Application Note

基于 FPD-Link 实现 DisplayPort 交替模式的 140W 汽车双端口 USB-C PD 系统设计

Stefano Panaro, Harvey Chen

摘要

现代汽车信息娱乐和数字座舱系统越来越多地依赖 USB Type-C 端口为乘客器件同时输送电力和高分辨率视频。本应用手册介绍了一种双端口、140W USB 电力输送系统设计，其支持 DisplayPort™ 交替模式，可在 12V 汽车电池电源轨下可靠运行。文中说明了系统架构，涵盖电力输送路径和视频路径，前者以 TPS26744E-Q1 PD 控制器和 LM251772-Q1 降压/升压转换器为核心，后者使用 TUSB564-Q1 转接驱动器、TS3DV642 开关和 FPD-Link 串行器将高速信号路由到远端显示器。文中提供了来自经验证实现方案的设计注意事项、效率和热性能数据，可帮助工程师将该架构适配到自己的汽车 USB-C 电力和视频应用中。

内容

1 简介.....2
2 详细说明.....3
2.1 系统概述.....3
2.2 电源路径.....4
2.3 视频路径.....7
3 总结.....9
4 参考资料.....9

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

1 简介

现代车辆座舱越来越多地提供 USB Type-C 端口，为乘客器件同时输送电力和高分辨率视频，但在车内实现这一点意味着要同时解决两个不同的问题。

第一个问题是功率与散热：汽车 12V 电源轨未稳压，可能因启动和负载突降事件而跌落或出现尖峰，但系统仍必须在紧凑、气流受限的外壳内通过两个端口转换高达 140W 的功率。此处转换效率和温度裕量紧密相关，可能需要在高温或低输入电压下进行降额，以使元件保持在安全限值内。

第二个问题是信号完整性：视频路径必须承载高速 DisplayPort 信号，依次经过连接器转接、转接驱动电路，再通过一段更长的汽车电缆传输至远端显示屏 — 全程与高电流开关转换器共用同一板卡。此处防噪性能和布局规范与效率之于电源路径一样关键。

本应用手册介绍了一种经过验证的参考设计，在单个双端口、140W USB-C 电力输送系统中同时应对这两项挑战，并支持 DisplayPort 交替模式，为汽车工程师的数字座舱和信息娱乐 USB-C 实现方案提供了可靠的起点。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2 详细说明

2.1 系统概述

本设计分为共享同一 USB-C 连接器的两条路径：一条是协商并输送 USB PD 电力的电源路径，另一条是检测、切换并传输 DisplayPort 交替模式视频的视频路径。两条路径在两个独立端口上各复制一套，使系统可在每个连接器上同时提供电力和视频。

