

Application Note

为 HVAC 系统选择栅极驱动器



Rubas Khalid, Grant Wilson

摘要

采暖、通风和空调 (HVAC) 系统包含多个子系统，这些子系统需要使用开关功率器件。选择栅极驱动器 IC 来驱动开关功率器件时，不同的子系统会遇到不同的挑战。本应用手册介绍了 HVAC 系统中的功率因数校正 (PFC)、电机驱动和直流/直流开关转换器级，总结了每级的开关要求，并提供了可用于驱动上述各级中开关功率器件的非隔离式栅极驱动器的示例。

内容

1 简介.....	2
2 PFC 级.....	3
2.1 升压 PFC.....	3
2.2 交错式升压 PFC.....	4
3 电机驱动级.....	5
3.1 独立栅极驱动器与 IPM.....	5
3.2 驱动三相电机.....	6
3.3 商业 HVAC 的更高功率级别.....	7
4 直流/直流级.....	8
4.1 同步降压转换器.....	8
4.2 反激式转换器.....	9
5 总结.....	9
6 参考文献.....	9
7 修订历史记录.....	10

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

HVAC 系统用于在工业、商业和住宅建筑内保持舒适的环境。HVAC 系统通常用于控制环境中的空气，由通风系统、加热系统和空气冷却系统组成。

有关更多 HVAC 应用，请参阅德州仪器 (TI) 的 [HVAC 系统](#) 应用页面，其中总结了各种应用。

现代 HVAC 系统在不同子系统使用栅极驱动器，这些子系统包括功率因数校正 (PFC) 电路、直流/直流转换器和电机驱动器。本应用手册讨论了栅极驱动器在工业、商业和住宅 HVAC 系统中的使用，包括栅极驱动器选型指导以及要为每个子系统考虑的关键特性。图 1-1 展示了室外空调的方框图，并突出显示了采用栅极驱动器的典型子系统。

