

Application Note

用于 FPD-Link III 和 FPD-Link 的远程唤醒、睡眠及监控模式



Johannes Kargl, Harry Shin

摘要

在过去几年中，各种汽车电子系统越来越需要更大限度地节省功耗。具体而言，需要利用摄像头和雷达传感器的监控系统来更大限度地降低功耗，从而更大限度地延长车辆停车后的运行时间。这要求在车辆停车时，大多数系统组件都处于低功耗睡眠模式配置。本应用手册将介绍如何实现使用 FPD-Link III 和 IV 的摄像头以低功耗模式运行，从而更大限度地降低监控模式运行的功耗，包括如何启用远程唤醒功能。

内容

1 FPD-Link 简介.....	2
2 同轴电缆供电概念.....	3
3 通过 FPD-Link III 和 FPD-Link IV 实现睡眠模式及远程唤醒的系统注意事项.....	4
3.1 利用比较器电路进行电压检测.....	4
3.2 通过监控器进行电压检测.....	6
3.3 用可编程逻辑器件进行电压检测.....	6
3.4 同轴电缆供电电流检测，用于反向唤醒.....	7
4 总结.....	9
5 参考资料.....	10

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 FPD-Link 简介

FPD-Link 是一种多协议物理层技术，它聚合了来自各种行业标准视频协议的数据，并通过同轴电缆或双绞线进行传输。它最常见的用途是汽车应用中的数字视频和音频传输，例如视频屏幕或驾驶辅助摄像头，如图 1-1 所示。

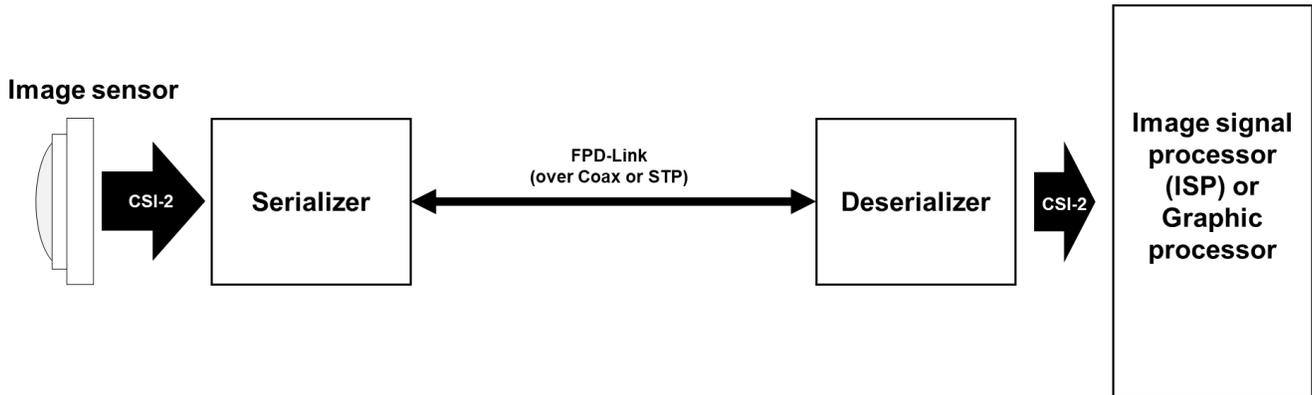


图 1-1. FPD-Link 的典型应用

FPD-Link 正向通道用于以低延迟将视频、音频或其他控制数据（例如 I2C 和 GPIO）发送至端点器件。低速数据在分频双工的同时通过反向通道从解串器传输至串行器。

2 同轴电缆供电概念

同轴电缆供电 (PoC) 网络可将高速数据信号与同轴电缆上的 DC 电源信号分开。图 2-1 简要概述了 FPD-Link 和 DC 电源如何共享单条同轴电缆。同轴电缆的内部导体用作 DC 电源线，同轴电缆的屏蔽层接地并用作 DC 电源的返回路径。PoC 网络用作在 FPD-Link 工作频段具有高阻抗的低通滤波器，以更大限度地减少 DC 电源对高速信号的干扰。

