

Technical Article

用于集成太阳能和储能系统的 5 种转换器拓扑



Kevin Chen

储能系统价格变得越来越实惠，电价也在上涨，因此对可再生能源的需求不断增加。许多住宅现在使用太阳能发电和电池储能相结合的系统，确保在太阳能无法满足需求时能够提供能源。图 1 展示了一个住宅用例，图 2 展示了如何将典型的光伏逆变器系统与储能系统进行集成。

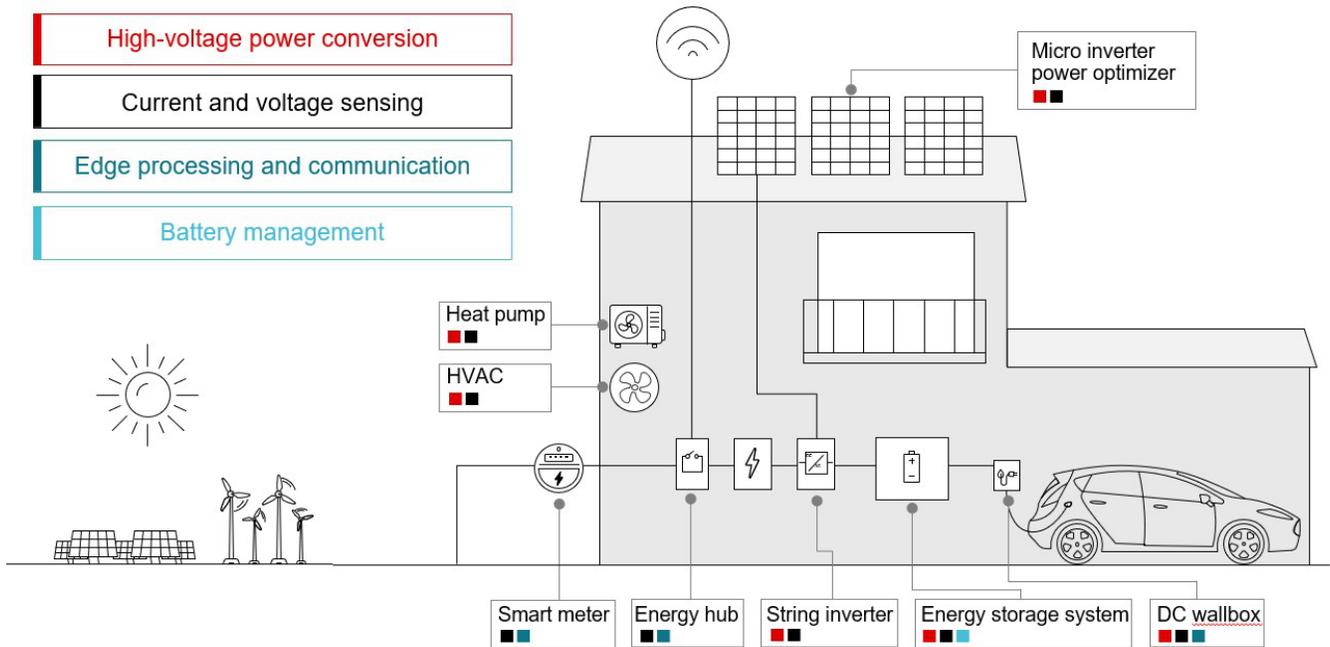


图 1. 一种住宅用太阳能发电和储能系统安装方案

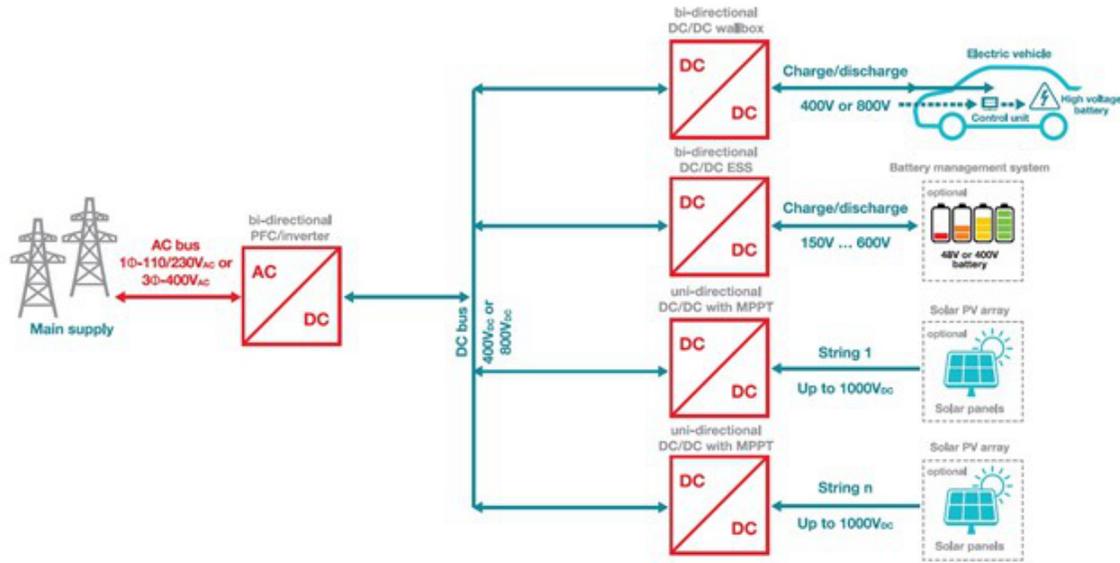


图 2. 具有储能系统的典型光伏逆变器系统

理想情况下，这种类型的系统具有可实现交流/直流和直流/直流转换和高功率密度的高效电源管理组件（具有尽可能小的解决方案尺寸），这些组件具有高度可靠性（损耗超低）并有助于将产品快速推向市场。然而，这些要求并非总能同时实现，需要就这些子块的理想电源转换拓扑进行权衡。

