

Harish Ramakrishnan, Jayanth Rangaraju

摘要

随着电动汽车 (EV) 数量的增加，人们迫切需要在全球范围内打造能效更高、充电速度比以往更快的充电基础设施系统。与前代产品相比，新型电动汽车具有更远的行驶里程和更大的电池容量，因此需要开发快速直流充电解决方案来满足快速充电要求。在本应用报告中，我们介绍了设计电源模块的拓扑注意事项，这些电源模块可用作设计这些快速直流充电站的构建块。

内容

1 引言	2
1.1 交流充电站.....	2
1.2 直流充电站.....	3
2 直流充电站中的电源模块	3
2.1 快速直流充电器中的功率级.....	4
2.2 交流/直流和直流/直流功率级.....	5
3 交流/直流电源拓扑 (PFC)	6
3.1 单相图腾柱 PFC.....	6
3.2 单相中性点钳位 PFC.....	7
3.3 三相两级 PFC.....	8
3.4 三相 Vienna PFC.....	8
3.5 三相 ANPC/NPC 三级 PFC.....	10
3.6 三相 TNPC 三级 PFC.....	11
3.7 交流/直流拓扑总结.....	13
4 直流/直流电源拓扑	14
4.1 传统相移全桥 (PSFB).....	14
4.2 双有源电桥 (DAB).....	15
4.3 LLC 谐振转换器.....	16
4.4 CLLLC 模式下的 DAB.....	17
4.5 直流/直流拓扑总结.....	18
5 直流快速充电基础设施的未来趋势	19
5.1 便携式充电器.....	19
5.2 车辆到电网技术 (V2G).....	20
6 结论	20
7 参考文献	21

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

充电站属于电网基础设施的一部分，安装于街道沿线、停车场或家庭车库中；其主要目的是为 PHEV 提供电源来为电池充电。充电系统主要有两种类型，如“表 1-1 交流和直流充电系统”所示。

交流充电器通过车辆的车载充电器为电动汽车电池充电，而直流充电器直接为车辆的电池充电。

表 1-1 详细介绍了根据功率级别分类的充电站。

表 1-1. 充电站分级

EVSE 类型	电源	充电器电源	24kWh 电池的充电时间* (近似值)
交流充电站：L1 家用	120/230V _{AC} 和 12A 到 16A (单相)	约 1.44kW 至约 1.92kW	大约 17 小时
交流充电站：L2 商用	208 - 240V _{AC} 和 15A 至大约 80A (单相/分相)	约 3.1kW 至约 19.2kW	大约 8 小时
直流充电站：L3 快速充电器	300V _{DC} 至 600V _{DC} (最大 400A) (多相)	从 120kW 到最高 240kW	大约 30 分钟

1.1 交流充电站

1 级 EVSE 使用通用的 120V_{AC}/230V_{AC} 电源，提供 12A 至 16A 的电流范围，将 24kWh 的电池充满需要 12 到 17 小时。L1 充电器的最大功率可达 2kW，用于住宅应用。2 级 EVSE (通常用于商业领域，例如商场、办公楼等) 使用多相 240V_{AC} 电源，为更强大的汽车充电器供电，电流范围在 15A 至 80A 之间，将 24kWh 的电池完全充满需要八小时左右。图 1-1 展示了交流充电站的典型方框图。

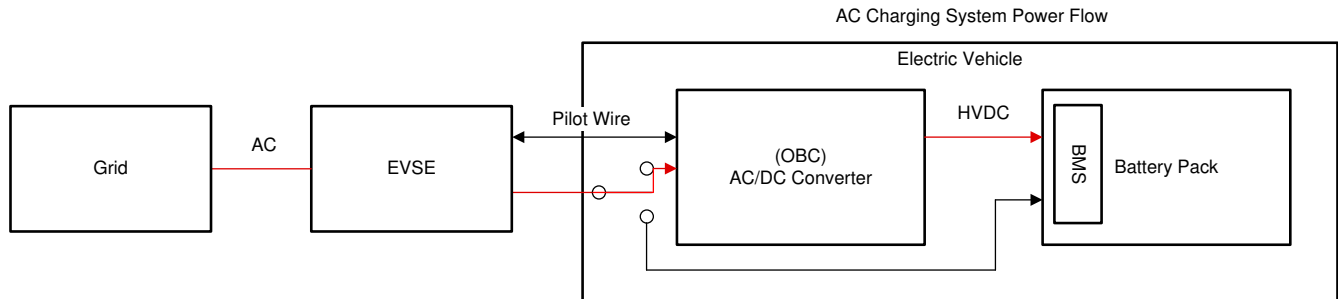


图 1-1. 交流充电站

1.2 直流充电站

直流充电站属于 3 级充电器，可满足 120kW 至 240kW 范围的极高功率水平要求。L3 充电器通常可在 30 分钟内将电池电量充 (SOC) 至 80%。为了实现这种可堆叠的高功率水平模块化转换器，我们使用了这些转换器。车辆内部的转换器堆叠使车辆变得笨重。因此，这些堆叠式转换器放置在车辆外部，构成电动汽车充电站。电动汽车充电站绕过车载充电器直接与车辆的电池连接。图 1-2 展示了直流充电站的典型方框图。

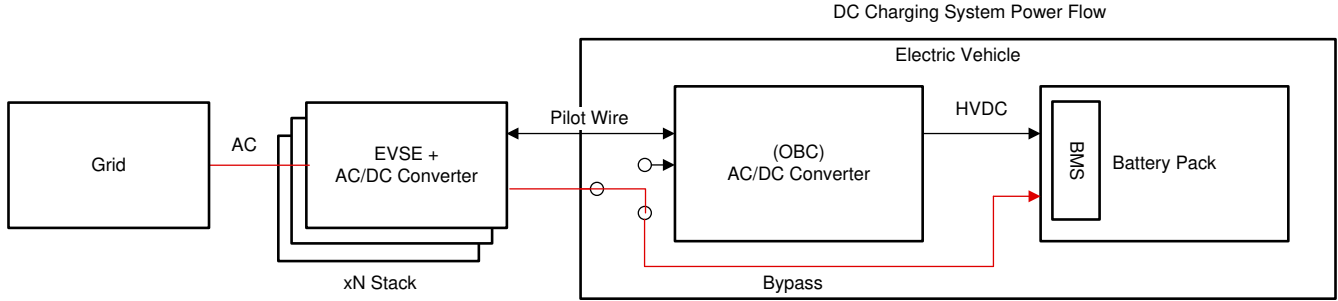


图 1-2. 直流充电站

更多有关车载充电器和非车载充电器的信息，请参阅 [“掌管电动汽车 - 从车辆的角度和电网的角度” 白皮书](#)。

2 直流充电站中的电源模块

直流充电站中的电源模块包含整合在充电站中的交流/直流功率级和直流/直流功率级。每个与其功率级相关的转换器都包含多个开关管和一个栅极驱动器、电流和电压检测以及控制器。接下来的部分将详细介绍每个电动汽车充电站电源模块子系统。

2.1 快速直流充电器中的功率级

图 2-1 展示了 TI 的 **电动汽车充电站电源模块** 网页上提供的电动汽车充电站电源模块的系统级方框图。输入侧有三相交流电源，连接到交流/直流功率级。该块将传入的交流电压转换为约 800V 的固定直流电压。该电压用作直流/直流功率级的输入，直流/直流功率级处理功率并直接与电动汽车上的电池连接。

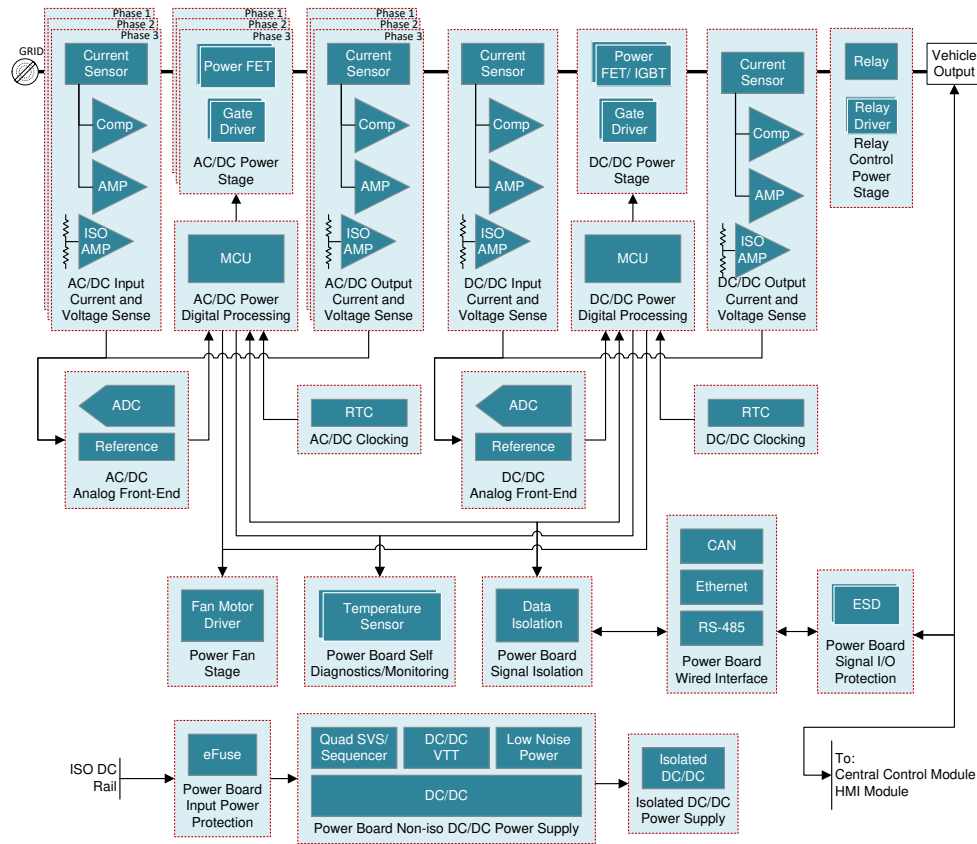


图 2-1. 电动汽车充电站电源模块的 EERD

驱动功率级 MOSFET 的栅极驱动器也构成功率级的一部分。除了功率级，电流和电压检测块还可用于两级的输入和输出。这主要用于控制、监控和保护目的。每个功率级都有一个独立的控制器，该控制器负责处理模拟信号并提供快速控制操作。除此之外，还有不同的温度检测模块、CAN、以太网和 RS-485 接口模块以及隔离式和非隔离式直流/直流转换器，为风扇等辅助电路供电，以便冷却散热器、隔离式放大器等。本应用报告的其余部分重点介绍了如何为交流/直流和直流/直流电源转换级选择拓扑。

