

# Linux 中 TUSB7320/7340 的 USB 2.0 合规性模式



Mike Yu

## 摘要

本应用手册适用于负责集成 TUSB7320 或 TUSB7340 控制器的系统电气验证和合规性认证的硬件设计工程师、信号完整性 (SI) 工程师、测试技术人员及系统集成商。本文假定读者对 Linux 命令行、PCI Express (PCIe) 配置空间和一般 xHCI 架构有基本了解。

## 内容

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| 1 简介.....                     | 2 |
| 2 硬件配置和设置.....                | 3 |
| 3 软件准备及环境设置.....              | 4 |
| 4 存储器映射 I/O (MMIO) 寄存器配置..... | 5 |
| 5 总结.....                     | 7 |
| 6 参考资料.....                   | 7 |

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

# 1 简介

## 目的和背景

在使用 TUSB7320 或 TUSB7340 xHCI 主机控制器的平台的硬件开发阶段，执行 USB 2.0 电气合规性测试（包括眼图、抖动和信号质量分析）对于确保严格遵守 USB-IF 物理层规范至关重要。为了促进这些测量，高带宽示波器等物理测试仪器需要主机控制器的下游端口持续传输特定测试图形（例如测试数据包、测试 J、测试 K）。

在 Windows®环境中，开发人员通常使用官方的 USB-IF 硬件起始帧评估和测试工具 (HSETT) 通过图形用户界面 (GUI) 来自动化此过程。但是，HSETT 实用程序是 Windows 环境专用的，不能在基于 Linux® 的平台（如嵌入式系统、工业 PC 或企业服务器）上执行。因此，在 Linux 操作系统上，必须通过低级命令行界面手动进入 USB 2.0 合规性模式，以直接操作主机控制器的内部寄存器。本应用报告提供了一种基于命令的标准化方法，可在 Linux 下成功触发 USB 2.0 合规性测试模式。

## 说明和范围

本文档概述的过程和配置适用于以下德州仪器 (TI) SuperSpeed USB 3.0 主机控制器：

- TUSB7320：2 端口 USB 3.0 xHCI 主机控制器
- TUSB7340：4 端口 USB 3.0 xHCI 主机控制器

由于这些器件共享高度兼容的寄存器架构和存储器映射 I/O (MMIO) 空间配置，因此此处详述的寄存器级命令同样适用于这两个器件。本指南重点介绍如何使用本机 Linux 内核接口和标准开源命令行实用程序，从而消除对专有软件或特定于供应商的驱动程序的依赖。

## 2 硬件配置和设置

### 测试设置概述

为了捕获 USB 2.0 电气合规性测试的准确波形，需要在受测器件 (DUT)、测试装置和测量设备之间进行适当的物理连接。测试配置必须隔离 USB 2.0 信号线 (D+ 和 D-)，以允许示波器探测 TUSB7320 或 TUSB7340 下行端口生成的连续测试图形。

### 需要的设备和材料

需要使用以下硬件组件来执行评估：主机系统 (DUT)：一个集成 TUSB7320 或 TUSB7340 主机控制器的硬件平台，运行功能性 Linux 发行版。

- USB 2.0 合规性测试装置：用于细分 D+ 和 D- 线路的标准 USB-IF 认证测试板（例如 USB 2.0 信号质量测试板）。
- 数字存储示波器：配备合规性分析软件的高带宽示波器（对于 USB 2.0 高速合规性标准，通常为 2GHz 带宽）。
- 探头/电缆：优质 SMA 电缆或具有适当带宽额定值的匹配差分探头，将装置连接到示波器通道。

### 硬件连接过程和要求

要验证 TUSB7320/TUSB7340 控制器是否成功转换到命令合规性状态，物理连接序列必须遵循以下步骤：

1. 为系统断电并接地：确保 DUT 和示波器共享通用的机箱接地，以防止静电放电 (ESD) 损坏或接地环路导致高速信号测量失真。
2. 连接测试装置：将 USB-IF 合规性测试装置直接连接至被评估 TUSB7320 或 TUSB7340 的目标下行 USB 端口。
3. 建立测量探测：将 SMA 输出或差分探头从测试装置的测试点（对应于所选端口）连接至示波器的输入通道。
4. 验证测试装置终止：确保测试装置根据特定测试套件（例如测试数据包或者测试 J/K）的要求配置有标准 50  $\Omega$  终端（或 90  $\Omega$  差分终端）。