交流/直流和直流/直流降压和升压电源转换器的现有电源拓扑的共同点是具有交错运行的半桥或转换器分支，旨在用于提高直流/直流转换器中的功率级别，或者通过放置三个以 120 度相移运行的分支在交流/直流逆变器或功率因数校正级中实现三相工作模式。图 3 所示为五种电源拓扑的简化原理图。

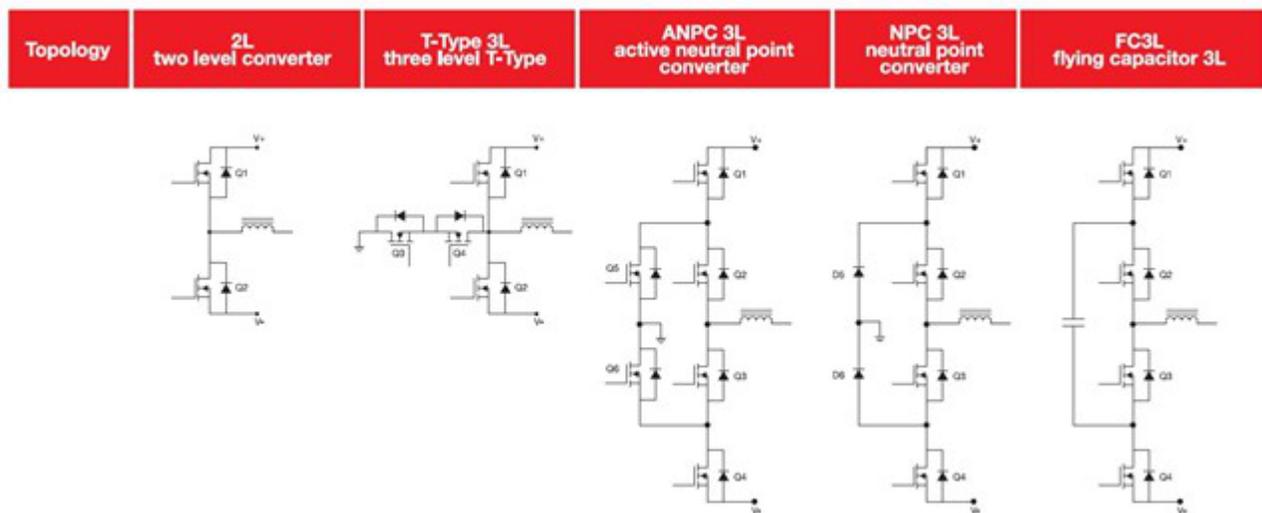


图 3. 半桥电源拓扑和等效分支电源拓扑

- **拓扑 1**：在两级转换器拓扑结构中，脉宽调制 (PWM) 信号作为补充应用于功率器件 Q1 和 Q2（具有时间延迟，以避免因开关信号重叠而发生击穿）。对于输出端的正正弦波，Q1 应用的占空比为 >50%。对于输出端的负正弦波，Q2 的占空比为 >50%。控制输出功率是一个简单的概念，但线路滤波器之前的输出信号具有一个全总线电压摆幅，这种情况下需要更大的滤波器来减少电磁干扰。进入滤波器的纹波频率是 PWM 频率，会影响滤波器的大小。

