Application Note

使用 TPSI3052 保护 PFC 并实现高性能的直流输入

Joy Cho

摘要

数据中心或企业服务器开关模式电源通常采用图腾柱无桥功率因数校正 (PFC) 模块，使用数字实现而不是模拟实现，以提升效率并缩小解决方案尺寸和占用空间。本应用手册介绍了如何使用 TPSI3052 配置电路，从而保护 PFC 并在直流输入下实现更高的效率。这可在设计中进一步降低功率损耗并缓解热问题。本文介绍了一个简单的外部电路，并详述了其工作原理。测试结果表明，这能有效解决直流输入下电流引起的发热和效率降低问题。

内容

1 简介.....2
2 使用固态继电器作为隔离式 15V 电源.....2
3 应用接通开关的图腾柱 PFC 拓扑.....3
4 在高侧和低侧驱动 PFC 慢速开关的原始实现方案.....4
5 实现在高侧和低侧驱动 PFC 慢速开关的性能.....5
6 高侧实现方案前后的测试结果比较.....6
7 总结.....7
8 参考资料.....7

插图清单

图 2-1. TPSI3052 简化原理图.....2
图 3-1. 图腾柱 PFC 基本电路结构.....3
图 4-1. 在高侧 (Q1) 运行 PFC 慢速开关的传统电路.....4
图 5-1. 改进在高侧 (Q1) 运行 PFC 慢速开关的附加电路.....5
图 6-1. 在高侧 (Q1) 运行 PFC 慢速开关的原始电路波形.....6
图 6-2. 在高侧 (Q1) 运行 PFC 慢速开关的应用电路波形.....7

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

English Document: SDAA026
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

1 简介

服务器电源 SMPS 模块不仅必须能够在交流输入电压下正常运行，还必须能够在直流输入电压（电池电源）下正常运行。施加直流输入电压时，极性有时会反转（带电端子 (-) 电压，中性端子 (+) 电压）。在这种情况下，慢速开关高侧 FET 导通，但现有电荷泵电路无法生成 VDD 电压（不会切换，因为它以相反直流输入为基准），因此高侧 FET 无法导通。电流流向寄生二极管，会导致发热和效率降低。因此，需要进行适当的 IC 和外部电路设计以确保稳定运行。

2 使用固态继电器作为隔离式 15V 电源

TPSI3052 是一款具有集成偏置、完全集成的隔离式开关驱动器，与外部电源开关结合使用时，可构成完整的隔离式固态继电器实现方案。当标称栅极驱动电压为 15V，且峰值拉电流和灌电流为 1.5A 和 3.0A 时，可以选择多种外部电源开关（例如 MOSFET、IGBT 或 SCR）来满足各种应用需求。TPSI3052 可通过初级侧电源自行产生次级偏置电源，因此无需隔离式次级电源偏置。在本例中，TPSI3052 不用于固态继电器，而是用作低成本隔离式偏置电源，以生成悬空 15V 输出。

