

## Design Guide: TIDA-050045

# 适用于 PoE 供电设备且支持 IEEE802.3bt 标准的 3 类有源钳位正向转换器参考设计



## 说明

此参考设计展示了一款用于通过 PoE 供电的供电设备 (PD) 的 3 类、6 级、51W 有源钳位正向转换器。TPS23730 PD 控制器提供检测和分级功能，同时还包含 PWM 控制器。此设计采用 37V 至 57V PoE 输入，输出 5V 电源轨，适用于 IP 网络摄像头和无线接入点等应用。

## 资源

TIDA-050045	设计文件夹
TPS23730	产品文件夹
TLV431	产品文件夹

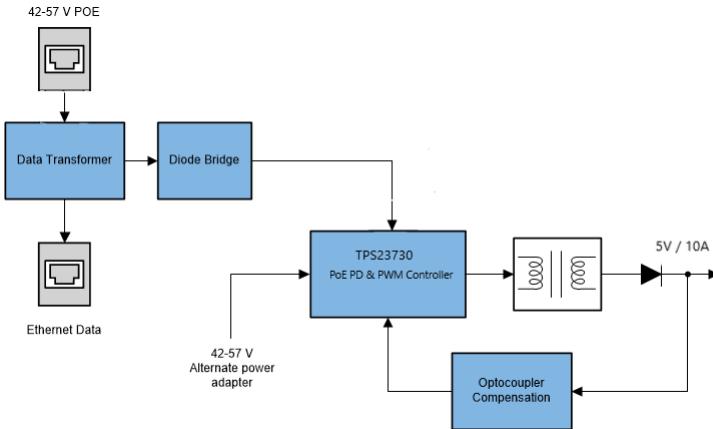
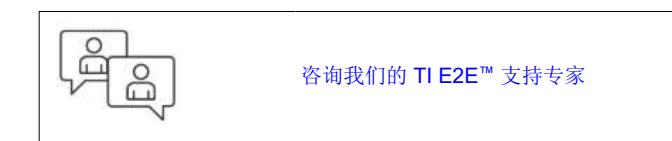
咨询我们的 TI E2E™ 支持专家

## 特性

- 支持 IEEE802.3bt 3 型功率级别
- 隔离式有源钳位正激式设计
- 频率抖动可降低 EMI
- 具有高级启动功能的软启动控制
- 软停关断
- 断续模式过载保护
- 自动维持功率特征 (MPS)
- 集成低  $0.3\Omega$  电源开关支持 60W PSE 电源

## 应用

- 无线接入点设备



## 1 系统说明

IEEE802.3bt 标准允许在以太网连接器的所有四个数据对上基于统一的标准实现 >25W 的 PoE 设计。此 3 类、50W PoE 反激式转换器设计旨在供用户开发适用于需要在 5V 电源轨上提供 25W 功率的各种成本敏感型通信和工业应用的此类终端产品。设计文件包括原理图、物料清单 (BOM)、Altium 文件、Gerber 文件和制造文件。

此隔离式有源钳位正激式设计的 PoE 输入电压范围为 37V 至 57V，并具有一个可选的辅助 37V 至 57V 电源路径（启用时优先采用）。该设计在 10A (50W) 电流下的输出为 5V，可提供比先前允许的低于 25W IEEE802.3at 标准更高的功率。

TPS23730 的软停止功能可以更大限度地减小开关功率 FET 的应力，并确保停机流程的可预测性，从而降低 FET BOM 成本。提供了可编程扩频频率抖动 (SSFD)，以更大程度地减小 EMI 滤波器的尺寸并降低成本。此设计还启用了断续模式保护，可在故障期间提供出色的热保护。

### 1.1 主要系统规格

表 1-1. 主要系统规格

参数	规格
PoE 输入电压范围	37V - 57V
适配器输入电压范围	37V - 57V
输出电压	5V
输出电流 (PoE 输入)	10A
输出电流 (适配器输入)	10A
PoE PD 分级	6 级
PoE 效率	91.5%
升压转换器效率	94%

## 2 系统概述

### 2.1 方框图

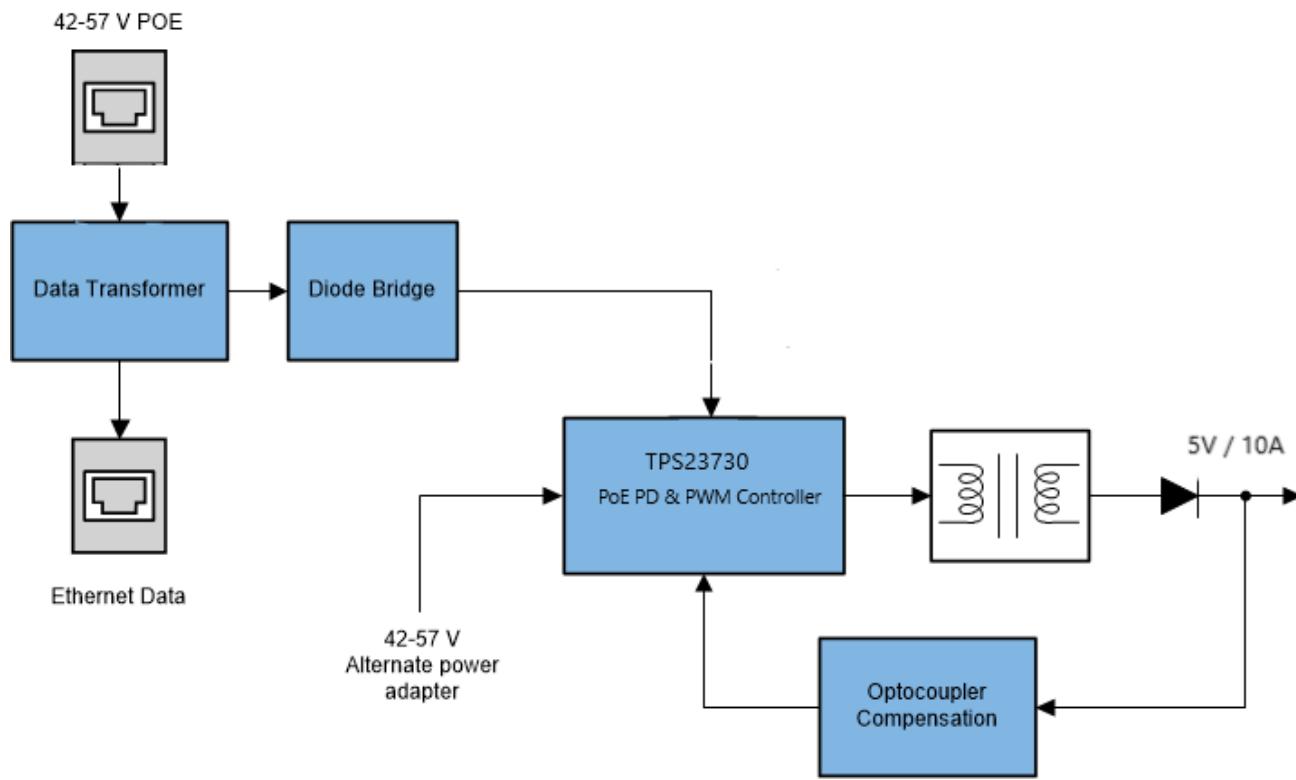


图 2-1. TIDA-050045 方框图

### 2.2 重点产品

#### 2.2.1 TPS23730

TPS23730 是一种符合 IEEE802.3bt 标准的供电设备 (PD) 接口，支持 3 类 PoE。所有基本功能，如检测、分级、浪涌电流限制 (200mA) 和自动维持功率特征 (MPS) 都集成在一个小型封装中。一个  $0.3\Omega$  的内部开关支持 PSE 提供高达 60W 的 3 类连续功率，允许正常运行期间通过 PD 提供 1.2A 以上的电流。