与两级转换器相比，三级拓扑允许使用更小的无源器件，并且具有更低的 EMI。共有四种三级拓扑：

- **拓扑 2**：T 型拓扑结构因晶体管围绕中性点 (V_N) 的排列方式而得名。Q1 和 Q2 于直流链路连接，而 Q3 和 Q4 则与 V_N 串联。滤波器看到的纹波频率等于施加在开关 Q1 至 Q4 上的 PWM 频率。这决定了需要使用多大的滤波器元件才能在交流线路频率下实现所需的低总谐波失真。Q1 和 Q2 会看到全总线电压，当系统中的直流链路电压为 800V 时，额定的全总线电压需要达到 1,200V。由于 Q3 和 Q4 连接到 V_N ，它们只看到全总线电压的一半，在 800-V 的直流链路电压系统中，它们的额定电压为 600V，这可以节省转换器类型的成本。了解 [10kW 双向三相三级 \(T 型\) 逆变器和 PFC 参考设计](#)。
- **拓扑 3**：在有源中性点箝制 (ANPC) 转换器拓扑结构中， V_N 与有源开关 Q5 和 Q6 连接，并将 V_N 设置在直流链路电压的中间。与 T 型转换器一样，滤波器看到的纹波频率等于用来确定交流线路滤波器尺寸的 PWM 频率。这种架构的优点是所有开关的额定电压都是最大直流链路电压的一半；在 800V 系统中，可以使用额定电压为 600V 的开关，因此有助于节省成本。关闭此转换器时，务必将每个开关上的所有电压限制为直流链路电压的一半。换句话说，控制微控制器 (MCU) 需要处理关断时序。TI 的 [TMS320F280049C](#) 和 [C2000™](#) 产品系列中的其他器件具有可配置的逻辑，允许在硬件中实现关机逻辑，以卸下 MCU 的软件任务。了解 [基于 GaN 的 11kW 双向三相 ANPC 参考设计](#)。
- **拓扑 4**：中性点箝制 (NPC) 转换器拓扑结构来自 ANPC 拓扑结构。这里的 V_N 通过二极管 D5 和 D6 连接，将 V_N 设置在直流链路电压中间。滤波器看到的输出纹波频率等于用来确定交流线路滤波器尺寸的 PWM 频率。与 ANPC 拓扑一样，所有开关的额定电压都是最大直流链路电压的一半，但有另外两个开关需改为两个快速二极管。与 ANPC 拓扑相比，NPC 拓扑的成本略有降低，但代价是效率也略有降低。关断时序的要求也与 ANPC 拓扑相同。从上述 ANPC 参考设计中很容易推导出 NPC 拓扑。
- **拓扑 5**：飞跨电容型拓扑结构已经告诉你在这个转换器中发生了什么；一个电容器连接到由 Q1 和 Q2 以及 Q3 和 Q4 实现的叠加半桥的开关节点。电容器上的电压限制为直流链路电压的一半，并在 $V+/V-$ 之间周期性漂移；漂移时会进行电源输送。这种拓扑在正正弦波和负正弦波期间使用所有开关。在这种拓扑中，滤波器看到的输出纹波频率是飞跨电容器每个周期漂移时提供的 PWM 频率的两倍，因此交流线路滤波器的尺寸更小。同样，所有开关的额定电压都是最大直流链路电压的一半，因此有助于节省成本

表 1 列出了不同拓扑的优点和挑战。

表 1. 不同转换器拓扑的优点和挑战

	2L 在 2L 中采用 TIDA-01606	T 型 3L TIDA-01606	ANPC TIDA-010210	NPC 3L 源自 ANPC	FC3L 飞跨电容器 3L
优点	<ul style="list-style-type: none"> • 简单的控制方案 • 仅 2 个开关 • 2 PWM 	<ul style="list-style-type: none"> • 简单的控制方案 • Q3/Q4 看到 1/2 VDC • EMI 优于 2L • $f_{RIPPLE} = f_{PWM}$ 	<ul style="list-style-type: none"> • 效率高 • 所有开关看到 1/2 V_{DC} • EMI 优于 2L 	<ul style="list-style-type: none"> • 成本低于 ANPC • 所有开关看到 1/2 V_{DC} • EMI 优于 2L • $f_{RIPPLE} = f_{PWM}$ • 4 PWM 	<ul style="list-style-type: none"> • 最高效率 • 仅 4 个 HF FET (和 1 个电容器) • $f_{RIPPLE} = 2 f_{PWM}$ • 磁性元件最小 • EMI 最低
挑战	<ul style="list-style-type: none"> • Q1/Q2 看到 1/2 VDC • EMI 大于 f_{PWM} • 无源器件的尺寸最大 	<ul style="list-style-type: none"> • Q1/Q2 看到 1/2 VDC • 4 PWM 	<ul style="list-style-type: none"> • 更加复杂的控制方案 • 关断时序至关重要 • 6 PWM 	<ul style="list-style-type: none"> • 效率低于 ANPC • 更加复杂的控制方案 • 关断时序至关重要 	<ul style="list-style-type: none"> • 飞跨电容器初次充电 • 关断时序至关重要

与传统的两级转换器相比，所有四种三级拓扑在功率密度 (具有尽可能小的解决方案尺寸)、高度可靠运行和快速推向市场方面具有明显的优势。使用宽带隙器件和高性能 MCU 以合理的成本进一步增强了这些优势。

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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司