

汽车

ADAS

摄像头系统



目录

1. 引言	3
<hr/>	
2. ADAS摄像头传感器 – 说明与趋势	4
2.1. 应用说明	5
2.2. 应用趋势	6
<hr/>	
3. 功能框图	7
<hr/>	
4. 应用设计挑战与解决方案	8
4.1. 电源输入保护	8
4.2. 电源管理	12
4.3. 通信接口	21
4.4. 信号处理	25
<hr/>	
5. 产品推荐	32
<hr/>	
6. 参考文献	35
<hr/>	

1. 引言

高级驾驶辅助系统(ADAS)是当前汽车行业的主要发展趋势之一。ADAS最初仅作为豪华车型的可选配置推出，如今已逐步成为市面上多数在产新车型的标准配置。顾名思义，这类系统可在各类驾驶任务中为驾驶员提供辅助支持，进而帮助提升驾驶过程的安全性与舒适性。

传感器是ADAS不可或缺的组成部分。其作用是采集车辆周边的环境信息，并将这些信息传输至处理与控制单元；在处理与控制单元中，系统会自动做出决策，并执行相应操作。当前，ADAS采用的传感器类型较为多样，包括摄像头、雷达、激光雷达以及超声波传感器。根据具体功能需要的信息，不同的功能会采用一种或多种传感器（见图1）。

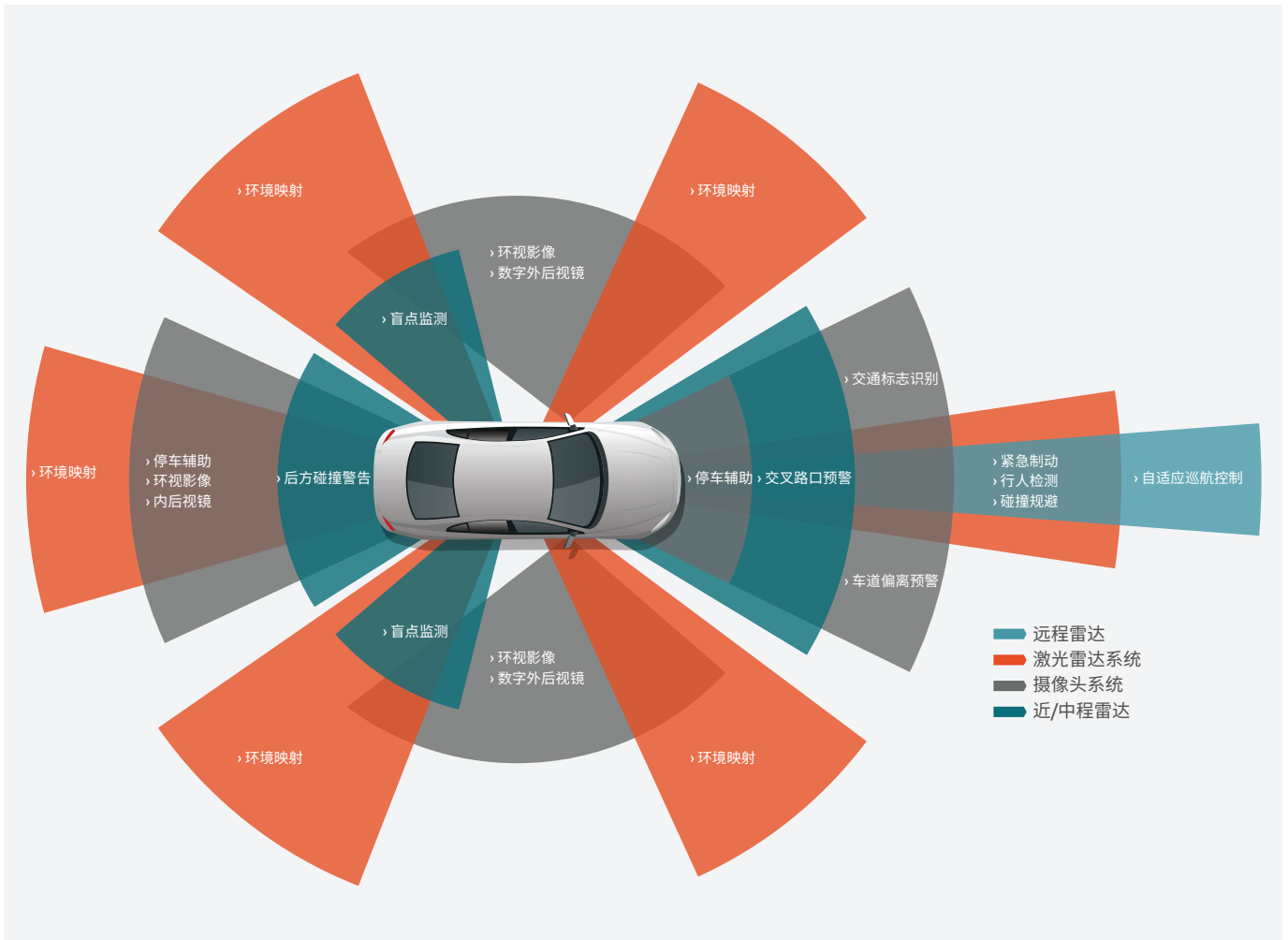


图1 ADAS传感器、功能及检测范围

2. ADAS摄像头传感器 – 说明与趋势

摄像头传感器已在当今汽车领域实现广泛应用。这类传感器涵盖前置摄像头、后置摄像头、侧置摄像头、环视摄像头，以及用于驾驶员与乘客状态监测的座舱内摄像头。它们既能够为驾驶员提供驾驶辅助支持，也可用于自动驾驶提供关键技术支持。

在辅助部分自动驾驶或完全自动驾驶系统运行时，摄像头与雷达通常需要协同工作、互为补充，二者对于实现低级别自动驾驶均具有重要作用。要实现更高级别自动驾驶，还需搭配激光雷达等其他类型的传感器。如图2所示，摄像头在满足自动驾驶系统部分关键需求方面具备显著优势。其一，摄像头可提供较高的角分辨率，在物体边缘检测方面表现出色。其二，在交通标志识别与车道检测场景中，能够发挥良好性能。此外，摄像头也是ADAS中唯一可实现颜色识别的传感器。同时，得益于成熟的技术体系，摄像头在成本方面也具有相对优势。

从图2中同样能够清晰观察到摄像头与雷达的互补特性，雷达在摄像头存在短板的领域展现出较强性能。具体而言，摄像头的短板主要集中在深度感知能力、恶劣天气环境下的工作稳定性，以及低光照条件下的探测效果这三个方面。

关键要求	摄像头	雷达	激光雷达
角分辨率	●	●	●
交通标志	●	●	●
物体边缘精度	●	●	●
车道检测	●	●	●
颜色识别	●	●	●
成本	●	●	●
深度分辨率	●	●	●
深度探测距离	●	●	●
恶劣天气	●	●	●
低光性能	●	●	●
速度	●	●	●
自动驾驶级别	L0, L1, L2	L0, L1, L2	L2, L3, L4, L5

● 优异 ● 中等 ● 较差

图2 ADAS传感器功能比较

2.1 应用说明

摄像头传感器主要可分为以下五类：

› 前置视觉摄像头：

如图3所示，车载前置摄像头用于探测车辆前方视野范围内的物体。为更精准地聚焦不同距离的物体，前置摄像头系统内通常搭载1个、2个或3个摄像头传感器。这类摄像头通过识别车道标线、车辆及其他物体，可支持实现多种功能，包括车道偏离预警(LKW)、自适应巡航控制(ACC)、碰撞规避、交通标志识别(TSR)以及远光灯控制(HBC)。

› 环视摄像头：

环视摄像头的作用是生成车辆周围的360°全景视图。其分辨率相对较低，但对图像处理的需求更高，原因在于至少需要融合4个摄像头的感知数据，才能构建出连贯的车辆环视画面。在部分场景中，车辆仅配备侧视摄像头和/或后视摄像头，尽管无法提供完整的360°视野，但仍可实现盲点检测(BSD)、变道辅助(LCA)、停车辅助(PA)等功能。

› 夜视摄像头：

夜视摄像头采用红外(IR)热成像技术，能够探测夜间肉眼难以识别的物体、动物及行人。目前，该类摄像头在豪华车型中的应用已较为普遍，且有迹象显示，这项技术正逐步覆盖普通家用车型。

› 驾驶员/乘员监测系统(DMS/OMS)摄像头：

摄像头的一个新兴应用方向是朝向座舱内部，用于监测驾驶员及车内乘员的状态。部分该类系统可检测乘员是否系好安全带、驾驶员是否出现困倦迹象。这类摄像头的应用潜力体现在多个维度：在碰撞发生时，可通过调整安全带张紧度和安全气囊展开方式提升安全性；能够根据乘员位置调节空调设置，提升乘坐舒适度；可支持手势控制的信息娱乐系统；此外，在未来自动驾驶汽车中，还能检测乘客的危险行为。座舱内摄像头在分析所获取的视频数据时，对人工智能(AI)技术具有较高依赖性。

› 电子后视镜：

目前，电子后视镜摄像头已被部分豪华车型采用。其优势主要体现在多个方面：能够为驾驶员提供更宽广的视野，进而提升行车能见度；有助于优化车辆空气动力学性能；在恶劣环境下的表现更为稳定，受雨雪、雾气的影响相对较小，且可集成夜视和防眩光功能。此外，该类摄像头还能为ADAS补充信息，例如发出车道偏离预警、显示与障碍物的距离等。

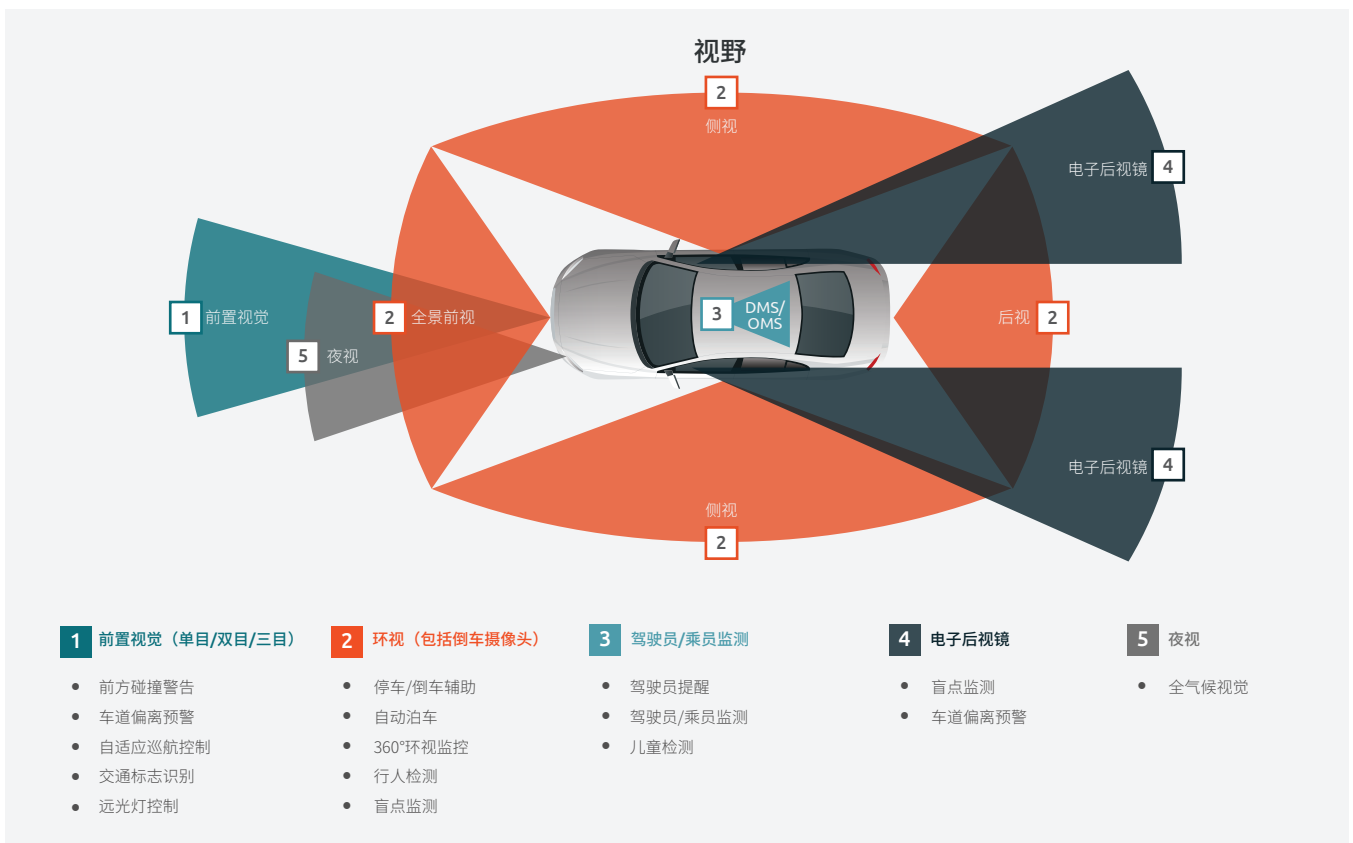


图3 主要摄像头系统概览

2.2 应用趋势

› 更高分辨率:

由图4可知，车载摄像头的分辨率覆盖范围较广，前置视觉摄像头与环视摄像头的分辨率可从低于100万像素到800万像素以上。过去，多数车载摄像头选用该范围内的低分辨率型号；而当前趋势显示，摄像头正逐步向更高分辨率的UHD领域发展。其中，前置视觉摄像头向800万像素级别发展的速度较快，环视摄像头则更倾向于采用300万像素级别。

› 更大的视野(FOV):

为捕捉更广阔的车辆周边环境信息，设计上对摄像头FOV的需求持续提升。此外，集成自适应FOV的先进摄像头系统已开始部署，该技术能让摄像头根据行驶条件灵活调整FOV。例如，车辆在高速公路行驶时，摄像头可采用较窄的FOV以实现远距离探测；在城市道路行驶或泊车场景下，则切换为更宽的FOV。

› 高动态范围(HDR):

车载摄像头需具备高动态范围性能。这通常需要采用搭载不同镜头的多种传感器，从而实现对不同距离内物体的有效探测。即便在后置摄像头中，也可能通过增加摄像头传感器数量的方式来满足这一

› LED闪烁抑制(LFM):

目前的车辆普遍配备LED灯，且交通信号灯、指示牌等其他光源也大量采用LED技术，这些LED光源可能对摄像头的物体探测造成干扰。即便场景中存在强LED光源，LFM功能仍能确保摄像头准确捕捉图像，从而解决这一问题。

› 低延迟:

随着摄像头分辨率与帧率的不断提升，对更快通信协议的需求愈发迫切。下表概述了部分摄像头所采用的信息协议。

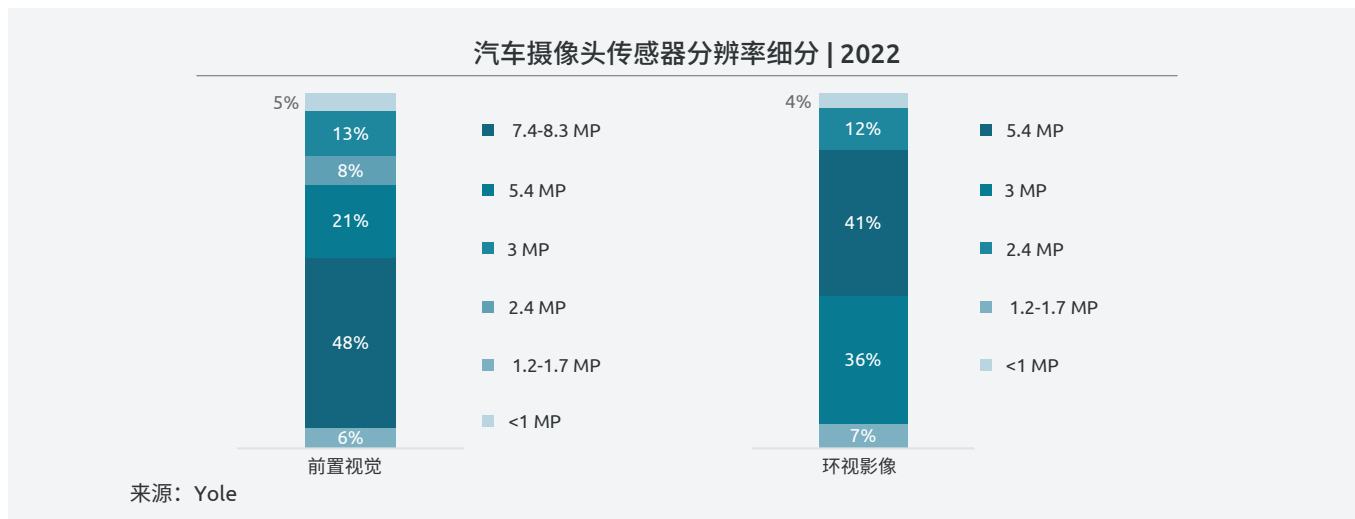


图4 汽车摄像头传感器分辨率细分，来源：《Imaging for Automotive 2023》报告，Yole Intelligence

要求	前置视觉	环视影像	DMS / OMS
分辨率	8 MP	3 MP	2-5 MP
高动态范围(HDR)	≥120 dB	120 dB	
视野(FOV)	30° - 120°	190°	90° - 160°
接口	SerDes、CAN FD、以太网	SerDes、以太网、MIPI	CAN FD、FlexRay