此应用设计中的一个关键 TPS23730 特性是软停止功能。软停止功能可以更大限度地减小开关功率 FET 所承受的应力，从而降低 FET BOM 成本。软停止动作包括以受控方式对转换器的输出电容器放电，将能量发送回输入大容量电容器。

TPS23730 的另一个特性是高级启动功能。此功能可以使用更小的 VCC 电容器，不需要自举电路，并满足 PSE 浪涌时序要求。

TPS23730 还具有辅助电源检测 (APD) 输入，该输入允许辅助电源为负载供电。在同时存在 PoE 和辅助电源的情况下，TPS23730 允许辅助电源优先于 PoE。

TPS23730 具备多项保护功能，例如热关断、折返电流限制以及坚固耐用的 100V 内部开关。

#### 2.2.2 TLV431

TL431LI 是三端可调节并联稳压器，在适用的汽车级、商用级和军用级温度范围内具有指定的热稳定性。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 1.24V) 和 36V 之间的任意值。其输出阻抗典型值均为  $0.2\Omega$ 。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。

## 2.3 系统设计原理

### 2.3.1 IEEE802.3bt 简介

通过 PoE 硬件分级允许电源设备 (PSE) 在供电之前确定供电设备 (PD) 的功率要求。此分级过程有助于进行功率预算编制并提高效率。在 IEEE802.3bt 标准之前，IEEE802.3at 标准允许在两对以太网电缆上为 PSE 提供高达 30W 的功率，为 4 级 PD 提供高达 25.5W 的功率。

**表 2-1. IEEE802.3at 功率类型和等级**

分级	类型	对数	PSE 提供的功率	PD 上的最小功率
0	1	2	15.4W	13.0W
1	1	2	4W	3.84W
2	1	2	7W	6.49W
3	1	2	15.4W	13.0W
4	2	2	30W	25.5W

IEEE802.3bt 标准利用所有四对以太网连接器，并增加负载可以消耗的最大功率以及 PSE 可以提供的功率。根据 IEEE802.3.bt 标准规定了两种新类型：3 类 (60W PSE) 和 4 类 (90W PSE)。随着额定功率的增加，各种终端设备（如监控摄像头和接入点）可以融入包含分析、旋转和加热器等更多功能。表 2-2 突出显示了 IEEE802.3bt 类型和等级。

**表 2-2. IEEE802.3bt 功率类型和等级**

分级	类型	对数	PSE 提供的功率	PD 上的最小功率
0	1 或 3	2	15.4W	13.0W
1	1 或 3	2 或 4	4W	3.84W
2	1 或 3	2 或 4	7W	6.49W
3	1 或 3	2 或 4	15.4W	13.0W
4	2 或 3	2 或 4	30W	25.5W
5	3	4	45W	40.0W
6	3	4	60W	51.0W
7	4	4	75W	62.0W
8	4	4	90W	71.3W

### 3 硬件、测试要求和测试结果

#### 3.1 所需硬件

此 3 类、6 级 PoE 参考设计可配置为多种运行模式。本节将介绍评估此设计所需的设置。

##### 3.1.1 硬件

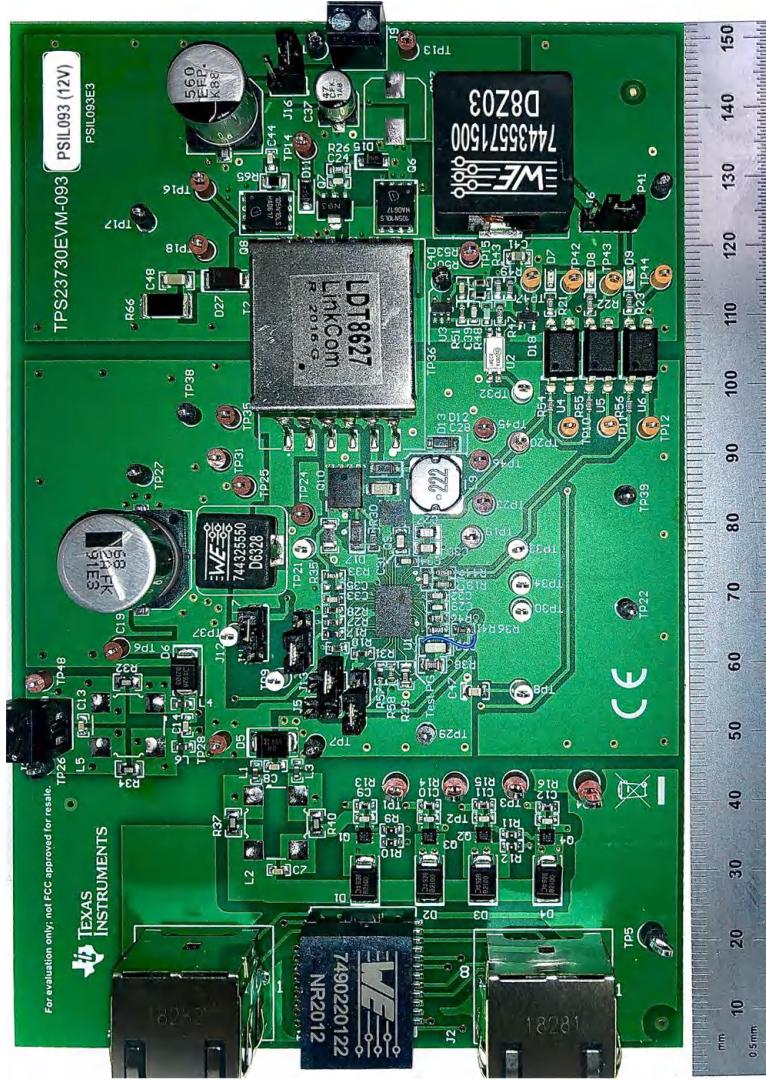


图 3-1. TIDA-050045 参考板 (顶部)

**表 3-1. 跳线和连接器表**

类型	标签	连接器/跳线	说明
输入	以太网电源	J1	数据变压器之后的数据输出
	以太网数据	J2	PoE 的输入连接器
	适配器输入	J3	37V 至 57V 输入。必须连接 J4 跳线才能启用适配器电力输送
PD 配置	APD 分频器	J4	启用以允许适配器电力输送
	PPD	J5	能够提供更低的输入电压启动功能*。范围约为 19V 至 32V。
	DTHR	J8	展频频率抖动控制
	EMPS	J9	自动 MPS 控制
	SCDIS	J10	TPL 串行代码设置
	TPL/TPH/BT 输出	J11	TPH/TPL/BT 输出控制
输出	V <sub>OUT</sub>	J6	设计的 5V 输出

## 3.2 测试和结果

本节介绍 TIDA-050045 板的测试设置和测试结果。

### 3.2.1 测试设置

跳线与连接器的配置如表 3-2 中所示。

表 3-2. TIDA 跳线和连接器配置

类型	标签	跳线/连接器	值
输入	以太网电源	J1	开路
	以太网数据	J2	电源的电压范围为 37V 至 57V
	适配器输入	J3	打开以进行 PoE 测试。连接到 37V 至 57V 电源，用于适配器测试
PD 配置	APD_Connect	J4	连接到引脚 2 和 3
	PPD	J5	开路
	DTHR	J8	连接
	EMPS	J9	连接
	SCDIS	J10	开路
	TPH/TPL/BT 输出	J11	连接到 LED 的引脚 1 和引脚 2
输出	V <sub>OUT</sub>	J11	连接到电子负载。满载时，电阻器负载为 0.1 Ω。