有关使用 FPD-Link 的 PoC 的更多信息，请参阅 [FPD-Link ADAS 同轴电缆供电设计指南](#)。

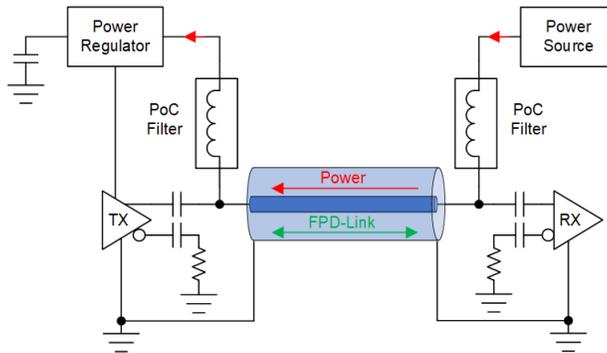


图 2-1. 同轴电缆供电应用

3 通过 FPD-Link III 和 FPD-Link IV 实现睡眠模式及远程唤醒的系统注意事项

FPD-Link III 及 IV 器件没有具有双向唤醒功能的内置睡眠模式特性。因此，需要在系统级实现具有双向唤醒功能的睡眠模式功能。下面图 3-1 展示了有关如何为使用 FPD-Link III 或 IV 器件的远程传感器系统以具有成本效益的方式添加睡眠和双向唤醒功能的建议。与传统汽车摄像头系统实现相比，其他系统元件和注意事项用红色表示。

系统级建议基于两个功能。进入和退出睡眠模式基于调整 PoC 电压。正常模式运行使用较高的 PoC 电压，睡眠模式运行使用较低的 PoC 电压。PoC 电压调节在解串器侧（例如 ADAS 或者中央 ECU）进行控制。在睡眠模式运行期间，解串器可以完全断电，以便更大幅度地降低系统功耗。串行器侧的电压检测电路（例如远程摄像头）通过断电引脚 (PDB) 启用和禁用串行器，从而尽可能降低功耗并实现从 ECU 到远程传感器的唤醒功能。

应仔细选择普通模式和睡眠模式的 PoC 电压电平，以考虑电源路径的 DC 电阻引起的压降以及电压检测和 PoC 电压调节的精度。根据系统要求，应选择足够高的睡眠模式下的 PoC 电压，以避免串行器侧为其他器件（例如以低功耗运动/人体检测模式运行的图像传感器）供电的 PMIC 欠压锁定 (UVLO)。例如，正常模式下的 PoC 电压可选择 12V，睡眠模式下则可选择 7V 至 8V。

对于高级系统功能（例如具有运动或人体检测功能的摄像头），需要实现从串行器到解串器侧的唤醒。这可通过在睡眠模式下监测各个摄像头通道的 PoC 电流来实现。如果其中一个远程连接的传感器切换到工作状态，则会在 ECU 侧检测到功耗增加，并可以启动系统唤醒。通过将 PoC 电压增加到正常模式电平，可以启用保持睡眠模式的其他远程传感器。

以下各节介绍了用于双向唤醒功能的检测电路的可能实现方式。前三个选项说明了如何在摄像头侧实现电压检测电路，以实现由 ECU 侧启动的唤醒。第四个选项示出了如何在远程传感器（摄像头）发起的反向唤醒场景中实现 ECU 侧电流检测。

