

Design Guide: TIDA-050060

带 PMIC 和 FPD-Link 的可扩展汽车级 300 万像素摄像头模块参考设计

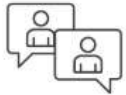


说明

该参考设计为汽车摄像头应用提供了一种紧凑且可扩展的摄像头模块。它将 290 万像素成像仪与 4Gbps 串行器和四通道电源管理集成电路 (PMIC) 相结合。该摄像头模块采用双板设计，其电源和串行器元件可灵活扩展至不同的图像传感器上。摄像头 PMIC 采用紧凑设计，通过集成三个降压转换器和一个低压降稳压器 (LDO) 对灵活性和热性能进行了优化，具有可编程输出电压和定序功能。每个电源轨均集成监控器，可进一步降低组件数和整体尺寸。

资源

TIDA-050060	设计文件夹
DS90UB953-Q1	产品文件夹
TPS650330-Q1	产品文件夹



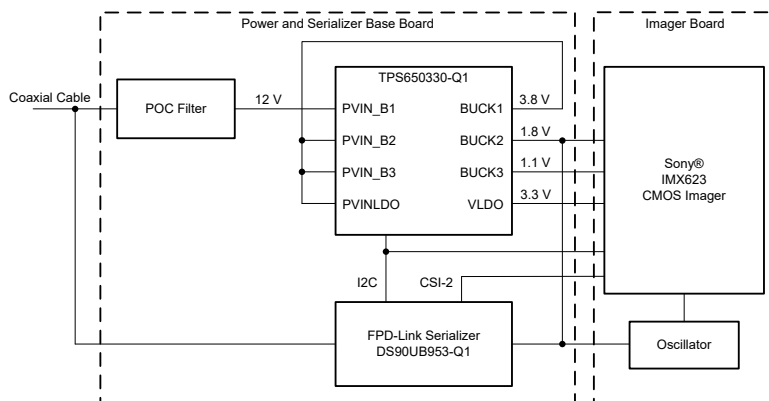
请咨询我司 TI E2E™ 支持专家

特性

- 20mm × 20mm 的电源和串行器 PCB 与各种图像传感器兼容
- 高效率和低噪声电源
- 使用 4Gbps DS90UB953 器件的高分辨率相机应用
- 来自 Sony® 的 295 万像素 IMX623 成像仪可提供全高清、AD 12 位、MIPI 4 通道、RAW12、RAW14、RAW16、RAW20 和 RAW24
- 一个 Rosenberger FAKRA 同轴电缆连接器即可满足数字视频、供电、控制以及诊断的需求
- 附加诊断功能，支持 ASIL

应用

- 不具有处理功能的摄像头模块
- 环视系统 ECU
- 前置摄像头
- 后置摄像头



1 系统说明

许多汽车应用要求外形小巧，从而实现紧凑的模块化远程系统。随着对汽车视觉系统的需求不断增长，还需要系统元件的灵活性，以满足各种图像传感器的要求，从而缩短摄像头模块设计周期并缩短上市时间。此参考设计通过将 290 万像素成像仪、4Gbps 串行器和四通道 PMIC 集成在两个 20mm × 20mm 的电路板内，解决了这些挑战。系统仅需通过单根 50 Ω 同轴电缆连接。

直流电源、FPD-Link 前通道和 FPD-Link 后通道通过 FAKRA 同轴连接器进入电路板。图 1-1 中的 POC 滤波器阻断信号的所有高速内容（没有明显衰减），而允许信号的直流（电源）部分通过电感器 L5。

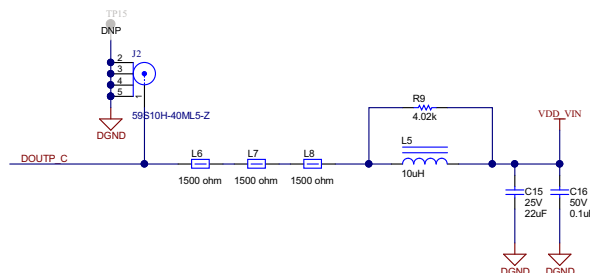


图 1-1. POC 滤波器原理图

直流部分连接到 TPS650330-Q1 PMIC 的输入端。一个专用的中压降压稳压器将此电压转换为中间电压 3.8V。两个低压降压稳压器为成像仪提供专用的 1.1V 电压，并专门为成像仪和串行器提供 1.8V 共用电压。集成的高 PSRR、低噪声 LDO 为成像仪提供清洁的 3.3V 模拟电源。信号的高频部分直接连接到串行器。这是视频数据和控制反向通道信号在串行器和解串器之间传输的路径。

成像仪的输出端通过 4 通道 MIPI CSI-2 接口与串行器连接。串行器通过单个 LVDS 将该视频数据传输到位于同轴电缆另一端的解串器。

此外，在同一同轴电缆上，有一个单独的低延迟双向控制通道，提供从 I2C 端口传输信息的额外功能。此控制通道与视频消隐期无关。系统微处理器使用此控制通道对成像仪进行配置和控制。

1.1 主要系统规格

表 1-1. 主要系统规格

参数		注释	最小值	典型值	最大值	单位
V _{IN}	电源电压	通过同轴电缆供电 (POC)	5	9	18.3	V
P _{TOTAL}	总功耗	V _{POC} = 9V	-	1	1.5	W

2 系统概述

2.1 方框图

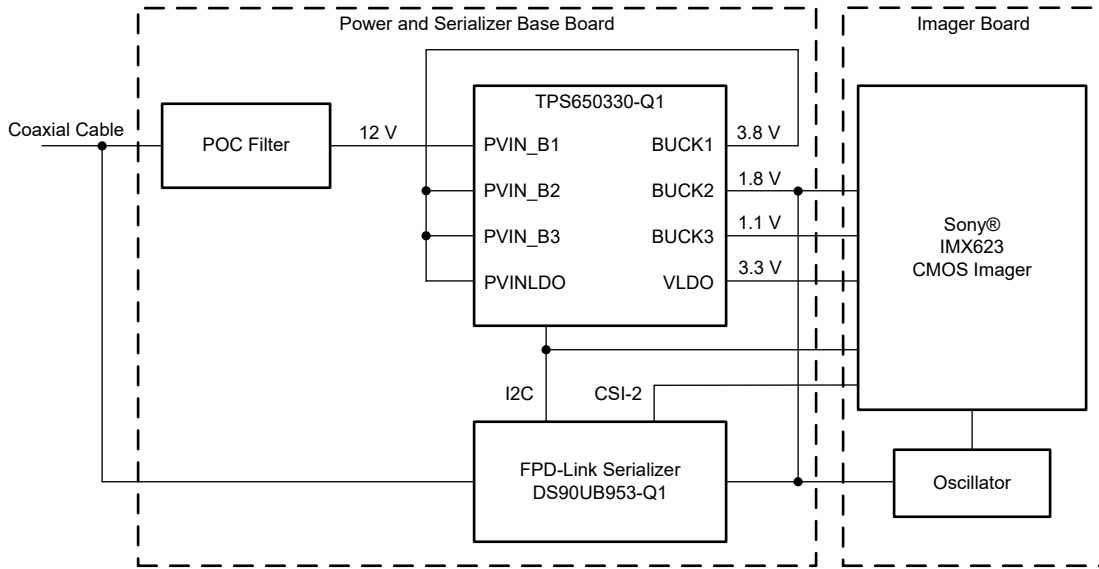


图 2-1. TIDA-050060 方框图

2.2 设计注意事项

以下小节将讨论有关系统各子部分设计的注意事项。

2.2.1 PCB 和外形因数

此设计的目标是在 20mm × 20mm 的紧凑面积内融合双板解决方案的灵活性。成像仪板上的镜头安装和电源及串行器板上的 FAKRA 连接器均适合此区域。图 2-2 和图 2-3 示出了基板 3D PCB 视图，而图 2-4 和图 2-5 则示出了成像仪板 3D PCB 视图。