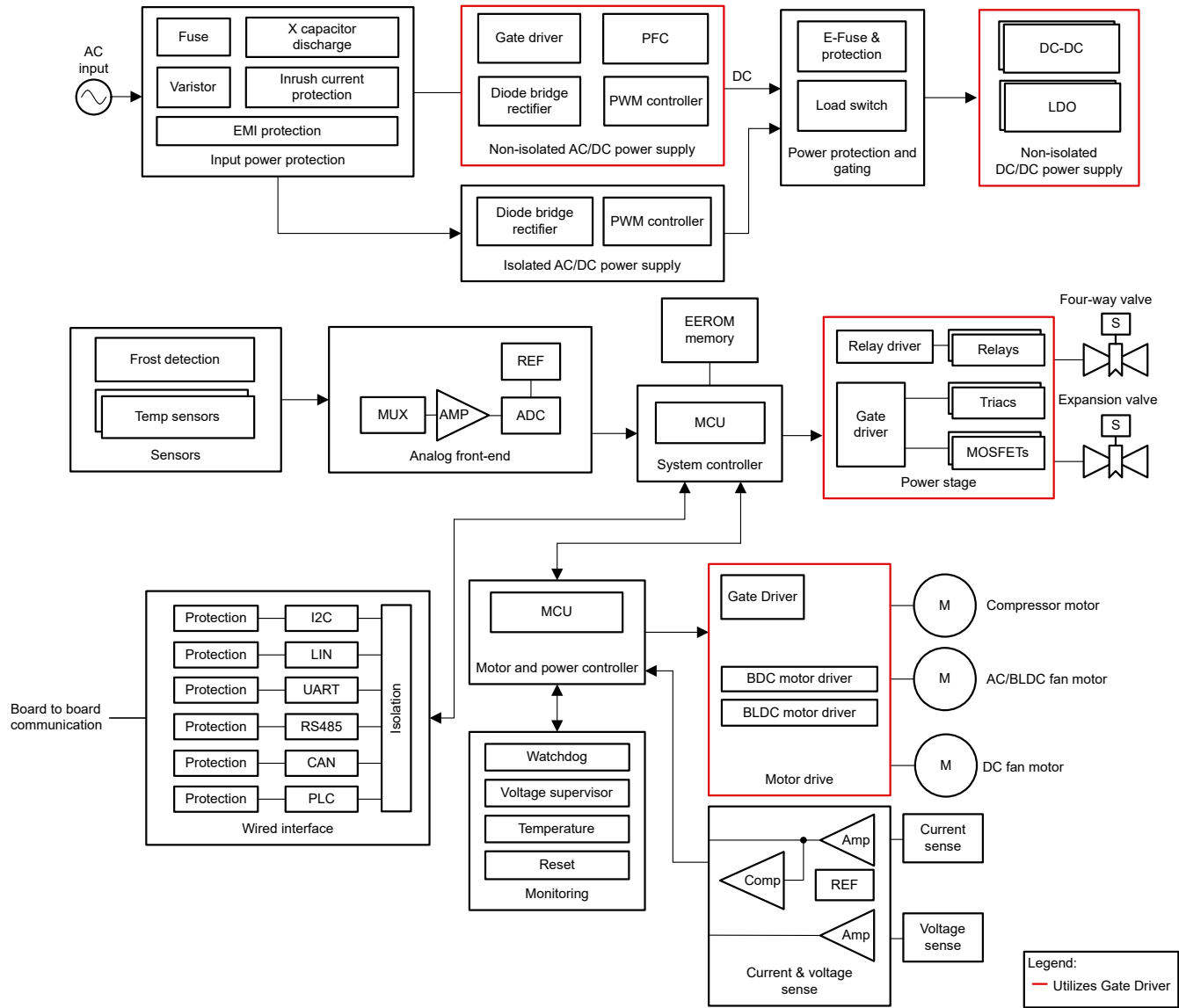


图 1-1. 室外空调方框图

2 PFC 级

在使用交流电源的 HVAC 系统中，高功率因数是一项关键要求。功率因数是有功功率与视在功率之比，视在功率是有功功率与无功功率之和。负载仅消耗有功功率；因此，要尽可能地减少无功功率产生的损耗，这一点至关重要。损耗越低，HVAC 系统就越高效，PFC 可用于更大限度地提高功率因数比。

2.1 升压 PFC

PFC 是 HVAC 系统中的一个关键功率级，HVAC 系统中最常用的 PFC 拓扑是升压 PFC。升压 PFC 拓扑利用全桥整流器首先对交流线路电压进行整流，然后使用升压转换器将整流电压升压到所需的直流总线电压。此拓扑包含以接地为基准的单个 FET，需要低侧栅极驱动器。图 2-1 展示了一个升压 PFC 示例。

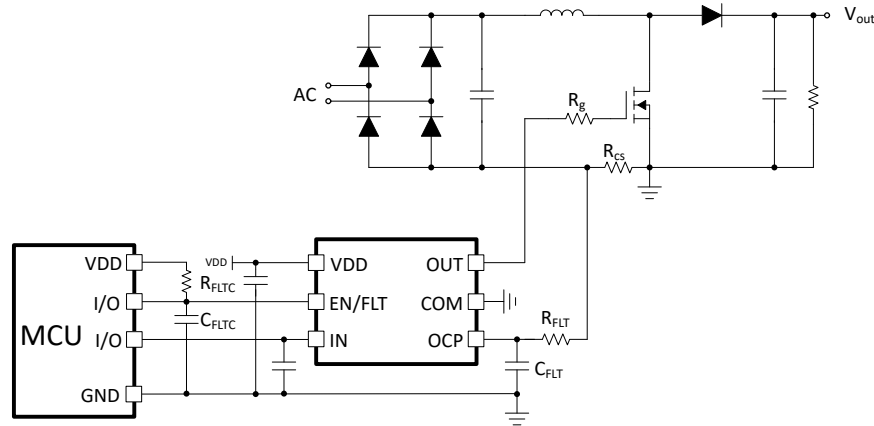


图 2-1. 具有 UCC5714x 的升压 PFC

选择用于驱动 HVAC PFC 电路中 FET 的栅极驱动器时需要仔细考虑。HVAC 系统中的寄生电感和电磁干扰可能会造成破坏性的负电压，从而影响栅极驱动器。为了帮助防止出现此问题，务必选择具有负电压能力的栅极驱动器，从而提高系统的稳健性。设计高效 HVAC PFC 电路时需要考虑的另一个要求是峰值驱动电流。高驱动电流有助于让 FET 实现快速上升和下降时间。这样可以减少电压和电流重叠，从而减少开关损耗，帮助 HVAC 系统实现更高的效率。另一个注意事项是栅极驱动器 IC 的尺寸。较小的封装让栅极驱动器 IC 可以放置在更靠近功率 FET 的位置，从而降低由 PCB 布线引起的寄生电感。

