参考文献

Design Guide: TIDA-010261

采用数据线供电 (PoDL) 的 10BASE-T1L SPE 传感器参考设计

说明

该参考设计展示了单线对以太网 (SPE) 通信后端的实现，包括数据线供电 (PoDL)。该设计使用 Sitara AM2434 MCU，一侧连接模拟前端，另一侧连接以太网物理 (PHY) 层。功能强大的 MCU 不仅可以将传感器数据转发到以太网，还可以在边缘执行数据处理。

资源

TIDA-010261、TIDA-010262	设计文件夹
DP3TD510E、AM2434	产品文件夹
MSP430FR2476、TPS2660	产品文件夹
TPS798-Q1、TLVM13630	产品文件夹
TPS62825A、TPS61023	产品文件夹
LM74700-Q1、TVS3300	产品文件夹
CSD19538Q2	产品文件夹

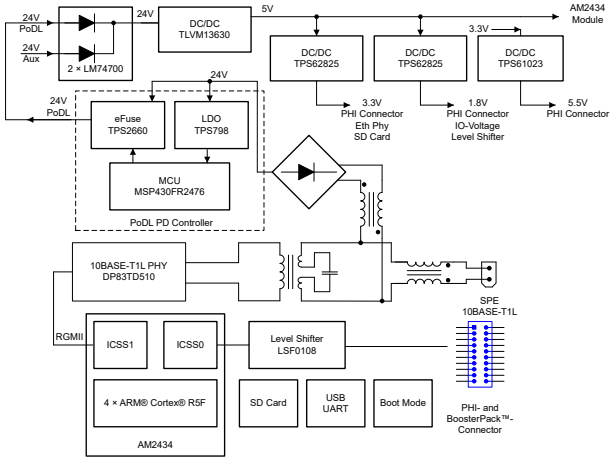
请咨询我司 TI E2E™ 支持专家

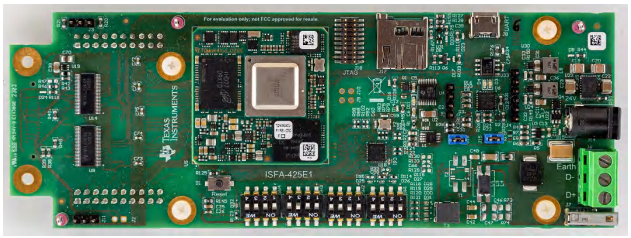
特性

- 10BASE-T1L 单线对以太网
- 实现 PoDL 电力输送 (PD)，E 类，12 级，符合 802.3cg 标准，包括串行通信分级协议 (SCCP)
- 辅助 24V 电源
- AM2434 MCU，具有四核 Arm® Cortex®-R5F 和可编程实时单元
- 用于连接到现有模块的 PHI 和 BoosterPack™ 插件模块
- 针对评估和调试进行了优化

应用

- 工厂自动化和控制
- 通信模块





English Document: TIDUF34

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

1 系统说明

此设计实现了传感器和传动器的数字后端。为了与上面的各层通信，该设计利用 10BASE-T1L SPE，允许长达 1km 的电缆长度以及 10Mbps 的数据吞吐量。

有两个选项可以为该设计供电：(1) 充当由以太网线路供电的 PoDL PD，(2) 或通过连接 24V 电源以独立模式运行。

板载 Sitara AM2434 处理器支持实施功能强大的传感器或传动器，并能够执行数据处理，例如，直接在边缘进行快速傅里叶变换 (FFT) 计算。

利用配有 PHI 和 BoosterPack 连接器的接口选项，该设计可以连接到实现四通道集成式电子压电式 (IEPE) 振动传感器前端的 TIDA-010249 参考设计。在本设计指南所示的示例中，振动传感器不仅可用于捕获四个模拟通道的振动数据，还可处理这些数据，例如计算 FFT 和根据结果做出决策。

1.1 关键系统规格

参数	规格
以太网标准	10BASE-T1L，IEEE 802.3cg
数据线供电 (PoDL)	12 级，E 类
数据耦合	电感式
外部电源	24V 标称值，200mA
外部接口	BoosterPack 和 PHI 接头
支持的操作系统	FreeRTOS
通信协议	DHCP、TCP/IP、MQTT

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

2 系统概述

2.1 方框图

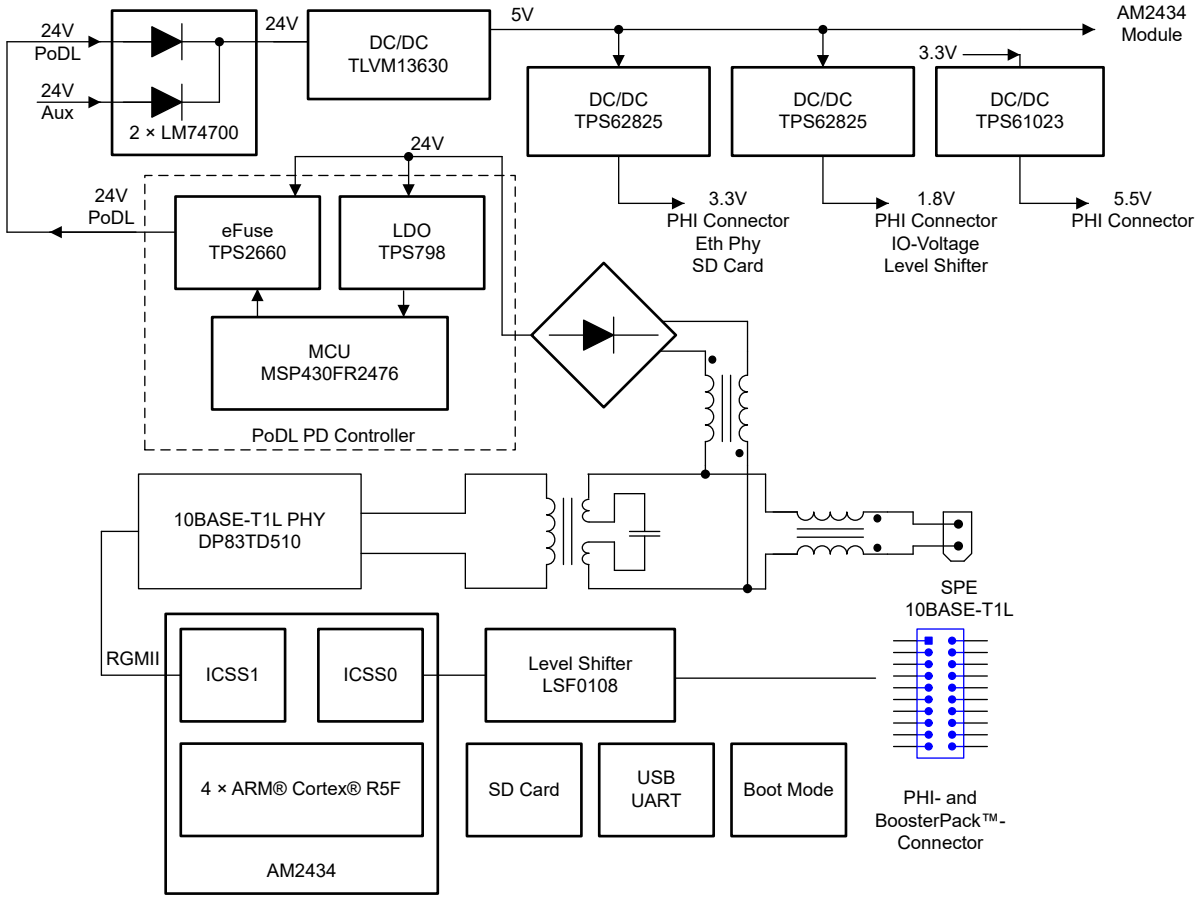


图 2-1. TIDA-010261 方框图

2.2 设计注意事项

该参考设计展示了单线对以太网 (SPE) 10BASE-T1L 传感器或传动器的数字后端的实现，并提供了通过数据线供电 (PoDL) 为该设计供电的选项。PoDL 符合 IEEE802.3cg 标准，其实现包括串行通信分级协议 (SCCP)，以将所需功率等级从供电设备 (PD) 发送到电源设备 (PSE)。

为了实现 SPE 与 PoDL，在数据侧，设计需要一个以太网 PHY（例如 DP83TD510E）来将电缆上的接口从（媒体访问控制器）MAC 转换为媒体相关接口 (MDI)。在 MAC 侧，使用了媒体独立接口 (MII)，例如简化的千兆位 MII (RGMII)。

