



# 电动车快速直流充电：常见的系统拓扑结构 和功率器件

## 电动车快速直流充电：常见的系统拓扑结构和功率器件

直流快速充电 (以下简称“DCFC”) 在消除电动车采用障碍方面的作用是显而易见的。对更短充电时间的需求推动近 400 千瓦的高功率电动车快充进入市场。本博客将讲述典型的电源转换器拓扑结构和用于 DCFC 的 AC-DC 和 DC-DC 的功率器件的概况。

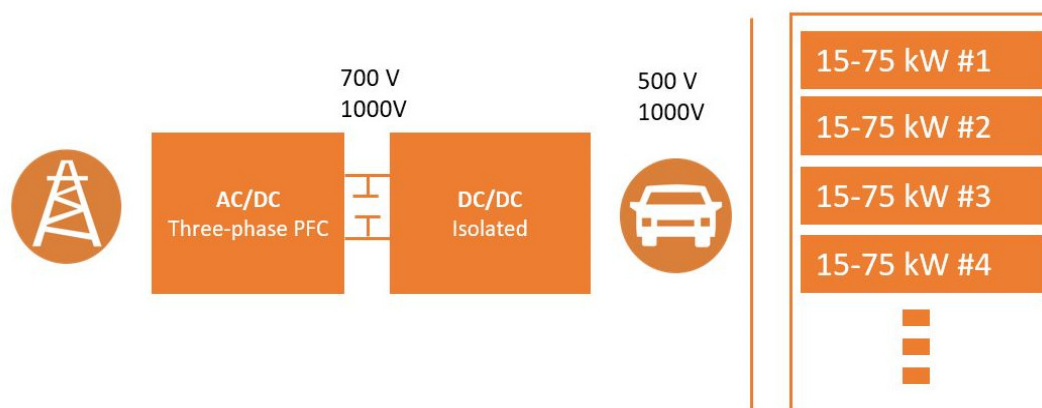


图 1. 电动车直流快速充电架构图

### 有源整流三相 PFC 升压拓扑结构

三相功率因数校正 (PFC) 系统 (也称为有源整流或有源前端系统) 正获得越来越多的关注, 近年来需求急剧增长。PFC 拓扑结构对于高效地为 DCFC 供电至关重要。将[碳化硅 \(SiC\) 功率半导体](#)纳入您的 PFC 拓扑结构可以解决挑战, 减少功率损失并提高功率密度的。

前端 PFC 升压级可以用多种拓扑结构实现, 而且几种拓扑结构可以满足相同的电力要求。图 2 展示了 DCFC 应用中常见的 PFC 架构。它们之间的一个首要区别是是否能双向传输。T-中性点钳制 (T-NPC) 和 I-NPC 拓扑结构通过用开关取代一些二极管而适合双向操作。6-switch 的结构是一个双向的 perse。

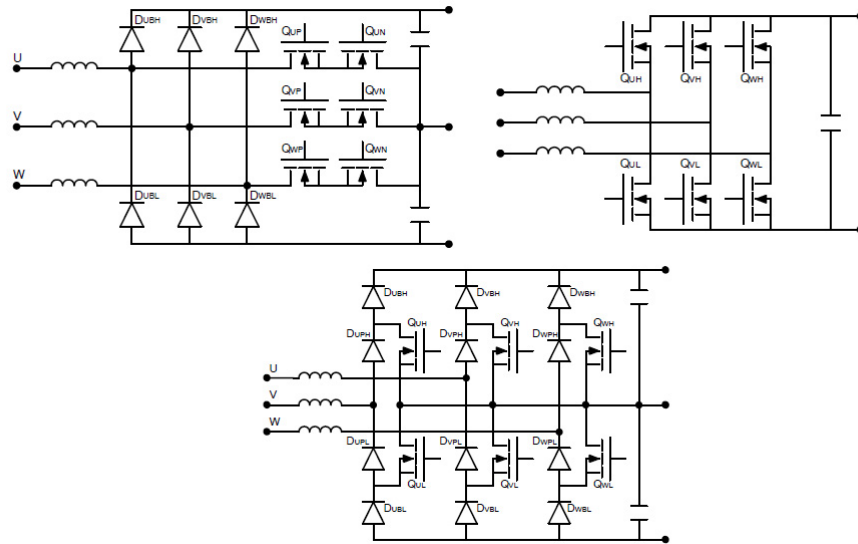


图 2. 用于 DCFC 的典型 PFC 升压拓扑结构. T-NPC (左上)、6-switch (右上) 和 I-NPC (底部)