UCC5714x 可用于驱动 HVAC 系统的升压 PFC 中的 FET。UCC5714x 的峰值输出电流为 3A 拉电流和 3A 灌电流，额定电压高达 30V VDD。此外，该驱动器具有 8ns 的上升时间、14ns 的下降时间和 26ns 的传播延迟，可在 HVAC 系统中实现快速高效的开关。UCC5714x 还具有负电压能力、欠压锁定 (UVLO) 和集成的过流保护 (OCP)，可提高稳健性。请参阅此[应用手册](#)，详细了解 OCP 如何为终端系统带来好处。表 2-1 对 UCC5714x 与其主要竞品进行了比较。

表 2-1. UCC5714x 与主要竞品的比较

设计注意事项	UCC5714x	竞品器件 1	竞品器件 2
电源电压 (V _{DD}) 绝对最大值	30V	25V	25V
负电压处理能力	-5V	-5V	-5V
UVLO	8V/12V	12V	8V
拉电流/灌电流 典型值	3A/3A	2.6A/2.4A	2.6A/2.6A
上升/下降时间 典型值	1.8nF 负载时为 8ns/14ns	1.0nF 负载时为 5ns/5ns	1.0nF 负载时为 5ns/5ns
传播延迟开/关 典型值	26ns	15ns	50ns
OC 消隐时间 典型值	180ns	250ns	180ns
封装	SOT-23, 6 引脚	SOT-23, 6 引脚	SOT-23, 6 引脚

2.2 交错式升压 PFC

交错式升压 PFC 是 HVAC 系统中使用的一种替代 PFC 拓扑。交错式升压 PFC 具有两个以 180 度异相运行的升压转换器，通常用于高功率应用。此拓扑还可以提高效率，但代价是要增加元件。此拓扑的栅极驱动器要求与传统的升压 PFC 类似；但是，第二个升压转换器需要额外的低侧 FET。为此，通常使用双通道低侧栅极驱动器。图 2-2 展示了一个交错式升压 PFC 的示例。