图5 汽车趋势概览

由于车载摄像头需暴露在车辆外部环境中，因此必须具备抵御恶劣天气的能力，包括承受极端温度变化、防潮、防尘等。这一需求也对摄像头传感器的可靠性标准提出了更高要求。

3. 功能框图

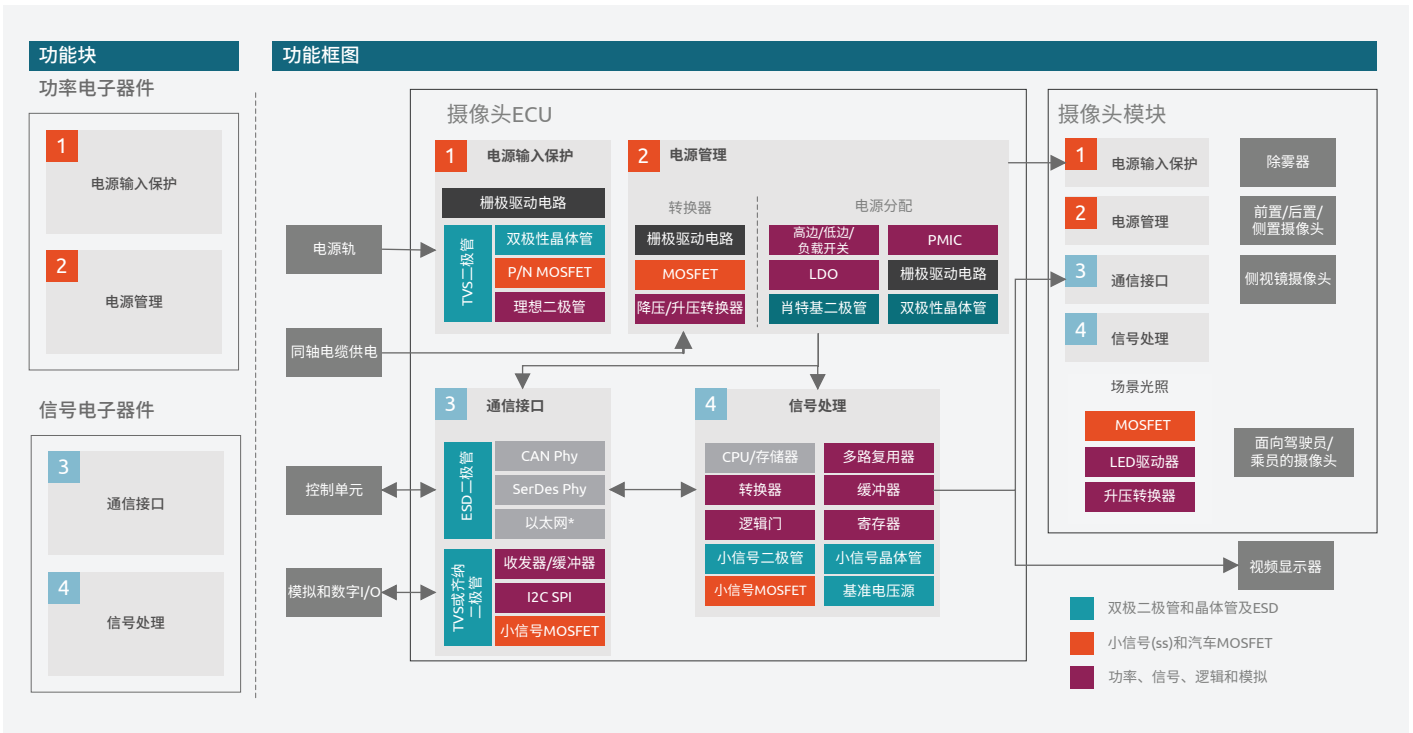


图6 汽车摄像头内部电子器件功能框图

图6所示框图概述了通用摄像头系统中的核心器件。摄像头本身有两种连接方式：一种是直接接入摄像头ECU（如面向驾驶员/乘员的摄像头），另一种是独立于主摄像头ECU的小型摄像头模块。在后一种连接方式下，图像采集由摄像头模块完成，而图像处理则在主摄像头ECU中执行。与多数应用一样，框图内的功能模块可划分为功率处理模块与信息处理模块两大类，两类模块均设有对外接口部分。

- 1 电源输入保护**模块负责实现摄像头与汽车供电网络的对接，该供电网络可由电池或DC/DC转换器提供电力支持。其核心功能包括：保护摄像头免受外部干扰影响以及在摄像头未启用时限制功耗。
- 2 电源管理**模块内置电压转换机制，能够将输入电压转换为其余组件适用的电压等级。这一转换过程通常通过集成电路中的开关型降压转换器与升压转换器实现，也可采用分立式MOSFET和肖特基二极管设计。之后，LDO会对这些电压进行进一步调节，使其

更稳定平滑，从而满足处理器等精密电子元件的工作需求。智能开关可对特定时段内不使用的电路进行供电限制，如摄像头本体、视频显示器或除雾器。电压监测或唤醒电路等其他电路则可通过小信号MOSFET、BJT及二极管实现，避免对处理器功能产生依赖。

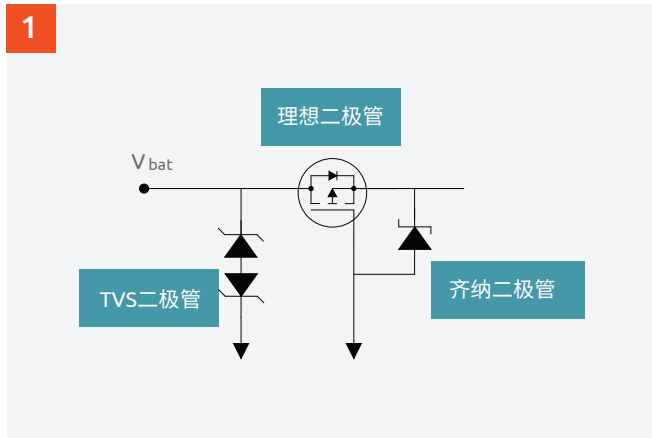
- 3 通信接口**模块包含高速CAN或以太网PHY，并配备相应的ESD保护装置，以保障与控制单元之间通信的可靠性。不同汽车制造商联盟所采用的通信协议也在此模块中实现适配。这些协议都需要与其通信速度、典型线路电阻相适配的ESD保护功能。
- 4 最后，信号处理**模块包含MCU与存储器模块。逻辑器件与小信号器件可实现配套逻辑功能、与已有模块的接口对接，以及额外的安全层功能，或增加MCU的GPIO数量。

下一章将详细探讨上图所示四个模块在设计过程中面临的挑战，以及对应的解决方案路径。

4. 应用设计挑战与解决方案

4.1 电源输入保护

1



设计挑战1:

保护摄像头系统电子器件，避免其受到电源线路与信号线路上的浪涌及干扰的影响。

Nexperia针对挑战1的分立式解决方案:

对于车载12 V系统，ISO7637-2和ISO16750-2描述了需要考虑的各种脉冲和条件。这些要求旨在检查ECU是否符合一般要求。但是，诸如ISO7637-2脉冲1、2a、2b、3a、3b、5b和ISO16750-2§4.6.4（抛负载）之类的瞬态脉冲测试通常应用于单个TVS器件，且这些脉冲既可能为负脉冲，也可能为正脉冲。参见我们的交互式应用笔记[IAN50007](#)，了解MOSFET器件的ISO脉冲仿真。

[TVS二极管](#)可对电源线路与信号线路形成保护，避免其受到电压浪涌影响。此类二极管具备较强的保护能力；但由于自身电容值相对较高，更适用于保护低数据速率的数据线、模拟信号线路及电源连接线路。

在选择TVS二极管保护方案时，需考虑三个关键参数。

- › 保护器件本身承受ESD和浪涌事件的高度鲁棒性。
- › 低钳位电压
- › 低动态电阻 - 确保保护器件具有陡峭的I-V曲线，因此浪涌电流增加时，钳位电压不会大幅增加。

推荐的Nexperia TVS产品组合

封装	电压	10/1000 μ s 额定功率值
SOD123W	3.5 – 64 V	400 W
SOD128	3.5 – 64 V	600 W

- › 采用超薄型小型塑料封装
- › 相较于SMA/SMB，电路板空间节省高达50%
- › 电压选择范围广，覆盖3.3 V-64 V
- › 符合汽车标准，结温高达185°C

针对与主摄像头ECU分离且采用较低电压供电的摄像头模块，Nexperia提供了采用DFN1006-2封装的超紧凑TVS二极管：PTVS4V5D1BL-Q和PTVS5V5D1BL-Q。

推荐的Nexperia TVS器件： PTVS4V5D1BL-Q和PTVS5V5D1BL-Q

- › 对单条线路的双向ESD保护
- › 超高浪涌耐受性；8/20 μ s脉冲下， I_{pp} 高达40 A
- › 超低钳位电压：34 A、8/20 μ s脉冲下， V_{cl} 典型值为10.3 V
- › 30 kV ESD保护
- › 超低动态电阻 $R_{dyn} > = 0.1 \text{ Ohm (TLP)}$
- › 符合AEC-Q101标准，推荐用于汽车应用



设计挑战2:

保护摄像头电子器件，避免其受到电池反接可能引发的负过电压影响。

Nexperia针对挑战2的分立式解决方案1

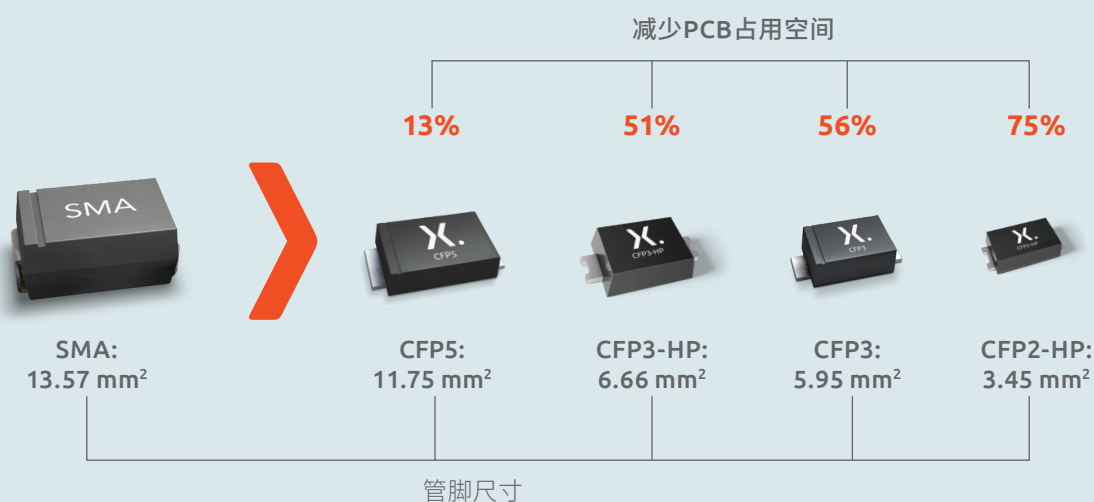
为应对此类风险，可额外增设一个开关。该开关可通过二极管、肖特基二极管、单个N沟道MOSFET或P沟道MOSFET实现[AN50001]。尤其是在摄像头等小功率应用场景下，这类器件需满足两项核心要求：一是占用电路板面积小，二是电阻尽可能低，以避免器件内部产生明显的导通损耗。考虑到摄像头应用的低功耗需求，此类开关大多采用单个肖特基二极管实现。该方案的优势在于设计集成难度低且成本低。但该解决方案也存在一项不足，即器件两端的压降会产生一定损耗；不过，考虑到摄像头本身功耗较低，这一损耗通常可以忽略不计。

在通常情况下，决定选择何种器件主要取决于该器件的发热量。初步仿真与估算可提供一个大致数值范围作为参考，但设计方案的有效性，最终仍需通过实验测量来验证。[Nexperia技术说明TN90007](#)中提供了建议的测量方法。即便在初步仿真中，设计人员也需掌握器件所连接介质的热阻信息，这类信息同样可通过TN90007虚拟结测量法进行测定。

Nexperia提供正向压降较低的肖特基二极管技术。器件采用铜夹片FlatPower (CFP)封装，该封装不仅支持器件小型化，且铜夹片能确保器件向PCB高效导热。而高效导热特性又进一步保障了器件具备较好的浪涌电流承受能力与较高的板级可靠性。

有关功率二极管及其应用、CFP封装优势的更多信息，请参见[Nexperia功率整流二极管网络研讨会](#)。

推荐的Nexperia肖特基二极管



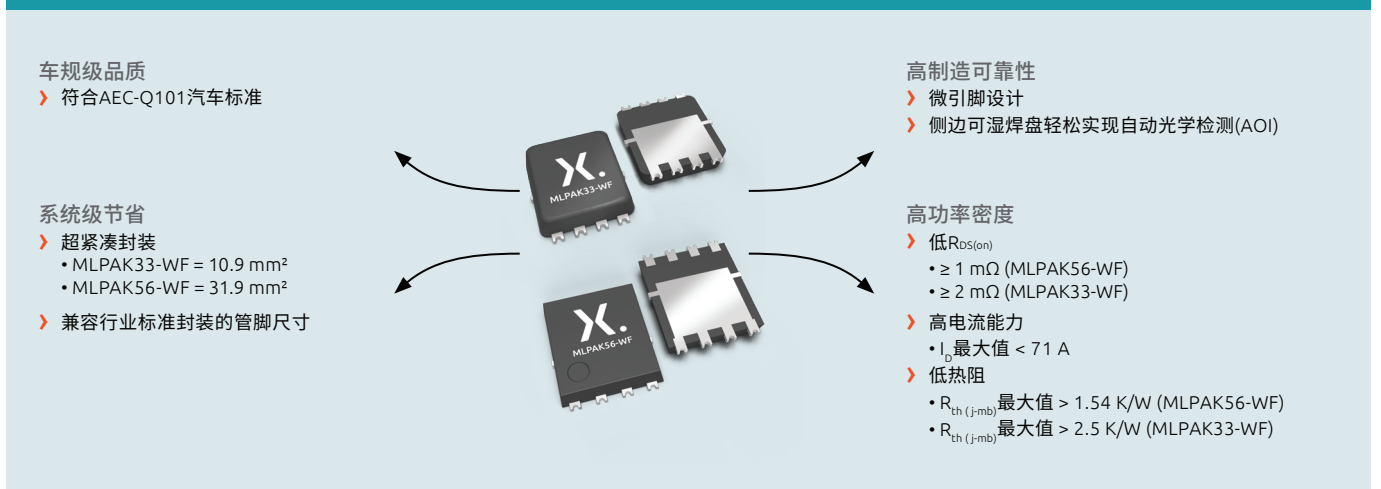
- › 实心铜夹片提高了热性能，降低了功耗
- › 降低封装感抗，从而改进开关特性
- › 高可靠性 (2 x AEC-Q101, 符合板级可靠性要求)
- › 无分层
- › 结温高达175°C
- › 小巧、纤薄且轻便的设计

推荐的Nexperia有引脚MOSFET



适用于负载开关及DC-DC转换器的推荐MOSFET封装（参见“电源管理”部分）包括Nexperia的LFPAK33系列（3x3 mm，有引脚，铜夹片）和LFPAK56D系列（5x6 mm，双通道，有引脚，铜夹片）封装以及新推出的MLPAK33（3x3 mm，微引脚）和，MLPAK56（5x6 mm，微引脚）封装。双通道封装非常适用于需要背对背保护的应用，可在同一封装中同时集成反极性保护与负载开关功能。对于尺寸要求更为苛刻的设计，可考虑DFN2020MD-6（2x2 mm，无引脚）封装，其具备较好的热性能。上述所有封装均采用铜框架结构，该结构能实现器件芯片到PCB的高效热传导，大幅提升器件的热性能，详情参见应用笔记AN90003。这一特性进一步拓展了器件的散热方案选择：既可通过PCB镀铜实现散热，也可在PCB所有层中增加铜含量，以促进热量在PCB上的均匀分布，进而通过更高效的对流与辐射作用将热量散发至环境中[AN50019]。Nexperia的精准电热模型能简化热设计的考量过程AN90034。带有“鸥翼型”引脚的封装在高温波动环境中表现尤为稳定，可确保器件的高板级可靠性。摄像头通常安装在车辆外部，可能需要承受极端环境温度。上述封装均支持自动光学检测，其中微引脚和无引脚封装型号通过侧边可湿焊盘(SWF)结构实现该功能。有关MOSFET的详细指南，可参考Nexperia MOSFET手册。

推荐的Nexperia微引脚MOSFET



带有“鸥翼型”引脚的封装在高温波动环境中表现尤为稳定，可确保器件的高板级可靠性。微引脚封装具备较好的板级可靠性。研究人员通过仿真焊盘蠕变应变对PCB焊点的可靠性进行了评估。下方图8展示了此次评估中重点关注的焊点区域，以及对应的仿真结果。仿真结果显示，在焊点失效前，LPAK33封装的使用寿命约为PQFN无引脚封装的2.7倍，MLPAK封装的使用寿命约为PQFN无引脚封装的1.6倍。

