_EN位为1（Reg 0x1C:13=1），便可使能同步以太网模式。

4.4 DP83640 时钟结构

DP83640具有几个内部时钟，包括本地参考时钟，一个以太网接收时钟和一个PTP时钟信号源。同时还包括一个内部的PTP数字计数器，以及可以控制数字计数器和PTP时钟速率（频率）的逻辑（参见图1）。

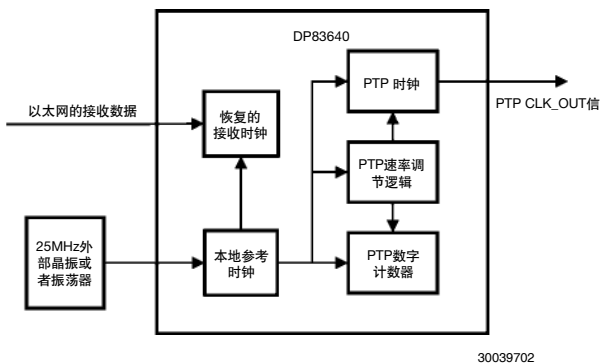


图1. 同步以太网模式被禁止的DP83640内部时钟

一个外部晶振或振荡器对本地参考时钟提供了激励。本地参考时钟成为器件中所有时钟的核心。从接收的以太网数据包数据流中恢复接收时钟，并锁定到对接点中的发送时钟。在正常工作时，利用IEEE 1588 PTP包将从器件中的PTP时钟和计数器与主器件中的PTP时钟和计数器相匹配。通过控制速率调节逻辑可完成这种匹配。

使能同步以太网模式时，将PTP时钟，数字计数器和PTP速率调节逻辑的控制从本地参考时钟切换到已恢复的接收时钟上（参见图2）。这具有将从系统的PTP时钟和计数器锁定到主系统的PTP时钟和计数器的效果。最后，同步精确性会显著增加（参见图3）。

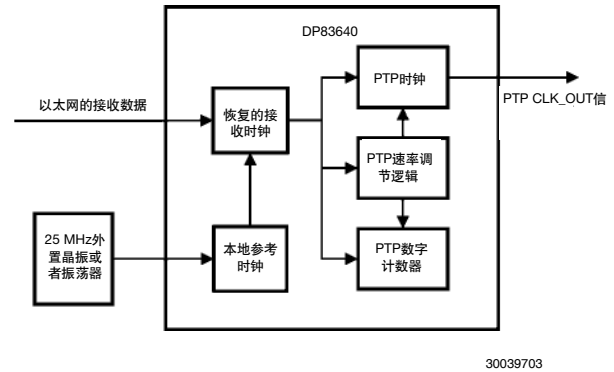
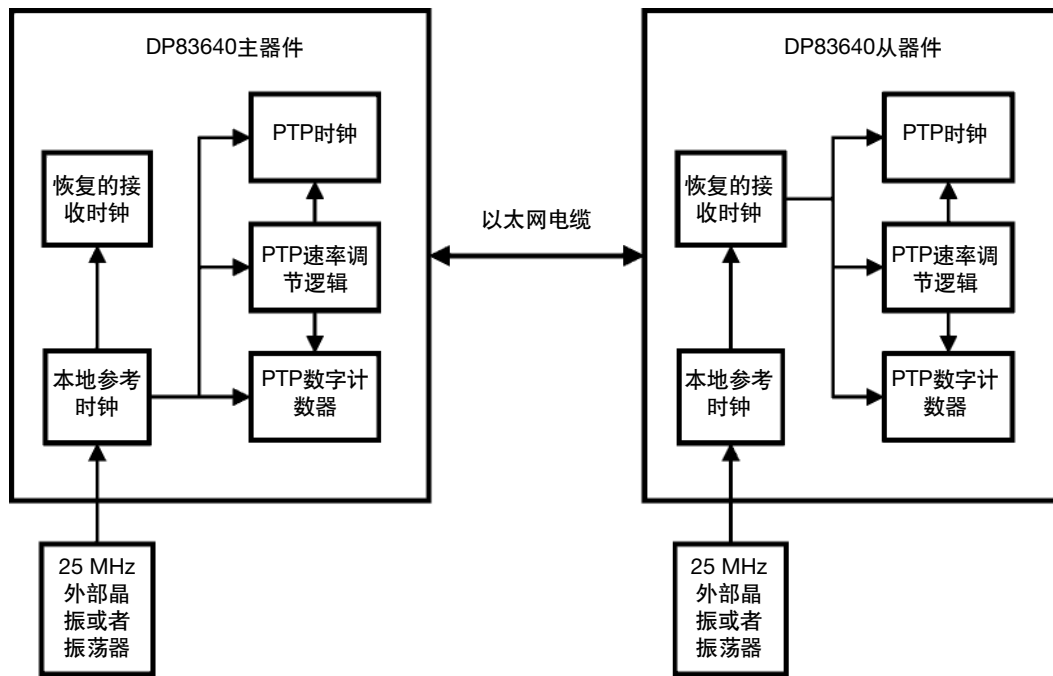


