

# 采用MIPI M-PHY和UniPro实现UFS节能

2017年5月

## 作者

**Ramesh Hanchinal**  
主管工程师,  
Synopsys

## 摘要

JEDEC通用闪存 (UFS) 已经成为当今高端智能手机和平板电脑首选的移动存储标准, 原因在于该规范相对于其他现有解决方案的性能和功耗优势。这些优势对于满足最终用户对更高响应能力和更多增强型能力的要求至关重要。例如, 最终用户希望大量文件和其他操作中, 在几秒内完成收发高分辨率照片和视频。

在达到预期性能的同时, 保持低功耗, 成为移动存储IC设计人员面临的主要挑战。UFS的设计, 旨在帮助客户克服这一挑战, 因为它在物理互连层采用了MIPI M-PHY规范, 并在数据传输 (或链路) 层采用MIPI UniPro规范。MIPI M-PHY为电迁移控制提供了双速模式, 并提供了低延时, 支持最低待机功耗, 而UniPro提供了可靠的高速通信和低功耗运行。为了节约更多能耗, JEDEC UFS标准在低速 (LS-MODE) 和Hibernate (HIBERN8) 模式下采用参考时钟门控。(见图1)

本白皮书简要列出了UFS以及MIPI M-PHY和UniPro规范的优点, 并且介绍如何通过UFS实施过程中确定参考时钟门控的最安全时间, 从而实现节省更多功耗。

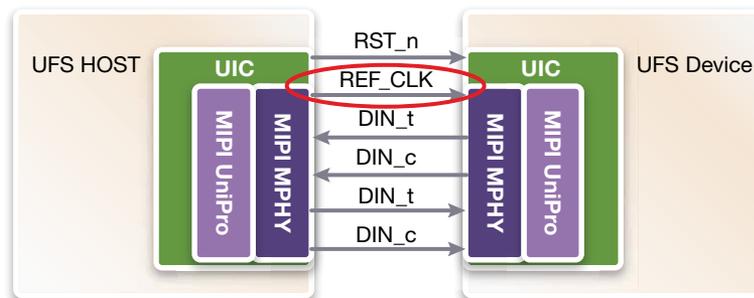


图1: UFS主机与设备互连举例

## JEDEC UFS、MIPI UniPro和MIPI M-PHY简介

JEDEC UFS是高端智能手机和平板电脑中的嵌入式大容量存储设备的理想选择。它在处理器之间采用串行接口，用于实现UFS主机，控制UFS设备。如图2所示，UFS从上至下包含多个分层：

- ▶ UFS命令集 (UCS) 层 (也称为应用层)：处理UFS使用的小型机系统接口 (SCSI) 命令
- ▶ UFS传输协议 (UTP) 层：执行更高层UFS协议信息单元 (UPIU) 命令的生成和处理
- ▶ UFS InerConnect (UIC) 层：处理UFS主机与设备间的连接，其中包含针对链路层的MIPI UniPro和针对物理层的MIPI M-PHY。UIC层提供了UIC IO控制服务接入点 (UIO\_SAP)，与UniPro中的设备管理实体 (DME)\_SAP相对应

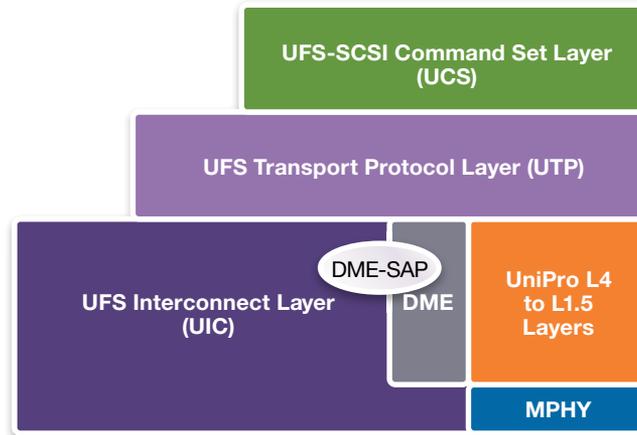


图2: UFS分层架构 (资料来源: MIPI联盟)