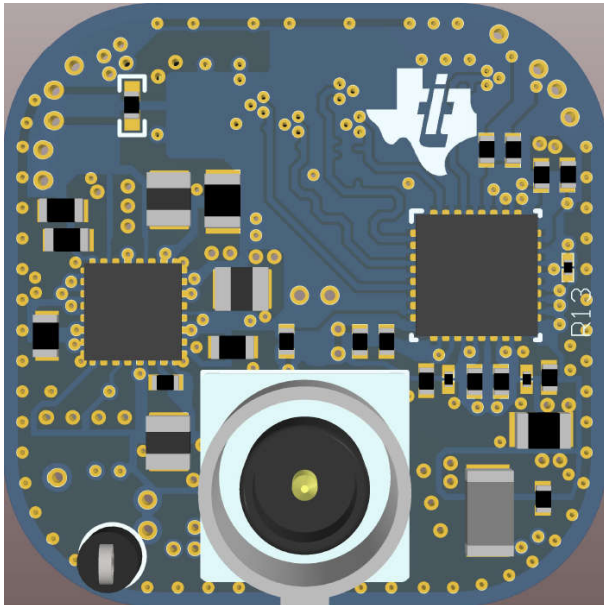


图 2-2. 3D PCB 基板 (顶部)

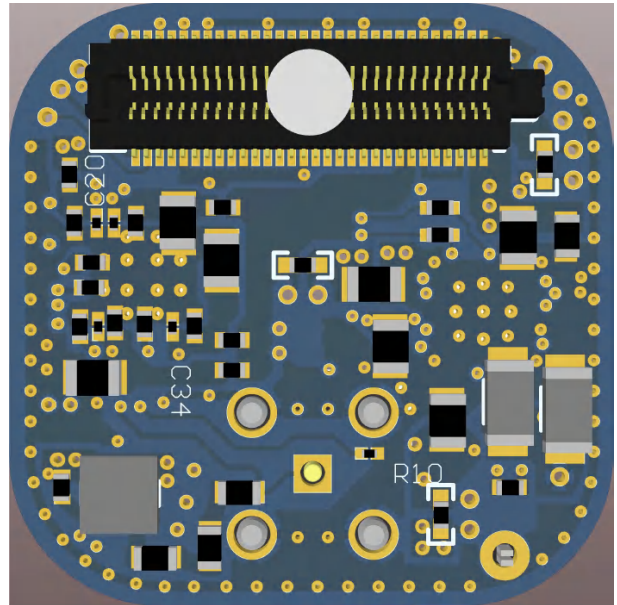


图 2-3. 3D PCB 基板 (底部)

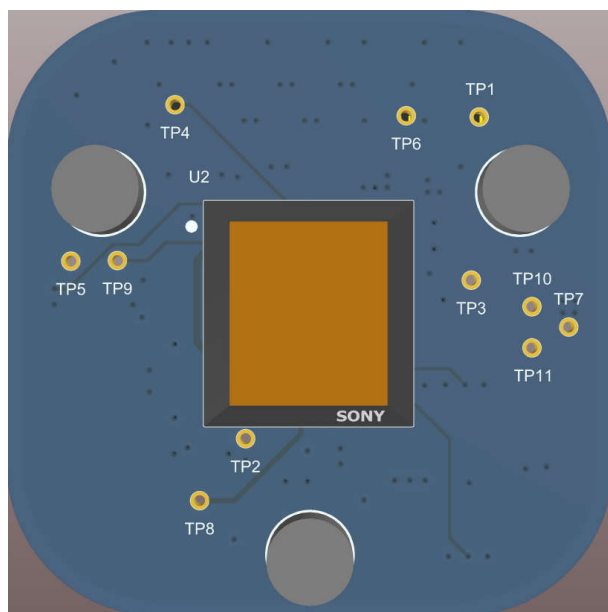


图 2-4. 3D PCB 成像仪板 (顶部)

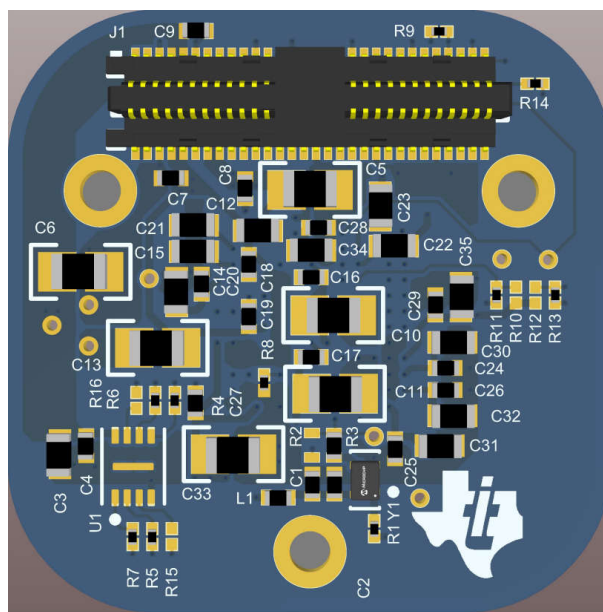
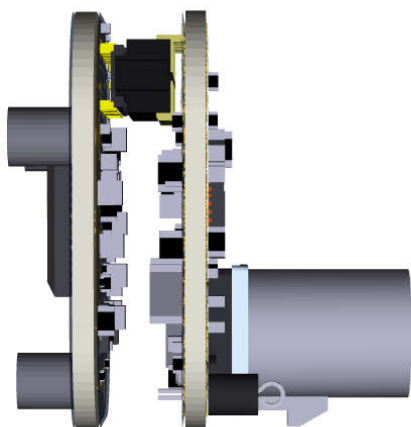
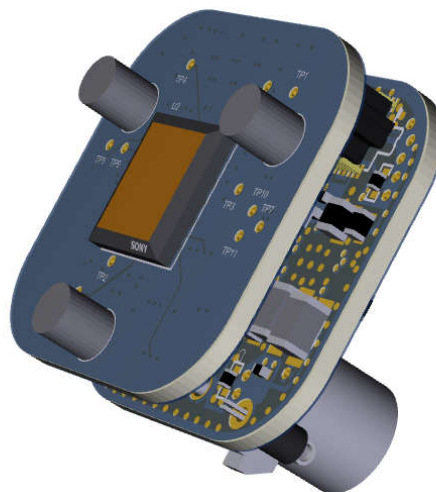


图 2-5. 3D PCB 成像仪板 (底部)

图 2-6 和图 2-7 示出了装配电路板的 3D PCB 视图。

图 2-6. 3D PCB 装配电路板
(侧视图)图 2-7. 3D PCB 装配电路板
(角视图)

2.2.2.2 电源注意事项

该参考设计针对汽车应用，因此有几个要求决定了设计选择：

- 电路板面积需要最小化至 20mm × 20mm。完全集成的 PMIC 电源解决方案可很大程度地减少外部元件数量，从而更容易满足这一要求。
- 开关频率必须低于 540kHz 或高于 1700kHz，以避免干扰 AM 无线电频带。选择较高的开关频率可防止谐波侵入 AM 频带，并允许使用较小的外部元件来满足电路板面积要求。
- 所有器件必须符合 AEC Q100-Q1 标准。

系统输入电压是通过同轴电缆提供的 9V 预稳压电源电压。由于 PMIC 集成了监控器和监控功能，因此需要供电的系统元件仅包括成像仪、串行器和振荡器。表 2-1 显示了这些器件的最大功耗：

表 2-1. 系统功率预算

参数	电压 (V)	电流 (mA)	功率 (mW)
成像仪			
	3.3	79	261
	1.8	9	16
	1.1	383	421
串行器			
	1.8	225	405
振荡器			
	1.8	3	5
总计			
	3.3	79	261
	1.8	237	427
	1.1	383	421

2.2.2.2.1 选择外部元件

为简单起见，假设降压稳压器在表 2-1 中所列工作条件下的效率为 80%，并且根据以下方程式 1 计算 LDO 的效率：

$$\eta_{\text{LDO}} = \frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}}} = \frac{3.3}{3.8} = 0.87 \quad (1)$$

方程式 2 可将转换器的输入功率作为输出功率和效率的函数计算，用于计算系统和降压转换器 1 输出电流。

$$P_{\text{IN}} = V_{\text{IN}} \times I_{\text{IN}} = \frac{P_{\text{OUT}}}{\eta} \quad (2)$$

$$I_{\text{OUT, Buck1}} = \frac{\frac{P_{\text{OUT, Buck2}}}{\eta_{\text{Buck2}}} + \frac{P_{\text{OUT, Buck3}}}{\eta_{\text{Buck3}}} + \frac{P_{\text{OUT, LDO}}}{\eta_{\text{LDO}}}}{V_{\text{OUT, Buck1}}} = 341 \text{ mA} \quad (3)$$