### 3.2.2 测试结果

以下部分提供了此设计的性能和测试结果。

#### 3.2.2.1 效率

图 3-2 显示了仅 PoE 和 DC/DC 在 48V 时的效率性能。

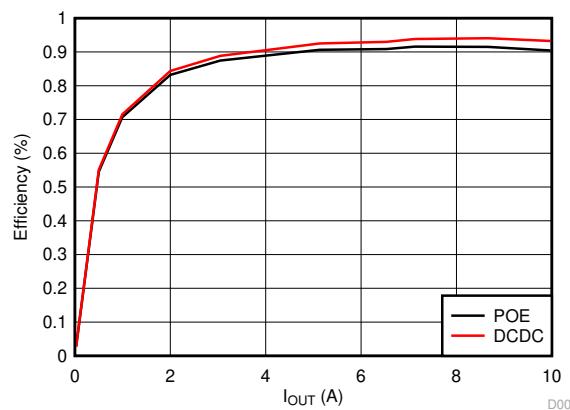


图 3-2. PoE 和 DC/DC 转换器的效率为 48V

### 3.2.2.2 控制环路增益/稳定性

下面列出了环路增益裕度、相位裕度和交叉频率以及满载时 48V 的波特图。

增益裕量 : -14.9dB

相位裕度 : 56.8°

交叉频率 : 16.6kHz

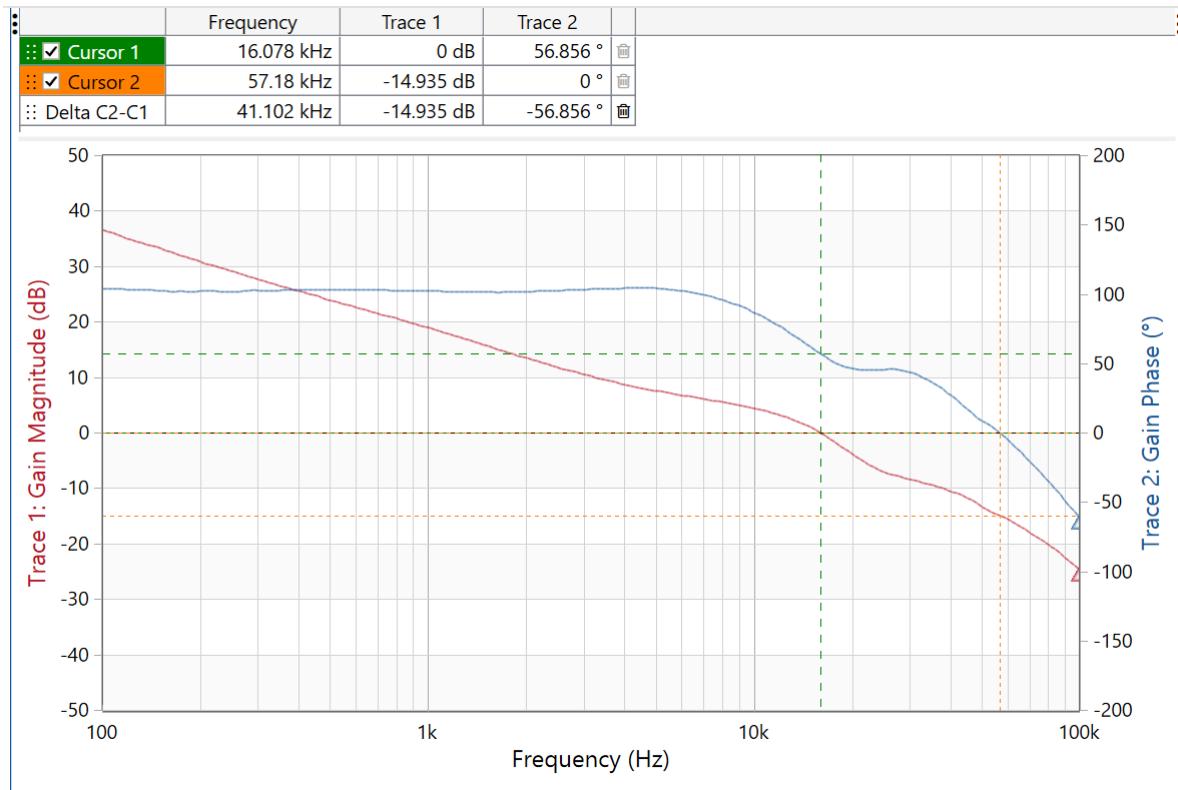


图 3-3. 48V 条件下的环路增益与相位裕度

### 3.2.2.3 负载瞬态

图 3-4 显示了当负载电流脉冲介于 1A 和 10A 之间时的 5V 输出电压 (J6)。J2 的输入电压为 48V。

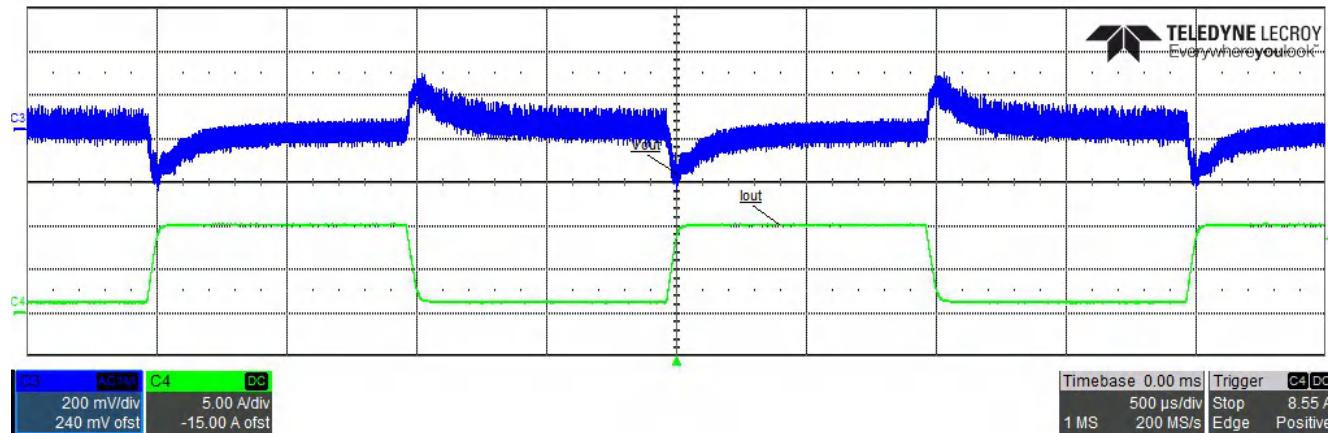


图 3-4. 1A 至 10A 负载阶跃、48V<sub>IN</sub>、200mV/div、500μs/div

图 3-5 显示了当负载电流脉冲介于 5A 和 10A 之间时的 5V 输出电压 (J6)。J2 的输入电压为 48V。

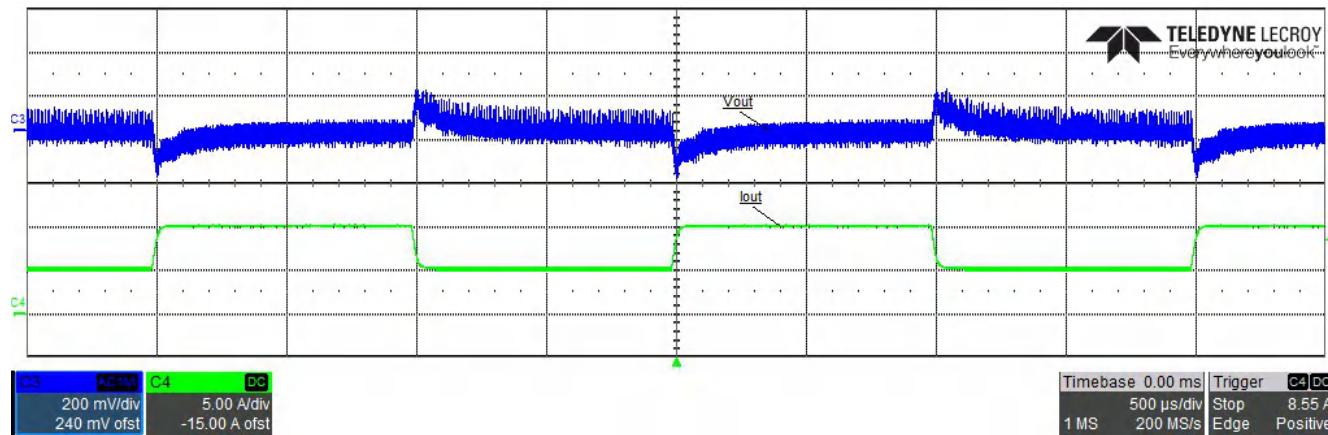


图 3-5. 5A 至 10A 负载阶跃、48V<sub>IN</sub>、200mV/div、500μs/div

### 3.2.2.4 输入和输出纹波

图 3-6 中所示的输入纹波和图 3-7 中所示的输出纹波是在 48V 输入电压 ( J2 处 ) 、 10A 输出负载 ( J6 处 ) 和无频带限制的条件下测量的。

