



**DC EV急速充電：  
システムに使用される一般的  
なトポロジとパワーデバイス**

## DC EV急速充電：システムに使用される一般的なトポロジとパワーデバイス

EV普及の障壁を取り除く上で、DC急速充電(DCFC)の果たすべき役割は明確です。充電時間の短縮が求められているため、400 kWに迫る高出力EV急速充電が市場に投入されています。本稿では、DC EV急速充電に使用されるAD-DCおよびDC-DC向けの一般的なパワーコンバータのトポロジとパワーデバイスの概要について説明します。

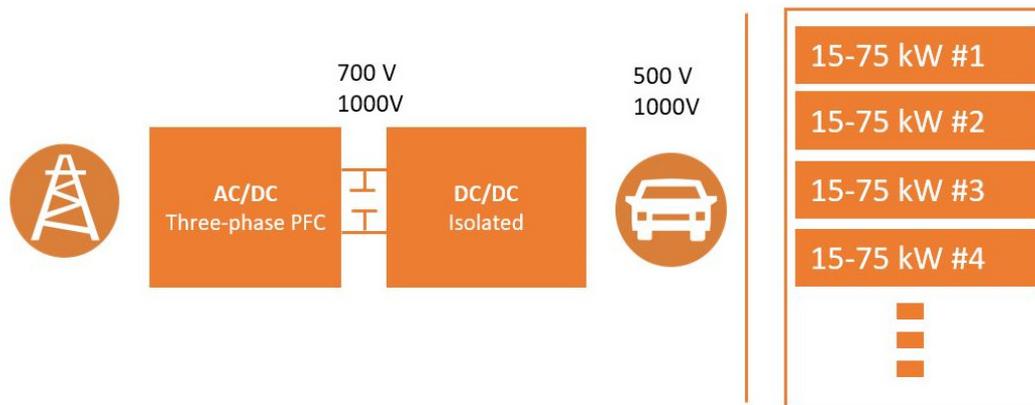
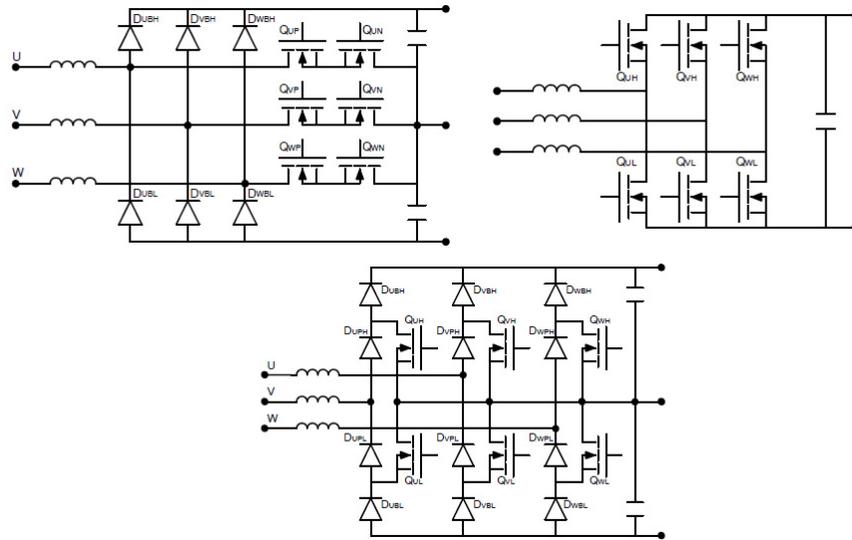


Figure 1. Diagram of Fast DC EV Charger Architecture

### アクティブ整流三相PFC昇圧トポロジ

三相力率補正(PFC)システム(アクティブ整流システムまたはアクティブフロントエンドシステムとも呼ばれる)は、大きな関心を集めており、近年需要が急増しています。三相力率補正(PFC)のトポロジは、DC急速充電に効率的に電力を供給するための鍵となるものです。[炭化ケイ素\(SiC\)パワー半導体](#)を三相PFCトポロジに組み込むことによって、電力損失の低減と電力密度の向上という通常は相反する課題に対処することができます。