2.2 交流/直流和直流/直流功率级

直流充电站需要能够在 30 分钟内充电至 80% SOC 的高功率转换器。这些快速充电应用需要模块化电源转换器，这些转换器可以并联来适应不同的功率级别，从而实现快速充电。最重要的参数是能量密度和系统效率。能量密度是指在给定的转换器体积下可以传输的能量。如果我们可以在相同尺寸下使功率输出加倍，则可以显著节省成本，并有助于快速充电。这是通过在高开关频率下运行转换器来实现的，这可以减小磁性元件的尺寸，从而帮助实现高功率密度。更高的系统效率意味着更低的损耗和更小的散热器解决方案，适用于给定的应用。它还可降低器件上的热应力，并有助于延长器件的预期寿命。汽车技术的新趋势是车辆到电网 (V2G) 的概念，它允许在车辆停车或不使用时将能量从电池流向电网，从而实现电网的稳定性。这要求两个功率级都是双向的，可支持此类应用。该转换器还必须能够通过具有应用所需电压转换比的高频变压器在输入和输出级之间提供电隔离。转换器必须在宽输入和输出电压范围内通过固有的软开关 (如 ZVS/ZCS) 以高效率运行。

交流/直流级 (也称为 PFC 级) 是电动汽车充电站中的第一级功率转换。它将来自电网的输入交流电源 (380 - 415V_{AC}) 转换为大约 800V 的稳定直流链路电压。如上所示，PFC 级对于保持正弦输入电流非常重要，THD 通常小于 5%，用以提供高于线间输入电压幅度的受控直流输出电压、单级电源转换、无电隔离、单向和双向电源流、可能具有 (有限) 无功功率补偿功能、简单电路拓扑、简单调制和控制方案，以及实现高效率和高功率密度的可能性。

直流/直流级是电动汽车充电站中的第二级功率转换。它将 800V 的传入直流链路电压 (对于三相系统) 转换为较低的直流电压，以便为电动汽车的电池充电。电动汽车充电标准受组合充电系统 (CCS) 和 CHAdeMO 等标准的约束。直流/直流转换器必须能够在宽范围 (例如 50V - 500V) 内为电池提供额定功率，来适应从 48V (电动自行车) 一直到 400V (PHEV) 的电池，并且能够根据电池的荷电状态 (SOC) 以恒流或恒压模式为电池充电。

3 交流/直流电源拓扑 (PFC)

各个拓扑分为无源、混合和有源 PFC 整流器系统。随着半导体技术最近取得的进步，有源 PFC 广泛用于电动汽车充电站。电动汽车充电站中使用单相和三相拓扑，具体取决于功率级别。单相拓扑通常用于低于 3.3kW 的功率级别，而三相拓扑则用于更高的功率级别。本应用报告简要介绍了单相 PFC 拓扑，即图腾柱、交错图腾柱和中性点钳位拓扑，然后我们主要介绍三相 PFC 拓扑，即两级 PFC、Vienna PFC、中性点钳位 (NPC) 3 级 PFC 和 T 型 NPC PFC。

3.1 单相图腾柱 PFC

图 3-1 所示为图腾柱 PFC 拓扑，这是一种传统的升压 PFC，其中二极管电桥的一半被半桥配置中的有源开关 S1 和 S2 所取代，因此称为“图腾柱”。二极管 S3 和 S4 形成 50Hz 至 60Hz 的慢速线路频率桥臂，可以是慢速交流整流器二极管，也可以替换为低 $R_{DS(on)}$ 同步 MOSFET 以提高效率。

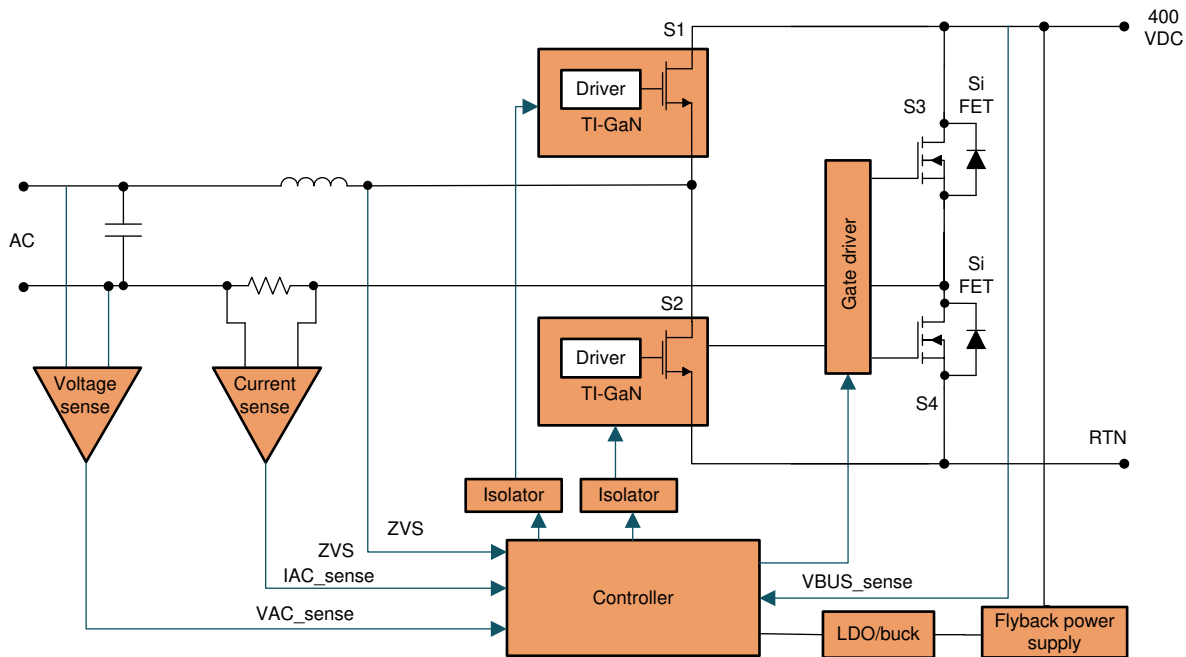


图 3-1. 图腾柱 PFC

图腾柱 PFC 具有提高效率的优势。主电流一次仅流经两个开关。S1 和 S2 与互补 PWM 信号同步驱动，慢速线路频率桥臂上的 S3/S4 可以是二极管或低 $R_{ds(on)}$ Si MOSFET，以便进一步降低传导损耗。其次，由于器件数量较少，因此可提供更高的功率密度和更低的 BOM 成本。最后，图腾柱 PFC 本身就可以双向运行，非常适合 V2G 应用和车载双向电池充电器。唯一的缺点是，对于硅 MOSFET，图腾柱排列允许仅在断续导通模式 (DCM) 或临界导通模式 (CrM) 下运行，因为如果允许连续导通模式 (CCM)，MOSFET 体二极管的反向恢复会导致过多的损耗。硅 MOSFET 中体二极管的反向恢复时间远多于标准快速恢复二极管的反向恢复时间。因此，反向恢复损耗将非常高，效率将很低。尽管图腾柱无桥升压 PFC 在与硅 MOSFET 配合使用时受到限制，但具有零恢复反向导通

功能的碳化硅 (SiC) 和氮化镓 (GaN) 开关器件出现后, 因此即使在 CCM 运行时也是优选。该图腾柱 PFC 可通过交错功率级扩展为更高功率, 如图 3-2 所示。