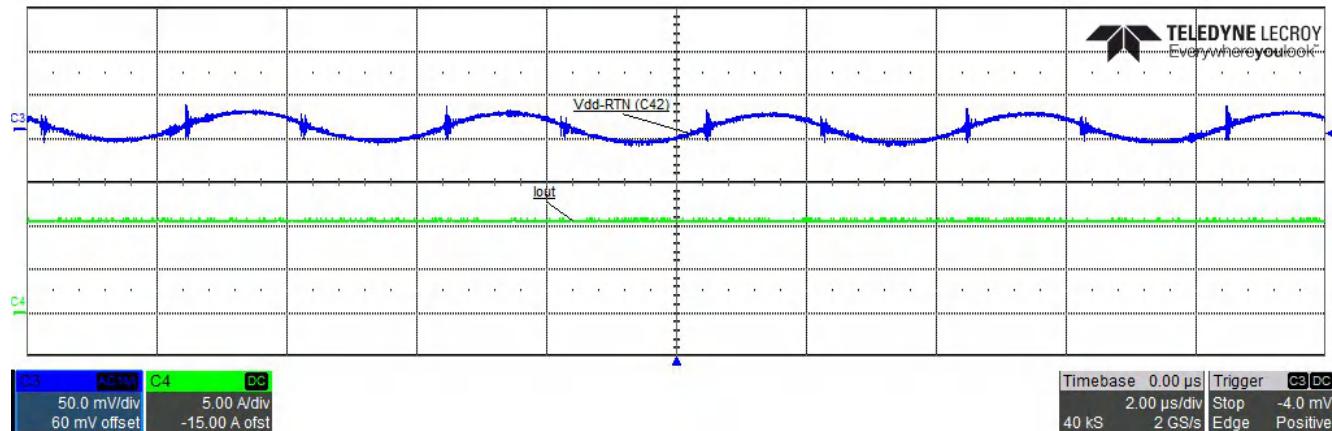


图 3-6. 输入纹波、50mV-div、2μs-div

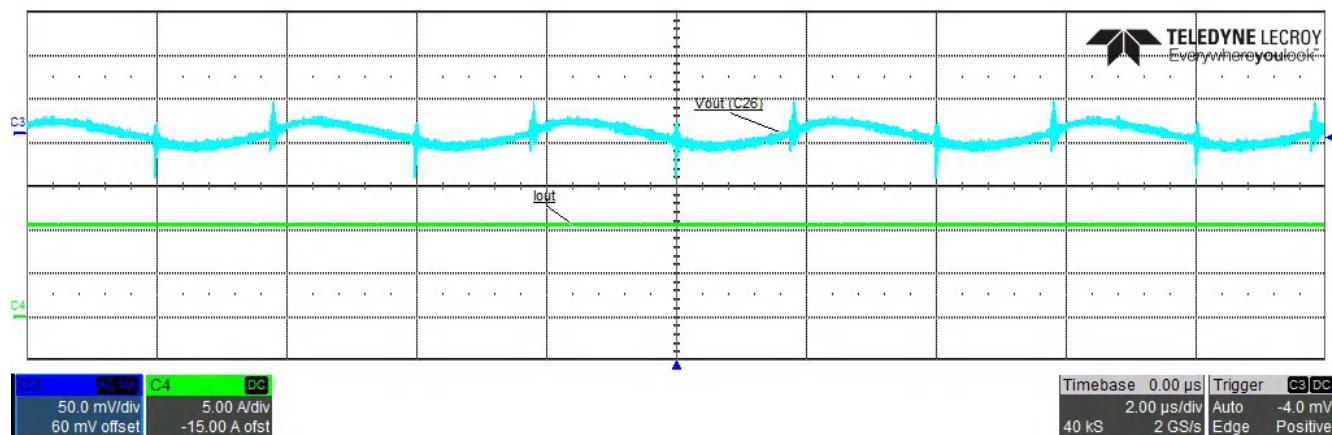


图 3-7. 5V 输出纹波、50mV-div、2μs-div

### 3.2.2.5 开关波形

图 3-8 展示了次级并联 MOSFET (Q6) 的  $V_{DS}$  电压，图 3-9 展示了 10A 负载下的初级同步 MOSFET (Q8)。输入电压为 48V。图 3-10 展示了初级开关 MOSFET (Q11) 的  $V_{DS}$  和  $V_{GS}$  电压，图 3-11 展示了 10A 负载下初级同步 MOSFET (Q10) 上的  $V_{DS}$  和  $V_{GS}$  电压。

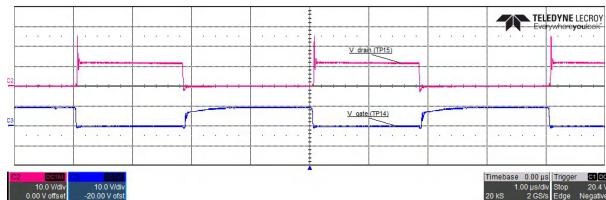


图 3-8. 次级并联 MOSFET 电压、10A 负载、50V/div、1μs div

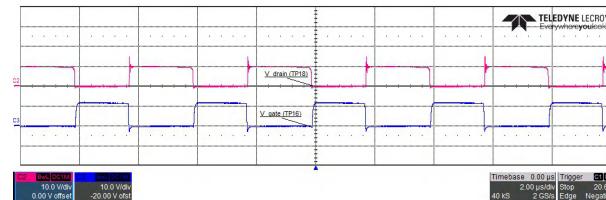


图 3-9. 次级串联 MOSFET 电压、10A 负载、50V/div、1μs div

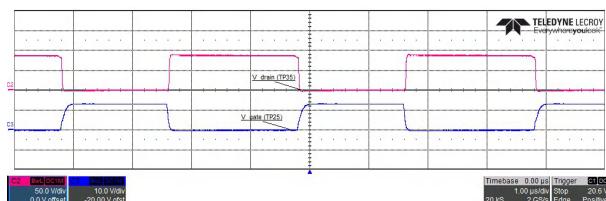


图 3-10. 初级 MOSFET 电压、10A 负载、50V-DIV、1μs-DIV

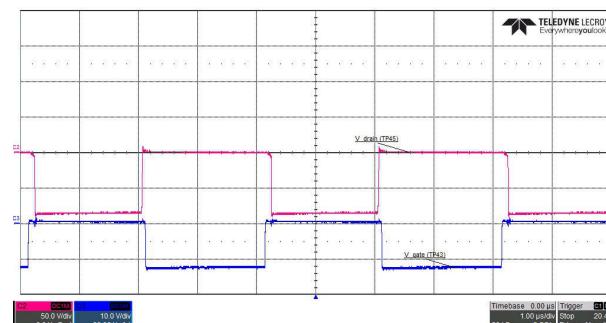


图 3-11. 主要同步 MOSFET 电压、10A 负载、50V-DIV、1μs-DIV

### 3.2.2.6 启动响应

图 3-12 和图 3-13 展示了在 PoE 输入 (J1) 上施加 48V 电压后的 5V 输出启动波形。输出加载到 10A 图 3-12 和 0A 图 3-13。两个波形都包括输出电压 (黄色)、VCC (粉色)、VOUT (蓝色) 和输出电流 (绿色)。