为了给这条通信线路充电，需要满足两个条件：一个用于分离线路上电力和数据的耦合网络，以及一个用于执行所需握手的器件。耦合网络可被视为频率滤波器，其中低频分量（尤其是直流）将进入电源部分，而高频分量则被视为进入 PHY 的数据。有关这方面的更多详细信息，请参阅 PoDL PD 和耦合网络部分。握手起着重要作用，与标准以太网 PoE 类似，电源设备 (PSE) 需要确保仅向支持电源的器件供电。否则，设备会损坏。节 3.2 详细地介绍了这一握手。

除了 SPE 接口，该设计还使用 PHI 连接器和 BoosterPack 连接器提供一个灵活的接口，例如，用于连接各种与模数转换器 (ADC) 相连的扩展板。该接口配备了几个电平转换器，以便根据接口连接到的器件的需要支持不同的电压电平。该接口连接到 Sitara 处理器的集成式控制和安全系统 (ICSS) 之一，因此可以实现一组广泛的接口。MCU Plus SDK 提供了 ADS127 的实施示例，展示了 ICSS 上实现的串行外设接口 (SPI) 和处理器间通信。

English Document: TIDUF34
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

该参考设计提供联合测试行动组 (JTAG) 访问和隔离式通用串行总线 (USB) 通用异步接收器或发送器 (UART) 接口，以简化启动和调试。要存储应用程序，请使用模块上的板载微型安全数字 (SD) 卡连接器、NOR 闪存或 eMMC。可以通过引导模式开关来选择从哪个外设启动。

如果不使用基于 AM2434 的模块，而使用引脚兼容的 AM6442 模块，则该处理器还提供 Arm Cortex-A53 内核，从而使运行 FreeRTOS™ 成为可能，同时还可运行 Linux®。这样便能够构建基于 Linux® 且具有更强处理能力的 SPE 传感器。

2.3 重点产品

本节介绍此参考设计中最重要的器件。有关详细信息，请查看器件的产品页面和数据表。

2.3.1 DP83TD510E

DP83TD510E 是一款符合 IEEE 802.3cg 10Base-T1L 规范的超低功耗以太网物理层收发器。PHY 具有超低噪声的耦合接收器架构，可实现更长的电缆长度和超低功耗。DP83TD510E 具有外部 MDI 终端，可满足本质安全要求。该器件通过 MII、简化 MII (RMII)、RGMII 和 RMII 低功耗 5MHz 主模式与 MAC 层相连。该收发器还支持 RMII 背对背模式，适用于需要将电缆长度延伸到 2000 米以上的应用。DP83TD510E 支持 25MHz 参考时钟输出，以便为系统上的其他模块提供时钟，并提供集成电缆诊断工具；内置的自检和环回功能便于设计或调试。

2.3.2 AM2434

AM2434 是 Sitara 工业级产品系列中新增的高性能微控制器。AM2434 器件专为需要结合实时通信和处理的工业应用（例如电机驱动和远程 I/O 模块）而构建。AM2434 提供可扩展的性能，在 Sitara 中最多配备四个 Cortex-R5F MCU、一个 Cortex-M4F 以及两个支持千兆位 TSN 的 PRU_ICSSG 实例。

AM2434 SoC 架构旨在通过高性能 Cortex-R5F 内核、紧密耦合的存储器组、可配置的 SRAM 分区以及与外设之间的专用低延迟路径提供出色的实时性能，从而实现数据快速进出 SoC。这种确定性架构允许 AM2434 处理伺服驱动器中的严格控制环路，同时 FSI、GPMC、ECAP、PWM 和编码器接口等外设可帮助启用这些系统中的多种不同架构。

该 SoC 提供灵活的工业通信能力，包括用于 EtherCAT 目标、PROFINET 器件、以太网 IP 适配器和 IO-Link 控制器的完整协议栈。PRU_ICSSG 进一步提供了千兆位和基于 TSN 技术的协议所需的能力。此外，PRU_ICSSG 还支持其他接口，包括 UART 接口、Δ-Σ 抽取滤波器和绝对编码器接口。

可通过集成的 Cortex-M4F 及其专用外设启用功能安全特性，这些外设均可与 SoC 的其余部分隔离。AM2434 还支持安全启动。

2.3.3 TPS2660

TPS2660 是 TPS2660x 器件系列中的一款产品。这些器件是设计紧凑、功能丰富的高电压电子保险丝，具有一整套保护功能。4.2 V 至 60V 的宽电源输入范围可实现对众多常用直流母线电压的控制。该器件可以承受并保护由高达 ±60V 的正负电源供电的负载。集成的背对背 FET 提供反向电流阻断功能，因此该器件非常适用于在电源故障和欠压条件下要求保持输出电压的系统。负载、电源和器件保护具有许多可调特性，包括过流、输出压摆率和过压、欠压阈值。TPS2660x 内部可靠的保护控制模块以及高额定电压有助于简化针对浪涌保护的系统设计。

借助关断引脚，可以从外部控制内部 FET 的启用/禁用，还可以将器件置于低电流关断模式。为实现系统状态监视和下游负载控制，器件提供故障和精密电流监视输出。MODE 引脚有助于在三个限流故障响应（断路器模式、闭锁模式和自动重试模式）之间灵活地对器件进行配置。

器件采用 5mm × 4.4mm、16 引脚 HTSSOP 封装和 5mm x 4mm、24 引脚 VQFN 封装；额定温度范围为 –40°C 至 +125°C。

2.3.4 TPS79801-Q1

TPS79801-Q1 是 50V 高压微功耗低压降 (LDO) 线性稳压器系列中的首款器件。该器件能够提供 50mA 的输出电流，而压降电压仅为 300mV。TPS79801-Q1 专为低静态电流高压 (50V) 应用而设计，40 µA 工作电流和 1 µA 关断电流使此器件成为电池供电或高压系统的理想选择。静态电流在压降中也得到了很好的控制。

TPS79801-Q1 的其他特性包括能够与低等效串联电阻 (ESR) 陶瓷输出电容器一起工作。该器件很稳定，输出端上仅为 1 µF；大多数旧器件需要 10 µF 至 100 µF 钽电容器才能保持稳定性。与其它稳压器一同使用时的常见情

English Document: TIDUF34
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

况一样，在无需额外等效串联电阻 (ESR) 的前提下可使用小型陶瓷电容器。内部保护电路包括反向输入电池保护、反向输出电流保护、电流限制和热限制，以在各种故障情况下保护器件。

此器件提供 5V 固定输出电压 (TPS79850)，并具有基准电压为 1.275V 的可调输出电压 (TPS79801)。TPS798xx-Q1 稳压器采用带有外露焊盘的 8 引脚 MSOP- PowerPAD(DGN) 封装，可增强热管理功能。

2.3.5 MSP430FR2476

MSP430FR2476 (MSP430FR247x) 微控制器 (MCU) 是 MSP430™ MCU 超值系列超低功耗低成本器件产品系列的一部分，该产品系列用于检测和测量应用。MSP430FR247x MCU 集成了一个 12 位 SAR ADC 和一个比较器。所有 MSP430FR247x MCU 均支持 –40° 至 105°C 的工作温度范围，因此这些器件的铁电随机存取存储器 (FRAM) 数据记录功能对更高温度的工业应用来说意义重大。

MSP430FR247x MCU 由一系列由软、硬件组成的生态系统提供支持，并提供有参考设计和代码示例，可帮助您快速开展设计。开发套件包括 MSP-TS430PT48 48 引脚目标开发板。TI 还提供免费的 MSP430Ware™ 软件，该软件以 Code Composer Studio™ IDE 桌面和云版本组件的形式提供（位于 TI Resource Explorer 中）。我们为 MSP430 MCU 提供广泛的在线配套资料（例如 TI 的通用示例系列、MSP Academy 培训），也通过 TI E2E™ 支持论坛提供在线支持。

MSP430 超低功耗 (ULP) FRAM 微控制器平台将独特的嵌入式 FRAM 和整体超低功耗系统架构相结合，从而使系统设计人员能够在降低能耗的情况下提升性能。FRAM 技术将 RAM 的低功耗快速写入、灵活性和耐用性与闪存的非易失性相结合。

