

# 采用 YUV422、PMIC、FPD-Link III 和 POC 的汽车 130 万像素低成本摄像头模块参考设计



## 说明

此摄像头模块参考设计结合使用具有集成图像信号处理器 (ISP) 的 130 万像素成像仪与 12 位 100MHz TI FPD-Link III 串行器，满足了汽车驾驶辅助系统 (ADAS) 对小型低成本摄像头的要求。此外，该模块还为两款器件提供超小型电源管理集成电路 (PMIC) 电源。该设计包含一个高速串行接口，通过该接口，可使用传输数据和电力的同轴电缆将远程汽车摄像头模块连接到显示器或机器视觉处理系统。此参考设计使用的 FPD-Link III 串行器/解串器技术支持使用单根线缆传输原始或经过处理的视频数据和双向控制信号并进行同轴电缆供电 (POC)。

## 资源

<a href="#">TIDA-050050</a>	设计文件夹
<a href="#">TPS650330-Q1</a>	产品文件夹
<a href="#">DS90UB933-Q1</a>	产品文件夹



请咨询我司 TI E2E™ 支持专家

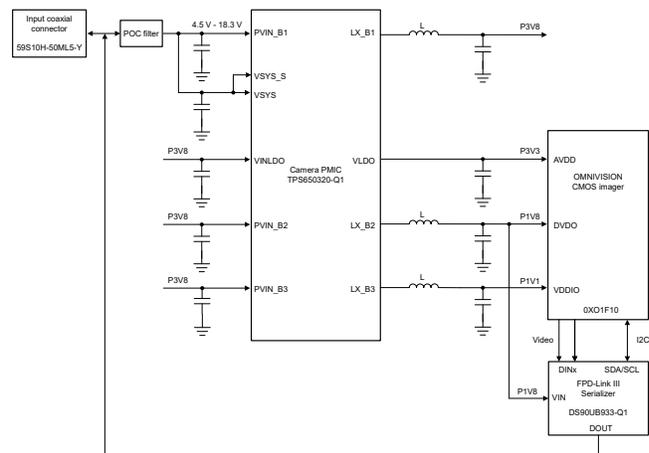


## 特性

- 设计经过空间优化且具有集成电源，可安装在 18mm × 18mm 的单块 PCB 上
- 集成的 TPS650320-Q1 电源包含三个降压转换器和一个 LDO，以实现高效率 and 生成低噪声电源
- P2P 兼容电源可实现功能安全应用
- 使用 DS90UB933-Q1 支持高达 1MP/60fps 摄像头应用
- Omnivision 130 万像素 OX01F10 图像传感器提供 HDR YUV422、RGB888、RAW
- 用于数字视频、供电、控制以及诊断的单个 Rosenberger Fakra 同轴电缆连接器

## 应用

- 不具有处理功能的摄像头模块
- 后置摄像头
- 环视系统 ECU



## 1 系统说明

许多汽车应用需要小巧的外形，较小的电路面积，从而实现紧凑型模块化系统。因此，在设计 ADAS 摄像头应用时，大多数摄像头和电子元件必须满足最小面积的限制。此参考设计将一个 100 万像素成像仪、一个 1.9Gbps 串行器、单个电源管理 IC 以及所有所需元件安装在面积为 18mm × 18mm 电路板上，可满足上述需求。系统仅需通过单根 50 Ω 同轴电缆连接。

包含直流电源、FPD-Link 正向和反向通道的组合信号通过 FAKRA 同轴电缆连接器进入电路板。图 1-1 中的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。

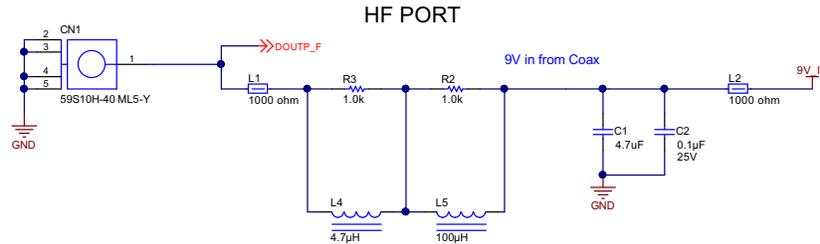


图 1-1. FPD-Link III 信号路径

直流部分连接到 TPS650320-Q1 电源管理 IC 的降压稳压器 1 的输入端。此电压为器件的降压稳压器 2 和降压稳压器 3 供电，这些降压稳压器负责为成像仪和串行器创建电源轨。LDO 输入引脚电源电压为 3.8V，负责为成像仪提供低噪声、3.3V 模拟电源。降压稳压器 3 输出成像仪专用的 1.1V 电压，降压稳压器 2 产生由成像仪和串行器共用的通用 1.8V 数字电源。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并行数字视频端口 (DVP) 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 I<sup>2</sup>C 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 关键系统规格

表 1-1. 关键系统规格

参数		备注	最小值	典型值	最大值	单位
V <sub>IN</sub>	电源电压	通过同轴电缆供电 (POC)	4.5	9	18.3	V
P <sub>TOTAL</sub>	总功耗	V <sub>POC</sub> = 12V	—	0.6	1	W
A <sub>PCB</sub>	PCB 面积		—	—	18 x 18	mm <sup>2</sup>