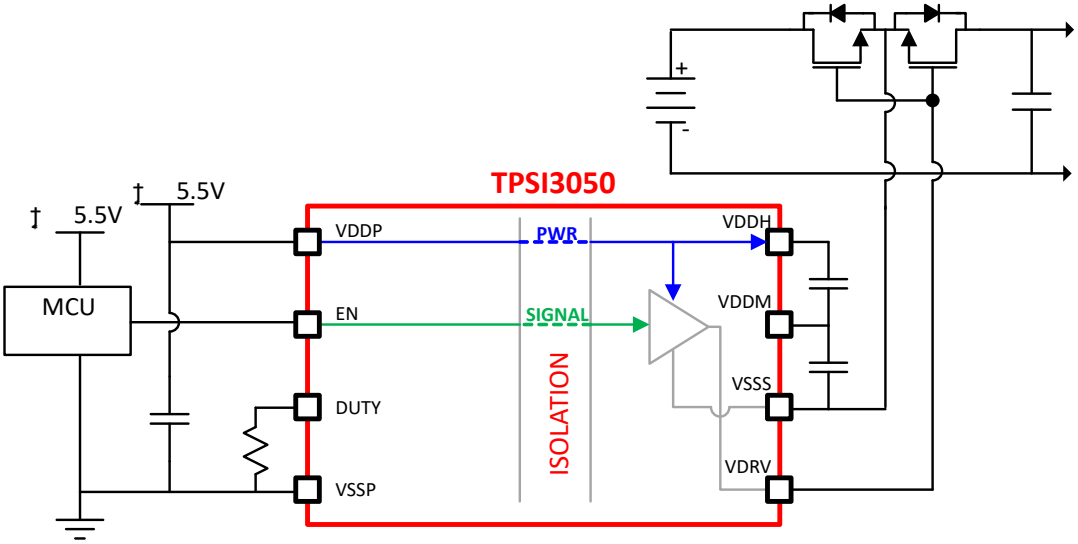


图 2-1. TPSI3052 简化原理图

English Document: SDAA026
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

3 应用接通开关的图腾柱 PFC 拓扑

图 3-1 展示了一种基本图腾柱 PFC 结构。请注意，Q3、Q4 和电感器由升压转换器组成。根据 VAC 极性，Q3 和 Q4 交替用作 PFC 主开关或同步开关。在正 VAC 周期内，Q4 是主开关，而 Q3 用作同步 FET。Q3 和 Q4 的驱动信号是互补的：Q4 由控制环路中的占空比 (D) 控制，而 Q3 由 1 – D 控制。在负 VAC 周期内，Q4 和 Q3 的功能交换，其中 Q3 成为主开关，Q4 用作同步 FET。Q3 和 Q4 的驱动信号仍然互补，但 Q3 现在由 D 控制，而 Q4 由 1 – D 控制。由于反向恢复问题，不能在连续导通模式 (CCM) 图腾柱 PFC 中使用常规 MOSFET，因此 Q3 和 Q4 需采用氮化镓 (GaN) FET，这些器件没有反向恢复。Q1 和 Q2 二极管与常规 MOSFET 并联，以进一步提升效率。

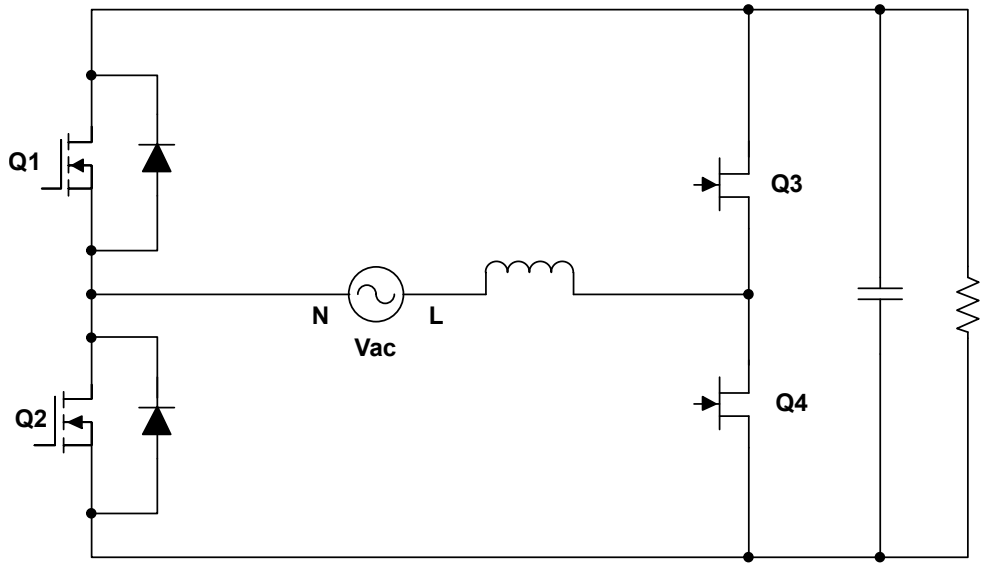


图 3-1. 图腾柱 PFC 基本电路结构

English Document: SDAA026
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

4 在高侧和低侧驱动 PFC 慢速开关的原始实现方案

当施加直流输入电压且极性反转（带电端子 (-) 电压，中性端子 (+) 电压）时，慢速开关高侧 FET 导通，但现有电荷泵电路不会生成 VDD 电压。由于这是直流输入，不会切换，因此高侧 FET 无法导通，并且电流会流向寄生二极管，从而导致发热和效率降低。