TI MSP430 系列低功耗微控制器包含多种器件，其中配备了不同的外设集以满足各类应用的需求。此架构与多种低功耗模式配合使用，是延长便携式测量应用电池寿命的最优选择。该 MCU 具有一个强大的 16 位 RISC CPU、16 位寄存器和常数发生器，有助于获得最大编码效率。数控振荡器 (DCO) 可使 MCU 在不到 10 µs（典型值）的时间内从低功耗模式唤醒至活动模式。

2.3.6 TLV7031

TLV7031 单通道器件是一款低电压、纳瓦级功耗的比较器。此器件采用超小型无引线封装以及标准的 5 引脚 SC70、SOT-23、VSSOP 和 TSSOP 封装，因此适用于空间受限型设计，例如智能手机、智能仪表和其他便携式或电池供电类应用。

TLV7031 提供出色的速度与功耗综合性能，其传播延迟为 3 µs，静态电源电流为 315nA。得益于毫微功耗下的快速响应优势，功耗敏感型系统能够监测故障状况并快速做出响应。这些比较器的工作电压范围为 1.6V 至 6.5V，因此可与 3V 和 5V 系统兼容。

TLV7031 器件还凭借过驱输入和内部迟滞来确保不会出现输出相位反转，因此工程师可以将该比较器用在必须将慢速输入信号转换为纯净数字输出的严苛、嘈杂环境中进行精密电压监测。

TLV7031 具有推挽式输出级，能够灌/拉毫安级电流，同时可对 LED 进行控制或驱动容性负载。TLV704x 具有可上拉到 V_{CC} 之上的开漏输出级，使此器件适用于电平转换器和双极至单端转换器。

2.3.7 ATL431

ATL431 器件是三端可调节式并联稳压器，在适用的汽车级、商用级和工业级温度范围内均可满足规定的热稳定性。可以通过两个外部电阻器将输出电压设置为介于 V_{ref}（约为 2.5V）和 36V 之间的任意值。该器件的输出阻抗典型值为 0.05Ω。此类器件的有源输出电路具有非常明显的导通特性，因此非常适合用于替代许多应用中的齐纳二极管，例如板载稳压器、可调节电源和开关电源。

ATL431 与上一代产品 TL43x 相比，阴极电流范围提高了 20 倍以上，并且在更宽泛的负载电容类型和值范围内也保持稳定。

ATL431 器件的额定工作温度范围是 –40°C 至 +85°C。

2.3.8 LM74700-Q1

LM74700-Q1 是一款符合汽车 AEC Q100 标准的理想二极管控制器，可与外部 N 沟道 MOSFET 配合工作，作为理想二极管整流器利用 20mV 正向压降实现低损耗反向保护。3.2V 至 65V 的宽电源输入范围可实现对众多常用直

English Document: TIDUF34
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

流总线电压（例如 12V、24V 和 48V 汽车电池系统）的控制。3.2V 输入电压支持非常适用于汽车系统中严苛的冷启动要求。该器件可耐受低至 –65V 的负电源电压，并提供负载保护。

该器件通过控制 MOSFET 的栅极将正向压降调节至 20mV。该调节方案可在反向电流事件中支持 MOSFET 平稳关机，并提供零直流反向电流。该器件能够快速 (< 0.75µs) 响应反向电流阻断，因此适用于在 ISO7637 脉冲测试以及电源故障和输入微短路条件下要求保持输出电压的系统。

LM74700-Q1 控制器可提供适用于外部 N 沟道 MOSFET 的电荷泵栅极驱动器。LM74700-Q1 的高电压额定值有助于简化用于汽车 ISO7637 保护的系统设计。当使能引脚处于低电平时，控制器关闭，消耗大约 1µA 的电流。

2.3.9 TPS62825A

TPS6282A 是易于使用的同步直流/直流降压转换器，具有仅 4 µ A 的极低静态电流。该器件基于 DCS 控制拓扑，可实现快速瞬态响应。由于具有内部基准，设计人员可在 -40°C 至 125°C 的结温范围内以 1% 的高反馈电压精度将输出电压下调至 0.6V。该器件具有引脚对引脚和 BOM 对 BOM 兼容性。整个设计需要一个小型 470nH 电感器、一个 4.7 µ F 输入电容器以及两个 10µF 输出电容器或一个 22µF 输出电容器。

TPS6282A 具有两种型号。第一种型号可自动进入省电模式，在超轻负载条件下保持高效率，从而延长系统电池的运行时间。第二种型号可实现强制 PWM 运行，以维持连续导通模式，从而提供超低的输出电压纹波和准固定开关频率。TPS6282A 器件可提供电源正常信号和内部软启动电路。该器件能够以 100% 模式运行。在故障保护方面，该器件加入了断续短路保护以及热关断功能。该器件可采用 6 引脚 1.5mm x 1.5mm QFN 封装，提供更高的功率密度。

2.3.10 TPS61023

TPS61023 器件是一款具有 0.5V 超低输入电压的同步升压转换器。该器件可以为由多种电池和超级电容器供电的便携式设备和智能设备提供电源设计。在整个温度范围内，TPS61023 的谷值开关电流限制典型值为 3.7A。在 0.5V 至 5.5V 的宽输入电压范围内，TPS61023 支持超级电容器备用电源应用，这可能导致超级电容器深度放电。

当输入电压高于 1.5V 时，TPS61023 的工作频率为 1MHz。当输入电压低于 1.5V 甚至降至 1V 时，开关频率逐渐降至 0.5MHz。TPS61023 在轻负载情况下会进入省电模式 (PFM)，以便在整个负载电流范围内保持高效率。在轻负载条件下，TPS61023 通过 V_{OUT} 消耗 20µA 的静态电流。在关断期间，TPS61023 与输入电源完全断开，仅消耗 0.1µA 的电流，以实现较长的电池寿命。TPS61023 具有 5.7V 输出过压保护、输出短路保护和热关断保护。

TPS61023 采用 1.2mm × 1.6mm SOT563 (DRL) 封装，更大限度地减少了外部元件的数量，因而拥有非常小巧的设计尺寸。

2.3.11 TLVM13630

TLVM13630 同步降压电源模块是一款高度集成的 36V、3A 直流/直流设计，该设计组合了功率 MOSFET、屏蔽电感器和无源器件，并采用增强型 HotRod™ QFN 封装。该模块的 V_{IN} 和 V_{OUT} 引脚位于封装的边角处，可优化输入和输出电容器在布局中的放置。模块下方具有四个较大的散热焊盘，可在制造过程中实现简单布局和轻松处理。

TLVM13630 具有 1V 到 6V 的输出电压范围，旨在快速、轻松地实现小尺寸 PCB 的低 EMI 设计。总体设计仅需四个外部元件，并省去了设计流程中的磁性和补偿器件选择过程。

尽管针对空间受限型应用采用了简易的小尺寸设计，但 TLVM13630 模块提供了许多特性，可实现稳健的性能：具有迟滞功能的精密使能端可实现输入电压 UVLO 调节、集成式 VCC、自举和输入电容器可提高可靠性和密度、全负载电流范围内恒定开关频率以增强负载瞬态性能、负输出电压能力以实现反向应用，以及 PGOOD 指示器可实现时序控制、故障保护和输出电压监控。

2.3.12 LSF0108

LSF0108 器件支持双向电压转换，而无需使用 DIR 引脚，这更大限度地降低了系统工作量（对于 PMBus、I^2C、SMBus 等）。该器件在容性负载 ≤ 30pF 时支持高达 100MHz 的上行转换和高于 100MHz 的下行转换；在容性负载为 50pF 时支持高达 40MHz 的上行或下行转换，因此 LSF0108 系列可支持更多的消费类或电信接口（MDIO 或 SDIO）。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

LSF0108 的 I/O 端口能够耐受 5V 电压，因此，此器件与工业和电信应用中的 TTL 电平兼容。LSF0108 极具灵活性，使该器件能够为每条通道设置不同的电压转换电平。