MIPI UniPro包含四层 (图3)，称为UniPro堆栈：设备管理实体 (DME)、传输 (L4)、网络 (L3) 数据 (L2) 和PHY适配器 (L1.5)。物理适配器层(L1.5)通过参考M-PHY模块接口 (RMMI) 与MIPI M-PHY (L1) 连接。UniPro用于在四层内进行点对点通信，以帮助维持链路可靠性，并使通信保持较高的抽象等级。物理层 – MIPI M-PHY – 通过多种电源模式提供了高带宽、低引脚数和低功耗，而且通过RMMI与UniPro接口。

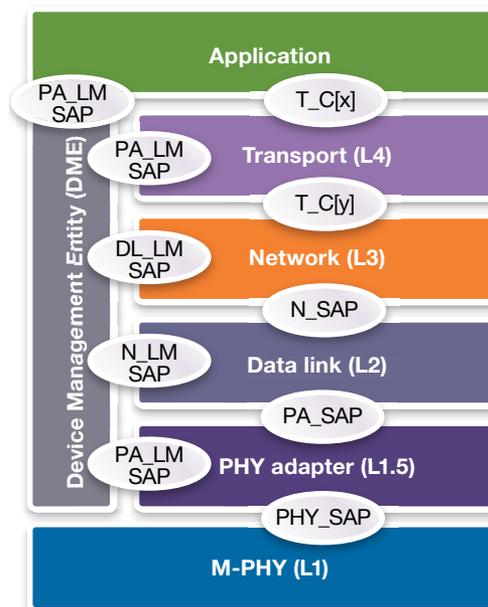


图3: UniPro堆栈包含四个主要层次架构 (资料来源: MIPI UniPro)

MIPI M-PHY和UniPro支持多种工作模式和低功耗模式 – 猝发模式、低速模式 (LS-MODE)、高速模式 (HS-Mode)、睡眠、停止和hibern8 – 使UFS能够实现高速数据传输和低功耗。例如，UFS可以将M-PHY置于hibern8模式而达到节能的效果，并且可以对M-PHY的参考时钟进行门控，以实现进一步节能。表1定义了M-PHY和UniPro支持的每种模式。

模式	定义
HS_MODE	针对高速传输的M-PHY运行模式
LS_MODE	针对低速传输的M-PHY运行模式
Hibern8	最深的低功耗状态，而不丢失配置信息
睡眠	低速模式下的节能状态
停止	高速模式下的节能状态

表1: MIPI M-PHY和UniPro支持多种模式

在HS\_MODE或LS\_MODE模式下，采用睡眠或停止等低功耗模式，短时进入低功耗模式并快速退出至猝发模式，这允许UFS实现比前代移动存储更低的总体系统功耗。

