

双向氮化镓开关搭配 IsoFast 高速驱动器打造单级变换新范式，有效缩减系统体积、成本及复杂度

作者：纳微半导体企业营销及产品管理高级总监 Llew Vaughan-Edmunds

如今，超过 70% 的高压功率变换器采用“两级”硅基拓扑结构。例如，典型的 AC-DC 电动汽车车载充电机（OBC）会先配置 PFC 级，再串联 DC-DC 级，中间通过庞大的“直流母线”电容器缓冲，来完成功率转换。

这种拓扑结构的问题在于：系统体积庞大、损耗高、结构复杂且成本昂贵。本文将探讨一类新型功率变换器，其支持单级变换，并可根据需求实现储能与电网间的双向功率流动。

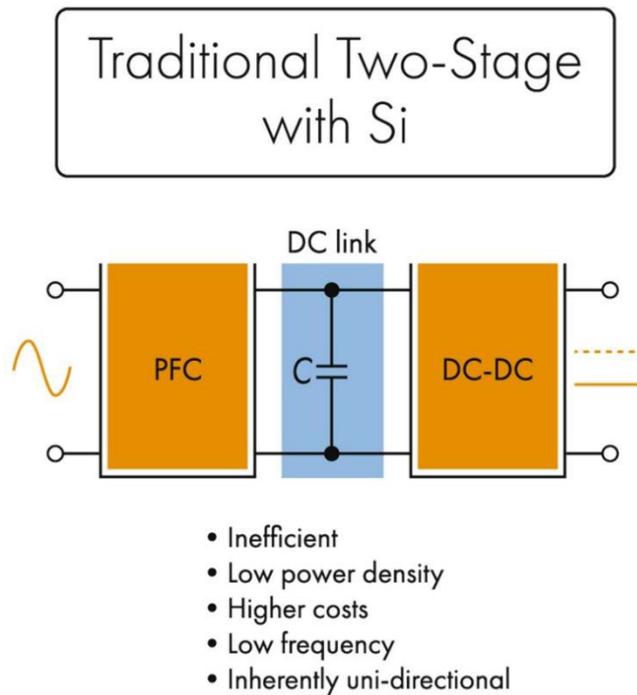


图1：如今，超过 70% 的高压功率转换器采用两级拓扑结构，即先通过 PFC 级，再经过 DC-DC 级来提供所需电压

Featured in *Bodo's Power Systems* – May 2025

双向开关的历史

理想开关应具备双向特性：既能阻断双向电压，又能导通双向电流，同时具备极低的传导损耗与动态损耗、高效散热能力及已实现高功率密度。

自 1947 年双极型晶体管诞生近 80 年来，功率半导体领域的诸多进展，推动行业向这一理想开关不断靠近：

1957 年晶闸管问世，可阻断双向电压，但无法双向导通电流；1958 年三端双向可控硅（Triac）虽能处理双向电流与电压，却因仅 50/60 Hz 的极慢开关速度难以拓展应用。

1959 年问世的 MOSFET 实现数十千赫兹（甚至 100 kHz）开关频率，后续虽衍生出双向 MOSFET，却受限于低功率场景；1980 年硅基 IGBT 登场，支持更高功率，但双向功能仍是挑战——单个 IGBT 仅能处理电流或电压中的一项，无法同时兼顾。

宽禁带半导体的引入显著提升了功率密度，却仍不具备双向能力；氮化镓器件进一步实现高频、高功率集成与保护功能，但其初期产品还不支持双向切换。

而就在上个月，纳微半导体推出了业界首款 650V 双向氮化镓功率芯片，推动功率变换从两级拓扑向单级拓扑跨越。

纳微的 NV6427 与 NV6428 双向氮化镓功率芯片支持 650V 的持续工作，典型导通电阻分别为 50mΩ（对应 49A 持续电流）与 100mΩ（对应 25A 持续电流），具备零反向恢复电荷特性，开关频率最高达 2MHz，采用顶部散热的 TOLT-16L 封装。