## 2 系统概述

### 2.1 方框图

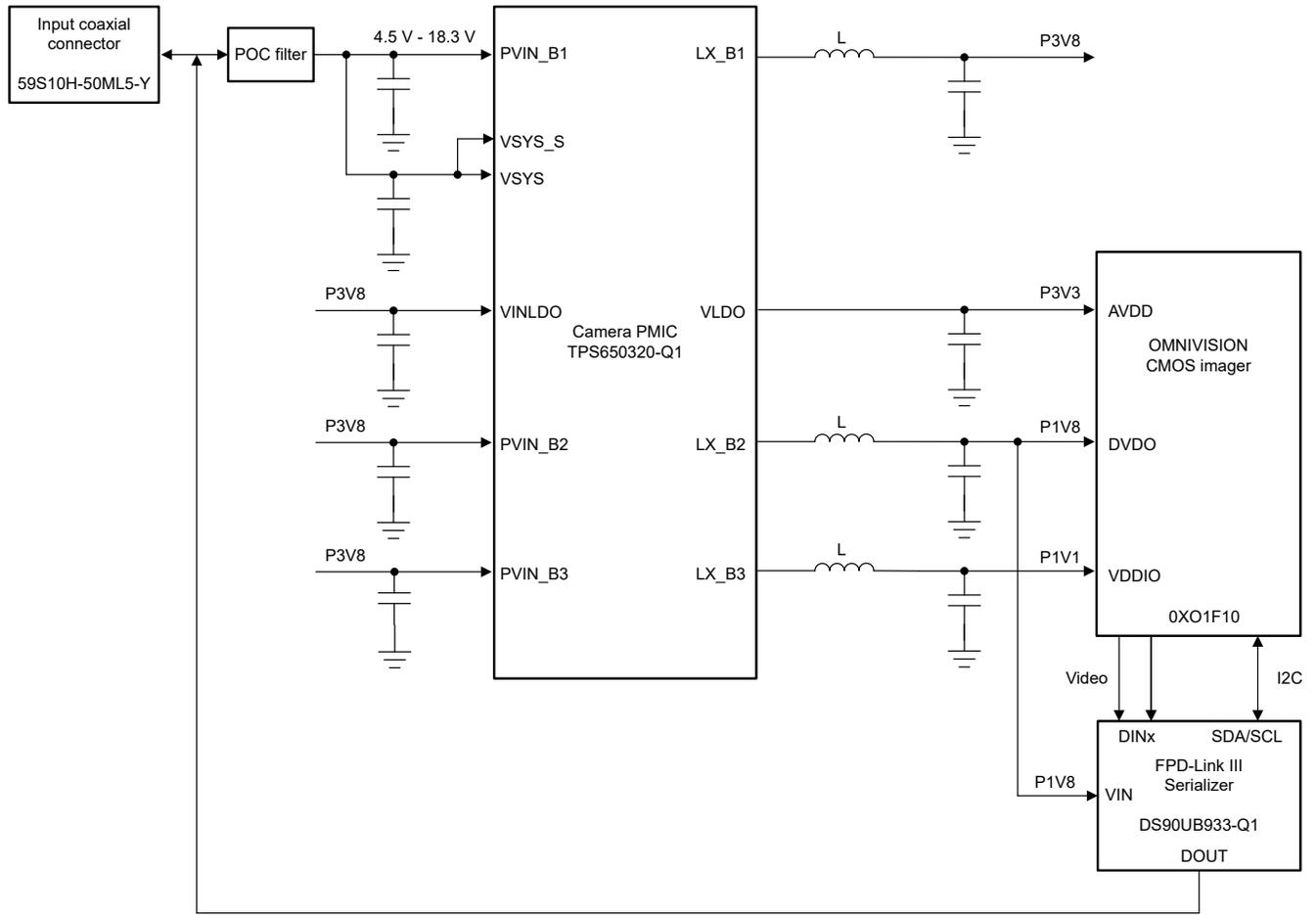


图 2-1. 摄像头方框图

## 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

此参考设计并非旨在适合任何特定的外形因数，然而，该设计的目的是展示具有极小 PCB 面积和紧凑设计的解决方案。电路板面积约为  $18\text{mm} \times 18\text{mm}$ 。图 2-2 中靠近电路板边缘留有区域，用于连接容纳透镜的光学元件外壳。

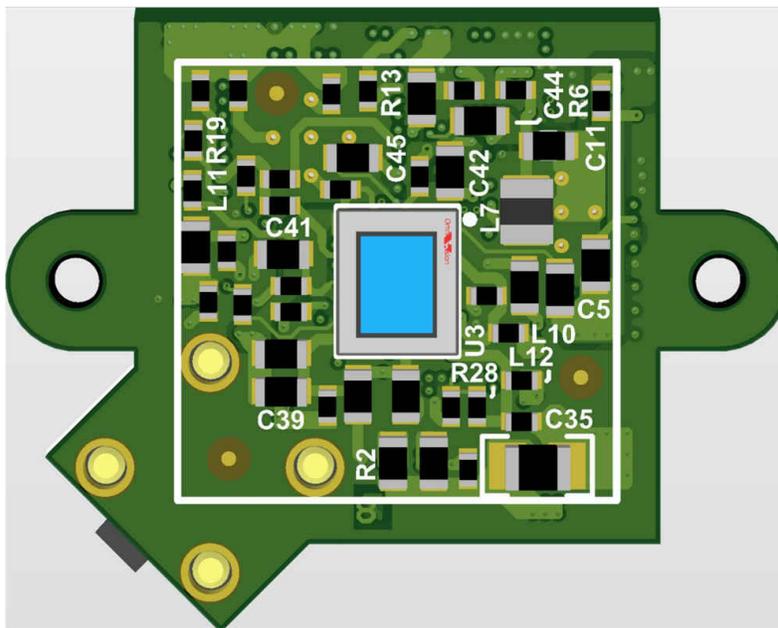


图 2-2. 3D PCB 顶层

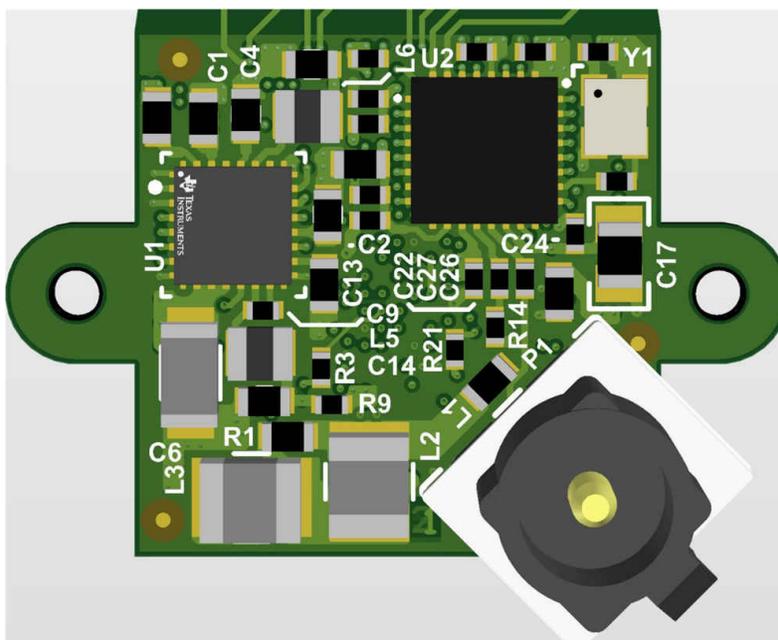


图 2-3. 3D PCB 底层

## 2.2.2 电源设计

### 2.2.2.1 POC 滤波器

在使用 POC 的设计中，最关键的部分之一是滤波器电路。目标有两个：

1. 向开关稳压器的输入端提供纯净的直流电源。
2. 保护 FPD-Link 通信通道免受系统其余部分的反向耦合噪声的影响。

此系统中使用的 DS90UB933-Q1 和 DS90UB954-Q1 串行器/解串器器件通过两个载波频率实现通信。这两个载波频率分别为由解串器器件确定的全速 1GHz (“正向通道”)和较低频率 2.5MHz (“反向通道”)。滤波器必须衰减通过这两个载波的较大频带，以期仅通过直流。

对于 POC 设计，为了使正向通道和反向通道能够不间断地通过同轴电缆，需要在 1MHz 至 1GHz 的带宽有  $1k\Omega$  的阻抗。使用两个电感器：一个  $4.7\mu\text{H}$  电感器用于高频正向通道滤波，一个  $100\mu\text{H}$  电感器用于低频反向通道滤波。有关更多详细信息，请参阅在 [DS90UB913A 设计中](#)进行同轴电缆供电应用报告。此外，一个  $1k\Omega$  电阻器与这两个电感器并联放置。还串联了一个  $1k\Omega$  铁氧体磁珠，以在正向通道数据速率进行额外滤波。

最后，关于滤波，确保 FPD-Link 信号不中断与向系统提供纯净的无噪声直流电源同样重要。为此，选择了  $0.1\mu\text{F}$  和  $0.047\mu\text{F}$  交流耦合电容器，以确保高速交流数据信号通过，而阻止直流信号通过数据线。