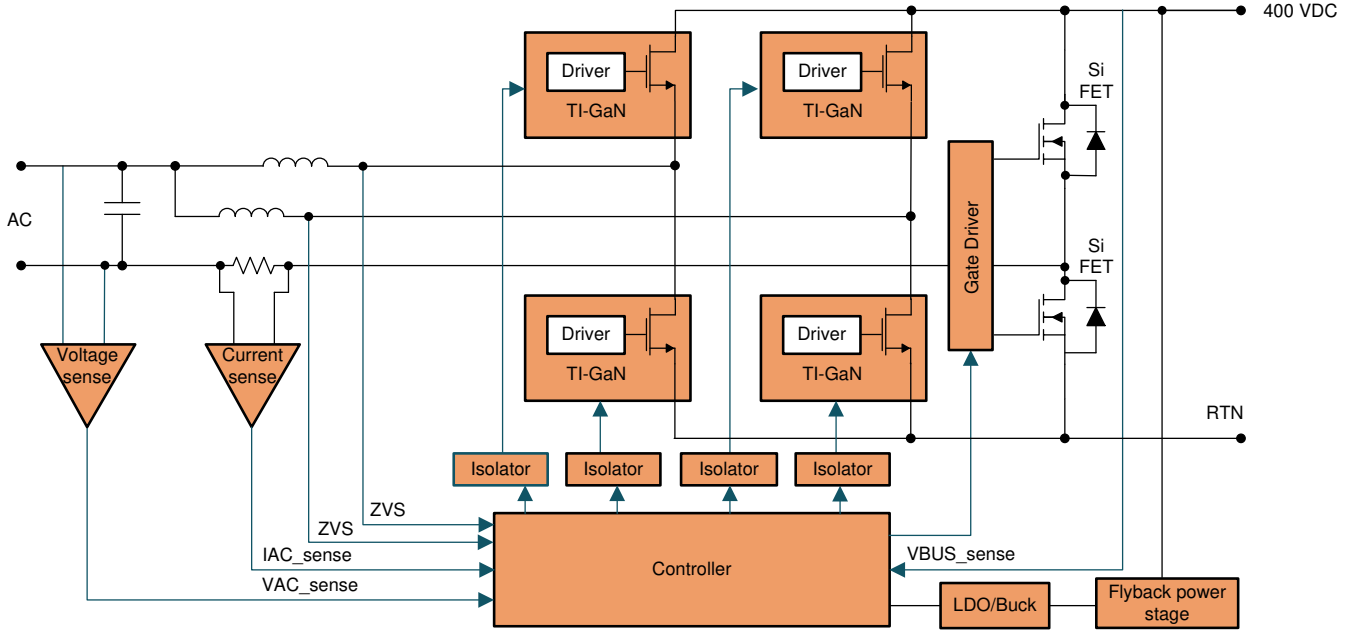


图 3-2. 交错式图腾柱 PFC

效率为 98.6% 且适用于混合动力汽车/电动汽车车载充电器的 6.6kW 图腾柱 PFC 参考设计和高效率 GaN CCM 图腾柱无桥功率因数校正 (PFC) 参考设计展示了交错式 PFC 在电动汽车充电应用中的应用。

3.2 单相中性点钳位 PFC

图 3-3 展示了电动汽车充电站中的典型中性点钳位 PFC 拓扑。

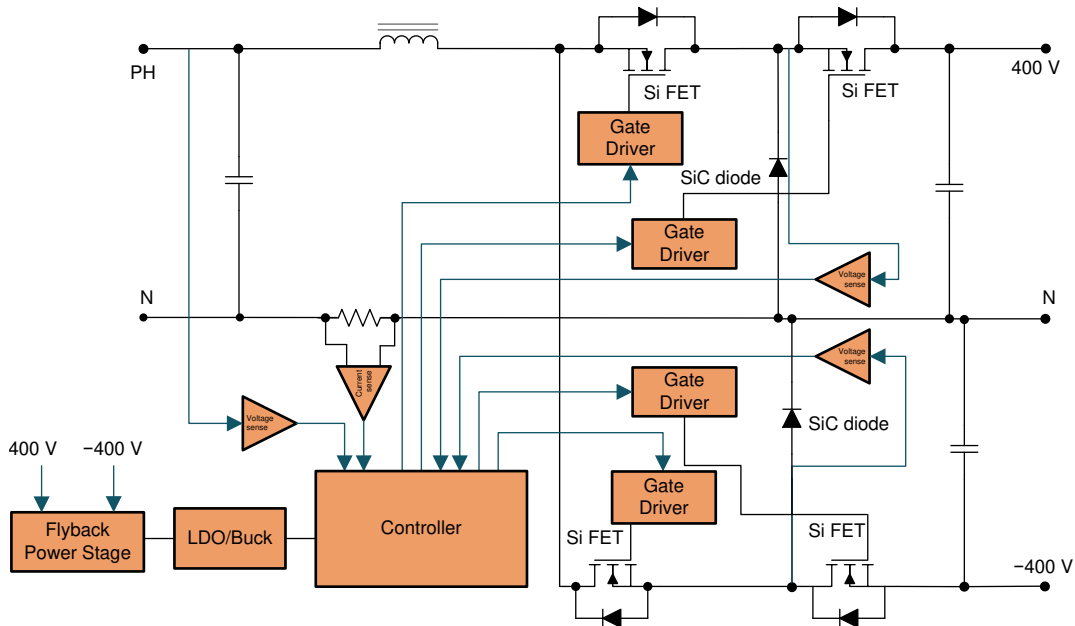


图 3-3. 中性点钳位 PFC

与传统的两电平转换器相比, 这种拓扑结构具有多项优势。第一款多电平转换器不仅可以生成失真极低的输出电压, 还可以在电源开关上产生较低电压的情况下降低 dv/dt 应力; 因此, 可以减少电磁兼容性 (EMC) 问题。其次, 多级转换器可以以低失真消耗输入电流, 因此它们具有更好的总谐波失真性能, 并且需要体积更小的输入电

传感器。此拓扑的多级特性可利用更具成本效益的 **MOSFET**，从而进一步降低设计成本。当需要非常高的效率和功率密度时，**GaN/SiC** 可用于此拓扑。最后，有源开关可实现转换器的双向运行。一个特殊的缺点是所需功率半导体开关数量更大。尽管多级转换器中可以使用额定电压较低的开关，但每个开关都需要一个隔离式栅极驱动电路，这种电路成本高昂且难以设计。

3.3 三相两级 PFC

图 3-4 展示了两级三相 PFC 的典型配置。六开关升压型整流器具有非常简单的电路拓扑和易于控制的特性。它有助于实现双向功率流，并可实现具有合理效率的高功率因数。

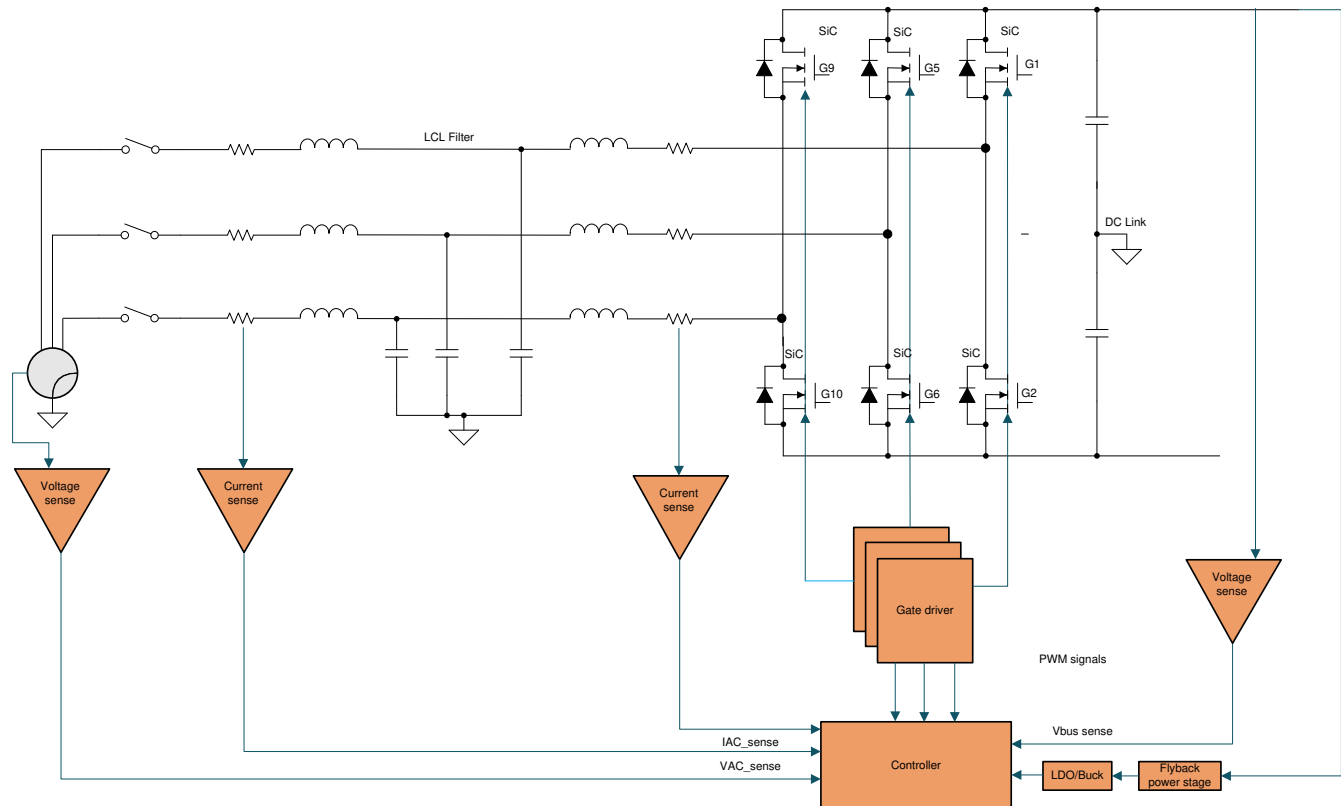


图 3-4. 两级 PFC

由于此拓扑是一种两级拓扑，因此需要高电压阻断开关来阻断整个直流链路电压。例如，在 800V 直流链路电压应用中，功率级需要 1200V 额定阻断容量的碳化硅 (SiC)。此拓扑的缺点之一是滤波电感器体积庞大，它需要将输入电流 THD 调节到较低的值。因此，与节 3.4、节 3.5 和节 3.6 中记录的其他竞争三级拓扑相比，功率密度较低。此外，器件上的峰值电压应力非常高，这会影响到功率级中使用的半导体和其他无源器件的长期可靠性。最后，与其他热门的多级 PFC 拓扑相比，转换器的电磁干扰 (EMI) 性能要低得多。