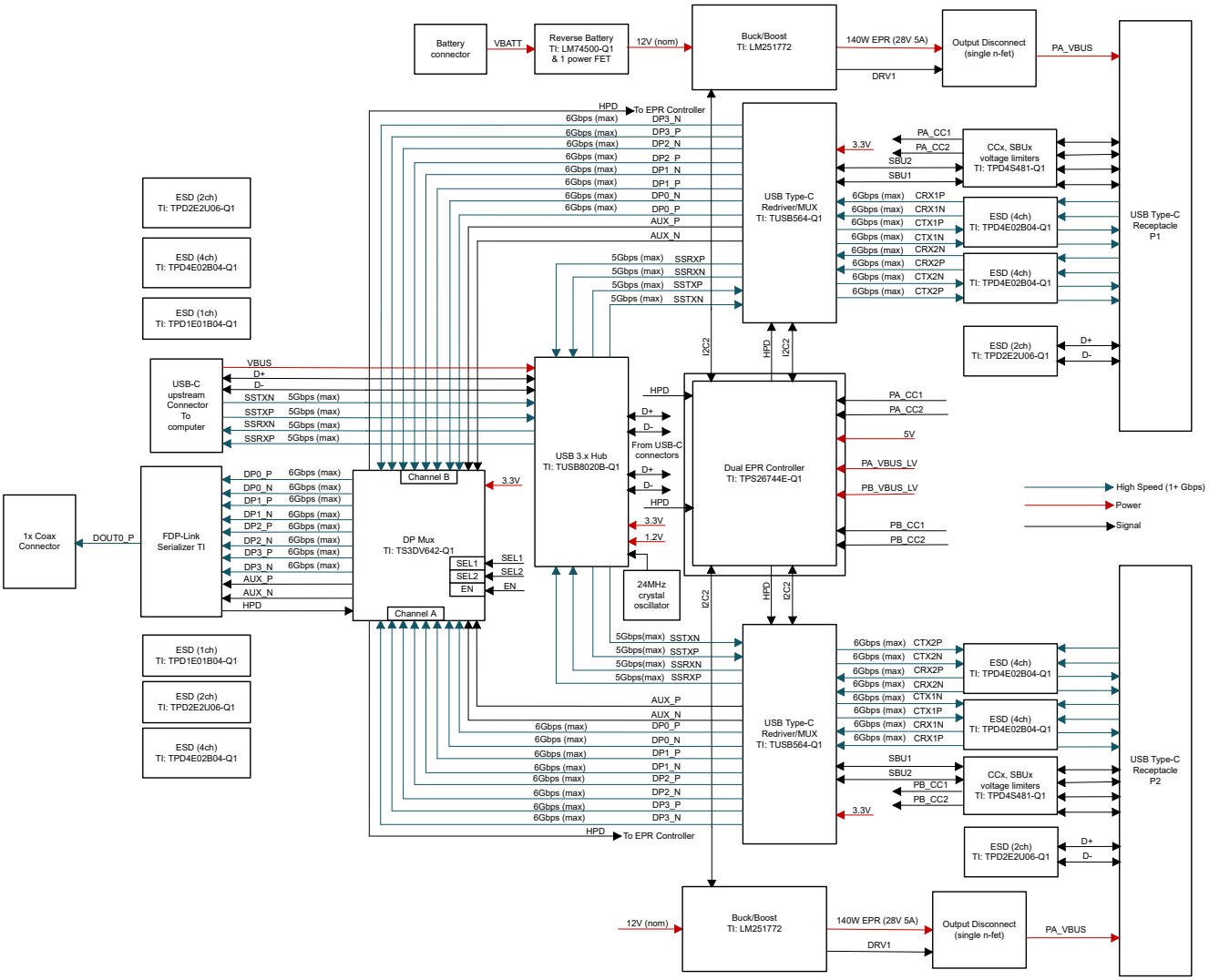


图 2-1. 系统方框图

图 2-1 展示了上述器件在系统中的位置关系：TPS26744E-Q1、LM251772、TUSB564-Q1、TS3DV642 和 FPD-Link 串行器。红色箭头表示电力传输路径，蓝色箭头表示高速数据信号，黑色箭头表示控制信号。

本节给出的性能数据是在参考设计实物板 PMP31344 上测得的。

English Document: SDAA590
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2.2 电源路径

电源路径以 TPS26744E-Q1 USB Type-C 和 USB PD 控制器为核心构建，该控制器负责连接器检测、PD 协议协商和保护，并与 LM51772 宽输入降压/升压转换器配合使用，后者将输出电源轨调节到控制器协商的电压。

PD 协议协商和电压交接按三步进行：

- 检测：当器件插入 USB-C 连接器时，TPS26744E-Q1 通过 CC1/CC2 线路检测其是否接入及插入方向。
- 协商：TPS26744E-Q1 与所连接器件通过 CC 线路交换 PD 消息以协商功率协议 — 就端口提供的输出电压 (5V – 28V) 和电流限制达成一致。
- 电压设定点交接：协议达成后，TPS26744E-Q1 通过 I2C 将协商电压告知 LM51772，将新的输出电压设定点直接写入转换器的反馈/电压控制寄存器。随后 LM51772 将其降压/升压级调节到该目标，从标称 12V 汽车输入端为每个端口提供高达 140W 功率。