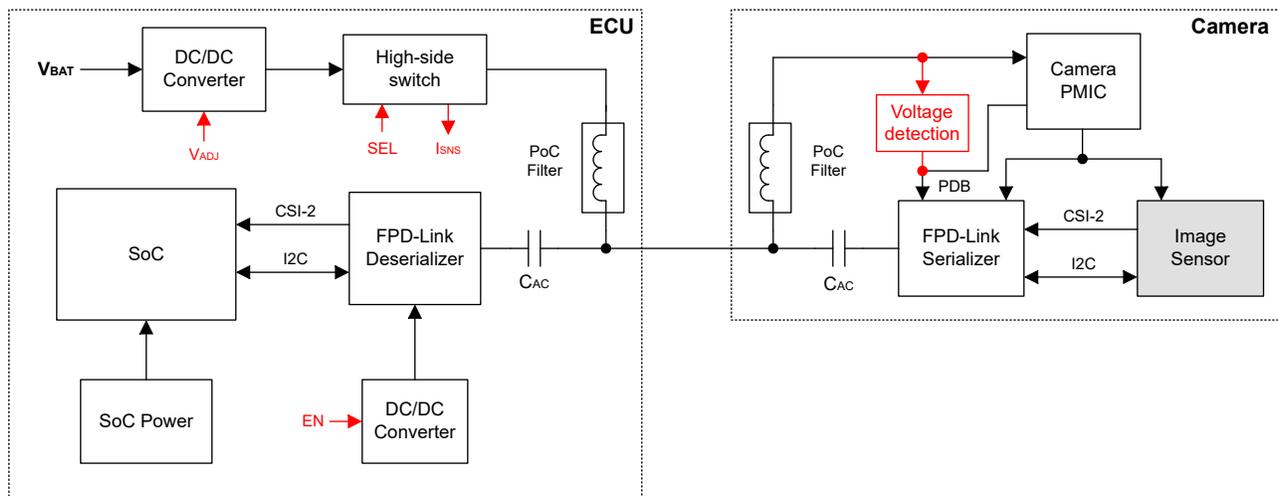


图 3-1. 系统级方框图

3.1 利用比较器电路进行电压检测

在串行器侧实现 PoC 电压检测的第一个选项是使用带电阻分压器的比较器电路，如图 3-2 所示。此选项代表了最简单且最具成本效益的方法，但由于元件容差，需要在系统层面进行更多考虑。外部电阻分压器用于设置阈值电压，以在睡眠模式和正常模式之间切换。稳压器的输出轨（例如 1.8V）用作比较器的基准电压。如果 PoC 电压低于阈值，比较器的输出为低电平，并将串行器断电以进入系统睡眠模式。对于此选项，建议外部电阻分压器使用容差为 1% 的电阻。

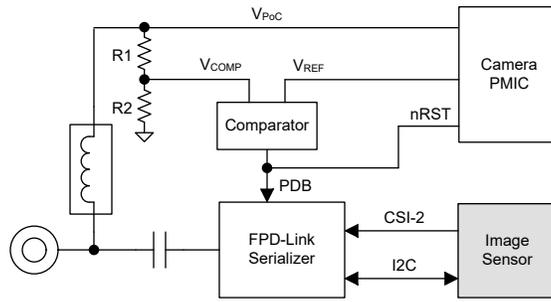


图 3-2. 使用比较器进行电压检测

以下示例说明了如何估算给定配置的睡眠和正常模式的比较器输入电压电平，如表 3-1 所示。

根据电阻器的容差、PoC 电压、基准电压和 PoC 滤波器网络 and 同轴电缆的 IR 压降，系统设计人员需要确保根据最差情况正确检测睡眠和正常模式。

表 3-1. 比较器设计参数示例

参数	条件	容差	最小值	典型值	最大值	单位
V _{PoC(norm)}	PoC 电压正常模式	容差：+/- 5%	8.55	9	9.45	V
V _{PoC(sleep)}	PoC 电压睡眠模式	容差：+/- 5%	4.75	5	5.25	V
R1	电阻器高侧	容差：+/- 1%	68.31	69	69.69	kΩ
R2	电阻器低侧	容差：+/- 1%	26.73	27	27.27	kΩ
V _{REF}	基准电压	容差：+/- 5%	1.71	1.8	1.89	V
V _{IR(norm)}	同轴电缆路径上的 IR 压降	I _{PoC(norm)} × R _{DC(max)}		500		mV
V _{IR(sleep)}	同轴电缆路径上的 IR 压降	I _{PoC(sleep)} × R _{DC(max)}		40		mV