表 2-2 显示了相较于摄像头模块要求的各稳压器的负载能力。TPS650330-Q1 器件能够为系统供电，并具有足够的裕量，以应对电流在典型值和最大值之间的变化。

表 2-2. TPS650330-Q1 功能与系统要求

稳压器	输出电压 (V)	最大电流 (mA)	所需电流 (mA)
降压转换器 1	3.8	1500	341
降压转换器 2	1.8	1200	237
降压转换器 3	1.1	1200	383
LDO	3.3	300	79

基于电源要求确定 TPS650330-Q1 器件适用后，便可根据数据表建议快速选择外部元件，从而简化设计流程。图 2-9 和表 2-3 中示出了这些建议。

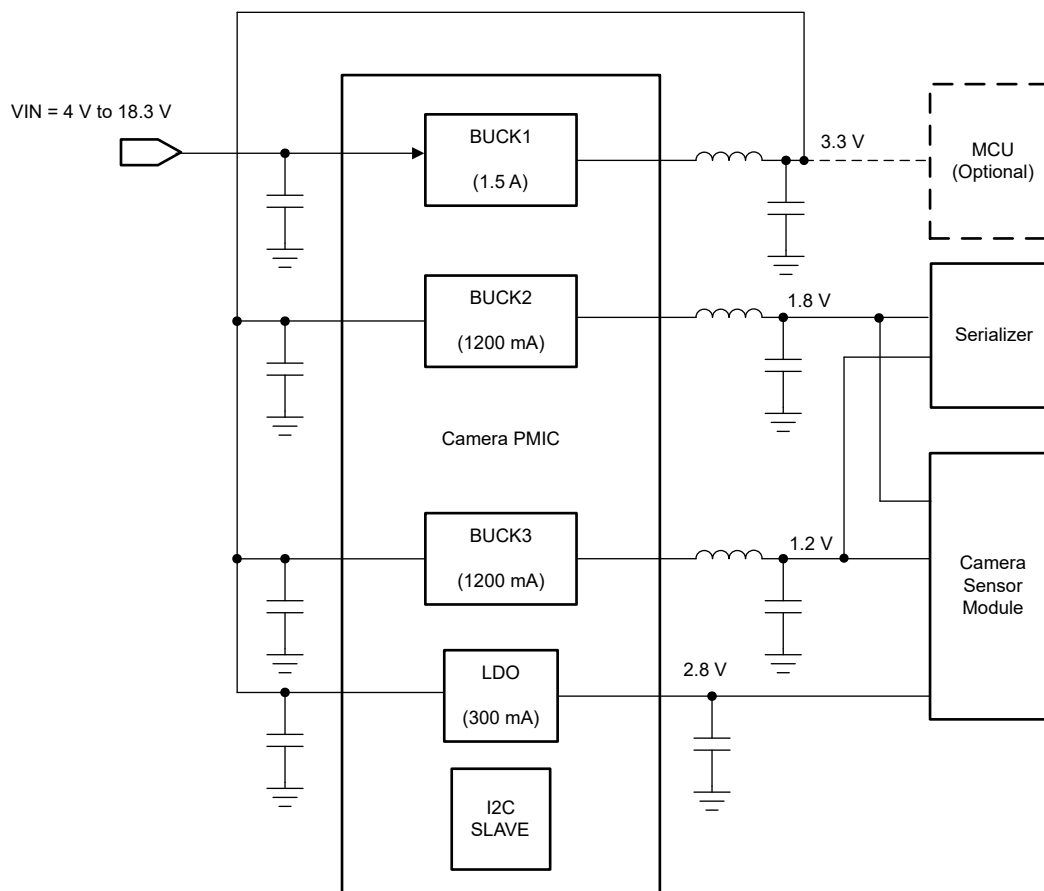


图 2-9. 典型应用

表 2-3. TPS650330-Q1 的推荐元件

元件	说明	值	单位
C _{VSYS,VSYS_S}	VSYS 和 VSYS_S 去耦	10	μF
C _{PVIN_B1}	降压稳压器 1 输入电容器	10	μF
L _{SW_B1}	降压稳压器 1 电感器	1.5	μH
C _{OUT_B1}	降压稳压器 1 输出电容器	10	μF
C _{PVIN_B2}	降压稳压器 2 输入电容器	10	μF
L _{SW_B2}	降压稳压器 2 电感器	1.0	μH
C _{OUT_B2}	降压稳压器 2 输出电容器	10	μF
C _{PVIN_B3}	降压稳压器 3 输入电容器	10	μF
L _{SW_B3}	降压稳压器 3 电感器	1.0	μH
C _{OUT_B3}	降压稳压器 3 输出电容器	10	μF
C _{PVIN_LDO}	LDO 输入电容器	1.0	μF
C _{OUT_LDO}	LDO 输出电容器	2.2	μF

2.2.2.2.2 选择降压稳压器 1 电感器

电感值选定为 $1.5 \mu\text{H}$ 后，必须计算出电感器的最小饱和电流，以选择符合设计需求的电感器。该电流需结合稳态电源电流和电感器纹波电流。为了确保电源和串行器基板可灵活适用于较高功率图像传感器，需要根据稳压器的最大额定输出电流选择电感器。使用 [方程式 4](#) 计算电感器纹波电流。

$$\Delta I_{L(\text{max})} = V_{\text{OUT}} \times \left(\frac{1 - \frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}(\text{max})}}}{L_{(\text{min})} \times f_{\text{sw}}} \right) \quad (4)$$

其中

- $\Delta I_{L(\text{max})}$ 是电感器纹波电流最大峰峰值
- $L_{(\text{min})}$ 是最小有效电感值
- f_{sw} 是实际 PWM 开关频率

此参考设计中降压稳压器 1 的参数为：

- $V_{\text{OUT}} = 3.8\text{V}$
- $V_{\text{IN}(\text{max})} = 18.3\text{V}$
- $L_{(\text{min})} = 1.5 \mu\text{H}$
- $f_{\text{sw}} = 2.3\text{MHz}$

根据这些参数可计算得出电感器纹波电流 $\Delta I_L = 873\text{mA}$ 。假设最大负载电流为 1.5A ，使用 [方程式 5](#) 计算得到最小饱和电流 1.9A 。

$$L_{\text{SAT}} \geq I_{\text{OUT, (MAX)}} + \frac{\Delta I_{L(\text{MAX})}}{2} \quad (5)$$

此设计中的 TPS650330-Q1 器件采用 TDK® TFM201610ALMA1R5MTAA，其额定电流为 3.1A ，最大直流电阻为 $110\text{m}\Omega$ 。此外，该电感器的的工作温度范围为 -55°C 至 150°C ，采用 $2\text{mm} \times 1.6\text{mm}$ 的超小型封装。

2.2.2.2.3 选择降压稳压器 2 电感器和降压稳压器 3 电感器

降压稳压器 2 和降压稳压器 3 的建议电感值为 $1.0\mu\text{H}$ 。选择元件时，验证直流电阻和饱和电流非常重要。电感的直流电阻直接影响转换器的效率，即较低直流电阻与效率成正比。可结合稳态电源电流和电感器纹波电流来确定电感器的饱和要求。电流额定值需要足够高，但也需要尽可能小，从而减小电感器的物理尺寸。使用 [方程式 4](#) 计算电感器纹波电流。

用于降压稳压器 2 的 1.8V 电源轨的参数包括：

- $V_{\text{OUT}} = 1.8\text{V}$
- $V_{\text{IN}(\text{max})} = 3.8\text{V}$
- $L_{(\text{min})} = 1.0 \mu\text{H}$
- $f_{\text{sw}} = 2.3\text{MHz}$

根据这些参数可计算得出电感器纹波电流 $\Delta I_L = 412\text{mA}$ 。假设最大负载电流为 1.2A ，可使用 [方程式 5](#) 计算最小饱和电流 1.4A 。

用于降压稳压器 3 的 1.1V 电源轨的参数包括：

- $V_{\text{OUT}} = 1.1\text{V}$
- $V_{\text{IN}(\text{max})} = 3.8\text{V}$
- $L_{(\text{min})} = 1.0 \mu\text{H}$
- $f_{\text{sw}} = 2.3\text{MHz}$

根据这些参数可计算得出电感器纹波电流 $\Delta I_L = 340\text{mA}$ 。假设最大负载电流为 1.2A ，可使用 [方程式 5](#) 计算最小饱和电流 1.4A 。