3.4 三相 Vienna PFC

图 3-5 所示的 Vienna 整流器电源拓扑用于高功率三相功率因数校正应用中。虽然用于有源三相功率因数转换的拓扑非常多，但 Vienna 整流器仍然颇受青睐，因为它以连续导通模式 (CCM) 运行，具有固有的多级开关 (三级)，并且可以降低功率器件上的电压应力。基于迟滞的控制器和基于正弦三角的控制器都用于 Vienna 整流器，因此控制起来相对简单，因为此拓扑所需的 PWM 较少。此拓扑的缺点之一是它仅支持从电网到直流侧的单向模式功率传输。Vienna 整流器的特征是总体体积相对较小或功率密度较高，因为与节 3.3 中所讨论的两级整流器相比，它只需要升压电感器电感的大约一半。输出电压的多级特征还可提供更好的 THD 性能。与两级 PFC 不同，Vienna 整流器具有三级特性，因此可通过 Si MOSFET 或 600V 至 650V IGBT 和 SiC 肖特基二极管在更高的开关

频率下实现高效率，并且无需使用高级 1200V SiC 功率 FET 来降低开关损耗。基于 Vienna 整流器且采用 C2000 MCU 的三相功率因数校正参考设计 TI 参考设计包含有关该转换器的实现的详细信息。

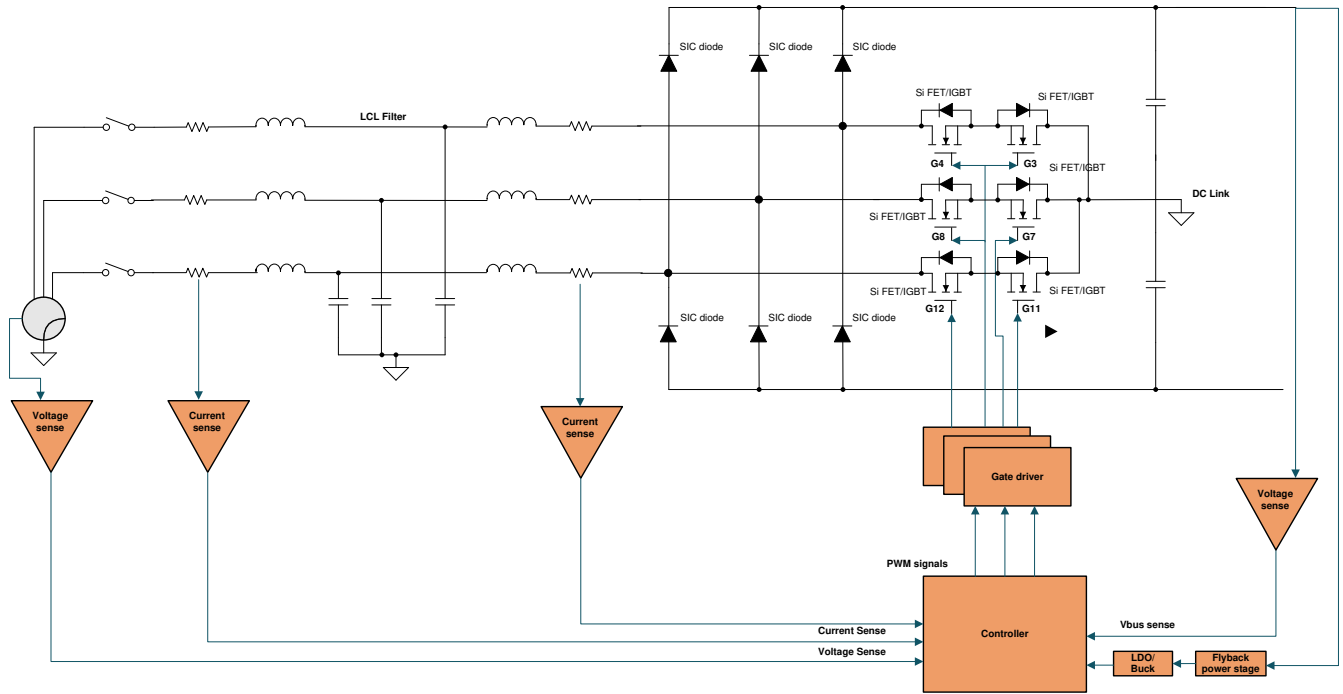


图 3-5. Vienna 整流器

3.5 三相 ANPC/NPC 三级 PFC

图 3-6 所示为中性点钳位转换器的基本拓扑。这与之前看到的单相 NPC 多级拓扑类似，该拓扑已扩展到三个相位，在这三个相位中，该拓扑的所有开关只需阻断一半的总线电压即可。因此，在目前讨论的所有拓扑中，器件上的电压应力最低。因此，可以根据功率级别、成本和目标效率，在多个平台之间轻松扩展此拓扑，以便使用 SiC、GaN 和 Si MOSFET 实现。

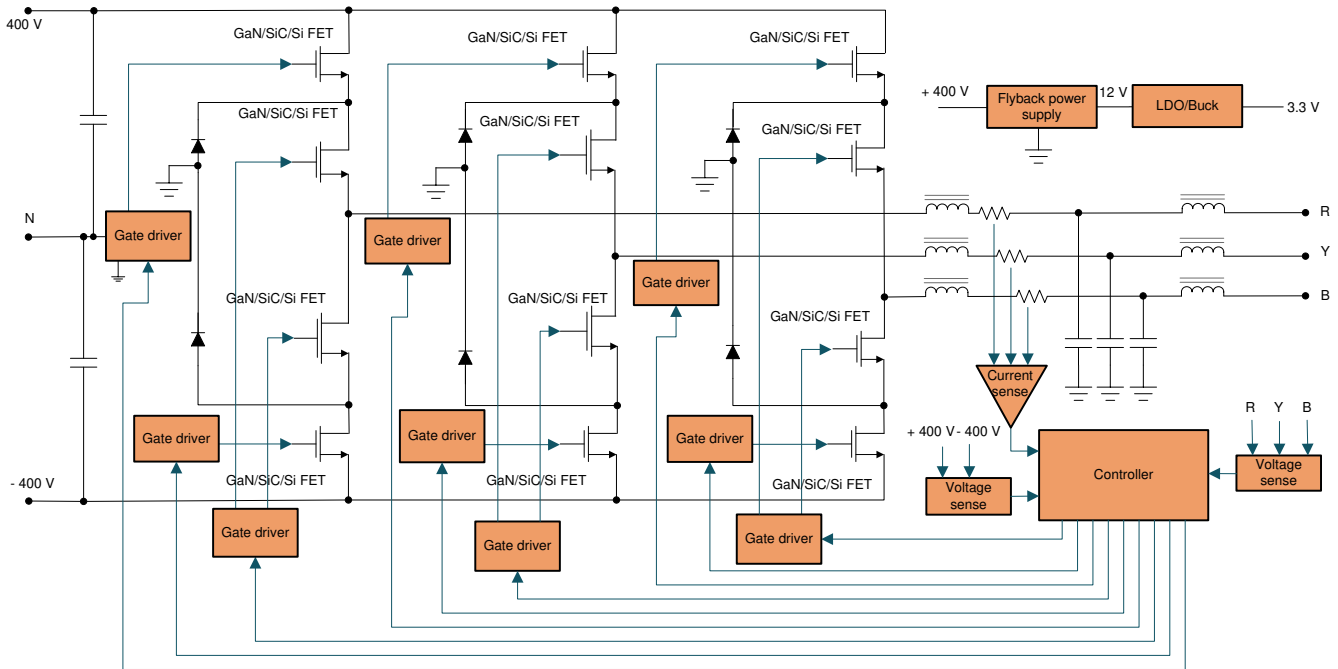


图 3-6. 三相三级 NPC

由于只需切换一半的电压，这也将 MOSFET 中的开关损耗减少了一半，因此可以使用 600V 元件而不是 1200V 类型。除此之外，在 600V 技术中，元件的可用速度比 1200V 快得多。这可进一步降低开关损耗。中性点钳位拓扑将具有较低的输出电流纹波和一半的输出电压瞬态。这将减少滤波电感器中的滤波和隔离工作。因此，我们可以实现高功率密度，同时降低调节电流波形 THD 所需的电感。多级转换器不仅会产生干扰非常小的输出电压，还可以更大限度地减小器件上的 dv/dt 应力，从而减少电磁干扰 (EMI) 问题。此外，由于开关损耗更小且效率更高，此拓扑还提供双向功率传输，是高于 50kHz 开关频率的首选。

一个特殊的缺点是需要大量的功率半导体开关。尽管额定电压较低的开关可用于多级转换器，但每个开关都需要一个连接的栅极驱动电路，而且随着器件数量的增加，控制也变得非常复杂。由于此拓扑同时使用有源半导体开关和二极管，因此它们在功率级和热管理中的不对称损耗分布可能非常具有挑战性。在许多情况下，为了实现更对称的损耗分布，NPC 拓扑的二极管被有源开关所取代。这将产生有源中性点钳位 (ANPC) 转换器拓扑，如图 3-7 所示。此外，由于所有开关上的阻断电压降低，因此氮化镓 (GaN) 可用于此拓扑中的高频开关，从而提高转换器的效率和功率密度。

