

Ritesh Oza, Aaron Grgurich, Mamadou Diallo

### 摘要

我们周围的几乎所有事物都在快速实现电气化，其中大幅实现电气化发展的包括以下常见的行业和应用：

- 电动汽车
- 可再生能源
- 电信系统
- 数据通信/服务器系统
- 消费类电子产品
- 工业电子学

随着这些应用的功率需求不断增加，电路板上的可用空间不断减少。对于当今的电源设计工程师来说，小型化、功率密度和效率是现实面临的新问题。在转换器的整个生命周期中实现可靠性也至关重要。这意味着，设计到这些转换器中的元件也需要具有稳健性。这些转换器中大多数的工作环境温度范围为  $-40^{\circ}\text{C}$  至  $85^{\circ}\text{C}$ 。因此，印刷电路板 (PCB) 温度和元件温度可能会更高。

我们将讨论选择开关电源栅极驱动器时要考虑的设计参数及其如何影响关键性能指标。通过使用直流/直流转换器的测试结果，我们将展示 TI 的全新低侧栅极驱动器 UCC27614 如何帮助实现更高的效率、更高的功率密度和更高的系统稳健性。

### 内容

1 密度.....	2
2 宽电源电压范围.....	3
3 栅极驱动关键环路.....	4
4 效率和开关性能.....	5
5 400V 至 12V 直流/直流转换器中的 UCC27614.....	6
6 总结.....	7
7 参考文献.....	7

### 插图清单

图 1-1. UCC27614 (2mm x 2mm) 布局示例.....	2
图 1-2. MSOP (5mm x 3mm) 驱动器布局示例.....	2
图 2-1. 峰值拉电流与 $V_{DD}$ 间的关系.....	3
图 2-2. 峰值灌电流与 $V_{DD}$ 间的关系.....	3
图 3-1. $C_{Load} = 1.8\text{nF}$ 、 $V_{DD} = 12\text{V}$ 且 $f_{sw} = 6\text{MHz}$ 时的外壳温度.....	4
图 4-1. 在整个温度范围内，12V 和 100nF 负载时的拉电流和灌电流.....	5
图 5-1. 具有次级侧同步整流的简化相移全桥转换器.....	6
图 5-2. 转换器输入、转换器输出、栅极驱动波形和 MOSFET 漏源电压.....	6
图 5-3. 转换器电压输出、转换器电流输出、栅极驱动波形和 MOSFET 漏源电压.....	6

### 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 密度

现代电源转换器模块以极小的尺寸提供高功率。例如，电源模块（如 1/4 砖型包）可提供超过 800W 的功率，8 砖型包超过 600W，16 砖型包 400W。栅极驱动器等电子元件需要通过提供小封装尺寸来适应功率密度增加的趋势。解决方案尺寸对比如表 1-1 所示。

UCC27614 栅极驱动器有助于更大限度减小电路板栅极驱动部分的 PCB 面积，具体方法是在使用更小封装 (2mm x 2mm) 的同时，实现与常用双通道低侧栅极驱动器相同或更高的驱动电流 (10A) 能力。栅极驱动器通常用于需要驱动多个 MOSFET 的应用，例如同步整流器。使用两个 UCC27614 的解决方案尺寸小于单个 IC 双通道解决方案。这种解决方案尺寸优势使设计人员能够提高驱动强度、使用更少的空间并优化 PCB 布局。