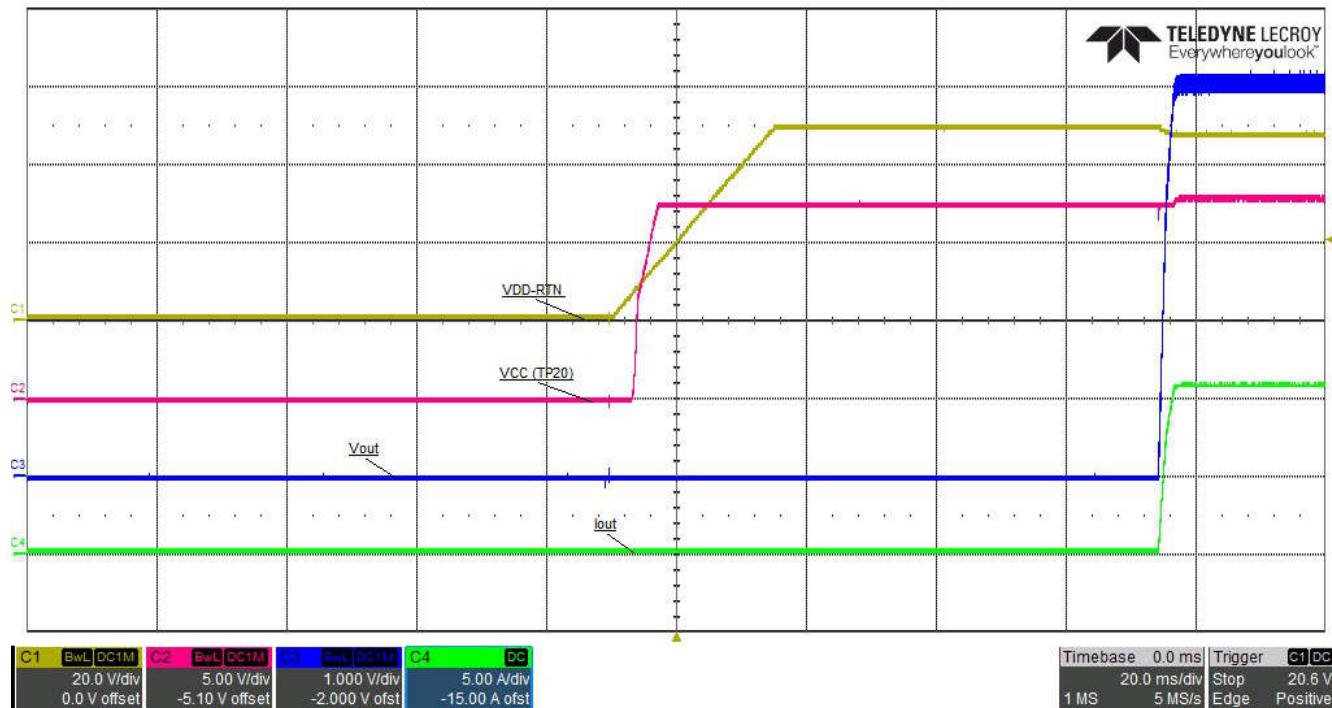


图 3-12. 10A 负载、20ms-div 条件下的启动波形

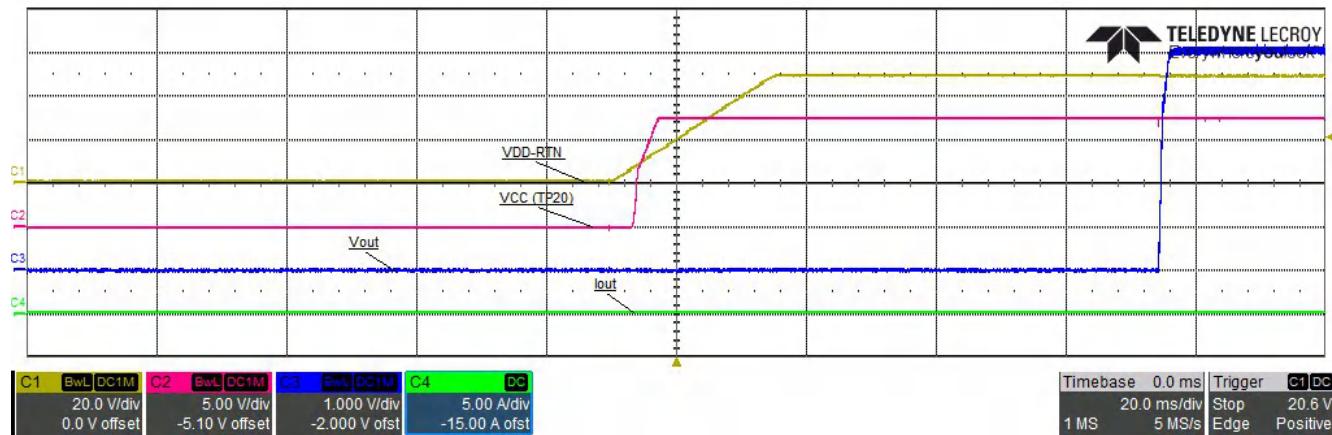


图 3-13. 0A 负载、20ms-div 条件下的启动波形

### 3.2.2.7 软停响应

TPS23730 具有软停特性，支持输出大容量电容的受控放电。更多信息，请参阅 SLVAEY9。图 3-14 和图 3-15 展示了移除输入电压后的 5V 输出波形。