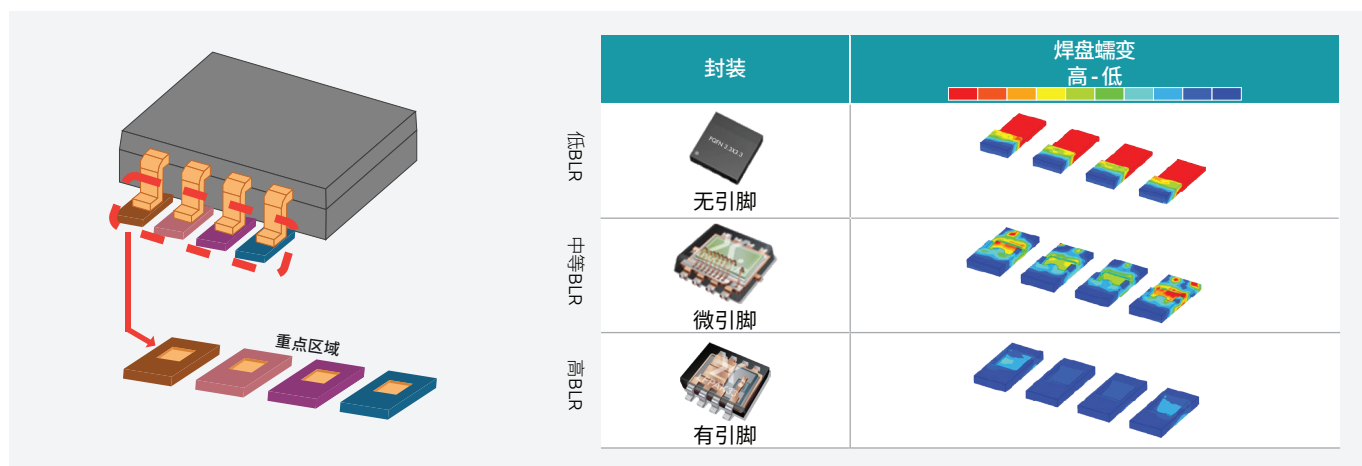


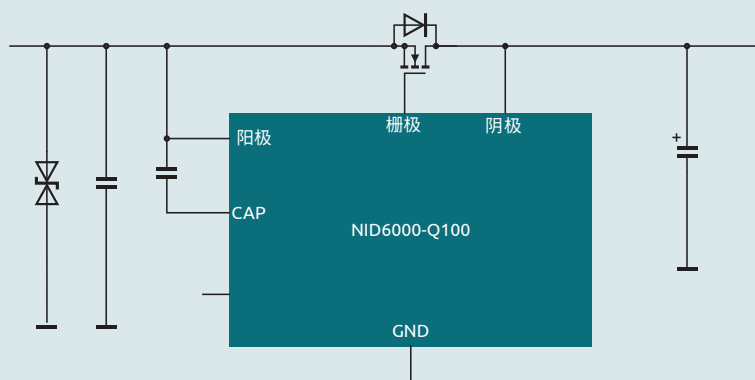
图8 3x3 mm封装焊盘蠕变应变比较

如果车辆供电系统为48 V，Nexperia提供一系列采用小型封装的80 V和100 V器件，这类器件同时具备较好的导通性能与开关性能：

V_{DS}	LPAK56D/ HB	LPAK33	MLPAK33-WF	DFN2020-3
80 V	12-49 mΩ	12-48 mΩ	14-45 mΩ	81-230 mΩ
100 V	24-134 mΩ	34-156 mΩ	16-50 mΩ	385 mΩ

在N沟道MOSFET的控制方面，可采用理想二极管控制器。该类控制器不仅能简化分立式电路的设计流程，还具备额外功能。其控制精度较高，设计过程中无需考虑分立式元件的容差，仅依靠控制器自身的保护功能便可满足需求。此外，理想二极管控制器还能将被控器件的压降精准控制在特定范围（此时器件并非完全导通状态），进而将器件的工作点维持在其输出特性曲线的拐点处，如此一来，当需要时，器件便能快速切换至阻断状态。

推荐的Nexperia理想二极管控制器：NID6000-Q100



- 符合车规级AEC-Q100标准
- 工作电压3.2 V-65 V，适用于12 V和24 V应用
- 阳极至阴极的正向压降稳定在20 mV
- 峰值栅极关断电流为2.3 A
- 反向电流阻断和反向极性保护
- 输入反向电压额定值为-65 V
- TVS二极管符合ISO 7637-2瞬变要求
- 具备功能安全特性（ISO 26262和IEC 61508）

4.2 电源管理

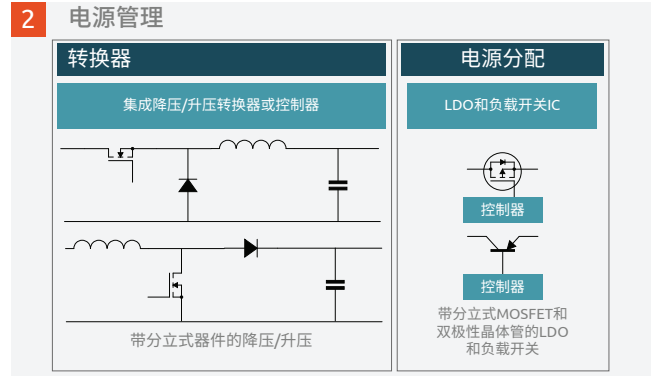
设计挑战3：

将输入电压稳定并转换为系统其他部分适用的电压等级。车辆电源轨的输入电压可能是12 V、24 V或48 V。受供电线路长度较长、所连接负载类型多样等因素影响，该电压可能出现相对不稳定的情况。

Nexperia针对挑战3的分立式解决方案1

MOSFET可用在本地转换器中，以达到所需电压等级。降压与升压转换器拓扑结构适用于此类任务。由于功率转换等级较低，可采用高开关频率，以缩小电感、电容等无源元件的尺寸。所采用的MOSFET自身也需具备较小体积[AN11119]，通过减小开关电路尺寸及器件封装内部的连接线路，可进一步降低PCB与器件中的寄生电感和寄生电容。推荐采用的封装类型是DFN2020、LFPAK33、LFPAK56D及MLPAK33。

与用于负载开关的MOSFET不同，这里所选的MOSFET需具备更优的开关性能，而这通常要求其 $R_{DS(on)}$ 电阻相对更大。较大的漏极-源极电阻可确保MOSFET内部的芯片尺寸更小，从而降低栅极所需能量，并



减少输出端的开关损耗。开关过程中产生的损耗主要与数据手册参数中的输入电容、输出电容及电荷相关。Nexperia推荐采用后缀为H (T9技术，用于12 V汽车架构) 和L (T12技术，用于48 V汽车架构) 的技术，例如：BUK9V13-40H或BUK9Q14-80L。

Nexperia T9 40 V技术MOSFET产品组合

- 可靠的汽车硅技术**
 - > 超越AEC-Q101标准
 - > 超结技术
 - > 故障条件耐受能力
 - > 雪崩耐受性
 - > SOA性能出色
- LFPAK封装技术**
 - > BLR性能
 - > 高ID能力
 - > 高功率密度
 - > 优异的质量性能
 - > 零缺陷计划

不过，为有效对比可用MOSFET的性能，工程师需自行开展双脉冲测试（如图9所示），以筛选出效率与开关行为配比更优的器件。更多相关信息可参考Nexperia应用笔记AN90011。

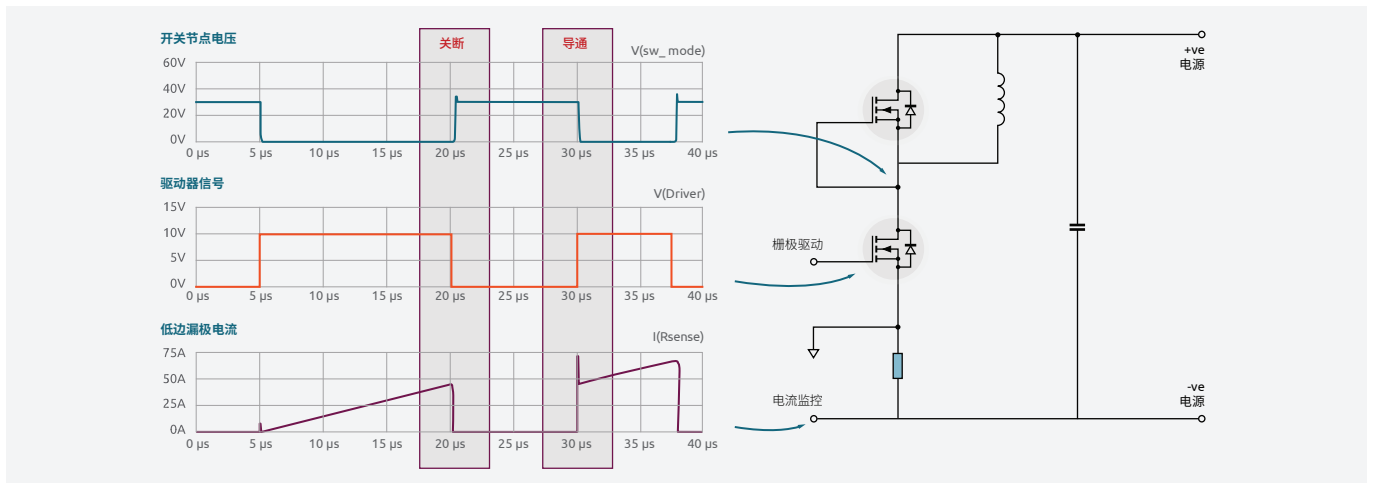


图9 双脉冲测试波形和电路

Nexperia针对挑战3的分立式解决方案2

续流MOSFET可替换为开关二极管[AN11550]，如图10所示。此方案能简化电路的控制与设计，但会增加导通损耗。所采用的二极管需满足以下要求：正向压降低、漏电流小，且具备较好的散热能力。关于二极管的更多信息，可参考[Nexperia二极管手册](#)。

Nexperia Trench技术肖特基二极管拥有良好的开关性能。相较于平面肖特基二极管，Trench产品的反向恢复电荷更低，反向恢复电流过冲更小。这一特性使其在高开关频率场景下具备更优的运行效率，不仅有助于降低转换器的损耗，还能减少对转换器散热系统的需求。图11以48 V转12 V开关转换器为例，直观展示了该二极管的这一性能优势。

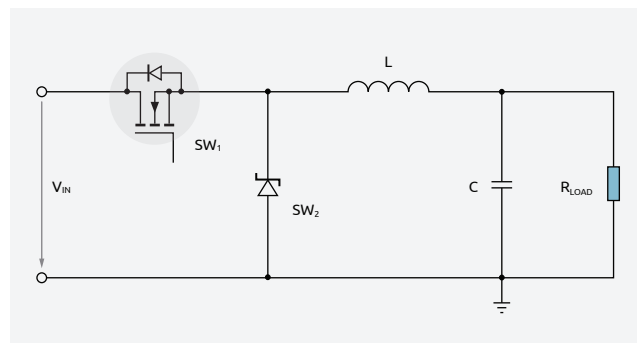


图10 使用MOSFET和肖特基二极管的异步降压转换器

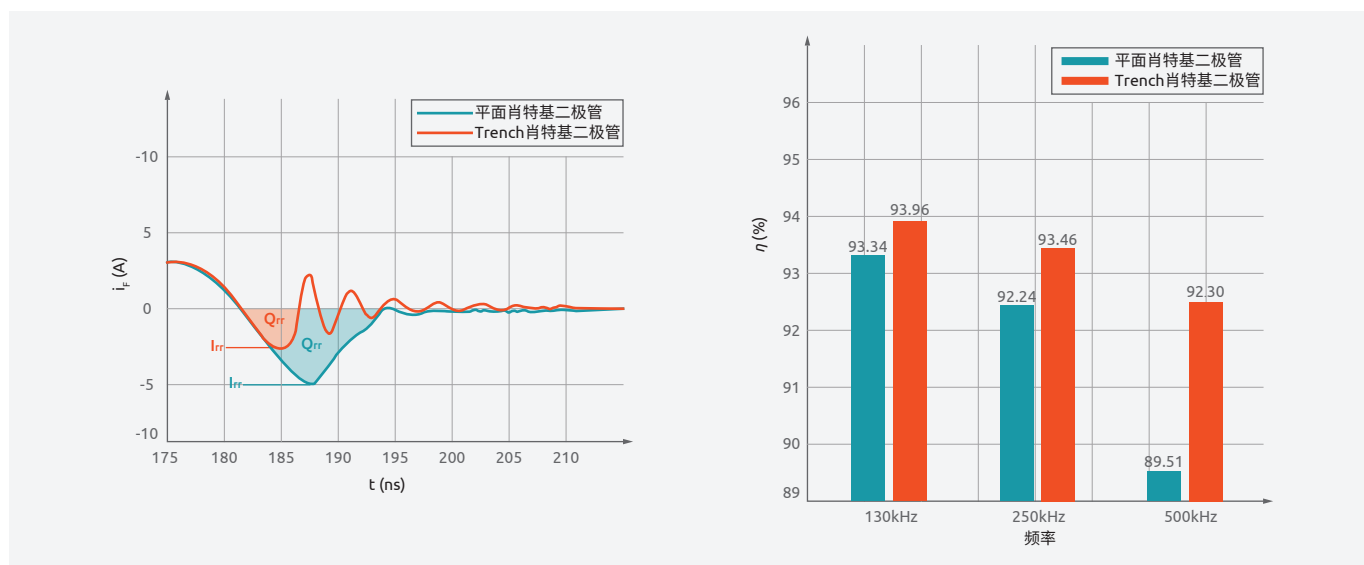
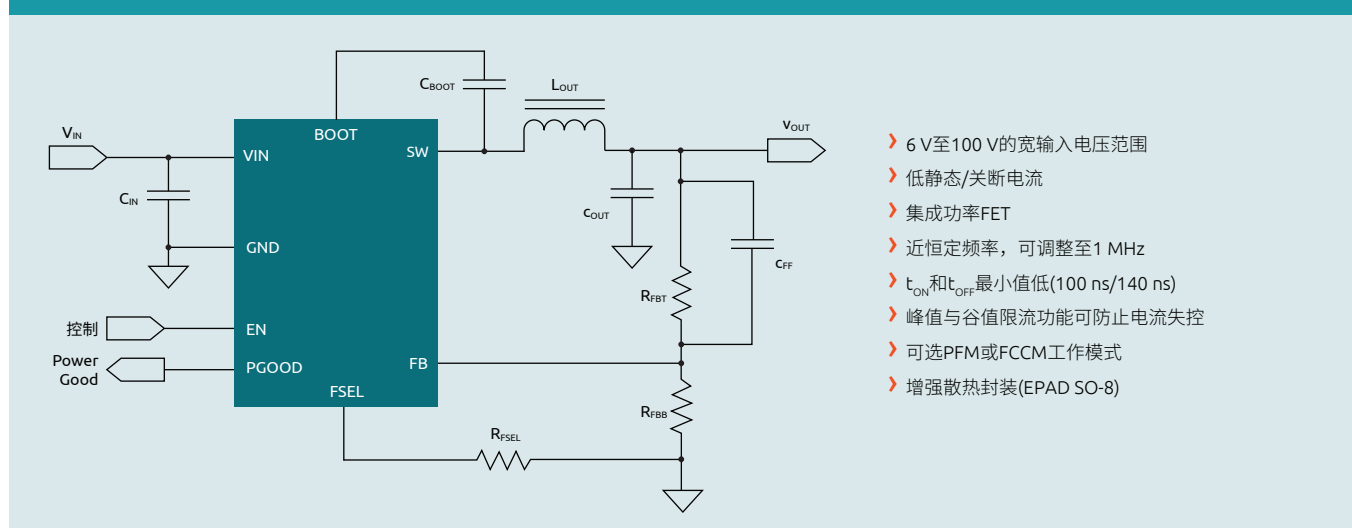


图11 48 V转12 V开关转换器中的Trench肖特基二极管特性：反向恢复波形（左）和转换器效率（右）

Nexperia针对挑战3的集成解决方案：

电压转换可通过内置器件的专用开关IC实现。例如，40 V输入（12 V系统）、600 mA输出的NEX40400以及100 V输入（48 V系统）、1 A输出电流的NEX40101。此类器件具备诸多优势，包括封装尺寸小、输入电压范围宽、待机电流低（有助于减少电池消耗）、EMI兼容性较好，并且设计集成难度较低。

推荐的Nexperia集成转换器NEX40101-Q100



- > 6 V至100 V的宽输入电压范围
- > 低静态/关断电流
- > 集成功率FET
- > 近恒定频率，可调整至1 MHz
- > t_{ON} 和 t_{OFF} 最小值低(100 ns/140 ns)
- > 峰值与谷值限流功能可防止电流失控
- > 可选PFM或FCCM工作模式
- > 增强散热封装(EPAD SO-8)

设计挑战4:

电压转换的下一个挑战是达到摄像头ECU主控微控制器核心所需的电压等级。DC-DC转换器输出端的电压等级过高，并可能伴随电压波动或纹波问题。因此，需要将输出电压进一步降至1-1.8 V区间，并实施更精细的稳压调控。该步骤通常可通过开关型转换器与稳压降压这两种不同的方式实现。

Nexperia针对挑战4的分立式解决方案1:

稳压降压解决方案可以采用分立式器件设计，也可通过类似的集成解决方案实现。所用器件两端会同时承受电压，且有电流流过端子，因此会产生相对更高的损耗。由于这类器件需要在线性工作模式（而非开关模式）下工作，因此双极性晶体管(BJT)成为该用例的优选器件。图12显示了采用BJT实现输出电压稳压调控的解决方案。有关BJT设计的详细信息，可参考[Nexperia BJT手册](#)。

Nexperia拥有广泛的低 V_{CEsat} 且适用于线性模式应用的器件产品组合。下表显示了其中一部分产品的比较。

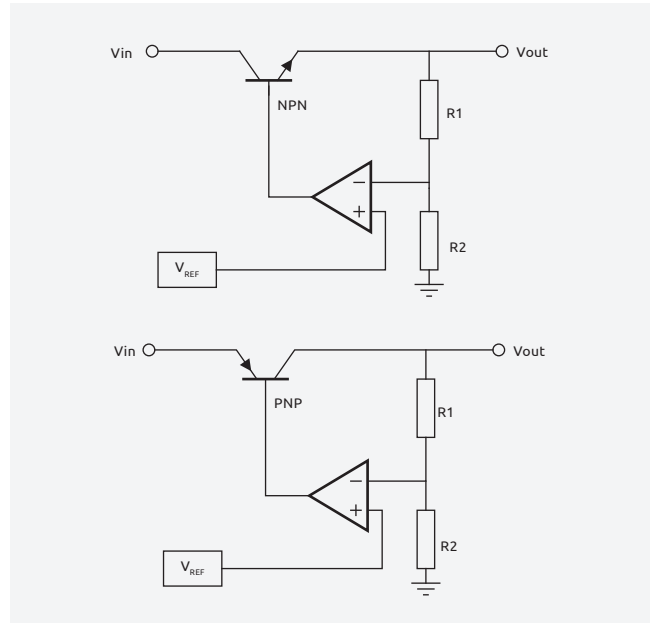


图12 使用BJT的LDO实现

关键要求	V_{CEsat} (3 A) [V] (最大值)	I_c [A]	H_{Fe} (2 A) (最小值)	V_{BEon} [V] (最大值)	V_{CEO}	封装
PBSS4310PAS-Q	0.11	3	275	0.845	10	SOT1061D
PBSS4620PA-Q	0.17	6	260	0.9	20	SOT1061
PBSS4021NX-Q	0.1	7	300	0.85	30	SOT89
PBSS4330X	0.3	3	180	1	40	SOT89