### 关键硬件说明

TUSB7320 及 TUSB7340 利用内部端口逻辑来检测线路状态转换和连接事件。在执行 Linux 软件命令之前，必须将物理测试装置连接到被测端口。如果控制器未检测到 D+/D- 线路上正确的端接负载，端口配置逻辑可能会拒绝测试状态转换或自动复位端口，从而防止生成合规性模式。

### 3 软件准备及环境设置

#### 嵌入式实用程序要求 ( BusyBox 设置 )

在许多嵌入式 Linux 发行版、企业设备或在具有 TUSB7320 或 TUSB7340 的平台上运行的最低 OS 配置中，标准核心实用程序可能会被精简。要执行低级内存操作，系统需要 BusyBox 套件，其中包括必要的 devmem 小程序。

在继续进行寄存器配置之前，工程师必须检查 BusyBox 的可用性，如果本机系统映像中缺少它，则安装它。

1. 验证现有的 BusyBox 和 devmem 小程序。检查平台上是否已存在 BusyBox，并通过执行以下操作来检查其内置命令列表：

```
busybox --help
```

2. 通过命令行安装 BusyBox。如果部署平台具有互联网连接或访问本地软件包存储库，请执行标准软件包管理器命令以获取并安装完整的 BusyBox 环境：

```
sudo apt-get install busybox
```

3. 路径验证。安装后，请验证实用程序是否正确响应标准执行路径。如果软件包管理器不自动生成系统符号链接、则始终可以使用 busybox 前缀从命令行显式调用小程序：

```
sudo busybox devmem --help
```

在执行硬件映射步骤之前，请确认该命令输出用于读取和写入物理内存地址的语法用法。

## 4 存储器映射 I/O (MMIO) 寄存器配置

要在不依赖高级内核驱动程序的情况下强制 TUSB7320/TUSB7340 下行端口进入 USB 2.0 合规性模式，软件可以直接操作映射到系统存储器中的 xHCI 操作寄存器。本节利用 busybox devmem 实用程序直接对物理存储器地址执行低级读取/写入操作。

### 执行 lspci 以在 PCI 总线上找到主机控制器

在与硬件内存空间交互之前，扫描 PCI 总线拓扑以识别系统架构分配给 Texas Instruments 控制器的特定总线、设备及功能 (BDF) 地址。

执行基本的 lspci 实用程序以列出连接到 PCI 通道的所有外围设备组件：

```
lspci
```

找到目标条目（例如 01:00.0）后，使用特定的 BDF 时隙和详细的十六进制转储参数重新运行命令，以提取 64 位基址寄存器 (BAR) 映射：

```
sudo lspci -s <BUS:DEV.FUN> -vxx
```

从输出字段中标识与 xHCI 操作寄存器相对应的 64 位存储器基地址。请注意，控制器分配多个存储器区域；**选择使用 [size=64K] 指定的地址条目**（例如，f79f0000 处的存储器）。该地址用作所有后续寄存器偏移计算的基础基地址。

### 暂停 xHCI 控制器

在强制各个端口进入电气合规性测试模式之前，必须停止 xHCI 控制器，以防止运行的软件循环或中断例程覆盖寄存器状态。

通过将运行/停止位清除至 0，修改 USB 命令 (USBCMD) 寄存器（从基地址起偏移 0x20）。执行以下 8 位 devmem 命令：

```
sudo busybox devmem <Base_Address + 0x20> 8 4
```

### 关闭目标下游端口

为了正确对端口逻辑进行下电上电并使收发器为合规性模式转换做好准备，必须取消特定下行端口的电源。

找到目标端口的端口状态和控制 (PORTSC) 寄存器偏移量。写入以使用 32 位宽度命令清除端口功率位：

```
sudo busybox devmem <Base_Address + Port_Offset> 32 0x0A000080
```

### 发送 USB 2.0 测试图形

成功对端口进行时序控制后，通过写入相关测试寄存器空间内的 Port Test Control 字段来选择所需的合规性测试模式（偏移量 + 0x4 来自基本端口偏移）。