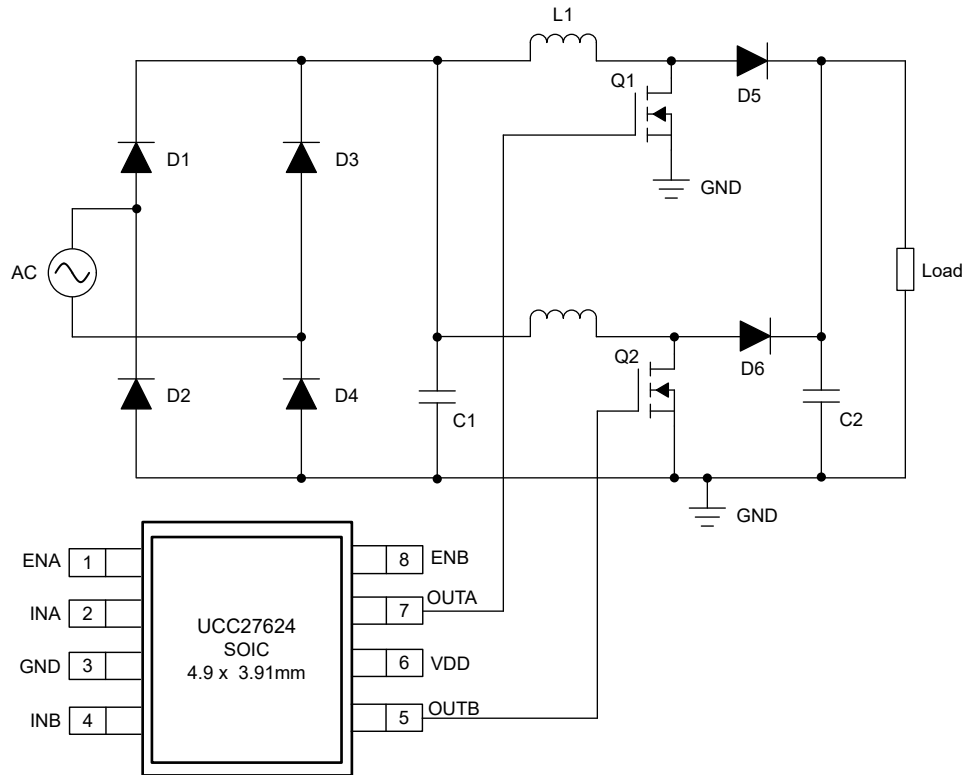


图 2-2. 具有 UCC27624 的交错式升压 PFC

UCC27624 可用于驱动交错升压 PFC 中的 FET。两个通道均具有高驱动强度，能够输出 5A 峰值拉电流和 5A 峰值灌电流。此驱动器的额定电压也高达 30V VDD，从而使设计更具灵活性。此外，该驱动器具有 6ns 的上升时间、10ns 的下降时间、17ns 的传播延迟以及 1ns 的延迟匹配，可在 HVAC 系统中实现快速高效的开关。表 2-2 比较了 UCC27624 与主要竞品

表 2-2. UCC27624 与主要竞品的比较

设计注意事项	UCC27624	竞品器件 1	竞品器件 2
电源电压 (V_{DD}) <i>绝对最大值</i>	30V	24V	25V
负电压处理能力	-10V	-6V	-6V
UVLO	4V	4V	4V
拉电流/灌电流 <i>典型值</i>	5A/5A	5A/5A	4.5A/5.5A
上升/下降时间 <i>典型值</i>	6ns/10ns	8ns/8ns	7ns/6ns
传播延迟开/关 <i>典型值</i>	17ns/17ns	20ns/20ns	18ns/18ns
延迟匹配 <i>最大值</i>	2ns	4ns	4ns
封装	SOIC 8 引脚	SOIC 8 引脚	SOIC 8 引脚

3 电机驱动级

HVAC 系统中的电机是为风扇、压缩机和泵等不同 HVAC 应用供电不可或缺的组成部分。这些系统通常包括不同类型的电机，例如有刷直流、无刷直流和步进电机。通过不同程度的集成来实施电机驱动器，从使用独立栅极驱动器 IC 到完全集成的智能电源模块 (IPM)。

3.1 独立栅极驱动器与 IPM

电机驱动 IPM 包括三个驱动器和三个 FET 以及集成在一个封装中的其他元件，可提供故障检测、过热预防和电流检测等功能。虽然这些器件提供了很多功能，但它们确实也有缺点。由于许多元件被填充到同一个封装中，因此在较高的功率级别下，热性能会降低。具有外部 FET 的独立栅极驱动器 IC 可以更有效地散热，从而在高功率 HVAC 应用中发挥作用。通过将相同独立栅极驱动器 IC 与具有较低 $R_{DS(on)}$ 的外部 FET 结合使用，也可以实现更高的最大电压和电流规格，而 IPM 通常在其指定额定值方面出现瓶颈。

如前所述，采用分立式设计的一个优势是可以优化 FET 及其各自的独立栅极驱动器 IC 的放置位置，以满足电路板布局和散热需求。通过适当的布局，让独立栅极驱动器 IC 尽可能靠近外部 FET 并将两者配对使用，这样可以缩短布线长度，从而减少开关损耗和 EMI。这为工程师提供了灵活性，允许其优化整体电路板性能。此外，独立栅极驱动器 IC 在很大程度上是多源器件，这意味着大多数器件都有一个与其引脚排列和关键规格相匹配的竞品。这样，工程师就能够在当前供应商遇到供应问题时，根据需要使用其他解决方案。相比之下，IPM 往往是独一无二的，在市场上没有直接替代产品。

3.2 驱动三相电机

HVAC 系统中的电机用于为风扇、压缩机和阀门供电。根据具体的电机应用，在选择栅极驱动器时，必须考虑电压和峰值电流等关键规格以及驱动器稳健性。具有低峰值电流的栅极驱动器非常适合低功率应用，而具有高峰值电流的栅极驱动器非常适合高功率应用。互锁可以防止半桥驱动器中发生跨导或击穿，这可能是由于输入端的寄生振铃所引起。因为由寄生电感引起的瞬态会产生负电压，所以具有负电压能力的栅极驱动器可提高驱动器的稳健性。图 3-1 展示了典型的三相逆变器电机驱动器拓扑。