在下述所有效率和热特性表征中，LM51772 均配置为以 450kHz 的频率开关。

效率特性的测试条件为：12V 输入，涵盖整个 5V – 28V 输出范围，转换器（单端口）以 450kHz 的频率开关。

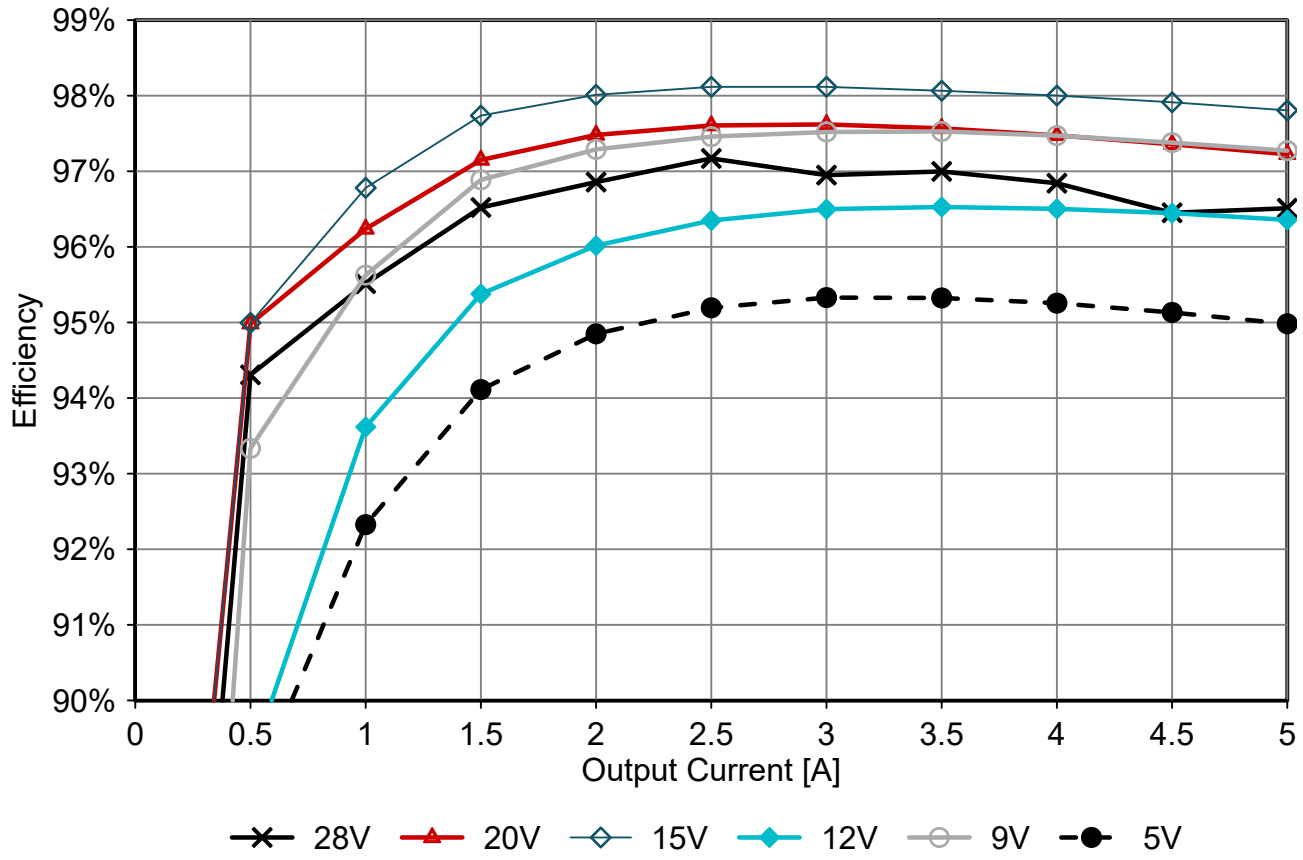


图 2-2. 12V 输入、450kHz 开关频率下整个输出范围内的降压/升压效率

在效率图中，从测得的输入电流中减去了 88mA。该值表示通过 Vin 供电且禁用 LM251772 时的板卡静态电流。

热性能在四个代表性工作点进行评估：降压模式下的 25W（12V 和 20V 输入）以及升压模式下的 140W（9V 和 12V 输入），均在相同的 450kHz 开关频率、单端口工作条件下。