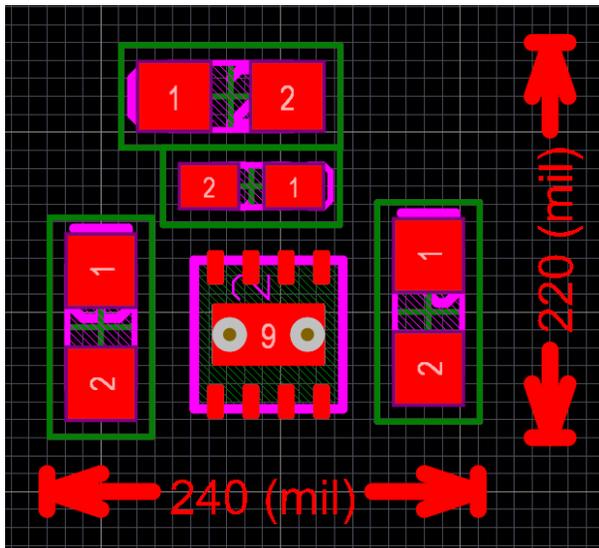


图 1-1. UCC27614 (2mm x 2mm) 布局示例

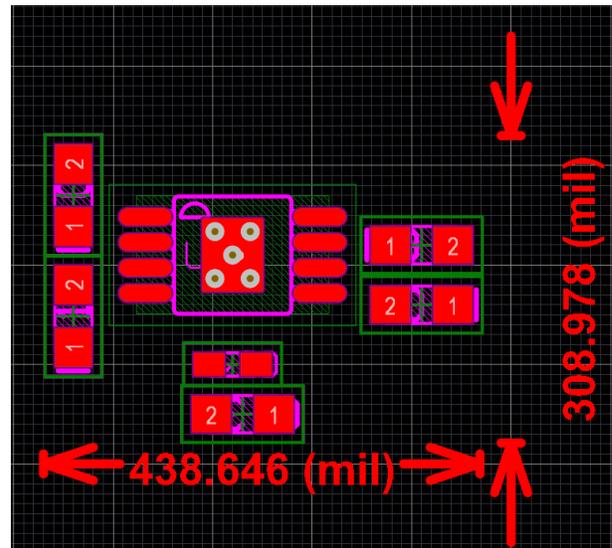


图 1-2. MSOP (5mm x 3mm) 驱动器布局示例

### 备注

240mil = 6.1mm，220mil = 5.6mm，438mil = 11.1mm 且 309mil = 7.85mm

图 1-1 和图 1-2 显示了 UCC27614 和常用的 MSOP (5mm x 3mm) 双通道低侧驱动器（使用带有单个栅极电阻器和 2 个去耦电容器的简化栅极驱动电路）之间的 PCB 面积比较。由于同步整流需要 2 个通道，因此 UCC27614 解决方案使用 2 个 IC，总解决方案尺寸为 68.13mm<sup>2</sup>，而双通道解决方案实现的尺寸为 87.44mm<sup>2</sup>。表 1-1 中总结了解决方案总尺寸，其中 2 个 UCC27614 IC 使解决方案尺寸减小 22.1%。

表 1-1. 与传统双通道驱动器相比 UCC27614 的解决方案尺寸优势

	UCC27614	双通道低侧驱动器
IC 总数	2	1
IC 封装	2mm x 2mm	5mm x 3mm
最大工作电压	30V	26V
峰值脉冲电流	10A	5A
解决方案尺寸	2 x 6.1mm x 5.6mm	1 x 11.1mm x 7.85mm
解决方案总尺寸	68.32mm <sup>2</sup>	87.14mm <sup>2</sup>

该布局在以理想方式驱动 MOSFET 等开关功率器件方面发挥着重要作用。当栅极驱动器远离 MOSFET 时，寄生元件（例如环路电感）的值会增加。这种增加的环路电感会导致高频噪声。由于这种高频噪声，系统可能需要额外的缓冲器组件或更大的 EMI 滤波器。在最坏的情况下，这种高频噪声可能会对元件造成过度应力 and 损坏。UCC27614 尺寸小，因此可放置在非常靠近功率 MOSFET 的位置，有助于避免大多数布局相关问题。