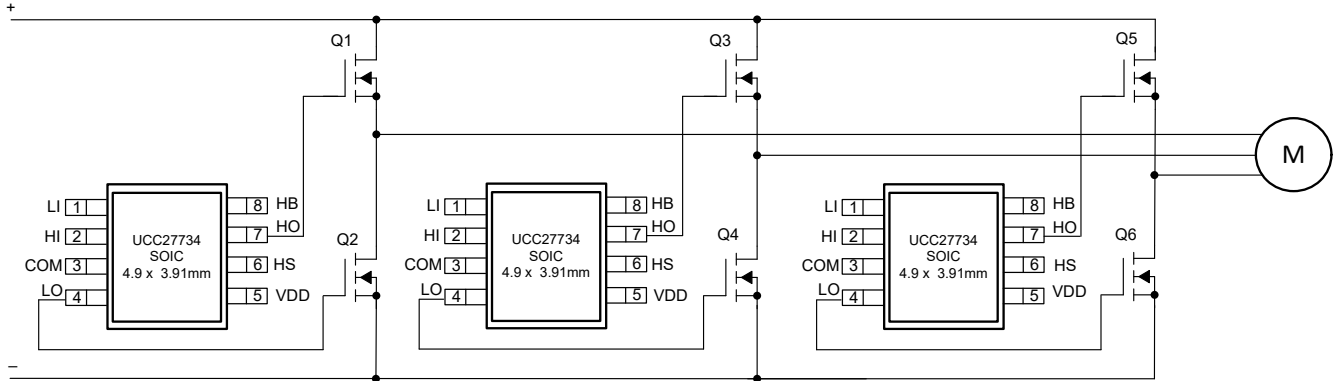


图 3-1. 具有 UCC27734 的三相逆变器电机驱动器

对于半桥电机驱动器，UCC27710 或 UCC27734 可用于驱动低功率应用 (约小于 5kW)。UCC27710 和 UCC27734 均属于 700V 系列半桥驱动器，具有互锁功能，可防止高电平和低电平输出同时处于开启状态，并在输入引脚上具有负电压能力，可借此提高稳健性。与 UCC27710 和 UCC27734 相比，UCC27735 采用更大的 14 引脚封装来满足更大的爬电距离要求。

3.3 商业 HVAC 的更高功率级别

工业 HVAC 系统与住宅 HVAC 系统非常相似，主要区别在于系统的尺寸和功率级别。商业楼宇通常可以使用三相电源，这意味着其交流电压更高。因此，PFC 的直流电压输出也更高，通常为 800V。虽然通常使用隔离式栅极驱动器来驱动 800V 总线电压系统的高侧，但也可以在低侧实施非隔离式栅极驱动器来节省成本。此外，与数字隔离器配合使用时，非隔离式栅极驱动器也可用于驱动高侧。图 3-2 展示了在低侧和高侧实现的 UCC57108C。