English Document: SDAA590
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

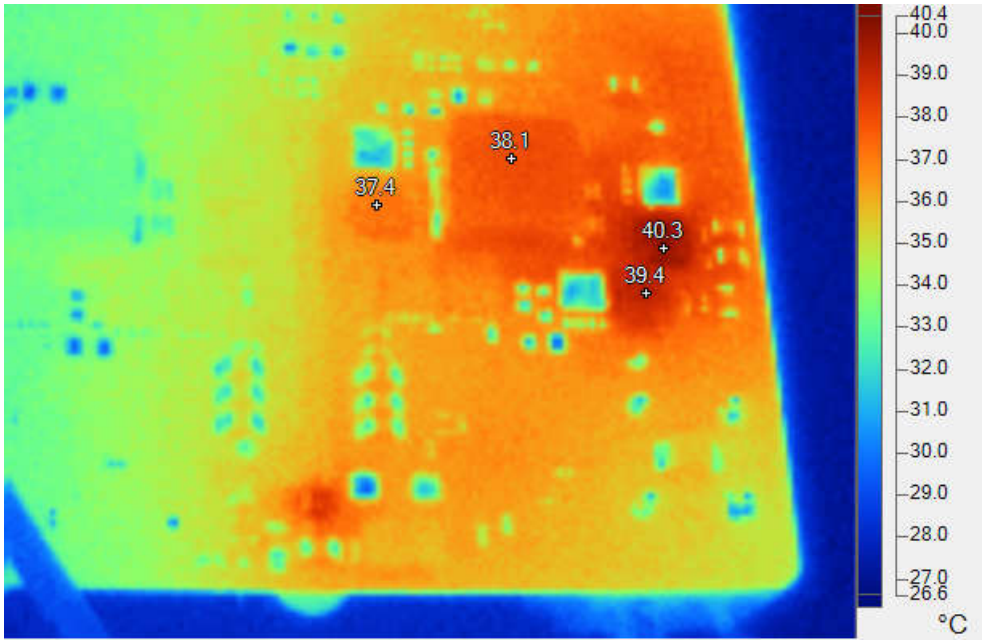


图 2-3. 12Vin、5Vout、5A – 25W 时的热性能图（升压整流器 37℃、电感器 38℃、降压 MOSFET 40℃、降压整流器 39℃）

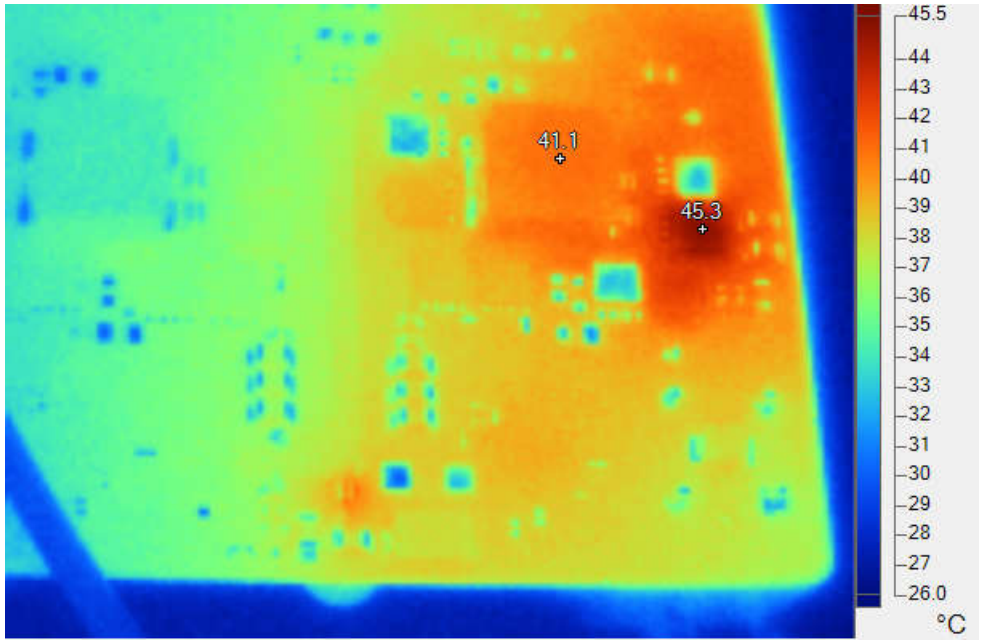


图 2-4. 20Vin、5Vout、5A – 25W 时的热性能图（电感器 41℃、降压 MOSFET 45℃）

English Document: SDAA590