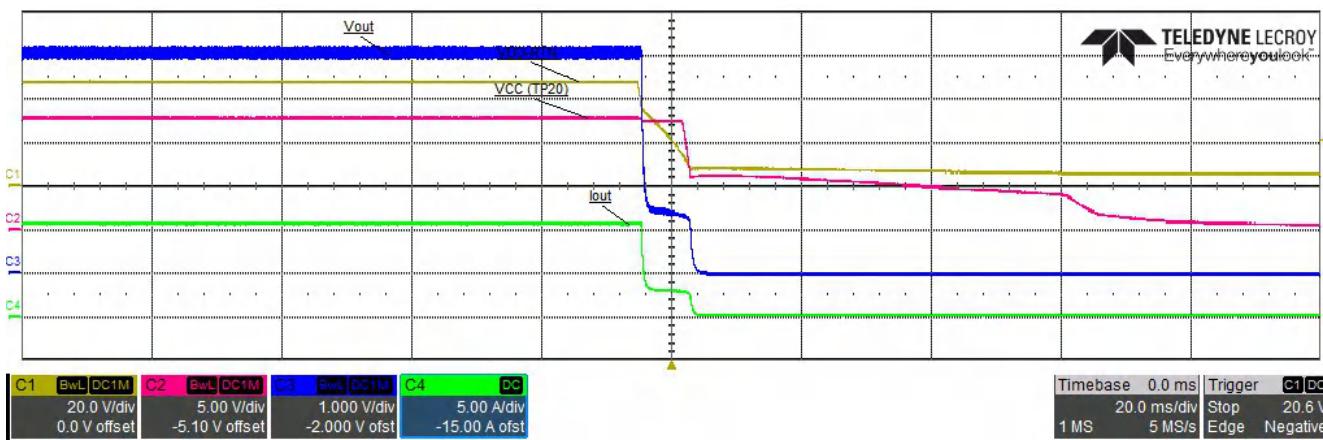


图 3-14. 关闭波形 10A 负载

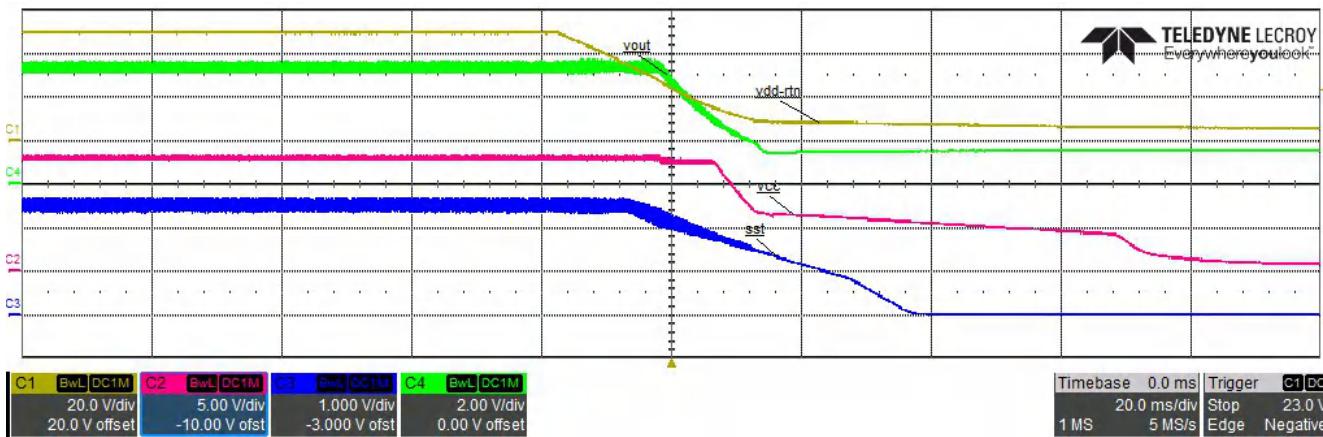


图 3-15. 关闭波形 0A 负载

图 3-16 和图 3-17 展示了关断期间的初级 MOSFET Q11

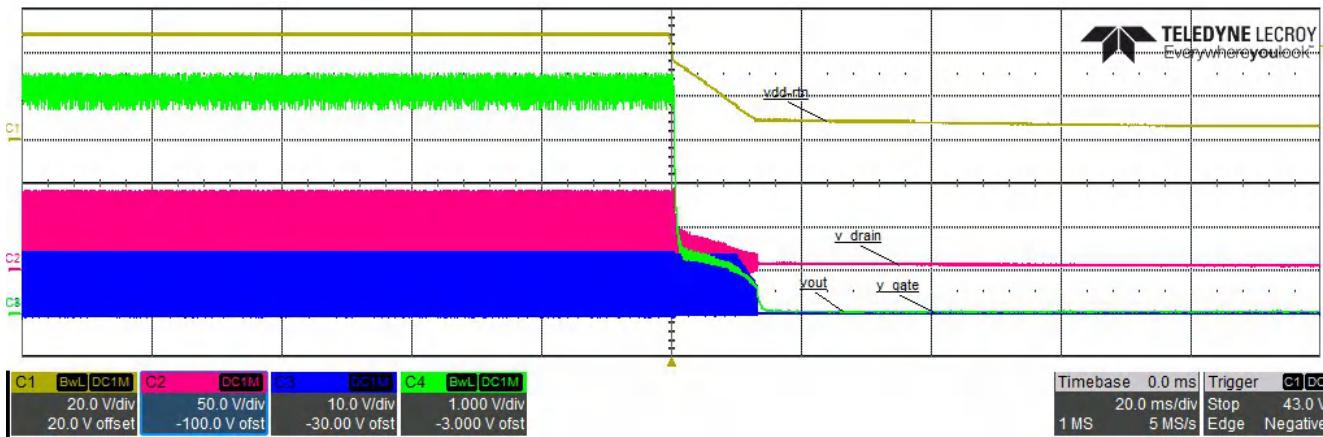


图 3-16. 初级 MOSFET 关闭波形，10A 负载

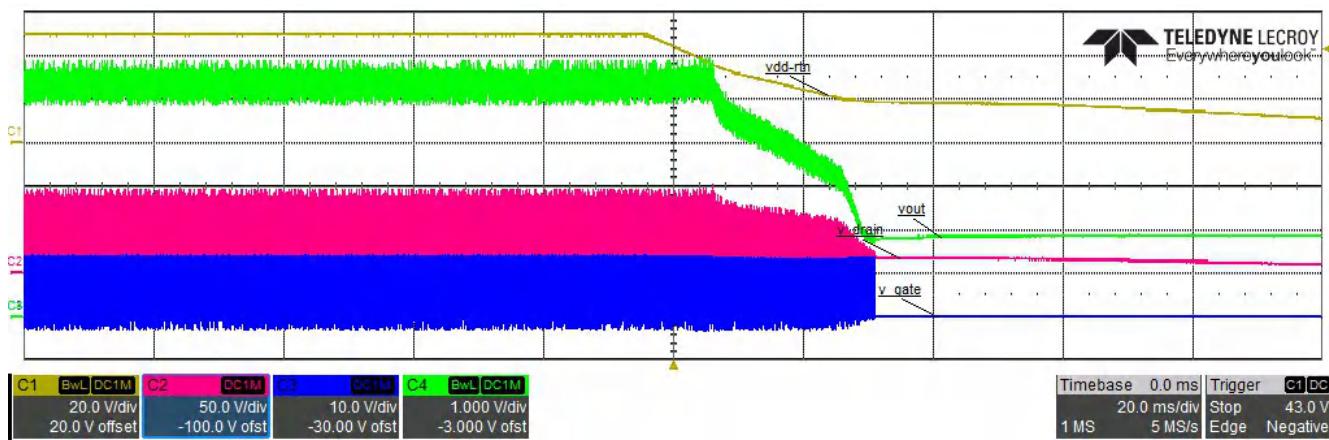


图 3-17. 初级 MOSFET 关闭波形，0A 负载

图 3-18 和图 3-19 展示了关断期间的初级同步 MOSFET Q10

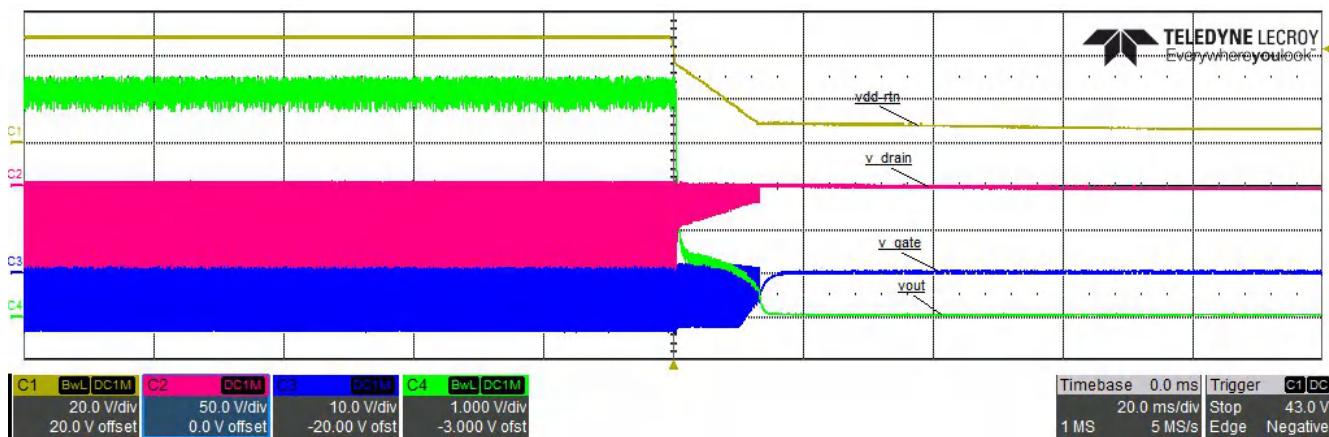


图 3-18. 同步 MOSFET 关闭波形，10A 负载

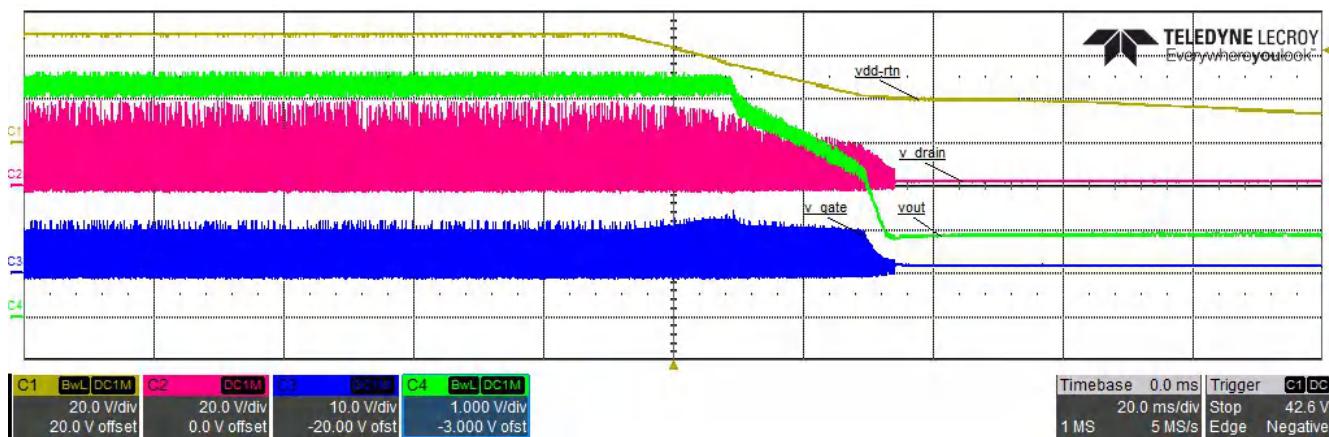


图 3-19. 同步 MOSFET 关闭波形，0A 负载

图 3-20 和图 3-21 展示了关断期间的次级串联 MOSFET Q8

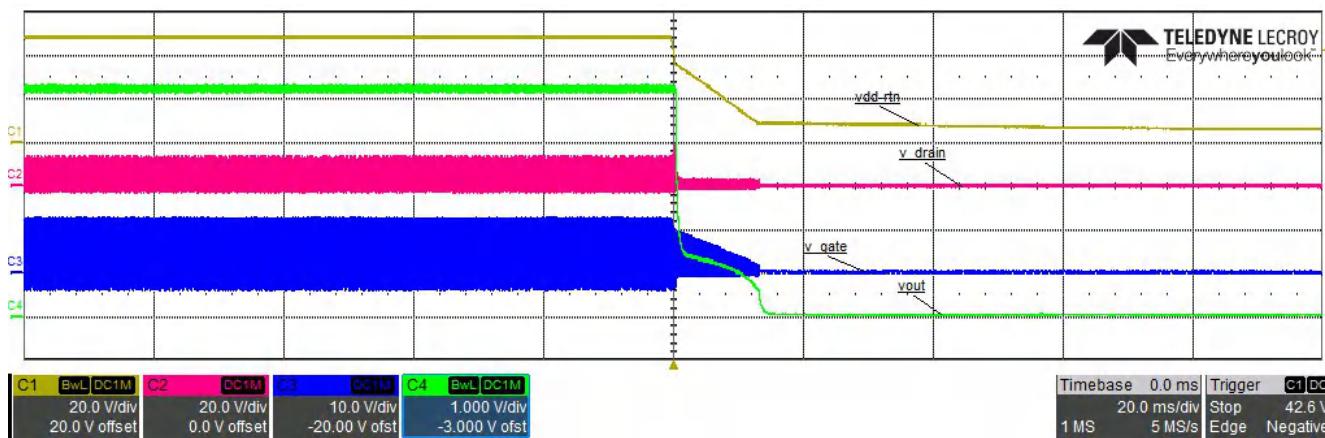


图 3-20. 次级串联 MOSFET 关闭波形，10A 负载

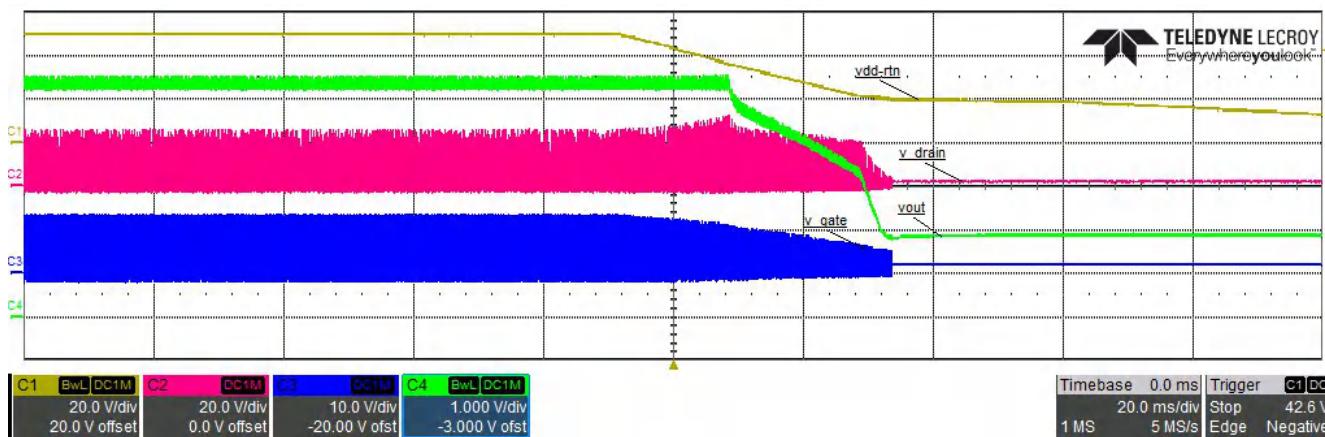


图 3-21. 次级串联 MOSFET 关闭波形，0A 负载

图 3-22 和图 3-23 展示了关断期间的次级并联 MOSFET Q6。

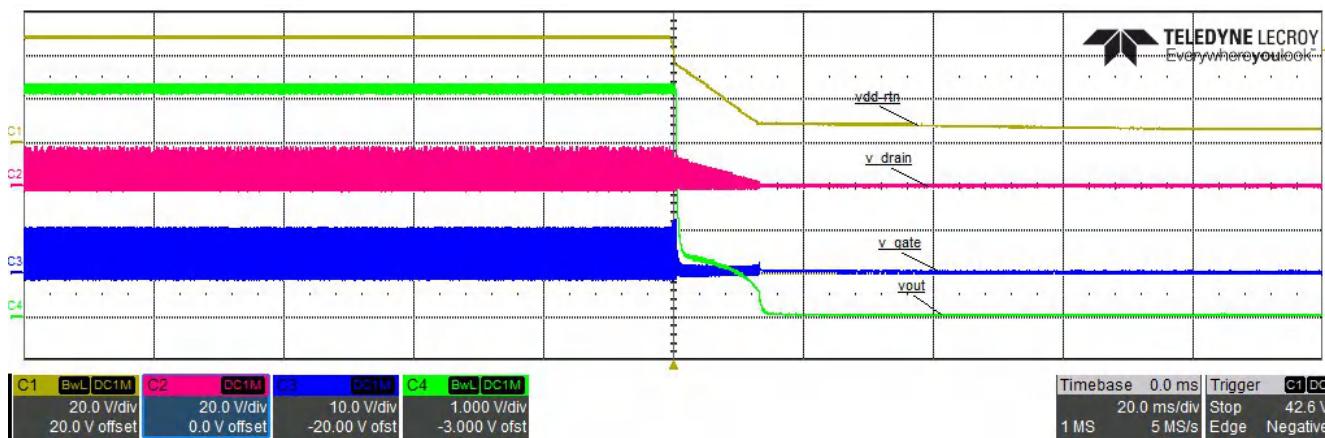