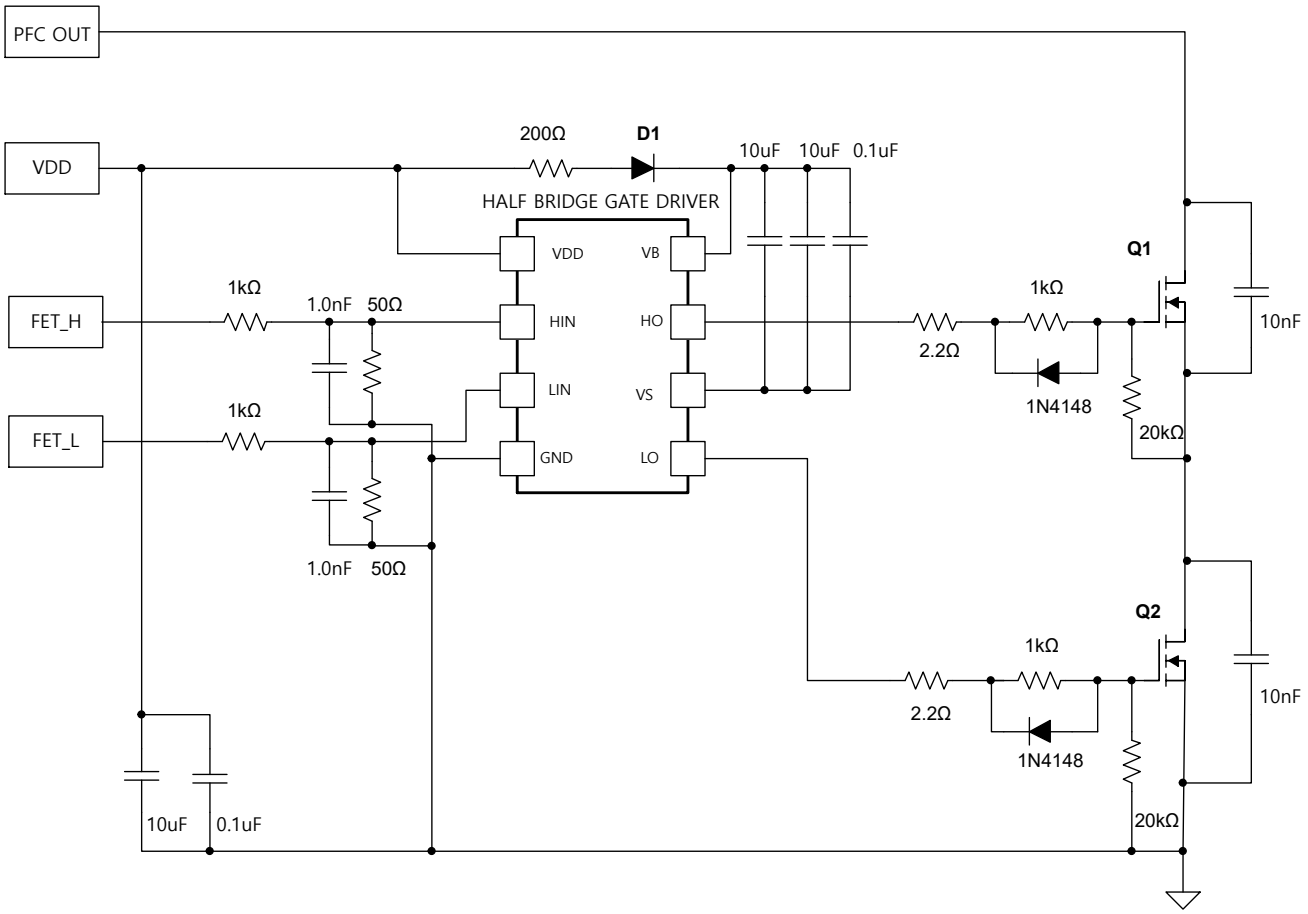


图 4-1. 在高侧 (Q1) 运行 PFC 慢速开关的传统电路

English Document: SDAA026
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

5 实现在高侧和低侧驱动 PFC 慢速开关的性能

为了提高交流输入电压以及直流输入电压或电池电压的驱动能力，使用 TPSI3052 生成驱动器 IC 高侧的 VDD。即使 FET 是直流输入，也可以驱动高侧 FET，电路配置如 图 5-1 所示。