English Document: TIDUF34
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

3 系统设计原理

本节提供有关该参考设计的不同功能部分的详细信息。图 3-1 显示了这些功能块的位置和大小。

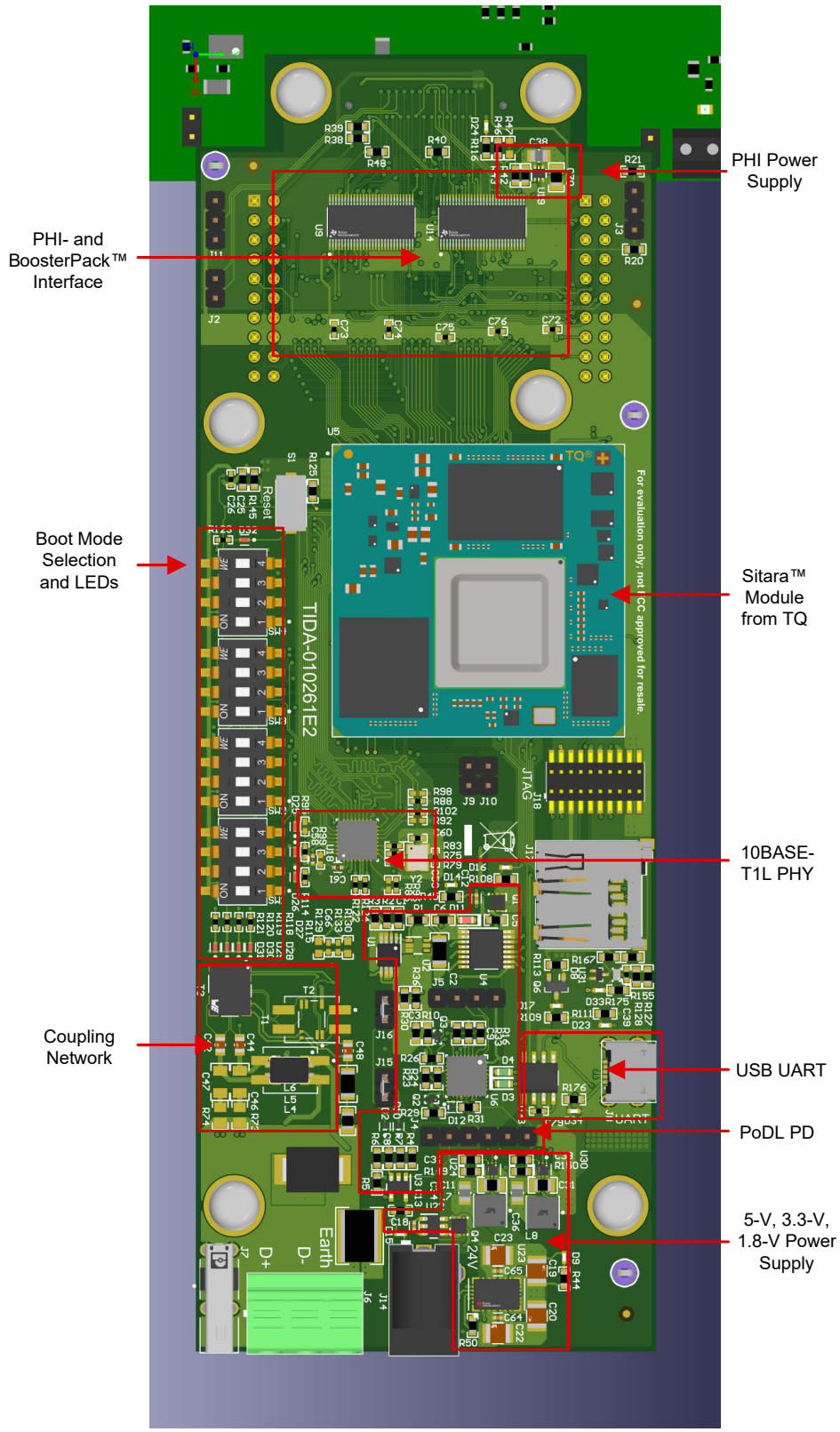


图 3-1. TIDA-010261 功能块

English Document: TIDUF34
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

3.1 电源

PoDL 电压以及辅助输入电压指定为 24V。因为我们希望能够使用这两个电源输入，不想反馈功率，但对优先级没有要求，所以这两个电源轨通过二极管 OR 连接在一起。为降低功耗和压降，需结合使用两个理想二极管与 LM74700 器件。

通过在模块上使用 Sitara 处理器，该器件的电源树得到了简化，因为该模块包含自己的电源树，只需一个稳压 5V 输入。除此之外，还需要为板载外设生成 1.8V 和 3.3V 电压。PHI 接口需具有一个额外的 5.5V 电源轨，因此还需要一个稳压器。

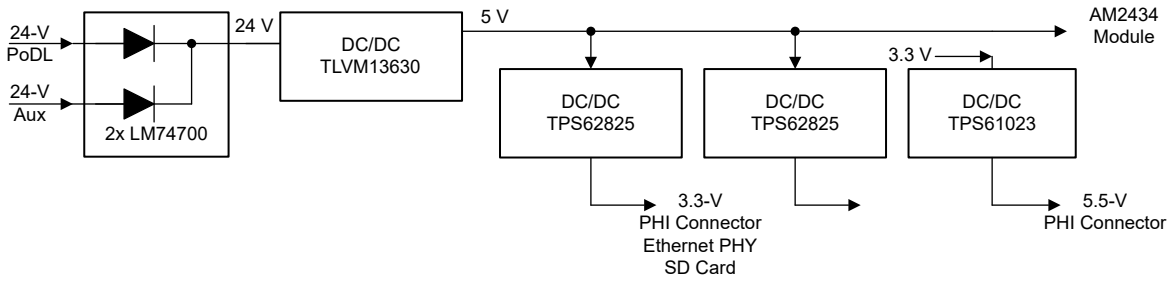


图 3-2. 电源树

由于系统在功率等级 12 下运行，因此可提供约 12W 的功率。板载电子设备只需几瓦的功率，但为了有足够的余量用于进一步扩展（扩展部分与 BoosterPack 或 PHI 连接器相连），5V 电源轨旨在提供高达 3A 的电流。出于空间考虑，选择了电源模块 TLVM13630。

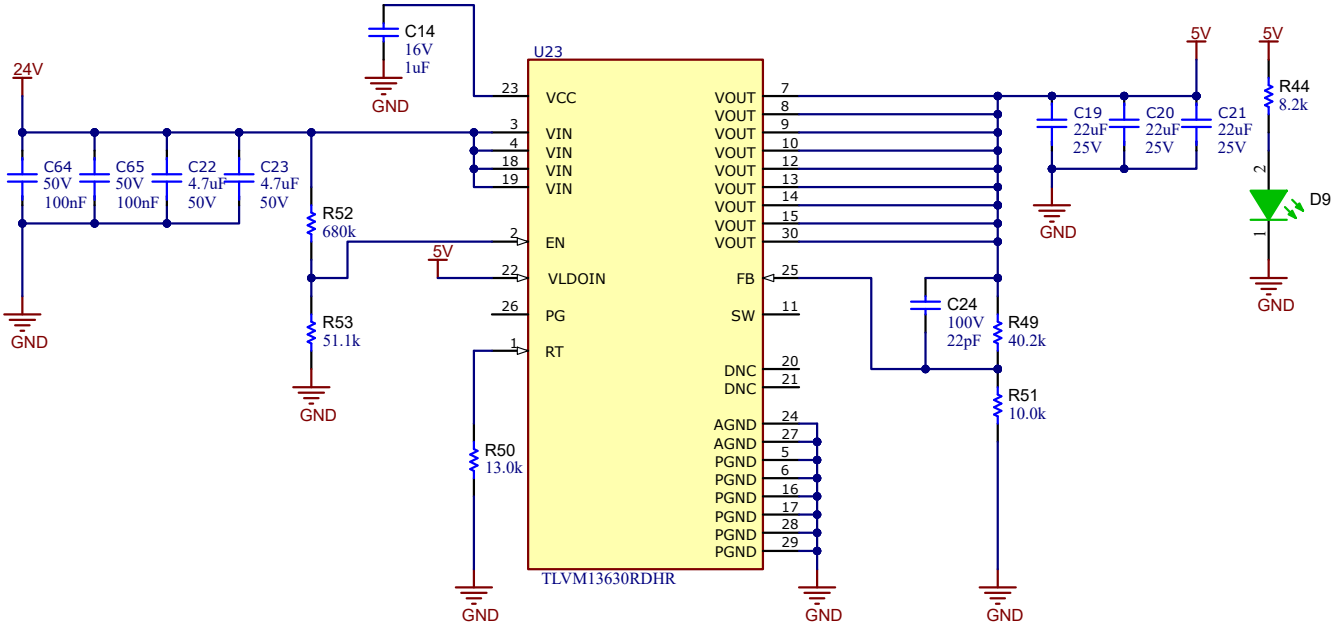


图 3-3. 5V 稳压器原理图

此原理图显示了实现方案，可以使用 R52 和 R53 对欠压锁定进行编程。输出电压通过 R49 和 R51 设置为 5V。低电流 LED (D9) 表示存在输出电压。