此设计中的降压稳压器 2 和降压稳压器 3 采用 TDK® TFM201610ALMA1R0MTAA，其电流额定值为 3.1A，直流电阻为 60mΩ。此外，该电感器的的工作温度范围为 -55°C 至 150°C，采用 2mm × 1.6mm 的超小型封装。

2.2.2.2.4 功能安全

除了温度和电流监控之外，TPS650330-Q1 器件还具有集成监控器。该 PMIC 的中断引脚或状态位可用于检测发生故障的情况，此时本地或远程 MCU 或处理器可以通过 I2C 查询故障机制并采取适当的措施。TPS650330-Q1 还与 TPS650331-Q1、TPS650332-Q1 和 TPS650333-Q1 引脚兼容。这些器件中的每一个都提供额外的安全特性，允许将该设计扩展到需要功能安全的摄像头应用。

2.3 重点产品

此参考设计使用以下 TI 产品：

- DS90UB953-Q1 是芯片组串行器，该器件提供一个具有高速正向通道和双向控制通道的 FPD-Link III 接口，用于通过单根同轴电缆或差分对传输数据。该芯片组在高速正向通道和双向控制通道数据路径上均包含差分信令。串行器和解串器对主要用于电子控制单元 (ECU) 中成像仪与视频处理器的连接。
- TPS650330-Q1：一款符合汽车标准的四通道 PMIC，经过优化用于摄像头应用。该器件集成了三个降压转换器和一个 LDO，在每个电压轨上都具有欠压监控器和欠压保护装置。固定的 2.3MHz PWM 开关频率支持使用小型电感器，并提供快速瞬态响应。低噪声、高 PSRR LDO 为敏感模拟电路提供输出电压选项。输出电压和时序设置，以及其他操作设置都可以通过可编程 I2C 来兼容各种成像仪，而无需任何额外元件。

2.3.1 DS90UB953-Q1

使用串行器将 12 位视频和双向控制信号整合到一根同轴电缆或双绞线进行传输，可显著简化系统复杂性，减少成本和布线要求。DS90UB953-Q1 器件的 CSI-2 输入与 IMX623 成像仪 MIPI CSI-2 视频输出非常匹配。一旦结合使用 POC 滤波器，可将视频、I2C 控制、诊断及电源在低成本单根同轴电缆上进行传输。

2.3.2 TPS650330-Q1

为了大幅减小外形尺寸，选择了 PMIC 来满足系统的电源、监控和时序要求。由三个降压稳压器和一个 LDO 组成的电源拓扑可在电源效率和噪声性能之间形成平衡。2.2MHz 的工作频率适用是因为以下两个原因：它可避免图像传感器电路的特别敏感的频率（通常为 1 MHz 或更低），且可避免汽车应用中的 AM 无线频带受到干扰。该 PMIC 的低噪声和高 PSRR LDO 可提供高达 300 mA 的电流，并具有严格的输出电压容差（±1%），可满足 ADAS 摄像头应用中的模拟电压轨要求。PMIC 可提供可编程的输出电压和时序，允许根据视觉应用使用各种成像仪重复使用相同的电源和串行器设计。

2.3.3 IMX623

Sony® IMX623 是一款具有 295 万有效像素的对角线 7.45mm CMOS 图像传感器。该传感器支持 12 位 ADC、MIPI 4 通道、RAW12 至 RAW24 HDR 输出。其他特性包括：

- 在高达 60fps 时支持 1920 x 1536 分辨率（295 万像素）
- 120dB 动态范围
- LED 闪烁减缓
- 需要三个电压轨（3.3V、1.8V 和 1.1V）
- 可使用 I2C 接口或串行 NOR 闪存进行配置
- 引脚兼容的汽车图像传感器系列：IMX622、ISX021、ISX031

2.4 系统设计原理

汽车摄像头需要考虑的主要设计挑战是尺寸、易用性和热效率。汽车摄像头通常置于汽车较远区域，面积有限，需要紧凑型整体解决方案。因此，系统设计的关键在于凭借完全集成的 PMIC 电源解决方案实现最少数量的元件。随着 ADAS 应用的功能和复杂性不断增加，对汽车摄像头的需求不断增长，这就要求易用性或灵活性，这已成为缩短系统设计周期和上市时间的另一关键因素。DS90UB953-Q1 和 TPS650330-Q1 器件的选择很重要，因为它们可以与各种成像仪兼容。选择双板解决方案突显了此灵活性，因为根据 ADAS 应用，电源和串行器基板可与不同的成像仪板搭配使用。此外，选择 Sony® IMX623 图像传感器作为引脚兼容汽车图像传感器系列的一部分：IMX622、ISX021 和 ISX031。IMX623 成像仪电路板中包含 NOR 闪存选项，用于实现与 ISX021 和 ISX031 器件的兼容性。最后，这些摄像头尺寸小，距离远，故增强了其热敏性。高效的系统对于在这些条件下保持图像

质量至关重要。借助三个降压稳压器和一个 LDO 稳压器拓扑，TPS650330-Q1 器件的效率经过优化，可支持中高档成像仪，同时提供出色的热性能。由于热性能会对系统性能产生影响，因此在设计过程中计算总系统效率非常重要。根据表 2-2 中的降压稳压器 1 输出功率并假设效率为 85%，方程式 2 计算出系统输入功率约为 1.5W。然后将方程式 6 结合降压稳压器 2、降压稳压器 3 和 LDO 的输出功率，计算整体系统效率。

$$\eta_{SYSTEM} = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = \frac{P_{OUT, Buck\ 2} + P_{OUT, Buck\ 3} + P_{OUT, LDO}}{P_{IN, Buck\ 1}} = 73\% \quad (6)$$

3 硬件、测试要求和测试结果

3.1 所需硬件

此参考设计仅需通过 FAKRA 连接器与具有兼容解串器的系统进行一次连接，如图 3-1 所示。



图 3-1. 电路板图片

3.1.1 硬件设置

图 3-2 显示了用于测试摄像头模块参考设计的设置。此设计包含一个 IMX623 图像传感器，其通过 CSI-2 和 I2C 接口连接到 DS90UB953-Q1 串行器。之后 DS90UB953-Q1 串行器通过 POC 连接到 DS90UB954-Q1 解串器。请注意，测试设置仅使用 DS90UB954-Q1 器件的一个通道。Analog LaunchPad™ GUI 为 IMX623、DS90UB953-Q1 和 DS90UB954-Q1 器件写入所有反向通道 I2C 设置配置。

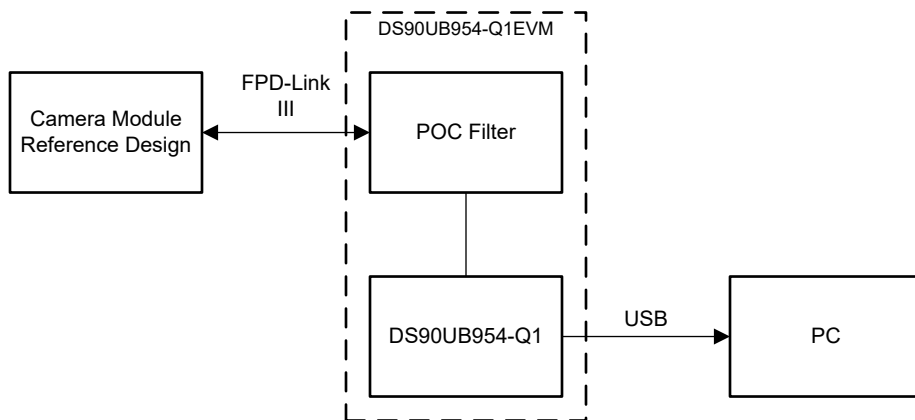


图 3-2. 测试设置

3.1.2 FPD-Link III I2C 初始化

图 3-2 中的设置连接后，DS90UB954-Q1 EVM 获得 12V 输入电源，并通过板载 LDO 调节至 9V，通过 POC 传输为 TIDA-050060 摄像头模块供电。一旦所有电源轨建立完毕，所有器件（IMX623、DS90UB953-Q1 和 DS90UB954-Q1）将可接收电源。然后，可以开始进行 I2C 初始化。请注意，以下写入仅显示单通道摄像头，可能并非所需的特定多摄像头模式。用于初始化 DS90UB954-Q1 解串器和 DS90UB953-Q1 串行器且与 Analog LaunchPad 兼容的 Python® 脚本如下所示：

```
# 设置 Port0
board.WriteI2C(UB954, 0x4C, 0x01)

# 设置备用通道配置 (0x58)
board.WriteI2C(UB954, 0x58, 0x5E)

# 设置 SER ID
board.WriteI2C(UB954, 0x5B, UB953ID)
# 设置 SER 别名 ID
board.WriteI2C(UB954, 0x5C, UB953)
# 设置从属装置/摄像头 ID
board.WriteI2C(UB954, 0x5D, SensorID)
# 设置属装置/摄像头别名 ID
board.WriteI2C(UB954, 0x65, Sensor)

# 自 50Mbps BC 频率设置 CLK_OUT
board.WriteI2C(UB953, 0x06, 0x22)
board.WriteI2C(UB953, 0x07, 0xA7)

time.sleep(0.1)

# 设置 GPIO1 至输出，其中 GPIO1 = RESET
board.WriteI2C(UB953, 0x0E, 0x1E)

# 设置 GPIO1 至高 - 让传感器退出断电模式
board.WriteI2C(UB953, 0x0D, 0x01)
```