名称中带有“PA”的产品采用小型化2 mm × 2 mm无引脚封装，而名称中带有“X”的产品采用SOT89封装(4.6 mm × 4.25 mm)。图13显示了这些器件在不同负载电流下的热性能。尽管封装尺寸较小，但DFN2020器件展现出优异的热性能。

所需参考电压可通过多种方式实现。如果应用场景对电压稳压精度要求不高，且需要较大输出电流（在两位数毫安级范围内），可采用 V_Z 大于或等于期望输出电压与最大基极-发射极电压之和的齐纳二极管（图14）。如果应用场景需要更高的稳压精度，则可采用低压差(LDO)稳压器。此类稳压器通常会搭配TL431或TLVH431等并联稳压器来驱动BJT（图15）。

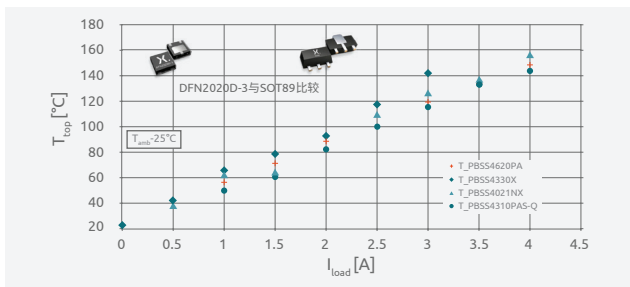


图13 不同负载电流下BJT的热性能

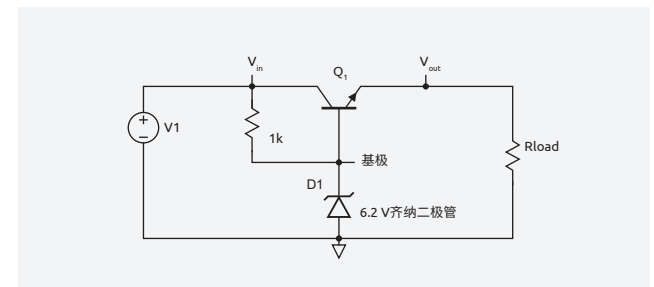


图14 使用齐纳二极管的线性稳压器

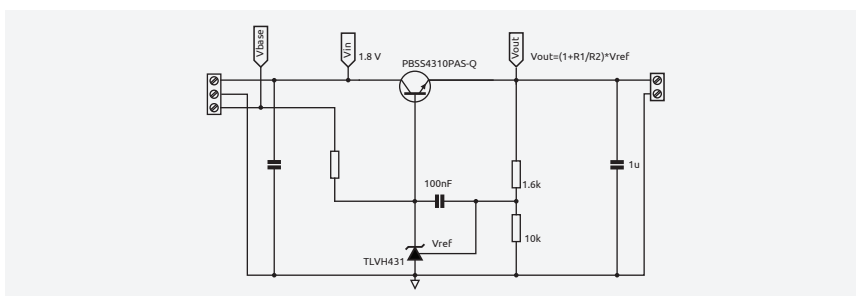


图15 1.8 - 1.45 V、3 A稳压器搭配低 V_{CEsat} BJT和并联稳压器的电路示意图

Nexperia针对挑战4的分立式解决方案2

齐纳二极管也可应用于电压轨，以稳定电源电压。其实现方式简单，允许设计工程师采用昂贵的集成稳压器，同时保证输出电压质量符合应用要求。当发生过电压时，需注意避免齐纳二极管损坏。为防止大电流流经二极管，可在电路中串联一个电阻。但需留意，这样做会导致动态电阻增大，且在大电流下，负载侧电压可能会偏高。

齐纳二极管的选型需满足齐纳电压与期望输出电压一致的要求。串联电阻的阻值需控制在合理范围：一方面要足够小，确保在预期最高负载电流下不会产生过大压降；另一方面，在最大负载工况下，需保证有0.5 mA的少量电流流经齐纳二极管，使其始终在工作特性允许的电压区间内。若未考虑这一电流，输出端电压可能会超过期望水平。

Nexperia的50 μ A BZX系列是一套优秀的解决方案，该系列不仅电压规格丰富，还提供有引脚和无引脚封装形式。为进一步提升输出电压精度，Nexperia还推出A选型版本，除提供标准的2%和5%容差产品外，A选型齐纳二极管的容差可达到1%，有助于减少设计余量。

如果应用场景中存在电压过冲问题（可能由未设计0.5 mA额外电流导致），Nexperia的PZU系列可作为管脚尺寸兼容的替代方案。

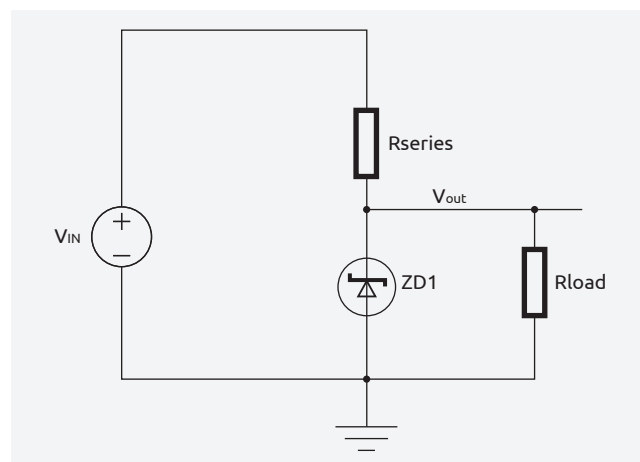


图16 使用齐纳二极管的稳压实现电路

推荐的Nexperia齐纳二极管

BZX系列

- ▶ 工作点指定电流50 μ A
- ▶ 工作电压范围：标称1.8 V-75 V
- ▶ 电压容差能力约 $\pm 5\%$ （可达 $\pm 1\%$ ）



SOT23



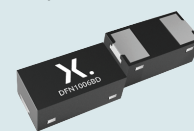
SOD323F
(SC-90)

PZU系列

- ▶ 低差分电阻和低漏电流齐纳二极管
- ▶ 防过冲设计
- ▶ 工作电压范围：标称2.4 V-51 V
- ▶ 电压容差能力B= $\pm 5\%$ ，B2= $\pm 2\%$



SOD323
(SC-76)



DFN1006BD-2
(SOD882BD-2)

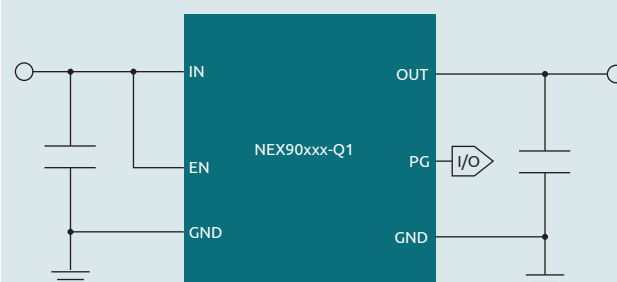
Nexperia针对挑战4的集成解决方案：

此外，另一种解决方案是采用低压差(LDO)稳压器。Nexperia提供两款LDO产品：一款是150 mA的NEX90x15-Q100，另一款是300 mA的NEX90x30-Q100。这两款器件均具有低静态电流（典型值5 μ A）、高达40 V的宽输入电压范围和高达45 V的瞬态电压。它们适用于冷启动和启停汽车工况。这两款LDO依托Nexperia封装开发技术的专业积累，可有效应对过度散热的问题。同时，这两款LDO均配备使能引脚和Power Good引脚。当电路部分模块无需工作时（例如未使用的通信端口），可通过使能引脚将其关闭；而Power Good引脚能够指示负载端是否存在潜在短路故障。

对于需要稳定电压供电且未集成在主PCB上的负载，建议采用跟随LDO。NEX91207-Q100 (70 mA)和NEX91x15/30-Q100 (150 mA和300 mA) 集成了丰富的保护功能，能够防范反向电流、电池和GND短接、电池反接及短路等故障风险。这两款器件拥有4 V-40 V的宽输入电压范围，可承受冷启动与抛负载等瞬态工况。其输出电压由施加在EN/ADJ引脚上的参考电压决定，且输出电压会以高精度跟随该参考电压（电压容差能力为5 mV）。

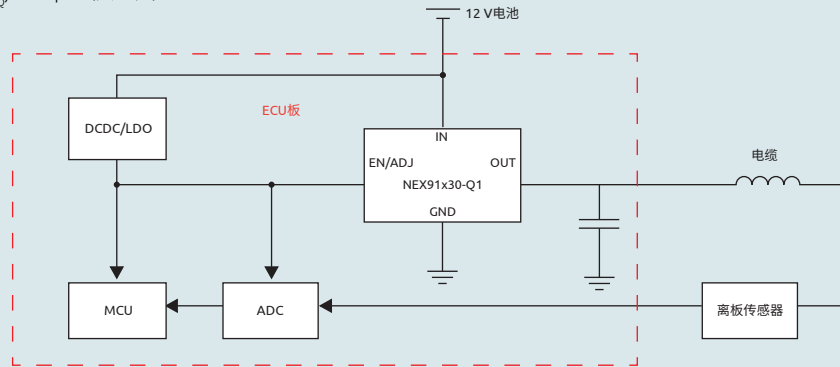
得益于该器件的保护功能，电路板外部产生的干扰不会对与器件IN端子相连的板载主供电网络造成影响。此外，该器件还提供可直接替换主流LDO的封装形式。

推荐的Nexperia LDO： NEX90530-Q100/NEX90515-Q100



推荐的Nexperia跟随LDO NEX91x30/15-Q100

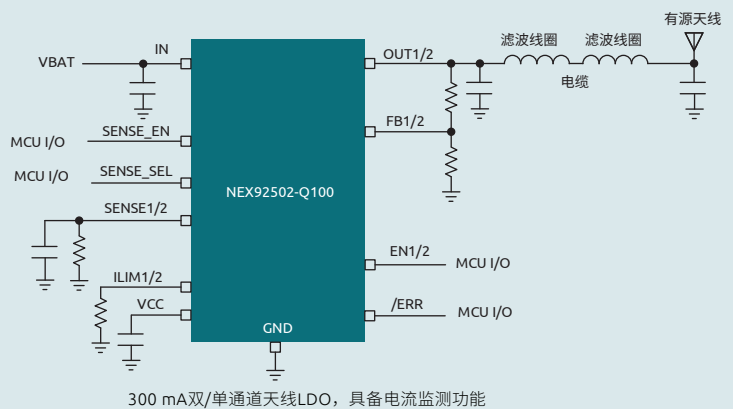
- › 4 V至40 V宽输入电压范围 (abs: -42 V至45 V)
- › 输出电压范围: 2至40 V (-5 V至45 V abs最大值)
- › 超低输出跟随容差: ± 5 mV
- › 高PSRR: 100 Hz下80 dB
- › 低压差: 400 mV (典型值), 5 V/300 mA
- › 低静态电流(I_Q): 50 μ A (典型值)
- › UV和OV的PG指示符
- › 稳健的保护功能: 反向电流/反向电池/电池短路/接地短路/过热关断
- › 采用小型陶瓷电容 $C_{OUT} = 4.7 \mu$ F, 实现稳定工作
- › 主动放电
- › SOIC-8 EP封装, 提供3种不同引脚布局



跟随LDO旨在跟随内部电压电平, 并将该电压传输至以离板负载为主的负载端, 而天线LDO则用于为同一类负载提供目标电压电平。天线LDO即便处于轻负载工况, 仍具备精准的电流检测能力, 其内置的背对背MOSFET有助于降低系统级成本, 同时还集成了反向电流保护功能及全面的诊断功能, 可实现对故障的有效识别。

推荐的Nexperia天线LDO NEX92x30-Q100

- › 输入电压范围: 4 V至40 V
- › 输出电压范围: 1 V至20 V
- › 支持I2C接口, 配备8位ADC (C版本)
- › 双通道输出: 每通道输出电流能力300 mA
- › 高精度电流监测: $\pm 8\%$ ($I_O = 5$ mA)
- › 低压差电压 (100 mA时最大500 mV)
- › 全面诊断与保护
 - 电池短路/接地短路
 - 反向电池/反极性/反向电流
 - 开路负载检测
 - 热关断
- › 工作结温范围: -40°C 至 150°C (1级)
- › 热增强型HTSSOP-16封装/QFN-16 (I2C)



有关不同LDO的作用, 请参见图17的汇总说明。

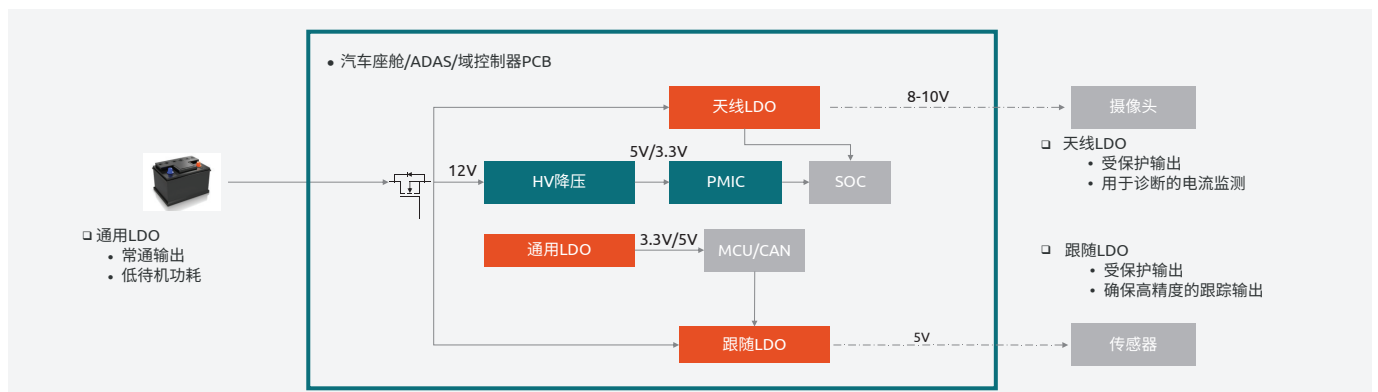


图17 不同LDO类型在控制器PCB中的作用

设计挑战5:

在不使用主处理器的前提下，在电源管理模块中实现电压监测、系统唤醒或其他功能。这一设计思路背后的原因是，主处理器可能处于休眠模式，或因电源电压缺失而无法正常工作。

Nexperia针对挑战5的解决方案:

电压监测可通过分立器件完成。如图18所示的电路方案中，当被监测电压下降时，两个晶体管均会停止导通，此时微控制器或片上系统(SoC)的输入引脚将接收到低电压。该原理图可通过通用开关二极管、晶体管和RET [AN90024]实现，适配不同的电压等级需求。

系统唤醒也可通过IVN或CAN等通信收发器实现：通过收发器的抑制引脚使能主DC-DC转换器或辅助LDO，进而完成系统唤醒。图19提出了一种简易OR电路方案，该电路采用小信号开关二极管与肖特基二极管。

分立式MOSFET和BJT现在提供DFN封装[AN90023]形式，相较于传统的有引脚SMD封装，显著节省了电路板空间，同时提升了热性能。此外，独特的侧边可湿焊盘特性支持自动光学检测，无需再额外进行X射线焊点检测，有助于降低生产环节的成本。车规级MOSFET现在提供小型DFN1110D-3封装，提供60 V N沟道和50 V P沟道器件。

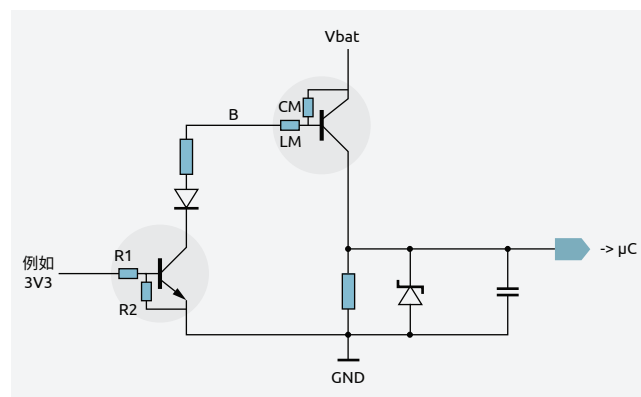


图18 使用RET和齐纳二极管的电压监测电路

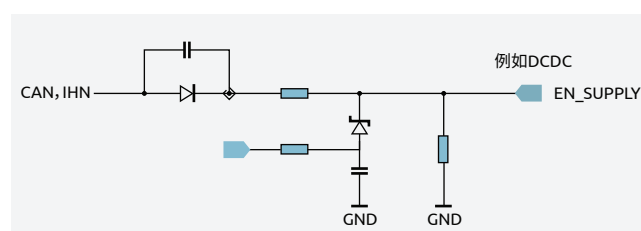


图19 使用小信号开关和肖特基二极管的唤醒电路

推荐的先进Nexperia DFN封装



SOT23AB / SOT457

占用的PCB面积11.4 mm²



DFN2020MD-6

占用的PCB面积5.1 mm²
空间节省55%



SOT23

占用的PCB面积9.9 mm²



DFN1110D-3

占用的PCB面积2.5 mm²
空间节省75%



SOT323

占用的PCB面积6.2 mm²



DFN1110D-3

占用的PCB面积2.5 mm²
空间节省60%



SOT363

占用的PCB面积6.2 mm²



DFN1412-6

占用的PCB面积2.7 mm²
空间节省55%

设计挑战6:

针对设计中无需始终保持供电的部件，需实现有效的电源控制。

Nexperia针对挑战6的分立式解决方案

在设计中，为降低功耗，通信接口、除雾器等模块无需保持持续通电状态。而高要求视频处理器等设计模块需要遵循特定的上电和断电序列，以此避免器件损坏。此外，如果因为存在大容量电容而可能产生浪涌电流，需采取相应措施对其进行限制。

负载开关[AN50020]主要用于限制不需要导通的负载的功耗，同时可通过断开受保护电路，降低负载因短路、过压问题受损的风险。如果需要测试，通常施加ISO标准传导瞬变以达到合规标准即可[AN50007]。