## UFS实施中的参考时钟门控

为了优化功耗设计，设计人员持续探索不同的技术，例如参考时钟门控。JEDEC UFS标准版本2.1第6.4节描述UFS设备的参考时钟门控如下：

在两个SUB-LINK已送达，并且运行于以下一种M-PHY的状态时，不需要使用参考时钟，而且可以将其关闭：

- ▶ LS-MODE (LINE-CFG、SLEEP或PWM-BURST状态)
- ▶ Hibern8状态

在初始状态，从LS-MODELINE-CFG或SLEEP或者从HIBERN8状态过渡到STALL状态之前，参考时钟应打开并稳定运行。

根据这一描述，一旦链路进入睡眠模式，UFS主机就可以不再使用参考时钟。（见图4）

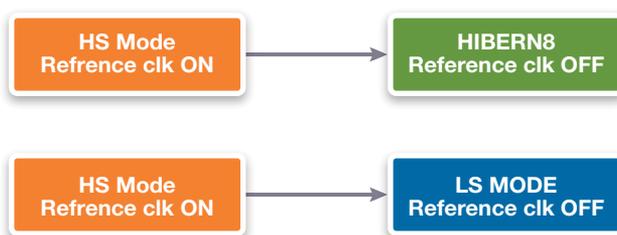


图4: 链路状态过渡和参考时钟的状态

睡眠模式是在两次猝发之间使用的节能状态，这是界定HEAD-OF-BURST (HoB) 和TAIL-OF-BURST (ToB)的8位至10位编码数据传输产生的结果。HEAD-OF-BURST在高速模式下包含PREPARE和SYNC模式，在低速模式下包含PREPARE。TAIL-OF-BURST在高速模式下包含针对20单位间隔的DIF-N（负差分线路电压），而在低速模式下包含(9+10N)PWM-b0 +PWM-b1位模式。N指本地M-TX的TX\_PWM\_BURST\_Closure\_Extension属性代表的信号整数。图5显示HS MODE和LS MODE中的猝发结构。

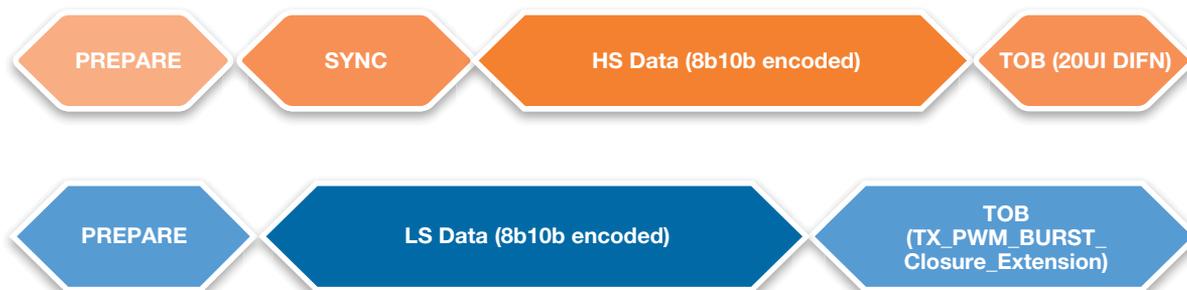


图5: HS\_MODE和LS\_MODE下的猝发结构

UFS主机采用MIPI UniPro V1.61规范, 该规范提供了服务接入点 (SAP), 用于DME\_POWERMODE.req() 和 DME\_POWERMODE.ind() 等事件的通信, 从而定义功耗模式更改流程。UFS主机发布DME\_POWERMODE.req(), 配置从HS\_MODE到LS\_MODE的链路, 并且等待接收DME\_POWERMODE.ind() 事件。一旦收到带有PowerChangeResultCode - PWR\_LOCAL的DME\_POWERMODE.ind(), UFS主机就可能对参考时钟进行关断, 因为UFS主机仅了解LS\_MODE模式下的链路状态。然而, 这个时间对于UFS主机关断参考时钟来说, 可能不是一个安全的时间, 因为UFS设备可能仍然在向LS-MODE过渡, 并且需要参考时钟。此处, PowerChangeResultCode - PWR\_LOCAL指出模式的更改, 是由于UFS主机发起了功耗模式更改。

图6显示了MIPI UniPro v1.61规范中的功耗模式更改流程的简化版本。UFS设备UniPro引发的ATX\_Burst停止 (红色轮廓和箭头所示) 导致UFS主机UniPro侧RX\_Burst停止, 促使其发布DME\_POWERMODE.ind(PWR\_LOCAL)。然而, 接收DME\_POWERMODE.ind(PWR\_LOCAL)的UFS主机无法保证M-PHY 串行通道处于SAVE状态, 串行通道有可能仍然在切换, 因为设备M-TX可能传输TOB。因此, UFS主机必须在对参考时钟进行门控之前识别这一事件。