纳微的双向氮化镓开关

双向氮化镓功率开关的问世，将两级拓扑集成到高速、高效的单级中，同时省去了庞大的电容器与输入电感。其可处理双向电流与电压，并支持高频开关，是单级变换器的理想之选。

Featured in [Bodo's Power Systems](#) – May 2025

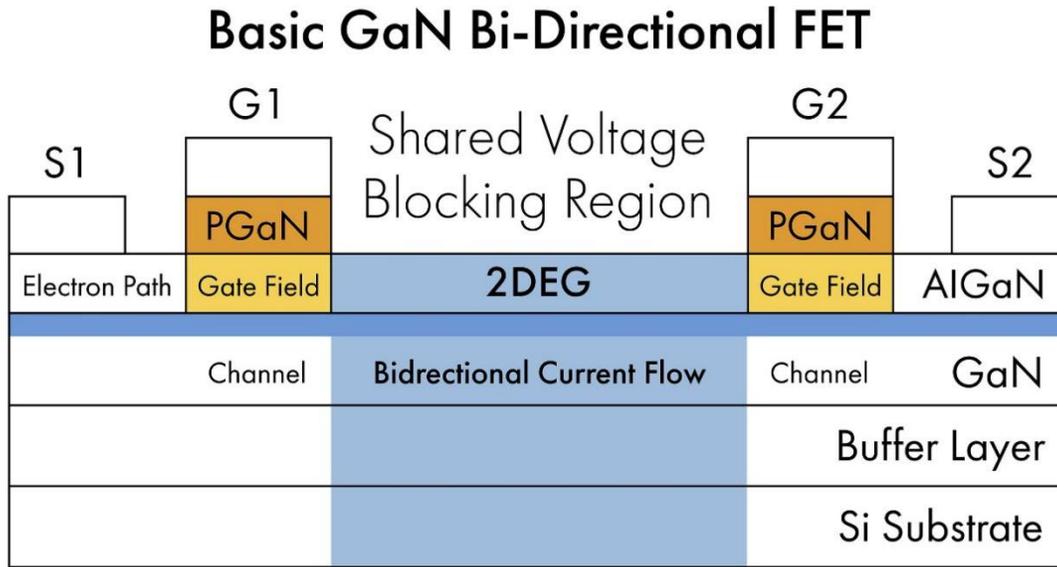


图 2：双向氮化镓开关在硅衬底上采用 GaN/AlGaN 结构，以创建具有两个功率端子和两个栅极的二维电子气 (2DEG) 导电通道。

双向氮化镓开关需处理双向电压，因此需独立栅极根据极性控制电流流向。为实现这一目标，需要在硅衬底上生长 GaN/AlGaN 外延层，形成二维电子气 (2DEG) 导电沟道，器件结构包含两个功率端子与两个栅极。

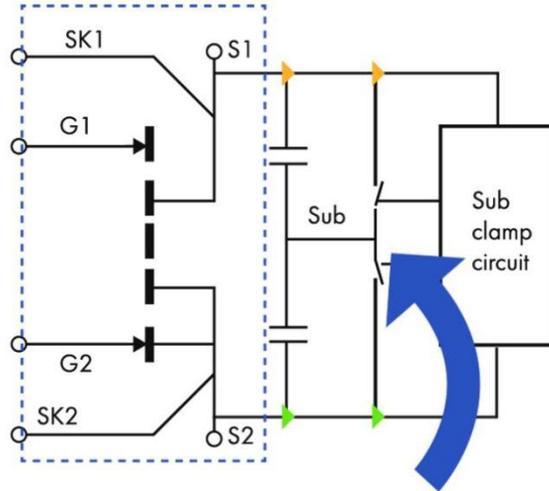
若仅采用上述结构，硅衬底因未与源极连接而处于悬浮状态，会导致衬底电位累积，并通过“背栅效应”降低 2DEG 浓度，影响性能。

纳微率先开发并推出了有源衬底钳位技术，以最低电位自主将硅衬底钳位至源极。这一技术带来的显著优势在于：确保双向氮化镓开关稳定运行且电阻无漂移，在众多应用场景中，其工作温度较无钳位的同类方案低 15°C。

这一改进可通过图 3 佐证：绿色三角波为电流曲线，粉色（钳位）与白色（无钳位）曲线为开关两端电压——钳位技术消除了导通电阻漂移，提升效率并实现平滑运行。

Featured in Bodo's Power Systems – May 2025

Integrated Substrate Clamp



Automatically detects and connects alternative Sources to substrate for highest performance, efficiency & reliability.