比较器输入电压可以用以下公式计算。

$$V_{\text{comp}} = \frac{(V_{\text{PoC}} - V_{\text{IR}}) \times R2}{(R1 + R2)} \quad (1)$$

在上述示例中，最差情况下，正常模式下的比较器输入电压等于：

$$V_{\text{comp(norm, min)}} = \frac{(V_{\text{PoC(norm, min)}} - V_{\text{IR(norm)}}) \times R2(\text{min})}{R1(\text{max}) + R2(\text{min})} = \frac{(8.55\text{V} - 0.5\text{V}) \times 26.73\text{k}\Omega}{69.69\text{k}\Omega + 26.73\text{k}\Omega} = 2.231\text{V} \quad (2)$$

对于睡眠模式，最差情况可以使用公式 3 来计算。

$$V_{\text{comp(sleep, max)}} = \frac{(V_{\text{PoC(sleep, max)}} - V_{\text{IR(sleep)}}) \times R2(\text{max})}{R1(\text{min}) + R2(\text{max})} = \frac{(5.25\text{V} - 0.04\text{V}) \times 27.27\text{K}}{(68.31\text{K} + 27.27\text{K})} = 1.486\text{V} \quad (3)$$

计算值示出相对于基准电压范围的至少 200mV 的足够裕度。

应考虑的其他系统参数是比较器的失调电压及失调电压漂移。不过，这些值通常处于低 mV 范围内，因此可以忽略不计。

为了针对电压瞬变保持稳健性，可以在比较器的输入端添加一个小型电容器。

TI 提供各种比较器（如 LM393LV-Q1），这些比较器具有低静态电流和输入失调电压，适用于所呈现的解决方案。

3.2 通过监控器进行电压检测

实现电压检测电路的不同选择是使用电压监控器。与前面介绍的选项相比，此方法无需外部电阻分压器，因此可提供更高的精度。如图 3-3 所示，电压监控器直接连接到 PoC 电压轨。

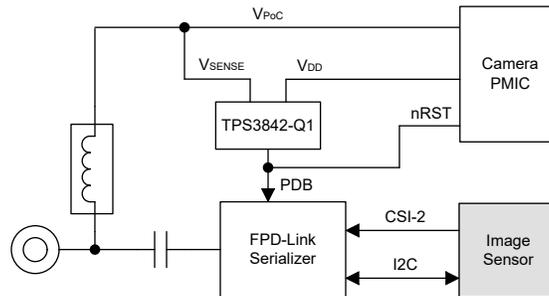


图 3-3. 通过监控器进行电压检测

电压监控器使用内部电压基准及可选的内部阈值电压。

以下示例显示了根据表 3-2 的给定配置的正常模式和睡眠模式下监控器输入端的预期电压范围。

表 3-2. 监控器设计参数示例

参数	条件	容差	最小值	典型值	最大值	单位
$V_{PoC(norm)}$	PoC 电压正常模式	容差：+/- 5%	8.55	9	9.45	V
$V_{PoC(sleep)}$	PoC 电压睡眠模式	容差：+/- 5%	4.75	5	5.25	V
V_{THR}	阈值电压	容差：+/- 1.5%	6.40	6.5	6.60	V
$V_{IR(norm)}$	同轴电缆路径上的 IR 压降	$I_{PoC(norm)} \times R_{DC(max)}$		500		mV
$V_{IR(sleep)}$	同轴电缆路径上的 IR 压降	$I_{PoC(sleep)} \times R_{DC(max)}$		40		mV

可以使用以下公式 4 来计算监控器的输入电压。

$$V_{SVS} = V_{PoC} - V_{IR} \quad (4)$$

在上述示例中，最差情况下，正常模式下的监控器输入电压等于：

$$V_{SVS(norm, min)} = V_{PoC(norm, min)} - V_{IR(norm)} = 8.55V - 0.5V = 8.05V \quad (5)$$