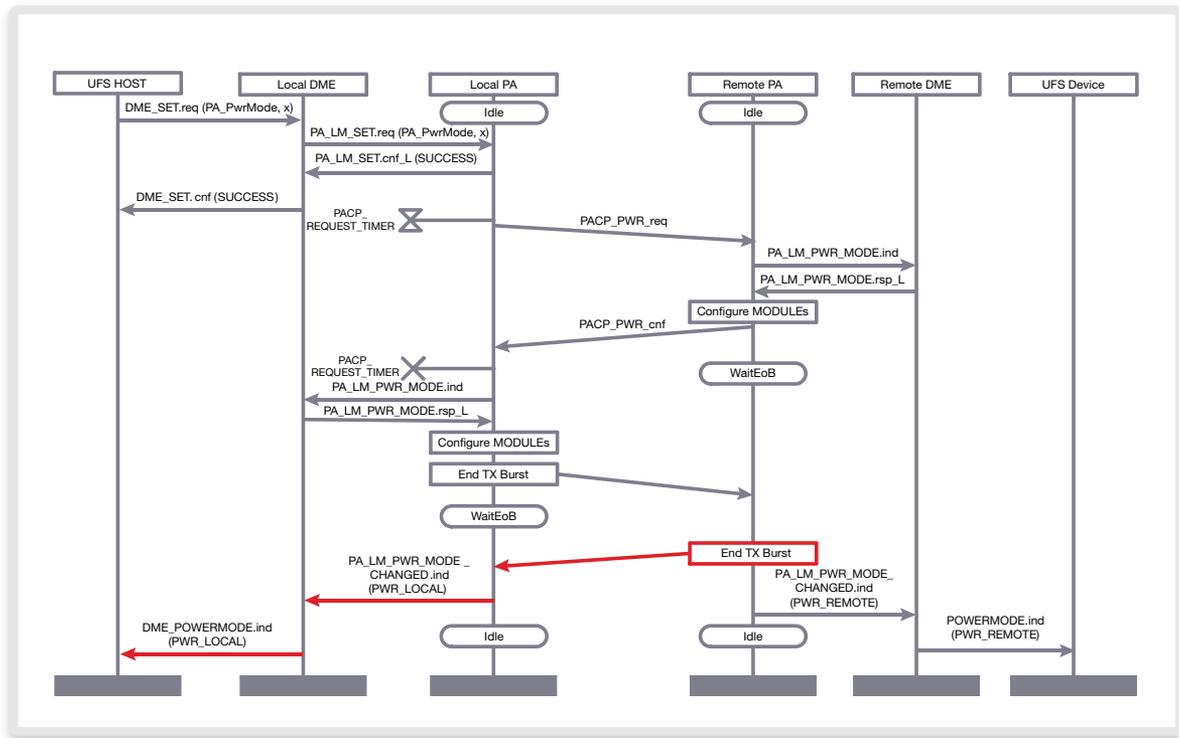


图6: 采用PACP\_PWR\_req和PACP\_PWR\_cnf进行功耗模式更改 (资料来源: MIPI联盟)

一旦设备M-TX传输了TOB, UniPro就启动SaveConfigTime定时器; 因为在TOB之后, M-TX和M-RX都进入SAVE状态。要确定M-TX 和M-RX进入SAVE状态, UniPro需分别检查M-PHY的TX\_SaveState\_status\_N和RX\_CfgRdyN端口。

根据M-PHY和UniPro规范, 最大重新配置时间或SaveConfigTime是10微秒。在这一时间内, 重新配置触发 (RCT) 事件在10微秒内的不同时间戳在主机M-PHY和设备M-PHY内发生。结果, 在TOB之后, UFS主机需要考虑下一个10微秒的SaveConfigTime时间段。