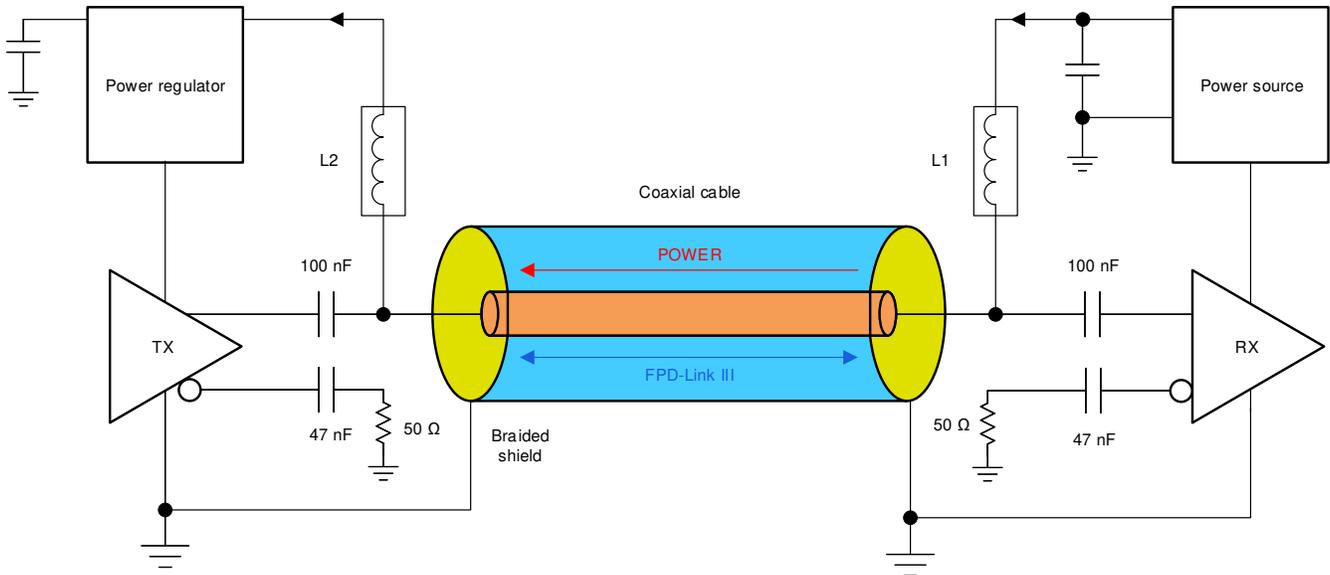


图 2-4. 通过同轴电缆供电

### 2.2.2.2 电源注意事项

由于此参考设计适用于汽车应用，有一些注意事项限制了设计选择。此外，以下系统级规格列表有助于形成最终的总体设计：

- 必须更大限度地减小总解决方案尺寸，以满足此设计的尺寸要求，即相当于  $18\text{mm} \times 18\text{mm}$ 。这意味着选择集成了 FET、二极管、补偿网络及反馈电阻分压器的器件，以消除对外部电路的需求。
- 为了避免干扰 AM 无线电频带，所有开关频率必须大于  $1700\text{kHz}$  或者小于  $540\text{kHz}$ 。在本例中，较低的开关频率不太可取，因为该类频率需要大型电感器，且仍会在 AM 频带产生谐波。因此，此参考设计着眼于更高的开关频率。
- 所有器件必须符合 AEC Q100 (-Q1) 标准。

选择器件之前，必须得知输入电压范围、所需电压轨及每个电压轨所需的电流。在本例中，输入电压是通过同轴电缆传输的  $9\text{V}$  预调节电源电压。此系统仅有两个主要器件：成像仪和串行器，用于负责运行过程中的功耗。表 2-1 列出了电源要求：

表 2-1. 系统功率预算

参数	电压 (V)	电流 (mA)	功率 (mW)
<b>DS90UB933</b>			
VDD	1.8	98	176
<b>OX01F10</b>			
VDD-D	1.1	170	187
VDD-IO	1.8	21	38
VDD-A	3.3	33	109
<b>振荡器</b>			
VDD	1.8	3	5
<b>总计</b>			
VDD-D	1.1	170	187
VDD-IO	1.8	122	220
VDD-A	3.3	33	109

通过同轴电缆传输的 9V 电源电压首先降低到 3.8V，然后为摄像头模块上系统其他部分供电。在此设计中，1.8V 电压轨既为 DS90UB933 供电，也为 OX01F10 成像仪接口供电。OX01F10 3.3V 模拟电压轨需要 33mA 电流，DS90UB933 串行器 1.8V 电压轨需要 98mA 电流，OX01F10 1.1V 数字电压轨需要 170mA 电流。

为了使用上述数值简化计算，假设效率为 85%，经计算可知，3.8V 电源电压需要 160mA 电流才能为 1.1V、1.8V 和 3.3V 电压轨供电。由于输入和输出电压、输出电流要求及总功率消耗已知，可使用 [方程式 1](#) 计算输入电流。

$$P_{IN} = V_{IN} \times I_{IN} = \frac{P_{OUT}}{\eta_{系统}} = \frac{\frac{P_{OUT2}}{\eta_2} + \frac{P_{OUT3}}{\eta_3} + \frac{P_{LDO}}{\eta_{LDO}}}{\eta_1} \quad (1)$$

$$\therefore I_{IN} = \frac{\frac{187 \text{ mW}}{85\%} + \frac{220 \text{ mW}}{85\%} + \frac{109 \text{ mW}}{87\%}}{9 \text{ V} \times 85\%} = 79.0 \text{ mA}$$

上述信息可作为在后续部分中选择电源拓扑和电感无源器件的有力依据。

按照 Q100 要求，额定开关频率必须在 AM 频带外，且必须满足之前确定的电压和电流要求。由于输入电压是始终大于所产生任何电源轨电压的调节电压，选定的电源拓扑应为降压转换器（降压稳压器）或 LDO。降压稳压器通常包含在开关噪声不是重要问题，而省电是最大关注点的电源中。相反，LDO 可用于构建低噪声模拟电源，以降低固有噪声，且更不易受 EMI 影响，然而，会造成电流消耗较高。

在此设计中，单个电源管理 IC 负责为电源轨供电。之所以选择 TPS650320-Q1 器件，是因为该器件在单个 4.0mm x 4.0mm VQFN 封装中包含了三个降压转换器（降压稳压器）和一个 LDO。此设计的电流要求在器件的选择中同样发挥了重要作用，因为次级降压稳压器可提供 600mA 电流，而 LDO 可提供的最大电流输出为 300mA。降压稳压器 1 将 9V POC 输入电压降到 3.8V。然后，该 3.8V 电压轨为降压稳压器 2、降压稳压器 3 和 LDO 输入供电。降压稳压器 2 为 OX01F10 成像仪和 DS90UB933 串行器提供接口和数字电源，而 LDO 输出为 OX01F10 提供清洁、低噪声的 3.3V 模拟电源。

#### 2.2.2.2.1 选择外部元件

为简单起见，假设降压稳压器在这些工作条件下的效率为 85%，根据 [方程式 2](#) 计算 LDO 的效率。

$$\eta_{LDO} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \quad (2)$$

假设开关稳压器的效率为 85%，根据 [方程式 1](#) 计算系统和降压稳压器 1 的电流。

[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。TPS650320-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. 稳压器负载能力

稳压器	输出电压 (V)	最大电流 (mA)	所需电流 (mA)
降压稳压器 1	3.8	800	160
降压稳压器 2	1.8	600	122
降压稳压器 3	1.1	600	170
LDO	3.3	300	33

基于电源要求确定 TPS650320-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。这些建议如图 2-5 和方程式 1 所示。