English Document: TIDUF34
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

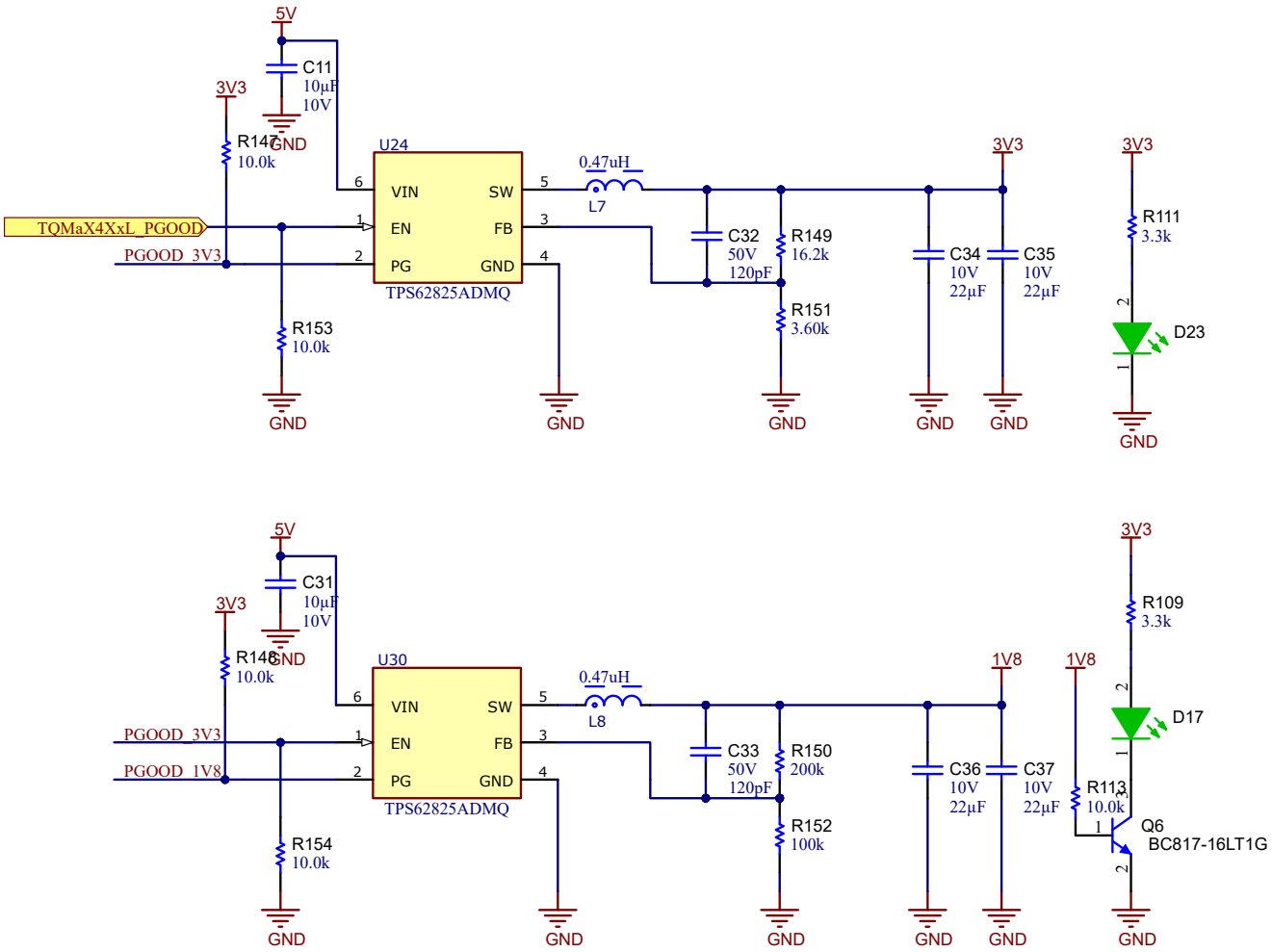


图 3-4. 3.3V 和 1.8V 稳压器原理图

为实现 3.3V 和 1.8V，使用了具有不同分压器的相同稳压器，如图 3-4 所示。TPS62825A 器件可提供输出电流高达 2A 的小型解决方案。输出电压的存在通过 LED 来指示。由于 LED 的正向电压超过 1.8V，因此 1.8V 电源轨需要一个额外的晶体管。为了保持上电序列，3.3V 稳压器从 Sitara 模块获取使能信号，并向 1.8V 稳压器的使能信号发出电源正常信号，因此它们依次启动。1.8V 电源正常信号可用于进一步的时序控制。

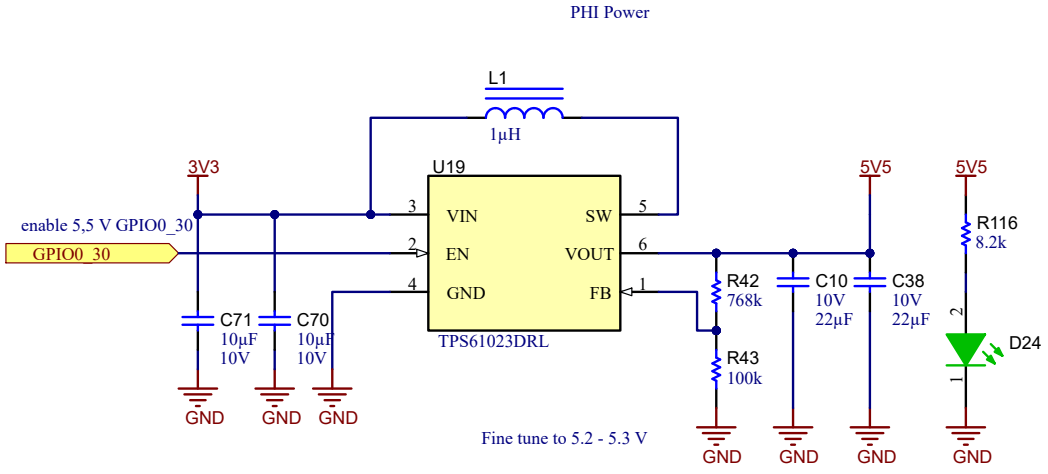


图 3-5. 5.5V 升压稳压器原理图

English Document: TIDUF34
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

图 3-5 显示了如何使用升压稳压器为 PHI 连接器提供 5.5V 电压。由于并非始终需要稳压器，因此可以由 GPIO0.30 通过 Sitara 处理器启用稳压器。TPS61023 是一款同步升压稳压器，因此该器件能够完全关闭输出。

此升压稳压器需要通过 3.3V 电源轨运行，因为在 5V 电压下运行稳压器违反了稳压器的最短导通时间。在使用 3.3V 作为输入电压时，不会违反稳压器的最短导通时间。

3.2 PoDL PD 和耦合网络

为了实现 PoDL，数据路径和电源路径必须分离。电源路径由供电设备 (PD) 控制器处理，数据路径可以直接馈送到以太网 PHY。

图 3-6 显示了该耦合网络实现的简化图。PoDL 使用小型变压器而不是电容耦合来实现，这不是因为隔离电压较高，而是因为小型变压器对共模噪声更具稳健性。要使用带电源的变压器，电缆侧的分裂绕组是有益的，因此可以插入用于直流阻断的电容器。此外，可以在电缆侧的这一点处插入交流共模终端。