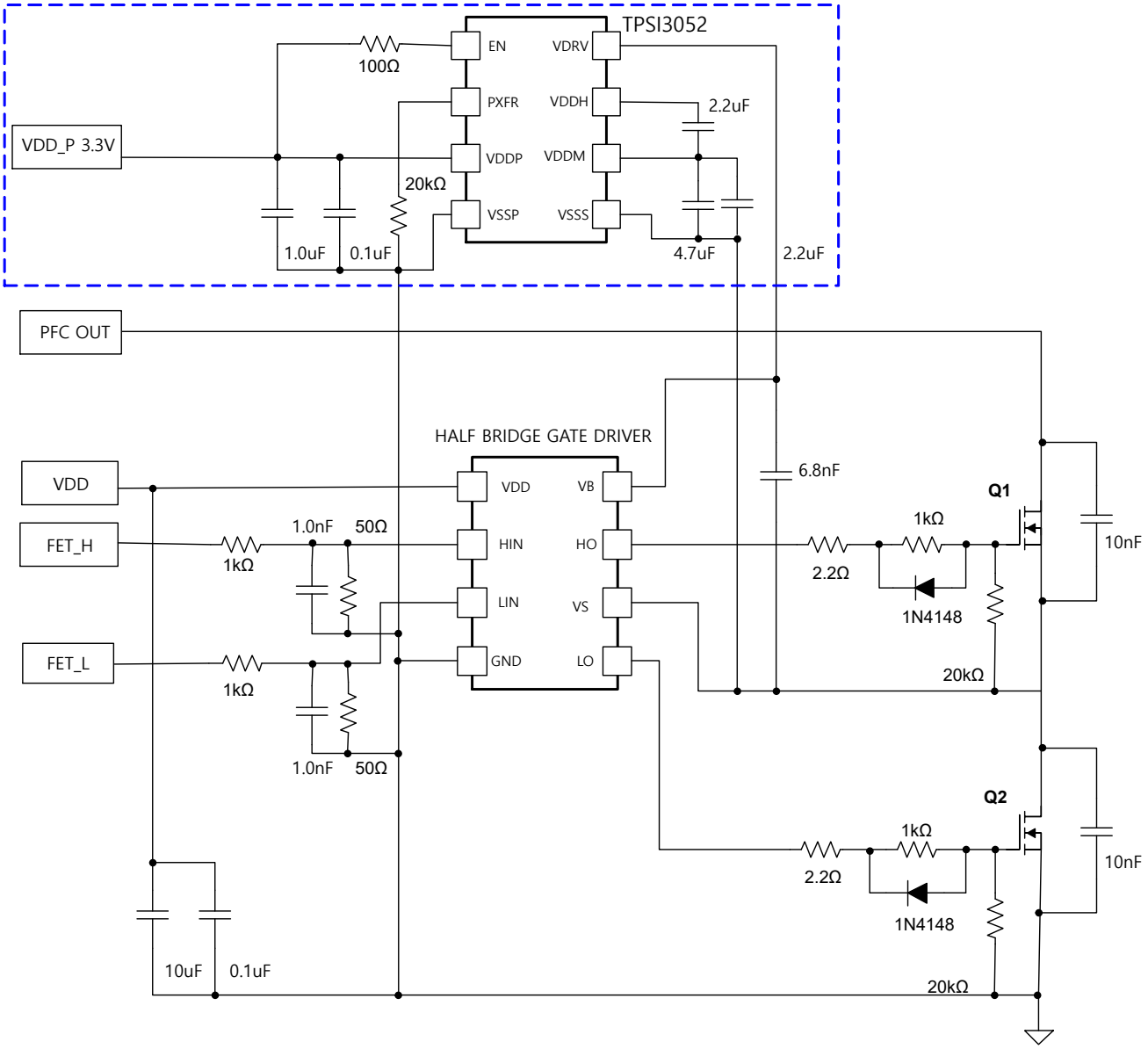