另一个影响设计和功率器件额定电压的重要因素是架构中的级数。6-switch 的拓扑结构是一个两电平架构，通常用 900 V 或 1200 V 的开关来实现快速直流电动车充电桩。这里 [SiC MOSFET-模块具有低 RDS on \(6-40 mΩ\)](#) 区域的首选解决方案，特别是对于每块 15 kW 以上的高功率范围。

这种集成表现出比分立解决方案更优越的功率性能，提高了能效，简化了设计，减小了整个系统的尺寸，并最大化可靠性。T-中性点箱位 (T-NPC) 是一种三电平拓扑结构，使用 1200 V 整流器 (以双向形式用开关代替)，中性点路径上有 650 V 开关背对背。I-NPC 是一个三电平架构，可能完全用 650 V 开关实现。 [650 V SiC MOSFET](#) 或 [IGBT 与共封装二极管](#) 代表了这些三电平拓扑结构的优秀替代方案。

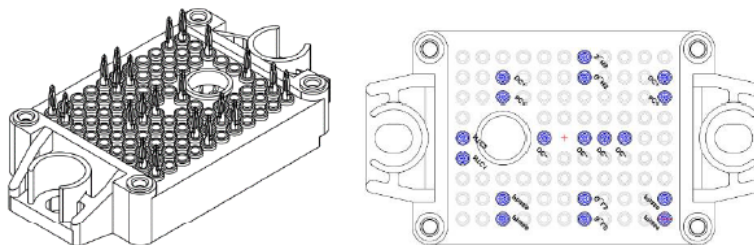


图 3. F1-2 PACK SiC MOSFET 半桥模块. 1200 V, 10 mΩ

## DC-DC 拓扑结构

在研究 DC-DC 转换级时，主要采用了三种隔离拓扑结构：全桥 LLC 谐振转换器 (LLC 转换器)、全桥移相双有源桥 (DAB) 零电压过渡 (ZVT) 转换器 (DAB-ZVT 转换器) 和全桥移相零电压过渡转换器 (ZVT 转换器) (图 4、5 和 6)。

## 全桥 LLC 谐振

LLC 转换器在初级端实现了零电压开关 (ZVS)，同时在谐振频率及以下——在次级端实现了零电流开关 (ZCS) 从而在谐振频率附近产生了非常高的峰值效率。作为一个纯粹的频率调制 (FM) 系统，当系统工作点偏离谐振频率时，这可能是需要宽输出电压操作时的情况，LLC 的能效就会下降。然而，先进的混合调制方案使今天的脉冲调制 (PWM) 与调频相结合，限制了最大频率失控和高损耗。不过，这些混合实现方式还是给已经有时很麻烦的 LLC 控制算法增加了复杂性。此外，并联的 LLCs 转换器的电流共享和同步也不是件容易的事。一般来说，当有可能在相对较小的电压范围内工作时，和/或当具备实施结合调频和 PWM 的先进控制策略的开发技能时，LLC 是一种难以超越的设计。它不仅可以提供最高的能效，而且从各个角度看都是一个非常全面的解决方案。LLC 可以作为 CLLC 以双向形式实现，这是另一种复杂的拓扑结构。