对于睡眠模式，最差情况可以使用公式 6 来计算。

$$V_{SVS(sleep, max)} = V_{PoC(sleep, max)} - V_{IR(sleep)} = 5.25V - 0.04V = 5.21V \quad (6)$$

考虑到 6.4V 至 6.6V 的阈值电压范围，与采用外部电阻分压器的比较器选项相比，监控器选项可提供更大的裕度。

TPS3842-Q1 是一款适用于该选项的监控器器件，它具有高精度、内置迟滞和可编程检测延迟，因此可稳健应对电压瞬变并支持更大的 PoC 电压变化。

3.3 用可编程逻辑器件进行电压检测

在正常模式期间，当 PoC 电压在延长的时间段内低于阈值电压时，之前提出的两个选项对条件不稳健。这将导致串行器通过 PDB 引脚断电，如图 3-4 中的图所示。

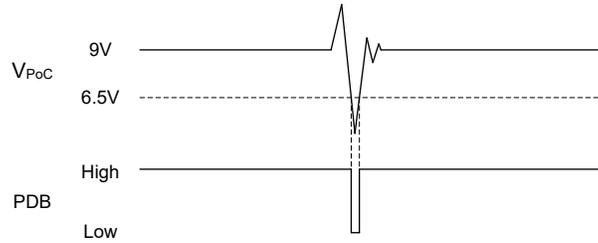


图 3-4. 瞬态事件期间的 PDB 输出

在串行器侧实现电压检测电路的第三个选项是使用可编程逻辑器件，该器件允许设计人员选择自定义配置，以避免在正常模式期间意外激活睡眠模式条件。表 3-3 显示了使用可编程逻辑器件的电压检测功能示例配置的功能表。

表 3-3. 可编程逻辑器件的功能表

输入		输出
IN_1	IN_2	PDB
低	$V_{IN_2} < V_{THR}$	低
高	$V_{IN_2} < V_{THR}$	高
低	$V_{IN_2} > V_{THR}$	高
高	$V_{IN_2} > V_{THR}$	高

在此示例中，IN_1 引脚用作睡眠模式控制的使能输入。如果 IN_1 引脚上的输入为逻辑低电平并且 IN_2 引脚上的电压低于配置的阈值，则连接到串行器 PDB 引脚的输出引脚将设置为低电平并将串行器断电。这可避免在正常模式运行中 PoC 电压低于配置的电压阈值时意外激活睡眠模式。图 3-5 展示了上述示例配置中可编程逻辑器件的实现方案。IN_1 输入连接到 PMIC 的 GPIO，其通过来自远程主机 ECU 的 I2C 接受控制。根据系统架构，它可以是图像传感器的 GPIO 引脚。