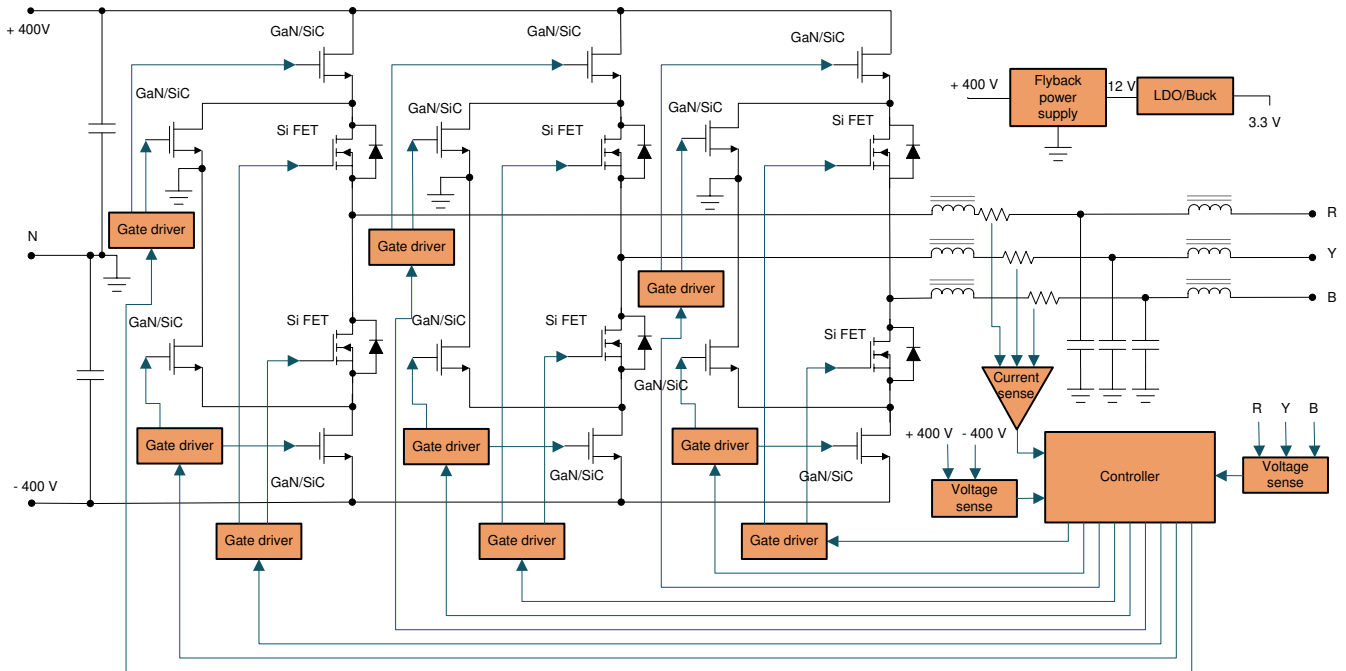


图 3-7. 三相三级 ANPC

3.6 三相 TNPC 三级 PFC

图 3-8 所示为 3L T 型转换器的基本拓扑。传统的两级电压源转换器 (VSC) 拓扑通过有源双向开关扩展到直流链路中点。对于 800V 直流链路电压，每个相位上的高侧和低侧通常使用 1200V IGBT/二极管来实现，因为必须阻断全电压。不同的是，直流链路中点的双向开关只能阻断一半的电压。它可以通过具有较低额定电压的器件来实现，例如两个包含反向并联二极管的 600V IGBT。由于阻断电压降低，中间开关的开关损耗超低，而且传导损耗可接受。与之前讨论的三级 NPC 拓扑不同，没有器件串联连接必须阻断整个直流链路电压。对于 NPC 拓扑，通常省略从正 (P) 电平直接切换到负 (N) 直流链路电压电平，反之亦然，因为当两个串联的 FET 同时关断时，瞬态情况下可能会阻止不均匀的电压份额。这种不良影响在 T 型拓扑中不会发生。没有必要实现可防止此类转换的低级例程，也没有必要确保串联 IGBT 之间的瞬态电压平衡。使用单个 1200V 器件阻断完整直流链路电压的另一个额外好处是减少了导通损耗。每当输出连接到 (P) 或 (N) 时，仅出现一个器件的正向压降，这与两个器件始终串联的 NPC 拓扑相反。导通损耗显著降低，因此即使在低开关频率下，T 型也是一个有趣的选择。

总体而言，与 NPC 相比，导通损耗要低得多，但由于器件阻止了完整的直流链路电压，因此开关损耗很高。与 NPC 拓扑相比，元件数量有限，并且与 Vienna 整流器和两级 PFC 相比，效率、功率密度和双向运行能力更好，因此 T 型整流器非常适合频率高达 50kHz (超过此频率时，NPC 性能更好) 的应用。此拓扑的缺点之一是高电压阻断 FET 上的高峰值电压应力较高。最后，与其他拓扑类似，它也具有良好的 THD 性能，因此在输入端不需要笨重的电感器。TI 的 [三级三相 SiC 交流/直流转换器](#) 参考设计包含有关实现该转换器的详细信息。

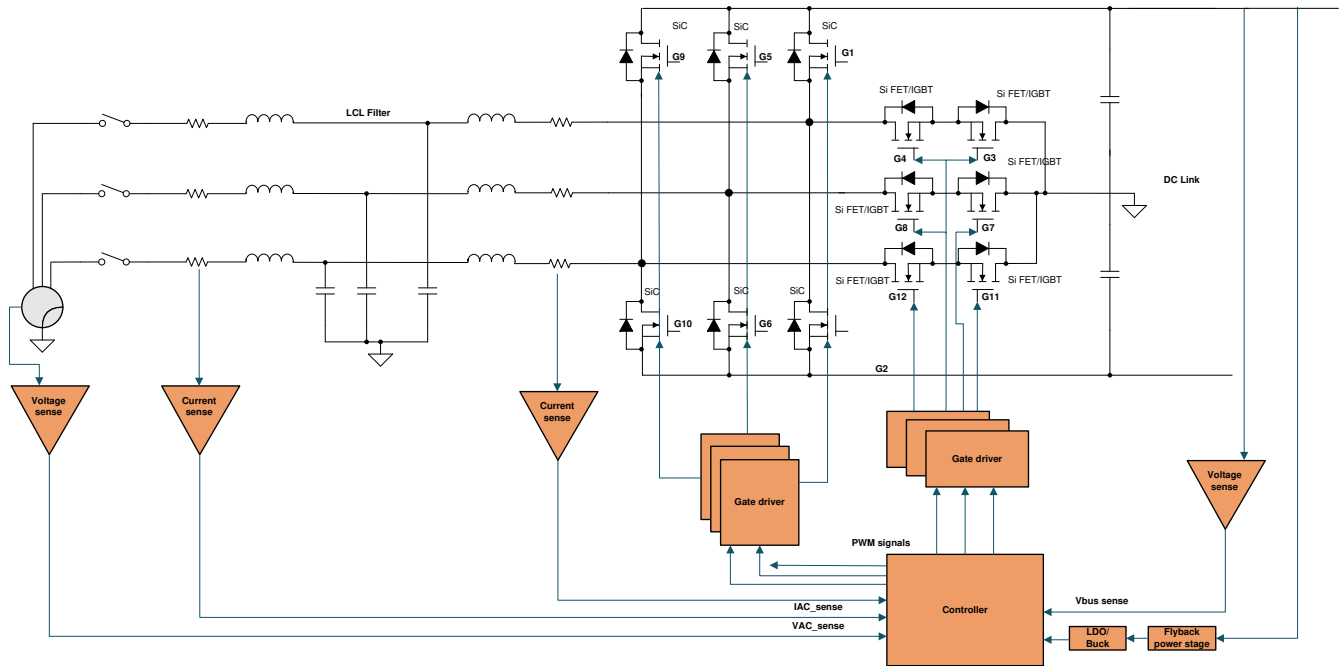


图 3-8. 三相三级 T 型 PFC

3.7 交流/直流拓扑总结

表 3-1 比较和总结了前面讨论的 PFC 拓扑。

表 3-1. PFC 拓扑的优缺点

	2 级	3 级 NPC	3 级 Vienna	3 级 TNPC	3 级 ANPC
输出电流为 THD	高	超低	超低	超低	超低
有源和无源器件上的峰值电压应力	高	低	低	低/ (高阻断)	最低
功率密度	低	较高	高	高	较高
双向	是	是	否	是	是
导通损耗	低	高	高	中	高
开关损耗	高	低	中	中	低
效率	低	非常高 (高频下)	高	高	最高
成本	低	高	中	中	高
控制	简单	中	中	中	轻度
输入电感器尺寸	大	低	低	低	低
热管理	简单	损耗分布不对称，因此很难实现	轻度	简单	简单

4 直流/直流电源拓扑

本节探讨了四种不同的高功率直流/直流转换器拓扑；即 LLC 谐振转换器、相移全桥 (PSFB)、单相双有源电桥 (DAB) 和 CLLC 模式下的双有源电桥 (DAB - CLLC)。

4.1 传统相移全桥 (PSFB)

图 4-1 展示了相移全桥转换器的基本拓扑。相移全桥属于双有源电桥转换器系列，其中次级上的有源开关替换为二极管。因此，它只允许单向功率传输。[相移全桥直流/直流电源转换器 TI 参考设计](#) 包含有关此转换器实施的详细信息。