3.1.3 IMX623 初始化

一旦 DS90UB953-Q1 和 DS90UB954-Q1 器件的 FPD-Link III 设置完成，就可以在 IMX623 上进行 I2C 初始化。有关这些写入，请参阅 IMX623 数据表中的寄存器设置。列出了许多可配置成像仪的寄存器设置，但只要 DS90UB953-Q1 和 DS90UB954-Q1 FPD-Link III 器件完成配置，I2C 反向通道支持访问 IMX623 寄存器。针对此测试，IMX623 配置为 RAW12 输出，分辨率 1920 × 1536，以及 30fps。

3.2 测试和结果

3.2.1 测试设置

用于验证电源功能和 I2C 通信的设置与 图 3-2 相同。

3.2.1.1 电源启动

为了验证电源时序和启动行为，在通过同轴电缆对系统供电后，测量 TPS650330-Q1 器件的每个电压轨输出。

3.2.1.2 电源启动 - 1.8V 电源轨和串行器 PDB 设置

DS90UB953-Q1 器件的 PDB 复位信号直接连接到 TPS650330-Q1 器件的 nRSTOUT 引脚。通过 PMIC 的集成时序功能，无需外部 RC 网络即可确保 PDB 复位线在 1.8V 电源稳定后变为高电平。

3.2.2 测试结果

以下部分展示了验证摄像头设计功能得到的测试数据。

3.2.2.1 电源启动

图 3-3 显示了 3.8V、1.8V、1.1V (DVDD) 及 3.3V (AVDD) 电源轨的启动行为。

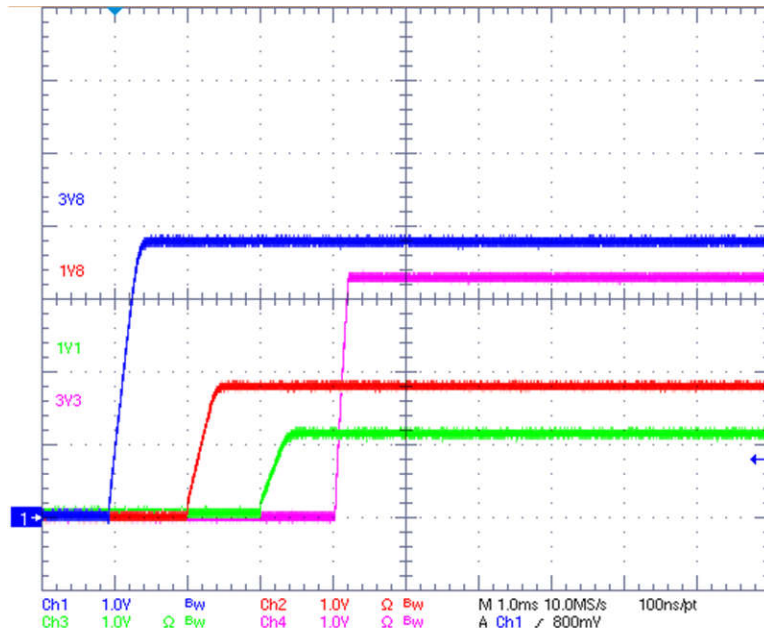


图 3-3. 负载点电源启动

图 3-4 示出了 1.8V 电源轨和 PDB 复位线之间的延迟要求得到满足。

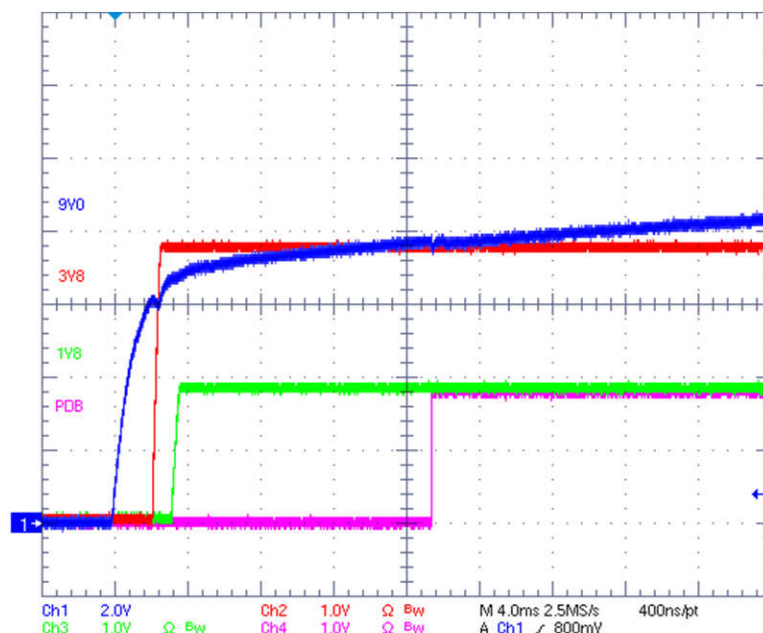


图 3-4. 串行器上电序列

3.2.2.2 电源输出电压纹波

为了获得高质量的输出视频流，IMX623 和 DS90UB953-Q1 电源的输出电压纹波必须极低，以免影响高速 CSI-2 数据和内部 PLL 时钟的完整性。图 3-5 至图 3-8 显示了当摄像头流式传输视频时 3.8V、1.8V、1.1V 和 3.3V 电压轨的测量结果。测得的峰峰值纹波电压分别为 0.4%、0.6%、0.6% 和 0.1%。严格的电压精度可成功实现视频输出传输。