## 2 宽电源电压范围

UCC27614 的宽电源电压范围（4.5V 至 26V）经过优化，可拉/灌入高峰值电流，以驱动高栅极电荷 MOSFET，如图 2-1 和图 2-2 所示。UCC27614 的宽驱动电压和高峰值电流也有利于驱动具有比 Si MOSFET 更高的阈值电压和更大栅极电容的 IGBT。26V 最大建议工作电压可在快速开关应用中提供足够的裕度，来应对栅极驱动环路中的高 di/dt 以及 PCB 布线中的寄生电感所导致的瞬变。

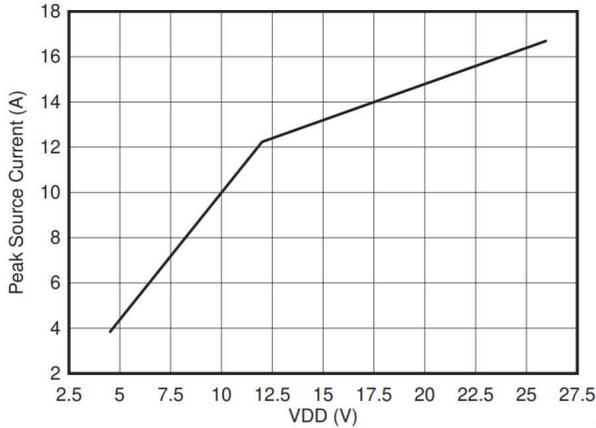


图 2-1. 峰值拉电流与  $V_{DD}$  间的关系

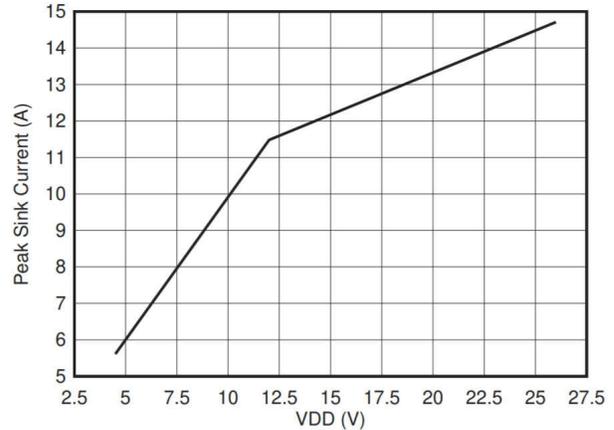


图 2-2. 峰值灌电流与  $V_{DD}$  间的关系

### 3 栅极驱动关键环路

如前所述，栅极驱动器需要尽可能靠近开关功率器件（例如 MOSFET）放置，以实现卓越性能。这些开关电源器件通常在比环境温度高得多的温度下运行，并且通常接近其限值（例如 140C）。因此，栅极驱动器还必须能够在这些较高的环境工作温度下运行。

输出级的较低导通电阻和 UCC27614 的散热焊盘有助于实现 -40C 至 150C 的宽热运行时段。UCC27614 不仅可在极高的开关频率（例如 6MHz）下提供出色的开关性能，而且还能很好地保持在建议的结温范围内，如图 3-1 所示。