图2. 同步以太网模式被使能的DP83640内部时钟



30039707

图3. 在点对点网络拓扑中同步以太网模式使能的DP83640的工作框图

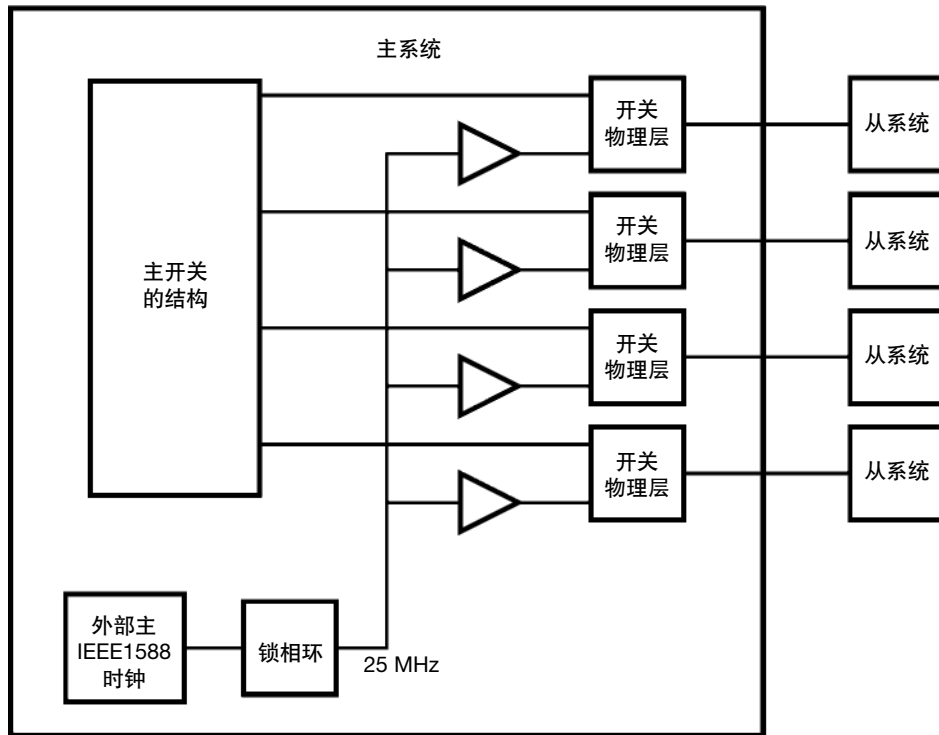
4.5 系统拓扑的考虑

如前所述，为了以同步以太网模式工作，主结点参考时钟必须与主PTP时钟锁定。这是当DP83640本地参考时钟采用PTP数字计数器和PTP时钟时的默认配置。如果在主系统中采用一个外部的PTP时钟源，可以用外部PLL将参考时钟源与外部PTP时钟锁定。