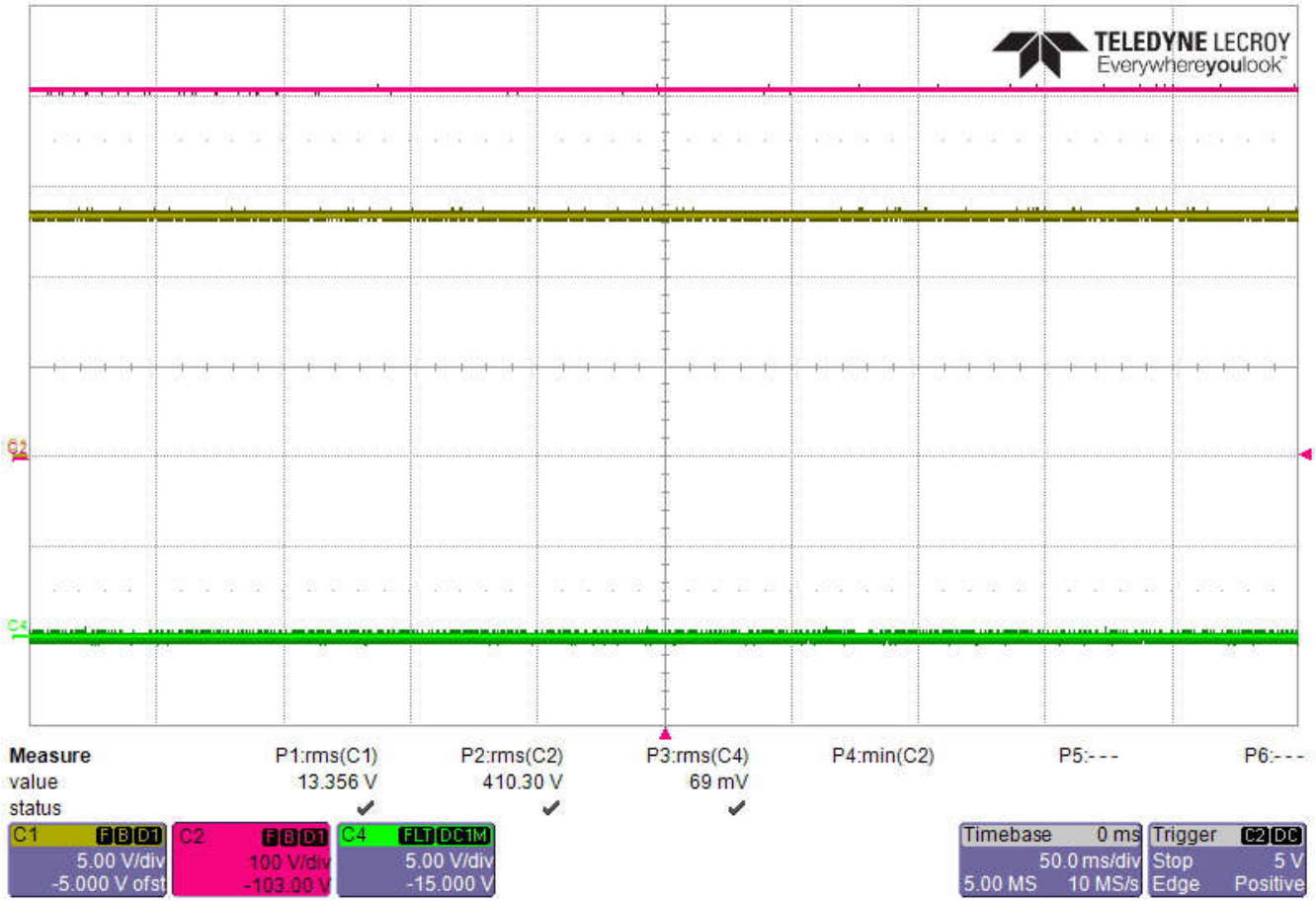