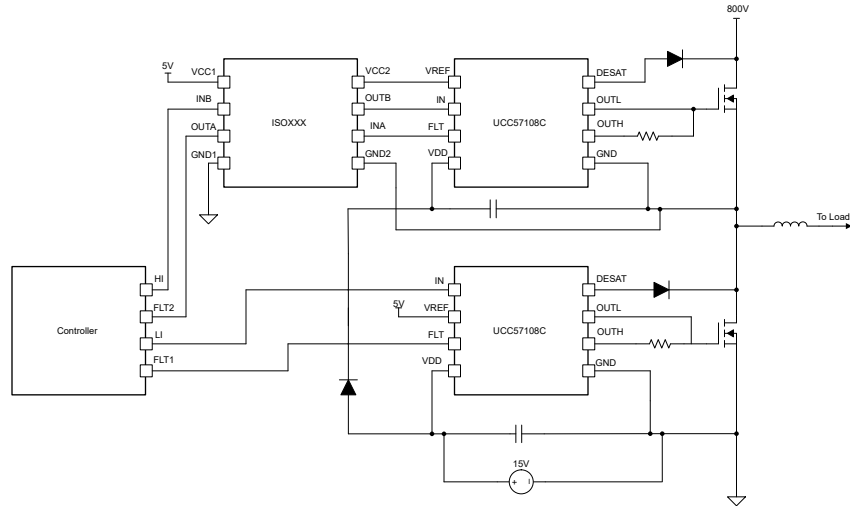


图 3-2. 带有数字隔离器的低侧驱动器，用于创建半桥

功率较高的系统通常使用 IGBT 和碳化硅 (SiC) FET。为了保护这些电平更高的电源开关器件，TI 提供了 [UCC57108](#) (8V UVLO) 和 [UCC57102](#) (12V UVLO)，这两款器件是具有去饱和 (DESAT) 保护功能的低侧栅极驱动器。DESAT 保护使用内部电路来检测短路事件，进而关断栅极驱动器输出以保护电源开关器件。要了解有关 DESAT 保护的更多信息，请阅读 [了解碳化硅 MOSFET 的短路保护](#)。

4 直流/直流级

HVAC 系统中的直流/直流开关转换器用于为不同应用高效转换电压电平。与电机驱动器一样，在设计直流/直流转换器时需要考虑从独立栅极驱动器 IC 到完全集成的不同集成级别。选择栅极驱动器 IC 来驱动功率器件的优势与选择栅极驱动器 IC 来驱动电机驱动器类似。总而言之，采用适当的 PCB 布局，栅极驱动器 IC 可以实现更好的热性能、更高的功率和更低的 EMI。

开关效率是 HVAC 系统中直流/直流转换器的关键要求。与电机驱动器相比，直流/直流转换器以高得多的开关频率运行。使用较高的开关频率可减小输出纹波以及变压器和电感器的尺寸，但通常也伴随着开关损耗的增加。在选择用于驱动直流/直流转换器的栅极驱动器时，具有峰值电流的栅极驱动器经常受到追捧，这是因为峰值电流可实现更短的上升和下降时间，从而降低开关损耗，因而提高系统效率。

4.1 同步降压转换器

同步降压转换器是 HVAC 系统中使用的一种常见直流/直流转换器，也可用于恒温器、控制器和传感器等 HVAC 终端设备。同步降压转换器将常规降压拓扑中以地为基准的二极管替换为开关功率器件，从而可提高效率。这个直流/直流转换器拓扑在低侧和高侧使用开关功率器件，需要使用半桥驱动器。图 4-1 展示了一个同步降压转换器示例。

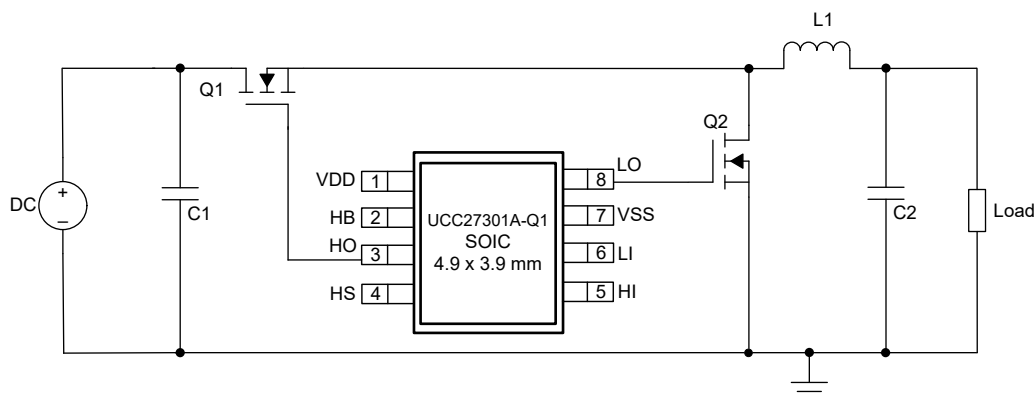


图 4-1. 具有 UCC27301A-Q1 的同步降压转换器

UCC27311A-Q1 可用于驱动同步降压转换器中的开关功率器件。该驱动器具有 4.5A 峰值拉电流和 3.7A 峰值灌电流的高驱动强度。这种高驱动强度可实现快速上升和下降时间，从而降低开关损耗并最终提高开关转换器的效率。UCC27311A-Q1 还在输入引脚上具有负电压处理能力，可以提高稳健性。UCC27301A-Q1 是与 UCC27311A-Q1 类似的驱动器，但具有互锁功能，可进一步防止跨导。UCC27311A-Q1 和 UCC27301A-Q1 都具有集成的自举二极管。