该分立式方案可采用功率MOSFET实现。若采用P沟道MOSFET，仅需1个信号MOSFET即可完成对功率MOSFET的控制。N沟道MOSFET在性能表现上优于P沟道MOSFET，但在相同位置使用时，需额外增加电荷泵电路，将栅极电压提升至电源线电压以上，才能实现对N沟道MOSFET的有效控制。

Nexperia的P沟道器件产品组合可适配汽车领域所有配电电压等级（12至48V）的应用场景，同时覆盖多种功率等级，详情可参见下表。

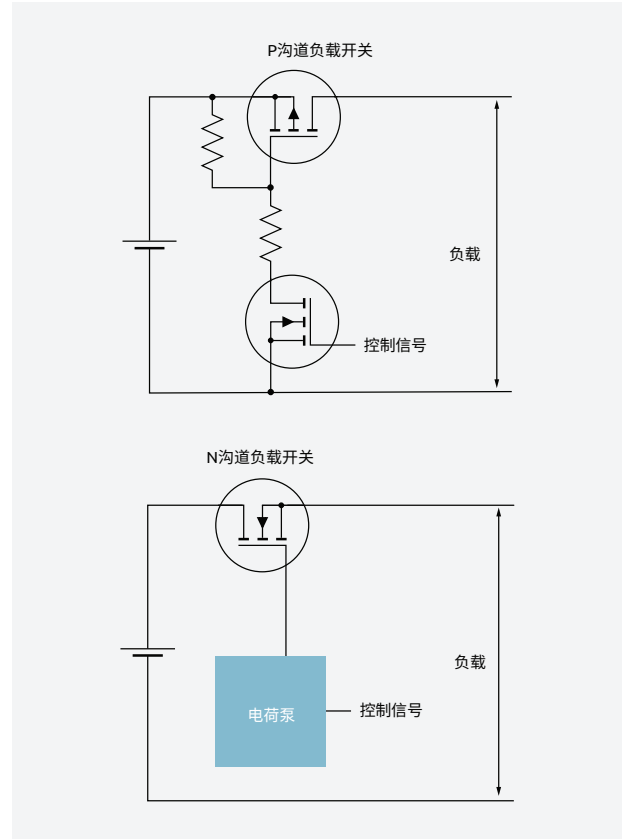
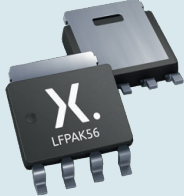





图20 使用P沟道和N沟道MOSFET的负载开关实现方案

Nexperia的P沟道MOSFET产品组合

V_{DS}	 LFLPAK56	 LFLPAK33	 MLPAK33	 DFN2020MD-6
20 V				19-122 mΩ
28 V/30 V	10-19 mΩ		7.5 & 21 mΩ	24, 40, 50 mΩ
40 V	14-24 mΩ		12 & 26 mΩ	43 mΩ
60 V	33-61 mΩ	61 mΩ	66 mΩ	120 mΩ
80 V	55 mΩ			120 & 220 mΩ

另一方面，该功能也可通过BJT实现。虽然普遍认为BJT的功耗高于MOSFET，但在某些应用中，其仍具备一定优势。Nexperia的低 V_{CEsat} BJT产品组合的集电极发射极电压可低至30 mV，电流放大倍数范围为200至600。这一特性使得该系列BJT在导通损耗表现上能够与MOSFET形成竞争，同时其对栅极驱动的要求相对更低。

图21显示了使用两个BJT（一个高边开关(T1)和一个控制晶体管(T2)）实现的负载开关。依托BJT的固有特性，该开关可在一定程度上阻断从输出端流向输入端的反向电流，这一特性在输入端电压骤降且负载侧电容存有电荷的场景下，可能发挥重要作用。此外，BJT基极的导通电压较低，约为0.7 V，使其能够在低电压条件下实现开关动作，可满足信号处理等场景中对低电压驱动的需求。在此应用中，采用低 V_{CEsat} BJT还能带来一项优势，即该类器件具备良好的ESD防护能力。

Nexperia针对挑战6的集成解决方案：

NPS4053-Q100等集成负载开关可以用来激活摄像头设计的部分模块，取代分立式解决方案[AN90052]。集成负载开关具有设计投入成本较低、占用电路板空间更小、所需外部元器件数量更少的特点，且内置保护功能；不过，与分立式解决方案相比，集成负载开关的额定电流通常较低。结合摄像头应用对功耗需求较低且存在空间限制的特点，集成负载开关可作为该类场景下的适配选择。

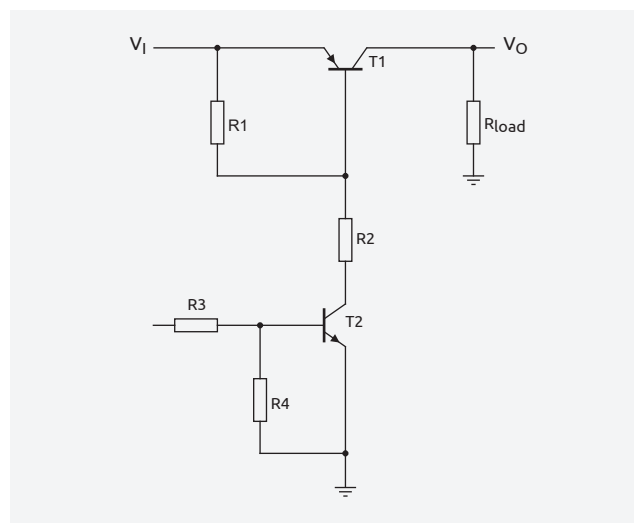
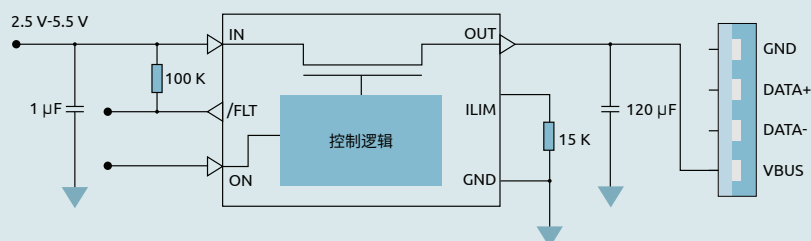


图21 采用低 V_{CEsat} BJT的负载开关实现

NPS4053-Q100集成负载开关



- 输入电压范围：2.5 V-5.5 V
- 最大连续电流：2 A
- 导通电阻：55 mΩ
- 可调节限流：110 mA-2.5 A
- ±6%限流值精度
- 限流期间保持恒流
- 禁用时无体二极管（没有从OUT引脚到IN引脚的电流通路）主动反向电压保护
- 内置软启动
- UL 62368认证
- SOT457 (TSOP6)和SOT8044-1 (HWSON6)封装选项
- 符合IEC 61000-4-2标准的15kV ESD保护能力

电源管理

应用负载开关可对流向控制器的浪涌电流起到限制作用，进而避免出现以下问题：微控制器损坏、DC-DC转换器输出电压被拉低，或DC-DC转换器本身损坏。负载开关的典型布局可参考图22，该图同时呈现了供电电流的变化情况。

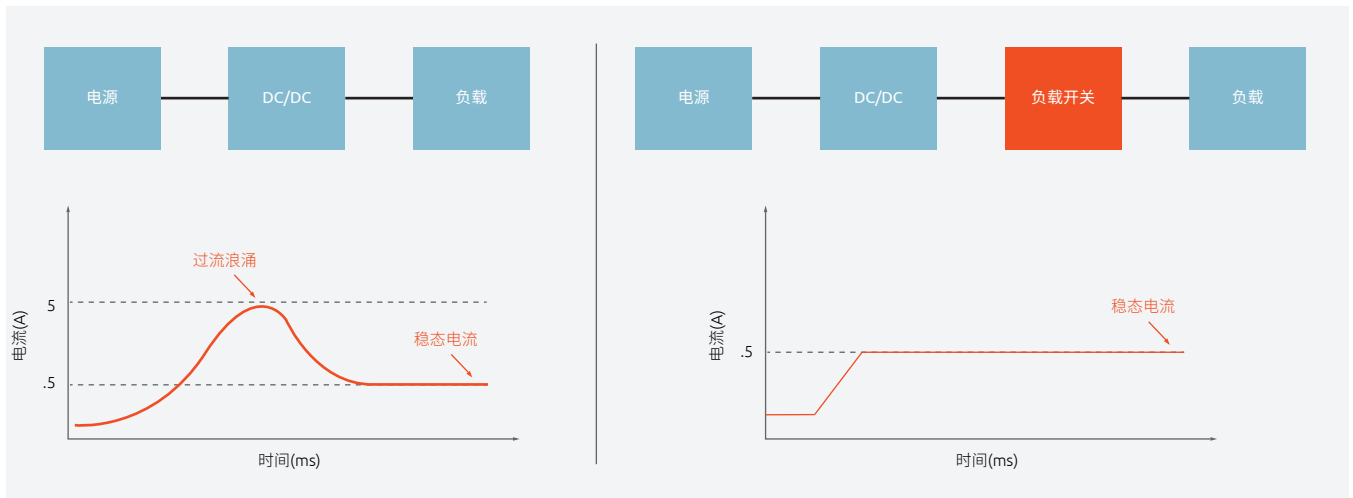


图22 负载开关布局框图及限流功能

负载开关与智能高边开关还可实现对整块电路板或单个控制器的电源时序控制。这类时序控制可由辅助启动控制器发起，具体执行则通过集成式开关或分立式开关完成：

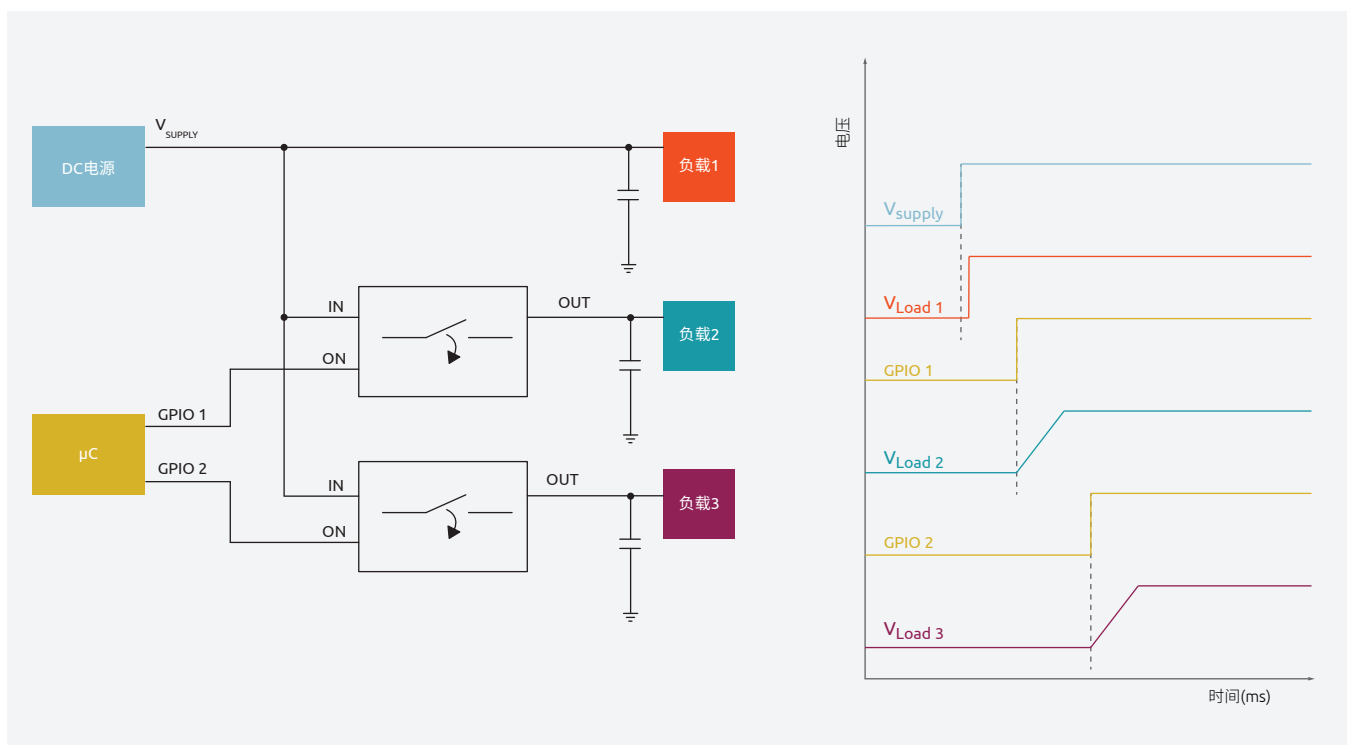


图23 通过分立式或集成负载开关实现电源时序控制

4.3 通信接口

设计挑战7a:

保护数据线免受外部电压浪涌与脉冲串的影响。

CAN与以太网是车载摄像头接口常用的典型车载网络，二者均能满足高速信息传输需求。

ESD器件需与CAN收发器配合测试。其核心作用是保障网络的ESD抗扰能力，并对收发器形成有效保护。在与收发器的联合测试场景中，该器件必须同时具备RF抗扰性、低RF辐射特性，以及抗瞬态干扰与抗ESD能力。为通过RF抗扰性测试，需施加更高电压以激活器件。而从ESD防护性能角度，低钳位电压至关重要。此外，由于CAN线路可能与车载电池直接连接，器件还需耐受一些干扰，如持续1秒的28 V电压扰动。因此，精准的关态电压(V_{RWM})与低动态电阻是优质ESD防护器件需具备的关键特性。

其他需求（如器件最大电容、两条线路的电容匹配度）则由系统设计或外部环境因素决定，例如所需的通信速率、通信线路长度、通信节点数量等。有关更多技术细节，可参考AN11882。

CAN防护的通用解决方案实现可参见图24。在该图中可以使用任意IVN、CAN、CANFD类型的器件。IVN器件具有较高的电容值(>10 pF)，这一电容特性可良好适配CAN通信（高达500 kbps），但对于CANFD通信(5 Mbps)而言，该电容值可能偏高。

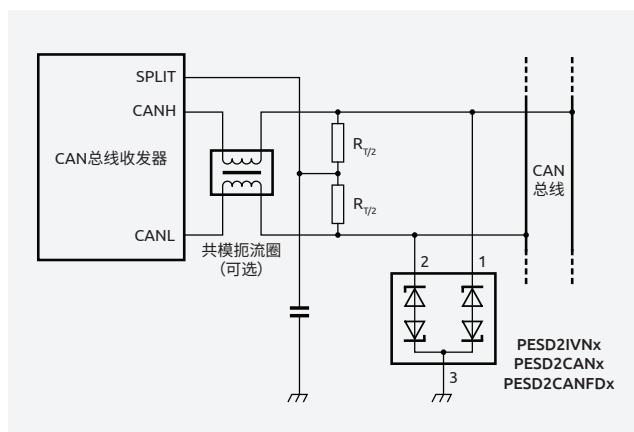
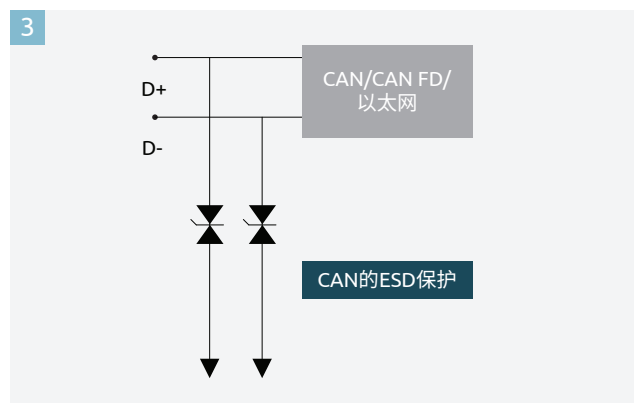


图24 连接ESD保护器件的通用CAN接口

通信接口

Nexperia针对挑战7a的解决方案:

ESD器件主要用于保护数据线[ESD汽车应用指南]。这类器件凭借低电容特性,可实现高速数据传输。选型时,除需关注器件的功率吸收能力外,还需重点考量其击穿电压与动态电阻(更多选型标准见图25)。如果这两项参数过高,在遭遇强浪涌事件时,流经器件的电流可能导致钳位电压超出受保护电路的耐受范围。关于ESD器件防护方案的详细说明,可参考Nexperia汽车ESD防护手册。

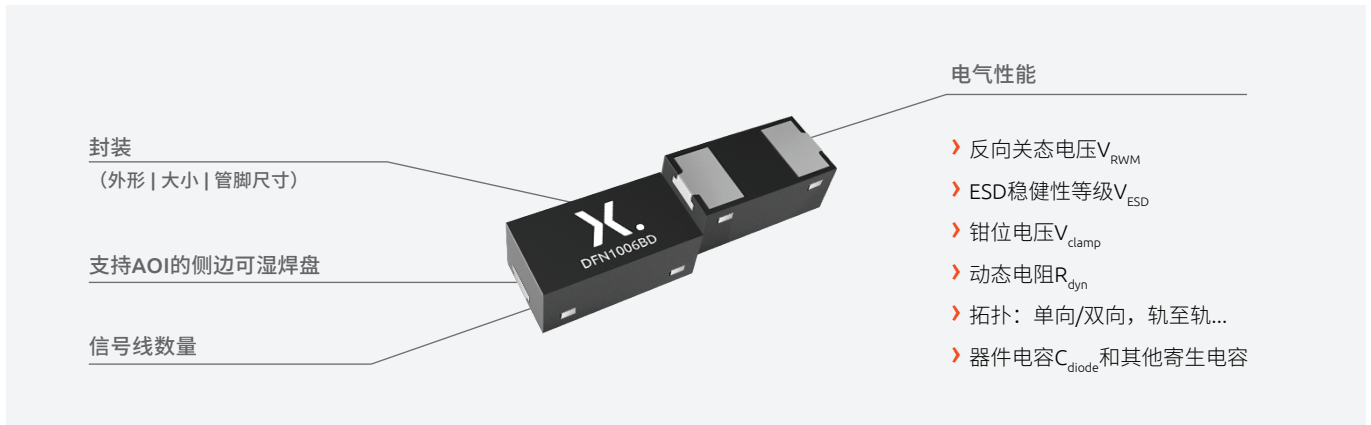


图25 ESD器件选型标准

此外,以太网也可直接接入摄像头模块接口,此时可采用下图所示的防护电路。开放技术联盟推荐了两种外部ESD防护器件。如图26所示,一种可部署于连接器处(ESD_1,重点关注高浪涌抗扰性),另一种可部署于PHY接口处(ESD_2,重点关注低电容特性)。该规范允许不使用、或者使用一个、或者使用两个外部ESD保护器件来为以太网应用实现所需的ESD鲁棒性[AN90039]。从规范角度来看,PHY接口的外部ESD保护可视为PHY的一部分。