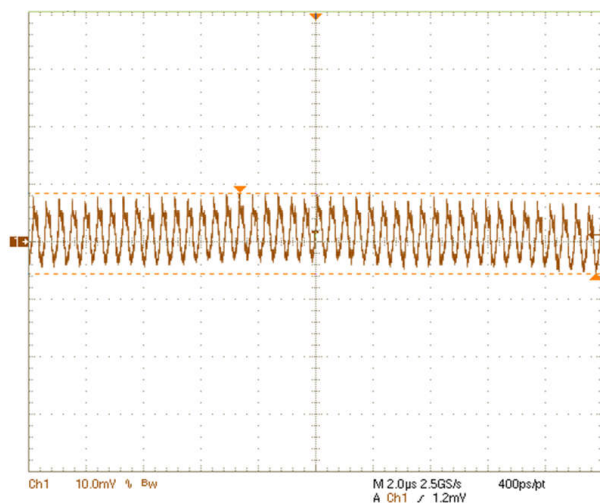


图 3-5. 输出电压纹波：3.8V

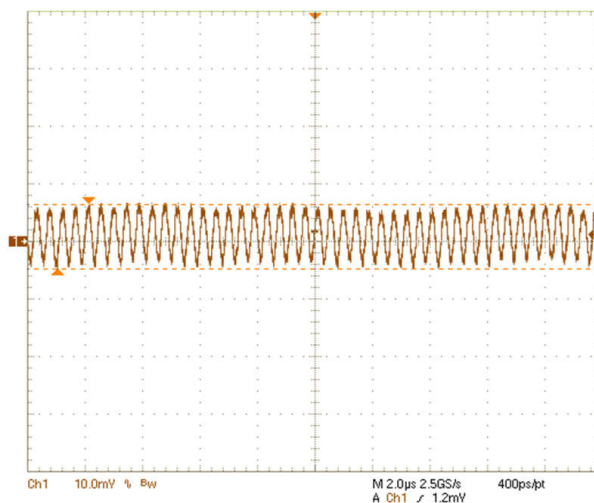


图 3-6. 输出电压纹波：1.8V

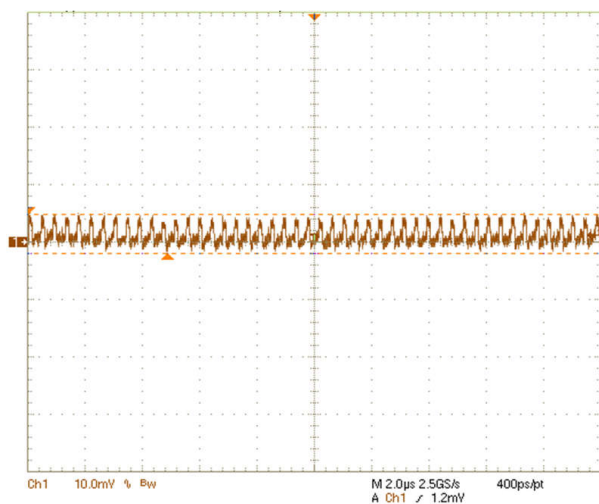


图 3-7. 输出电压纹波：1.1V

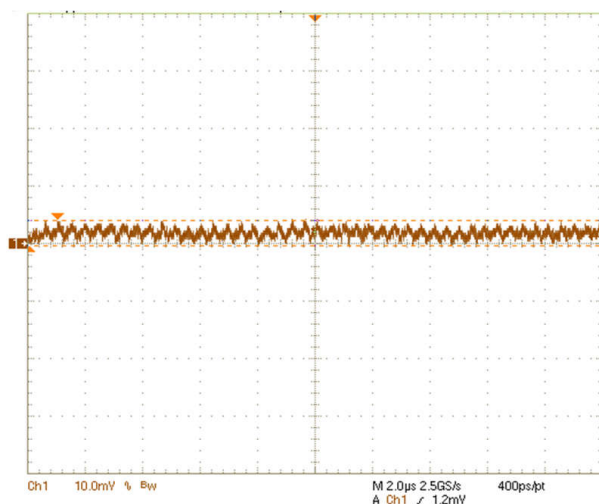


图 3-8. 输出电压纹波：3.3V

3.2.2.3 电源负载电流

表 3-1 显示了此参考设计中为每个电源电压轨测量的电流。测量对应的整体系统效率为 70%，接近于节 2.4 中得出的 73%。这种差异可以归因于测量的工作电流低于分析中所用最大值。此外，分析中未考虑同轴电缆和 POC 滤波器中的损耗。

表 3-1. 测得的电源电流

电压轨 (V)	测量电流 (mA)
9	87
3.8	180
3.3	51
1.8	139
1.1	116

3.2.2.4 I2C 通信

可借助 Analog LaunchPad GUI 来确认 DS90UB954-Q1 EVM 和 IMX623 成像仪之间通过 FPD-Link III 反向通道进行的 I2C 通信。图 3-10 和图 3-11 显示了在 RX 端口 0 上与串行器建立的链路和相应的寄存器映射。