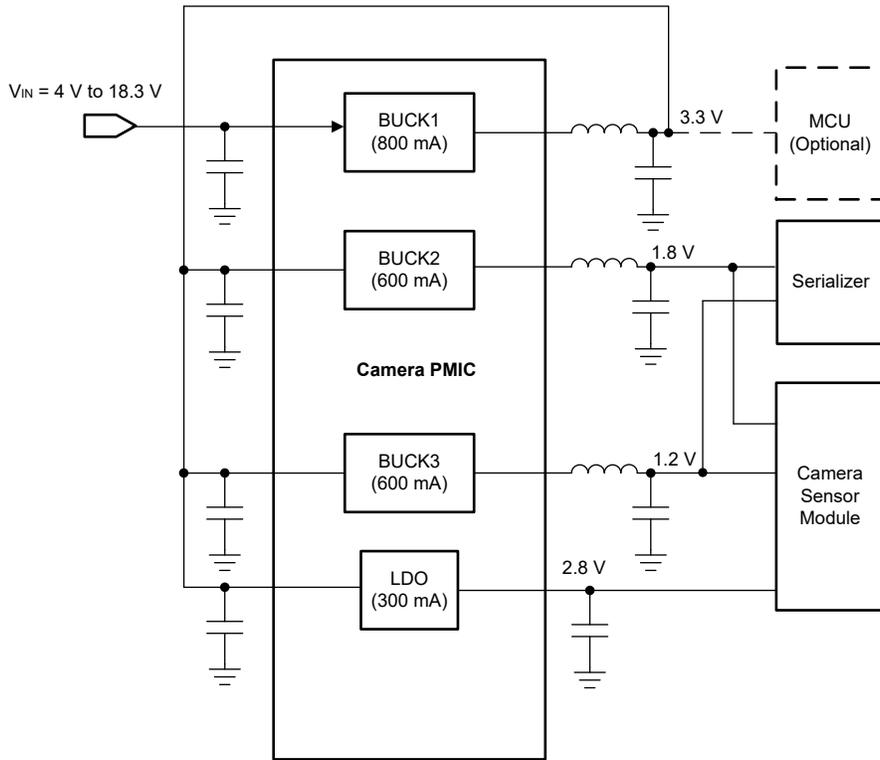


图 2-5. TPS650320-Q1 典型应用电路

表 2-3. TPS650330-Q1 的推荐元件

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

较高且固定的 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。通常情况下，建议降压稳压器 1 通道输出电感值为 2.2μH。该值有助于更大限度地减小电感器纹波电流。

选择电感值后，仍需一个具有合适的饱和电流的电感器来满足设计需求。该电流需结合稳态电源电流和电感器纹波电流。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 3 计算电感器纹波电流。

$$\Delta I_{L(\max)} = V_{\text{OUT}} \times \left( \frac{1 - \frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}(\max)}}}{L_{(\min)} \times f_{\text{SW}}} \right) \quad (3)$$

其中：

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

此参考设计采用 TPS650330-Q1，参数为：

- $V_{\text{OUT}} = 3.3\text{V}$
- $V_{\text{IN}(\max)} = 18.3\text{V}$
- $L_{(\min)} = 2.2\mu\text{H}$
- $f_{\text{SW}} = 2.3\text{ MHz}$

根据这些参数可计算得出电感器电流  $\Delta I_L = 535\text{mA}$ 。稳压器的系统最大电流消耗为 327mA。最小饱和电流的计算方式如下：

$$L_{\text{SAT}} \geq I_{\text{OUT}(\text{MAX})} + \frac{\Delta I_{L(\text{MAX})}}{2} = 327\text{ mA} + \frac{535\text{ mA}}{2} = 594\text{ mA} \quad (4)$$

此设计中的 TPS650330-Q1 器件采用 Murata® LQM2MPN2R2NG0，其额定电流为 1.2A，最大直流电阻为 138mΩ。此外，该器件的工作温度范围为 -55°C 至 125°C，采用 2mm × 1.6mm 的超小型封装。

### 2.2.2.2.2 选择降压稳压器 1 电感器

电感值选定为 2.2  $\mu\text{H}$  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 5](#) 计算电感器纹波电流：

$$\Delta I_{L(\max)} = V_{\text{OUT}} \times \left( \frac{1 - \frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}(\max)}}}{L_{(\min)} \times f_{\text{sw}}} \right) \quad (5)$$

其中

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

此参考设计中降压稳压器 1 的参数为：

- $V_{\text{OUT}} = 3.8\text{ V}$
- $V_{\text{IN}(\max)} = 18.3\text{ V}$
- $L_{(\min)} = 2.2\ \mu\text{H}$
- $f_{\text{sw}} = 2.3\text{ MHz}$

根据这些参数可计算得出电感器纹波电流  $\Delta I_L = 595\text{ mA}$ 。假设最大负载电流为 800mA，使用 [方程式 6](#) 计算得到最小饱和电流 1100mA。

$$L_{\text{SAT}} \geq I_{\text{OUT, (最大值)}} + \frac{\Delta I_{L(\text{最大值})}}{2} \quad (6)$$

此设计中的 TPS650330-Q1 器件采用 TDK® TFM201610ALMA2R2MTAA，其额定电流为 2A，最大直流电阻为 152m $\Omega$ 。此外，该电感器的的工作温度范围为 -55°C 至 150°C，采用 2mm  $\times$  1.6mm 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 5](#) 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：

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

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 600mA，可使用 [方程式 6](#) 计算得到最小饱和电流为 810mA。

用于降压稳压器 3 的 1.2V 电源轨的参数包括：

- $V_{\text{OUT}} = 1.2\text{ V}$
- $V_{\text{IN}(\max)} = 3.8\text{ V}$
- $L_{(\min)} = 1.0\ \mu\text{H}$
- $f_{\text{sw}} = 2.3\text{ MHz}$

根据这些参数可计算得出电感器纹波电流  $\Delta I_L = 357\text{ mA}$ 。假设最大负载电流为 600mA，可使用 [方程式 6](#) 计算最小饱和电流 780mA。

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。

### 2.2.2.3 功能安全

除了温度和电流监控之外，TPS650320-Q1 器件还具有集成监控器。此外，该器件与 TPS650331-Q1、TPS650332-Q1 和 TPS650333-Q1 引脚兼容，仅有单个元件更改，只需将降压稳压器 1 电感器的单个元件更改为 1.5 μH。TPS650331-Q1、TPS650332-Q1 和 TPS650333-Q1 器件均可作为 ASIL-B 安全元件 (SEooC) 来提供额外安全功能，从而将此设计扩展到具有更严格安全要求的摄像头应用。

## 2.3 重点产品

此参考设计使用以下 TI 产品：

- DS90UB933-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号。串行器/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。
- TPS650320-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过压保护装置和欠压监控器。较高而固定的 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。各种输出电压和时序控制设置，以及其他操作设置都可以通过编程以兼容各种成像仪，而无需任何额外元件。

### 2.3.1 OX01F10 成像仪

OmniVision® OX01F10 是一款具有 136 万有效像素的对角线 6.67mm、1/3.55 英寸彩色 CMOS 图像传感器。该传感器支持 AD 10 位、MIPI 2 通道、DVP、YUV422、RGB888、BT656 及 RAW10 至 RAW24 HDR 输出。包含其他特性如下：

- 支持 1340 × 1020 分辨率 (130 万像素) 和任何经裁剪图像尺寸
- 集成 ISP，支持 AEC、AGC、AWB、透镜校正、缺陷像素校正、HDR 组合、色调映射及黑电平校正
- 50Hz 和 60Hz 闪烁消除
- 需要三个电压轨 (3.3V、1.8V 和 1.1V)
- 可使用 I<sup>2</sup>C 兼容两线制串行接口配置

### 2.3.2 DS90UB933-Q1

使用串行器将 10 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。DS90UB933-Q1 并行视频输入与 OV10640 成像仪 10 位并行视频输出非常匹配。一旦结合使用 POC 滤波器，可将视频、I2C、诊断及电源在低成本单根同轴电缆上进行传输，传输距离高达 15m。有关该电缆的更多信息，请参阅 [DS90UB913A](#) 和 [DS90UB914A](#) 的 [电缆要求](#) 应用报告。