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

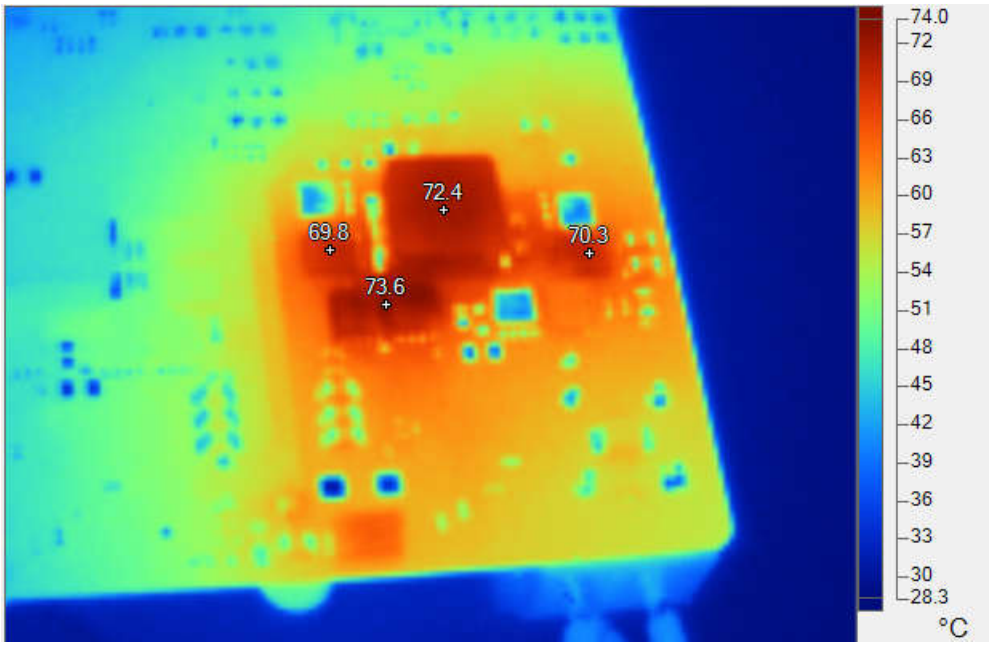


图 2-5. 12Vin、28Vout、5A – 140W 时的热性能图（升压 MOSFET 74℃、电感器 72℃、降压 MOSFET 70℃）

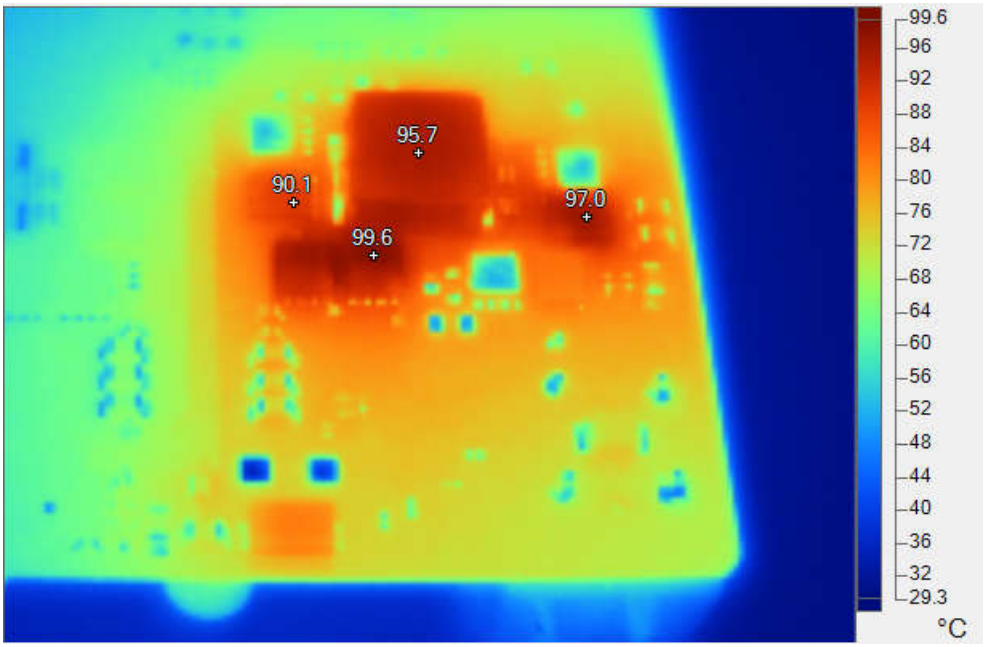


图 2-6. 9Vin、28Vout、5A – 140W 时的热性能图（升压 MOSFET 100℃、电感器 96℃、降压 MOSFET 97℃）

English Document: SDAA590
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2.3 视频路径