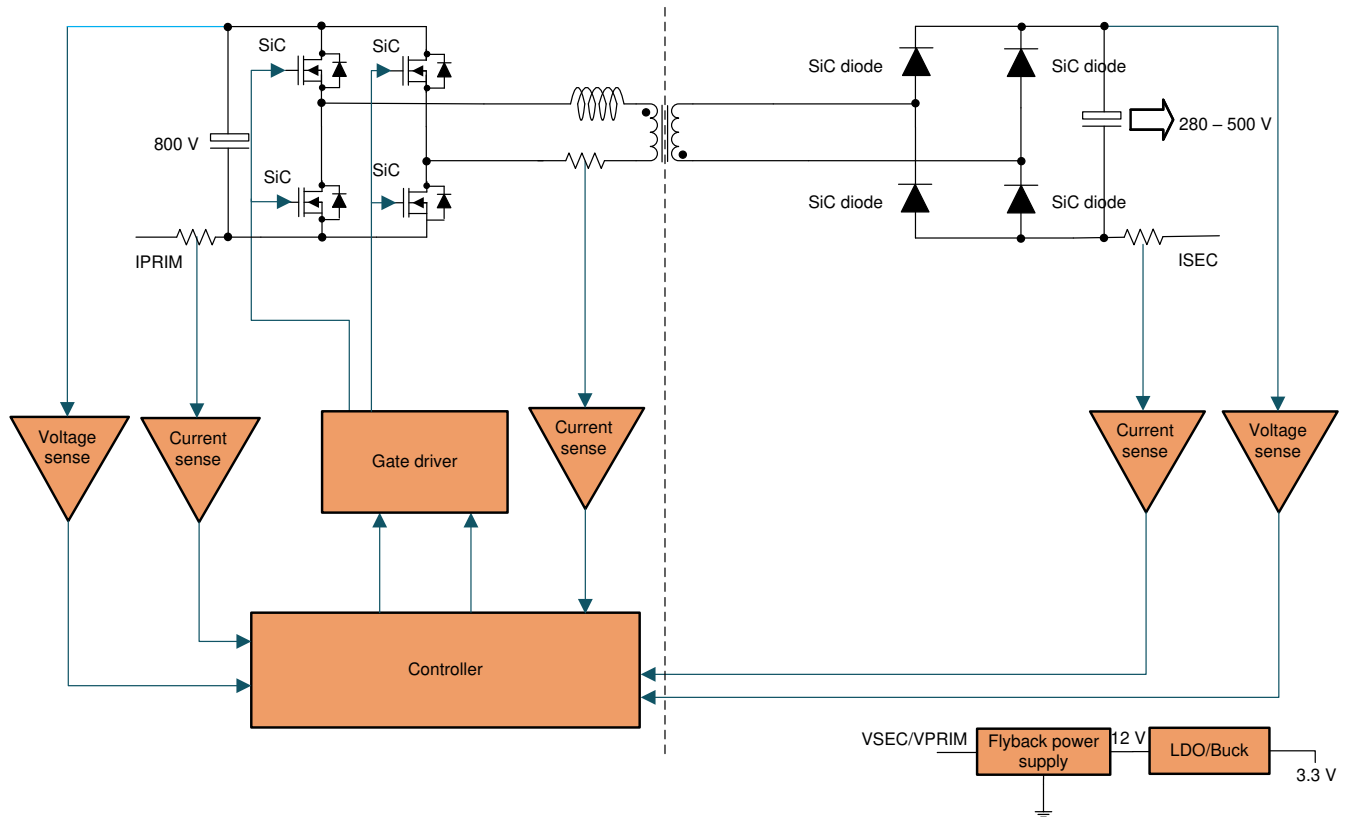


图 4-1. 相移全桥

通过改变初级电桥开关桥臂之间的相位来控制初级和次级之间的功率传输。因此，一个桥臂可实现 ZVS 导通，而另一个桥臂可实现低电压导通，从而更大程度地降低损耗。次级上的无源二极管可能会经历硬开关，并导致更多的传导损耗，从而降低该转换器的效率。该转换器在轻负载条件下会出现非 ZVS 导通损耗，而在非 ZVS 关断时会出现非 ZVS 导通损耗。通常，突发运行模式用于在轻负载条件下维持 ZVS。该转换器也是模块化的，可以并联以在电动汽车充电站中获得更高的功率吞吐量。在 PSFB 中，抖动可轻松实现以减少传导 EMI 信号。此拓扑需要一个直流阻断电容器，来阻止在电压模式控制中使变压器饱和的直流电压偏移。该转换器通常需要一个额外的匀场电感器，这是 ZVS 运行所必需的，它会使转换器变得笨重并会影响功率密度。

4.2 双有源电桥 (DAB)

图 4-2 展示了双有源桥转换器的基本拓扑。它由全桥组成，其中初级侧和次级侧的有源开关由高频变压器连接在一起。由于其中一个电桥中固有的滞后电流，电流使一个电桥（例如次级侧）和初级侧某些开关的输出电容放电，从而使 ZVS 导通。除此之外，这种无损电容缓冲器还可在开关上使用，以便减少关断损耗。该转换器的主要优势在于其固有的双向功能，这是通过控制两个电桥之间的相位角实现的，并且其模块化允许其扩展到更高的功率级别。

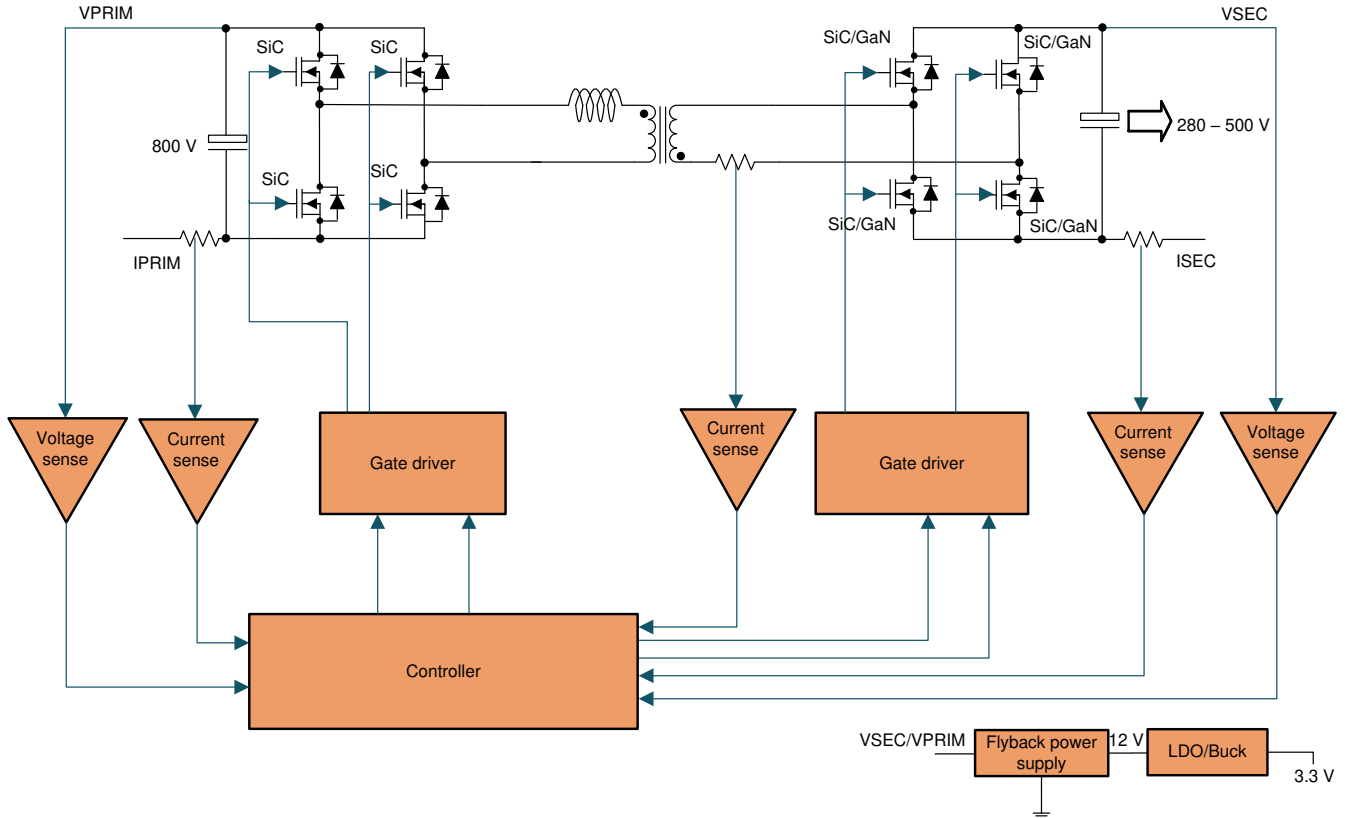


图 4-2. 双有源电桥

DAB 的控制范围从简单（或单相移调制）到复杂（扩展、双和三相移调制）。此拓扑可用于通过单相移调制覆盖广泛的电池电压变化，但变压器中的循环电流会增加，从而显著降低效率。但是，借助三相移等高级调制方案，转换器理论上可以在整个工作范围内实现 ZVS。对于此拓扑，变压器 KVA 额定值的输出功率利用率很高。对于该转换器，处理纹波电流所需的输出电容也很低。该转换器具有相对较少的器件数量、软开关换向、低成本和高效率，适用于功率密度、成本、重量、隔离和可靠性是关键因素的应用。另一个限制特性是，转换器通常需要一个附加匀场电感器，这是 ZVS 运行所必需的，它会使转换器变得笨重并会影响功率密度。[适用于 3 级电动汽车充电站的双向双有源电桥参考设计](#) TI 参考设计包含有关该转换器实现的详细信息。