图 3-22. 次级并联 MOSFET 关闭波形，10A 负载

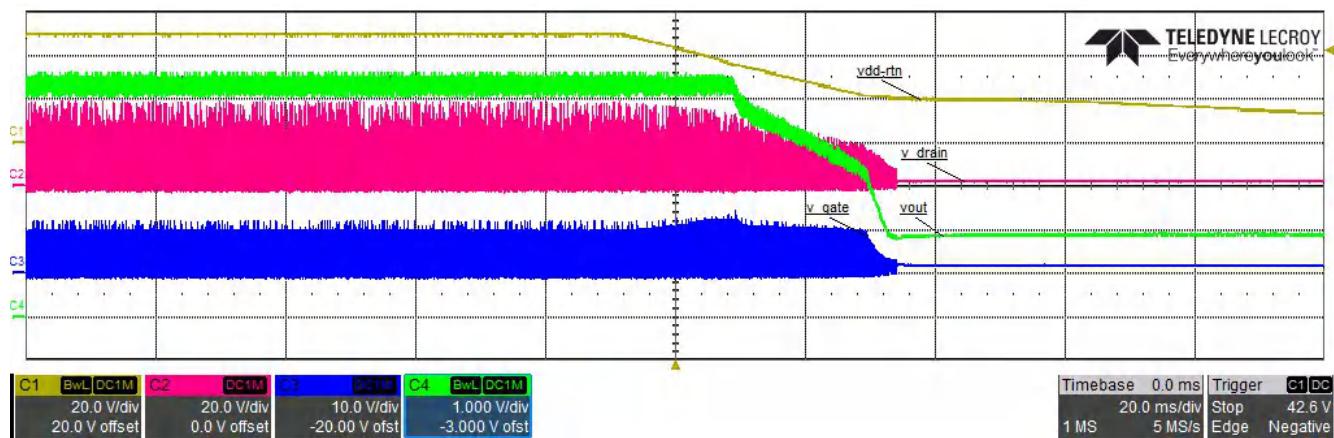


图 3-23. 次级并联 MOSFET 关断波形，0A 负载

### 3.2.2.8 输出短路响应

图 3-24 显示了系统对 5V 输出 (J6) 热短路的响应。输出电压 (黄色)、VCC (粉色)、VOUT (蓝色) 和输出电流 (绿色) 均如图 3-24 所示。

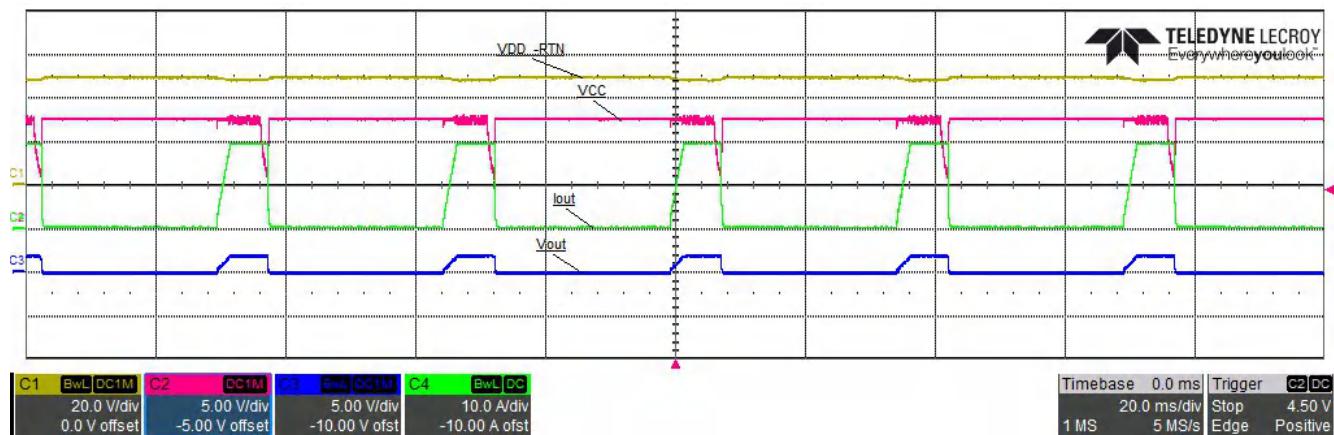


图 3-24. 短路断续响应、20ms/div

### 3.2.2.9 热性能

电路板顶部和电路板底部的热测量是在满 PoE 负载 (10A) 条件下进行的，

图 3-25 和图 3-26 展示了 10A 满 PoE 负载时产生的热性能。



图 3-25. 10A 负载、电路板顶部

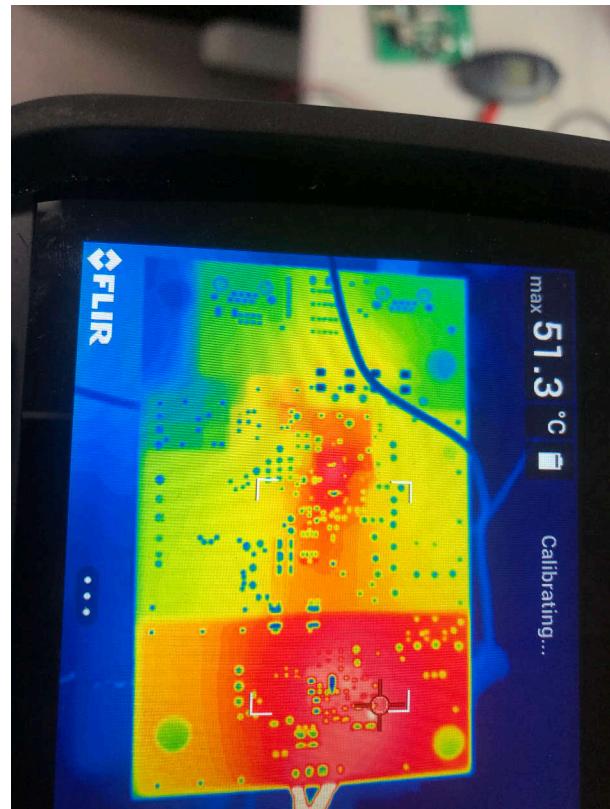


图 3-26. 10A 负载、电路板底部

## 4 设计文件

### 4.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-050045](#) 中的设计文件。

### 4.2 物料清单

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-050045](#) 中的设计文件。

### 4.3 PCB 布局建议

#### 4.3.1 布局图

要下载板层图，请参阅 [TIDA-050045](#) 中的设计文件。

### 4.4 Altium 工程

要下载 Altium Designer® 工程文件，请参阅 [TIDA-050045](#) 中的设计文件。

### 4.5 Gerber 文件

要下载 Gerber 文件，请参阅 [TIDA-050045](#) 的设计文件。

### 4.6 装配图

要下载装配图，请参阅 [TIDA-050045](#) 中的设计文件。

## 5 相关文档

- 德州仪器 (TI)，[具有高效 DC-DC 控制器的 TPS23730 IEEE 802.3bt 3 型 PoE PD 数据表](#)
- 德州仪器 (TI)，[TLV431x 低电压可调节精密并联稳压器数据表](#)

### 5.1 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

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

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 6 术语

<b>PD</b>	供电设备
<b>PSE</b>	电源设备
<b>PoE</b>	以太网供电

## 7 作者简介

Michael Pahl 是 Texas Instruments 电源开关、接口和照明业务部的应用工程师。Michael 在俄克拉荷马大学获得了电气工程学士学位，并在同一所大学获得了电气和计算机工程硕士学位。

## 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、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 © 2025 , 德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期 : 2025 年 10 月