### 2.3.3 TPS650320-Q1

TPS650320-Q1 器件是一款高度集成的电源管理 IC，适用于汽车摄像头模块。此器件结合了三个降压转换器和一个低压降 (LDO) 稳压器。BUCK1 降压转换器的输入电压范围高达 18.3V，用于连接到同轴电缆 (POC)。所有转换器都在强制固定频率 PWM 模式下工作。LDO 可提供 300mA 电流，并可在 3.0V 至 5.5V 的输入电压范围内正常运行。降压转换器和 LDO 具有独立的电压输入，可实现最大的设计和排序灵活性。此外，集成式高级展频时钟 (SSC) 可实现优异的 EMI 性能。凭借着小巧外形、额外电源轨监控功能以及可编程性，此器件极具吸引力，成为需要加速或扩展的未来应用设计的备选器件。

## 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 应用继续增长，PMIC 解决方案提供的易用性和设计灵活性对于实现单个平台设计和缩短开发时至关重要。此外，DS90UB933-Q1 和 TPS650320-Q1 均可与各种成像仪兼容。选择双板解决方案突显了此功能，因为根据摄像头应用，电源和串行器基板可与不同的成像仪板重复使用。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，TPS650320-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，

TPS650320-Q1 的效率约为 80%。基于此数值，使用 [方程式 3](#) 计算得出系统输入功率约为 760mW。然后，根据降压稳压器 2、降压稳压器 3 及 LDO 的输出功率，使用 [方程式 7](#) 计算整体系统效率。

$$\eta_{SYSTEM} = P_{OUT} / P_{IN} = (P_{OUT,2} + P_{OUT,3} + P_{OUT,LDO}) / P_{IN,1} = 68\% \quad (7)$$

### 3 硬件、测试要求和测试结果

#### 3.1 硬件要求

此参考设计仅需要通过 FAKRA 连接器与具有兼容的解串器系统进行一次连接，如图 3-1 所示。



图 3-1. 电路板入门

##### 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 OX01F10 图像传感器，其通过 CSI-2 和 I<sup>2</sup>C 接口连接到 DS90UB933-Q1 串行器。之后 DS90UB933-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。模拟 LaunchPad™ GUI 为 IMX390、DS90UB933-Q1 和 DS90UB954-Q1 器件写入所有反向通道 I<sup>2</sup>C 设置配置。

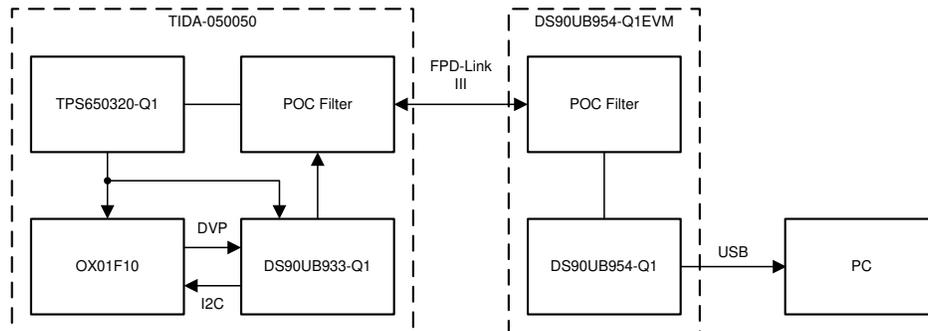


图 3-2. 测试设置的方框图

### 3.1.2 FPD-Link III I<sup>2</sup>C 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-050050 摄像头模块供电。一旦所有电源轨建立完毕，所有器件 (OX01F10、DS90UB933-Q1 和 DS90UB954-Q1) 将可接收电源。然后，可以开始进行 I<sup>2</sup>C 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 DS90UB933-Q1 串行器且与 Analog LaunchPad 兼容的 Python® 脚本如下所示：

```
# Set up Port1
board.WriteI2C(UB954, 0x4C, 0x12)

# Set up Back Channel Config (0x58)
board.WriteI2C(UB954, 0x58, 0x58)

# Set up SER Alias ID
board.WriteI2C(UB954, 0x5C, UB933)

# Set up Slave/Camera ID
board.WriteI2C(UB954, 0x5D, SensorID)

# Set up Slave/Camera Alias ID
board.WriteI2C(UB954, 0x65, Sensor)

# Set GPIO2 output high, where GPIO2 = XSHUTDOWN
board.WriteI2C(UB933, 0x0D, 0x95)
```

### 3.1.3 OX01F10 初始化

一旦 DS90UB933-Q1 和 DS90UB954-Q1 器件的 FPD-Link III 设置完成，就可以在 OX01F10 上进行 I<sup>2</sup>C 初始化。有关这些写入，请参阅 OX01F10 数据表中的寄存器设置。列出了许多可配置成像仪和 ISP 的寄存器设置，但只要 DS90UB933-Q1 和 DS90UB954-Q1 FPD-Link III 器件完成配置，I<sup>2</sup>C 反向通道支持在 0x6C 位置访问 OX01F10。针对此测试，OX01F10 配置为 YUV422 DVP 输出，分辨率为 1340 × 1020。

## 3.2 测试设置

为了进行下述测试以验证电源和 I<sup>2</sup>C 通信，将摄像头连接到 DS90UB954-Q1 EVM。

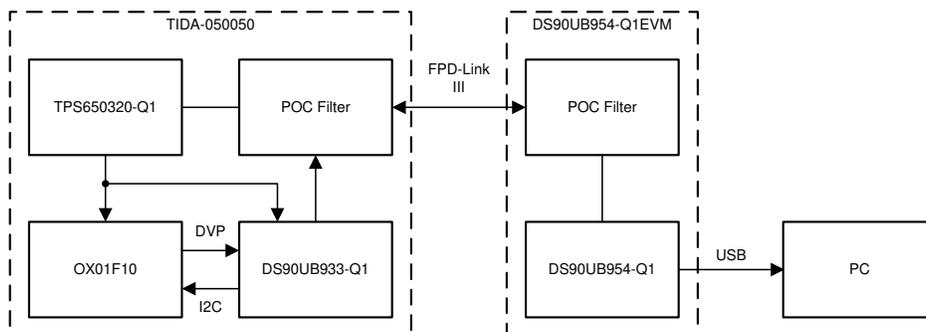


图 3-3. 特性测试设置的方框图

### 3.2.1 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 TPS650320-Q1 器件的每个电压轨输出。在此设计中，DS90UB933-Q1 器件的 PDB 复位信号直接连接到 TPS650320-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 用于验证 I<sup>2</sup>C 通信的设置

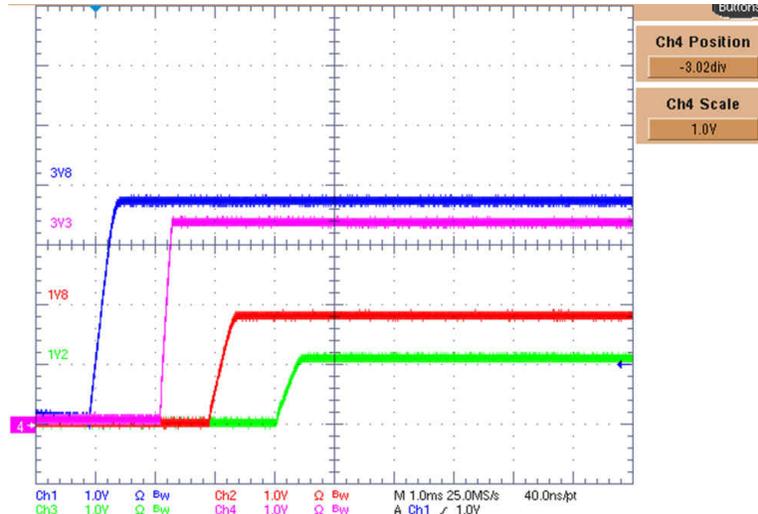
使用 DS90UB954-Q1 兼容的 Analog LaunchPad 来验证反向通道 I<sup>2</sup>C 通信。可点击[此处](#)下载 GUI。