电源路径负责能量输送，而视频路径负责保证通过 USB-C 连接器传输的高速 DisplayPort 和 USB 3.2 数据的信号完整性。两个器件在这些信号到达连接器之前对其进行调理和选路，而 FPD-Link 串行器通过同轴电缆将视频传输到系统的显示侧。

TUSB564-Q1 是一款线性转接驱动器，用于补偿高速差分对上的通道损耗。它施加高达 11.6dB 的均衡，足以在高达 8.1Gbps 的 DisplayPort 数据速率、高达 5Gbps 的 USB 3.2 数据速率下恢复信号完整性，确保到达 Type-C 连接器的信号满足两种协议的眼图和抖动要求。

TS3DV642 位于下游，用作差分信号开关，在连接器接口处对高速差分对进行多路复用。这使系统能够根据交替模式协商结果将 DisplayPort 或 USB 3.2 数据路由到 Type-C 引脚，而不会引入额外信号劣化。

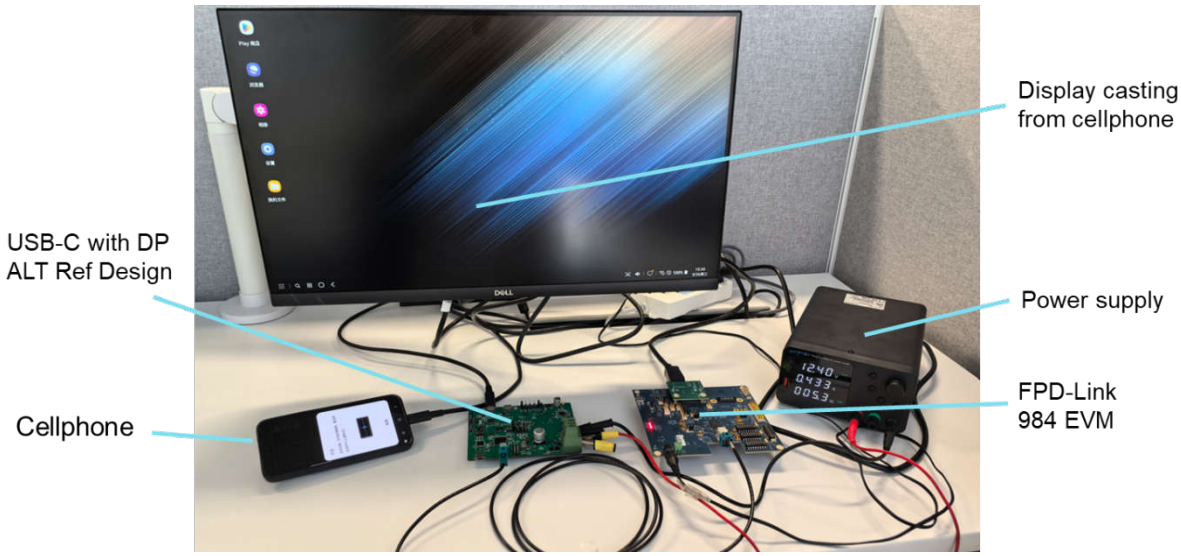


图 2-7. 支持 DP 交替模式的 USB-C – 配置

视频路径使用 USB-C/DP 交替模式板卡（由 TPS26744E-Q1、TUSB564-Q1、TS3DV642 和 FPD-Link 串行器组成）进行了验证，该板卡与 UH984 EVM 配合，通过 FPD-Link 接口驱动显示器。TPS26744E-Q1 经过编程，通过 CC 线管理 PD 通信和 USB/DP 模式选择，而 FPD-Link 串行器的固件和寄存器配置（包括串行器和解串器）通过其外部 SPI 闪存加载。在该配置启用时，手机或笔记本电脑等 USB Type-C 源设备可连接到该板卡，并通过 DP 交替模式和 FPD-Link 信号链将其显示输出端到端投屏到显示器。