PHY接口与外部保护的组合需要符合适用于独立PHY接口规定的所有要求。连接器上的保护必须符合开放技术联盟的ESD外部保护器件规范。Nexperia的ESD器件是首批通过开放技术联盟认证的产品。从系统角度来看,连接器的外部ESD保护更胜一筹,是设计稳健接口的最佳方法。关于上述两个部署位置的推荐器件型号,可参见器件列表部分。

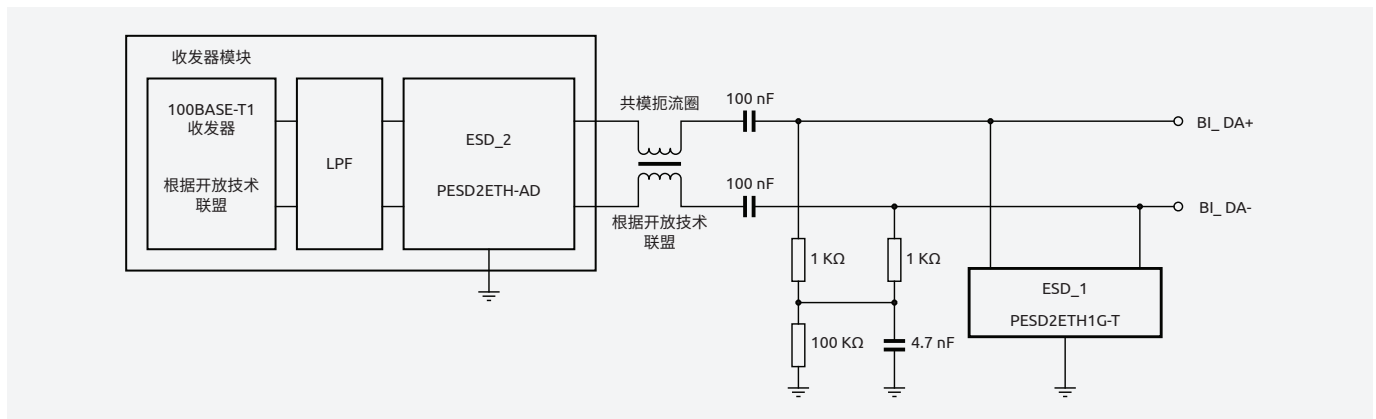


图26 符合开放技术联盟100BASE-T1规范的接口拓扑, ESD保护置于连接器处或作为收发器模块的一部分

设计挑战7b:

汽车架构呈现出电池电压逐步升高的发展趋势。因此，通信线路需要具备更完善的保护措施，以适配这一电压变化需求。

Nexperia针对挑战7b的解决方案:

由于通信网络可短路接至电压源，例如汽车电池，因此CANL和CANH线路上的ESD保护器件必须能够耐受更高电压电平。为了安全承受跨接启动条件或商用车中两个12 V电池串联的情况，Nexperia的ESD保护器件满足24 V的最低要求关态电压(V_{RWM})，并遵守ISO7637-2

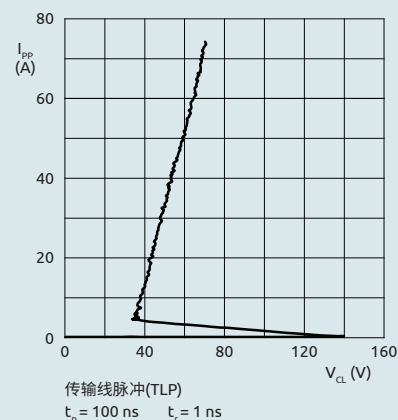
和ISO 16750-2 ESD保护标准。根据这些保护标准，24 V系统中的敏感信号线通常需要工作电压高于32 V的ESD保护器件进行保护。Nexperia将新产品组合中的器件设计为最大反向关态电压为36 V，并提供高达22 kV的ESD保护。该性能加上48 V低钳位电压 V_{CL} ，为车载网络提供了出色的系统级稳健性。Nexperia还为48 V网络提供ESD保护器件，该器件满足ISO 21780中定义的附加要求。为了实现最大的灵活性，该产品组合中的所有器件(12/24/48 V)均采用SOT23和SOT323封装，具有4 pF、6 pF和10 pF三种不同的电容等级，有助于确保接口之间的顺畅通信，而不会影响信号完整性。

器件	封装	V_{RWM} [V]	C_d [pF]	V_{ESD} [kV]	系统[V]
PESD2IVN2x-T	SOT23	24/27	<17	30	12
PESD2IVN2x-U	SOT323				
PESD2CANFD2x-T	SOT23	24/27	3/6/10	30	12
PESD2CANFD2x-U	SOT323				
PESD2CANFD2x-QB	DFN1110D-3	24/27	3/6/10	30	12
PESD2CANFD2x-QC	DFN1412D-3				
PESD2CANFD36x-Q	SOT23	36	10/6/4.3	<23	24
	SOT323				
PESD2CANFD3x-QB	DFN1110D-3	33/36	10/6/4.3	<23	24
PESD2CANFD36x-QC	DFN1412D-3	36			
PESD1CANFDxL-Q	DFN1006-2	24/30/33/36	<11	>20	12/24
PESD1CANFDxLS-Q	DFN1006BD-2				
PESD2IVN48T-Q	SOT23	48	8	30	48
PESD2CANFDx	SOT23	54/60/72	3/5	30	48

对于10Base-T1s以太网协议，Nexperia的ESD器件是首批通过开放技术联盟认证的产品。这类器件的触发电压超过100 V，具有较低电容，能够实现流畅的数据传输和高ESD稳健性。

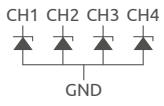
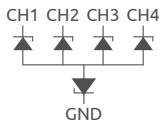
10Base-T1s ESD保护器件

器件	封装	V_{RWM} [V]	$C_{D typ}$ [pF]	V_{ESD} [kV]
PESD2ETH10T-Q	SOT23	75	0.38	15
PESD1ETH10L-Q	DFN1006-2	75	0.35	15
PESD1ETH10LS-Q	DFN1006BD-2	75	0.35	15
PESD2ETH10BLG-Q	DFN1006LD-3	75	0.35	15



通信接口

建议将PESD4USBx系列器件用于SerDes通信。该系列器件每通道的最大电容仅为0.2 pF。此外，其具备极深的回扫特性，同时搭配0.4 Ω的低电阻，可实现良好的保护效果。为简化布线，该系列器件支持“直通式”信号布线，信号线路的电容匹配误差小于0.05 pF，并且能够适配0.5 mm的走线间距。

器件	配置	图形符号	V_{RWM} (V)	C_{Dmax} (pF)	ESD_{max} (kV)
PESD4USB3Ux	4条单向线路		3.3 V	0.34	15 kV
PESD4USB5Ux			5 V		
PESD4USB3Bx	4条双向线路		3.3 V	0.25	
PESD4USB5Bx			5 V		

4.4 信号处理

设计挑战8:

解决不同电压等级、不同输入输出配置的功能模块与器件之间的接口连接问题。

Nexperia针对挑战8的集成解决方案:

处理器技术（微控制器、SoC、ASIC、微处理器）正朝着更小制程工艺的方向发展，因此，其核心电压与I/O电压也随之降低。由此产生的结果是，处理器与外围设备之间出现I/O电平不匹配的概率大幅增加。当器件系列具有不同电压等级时，需借助电压转换器实现接口兼容，各电压适配的典型器件系列如下：5V及以上器件系列包括HC(T)、AHC(T)、VHC(T)和LVC，3.3V包括LV、LVC、LVT和ALVC，更低电压系列包括AUP和AVC。相关示例参见下方图27。

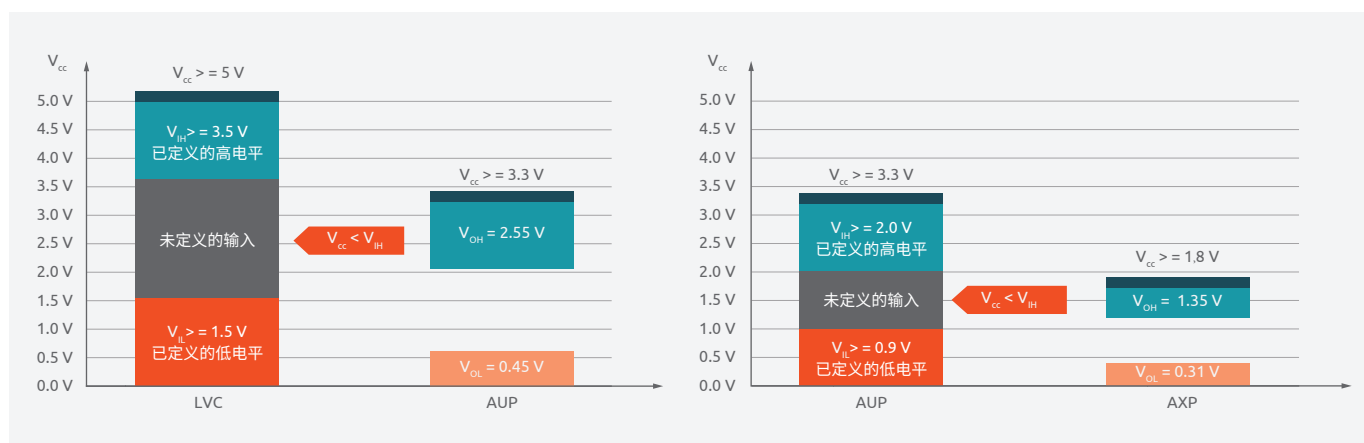
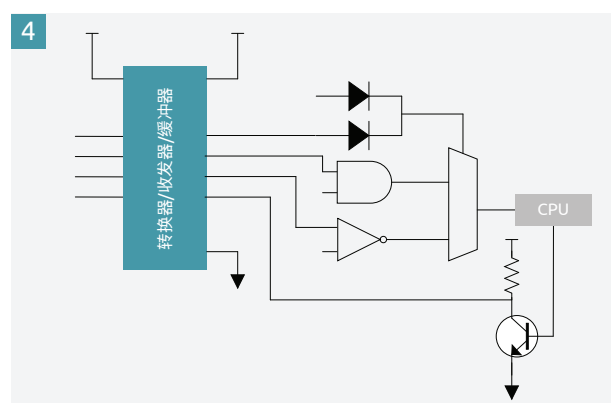


图27.具有不兼容电压等级的器件系列示例：LVC和AUP（左）与AUP和AXP（右）。

在新设计中，有时会选用经过充分测试且验证结果可靠的功能模块。这类功能模块的电压规格或技术类型可能与设计中需连接的其他部分存在差异。此外，不同功能模块或不同逻辑技术往往对应不同的逻辑电平，因此需要进行接口适配。

在摄像头系统中，缓冲器、收发器与转换器是实现不同电压等级功能模块整合、保障整个系统正常运行的关键器件。缓冲器本质为两个串联的反相器，而收发器属于双向缓冲器。它们可以优化主控制器与摄像头模块之间的信号完整性。这两个器件有时在不同的电源电压下工作，此时则需要转换器发挥作用。

Nexperia提供丰富的信号链器件。这些器件提供多种封装形式与技术类型，能够满足引脚兼容性及与所连接模块的技术兼容性要求。关于Nexperia逻辑器件的完整技术信息，请参阅[逻辑应用手册](#)。

电平转换器件提供了优化的解决方案，不仅能解决I/O电平不匹配的问题，还能保障性能不受影响。这类器件可满足大多数常见的逻辑电平和接口标准，如I2C、SPI、UART、JTAG。

接口	产品推荐		
	最大3.6 V	最大5.5 V	
1位GPIO, 时钟信号FET替换	74AVC1T45、74AUP1T34	74LVC1T45、74LV1T34	1位
2位GPIO	74AVC2T245	74LVC2T45	2位
2引脚JTAG/UART	74AVC2T45	74LVC2T45	
I ² C	NCA9306、TXS0102、NCA970x	NCA9306、NXS0102	
MDIO/SMBus/PMBus	NXS0102、LSF0102	NXS0102、LSF0102	3位
SIM卡	NXT4557	不适用	
4位GPIO	74AVC4T245、74AVC4T774、74AVC4T3144、NXU0104	NXS0104、NXB0104、LSF0204、LVC4T3144	
UART	74AVC4T245、NXU0204	NXB0104、NXU0204	4位
SPI	74AVC4T774、NXB0104、NXU0304	NXB0104、74LVC4T3144、NXU0304	
JTAG/I ² S/PCM	74AVC4T774、NXB0104	NXB0104	
HDMI	NXS0104	NXS0104	6位
SDIO/SD3.0/MMC	NXS0506	不适用	
四路SPI	NXB0106	NXB0106	
8位GPIO	74AVC8T245	74LVC8T245、74LVC4245A	8位

位数增加

有多种输入与输出解决方案可以考虑。输入类型：

- ▶ 钳位二极管保护输入，支持高电压到低电压的转换，需搭配额外的限流电阻（图28）
- ▶ ESD保护输入，具备高电压到低电压的转换能力（图29）
- ▶ 低阈值输入，可用于低电压到高电压的转换
- ▶ 施密特触发器输入，能够滤除信号中的噪声干扰（图30），并改善与嘈杂汽车环境中缓慢上升信号相关的信号完整性。

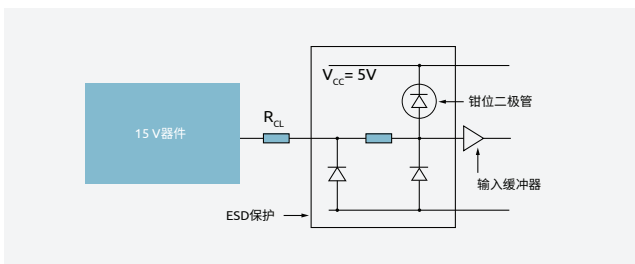


图28 钳位二极管保护输入的简化示意图

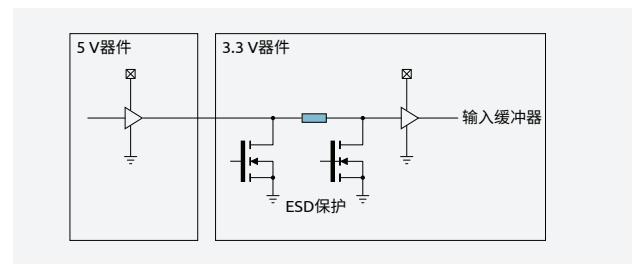


图29 ESD保护输入的简化示意图

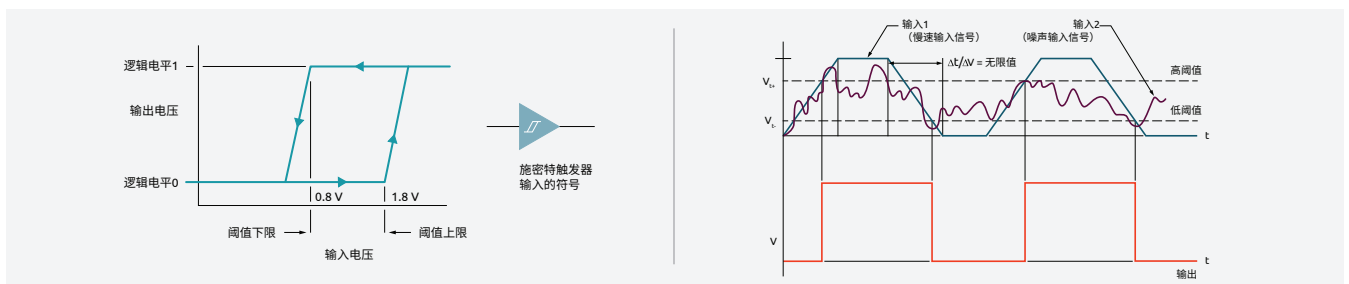


图30 施密特触发器输入滞回曲线（左）与信号响应（右）

器件输出类型:

- > 开漏输出, 支持低电压到高压、高电压到低电压两种方向的电平转换 (图31)
- > I_{off} 限制输出, 在应用进入断电模式时, 可降低整体功耗
- > 阻抗匹配输出, 可与负载阻抗实现匹配, 避免长布线电路中 出现信号振铃现象
- > 总线保持输出, 防止CMOS电路的浮空输入稳定在 $V_{CC}/2$, 进而避免产生击穿电流。输入引脚的弱反馈机制, 可确保输入端保持最后施加的信号状态 (图32)。

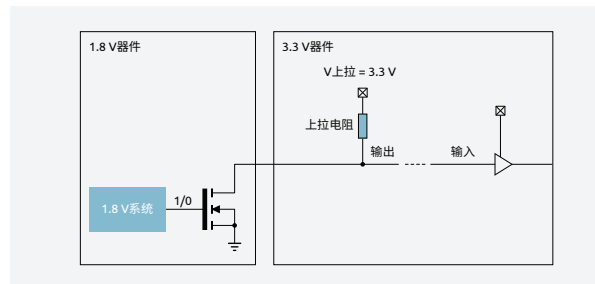


图31 开漏输出简化原理图及应用示例。

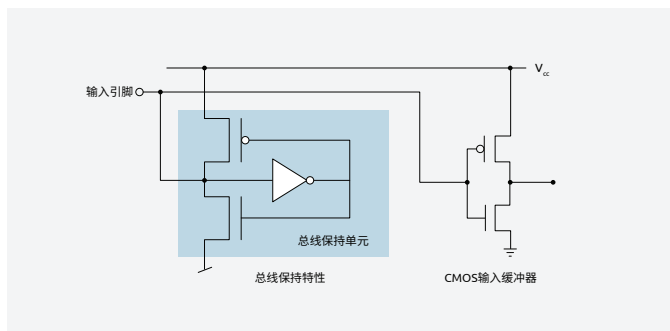


图32总线保持反馈功能原理图 (左) 与输出电流-电压曲线图 (右)。

许多缓冲器与转换器具备一项实用特性: 当系统部分区域断电时, 可防止电流通过器件的体二极管形成通路。通过这一特性, 既能保护器件的特定引脚免受潜在大电流的损害, 也能避免因 V_{CC1} 出现部分抬升, 导致已断电的系统发生故障。该特性的常用名称为 I_{off} 保护。参见图33。部分断电对于电源管理而言十分关键, 在EV/HEV中尤其重要。