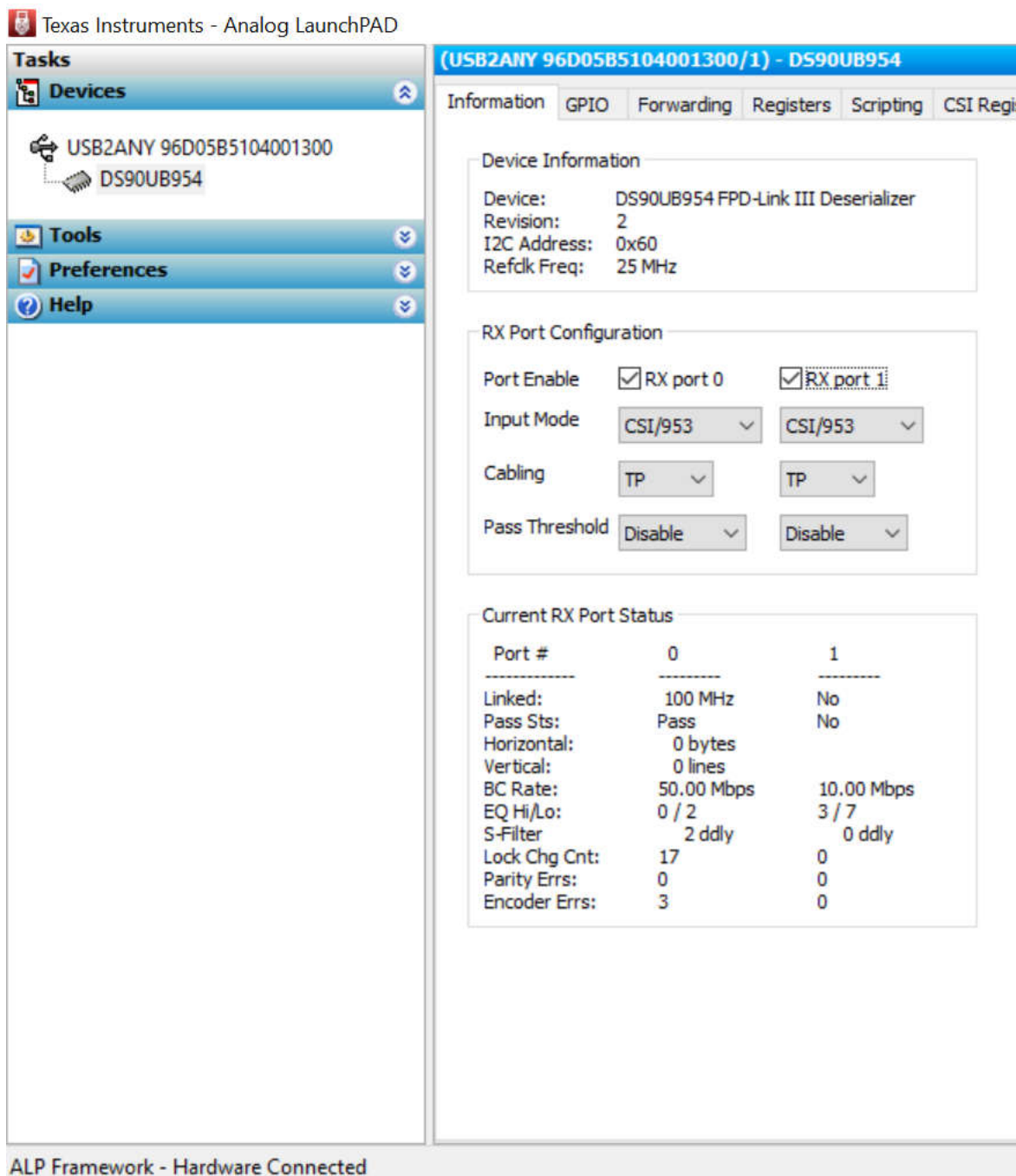


图 3-9. Analog LaunchPad 链路确认

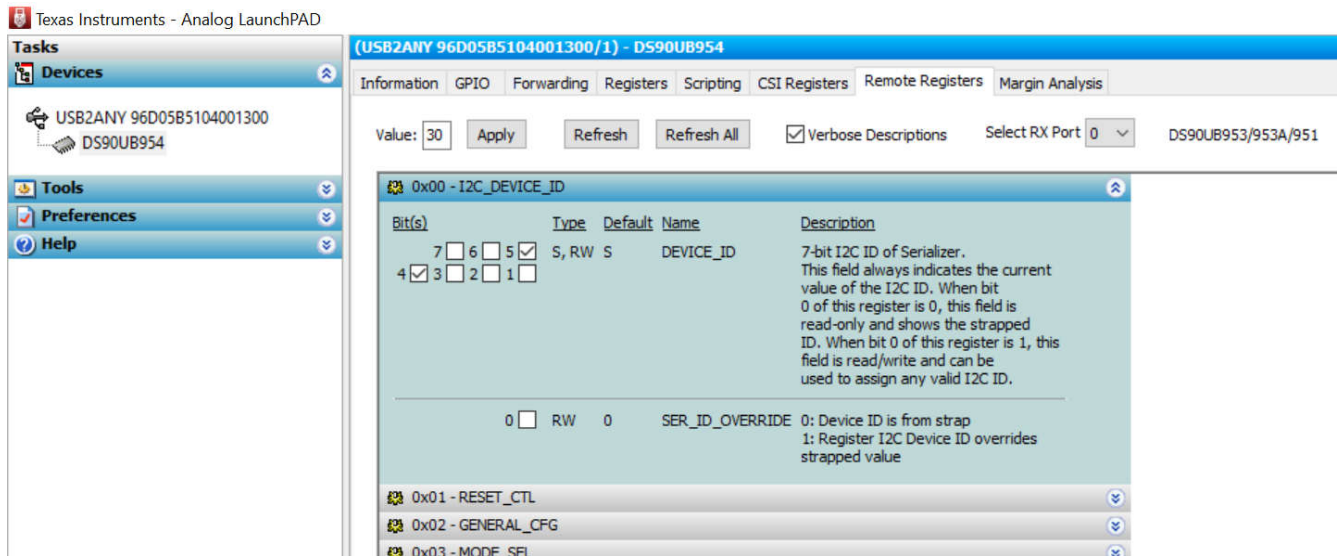


图 3-10. 串行器远程寄存器

使用 Analog LaunchPad 内置 Python “Scripting” 窗口确认对成像仪的读写（从别名地址 0x1A（7 位））。寄存器 0x8A54 读取数据 0x1A，该数据是寄存器的预期默认值。

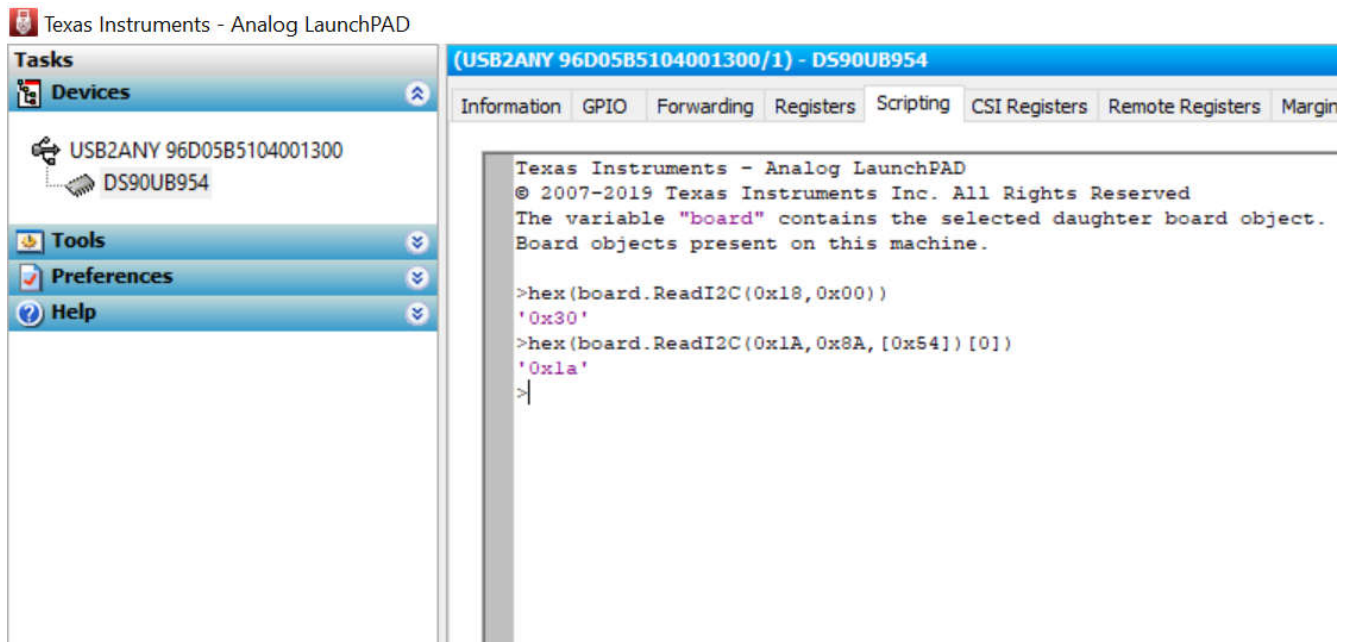


图 3-11. 反向通道 I2C 通信

4 设计文件

4.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-050060](#) 中的设计文件。

4.2 物料清单

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-050060](#) 中的设计文件。

4.3 PCB 布局建议

4.3.1 PMIC 布局建议

需仔细考虑 PCB 布局中的 PMIC 部分，从而最大程度地减小 PCB 面积和噪声。由于 EMI 在汽车系统中是一个非常重要的问题，TPS650330-Q1 器件具有展频特性，可减少传导和辐射发射，允许在空间受限的应用中提供更灵活的放置和布局。然而，仍然建议尽可能多地遵循最佳做法。其中包括尽可能减小开关电流经过具有紧密元件放置的降压稳压器输入电容器、电感器和输出电容器之间的面积，并尽量缩短 PMIC 散热焊盘返回路径。图 4-1 展示了适用于降压稳压器 2 的示例。

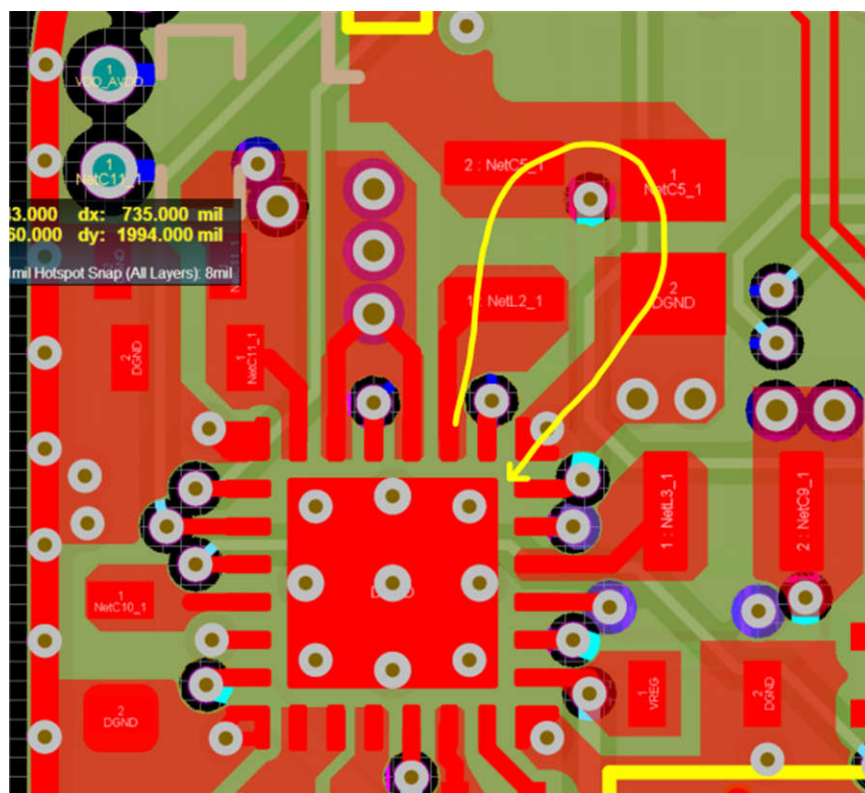


图 4-1. 降压稳压器 2 布局注意事项

对于 LDO，分离输入和输出电容器接地层可减少从开关电源轨到敏感型模拟电源轨的噪声耦合。为了进一步减少噪声耦合，将 PMIC 专用 AGND 引脚连接到具有过孔的内部层接地平面，而不是直接连接到顶层噪声更大的散热焊盘。

4.3.2 PCB 层堆叠

图 4-2 显示了用于 PMIC 和串行器板的 8 层堆叠。由于 PMIC、串行器和接头（为成像仪提供接口）之间的 I2C、GPIO、时钟和控制信号引入了复杂的布线要求，因此需要两个信号层。应选择承载高速 CSI 数据线的平面之间的分隔，以确保特性差分阻抗为 $100\ \Omega \pm 10\%$ 。