## M-PHY低速模式下的参考时钟

在LS\_MODE下没有参考时钟的情况下, M-PHY可以继续保持运行, 因为MIPI M-PHY规范v3.1中没有做出定义。然而, M-PHY可能考虑了某些时间段的参考时钟可用性, 即使是在从HS\_MODE过渡到LS\_MODE之后。因此, UFS主机在对参考时钟进行关断之前, 需要考虑这个时间段。

## UFS主机对参考时钟进行关断的最佳时间

如上文所述，鉴于以下原因，UFS主机不能基于DME\_POWERMODE.ind事件对参考时钟进行门控

- ▶ 接收DME\_POWERMODE.ind的UFS主机未指出线路处于SAVE状态
- ▶ 在UFS主机接收DME\_POWERMODE.ind时，TOB可能仍在串行线路上传输
- ▶ SaveConfigTime时间段在DME\_POWERMODE.ind事件后生成
- ▶ M-PHY的实施可能有具体的要求

UFS主机需要确定何时关断UFS设备的参考时钟。

UFS设备具有专门针对特定供应商的属性，例如RefClkGatingPeriod，这个属性可以指出主机对参考时钟进行门控的时间段。根据M-PHY的要求以及UniPro PowerModeChange事件的时机，UFS设备可以选择这个属性值的单位为毫秒。在链接后，UFS主机可以读取RefClkGatingPeriod属性，用于确定它对参考时钟进行门控之前的时间段。

## 举例

图7中的波形表示电源管理模式更改流程中的DME\_POWERMODE.ind事件。考虑这样的场景：UFS主机TX处于HS\_MODE模式，UFS主机RX处于LS\_MODE模式。UFS主机发起电源管理模式更改流程，将TX和RX置于LS\_MODE模式。根据UniPro定义的电源管理模式更改流程，主机TX关闭由设备TX回应的猝发传输。在下图中，仅设备TX和主机RX猝发被视为后续事件。