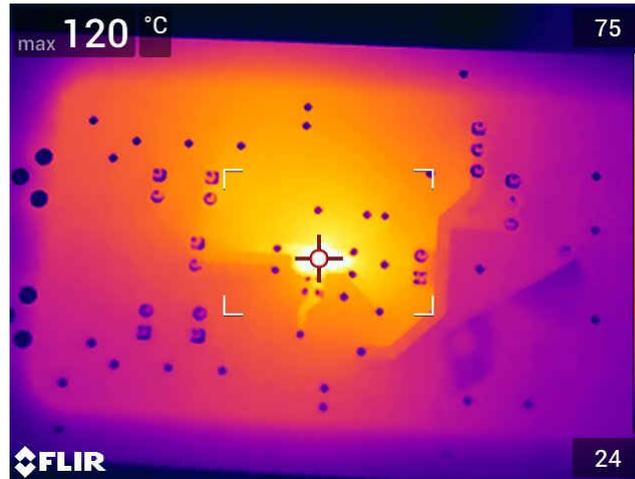


图 3-1.  $C_{Load} = 1.8nF$ 、 $V_{DD} = 12V$  且  $f_{sw} = 6MHz$  时的外壳温度

## 4 效率和开关性能

例如，如果栅极电荷为 156nC 的 MOSFET 需要在 20ns 内导通和关断，则栅极驱动器需要提供 7.8A 的峰值拉电流和灌电流，如方程式 1 所示。

$$\frac{dQ}{dt} = C \times \frac{dV}{dt} = I_{pk} = \frac{152nC}{20ns} = 7.6A \quad (1)$$

UCC27614 即使在 150°C 的结温下也能提供 10A 电流，如图 4-1 所示。整个温度范围内的高驱动强度使驱动器 IC 能够始终如一地提供快速稳定的上升/下降时间，从而确保无论结温如何，FET 上的损耗都非常低。

由于这些应用中的功率 MOSFET 在高外壳温度下运行，因此栅极驱动器需要在任何温度下提供足够的驱动电流，以便更大限度地缩短开关 MOSFET 的上升和下降时间。更快的上升和下降时间使得 MOSFET 能够在更短的时间内处于欧姆区域，并更快地进入饱和区域，从而减少晶体管中的电阻损耗。此外，还应该更大限度地减少栅极驱动器的传播延迟，以便优化死区时间，从而降低损耗和提高效率。

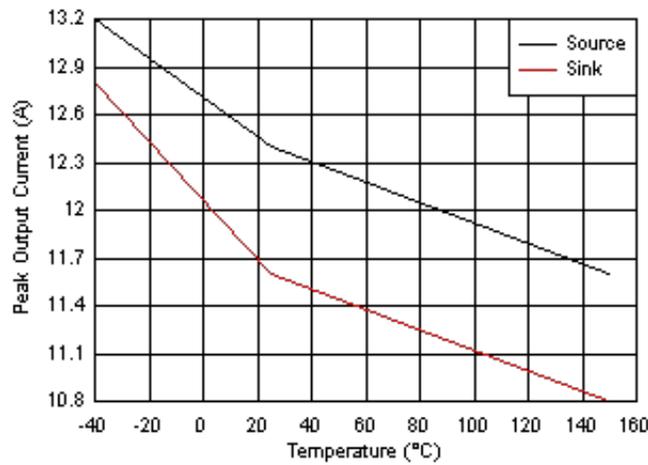


图 4-1. 在整个温度范围内，12V 和 100nF 负载时的拉电流和灌电流

## 5 400V 至 12V 直流/直流转换器中的 UCC27614

图 5-1 显示了 PSFB 电路的简化方框图，其中 MOSFET Q1、Q2、Q3 和 Q4 在变压器 T2 初级侧形成相移全桥。Q1 和 Q4 以 50% 的占空比和彼此之间 180 度的相位差进行切换。同样，Q2 和 Q3 以 50% 的占空比和彼此之间 180 度的相位差进行切换。半桥 Q2 - Q3 的 PWM 信号相对于第二半桥 Q1 - Q4 的 PWM 信号进行相移。这个相移的数量决定了对角 FET 间的重叠量，这反过来决定了传输的能量。