接口逻辑还可用于增强低驱动能力微控制器的输出性能, 以满足高负载外设的驱动需求。新型处理器因采用低核心电压工作模式, 其I/O接口的驱动能力有限。而具备良好驱动能力的缓冲器与电平转换器可对处理器I/O的驱动能力起到补充作用, 进而帮助克服走线或线缆电容带来的影响, 保障信号传输质量。

选择转换器时, 除需匹配连接电路的电压等级外, 还需综合考量速度、电流驱动能力、拓扑结构及封装要求等若干其他因素。转换器

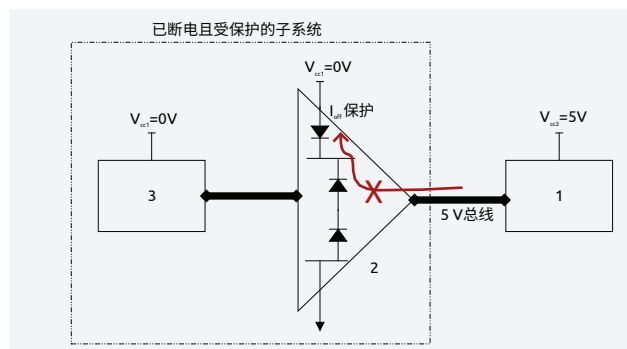


图33 具有 I_{off} 保护的器件

的最大允许电压等级使其可兼容更低电压等级的工作场景。通常较新、速度更快的器件系列的最大耐受电压相对更低, 电流驱动能力也相对较弱。

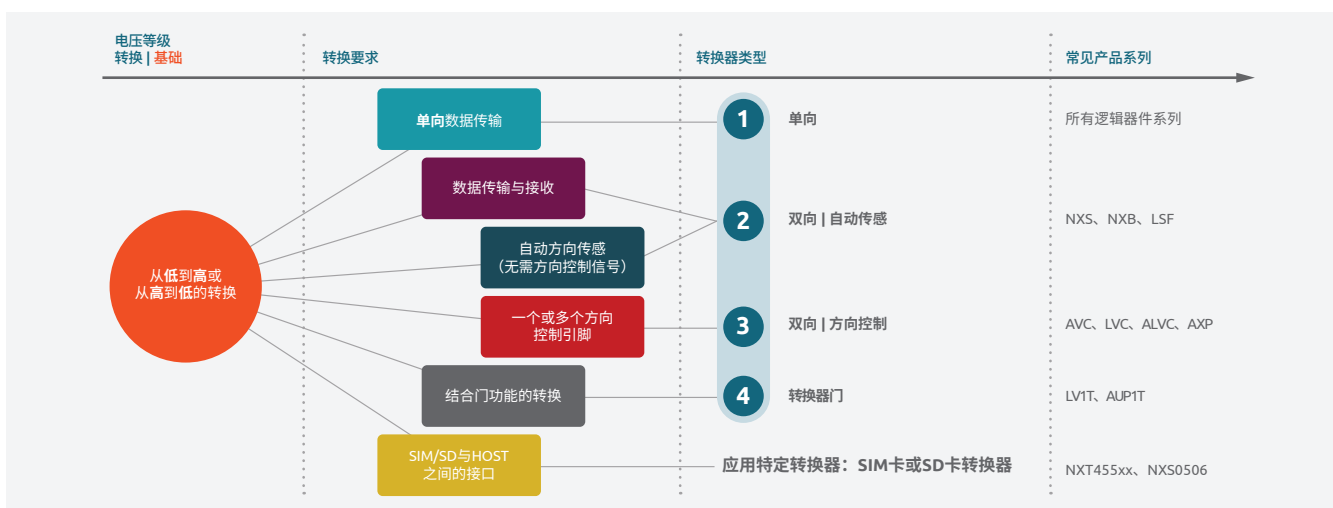
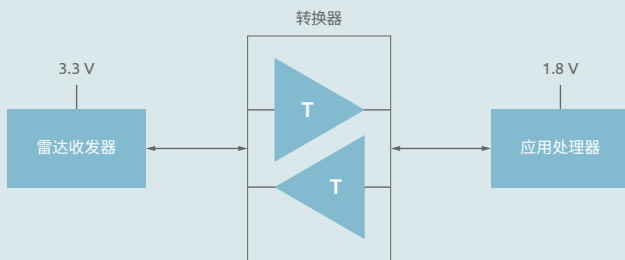


图34 电压转换器选型工具

这里可以考虑的相关产品是双向多电压电平转换器LSF010x自动感测器件[AN90033]。

推荐的Nexperia转换器：LSF0101GW-Q100



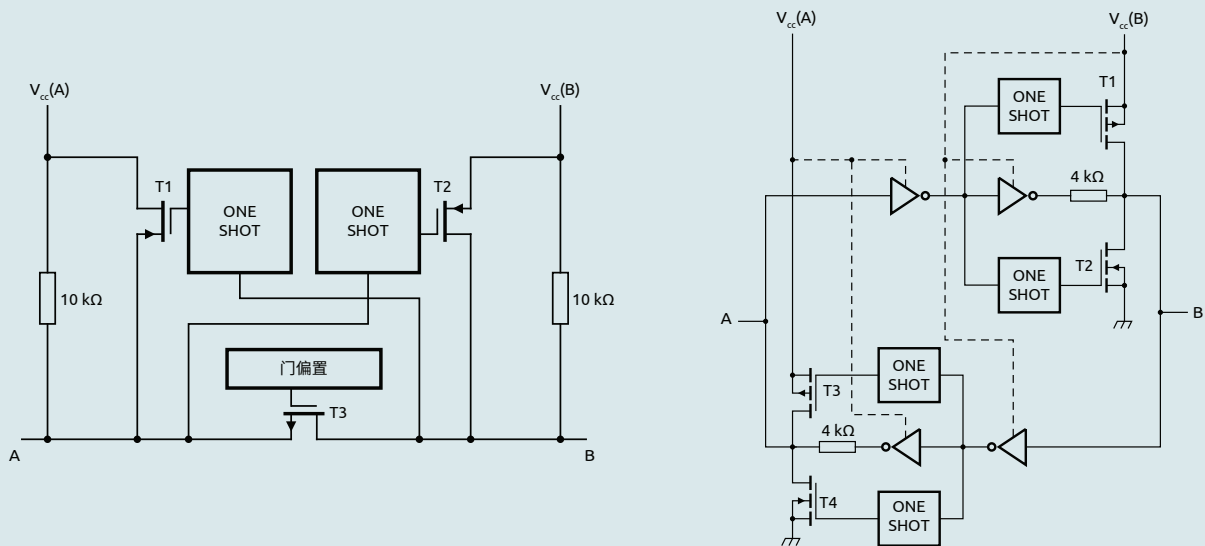
具备自动方向感测功能的1位双向转换器

- › 电源电压范围0.95 V-5.0 V
- › 数据速率为50 Mbps
- › 传播延时0.7 ns
- › 温度范围为-40°C至125°C
- › 热插接
- › 低待机电流
- › I/O引脚具备5 V耐受能力（支持TTL）
- › R_{ON} 较低，可减少信号失真

NXS0101GW-Q100和NXB0101GW-Q100两款器件分别具备信号上升沿加速功能、信号上升沿与下降沿加速功能。通过增强输出驱动能力，这两款器件可实现更高的数据速率。其他特性包括：

- › 宽电源电压范围
- › V_{CC} 隔离
- › 多种封装选项

推荐的Nexperia转换器NXS0101GW-Q100和NXB0101GW-Q100



对于需要更高数据速率、更大电流驱动能力的用例，可通过先进高速CMOS (AVC)系列及低压CMOS (LVC)系列的方向可控型转换器来实现，而NXU系列则适用于固定方向用例。

推荐的Nexperia转换器系列包括LVC、AVC与NXU；比较		
LVC逻辑器件产品组合支持电子解决方案从5.5 V向低功耗混合5.5 V/3.3 V迁移。	AVC系列为1.8 V、2.5 V和3.3 V系统提供了高性能解决方案	NXU固定方向双电源转换缓冲器
› 位数：1位到8位	› 位数：1位到20位	› 位数：1位到4位 › 多通道方向选择
› 5.5 V、3.3 V、2.5 V和1.8 V的指定 V_{CC} › 5 V I/O容差	› 3.3 V、2.5 V、和1.8 V的指定 V_{CC} › 针对3.3 V I/O容差优化	› 宽双电源电压范围 (V_{CCA} , V_{CCB}) , 0.9 V–5.5 V
› 高达24 mA的电流驱动	› 高达12 mA的电流驱动	› 12 mA/5 V输出驱动
› 数据速率>200 Mbps › T_{pd} 在2-4 ns范围内	› 2.5 V时2.0 ns以下最大 T_{pd}	› ≥ 1.8 V至5 V的升压转换时， 最高数据速率可达 250 Mbps
› ESD保护 › 符合AEC-Q100标准的选项 › 额定温度范围为-40°C至+125°C › 无铅、符合RoHS和“深绿”标准	› ESD保护 › 符合AEC-Q100标准的选项 › 额定温度范围为-40°C至+125°C › 无铅、符合RoHS和“深绿”标准	› ESD保护 › 符合AEC-Q100标准的选项 › 额定温度范围为-40°C至+125°C › 无铅、符合RoHS和“深绿”标准
› 部分断电的指定 I_{off} 保护	› 部分断电的 I_{off} 保护 › 总线保持选项	› 部分断电的 I_{off} 电路 › 施密特触发器输入 › 低功耗 › 输入引脚可能断开或浮空（集成下拉电阻）

Nexperia针对挑战8的分立式解决方案：

电平转换也可以通过分立式MOSFET实现。应用笔记AN10441详细说明了图35描述的双向解决方案。这种解决方案虽然简单，但它不仅能满足双向电平转换要求，无需方向控制信号，而且还能够：

- › 将关断的总线部分与总线系统其他部分隔离开
- › 保护“低压”侧免受“高压”侧的高压峰值脉冲影响

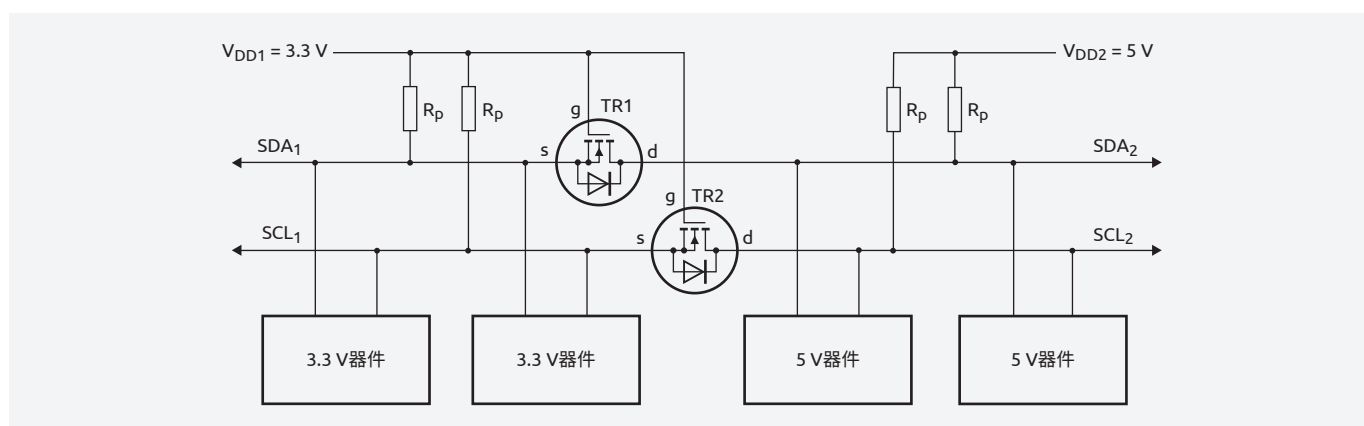


图35 I2C总线系统中连接两个不同电压部分的双向电平转换器电路

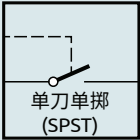
设计挑战9:

增加控制器引脚数量，但不升级控制器。当主控制器需管理的功能持续增加时，其所需引脚数量可能超出自身配备的引脚规模。

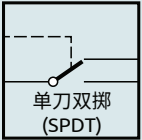
Nexperia针对挑战9的解决方案:

在摄像头中，可通过模拟开关扩展MCU的引脚数量，将多路数字或模拟输入信号导向ADC或数字输入引脚。如下图所示，多种配置方案均具备可行性。典型产品系列如NMUX130xxx-Q100 1.8 V通用型SP8T-Z与2xSP4T-Z模拟开关，具备注入电流控制功能：

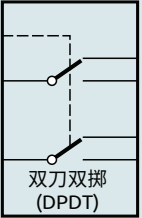
推荐的Nexperia模拟开关：NMUX130-Q100



单刀单掷
(SPST)



单刀双掷
(SPDT)



双刀双掷
(DPDT)

- › 注入电流控制：典型耦合值为30 $\mu\text{V}/\text{mA}$
- › 整个供电工作范围内，控制逻辑阈值为1.8 V
- › 完整的断电保护功能($V_{CC} = 0 \text{ V}$)
- › 数字/模拟引脚采用隔离偏置设计，可防止反向供电 V_{CC}
- › 保持模拟开关的Hi-Z状态
- › 工作电压范围1.5 V-5.5 V
- › 模拟信号引脚上采用轨至轨运行
- › 与传统405x/485x系列模拟开关引脚兼容
- › ESD保护： $\pm 2 \text{ kV HBM}$ 和 $\pm 750 \text{ V CDM}$
- › 额定温度范围为 -40°C 至 85°C 和 -40°C 至 125°C

设计挑战10:

独立于主控制器单独实现安全、功能及保密特性。

Nexperia针对挑战10的解决方案:

逻辑电路、寄存器、模拟开关及电压转换器可在主控制处理器之外额外扩展功能，或构建多层安全机制。可以是提醒逻辑（OR-ing提醒信号）、在处理器外部实现安全逻辑以增强系统安全性，以及通过搭配多路复用器与模拟开关，增加GPIO和A/D转换器的可用数量。考虑到可用的器件工艺系列数量较多，下文将通过表格形式简化选型流程：

Nexperia逻辑电路、寄存器、模拟开关和电压转换器概览

高压系列

参数		HEF4000B	HC(T)	AHC(T)	VHC(T)	LV-A(T)	CBT(D)	LVC	LV1T	NXS(B)	LSF
	电源电压(V)	3.0 - 15.0	2.0 - 6.0	2.0 - 5.5	2.0 - 5.5	2.0 - 5.5	4.5 - 5.5	1.65 - 5.5	1.6 - 5.5	1.65 - 3.6 2.3 - 5.5	0.95 - 5.0
	传播延时典型值(ns)	90	9	5	4	3.4	0.25	1.7	13.5	5.2	0.7
	输出驱动(mA)	± 3	± 8	± 8	± 8	± 12	N/A	± 24	± 8	-1 / ± 0.02	64
	待机电流(μA)	600	80	40	40	20	3	10	10	30 .. 70	N/A
	AEC-Q100等级	水平1、3	水平1	水平1	水平1	水平1	水平1	水平1	水平1	水平1	水平1
特性		HEF4000B	HC(T)	AHC(T)	VHC(T)	LV-A(T)	CBT(D)	LVC	LV1T	NXS(B)	LSF
	过压容限I/O		•	•	•		•	•	•	•	•
	施密特触发器输入	•	•	•	•			•	•		
	低阈值输入		•	•	•				•		
	TTL输入		•	•	•		•		•		
	输入钳位二极管	•	•								
	断电漏电流保护							•	•	•	•
	开漏输出		•	•				•	•	•	•
低延时隔离						•					

低电压系列

参数		LV	LVC	LVT	ALVC	CBTLV(D)	AUP	AVC	AXPnT	CB3Q	AUP1T	XS3A	NXT
	电源电压(V)	1.0 - 3.6	1.2 - 3.6	2.7 - 3.6	1.2 - 3.6	1.0 - 3.6	0.8 - 3.6	1.2 - 3.6	0.9 - 5.5	2.3 - 3.6	2.3 - 3.6	1.4 - 4.3	1.08 - 3.3
	传播延时典型值(ns)	9	4	2	2	0.15	3.4	1	8	0.2	4	22	7 - 15
	输出驱动(mA)	+8	+24	-32, +64	+24	N/A	+1.9	+8	+12	N/A	±4	N/A	
	待机电流(μA)	20	20	120	40	10	0.9	20	4.. 13	400	1.4.. 3.5	0.7	
	AEC-Q100等级	水平1	水平1	水平3	水平1、3	水平1	水平1	水平1	水平1	水平1	水平3	水平1	水平1
特性		LV	LVC	LVT	ALVC	CBTLV(D)	AUP	AVC	AXPnT	CB3Q	AUP1T	XS3A	NXT
	过压容忍I/O		•	•	•	•	•	•	•	•	•		
	施密特触发器输入	•	•	•	•			•		•	•		
	低阈值输入	•						•	•	•	•	•	
	输入钳位二极管	•									•		
	总线保持		•	•	•		•				•		
	断电漏电流保护		•	•		•	•	•	•	•	•		
	源端接		•	•	•		•						
	开漏输出	•	•					•		•			
低延时隔离					•						•		