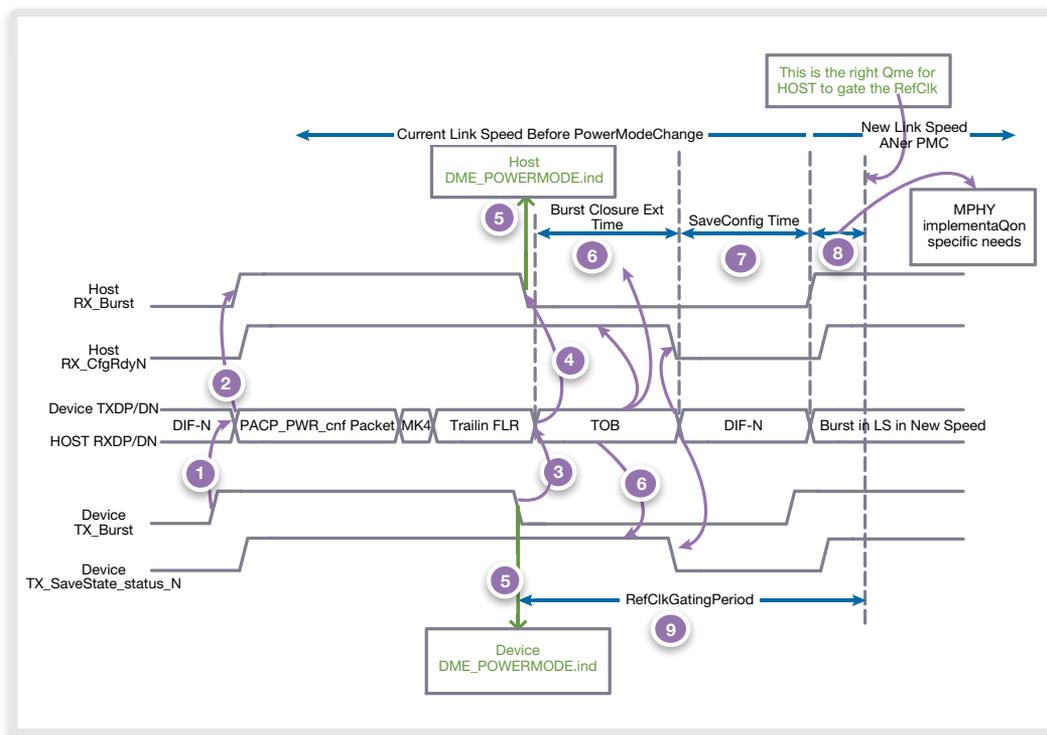


图7：链路和RMMI端口上多个事件的功耗模式更改

按时间顺序的功耗模式更改流程发生事件序列：

1. 设备TX开始传输PACP\_PWR\_cnf包
2. 主机RX开始接收PACP\_PWR\_cnf包
3. 设备TX关闭TX\_Burst
4. 主机RX关闭RX\_Burst
5. 根据UniPor的功耗模式更改流程，一旦设备TX\_Burst关闭，设备UniPro将向UFS设备发布DME\_POWERMODE.ind。在主机端，一旦RX\_Burst关闭，主机UniPro将向UFS主机发布DME\_POWERMODE.ind。根据UFS规范，主机可能对参考时钟进行门控，因为这是功耗模式更改指示事件

6. 在关闭猝发后, 设备TX开始在 TX\_PWM\_BURST\_Closure\_Extension时间段传输TOB。最多是255个码元间隔。由于TOB, 设备M-TX的TX\_SaveState\_status\_N端口保持HIGH, 而主机M-RX的RX\_CfgRdyN端口保持HIGH。这个时间段在图中形成“Burst Closure Ext Time”
7. 一旦TOB完成, 主机UniPro将启动SaveConfigTime定时器。由于RX\_CfgRdyN port处于低速模式, UniPro知道所有模块 (M-TX & M-RX) 都已进入SAVE状态。与此相似, 当TX\_SaveState\_status\_N处于低速模式时, 设备Unipro启动SaveConfigTime定时器。设备M-PHY中的重新配置触发器在该时间段后的任何时间发生
8. 从第6步到第8步, M-PHY可能准备停止观测参考时钟。在该时间段之后, UFS主机可以安全地对参考时钟进行关断
9. (RefClkGatingPeriod) 尝试描述早期事件所示的多个时间段, 可通过RefClkGatingPeriod参数广播给UFS主机。通过这个参数, UFS HOST可以决定对参考时钟进行门控

## 结束语

根据MIPI UniPro和M-PHY规范, JEDEC UFS允许移动应用和对功耗敏感的应用场景以低功耗模式运行。为了在规范定义之外节省更多能源, 可以采用参考时钟门控等技术。然而, 冒失地对参考时钟进行门控可能影响UFS设备侧的M-PHY行为。

为了在对参考时钟进行门控时, 不影响设备M-PHY的正常工作, 可以增加针对特定供应商的属性 (例如RefClkGatingPeriod), 用于指明参考时钟需要出现的时间段, 即使是在链路进入LS\_MODE或hibern8模式之后。UFS主机依然可以读取该属性值, 而且一旦链路进入LS\_MODE或Hibern8模式, UFS主机允许RefClkGatingPeriod开始计时, 然后对参考时钟进行门控。

这保证了以安全且最优的方式对参考时钟进行门控, 从而在hibern8和LS\_MODE模式下节约更多能源。

## 更多参考资料

参考相关标准。

- ▶ JEDEC标准通用闪存 (UFS) 2.1版本  
<https://www.jedec.org/sites/default/files/docs/JESD220C.pdf>
- ▶ 统一协议规范 (UniProSM) 1.61版本 – 2015年10月16日  
<https://members.mipi.org/wg/All-Members/document/download/68252>
- ▶ M-PHY规范3.1 17版本, 2014年6月  
<https://members.mipi.org/wg/All-Members/document/download/9233>