4.3 LLC 谐振转换器

该转换器的增益是开关电桥增益、谐振回路增益和变压器匝数比的函数。通过改变运行的开关频率来实现输出电压调节。LLC 谐振转换器有三种运行模式/区域，即在谐振频率、高于谐振频率和低于谐振频率下运行。在低于谐振频率运行期间，谐振半周期电感器电流在开关周期内达到磁化电流的值，并导致次级整流器二极管之间的软开关，但另一方面，由于循环能量增加，会导致更多的传导损耗。高于谐振频率运行时，会导致次级整流器二极管的开关损耗增加和硬换向，但会由于循环能量减少而导致传导损耗降低。因此，当在接近谐振频率的情况下运行时，这些转换器可获得卓越性能，此时 ZVS 可导通，ZCS 可关断。该转换器提供单向功率流，通常用于功率低于 5kW 的应用。图 4-3 展示了 LLC 谐振转换器的拓扑。

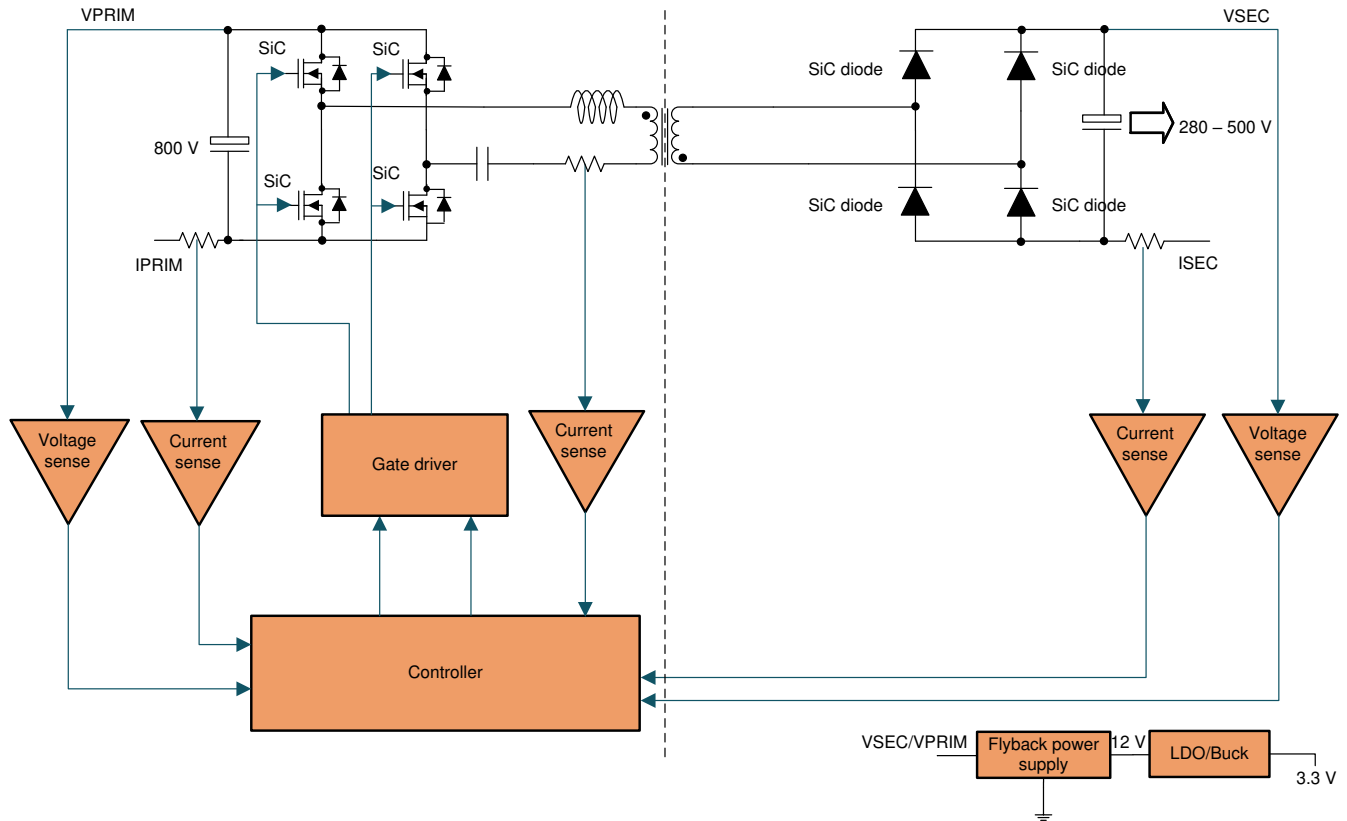


图 4-3. LLC 转换器

并行和同步多个 LLC 转换器模块以提高功率吞吐量非常困难，通常需要外部控制逻辑来实现安全实施。高输出电压设计 (大于 400V) 中的低 di/dt 使得在 LLC 转换器中实现同步整流变得非常复杂。有源和无源器件上的纹波电流和峰值电压应力明显较高，因此需要更高的输出电容来处理高纹波。此外，LLC 转换器的变压器的尺寸也略高，因此这些无源器件可显著降低转换器的功率密度。由于此转换器在导通和关断期间具有软开关功能，因此与之前讨论的其他硬开关拓扑相比，EMI 性能更好。使用 C2000™MCU 的两相交错式 LLC 谐振转换器参考设计 TI 参考设计包含有关实现此转换器的详细信息。

4.4 CLLLC 模式下的 DAB

CLLC 包含前面所述的 LLC 的所有功能，但该拓扑的主要优势是，通过在次级侧使用有源开关，我们可以实现双向电源传输，如图 4-4 所示。该转换器的 ZVS/ZCS 运行可提高效率。当总线电压有 10% 的裕量变化时，该转换器可以满足宽变化电池电压，并具有良好的效率性能、但使用固定总线电压时，其工作范围非常有限。在变压器初级侧和次级侧使用电容器的情况下，可以防止变压器磁芯饱和问题。

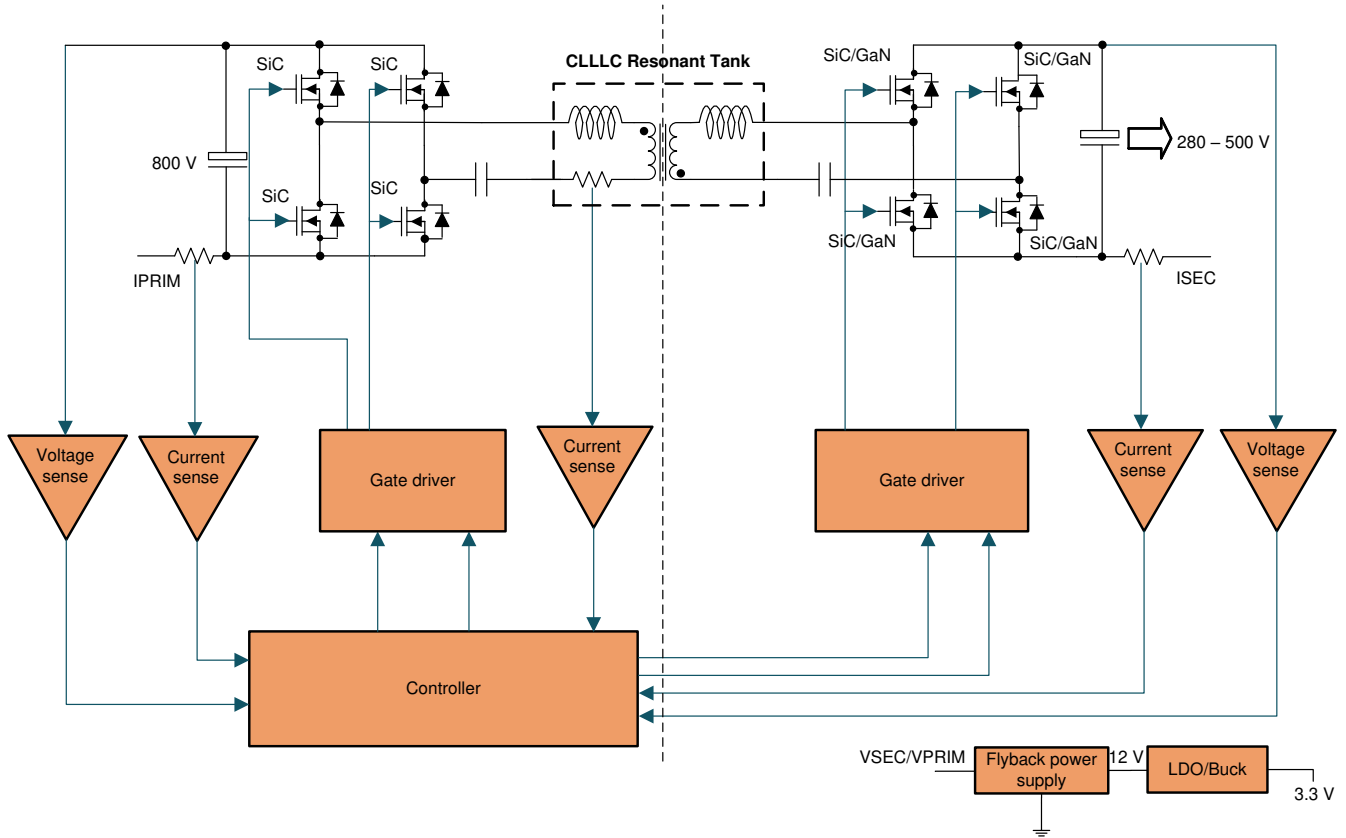


图 4-4. DAB- CLLLC 转换器

该转换器主要适用于车载充电器应用，但可在高达 10kW 的更高功率水平下使用。但是，扩展到更高的功率水平和并联可能很困难，因为它需要高度对称的容器结构和多个模块的同步，这可能非常困难。[适用于 HEV/EV 车载充电器的双向 CLLLC 谐振双有源电桥 \(DAB\) TI 参考设计](#) 包含有关此转换器的实现的详细信息。