4.2 反激式转换器

反激式转换器是 HVAC 系统中使用的另一种直流/直流拓扑。二极管桥式整流首先用于整流 120V 或 230VAC 输入，然后由开关功率器件进行斩波，最后通过变压器转换为更低的电压轨。在反激式转换器中，用于对初级侧直流电压进行斩波的开关功率器件以地为基准，因此需要使用低侧驱动器。图 4-2 展示了一个反激式转换器示例。

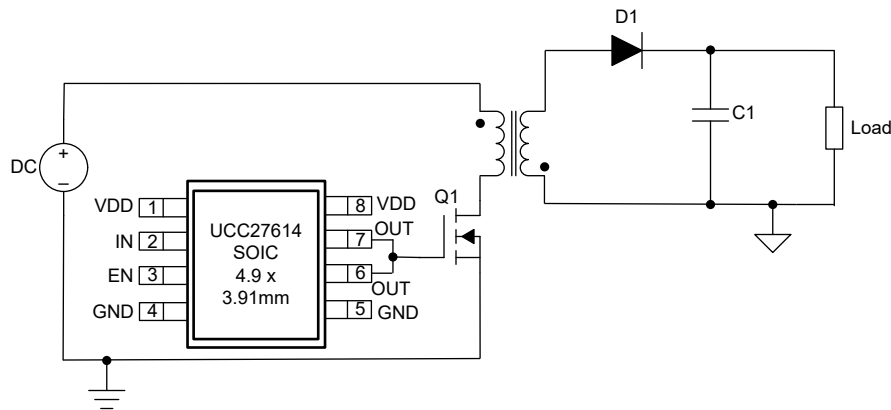


图 4-2. 具有 UCC27614 的反激式转换器

UCC27614 可用于驱动反激式转换器中的开关功率器件。UCC27614 具有 30V 的高 VDD 额定值，可以确保系统设计的灵活性，UCC27614 还具有 10A 峰值拉电流和灌电流的高驱动强度，可以提高开关效率。该驱动器还具有负电压功能，可以提高稳健性。UCC44273 还可用作需要更低功耗或更小尺寸的设计的低静态选项。

5 总结

现代 HVAC 系统由不同的功率级和电机驱动器组成，电机驱动器可能需要栅极驱动器。德州仪器 (TI) 提供多种栅极驱动器来满足 HVAC 的需求。在 HVAC 系统的关键区域 (例如 PFC 级) 可使用各种各样的低侧栅极驱动器。除了低侧驱动器，德州仪器 (TI) 还为风扇、压缩机和泵等应用提供许多用于电机驱动器的半桥驱动器。德州仪器 (TI) 的栅极驱动器产品系列也可用于 HVAC 系统和终端设备 (如恒温器、控制器和传感器) 中的直流/直流转换器。凭借高性能且具有竞争力的栅极驱动器产品系列，HVAC 系统可以变得更小、更稳健且高效。

6 参考文献

- 德州仪器 (TI), [HVAC 系统](#), 产品页。
- [不同功率因数校正 \(PFC\) 拓扑的栅极驱动器需求综述](#), 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [如何为直流电机驱动器选择栅极驱动器](#), 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [选择合适的集成度来满足电机设计要求](#), 技术文章。
- 德州仪器 (TI), [开关频率对降压转换器性能的影响](#), 应用手册。

7 修订历史记录

Changes from Revision * (April 2024) to Revision A (November 2025)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	2
• 替换了图和器件记录，以包含具有保护特性的新器件（删除了 UCC44273）。.....	3
• 更改了比较表.....	3
• 创建了新的小节，以便更好地解释 IPM 与分立式栅极驱动器之间的区别。更新了图 3-1 以包含新器件、相似图表.....	5
• 添加了新章节和新图.....	7

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