### 3.3 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。

#### 3.3.1 电源启动

图 3-4 显示了 3.8V、1.8V、1.1V 及 3.3V 电源轨的启动行为。

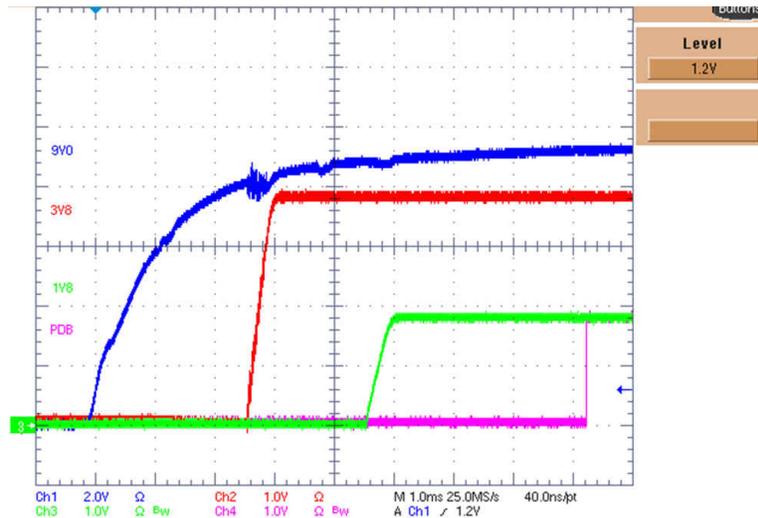


(通道 1) : 3.3V 电源 ; (通道 2) : 2.9V 电源 ; (通道 3) : 1.2V 电源 ; (通道 4) : 1.8V 电源

图 3-4. 负载点电源启动

#### 3.3.2 电源启动 - 1.8V 电源轨和 PDB

为了正确初始化，串行器的 PDB 引脚需保持低电平，直到所有电源稳定至其最终电压。图 3-5 显示了电源启动。请注意，PDB 引脚直接连接到 TPS650320-Q1 器件的 RSTOUT，并允许在所有电源轨建立后进行适当的 PDB 同步。



(通道 1) : PDB ; (通道 2) : 2.9V 电源 ; (通道 3) : 1.2V 电源 ; (通道 4) : 1.8V 电源

图 3-5. 串行器上电序列

### 3.3.3 电源电压纹波

为了获得高质量的输出视频流，OX01F10 和 DS90UB933-Q1 电源的输出电压纹波必须极低，以免影响高速数据和内部 PLL 时钟的完整性。3.8V、3.3V、1.8V 及 1.1V 电源轨时的测量结果分别如图 3-6、图 3-7 和图 3-8 所示。影响成像仪性能的电源轨是 3.3V 和 1.1V 电源轨，因为这些电源轨负责提供干净模拟电源轨和数字电源。3.8V 电源轨为整个系统供电，同时提供出色的纹波性能 (0.4%)。经测量，3.3V 和 1.1V 电源轨提供的纹波性能分别为 0.1% 和 0.7%。1.8V 电源轨对于串行器而言非常重要，因为其提供了 VDD 和 VDD\_PLL 电源轨。1.8V 电源轨提供的电压纹波性能高达 0.5%。所有电源轨上的电压纹波较低，足以使视频输出成功传输。

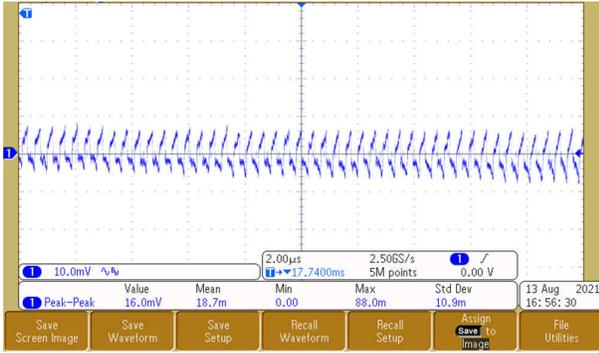


图 3-6. 输出电压纹波 - 3.8V

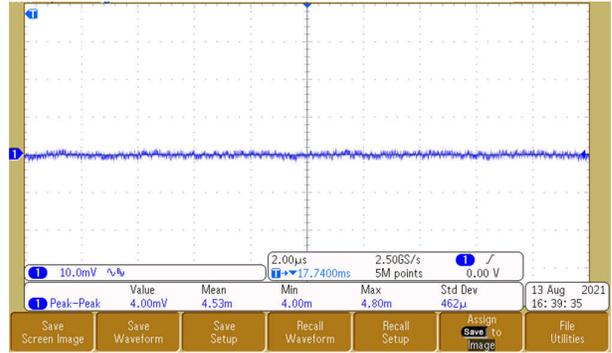


图 3-7. 输出电压纹波 - 3.3V

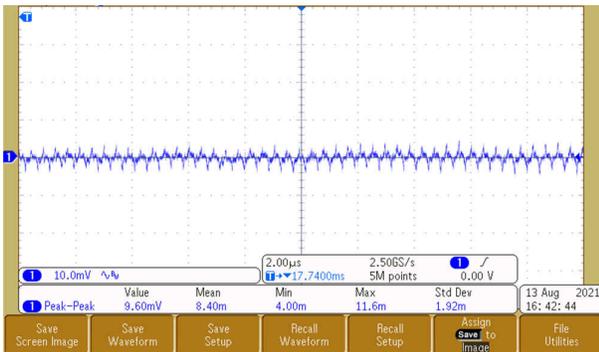


图 3-8. 输出电压纹波 - 1.8V

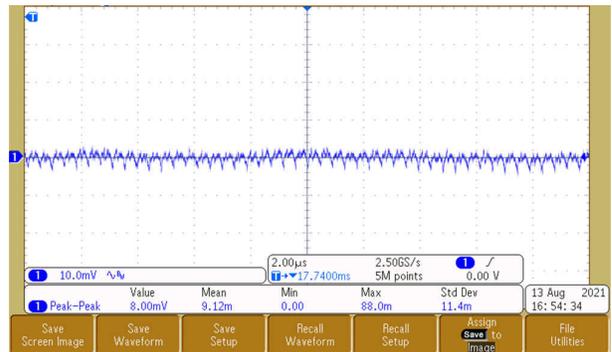


图 3-9. 输出电压纹波 - 1.1V

### 3.3.4 电源负载电流

关于摄像头模块上的电源最后需要测量的是系统电源的负载电流和 OX01F10 成像仪上的负载电流。这些测量验证了摄像头模块的总功耗及 OX01F10 成像仪每个独立电源轨的负载电流。关于以下测试数据，每个电源轨都正在消耗串行器和成像仪的特定负载电流。所有负载电流测量都是在视频输出流存在的情况下进行的。

表 3-1 显示了此参考设计中通过每个电源电压轨测量的电流。电压为 9V 时的负载电流是摄像头模块的总输入负载电流，测量结果为 85mA。总功耗对应的整体系统效率为 67%，接近于节 2.4 中得出的 68%。

表 3-1. 测得的电源电流

电压轨	测得的电流
9.0 V	85 mA
3.8V	153 mA
3.3V	31 mA
1.8V	130mA
1.1V	151 mA

### 3.3.5 I<sup>2</sup>C 通信

可借助 Analog LaunchPad GUI 来确认 DS90UB954-Q1 EVM 和 OX01F10 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 1 上与串行器建立的链路和相应的寄存器映射。