要发送连续的 USB 2.0 高速测试数据包模式（电气眼图分析所必需），请执行以下 32 位命令：

```
sudo busybox devmem <Base_Address + Port_Offset + 0x4> 32 0x40000000
```

成功执行后，目标端口的物理层 (PHY) 将立即启动连续图形生成。

## 物理端口地址

要测试备用物理端口，请根据下表移动目标存储器地址：

表 4-1. TUSB7320/TUSB7340 下行端口寄存器偏移

| 端口 | 控制地址                  | 测试命令地址                |
|----|-----------------------|-----------------------|
| 1  | 0x0420                | 0x0424                |
| 2  | 0x0430                | 0x0434                |
| 3  | 0x0440 <sup>(1)</sup> | 0x0444 <sup>(1)</sup> |
| 4  | 0x0450 <sup>(1)</sup> | 0x0454 <sup>(1)</sup> |

### 1. 仅限 TUSB7340

## 执行示例

本节介绍了端口 1 的实际实施情况。演练是从使用标准 Ubuntu 平台的实时测试环境中捕获的。

### 1. 运行 lspci 发现命令会得到：

```
user@Ubuntu-OptiPlex-960: ~
File Edit View Search Terminal Help
user@Ubuntu-OptiPlex-960:~$ lspci
00:00.0 Host bridge: Intel Corporation 4 Series Chipset DRAM Controller (rev 03)
00:01.0 PCI bridge: Intel Corporation 4 Series Chipset PCI Express Root Port (rev 03)
00:02.0 VGA compatible controller: Intel Corporation 4 Series Chipset Integrated Graphics Controller (rev 03)
00:02.1 Display controller: Intel Corporation 4 Series Chipset Integrated Graphics Controller (rev 03)
00:03.0 Communication controller: Intel Corporation 4 Series Chipset HECI Controller (rev 03)
00:03.2 IDE interface: Intel Corporation 4 Series Chipset PT IDE Controller (rev 03)
00:03.3 Serial controller: Intel Corporation 4 Series Chipset Serial KT Controller (rev 03)
00:19.0 Ethernet controller: Intel Corporation 82567LM-3 Gigabit Network Connection (rev 02)
00:1a.0 USB controller: Intel Corporation 82801JD/DO (ICH10 Family) USB UHCI Controller #4 (rev 02)
00:1a.1 USB controller: Intel Corporation 82801JD/DO (ICH10 Family) USB UHCI Controller #5 (rev 02)
00:1a.2 USB controller: Intel Corporation 82801JD/DO (ICH10 Family) USB UHCI Controller #6 (rev 02)
00:1a.7 USB controller: Intel Corporation 82801JD/DO (ICH10 Family) USB2 EHCI Controller #2 (rev 02)
00:1b.0 Audio device: Intel Corporation 82801JD/DO (ICH10 Family) HD Audio Controller (rev 02)
00:1c.0 PCI bridge: Intel Corporation 82801JD/DO (ICH10 Family) PCI Express Port 1 (rev 02)
00:1c.1 PCI bridge: Intel Corporation 82801JD/DO (ICH10 Family) PCI Express Port 2 (rev 02)
00:1d.0 USB controller: Intel Corporation 82801JD/DO (ICH10 Family) USB UHCI Controller #1 (rev 02)
00:1d.1 USB controller: Intel Corporation 82801JD/DO (ICH10 Family) USB UHCI Controller #2 (rev 02)
00:1d.2 USB controller: Intel Corporation 82801JD/DO (ICH10 Family) USB UHCI Controller #3 (rev 02)
00:1d.7 USB controller: Intel Corporation 82801JD/DO (ICH10 Family) USB2 EHCI Controller #1 (rev 02)
00:1e.0 PCI bridge: Intel Corporation 82801 PCI Bridge (rev a2)
00:1f.0 ISA bridge: Intel Corporation 82801JDO (ICH10DO) LPC Interface Controller (rev 02)
00:1f.2 RAID bus controller: Intel Corporation SATA Controller [RAID mode] (rev 02)
00:1f.3 SMBus: Intel Corporation 82801JD/DO (ICH10 Family) SMBus Controller (rev 02)
01:00.0 USB controller: Texas Instruments TUSB73x0 SuperSpeed USB 3.0 xHCI Host Controller (rev 02)
```