注意到，没有必要为了使附接的DP83640从结点能工作在同步以太网模式而在主PTP时钟结点去利用一个DP83640

器件。将一个外部PTP时钟与任何以太网物理层接口器件（Phy）的参考时钟输入作相位锁定就足够了。

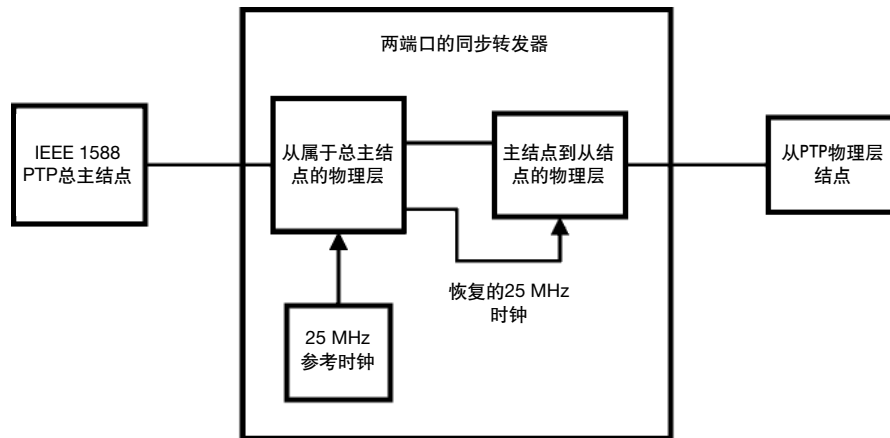
如果利用能将所有以太网通道同步到主PTP时钟的一个多口集线器或者开关结构，便可把多个从器件同步到一个单独的主时钟上。参见图4。



30039708

图 4. 分布式主时钟的开关拓扑结构

类似地，可能会通过开关树状结构传播同步以太网模式工作，其中每个从开关结点将其本身与主网络源同步。（参见图5）



30039709

图 5. 两端口的同步转发器系统

5.0 典型应用

同步以太网模式的一种典型应用是要求非常精确的数据记录仪器。采用图4的分布结点，一个主系统会触发一个激励，例如能量突波，每个从结点可以代表一个精确的仪器或者传感器，能用来测量在精确时间点的激励效果。

此外，有的应用还会要求在本地网络中的几个仪器上传播一个锁定的时钟信号。若在同步以太网模式使能时给定1 ns的

峰峰值精度，采用125 MHz输出时钟可以将几个仪器与采样数据同步触发。采用器件的输出时钟控制外部PLL时钟源，例如美国国家半导体的LMK3000系列器件，可获得更大的频率选择范围。

最后，因为主时钟的频率通过网络传递，当使能同步以太网模式时，本地振荡器的稳定性并不是一个重要的误差来源。

从属结点的稳定性直接取决于其相应PTP连接主结点

的稳定性。因此，不需要特别的环境控制来维持同步精度。采用一个高稳定性的OCXO的从结点将会实现相同于标准25 MHz晶振的精度水平。

6.0 同步测量的设置

如之前所提到的，使用一个示波器来比较主时钟或结点的输出信号与从结点的相应同步信号之间的时延，可测得同步的精确性。典型情况下，主从输出信号连到示波器的输入端。采用主信号来触发示波器，依靠主触发信号来测量从信号时间。

有些示波器有直方图功能。通过累计从结点输出信号的大量采样，可确定从结点到主结点相对同步的统计信

息。在IEEE 1588应用中，一般通过将主器件的一个秒脉冲（PPS）触发输出连接从器件输出的相应PPS信号，来测量同步性能。

使用DP83640能测量同步，可以使用输出触发器（包括一个周期性的PPS输出触发），或者使用实际的PTP时钟信号，可通过对器件的CLK_OUT引脚（引脚24）上的输出编程来实现。参见图6。