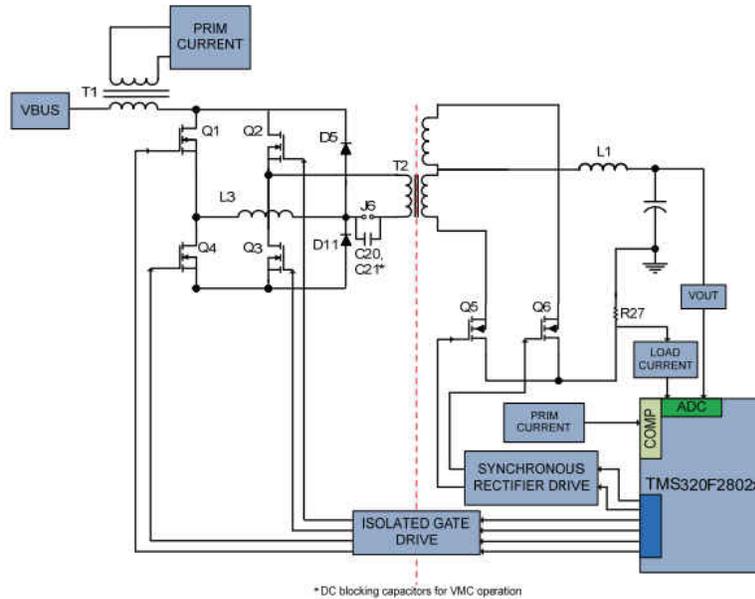


图 5-1. 具有次级侧同步整流的简化相移全桥转换器

同步整流用于高输出电流隔离式直流/直流转换器，其中输出二极管替换为 MOSFET，以 MOSFET 导通损耗代替二极管正向导通损耗。这是因为 MOSFET 上的压降  $R_{DS(on)}$  明显小于二极管正向压降，因此会降低损耗和提高效率。

图 5-2 显示了转换器输入 (400VDC)、输出 (12VDC)，使用 UCC27614 输出 (CH4\_U5\_OUT) 驱动同步整流 MOSFET 以实现高效的  $V_{DS}$  开关时间 (CH1)。图 5-3 显示了转换器的输出电压和电流，栅极驱动电压为 12V，用以驱动同步整流 MOSFET。

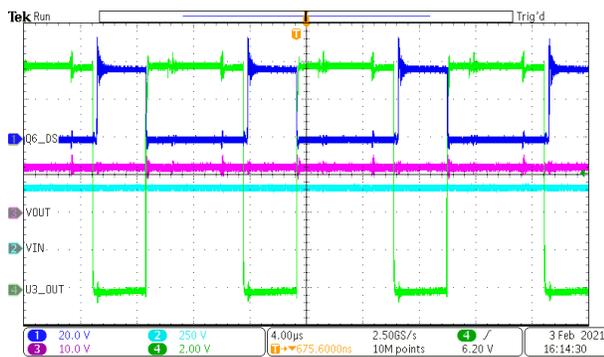


图 5-2. 转换器输入、转换器输出、栅极驱动波形和 MOSFET 漏源电压

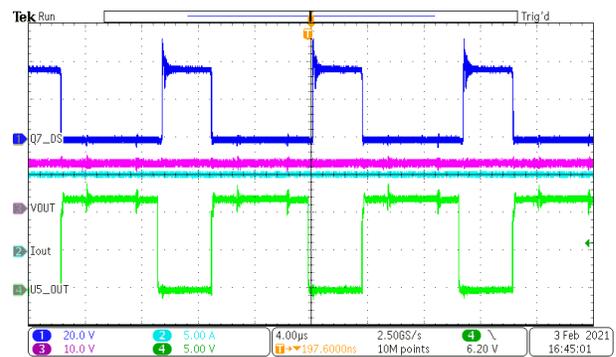


图 5-3. 转换器电压输出、转换器电流输出、栅极驱动波形和 MOSFET 漏源电压

## 6 总结

UCC27614 的小尺寸 (2mm x 2mm) 有助于实现功率更密集电源解决方案。整个温度范围内的峰值电流为 10A, 有助于实现更低的损耗, 从而提高效率。低传播延迟进一步提高了效率。UCC27614 具有 150°C 结温能力、30V 绝对最大电源电压和更好的高频噪声处理能力, 可提高系统稳健性。

## 7 参考文献

- 德州仪器 (TI), [栅极驱动器](#) 产品
- 德州仪器 (TI), [UCC27614 具有 -10V 输入能力的 30V、10A 单通道低侧栅极驱动器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [UCC27614](#) 产品文件夹

## 重要声明和免责声明

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、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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。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

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司