图 4-1. PCI 地址的查找命令

```
user@Ubuntu-OptiPlex-960:~$ sudo lspci -s 01:00.0 -xxx
01:00.0 USB controller: Texas Instruments TUSB73x0 SuperSpeed USB 3.0 xHCI Host Controller (rev 02) (prog-if 30 [xHCI])
Flags: bus master, fast devsel, latency 0, IRQ 16
Memory at f79f0000 (64-bit, non-prefetchable) [size=64K]
Memory at f79ee000 (64-bit, non-prefetchable) [size=8K]
Capabilities: [40] Power Management version 3
Capabilities: [48] MSI: Enable+ Count=1/8 Maskable- 64bit+
Capabilities: [70] Express Endpoint, MSI 00
Capabilities: [c0] MSI-X: Enable+ Count=8 Maskable-
Capabilities: [100] Advanced Error Reporting
Capabilities: [150] Device Serial Number 08-00-28-00-00-20-00-00
Kernel driver in use: xhci_hcd
00: 4c 00 10 41 82 06 04 10 00 02 30 03 0c 10 00 00 00
10: 04 00 9f f7 00 00 00 00 04 e0 9e f7 00 00 00 00
20: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
30: 00 00 00 00 40 00 00 00 00 00 00 00 0b 01 00 00
```

图 4-2. 基址命令

提取的关键终端输出：

- PCI 地址 (BDF) : **01:00.0**
  - 64 位基址 (BAR) : **0xf79f0000** ( 从 f79f0000 的存储区开始 )
2. 完整测试数据包触发命令序列。使用提取的基址 (0xf79f0000), 将端口 1 ( 控制地址 0x420、测试命令地址 0x424 ) 触发到测试数据包模式的确切寄存器执行日志详情如下：

```
user@Ubuntu-OptiPlex-960:~$ sudo busybox devmem 0xf79f0020 8
0x05
user@Ubuntu-OptiPlex-960:~$ sudo busybox devmem 0xf79f0020 8 4
user@Ubuntu-OptiPlex-960:~$ sudo busybox devmem 0xf79f0020 8
0x04
user@Ubuntu-OptiPlex-960:~$ sudo busybox devmem 0xf79f0420 32
0x0A0002A0
user@Ubuntu-OptiPlex-960:~$ sudo busybox devmem 0xf79f0420 32 0x0A000080
user@Ubuntu-OptiPlex-960:~$ sudo busybox devmem 0xf79f0420 32
0x0A000080
user@Ubuntu-OptiPlex-960:~$ sudo busybox devmem 0xf79f0424 32
0x00000000
user@Ubuntu-OptiPlex-960:~$ sudo busybox devmem 0xf79f0424 32 0x40000000
user@Ubuntu-OptiPlex-960:~$ sudo busybox devmem 0xf79f0424 32
0x40000000
```

图 4-3. 用于触发测试数据包的命令

## 5 总结

在 HSETT 等标准图形实用程序不可用的 Linux 平台上执行 USB 2.0 电气合规性验证，需要采用稳健的低级方法。通过利用本机 PCI 实用程序 (lspci) 和通过 BusyBox (devmem) 进行直接内存操作，硬件验证和信号完整性工程师可以在整个 TUSB73x0 主机控制器系列中持续触发强制测试模式。按照本应用报告中概述的结构顺序，验证可重复且精确的测量工作流程，为成功获得 USB-IF 认证铺平了清晰的道路。

## 6 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [TUSB7320 SuperSpeed USB 3.0 2 端口 xHCI 主机控制器](#), 产品页面。
2. 德州仪器 (TI), [TUSB7340 SuperSpeed USB 3.0 4 端口 xHCI 主机控制器](#), 产品页面。
3. Keysight, [了解用于测试高速嵌入式主机的 VID 2.0 PID/USB 方法](#), 网页。
4. USB, [USB 2.0 电气合规性测试规范](#), 网页。

## 重要通知和免责声明

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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月