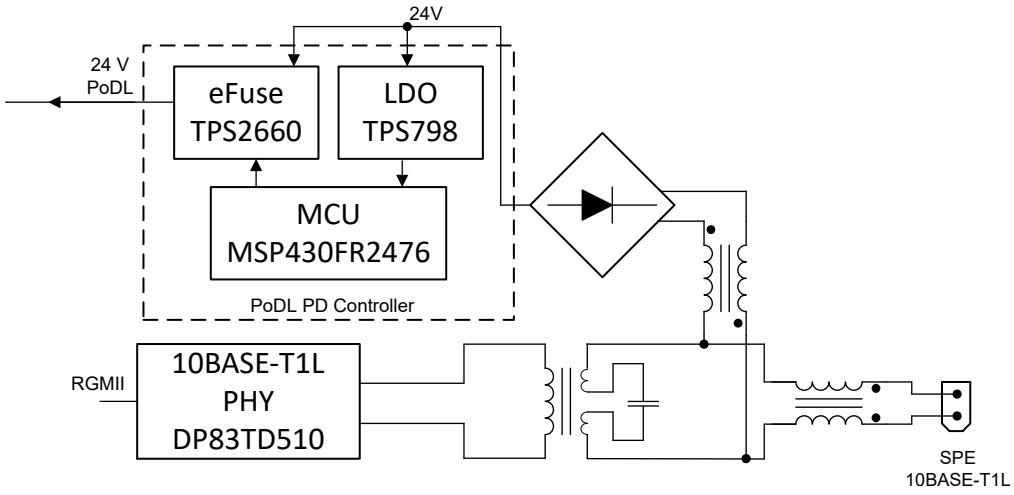


图 3-6. PoDL 实施

共模扼流圈位于该电路的电缆侧，这样，扼流圈还会阻止来自电源的噪声；因此，共模扼流圈的额定值必须符合该电流的要求。

对于通向 PD 控制器的低频路径，使用了差模扼流圈，电感对来自以太网 PHY 的信号的压降有直接影响。电感越高，压降越低。然而，大电感会更大且更昂贵。因此，所做的选择始终是这些参数之间的权衡。此处可以使用两个单独的电感器，但这也增加了空间要求。为了能够对不同的实现方式进行评估，PCB 为所有磁性器件提供了多种封装。

PD 控制器经过编程，可利用串行通信分级协议 (SCCP)，与属于 E 类和功率等级为 12 的器件的电源设备 (PSE) 进行通信。有关供电设备 (PD) 实现的更多详细信息，请参阅 *IEEE 802.3cg 10BASE-T1L 数据线供电设备设计* 应用手册。

English Document: TIDUF34
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

3.3 Sitara™ 技术模块

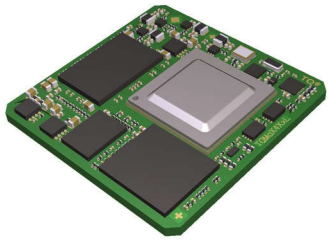


图 3-7. Sitara™ TQMAX4XXL 板

TQ 中的模块上系统 (SOM) 用于简化设计。该模块包括启动处理器所需的几乎所有内容。该模块由 5V 电源供电，并在内部生成所有必需的电压，因此设计人员无需考虑所有低电压电平，尤其是时序控制。

JTAG 接口用于方便开发，因此可以将软件加载到所有内核，并可以观察状态。软件开发完成后，不再使用该接头，并且软件可以存储在 SD 卡上，以便轻松更改模块的内部 eMMC 或 NOR 闪存上的软件。通常，量产器件使用这些内部存储器。对于原型设计，SD 卡更实用。

UART 接口对于调试和启动非常重要，该接口是使用 USB UART 接口（在此电路中具有额外隔离）实现的。对电路进行隔离很有用（尤其是在使用由 PoDL 供电的电路时），旨在避免接地环路，或对作为 PoDL PD 电路一部分的整流器的器件进行短路。

3.4 引导模式

解除复位后，处理器拥有的内部 ROM 代码开始执行。此代码读取几个引脚状态，以了解一些初始配置以及从何处进一步启动。电路板上有四个小开关，可供选择启动位置。表 3-1 显示了两种相关配置。

表 3-1. 相关启动模式配置

引导器件	SW1	SW2	SW3	SW4
SD	1100	0000	0010	0000
eMMC	1100	0100	0010	0000

3.5 PHI 和 BoosterPack™ 接头

可实施两个选项来向该电路板添加扩展。PHI 接口允许直接连接到许多 ADC EVM。使用 BoosterPack 接头可以扩展到许多其他器件，例如接口、电机驱动器、ADC 等。此外，这两个接口均可用于创建自定义电路板并将其连接到 SPE。

两个接口都通过电平转换器连接到可编程实时单元 (PRU)。电平转换器允许使用 1.8Vio 或 3.3Vio，以实现灵活性。所有 IO 既可以从 PRU 使用，也可以用作可由处理器内核访问和通过处理器内核访问的系统 GPIO。要更改 IO 电压，需要组装 R46 或 R47。默认情况下，IO 电压设置为 1.8V。有关更改的更多详细信息，请参阅原理图。