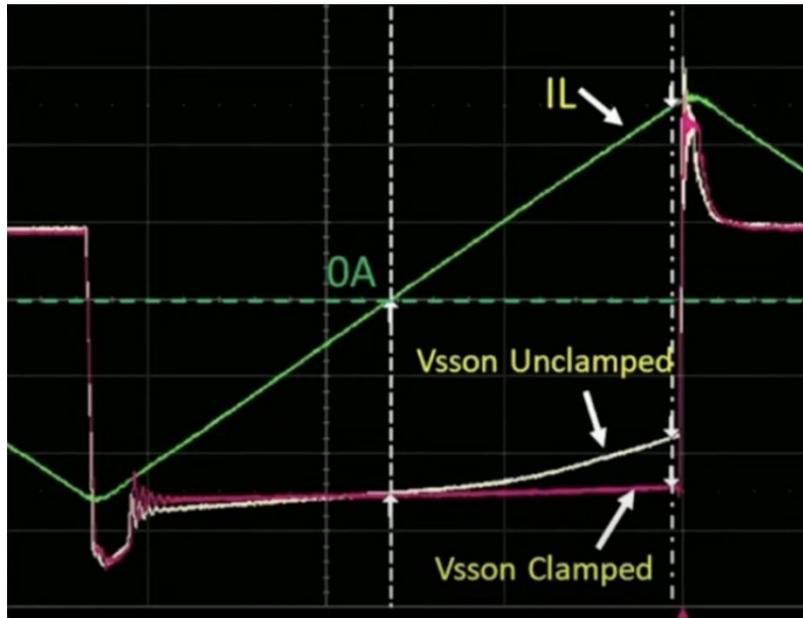


图3: 开关上的电流 (绿色) 和钳位 (粉色) / 未钳位 (白色) 电压——钳位电压不会出现降低效率的电压尖峰。

Featured in *Bodo's Power Systems* – May 2025

此外，双向氮化镓开关需专用驱动器控制双栅极，该驱动器需能应对高瞬态条件、高电压隔离并确保卓越的信号完整性，支持 5kV 以上工作电压及 200V/ns 的极端瞬态变化。

为此，纳微开发了 IsoFast™ 高速隔离型氮化镓驱动器，专为适配双向氮化镓开关设计，支持 1MHz 以上频率、5kV 隔离耐压，并能以高完整性传输高速信号。

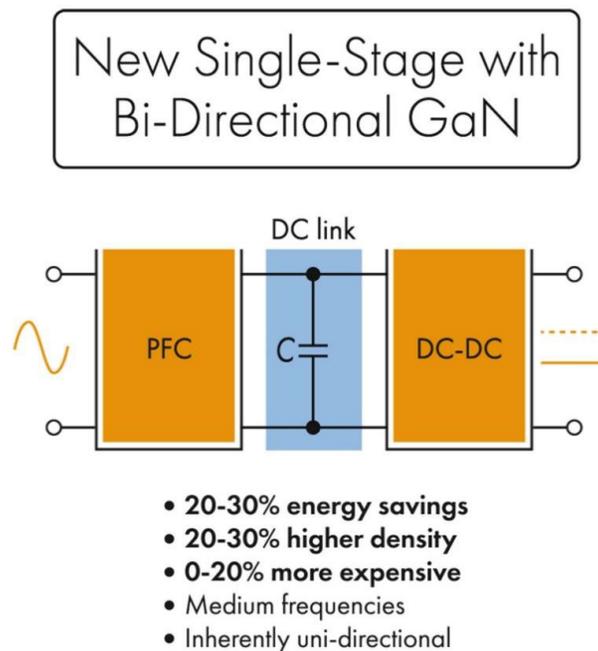
单级拓扑的优势

如前文所述，绝大多数功率转换器采用两级拓扑，不仅速度慢、效率低，还导致转换器体积臃肿且损耗严重。

尽管行业通过引入碳化硅（SiC）与氮化镓（GaN）技术优化两级转换器，在效率、功率密度与开关速度上取得进展，但即便采用这两种宽禁带材料，该拓扑已接近性能极限。

单级的双向氮化镓开关变换器不仅省去了 PFC 级，还一并省去了电解电容与直流链路电容。此外，该拓扑天然支持软开关，可充分发挥高频优势，同时大幅缩减无源元件尺寸。其最终实现：功率密度提升 30%、节能效率提升 10%、成本降低 10%。