English Document: SDAA590
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

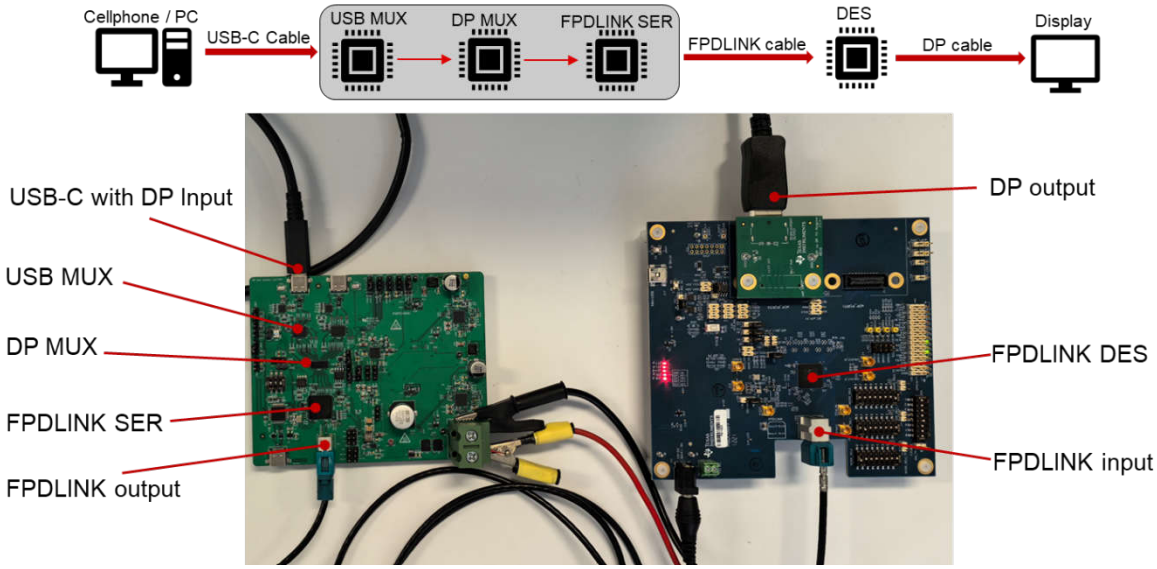


图 2-8. 支持 DP 交替模式的 USB-C - 信号链

English Document: SDAA590
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3 总结

本参考设计提供经过验证且符合车规要求的解决方案，面向 140W 双端口 USB-C 电力输送，并同时支持通过 FPD-Link 传输 DisplayPort 交替模式。TPS26744E-Q1/LM51772 电源路径在整个 5V – 28V 输出范围内提供高效降压/升压转换，而 TUSB564-Q1/TS3DV642/FPD-Link 串行器视频路径为高速 DisplayPort 和 USB 3.2 数据保持信号完整性。本设计已经过端到端验证，包括通过 FPD-Link 接口进行实时显示投屏。

集成时有几个系统级注意事项值得说明。在热性能方面，升压 MOSFET 在最坏情况（9V 输入、28V 输出、140W）下运行时最热，达到 100°C — 这是在密闭汽车环境中需要关注的主要温度余量。预计要长期在该极限工况附近运行的系统，应为高环境温度和低输入电压下的功率降额留出裕量。更广泛地说，由于电源路径和视频路径共用同一板卡和连接器，系统级集成应考虑二者共同产生的热与电气相互作用，而不是孤立对待每条路径。

综上所述，结合这些结果和注意事项，本应用手册可为围绕该架构设计汽车数字座舱和信息娱乐系统的工程师提供完整参考。

4 参考资料

1. 德州仪器 (TI)，*TPS26744E-Q1 汽车双端口 USB Type-C® PD 控制器，支持 240W EPR 和基于 USB Type-C® 的 DisplayPort™*，数据表。
2. 德州仪器 (TI)，*LM251772-Q1 用于 USB-PD 的降压/升压控制器*，数据表。
3. 德州仪器 (TI)，*TUSB564-Q1 汽车级 USB Type-C® DP 交替模式 8.1Gbps 接收端线性转接驱动器交叉点开关*，数据表。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

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出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