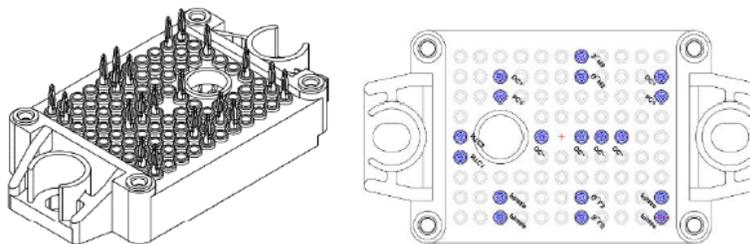
フロントエンドの三相PFC昇圧ステージは、複数のトポロジで実装される可能性があり、いくつかは同じ電氣的要件を満たす可能性があります。Figure 2は、DC EV急速充電アプリケーションにおける一般的なPFCアーキテクチャを示したものです。その中で、最初に区別される点の1つは双方向性です。Tタイプ中性点クランプ(T-NPC)トポロジとI-NPCトポロジは、ダイオードの一部をスイッチに置き換えることで、双方向動作に適したものになります。6スイッチアーキテクチャはそれ自体が双方向です。



**Figure 2. Typical Three-Phase Power Factor Correction (PFC) Boost Topologies for Fast DC EV Charging. T-NPC (top left), 6-switch (top right) and I-NPC (bottom)**

パワーデバイスの設計や定格電圧に影響を与えるもう1つの重要な要素として、アーキテクチャのレベル数があります。6スイッチトポロジは2レベルのアーキテクチャで、DC EV急速チャージャでは通常、900 Vまたは1200 Vのスイッチを使用して実装されます。この場合、特に1ブロックあたり15 kWを超える高出力範囲では、[低RDSon\(6~40 mΩ\)のSiC MOSFETモジュール](#)が推奨ソリューションとなります。

このような集積化は、ディスクリート部品によるソリューションよりも優れた電力性能を示し、効率の向上、設計の簡素化、システム全体のサイズ縮小、最高の信頼性達成を実現できます。Tタイプ中性点クランプ(T-NPC)は、3レベルのトポロジで、1200 Vの整流器(双方向形式のスイッチに置き換え)を使用し、中性点パスに650 Vのスイッチを連続して配置しています。I-NPCは3レベルのアーキテクチャで、650 Vスイッチで完全に実装できる可能性があります。[650 VのSiC MOSFET](#)または[ダイオードを同一パッケージに内蔵したIGBT](#)は、これらの3レベルトポロジ向けの優れた代替ソリューションとなります。



**Figure 3. F1-2 PACK SiC MOSFET Module Half-Bridge. 1200 V, 10 mΩ**

## DC-DCトポロジ

DC-DC変換ステージを見ると、フルブリッジLLC共振コンバータ、フルブリッジ位相シフト型デュアルアクティブブリッジ(DAB)ゼロ電圧遷移(ZVT)コンバータ、フルブリッジ位相シフト型ZVTコンバータの3つの主要な絶縁トポロジが採用されています(Figure 4、5、6を参照)。