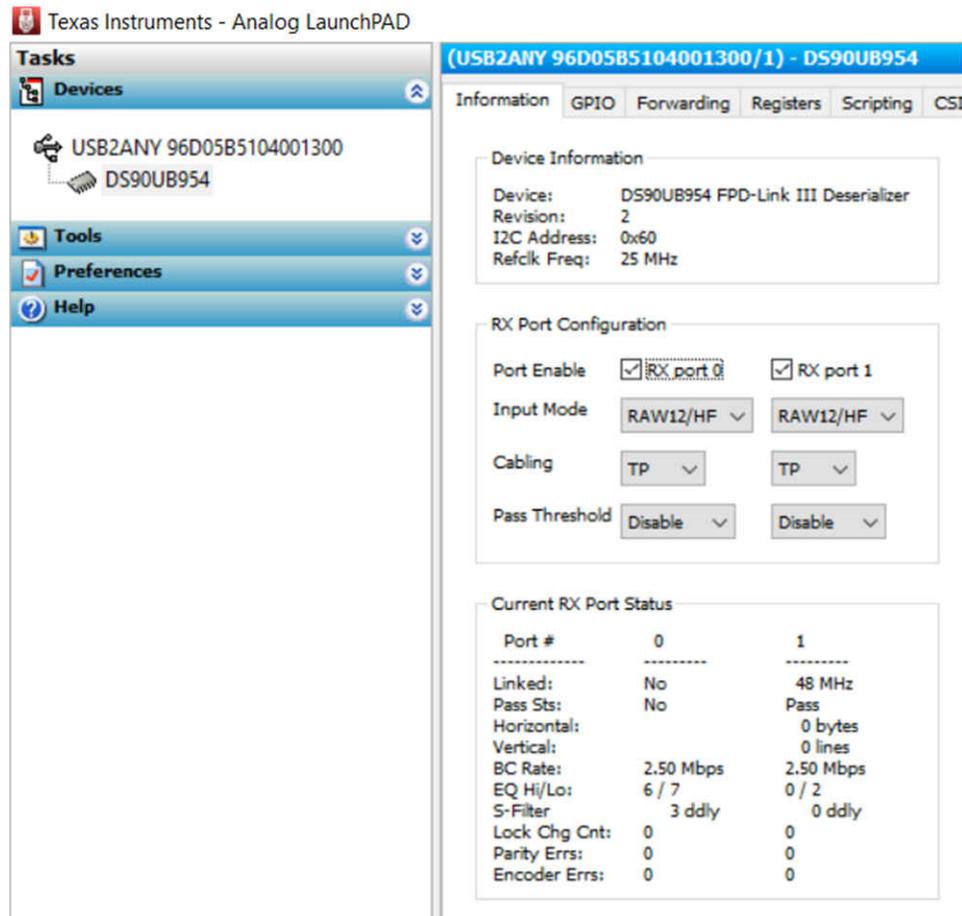


图 3-10. Analog LaunchPad™ 链路确认

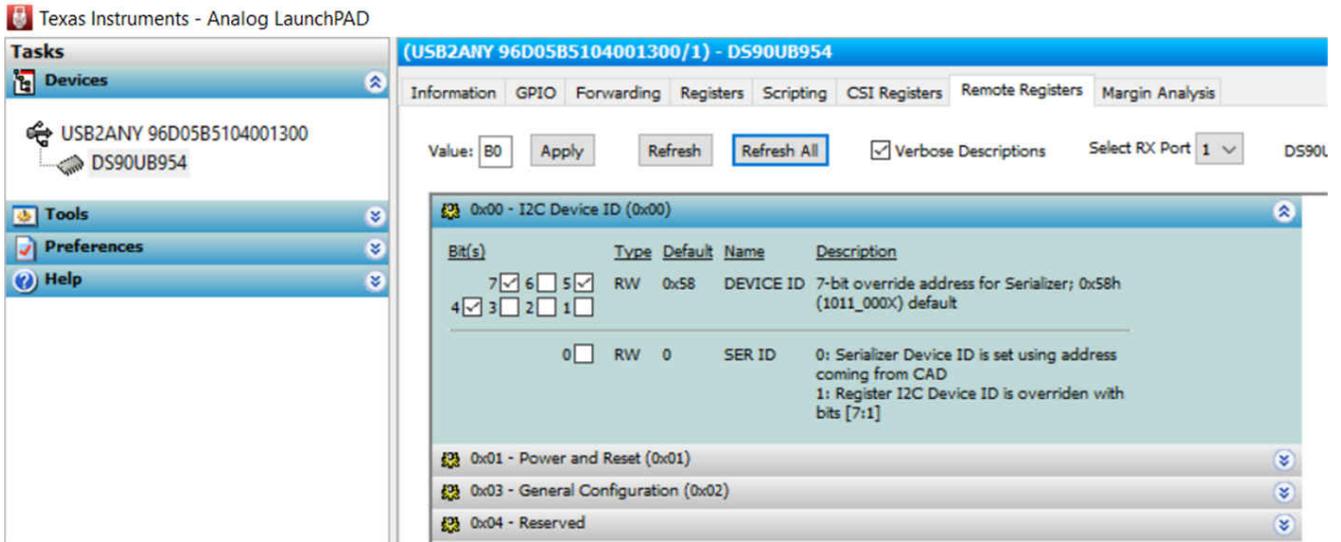


图 3-11. 串行器远程寄存器

使用 Analog LaunchPad 内置 Python “Scripting” 窗口确认对成像仪的读写（从别名地址 0x6C（7 位））。寄存器 0x3035 读取数据 0x6C，该数据是寄存器的预期默认值。

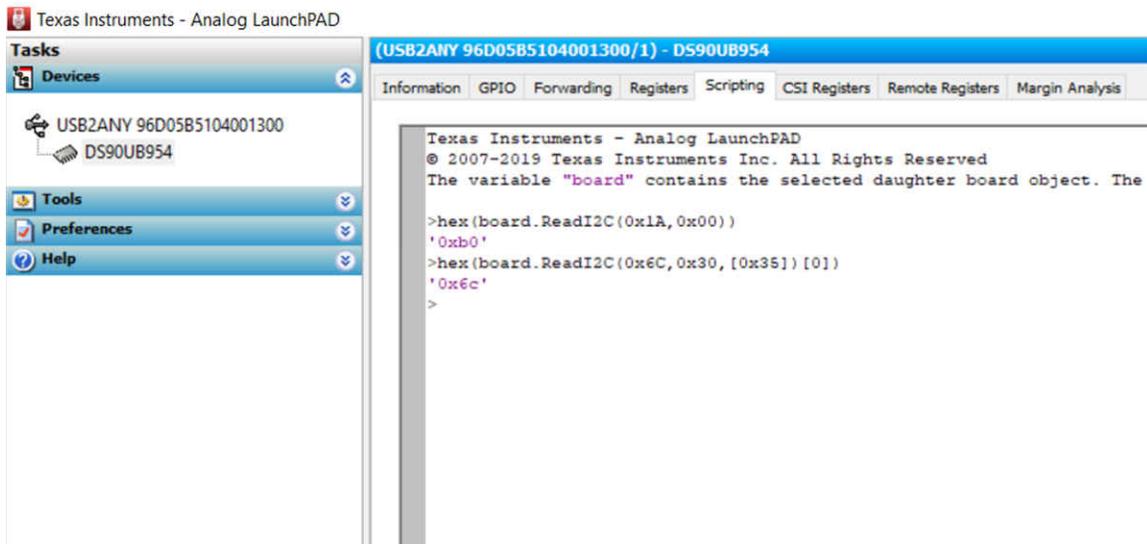


图 3-12. 反向通道 I2C 通信

## 4 设计和文档支持

### 4.1 设计文件

#### 4.1.1 原理图

如需下载原理图，请参阅 [TIDA-050050](#) 的设计文件。

#### 4.1.2 物料清单

如需下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-050050](#) 的设计文件。

#### 4.1.3 PCB 布局建议

##### 4.1.3.1 布局图

如需下载层图，请参阅 [TIDA-050050](#) 的设计文件。

### 4.1.3.2 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严重的问题，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。