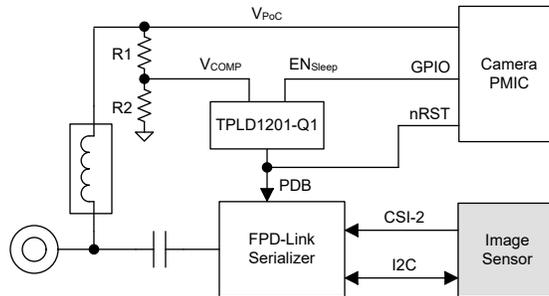


图 3-5. 用可编程逻辑器件进行电压检测

TI 提供各种适用于电压检测功能（例如 TPLD1201-Q1）的可编程逻辑器件，这些器件具有集成的比较器、LUT、计数器和振荡器。

3.4 同轴电缆供电电流检测，用于反向唤醒

对于需要从传感器唤醒到 ECU 侧的高级系统，需要考虑额外的系统级注意事项。图 3-6 显示了如何经济高效地实现从传感器到 ECU 侧的唤醒功能。

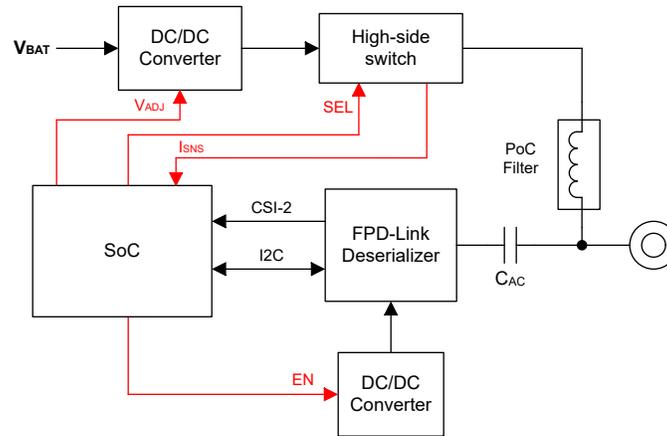


图 3-6. 用于反向唤醒的电流检测

在睡眠模式期间，MCU/SoC 通过高侧开关或摄像头保护器开关监测各个摄像头通道上的电源电流。如果高侧开关提供模拟电流检测输出，则可以使用 SoC 中的 ADC 通道来实现电流监测，或者如果高侧开关已经集成了用于电流监测的 ADC，则可以通过 I2C 来实现电流监测。当睡眠模式处于活动状态并且 SoC 检测到其中一个通道电源电流增加到定义的阈值以上时，SoC 会将此情况解释为来自远程传感器的唤醒请求。然后，系统的其余部分转换到正常模式，并增加 PoC 电压以唤醒仍处于睡眠模式的其余远程传感器（串行器）。再加上睡眠模式下使用的较低 PoC 电压，唤醒检测的电流检测精度也会较低。为了增加唤醒时的电流消耗，传感器侧有不同的选项：仅临时激活的虚拟负载或启用增加功耗的其他器件，例如串行器。所介绍的反向唤醒方法利用大多数摄像头系统中已经存在的器件，因此提供了一种具有成本效益的实现方案。

4 总结

随着汽车领域对摄像头监控功能的需求不断增长，需要采用相应的解决方案来降低车辆停车时的系统功耗并更大幅度地延长监控模式的运行时间。本应用手册介绍了有关如何在 FPD-Link 摄像头系统级实现低功耗模式的概念及不同选项。这包括电压变化、瞬变和元件容差等系统级注意事项，以及用于在监控模式下实现汽车摄像头系统最低功耗运行的合适器件。

5 参考资料

- 德州仪器 (TI), [TL331LV](#)、[TL391LV](#)、[LM393LV](#) 和 [LM339LV](#) 低电压轨至轨输入比较器数据表 (修订版 D)
- 德州仪器 (TI), [TPS3842-Q1](#) 具有可编程延迟和抗尖峰脉冲功能的汽车级、42V、小尺寸、850nA 欠压或过压监控器数据表 (修订版 B)
- 德州仪器 (TI), [TPLD1201-Q1](#) 具有 8-GPIO 的汽车级可编程逻辑器件数据表 (修订版 B)
- [FPD-Link ADAS](#) 同轴电缆供电设计指南
- 德州仪器 (TI), [DS90UB9702-Q1](#) 汽车 FPD Link IV 解串器集线器, 带 D-PHY CSI-2 输出端口, 适用于 8MP+ 摄像头和其他传感器数据表
- 德州仪器 (TI), [DS90UB960-Q1](#) 具有两个 MIPI CSI-2 端口的四路 4.16Gbps FPD-Link III 解串器集线器数据表 (修订版 D)
- 德州仪器 (TI), [DS90UB971-Q1](#) 适用于 8MP+ 摄像头、雷达以及其他传感器, 可支持 CSI-2 接口的 FPD-Link IV 7.55-Gbps 串行器数据表 (修订版 A)
- 德州仪器 (TI), [DS90UB953-Q1](#) 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 FPD-Link III 4.16Gbps 串行器数据表 (修订版 E)

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