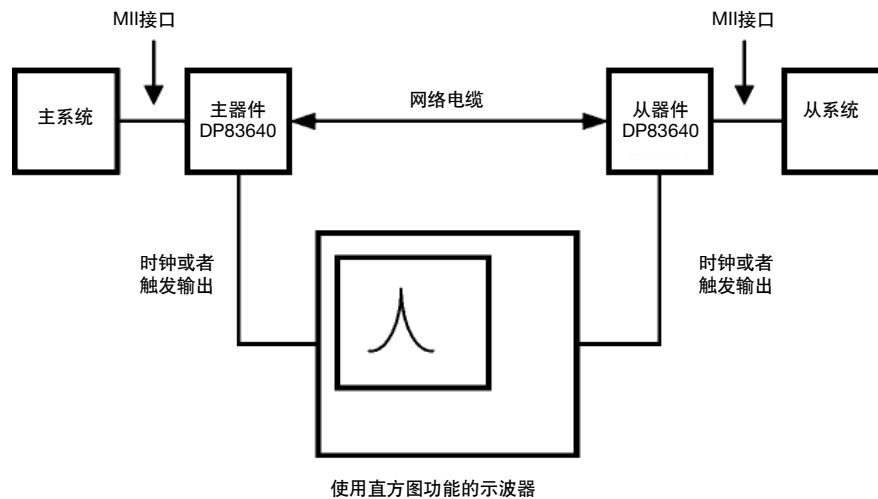


图 6. 同步测量的设置

根据本应用注释的用途，将两个DP83640演示板卡分别用作主从器件来进行测量，采用1米电缆进行连接。主器件采用OCXO 25 MHz参考时钟源。从器件采用OCXO和晶振，以此表明同步以太网模式提供了对于本地温度/频率不稳定性的抗干扰性能。在25 °C室温和3.3 V的VCC等正常条件下进行测量。采用了Tektronix 784C示波器。

7.0 测量结果

表1总结了在正常条件下同步数据的长时间（几个小时）累计。统计数据代表了主示波器触发信号和相应的从信号在扩展周期内测量的时间。在数据表中每行的相关直方图也用附加的示波图表示出来。

为了进行比较，在表1（图7）中的测试编号1代表了同步以太网模式禁止时采集的同步数据。主从器件利用非常稳定的OCXO参考时钟源测量数据。可以看到，当以主时钟为参考时，测量捕捉到的从时钟分布的标准偏差约为5 ns，最大峰峰值约为48 ns。

测试编号2（图8）表示了同步以太网模式禁止时在相同配置中采集的数据，但是将晶振作为一个从参考时钟源来比

较。可以发现，在测量的最大峰峰值约为119 ns时，标准偏差几乎倍增到约9.5 ns。如果最大峰峰值结果大于100 ns，就不可能得到一个稳定的10 MHz信号直方图迹线，所以会采用1 MHz时钟输出信号来代替。

作为对比，测试编号3（图9）显示了当使能同步以太网模式时标准偏差约为80 ps，此时峰峰值测量约为900 ps。测得的精度比采用同步以太网模式禁止时的相应数据高出50倍以上（测试编号1，图7）。

测试编号4（图10）显示了同步以太网模式使能时在相同配置下测试的数据，但再次使用了晶振作为从参考时钟源以进行比较。以大约77 ps的标准偏差和大约700 ps的峰峰值，很清楚地阐明了同步以太网模式提供的对本地时钟不稳定性的抗干扰能力。与以太网模式禁止下的参照数据相比，精度高出约100倍以上。

测试编号5 (图11) 可将代表10 MHz CLK_OUT信号的数据与代表秒脉冲触发输出同步的数据作比较。数据表明, 当标准偏差与类似的10 MHz CLK_OUT数据 (测试编号3) 可比拟时, 测得的数据峰峰值加倍到约2 ns。

最后, 测试编号6 (图12) 表明标准偏差约为79 ps, 最大幅值约为760 ps时, 125 MHz主时钟到从时钟输出的性能与10 MHz条件下的性能可比拟。