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 3.3V 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。

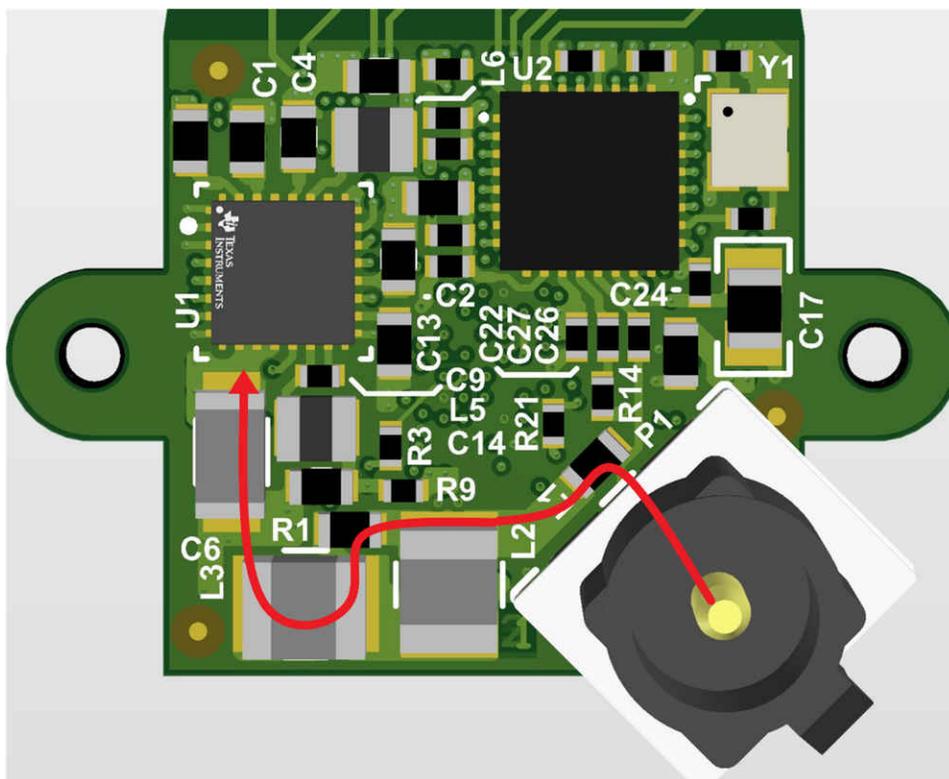


图 4-1. 采用 POC 布线的 PCB 布局

### 4.1.3.3 串行器布局建议

去耦电容器必须非常靠近串行器电源引脚放置。同样，这需要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。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  $50\ \Omega$  单端阻抗。反焊盘位于关键元件（如 DOUT 交流耦合电容器）下的接地层，以最小化阻抗失配。保持同轴电缆连接到串行器短端。图 4-1 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。

最后，通过确保相邻层上的高速数据布线不会重叠，以最大程度地减少高速数据线之间的串扰。如果由于空间受限而不得不重叠，在两个布线层之间放置一个接地层作为缓冲。将高速布线过孔保持最小。过孔最好为两个或更少，以减少引起反射的残桩。

### 4.1.3.4 成像仪布局建议

高速数据布线必须遵循之前概述的适用于串行器布局的指南。同样，去耦电容器必须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。对于一

些成像仪，建议使用单独的模拟接地层 (AGND) 来降低图像噪声。将成像仪 AGND 引脚、AVDD 去耦电容器和 LDO 输出电容器连接到该 AGND 层，并将该层连回到单点主接地。

#### 4.1.3.5 PCB 层堆叠相关建议

图 4-2 显示了用于 PMIC 和串行器板的 8 层堆叠。由于 PCB 的小尺寸要求引入的复杂布线要求，所以需要两个信号层，其中必须包含 PMIC、串行器和成像仪之间的 I2C、逻辑 IO、时钟和控制信号。选择分离外层是以确保特征阻抗为  $50\ \Omega \pm 10\%$

在此设计中，顶层和底层均放置高电流元件，因此堆叠中的第 2 层和第 7 层是专用接地层，以最大程度地缩短高电流返回路径。成像仪第 7 层同样包含单独的 AGND 层。

Layer Name	Type	Material	Thickness (mil)	Dielectric Material	Dielectric Constant	Pullback (mil)	Orientation	Coverlay Expansion
Top Overlay	Overlay							
Top Solder	Solder Mask/...	Surface Mat...	0.4	Solder Resist	3.5			0
1 Top Layer	Signal	Copper	2.1				Top	
Dielectric 1	Dielectric	Core	6	FR-4 High Tg	4.2			
2 GND 1	Signal	Copper	1.4				Not Allowed	
Dielectric 2	Dielectric	Core	6	FR-4 High Tg	4.2			
3 Signal 1	Signal	Copper	1.4				Not Allowed	
Dielectric 3	Dielectric	Prepreg	6	FR-4 High Tg	4.2			
4 Signal 2	Signal	Copper	1.4				Not Allowed	
Dielectric 4	Dielectric	Core	12.6	FR-4 High Tg	4.2			
5 Power	Signal	Copper	1.4				Not Allowed	
Dielectric 5	Dielectric	Core	6	FR-4 High Tg	4.2			
6 Signal 3	Signal	Copper	1.4				Not Allowed	
Dielectric 6	Dielectric	Core	6	FR-4 High Tg	4.2			
7 GND 2	Signal	Copper	1.4				Not Allowed	
Dielectric 7	Dielectric	Core	6	FR-4 High Tg	4.2			
8 Bottom Layer	Signal	Copper	2.1				Bottom	
Bottom Solder	Solder Mask/...	Surface Mat...	0.4	Solder Resist	3.5			0
Bottom Over...	Overlay							

图 4-2. 层堆叠

#### 4.1.4 Altium 项目

如需下载 Altium 项目文件，请参阅 [TIDA-050050](#) 的设计文件。

#### 4.1.5 Gerber 文件

如需下载 Gerber 文件，请参阅 [TIDA-050050](#) 的设计文件。

## 5 工具与软件

### 工具

[简短说明](#)

说明

### 软件

[简短说明](#)

说明

## 6 文档支持

1. 德州仪器 (TI), [TPS650320-Q1 EVM 用户指南](#)
2. 德州仪器 (TI), [DS90UB95x-Q1EVM 解串器 用户指南](#)
3. 德州仪器 (TI), [DS90UB933-Q1 适用于 1MP/60fps 摄像头的 10/12 位、100MHz FPD-Link III 串行器 数据表](#)
4. 德州仪器 (TI), [在 DS90UB913A 设计中进行同轴电缆供电 应用报告](#)
5. 德州仪器 (TI), [摄像头 PMIC 选型指南 应用报告](#)

## 7 支持资源

[TI E2E™ 支持论坛](#)是工程师的重要参考资料，可直接从专家获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题可获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的《[使用条款](#)》。

## 8 商标

TI E2E™ and LaunchPad™ are trademarks of Texas Instruments.

Murata® is a registered trademark of Murata Manufacturing Co., Ltd..

TDK® is a registered trademark of TDK Electronics AG.

OmniVision® is a registered trademark of Omnivision Technologies Inc..

Python® is a registered trademark of Python Software Foundation.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 重要声明和免责声明

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。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

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司