4.5 直流/直流拓扑总结

表 4-1 比较和总结了前面讨论的直流/直流拓扑。

表 4-1. 直流/直流拓扑的优缺点

	LLC 转换器	相移全桥 (PSFB)	双有源电桥 (DAB)	DAB 处于 CLLC 模式
初级侧和次级侧的器件峰值应力	高	轻度低	最低	高
变压器 KVA 额定值	高	中	低	高
变压器 KVA 额定值的电源输出	低	中	高	中
输入和输出电容器 RMS 电流	高	中	低	高
操作	单向	单向	双向	双向
导通损耗	高	中	最低	中
开通开关损耗	ZVS	ZVS	ZVS	ZVS
关闭开关损耗	低 (ZCS)	高	高 (在峰值电感器漏电流值时器件关闭)	低 (初级侧关断由磁化电感器电流决定, 次级侧关断因 ZCS 而为零)
总损耗	低	较高	中	低
控制复杂度	中等	非常简单	简单到复杂	中等
宽电池电压, 固定总线电压	否, 需要额外的直流/直流级	是 (效率降低)	是 (效率降低)	范围有限
并联模块	密集	简单	简单	密集
开关频率	固定/高 (Si/SiC)	高	高	非常高

5 直流快速充电基础设施的未来趋势

前面讨论的先进电源转换拓扑正在推动对双向、高功率密度和可扩展转换器的需求。这些技术正在推动业界朝着电动汽车充电的新趋势发展，这些趋势是便携式充电器和车辆到电网 (V2G) 技术的概念。本节将介绍这些进展。

5.1 便携式充电器

很少有汽车 OEM 正在探索随处可见的直流充电器如何在未来几年消除电动汽车车载充电器 (OBC)，从而使电动汽车更高效、更实惠。通过将便携式 (小型) 直流充电器与每辆电动汽车配对，汽车 OEM 可能希望从电动汽车中消除 OBC。从汽车中消除 OBC 具有许多优势，例如：

- 降低了总体系统成本，因为可能不需要符合 Q100 标准的器件/系统
- 电动汽车充电器的可维护起来变得更加轻松，而电动汽车不再因充电器故障而停机
- 更高的效率，即由于降低了车辆总重量，每次充电可行驶更多英里数
- 更重要的是，充电速率将不再受 OBC 的额定功率限制 (使用 L1 或 L2 交流充电器时就是这种情况)

这些充电器应具有便携性，即外形小巧的手持式自然对流冷却 (即无风扇)。这可能需要制造商查看基于 GaN/SiC 的架构，该架构可以按几百 kHz 的量级切换至几 MHz，从而减小整个充电器的尺寸并降低热辐射。图 5-1 所示为便携式电动汽车充电器的方框图。

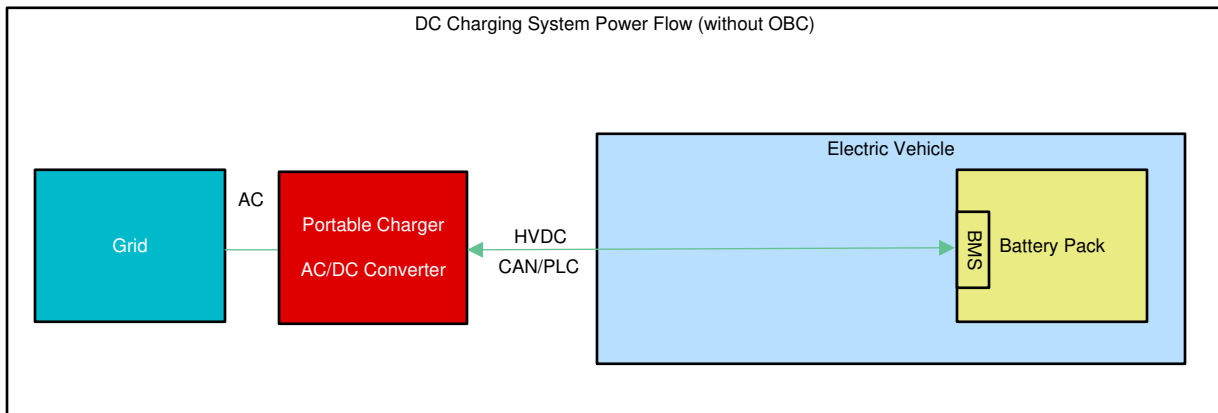


图 5-1. 便携式电动汽车充电器

5.2 车辆到电网技术 (V2G)

“车辆到电网”技术也称为 **V2G**，可将电动汽车中存储的能量反馈到国家电力网络（或“电网”），有助于在高峰需求时提供能源。在任意给定的时刻，**90%** 以上的汽车都处于泊车状态，这样会浪费大量能源，因为只是放在那里，什么都不做。这些能源可用于 **平衡电网**，这样网络上有足够的电力能满足我们所有人的需求。这就需要在电动汽车充电站中使用双向转换器。图 5-2 展示了连接到充电站的电动汽车，其中充电站内部的双向转换器可使存储在电池中的能量用于稳定电网中的间歇性。

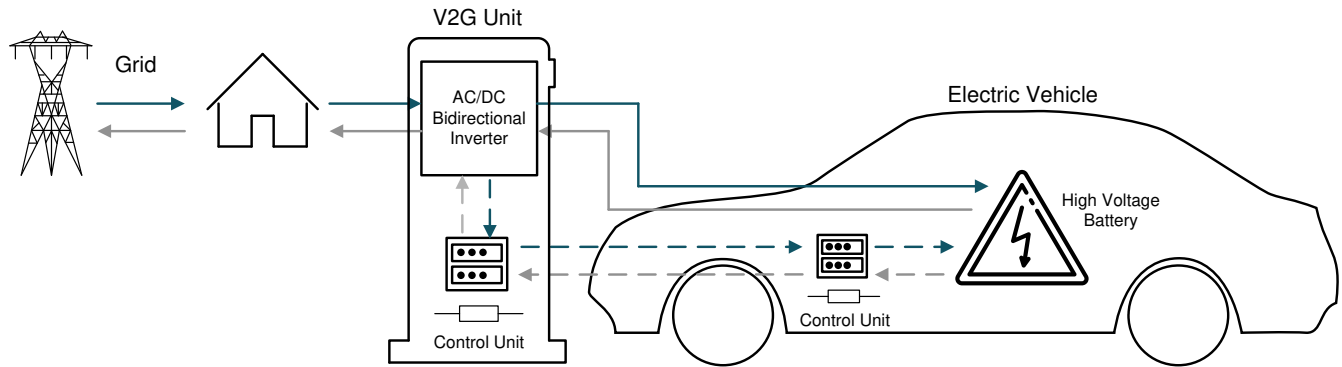


图 5-2. V2G 技术

6 结论

电源拓扑的最终选择归结为特定电动汽车充电器的预期用例，即目标功率级别、效率和功率密度目标等等。尽管高功率公路充电器（或车队充电器）会考虑复杂的多级三相 PFC 和直流/直流级来为其提供越来越多的电力，但新出现的便携式充电器可以通过简单的交错式图腾柱 PFC 级和 LLC 直流/直流级来解决。由于对 V2G 等新要求感兴趣，工程师可能必须将其拓扑选择限制为支持车辆和电网之间双向电源传输的拓扑选择。

无论您选择何种用例，电力电子领域的进步与半导体技术相结合，随时准备为您提供构建下一代直流快速电动汽车充电站所需的一切。

7 参考文献

- 基于 [Vienna](#) 整流器且采用 [C2000 MCU](#) 的三相功率因数校正参考设计
- 适用于太阳能串式逆变器的 [10kW](#) 三级三相 [T 型逆变器](#)参考设计
- 效率为 [98.6%](#) 且适用于 [HEV/EV](#) 车载充电器的 [6.6kW](#) 图腾柱 [PFC](#) 参考设计
- 高效率 [GaN CCM](#) 图腾柱无桥功率因数校正 ([PFC](#)) 参考设计
- Design and Implementation of a Highly Efficient Three-Level T-Type Converter for Low-Voltage Applications, M. Schweizer, J. W. Kolar, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 28, No. s2, pp. 899-907, February 2013
- 针对 [HEV/EV](#) 车载充电器的双向 [CLLLC](#) 谐振、双有源电桥 ([DAB](#)) 参考设计
- 适用于 [3 级](#)电动汽车充电站的双有源电桥参考设计
- 相移全桥直流/直流电源转换器
- 使用 [C2000™ MCU](#) 的两相交错式 [LLC](#) 谐振转换器参考设计
- R.W. A. A. De Doncker, D. M. Divan, and M. H. Kheraluwala, “A threephase soft-switched high-power-density dc/dc converter for high-power applications,” IEEE Trans.Ind. Appl., vol. 27, no. 1, pp. 63 – 73, Jan./Feb.1991.
- M. H. Kheraluwala, R. W. Gascoigne, D. M. Divan, and E. D. Baumann, “Performance characterization of a high-power dual active bridge dc-to dc converter,” IEEE Trans.Ind. Appl., vol. 28, no. 6, pp. 1294 – 1301,Nov./Dec.1992.
- A.K.Jain and R. Ayyanar, “PWM Control of Dual Active Bridge: Comprehensive Analysis and Experimental Verification,” IEEE Trans.Power Electron., vol. 26, no. 4, pp. 1215-1227, April 2011.
- Overview of Dual-Active-Bridge Isolated Bidirectional DC – DC Converter for High-Frequency-Link Power-Conversion System Biao Zhao, Student Member, IEEE, Qiang Song, Member, IEEE, Wenhua Liu, Member, IEEE, and Yandong Sun

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司