表 1. 同步输出测试结果

测试编号	同步以太网使能状况	主参考时钟	从参考时钟	测试输出	平均值	标准偏差	峰峰值	参考图
1	禁止	OCXO	OCXO	10 MHz CLK_OUT	-2.148 ns	5.237 ns	48.3 ns	图7
2	禁止	OCXO	晶振	1 MHz CLK_OUT	-543 ps	9.537 ns	119.25 ns	图8
3	使能	OCXO	OCXO	10 MHz CLK_OUT	319 ps	80.6 ps	900 ps	图9
4	使能	OCXO	晶振	10 MHz CLK_OUT	784 ps	77.5 ps	700 ps	图10
5	使能	OCXO	OCXO	1 Pulse Per Second Trigger Out	1.005 ns	82.8 ps	2.02 ns	图11
6	使能	OCXO	OCXO	125 MHz CLK_OUT	667 ps	78.7 ps	760 ps	图12

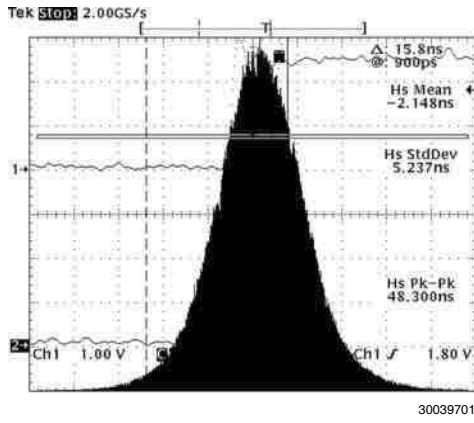


图 7. 同步以太网模式禁止, 主到从同步的 10 MHz CLK_OUT 信号

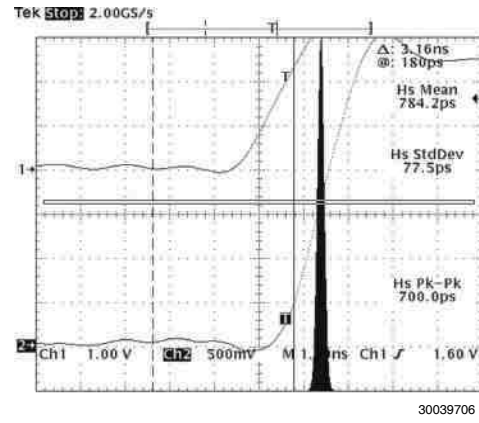


图 10. 同步以太网模式使能, 使用晶振从参考时钟 主到从同步的10 MHz CLK_OUT 信号

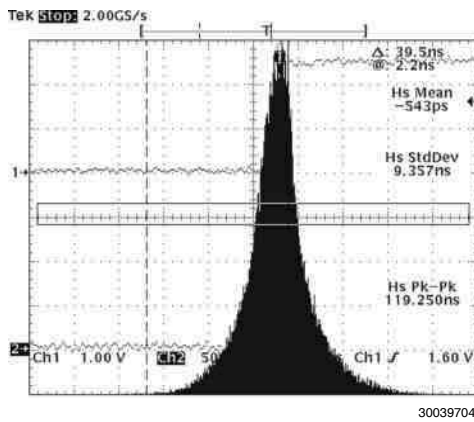


图 8. 同步以太网模式禁止, 使用晶振从参考时钟, 主到从同步的1 MHz CLK_OUT 信号

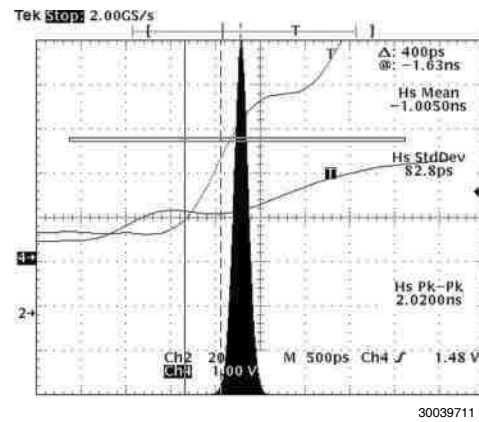


图 11. 同步以太网模式使能, 主到从同步的秒脉冲触发输出

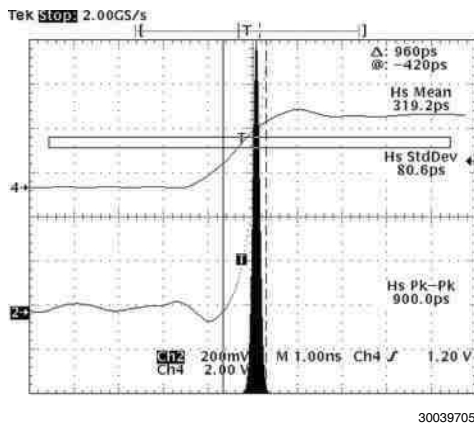


图9. 同步以太网模式使能, 主到从同步的 10 MHz CLK_OUT 信号

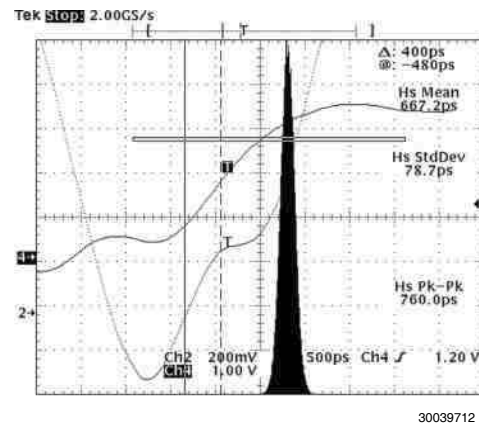


图 12. 同步以太网模式使能, 主到从同步的 125 MHz CLK_OUT 信号

8.0 结论

通过提供的经验数据，能清楚地说明美国国家半导体DP83640的同步以太网模式特性的优点。可以看到，同步以太网模式使能与同步以太网模式禁止时在类似配置下得到的结果相比，精度可提高100倍以上。

对于要求记录数据达到次纳秒级精度的任何应用而言，在PTP使能的网络环境中，同步以太网模式是很有用的。

同步以太网模式对于网络链路上主时钟源需要精密锁定扩展的应用，或者在同步从系统须与本地参考时钟的不稳定性影响相隔离的应用中也很有用。

在显著改善精度时，为了正确应用同步以太网模式，必须满足要求的网络拓扑限制。这些限制包括将主PTP时钟对主物理层时钟的相位锁定，以及在锁频网络链路上，将锁相的主PTP时钟结点和从PTP时钟结点直接相连。

注释

注释

对于上述任何电路的使用，美国国家半导体公司不承担任何责任且不默示任何电路专利许可。美国国家半导体公司保留随时更改上述电路和规格的权利，恕不另行通知。
想了解最新的产品信息，请访问我们的网址：www.national.com。

生命支持策略

未经美国国家半导体公司的总裁和首席律师的明确书面审批，不得将美国国家半导体公司的产品作为生命支持设备或系统中的关键部件使用。特此说明：

1. 生命支持设备/系统指：（a）打算通过外科手术移植到体内的生命支持设备或系统；（b）支持或维持生命，依照使用说明书正确使用时，有理由认为其失效会造成用户严重伤害。
2. 关键部件是在生命支持设备或系统中，有理由认为其失效会造成生命支持设备/系统失效，或影响生命支持设备/系统的安全性或效力的任何部件。

禁用物质合规

美国国家半导体公司制造的产品和使用的包装材料符合《消费产品管理规范（CSP-9-111C2）》以及《相关禁用物质和材料规范（CSP-9-111S2）》的条款，不包含CSP-9-111S2限定的任何“禁用物质”。
无铅产品符合RoHS指令。



National Semiconductor
Americas Customer
Support Center
Email: new.feedback@nsc.com
Tel: 1-800-272-9959

National Semiconductor
Europe Customer Support Center
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Support Center
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Customer Support Center
Fax: 81-3-5639-7507
Email: jpn.feedback@nsc.com
Tel: 81-3-5639-7560

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时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, 并有权随时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 保证其所销售的硬件产品的性能符合TI 标准保修的适用规范。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。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品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 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的TI 知识产权中授予的直接或隐含权限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, 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。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 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在关键安全应用中使用其产品及TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

可访问以下URL 地址以获取有关其它TI 产品和应用解决方案的信息:

	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/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com/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 机动性处理器	www.ti.com/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 © 2011 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司