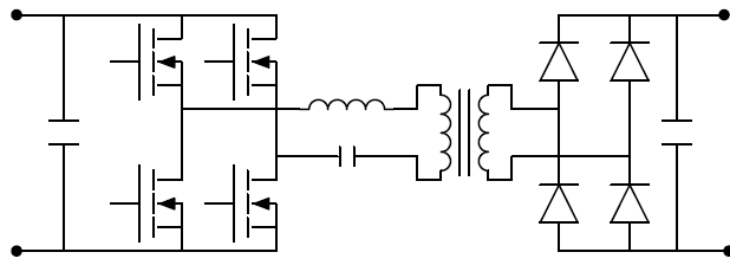


图 4. 全桥 LLC 转换器

## 全桥移相双有源桥 (DAB) 零电压转换 (ZVT) 转换器

带有次级同步整流拓扑结构的 DAB-ZVT 转换器也非常典型。这些都是用 PWM 工作，一般来说，需要比 LLC 转换器更简单的控制。DAB 可以被认为传统的移相 ZVT 转换器的演变，但漏感器在初级端，这简化了繁琐的次级端整流，减少了二次开关或二极管的必要额定击穿电压。由于实现了 ZVT，这些转换器可以在很宽的输出电压范围内提供稳定的高效率。这对于支持 800 V 和 400 V 电池电压水平的充电器来说是个方便的因素。DAB 的 PWM 工作带来了好处。首先，它倾向于使转换器的电磁干扰 (EMI) 频谱比调频系统中的更紧密。此外，用固定的开关频率，系统在低负载时的行为更容易解决。通过同步整流，DAB 是一种双向的原生拓扑结构，是快速电动汽车充电器的最通用的替代方案和合适的解决方案之一。

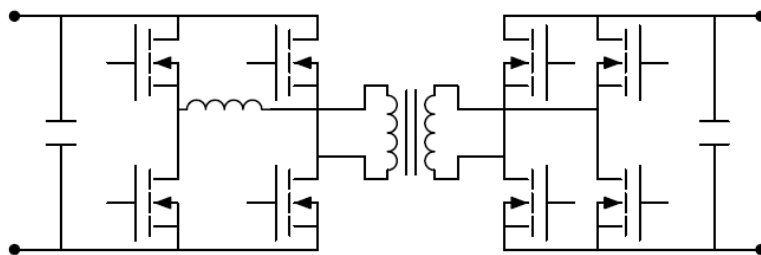


图 5. 全桥移相式 DAB ZVT 转换器

## 全桥移相 ZVT 转换器

对于单向操作，传统的全桥移相 ZVT (图 6) 仍然是一个可用的选择，但渗透率越来越低。这种拓扑结构的工作与 DAB 类似，但位于次级端的电感器在整流中带来一个显著的差异。电感器在二极管上设置了高的反向电压，这将与占空比成正比和反比，因此，根据工作条件，二极管上的反向电压可能超过输出电压的两到三倍。这种情况在高输出电压的系统中 (如电动车充电器) 可能具有挑战性，通常多个次级绕组 (具有较低的输出电压) 被串联起来。这样的配置并不那么方便，特别是如果考虑到功率和电压的额定值，不同的拓扑结构含单一输出将提供相同或更好的性能。

[SiC-模块](#)代表了上述 DC-DC 电源转换级中全桥的一个非常合适和常见的解决方案，功率高于 15 kW。更高的频率有助于缩小变压器和电感器的尺寸，从而缩小整个解决方案的外形尺寸。

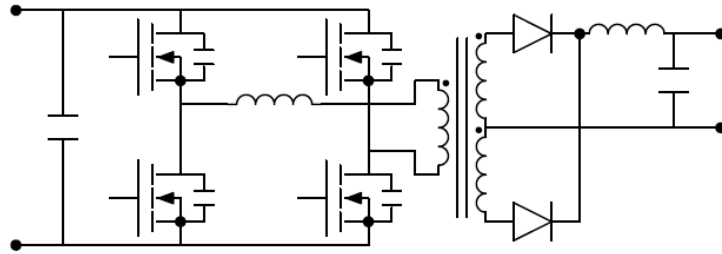


图 6. 全桥移相 ZVT 转换器

## 拓扑结构的变体

所讨论的拓扑结构存在多种变体，带来额外的优势和折衷。图 7 显示了用于快速电动车充电的全桥 LLC 转换器的一个常见替代方案。在移相中，开关在输入电压的一半以下，并使用 600 V 和 650 V 的断电电压器件。[650 V SiC MOSFET](#)、[650 V SuperFET3 快速恢复 \(FR\) MOSFET](#) 和 [650 V FS4 IGBT](#) 将有助于解决不同的系统要求。同样，用于初极端的二极管和整流器需要 650 V 的阻断电压等级。这些三电平架构允许单极开关，这有助于减少峰值电流和电流纹波，这将导致用更小的变压器。这种拓扑结构的主要缺点之一是，与具有较少电源开关的两电平结构相比，控制算法需要额外的复杂程度。双有源桥以及双有源桥可以很容易地在初级端和次级端并联或堆叠，以最配合快速电动汽车充电器的电流和电压需求。