图 3-8 展示了 BoosterPack 接头的引脚分配，而图 3-9 展示了 PHI 连接器的引脚分配。

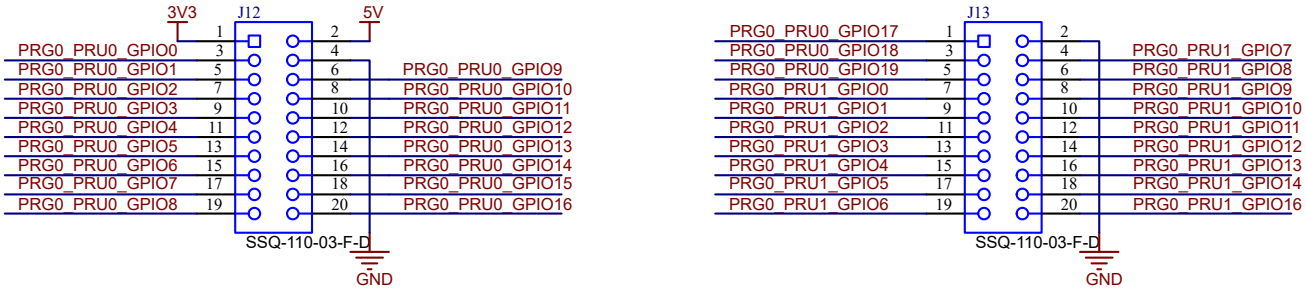


图 3-8. BoosterPack™ 接头引脚分配

English Document: TIDUF34
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

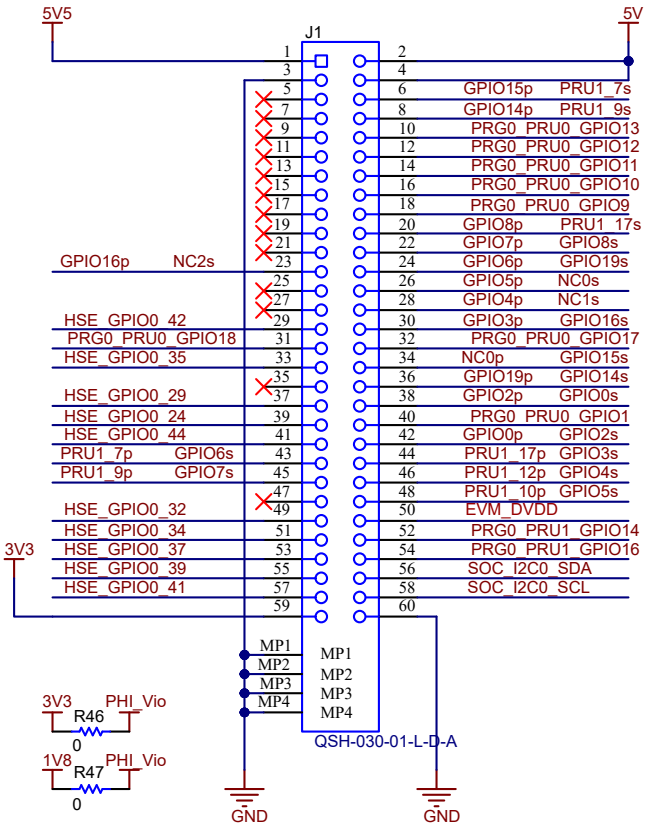


图 3-9. PHI 接头引脚分配

English Document: TIDUF34
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

4 硬件、软件、测试要求和测试结果

4.1 硬件要求

图 4-1 显示了参考设计的重要接口。

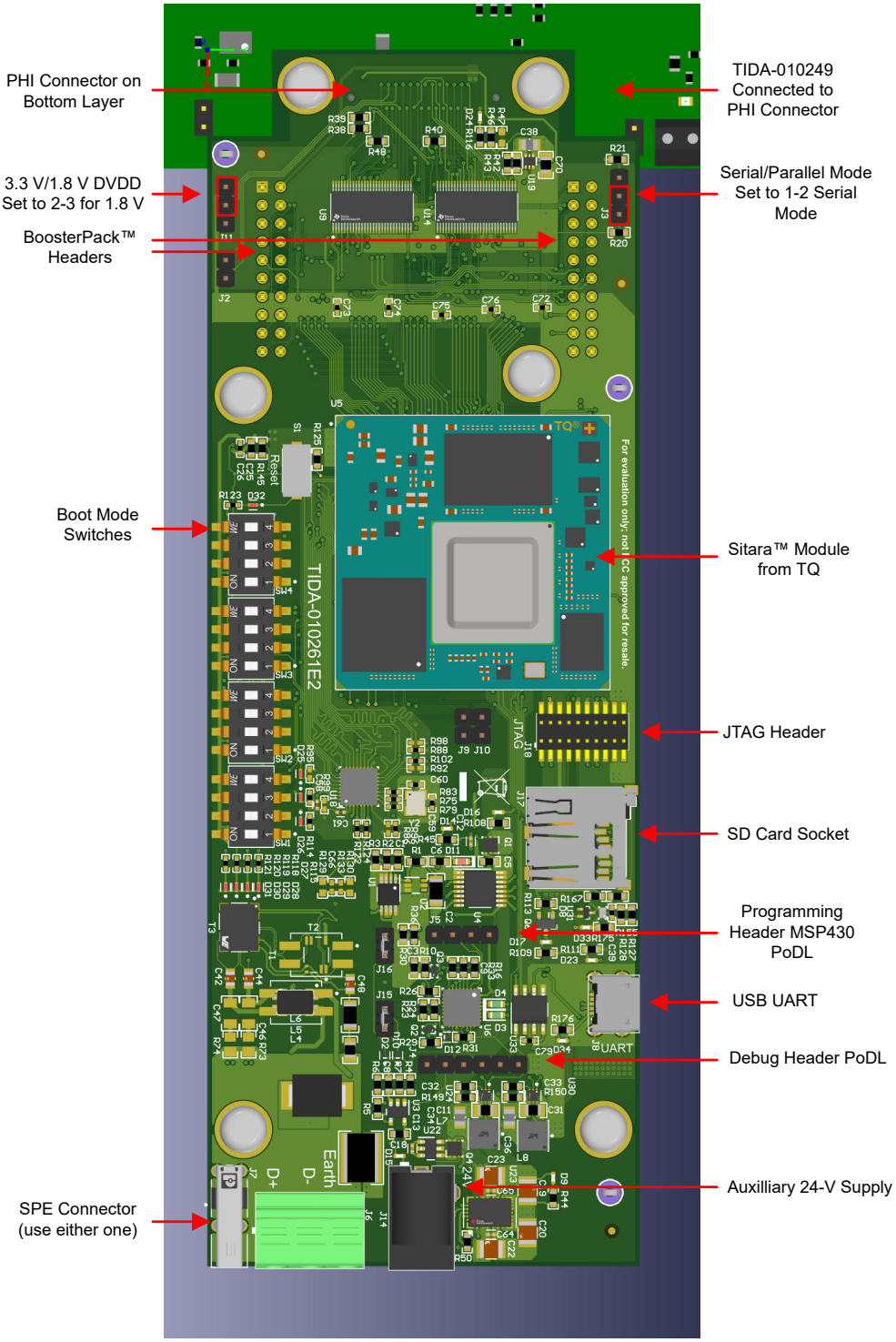


图 4-1. 重要连接器概述

English Document: TIDUF34
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

为了给电路板供电，可以使用启用了 PoDL（根据 802.3cg）并带有 SCCP 的 10 BASE-T1L SPE 交换机或网关。如果这样的器件不可用，则可以使用不带电源的介质转换器，并可以借助桶形插孔通过 24V、0.5A 电源从外部供电。该电路板还可以在没有 SPE 连接的情况下运行。

如果使用 PHI 连接器，请务必根据所连接的 ADC 板设置串行模式或并行模式。此外，电压选择必须正确，以免损坏所连接的 ADC。上面显示的设置用于连接 TIDA-010249。

对于软件开发，USB 连接器提供对 UART 的访问，因此可以看到调试输出。为了避免接地回路，尤其是通过 PoDL 供电时，该接口是隔离的。

软件可以通过 JTAG 接头或 SD 卡加载。

负责 PoDL 的 MSP430 可通过相应的引脚接头进行编程和调试。通过附加的 PoDL 调试接头，可轻松访问与 SCCP 相关的数据输入和输出，因此可连接逻辑分析仪以进行调试。

4.1.1 引导开关配置

按照节 3.4 中的说明设置启动开关以进行 SD 启动。有关表 3-1 中介绍的其他配置，请参阅所选 Sitara 处理器的 TRM。

4.1.2 参考设计启动

使用以下步骤来启动参考设计：

1. 将个人计算机 (PC) 连接到 Micro USB 连接器 J8 以提供终端输出，D34 LED 亮起
2. 使用 115200 8N1 配置启动终端软件
3. 将最小 24V、500mA 电源连接到 J14，或将 PoDL PSE 连接到 J7 或 J6
4. 当通过辅助连接器 J4 供电时，以下 LED 亮起：D15、D16、D9、D23、D17、D34 和 D23
5. 由 PoDL 供电时，以下 LED 亮起：D14、D16、D9、D23、D17、D34 和 D23
6. 根据正在运行的软件和以太网链路状态，更多的 LED 可能会亮起。有关更多详细信息和软件可控的 LED，请参阅原理图。

4.2 软件要求

4.2.1 PD 固件

为了使 PoDL 电路正常工作，请使用实现 PD 功能的固件对 U6 进行编程。这可以支持 SCCP，也可以不支持。硬件支持这两种选项，并且这两种选项的固件均可用并经过测试。将 J5 连接到 MSP430 调试器并加载固件。此步骤只需执行一次。

4.2.2 MCU 固件

启动 Sitara MCU 最简单的方法是准备一张包含引导加载程序 (tiboot3.bin) 和应用程序 (app) 的 SD 卡。使用引导加载程序，它是 Sitara SDK 的一部分。对于应用程序，SDK 提供了此参考设计中使用的示例。可以使用 PRU_IO 示例来测试通过 PHI 连接器的接口，通过该接口连接 ADS127L11 并显示样片。有关更多信息以及如何开始使用，请参阅 SDK 文档。

要测试设计的以太网电路，请使用 SDK 中的此示例，只需稍作修改即可支持 DP83TD510E 以太网 PHY。

4.3 测试设置

总体测试设置如图 4-2 所示。此参考设计与 TIDA-010249 相结合，以提供模拟前端和 ADC。这是通过 PHI 接头进行连接的。该软件加载到 SD 卡中并在 TIDA-010261 中启动。

该设置通过介质转换器供电，不仅可以提供电源，还可以将单线对以太网转换为标准以太网。它连接到标准 PC，同时提供动态主机配置协议 (DHCP) 服务器以及消息队列遥测传输 (MQTT) 代理。

函数发生器用于在 ADC 上产生信号。此设置从发生器捕获信号，存储原始样片，计算 FFT，并将其格式设置为 JavaScript 对象表示法 (JSON) 字符串的所有数据传输到 MQTT 代理。在这里，网络中的其他设备可以订阅并进行进一步的处理或可视化。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