### フルブリッジLLC共振型

LLCコンバータは、一次側でゼロ電圧スイッチング(ZVS)を実現し、また共振周波数以下では二次側でゼロ電流スイッチング(ZCS)を実現することにより、共振周波数付近で非常に高いピーク効率を得ることができます。純粋な周波数変調(FM)システムであるため、システムの動作点が共振周波数から離れると、LLCの効率が低下します。これは、広い出力電圧動作が必要な場合に起こる可能性があります。しかし、先進的なハイブリッド変調方式では、パルス幅変調(PWM)とFMを組み合わせることにより、最大周波数の暴走と高い損失を抑制することができます。ただし、このハイブリッド変調方式では、それだけでなく面倒なLLC制御アルゴリズムがさらに複雑になります。また、LLCコンバータの電流分割と同期を並行して行うことは容易ではありません。一般に、比較的狭い電圧範囲での動作が可能な場合や、FMとPWMを組み合わせた高度な制御戦略を実装する開発技術がある場合、LLCは他の追随を許さない設計となります。LLCは、最高の効率を実現できるだけでなく、あらゆる観点から非常にバランスのとれたソリューションとなり得ます。LLCは、もう1つの高度なトポロジであるCLLCとして双方向形式で実装できます。

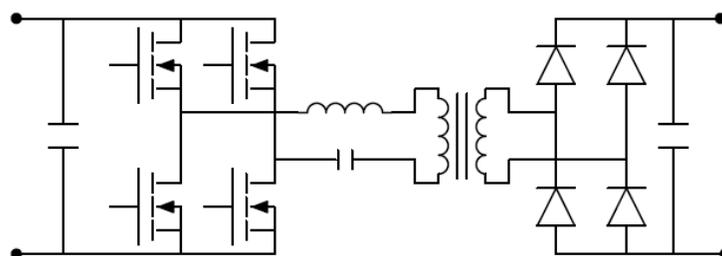


Figure 4. Full-Bridge LLC Converter

フルブリッジ位相シフト型デュアルアクティブブリッジ(DAB)ゼロ電圧遷移(ZVT)。二次側同期整流トポロジによる位相シフト型フルブリッジDABも非常に一般的なものです。これらはPWMで動作し、必要な制御は一般にLLCコンバータよりもシンプルです。DABは、従来のフルブリッジ位相シフト型ZVTコンバータの進化形と考えることができますが、一次側に漏れインダクタを使用することで、面倒な二次側の整流を簡素化し、二次側のスイッチやダイオードに必要なブレークダウン電圧定格を低減しています。これらのコンバータは、ZVTを実現することで、広い出力電圧範囲にわたって安定した高効率を達成できます。これは、800 Vや400 Vのバッテリー電圧レベルに対応するチャージャに好都合の要素です。DABのPWM動作には、いくつかのメリットがあります。まず、コンバータの電磁干渉(EMI)スペクトルがFMによるシステムよりも狭くなる傾向があります。さらに、スイッチング周

波数が固定であるため、低負荷時のシステムの挙動に対処しやすくなります。DABは同期整流を使用して実装されているため、双方向のネイティブトポロジであり、最も汎用性の高い選択肢の1つで、DC EV急速充電に適したソリューションです。

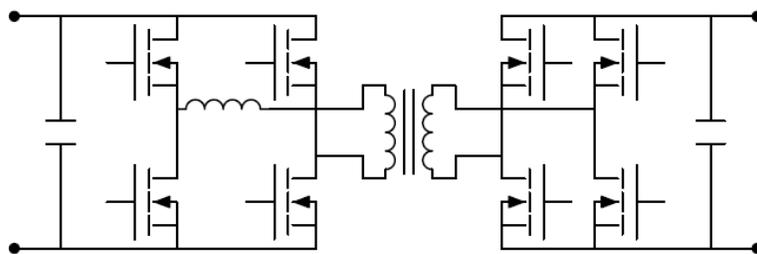


Figure 5. Full-Bridge Phase-Shift DAB ZVT Converters

### フルブリッジ位相シフト型ゼロ電圧遷移(ZVT)

一方向動作では、従来のフルブリッジ位相シフト型ZVT(Figure 6)が、普及率は低下しているものの、依然として利用されている選択肢です。このトポロジはDABと同様に動作しますが、二次側に配置されたインダクタによって整流動作に大きな違いが生じます。このインダクタによりダイオードに高い逆電圧がかかりますが、これはデューティサイクルに比例・反比例するため、動作条件によっては、出力電圧の2倍から3倍を超える逆電圧がダイオードにかかる可能性があります。このような状況は、高出力電圧システム(EV充電器など)では対処が困難な場合があるため、通常、複数の二次巻線(出力電圧が低い)が直列に接続されています。このような構成はそれほど便利ではありません。所与の電力と電圧の定格に対して、単一出力を備えた別のトポロジの方が同等以上の性能を発揮できる場合にはなおさらです。