图 5-1. 改进在高侧 (Q1) 运行 PFC 慢速开关的附加电路

English Document: SDAA026
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

6 高侧实现方案前后的测试结果比较

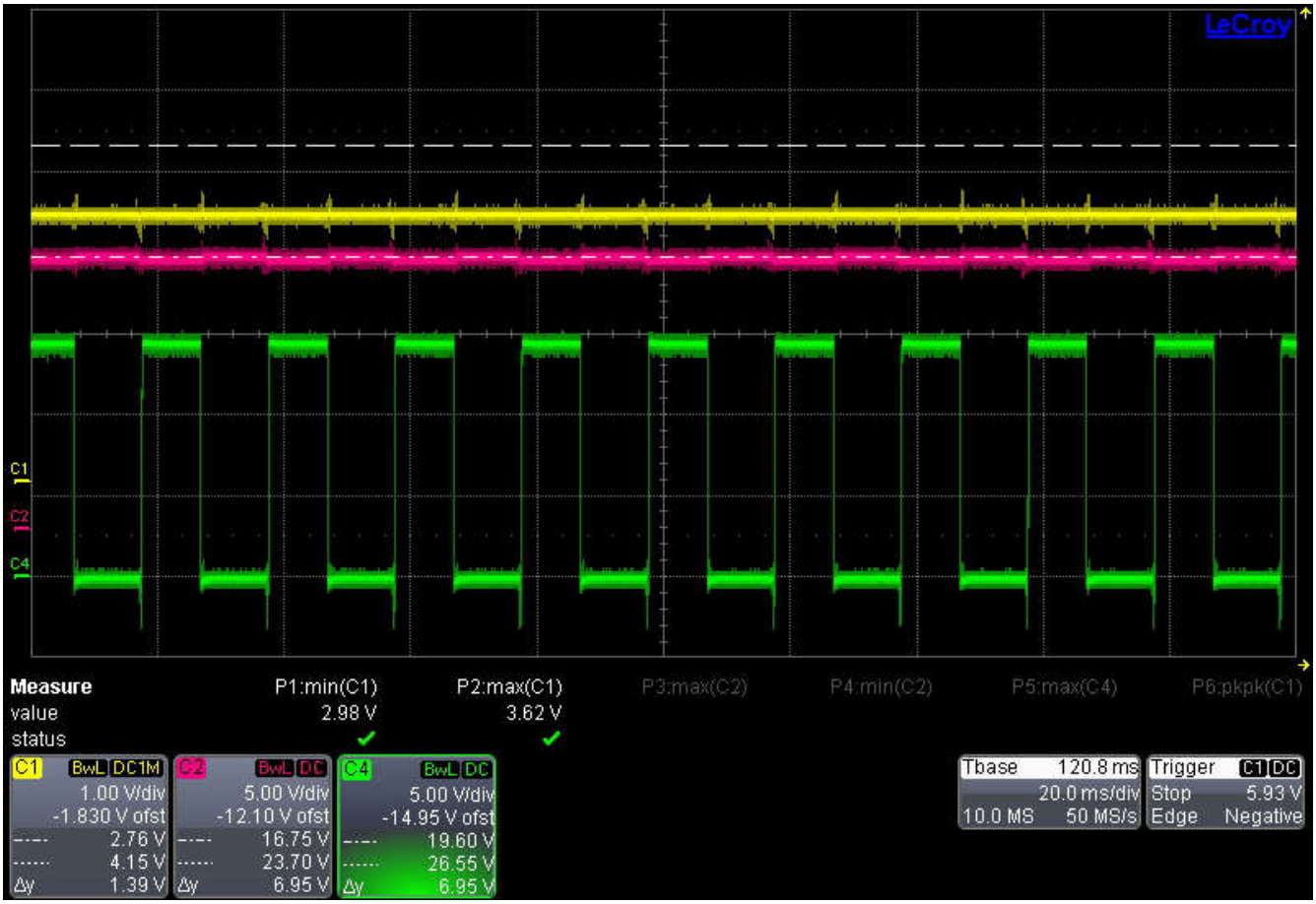
图 6-1 是导致问题的变化之前的波形。添加并运行改进的电路后，高侧 FET (Q1) 正常工作，如 图 6-2 所示。整个系统正常运行，温度和效率得到提高。



A. 通道 1（黄色）：VCC_P，通道 2（红色）：VB 引脚，通道 4（绿色）：PFC 低侧 Vgs

图 6-1. 在高侧 (Q1) 运行 PFC 慢速开关的原始电路波形

English Document: SDAA026
Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated



A. 通道 1（黄色）：3.3V 输入，通道 2（红色）：Vdrv 引脚，通道 4（绿色）：PFC 低侧 Vgs

图 6-2. 在高侧 (Q1) 运行 PFC 慢速开关的应用电路波形

7 总结

本应用手册介绍了如何实现直流输入电压（电池）运行，以及如何解决直流输入电压极性反转（带电端子 (-) 电压，中性端子 (+) 电压）时的问题。使用 TPSI3052 生成驱动器 IC 高侧的 VDD。即使采用直流输入，高侧 FET 也能正常工作。

8 参考资料

1. 德州仪器 (TI)，TPSI3052 具有集成 15V 栅极电源的隔离式开关驱动器 数据表
2. 德州仪器 (TI)，图腾柱 PFC 中的控制挑战，模拟设计期刊

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