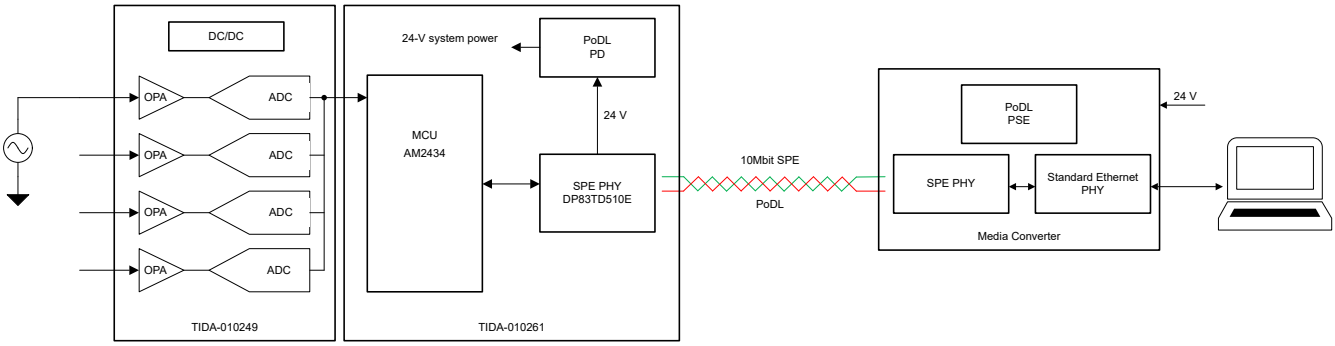


图 4-2. 测试设置

4.4 测试结果

发送到 MQTT 代理的消息可以由任何允许连接到代理并订阅消息的机器接收。在运行代理的计算机上使用 Linux 是通过 mosquitto_sub -h 127.0.0.1 -v -t 'adc1raw' 实现的。此命令显示第一个 ADC 通道的所有原始样片，因为这是作为主题 adc1raw 进行传输的。命令行上的输出如图 4-3 所示。


```
adc1raw { "ADC 1 Raw Data: ": [ 138656, 152891, 165682, 176798, 186080, 193470, 198931, 202392, 203830, 203191, 200434, 195719
, 189070, 180434, 170011, 157848, 144021, 128848, 112369, 94677, 76051, 56679, 36794, 16518, -3952, -24299, -44380, -64108, -8
3267, -101530, -118694, -134665, -149267, -162328, -173809, -183550, -191374, -197271, -201152, -203006, -202875, -200660, -19
6377, -190168, -182027, -171974, -160251, -146938, -132104, -115968, -98644, -80311, -61164, -41374, -21190, -823, 19562, 3982
3, 59691, 78883, 97280, 114701, 130952, 145935, 159400, 171273, 181491, 189858, 196303, 200678, 203108, 203474, 201768, 198114
, 192355, 184682, 175166, 163860, 150887, 136403, 120550, 103509, 85396, 66386, 46820, 26726, 6384, -14012, -34305, -54213, -7
3651, -92295, -109958, -126529, -141836, -155682, -167951, -178537, -187299, -194277, -199196, -202077, -203015, -201858, -198
649, -193370, -186242, -177246, -166368, -153829, -139741, -124263, -107457, -89627, -70912, -51420, -31458, -11126, 9326, 297
13, 49790, 69319, 88145, 106088, 122998, 138644, 152944, 165632, 176618, 185863, 193264, 198764, 202099, 203518, 202916, 20011
1, 195395, 188638, 180031, 169645, 157478, 143828, 128686, 112196, 94633, 76148, 56857, 36947, 16707, -3670, -23994, -44090, -
63860, -82953, -101131, -118293, -134214, -148826, -161978, -173432, -183160, -191031, -196904, -200872, -202827, -202678, -20
0479, -196279, -190166, -182073, -172128, -160495, -147138, -132289, -116117, -98779, -80495, -61326, -41582, -21458, -1067, 1
9364, 39636, 59487, 78713, 97158, 114620, 130840, 145781, 159249, 171117, 181364, 189681, 196076, 200537, 202974, 203355, 2016
56, 197947, 192210, 184577, 175093, 163810, 150866, 136437, 120721, 103705, 85632, 66702, 47062, 27036, 6775, -13611, -33918,
-53896, -73350, -92010, -109700, -126305, -141651, -155595, -167932, -178574, -187416, -194309, -199252, -202215, -203152, -20
1979, -198744, -193560, -186375, -177344, -166500, -153924, -139862, -124384, -107629, -89808, -71066, -51617, -31676, -11347,
 9115, 29447, 49464, 69065, 87929, 105827, 122744, 138401, 152679, 165433, 176484, 185771, 193217 ] }
```


图 4-3. 命令行上的 MQTT 消息

如图 4-4 所示，通过创建一个流程来显示样片，可以使用 Node-RED 来实现改进的视图。此外，这还可用于可视化在 adc1fft 主题中传输的 FFT 结果。

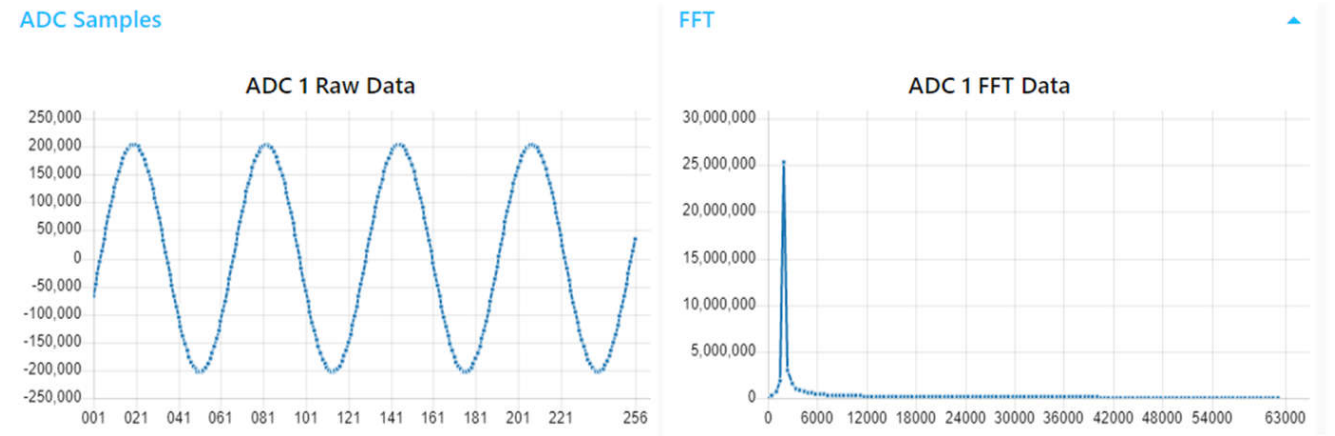


图 4-4. Node-RED 中的 MQTT 消息

English Document: TIDUF34
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

5 设计和文档支持

5.1 设计文件

5.1.1 原理图

要下载原理图，请参阅 TIDA-010261 中的设计文件。

5.1.2 物料清单

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 TIDA-010261 中的设计文件。

5.2 工具与软件

工具

TIDA-010249	四通道同步振动传感器接口参考设计

软件

MCU-PLUS-SDK-AM243X	适用于 Sitara 微控制器的 AM243x 软件开发套件 (SDK)

5.3 文档支持

1. 德州仪器 (TI)，*DP83TD510E 超低功耗 802.3cg 10BASE-T1L 10M 单线对以太网 PHY 数据表*
2. 德州仪器 (TI)，*AM243x Sitara™ 微处理器数据表*
3. 德州仪器 (TI)，*TPS2660x 具有集成反向输入极性保护功能的 60V、2A 工业电子保险丝数据表*
4. 德州仪器 (TI)，*TPS798xx-Q1 50mA、3V 至 50V、微功耗、低压降线性稳压器数据表*
5. 德州仪器 (TI)，*MSP430FR247x 混合信号控制器数据表*
6. 德州仪器 (TI)，*TLV703x 和 TLV704x 小尺寸、毫微功耗、低电压比较器数据表*
7. 德州仪器 (TI)，*ATL431、ATL432 2.5V 低 I_Q 可调精密并联稳压器数据表*
8. 德州仪器 (TI)，*LM74700-Q1 低 I_Q 电池反向保护理想二极管控制器数据表*
9. 德州仪器 (TI)，*TPS6282x 输出精度为 1% 的 2.4V 至 5.5V 输入、1A/2A/3A/4A 降压转换器数据表*
10. 德州仪器 (TI)，*TPS61023 具有 0.5V 超低输入电压的 3.7A 升压转换器数据表*
11. 德州仪器 (TI)，*TLVM13630 采用增强型 Hotrod™ QFN 封装的高密度 3V 至 36V 输入、1V 至 6V 输出、3A 电源模块数据表*
12. 德州仪器 (TI)，*LSF0108 适用于开漏和推挽应用的 8 通道自动双向多电压电平转换器数据表*

5.4 支持资源

TI E2E™ 中文支持论坛是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、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，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。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

5.5 商标

TI E2E™, and BoosterPack™, and HotRod™Sitara™ are trademarks of Texas Instruments.
FreeRTOS™ is a trademark of Real Time Engineers Ltd.
Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited.
Linux® is a registered trademark of Linus Torvalds.
所有商标均为其各自所有者的财产。

English Document: TIDUF34
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6 关于作者

STEFFEN GRAF 是德州仪器 (TI) 的一名系统工程师，负责开发工业领域中的参考设计。Steffen 在单线对以太网、数据线供电以及 IO-Link 领域拥有丰富的经验，他获得了德国达姆施塔特应用科学大学的电气工程理学硕士学位。

7 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (July 2023) to Revision A (August 2025)	Page
• 更新了方框图。	1
• 更新了方框图。	3

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做出任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、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