设计挑战11:

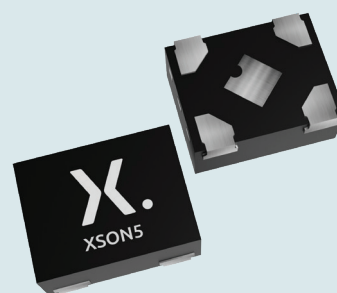
在摄像头等空间受限的应用中，有引脚封装转为无引脚封装时，解决成本与工程两方面的挑战

Nexperia针对挑战11的解决方案:

针对逐渐严苛的空间限制需求，Nexperia的MicroPak器件（XSON5、SOT8065）提供了相应的解决方案。该封装是采用侧边可湿焊盘的5引脚微型逻辑器件封装。其可湿焊盘允许焊料沿着封装侧壁形成焊角，由此，可通过低成本摄像头完成外观检测。而过去的无引脚封装通常需要借助昂贵的X射线设备才能实现此类检测。该封装的中心焊盘经过扩大处理，支持在焊盘下方设置过孔。同时，焊盘间距也进行了加大设计，便于在PCB顶层实现与中心焊盘的布线连接。此外，该封装具备与有引脚封装相同的电气规格，且能显著节省空间。

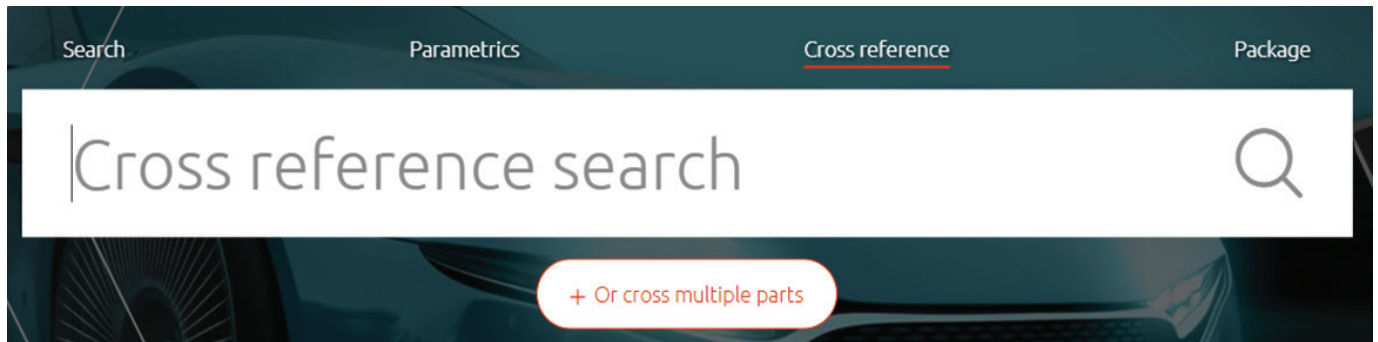
Nexperia推荐的MicroPak（XSON5、SOT8065）封装

- ▶ 小型无引脚封装，支持自动光学检测
- ▶ 突破性的微型化工艺
- ▶ 包括系列：HC(T)、AHC、AUP、LVC、LVnT
- ▶ 1.1 mm x 0.85 mm x 0.47 mm
- ▶ 使用与SOT353相同的裸片
- ▶ 相较于SOT353，PCB面积节省75%
- ▶ 零分层，MSL 1
- ▶ 焊盘侧面与底部均涂覆厚度均匀的7 μm锡层
- ▶ 符合RoHS和“深绿”标准



5. 产品推荐

Nexperia为摄像头系统提供广泛的分立式、模拟和逻辑器件产品组合。如需查找所用器件的等效替代型号，请使用Nexperia官网的交叉参考搜索工具。



5.1 功率电子器件

产品	描述	关键部件编号
电源输入保护 1		
TVS和ESD保护器件		
TVS	SOD128, 600 W瞬时电压抑制器, 反向关态电压范围: 3.3-64 V	PTVS16VP1UP-Q
	SOD128, 600 W瞬时电压抑制器, 反向关态电压范围: 3.3-64 V, <185°C温度稳定性	PTVS16VP1UTP-Q
	SOD123W, 400 W瞬时电压抑制器, 反向关态电压范围: 3.3-64 V	PTVS33VS1UR-Q
	SOD123W, 400 W瞬时电压抑制器, 反向关态电压范围: 3.3-64 V, <185°C温度稳定性	PTVS33VS1UTR-Q
	DFN1006-2, 超紧凑瞬时电压抑制器	PTVS4V5D1BL-Q , PTVS5V5D1BL-Q
负载开关和反向电池保护		
肖特基二极管	40 V, 中等功率, 低VF肖特基势垒整流二极管, 采用CFP封装	PMEG4050E(T)P-Q , PMEG4030E(T)P-Q
	30 V, 中等功率, 低VF肖特基势垒整流二极管, 采用CFP封装	PMEG3050(B)EP-Q , PMEG3030(B)EP-Q
P沟道MOS	LFPAK56、LFPAK33、MLPAK33和DFN2020MD, 20-80 V, P沟道器件	BUK6Y14-40P , BUK6Q12-40P
N沟道MOS	LFPAK33, 40 V, N沟道器件, $R_{DS(on)}$ 3-15 mOhm	BUK9M3R3-40H , BUK9M4R3-40H , BUK9M7R2-40E , BUK9M9R1-40E , BUK7M8R0-40E , BUK7M10-40E , BUK7M12-40E
	LFPAK56D, 40 V, 双N沟道器件, $R_{DS(on)}$ 3-30 mOhm	BUK9K13-40H , BUK9K6R2-40E , BUK9K6R8-40E , BUK9K8R7-40E , BUK7K6R2-40E , BUK7K6R8-40E , BUK7K8R7-40E
	DFN2020MD-6, 40 V, N沟道器件, $R_{DS(on)}$ 10-30 mOhm	BUK9D23-40E , BUK6D23-40E , BUK7D25-40E , BUK6D30-40E
	MLPAK33, 40 V, N沟道器件, 4.6- 7.5 mOhm, 逻辑电平门阈值	BUK9Q4R6-40H , BUK9Q7R0-40H , BUK7Q4R9-40H , BUK7Q6R0-40H , BUK7Q7R5-40H
	SOT457, 40 V, N沟道器件	PMN20ENA , PMN30ENEA
双极性晶体管	低电压, 无引脚封装, 线性模式低 $V_{CE(sat)}$ 器件	PBSS4310PAS-Q , PBSS4620PA-Q
集成负载开关	5.5 V, 具有精准限流的负载开关	NPS4053-Q100 , NPS4001-Q100 , NPS4069-Q100
理想二极管	1.5 A理想二极管, 具有反向极性保护	NID5100-Q100

产品	描述	关键部件编号
电源管理 2		
N沟道MOS	LFLPAK33, 40 V/80 V/100 V, N沟道器件, $R_{DS(on)}$ 10-20 mOhm	BUK9M11-40H 、 BUK9M15-40H 、 BUK7M20-40H 、 BUK9M24-80L
	LFLPAK56D, 40 V/80 V/100 V, 半桥和双N沟道器件	BUK9V13-40H 、 BUK7V4R2-40H 、 BUK9K13-40H 、 BUK9K49-80L
	SOT457, 40 V, N沟道器件, $R_{DS(on)}$ 19 mOhm和23 mOhm	PMN20ENA 、 PMN30ENEA
	MLPAK33, 40 V/60 V/80 V, N沟道器件	BUK9Q4R6-40H 、 BUK9Q7R0-40H 、 BUK7Q4R9-40H 、 BUK7Q6R0-40H 、 BUK7Q7R5-40H 、 BUK9Q29-60E 、 BUK9Q14-80L
	DFN2020MD-6, 40 V, N沟道器件, $R_{DS(on)}$ 20-30 mOhm	BUK6D23-40E 、 BUK9D23-40E 、 BUK7D25-40E 、 BUK6D30-40E
肖特基二极管	CFP3, 40 V/60 V/100 V低 V_f , 低漏电流Trench肖特基势垒整流二极管	PMEG40T30ER-Q 、 PMEG60T20ELR-Q 、 PMEG100T30ELR-Q
降压转换器	SOT23-6, 4.5-40 V V_{in} , 600 mA同步降压转换器	NEX40400-Q100
	QFN-12, 3.8-40 V V_{in} , 2 A/3 A同步降压转换器	NEX40402/3-Q100
	QFN-8, 6-100 V V_{in} , 1 A同步降压转换器	NEX40101-Q100
齐纳二极管	CFP3, 3-12 V, 400 mA, 5%容差	HPZR-C12-Q
	DFN1006(BD)-2, 3-12 V, 200 mA, 2%和5%容差	BZX884 series 、 PZU884LS-Q series
电源分配		
信号MOSFET	SOT363, 30 V和60 V双互补Trench MOSFET	NX3008CBKS
	SOT323, 30 V和60 V, N沟道Trench MOSFET	NX3008NBKW
	DFN1010B-6, 双N沟道Trench MOSFET	PMXB360ENEA
	DFN2020MD-6, >30 V, 双N沟道Trench MOSFET	PMDPB56XNEA
信号BJT	SOT约300 mW, 20 V–100 V功率双极性晶体管	BC817K-16 、 BC817K-25 、 BC54-16PA-Q 、 PBSS4160T-Q 、 PBSS4140U 、 PBSS4160U 、 PBSS8110D 、 PBSS4021NX-Q 、 PBSS4330X
	DFN约300 mW, 10-100 V功率双极性晶体管	BC54PA-Q 、 BC54-10PA-Q 、 BC54-16PA-Q 、 PBSS2515MB 、 PBSS2540M 、 PBSS2540MB 、 PBSS4260QA 、 PBSS4310PAS-Q 、 PBSS4620PA-Q
并联稳压器	SOT23, 具有3个端子的可调式并联稳压器	TL431AFDT-Q 和 TLVH431N family
高边开关	40 V, 200 mΩ智能高边开关	NPS6210
集成负载开关	5.5 V, 2 A, 55 mΩ, TSOP6和HWSON6封装	NPS4053GV-Q100 和 NPS4053GH-Q100
LDO	40 V/300 mA/150 mA通用LDO, 具有5 μ A超低 I_q	NEX90530BPA-Q100 、 NEX90515BPA-Q100
	40 V/300 mA/150 mA跟随LDO, 具有5 μ A超低 I_q	NEX91x30-Q100 、 NEX91x15-Q100
	40 V/300 mA/150 mA天线LDO	NEX92x30-Q100
	40 V/70 mA跟随LDO, SCT595-5和SOT23-5封装	NEX91207DF-Q100 、 NEX91207DE-Q100

5.2 信号电子器件

产品	描述	关键部件编号
通信接口 3		
CAN和IVN的ESD	SOT封装, 3-17 pF, 30 kV保护, 适用于12 V系统	PESD2IVN27T-Q 、 PESD2IVN27U-Q 、 PESD2CANFD24UT-Q 、 PESD2CANFD24UU-Q
	DFN封装, 3.5-10 pF, 30 kV保护, 适用于12 V系统	PESD2CANFD24UQB-Q 、 PESD2CANFD24UQC-Q
	SOT封装, 3.9-10 pF, 30 kV保护, 适用于24 V系统	PESD2CANFD36UT-Q 、 PESD2CANFD36UU-Q
	DFN封装, 3.5-10 pF, 30 kV保护, 适用于24 V系统	PESD2CANFD36LQC-Q 、 PESD2CANFD33UQB-Q 、 PESD1CANFD24LS-Q
	SOT23, 8 pF, 30 kV保护, 适用于48 V系统	PESD2IVN48T-Q 、 PESD2CANFD54VT-Q 、 PESD2CANFD60VT-Q 、 PESD2CANFD72VT-Q
以太网的ESD保护 (图26中的ESD_1)	SOT23, 1-3 pF, 30 kV保护, 24 V关态电压	PESD2ETH1GX-T-Q
	DFN1006BD-2, 1.2-1.8 pF, 30 kV保护, 24 V关态电压	PESD1ETH1GXLS-Q
以太网的ESD保护 (图26中的ESD_1)	DFN1006-2, <0.6 pF, >10 kV保护	PESD18VF1BBL-Q 、 PESD24VF1BBL-Q 、 PESD30VF1BBL-Q 、 PESD5V0C1BLS-Q
10Base-T1s以太网的ESD	DFN和SOT封装, 高触发电压, 高达18 kV的低电容ESD保护	PESD2ETH10T-Q 、 PESD1ETH10L-Q 、 PESD1ETH10LS-Q
高速多媒体ESD保护	10 Gbps速率的超高速USB 3.2、HDMI、DisplayPort、外部串行高级技术附件(eSATA)、低压差分信号(LVDS)以及千兆多媒体串行链路(GMSL)串行器/解串器(SerDes)	PESD4USB3U-TBS 、 PESD4USB3B-TTS 、 PESD4USB5U-TTS 、 PESD4USB5B-TBS
信号处理 4		
反相器/缓冲器/逻辑门/寄存器	AHC(T)产品系列, V_{cc} 2-6V (4.5-5.5V)	74AHC08BQ-Q100
	HC(T)产品系列, V_{cc} 2-6V (4.5-5.5V)	74HC2G08DC-Q100
	LVC产品系列, V_{cc} 1.2-3.6V	74LVC126ABQ-Q100
	AUP产品系列, V_{cc} 0.8-3.6V	74AUP2G80DC-Q100
	HCS产品系列, V_{cc} 2-6 V, 真施密特触发器输入	74HCS594BQ-Q100
	XSON5 - 支持AOI的超小型无引脚封装	74AHC1G04GZ-Q100
转换器	LVC产品系列, V_{cc} 1.2-5.5V	74LVC1T45GM-Q100
	AVC产品系列, V_{cc} 0.8-3.6V	74AVC1T45GW-Q100
	NXU产品系列, 固定方向, 双电源	NXU0104GU12-Q100
	HC(T)产品系列, V_{cc} 2-6V (4.5-5.5V)	74HC1G66GW-Q100
	LSF产品系列, 具有自动方向传感的双向转换器	LSF0101GW-Q100
	NXS产品系列, 具有自动方向传感和上升沿加速的双向转换器	NXS0506GU-Q100
	NXB产品系列, 具有自动方向传感和上升沿与下降沿加速的双向转换器	NXB0108BQ-Q100
开关/多路复用器	SP8T-Z和SP4T-Z模拟开关	NMUX1308BQ-Q100
	单刀双掷模拟开关	XS5A1T4157-Q100
配电阻晶体管(RET)	SOT23/SOT323/DFN1412D-3/DFN1110D-3/DFN1006B-3 50 V, 100 mA单NPN RET, 多种电阻器	PDTCT143XQB-Q
	SOT23/SOT323/DFN1412D-3/DFN1110D-3/DFN1006B-3 50 V, 100 mA单PNP RET, 多种电阻器	PDTA144WMB

6. 参考文献

Nexperia手册

[MOSFET和GaN FET应用手册](#)
[ESD应用手册](#)
[双极性晶体管\(BJT\)应用手册](#)
[二极管基础知识、特性和应用](#)
[逻辑产品特性和应用见解](#)

应用笔记

[IAN50007 - 电池线路传导瞬变](#)
[AN50001 - 汽车应用中的反向电池保护](#)
[AN50007 - 在12 V、24 V和48 V系统中，对MOSFET施加符合ISO标准的传导瞬变](#)
[AN50019 - MOSFET封装和PCB衬底的热边界条件研究](#)
[AN50020 - MOSFET在功率开关中的应用](#)
[AN90003 - LFPK MOSFET热设计指南](#)
[AN90011 - 半桥MOSFET开关及其对EMC的影响](#)
[AN90023 - DFN封装的散热性能](#)
[AN90024 - 配电阻晶体管\(RET\)：主要参数和应用洞察](#)
[AN90031 - 齐纳二极管：物理基础、参数与应用示例](#)
[AN90033 - 使用Nexperia LSF010x自动传感器的双向多电压等级转换器应用](#)
[AN90034 - 用于功率MOSFET的Nexperia SPICE和VHDL-AMS精密电热模型](#)
[AN90039 - 用于汽车以太网应用的-ESD保护器件（100Base-T1、1000Base-T1）](#)
[AN90052 - Nexperia负载开关IC与分立式解决方案的比较](#)
[AN10441 - I²C总线设计中的电平转换技术](#)
[AN11119 - DC-DC转换中的中等功率小信号MOSFET](#)
[AN11550 - CFP15封装肖特基整流二极管在低功率适配器中的性能表现](#)
[AN11882 - 高速接口 - ESD保护和EMI滤波](#)
[TN90007 - 基于虚拟结的结温与热堆叠评估](#)

其他资料

[白皮书 - TVS二极管](#)
[白皮书 - 侧边可湿焊盘](#)
[白皮书 - RET器件](#)
[产品手册 - CFP肖特基二极管](#)
[产品手册 - ESD保护应用](#)
[产品手册 - Nexperia ESD汽车应用指南](#)
[手册 - LFPK56D产品说明书](#)
[手册 - DFN2020MD-6](#)
[手册 - 汽车应用小信号MOSFET](#)
[手册 - 汽车DFN封装产品说明书](#)
[手册 - 电子电源管理负载芯片](#)
[手册 - 汽车CAN-FD的Nexperia ESD保护](#)
[手册 - Nexperia汽车以太网手册ESD保护产品说明书](#)
[手册 - Nexperia封装](#)
[手册 - 逻辑X2SON封装](#)
[网络研讨会 - 功率整流二极管网络研讨会系列](#)
[播客 - 考虑采用低V_{CEsat} BJT提升电源效率](#)
[播客 - 需要稳定的电压或电流源？有时分立式方案更具优势！](#)

© 2025 Nexperia B.V.

保留所有权利。未经版权所有者优先书面同意，禁止复制本文全部或部分信息。本文档中所提供的信息不构成任何报价或合同的一部分，且被认为是准确可靠的，如有变更，恕不另行通知。对于使用本文档所产生的任何后果，出版方概不承担任何责任。出版内容既不传达也不暗示专利或者其他工业或知识产权下的任何许可。

[nexperia.com](#)

发布日期：

2025年7月