图 4-3 显示了用于成像仪电路板的 6 层堆叠。这同样是围绕 CSI-2 布线的目标差分阻抗进行的设计。

#	Name	Material	Type	Weight	Thickness	Dk	Top Ref	Bottom Ref	Width	Etch	Gap	Z	Z Dev...	Tip
	Top Overlay		Overlay											
	Top Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.4mil	3.5								
1	TOP		Signal	2oz	2.1mil		2 - GND1		5.1mil	Inf	10mil	90.195	6.805%	139.68...
	Dielectric1	FR-4	Core		3.2mil	3.8	1 - TOP	3 - INNER1	1.665mil	Inf	5mil	100.029	0.029%	165.16...
2	GND1		Signal	1oz	1.3mil		2 - GND1	4 - GND2	2.733mil	Inf	5mil	100.015	0.015%	165.16...
	Dielectric2	FR-4	Core		5mil	3.8	3 - INNER1	5 - PWR1	3.753mil	Inf	5mil	99.964	0.036%	165.16...
3	INNER1		Signal	1oz	1.3mil		4 - GND2	6 - INNER2	3.753mil	Inf	5mil	99.964	0.036%	165.16...
	Dielectric3	FR-4	Core		9mil	3.8	5 - PWR1	7 - GND3	2.733mil	Inf	5mil	100.015	0.015%	165.16...
4	GND2		Signal	1oz	1.3mil		6 - INNER2	8 - BOTTOM	1.665mil	Inf	5mil	100.029	0.029%	165.16...
	Dielectric4	FR-4	Core		14mil	3.8	7 - GND3		5.1mil	Inf	10mil	90.195	6.805%	139.68...
5	PWR1		Signal	1oz	1.3mil									
	Dielectric5	FR-4	Core		9mil	3.8								
6	INNER2		Signal	1oz	1.3mil									
	Dielectric6	FR-4	Core		5mil	3.8								
7	GND3		Signal	1oz	1.3mil									
	Dielectric7	FR-4	Core		3.2mil	3.8								
8	BOTTOM		Signal	2oz	2.1mil									
	Bottom Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.4mil	3.5								
	Bottom Overlay		Overlay											

图 4-2. 八层堆叠 PMIC 和串行器板

#	Name	Material	Type	Weight	Thickness	Dk	Top Ref	Bottom Ref	Width	Etch	Gap	Z	Z Dev...	Tip
	Top Overlay		Overlay											
	Top Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.4mil	3.5								
1	TOP		Signal	1oz	1.7mil		2 - GND1		5.239mil	Inf	5mil	99.953	0.047%	138.41...
	Dielectric1	FR-4	Core		6mil	4.3	1 - TOP	3 - INNER1	2.52mil	Inf	5mil	99.961	0.039%	175.69...
2	GND1		Signal	1/2oz	0.7mil		2 - GND1	4 - POWER1	4.1mil	Inf	8mil	95.959	4.041%	177.59...
	Dielectric2	FR-4	Core		4mil	4.3	3 - INNER1	5 - GND2	4.1mil	Inf	8mil	95.959	4.041%	177.59...
3	INNER1		Signal	1/2oz	0.7mil		4 - POWER1	6 - BOTTOM	2.52mil	Inf	5mil	99.961	0.039%	175.69...
	Dielectric3	FR-4	Core		35.8mil	4.5	5 - GND2		5.239mil	Inf	5mil	99.953	0.047%	138.41...
4	POWER1		Signal	1/2oz	0.7mil									
	Dielectric4	FR-4	Core		4mil	4.3								
5	GND2		Signal	1/2oz	0.7mil									
	Dielectric5	FR-4	Core		6mil	4.3								
6	BOTTOM		Signal	1oz	1.7mil									
	Bottom Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.4mil	3.5								
	Bottom Overlay		Overlay											

图 4-3. 六层堆叠成像仪板

4.3.3 串行器布局建议

布线阻抗是 CSI-2 通道布线的关键方面。应使布线阻抗处于规格范围内以及彼此的范围，布线的长度和宽度会对此有所影响。要实现严格的阻抗规格，长度规格也需要完全位于正负差分对长度和对至对长度范围内。如果长度不匹配，在这些高数据交换速度下，数据可在不同时间到达 953，从而导致数据与时钟之间出现同步问题。正负差分对布线之间的长度差应彼此不超过 5mil。为了实现每个 CSI-2 通道对之间的长度匹配，差异必须保持在 25mil 以内。

5 Differential Pairs (5 Highlighted)

Designator	Average Length (mil)	Longest Signal Length (...)
CSI2_CK	681.447	680.881
CSI2_D0	681.785	682.057
CSI2_D1	681.64	681.528
CSI2_D2	682.195	680.824
CSI2_D3	681.236	681.207

 Add

 Delete

 Edit

10 Nets (0 Highlighted)

Na...	Node Count	Signal Len...	Total Pin/P...	Routed Le...	Unrouted (...)
CSI2_CK_I2	680.881	0	681.823	0	
CSI2_CK_I2	680.424	0	681.07	0	
CSI2_D0_I2	682.057	0	682.449	0	
CSI2_D0_I2	680.731	0	681.122	0	
CSI2_D1_I2	681.528	0	681.74	0	
CSI2_D1_I2	680.739	0	681.54	0	
CSI2_D2_I2	680.466	0	682.573	0	
CSI2_D2_I2	680.824	0	681.816	0	
CSI2_D3_I2	680.361	0	680.617	0	
CSI2_D3_I2	681.207	0	681.855	0	

 Create From Nets

 Rule Wizard

图 4-4. CSI 布线匹配

使用 CSI-2 布线时需要解决的最后一个关键点是串扰和反射。为了减少通道间串扰的影响，每个差分通道之间的间距必须至少是信号布线宽度的三倍。此外，应尽可能减少布线上的过孔和弯曲。弯曲的左右弯曲次数必须尽可能相等，弯曲角度必须大于或等于 135 度。

去耦电容器需要非常靠近串行器电源引脚放置。同样，这要求用户考虑电源电流和返回电流的路径。保持此连接的环路面积较小，可减少与电容器连接有关的寄生电感。由于空间受限，并非总是能够找到合适的放置位置。对于放置在串行器相对层上的去耦电容器，应最大程度地缩短串行器散热焊盘返回路径。必须将电容值较低、可实现较高频去耦的电容器放置于最靠近器件的位置。

对于此应用，同轴电缆互连需要 50 Ω 单端阻抗。还必须尽可能确保该连接较短。图 4-5 显示了高速串行线的布线，以黄线突出显示。黄线总长约为 0.5 英寸。

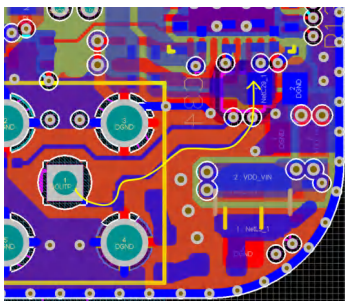


图 4-5. 基板上的 DOUT 路径

4.3.4 成像仪布局建议

CSI-2 通路由必须遵循之前概述的适用于成像仪布局的指南。同样，去耦电容器应当尽可能靠近电源引脚放置，其中较小的电容器应优先靠近电源引脚。使用过孔和宽迹线来最大程度地减小接地层的寄生电阻和电感。

4.3.5 布局图

要下载板层图，请参阅 [TIDA-050060](#) 中的设计文件。

4.4 Altium 工程

要下载 Altium Designer® 工程文件，请参阅 [TIDA-050060](#) 中的设计文件。

4.5 Gerber 文件

要下载 Gerber 文件，请参阅 [TIDA-050060](#) 的设计文件。

4.6 装配图

要下载装配图，请参阅 [TIDA-050060](#) 中的设计文件。

5 相关文档

1. 德州仪器 (TI), [适用于 2.3MP/60fps 摄像头、雷达以及其他传感器, 可支持 CSI-2 接口的 DS90UB953-Q1 FPD-Link III 4.16Gbps 串行器](#), 数据表
2. 德州仪器 (TI), [TPS650330-Q1 汽车摄像头 PMIC](#), 数据表。
3. 德州仪器 (TI), [DS90UB953-Q1 的同轴电缆供电设计准则](#), 应用报告。

6 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

Sony® is a registered trademark of OmniVision Technologies, Inc.

TDK® is a registered trademark of TDK Electronics AG.

Altium Designer® is a registered trademark of Altium LLC or its affiliated companies.

所有商标均为其各自所有者的财产。

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、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司