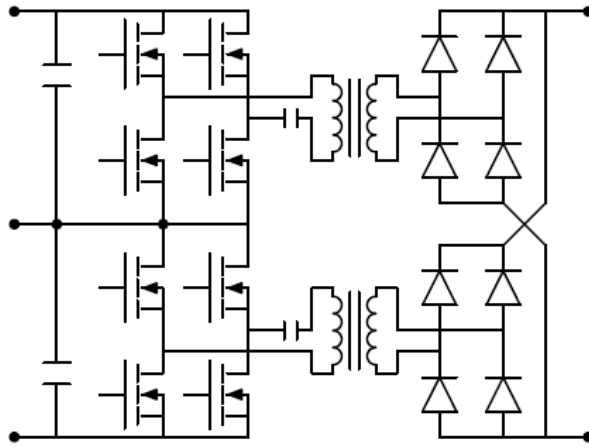


图 7. 三电平全桥 LLC 转换器-这种变体在初级端堆叠 (只有一半的输入电压应用于每个变压器), 在次级端并联

## 次级端整流

关于次级端整流, 如图 6 所示, 可以有多种解决方案, 而且都可以使用不同的拓扑结构。对于 400 V 和 800 V 的电池水平和全桥整流, [650 V 和 1200 V 的 SiC 肖特基二极管](#) 通常是独特的性价比解决方案。由于其零反向恢复特性, 与硅基替代品相比, 这些器件大大增强了整流性能和能效, 大大降低了损耗和整流级的复杂性。硅基二极管, 如 Hyperfast、UltraFast 和 Stealth, 可以作为成本非常有限的项目的替代品, 但要牺牲性能和增加复杂性。采用中心抽头整流的解决方案 (图 6) 对于高电压输出整流级来说并不方便。与全桥整流不同的是, 在全桥整流中, 二极管的标准反向电压等于输出电压, 而在中心抽头配置中, 二极管要承受这个数值的两倍。常规的全桥移相转换器 (电感在次级端), 正如所解释的那样, 在两种整流方法 (全桥或中心抽头整流) 中都需要更高的击穿电压二极管。为了应对常规全桥移相转换器对 1200 V 或 1700 V 额定二极管的需求, 几个输出将被串联起来。

onsemi, Onsemi, and other names, marks, and brands are registered and/or common law trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba "onsemi" or its affiliates and/or subsidiaries in the United States and/or other countries. onsemi owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of onsemi's product/patent coverage may be accessed at [www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf](http://www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf). onsemi reserves the right to make changes at any time to any products or information herein, without notice. The information herein is provided "as-is" and onsemi makes no warranty, representation or guarantee regarding the accuracy of the information, product features, availability, functionality, or suitability of its products for any particular purpose, nor does onsemi assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using onsemi products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by onsemi. "Typical" parameters which may be provided in onsemi data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. onsemi does not convey any license under any of its intellectual property rights nor the rights of others. onsemi products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use onsemi products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold onsemi and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that onsemi was negligent regarding the design or manufacture of the part. onsemi is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

## ADDITIONAL INFORMATION

TECHNICAL PUBLICATIONS:  
 Technical Library: [www.onsemi.com/design/resources/technical-documentation](http://www.onsemi.com/design/resources/technical-documentation)  
 onsemi Website: [www.onsemi.com](http://www.onsemi.com)

ONLINE SUPPORT: [www.onsemi.com/support](http://www.onsemi.com/support)  
 For additional information, please contact your local Sales Representative at [www.onsemi.com/support/sales](http://www.onsemi.com/support/sales)