更重要的是，双向能量流动能力对可再生能源、交流电网、储能系统（包括电动汽车）的高效功率交互至关重要。



Featured in *Bodo's Power Systems* – May 2025

实际应用案例：太阳能微型逆变器

抛开理论数据，以传统 400W 两级拓扑太阳能微型逆变器为例，其将太阳能板能量传输至储能系统或电网时，需先通过 DC-DC 升压变压器，再经 400V_{DC} 母线转换为交流电并网。如图 4 所示，该设计需磁性元件、大容量电容及多个开关元件。

而图 4b 展示了某领先太阳能微型逆变器制造商采用的单级双向氮化镓开关的方案：功率提升至 500W 的同时，体积显著缩小，省去 1 个磁性元件并减少元件数量。该拓扑将系统效率从 96% 提升至 97.5%，发电成本从 0.10 美元 / 瓦降至 0.07 美元 / 瓦，降幅达 30%。

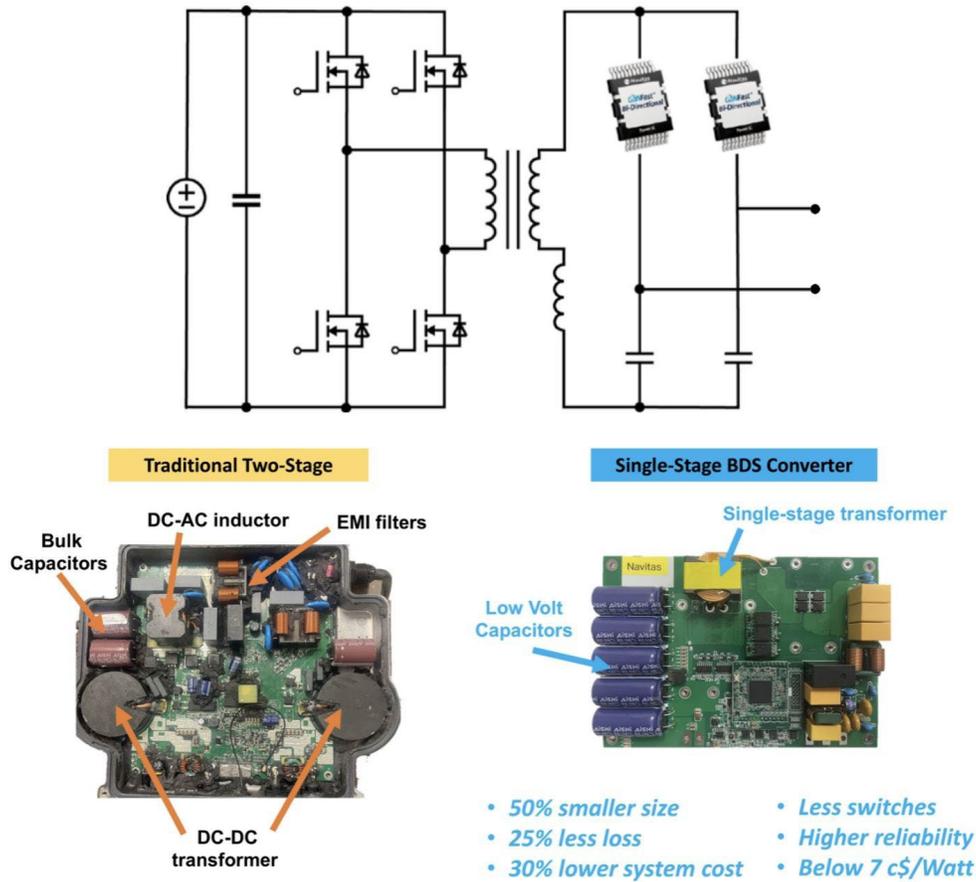


图 4a/b：基于环型变流器拓扑的 500W 太阳能微型逆变器电路图，左侧为传统 400W 两级解决方案，右侧为单级 BDS 转换器解决方案，显示出尺寸、元件数量和复杂度的降低。

如需了解更多关于双向 GaNFast™ 双向开关与 IsoFast™ IC 的信息，请访问 <https://navitassemi.com/bi-directional-gan/> 或联系 info@navitassemi.com。

Featured in *Bodo's Power Systems* – May 2025