[SiCモジュール](#)は、上述のDC-DC電力変換ステージのフルブリッジに非常に適した一般的なソリューションであり、15 kWから使用できます。使用可能な周波数が高いほど、トランスやインダクタのサイズを小さくでき、ソリューション全体のフォームファクタが小さくなります。

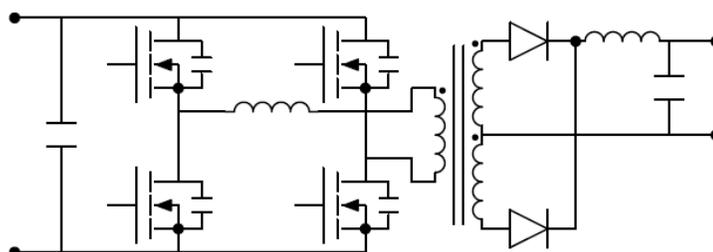


Figure 6. Full-Bridge Phase-Shift ZVT Converters

## トポロジのバリエーション

今回説明したトポロジには複数のバリエーションがあり、それらには別のメリットと妥協点があります。Figure 7は、EVの急速DC充電に使用されるフルブリッジLLCコンバータの一般的な選択肢を示しています。位相シフト型では、スイッチにかかる電圧は入力電圧の半分であるため、600 Vと650 Vのブレークダウン電圧のデバイスが使用されています。[650 V SiC MOSFET](#)、[650 V SuperFET3高速リカバリ\(FR\) MOSFET](#)、および[650 V FS4 IG BT](#)は、様々なシステム要件への対応に役立ちます。同様に、一次側のダイオードと整流器にも650 Vのブロッキング電圧定格が必要となります。この3レベルアーキテクチャによってユニポーラスイッチングが可能になり、ピーク電流と電流リップルの低減に役立ちます。その結果、トランスの小型化につながります。このトポロジの主な欠点の1つは、パワースイッチの数が少ない2レベルのバージョンと比較して、制御アルゴリズムが複雑になることです。DABは、DC EV急速チャージャの電流と電圧のニーズに対して最適になるように、一次側と二次側の両方で容易に並列接続したり、スタックしたりすることができます。

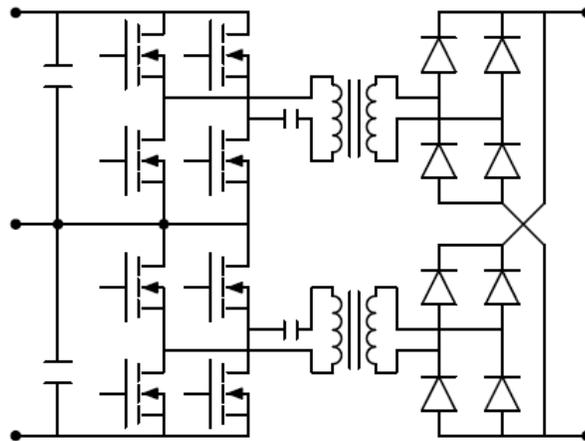


Figure 7. 3-Level Full Bridge LLC. This Variation is Stacked on the Primary Side

(各トランスには入力電圧の半分しか印加されない)二次側で並列接続されています。

## 二次側整流

二次側整流ステージに関しては、Figure 6に示すように複数のソリューションが可能です。400 Vや800 Vのバッテリーレベルでフルブリッジ整流を行う場合、[650 Vと1200 VのSiCショットキダイオード](#)により通常、比類のないコストパフォーマンスのソリューションを実現できます。これらのデバイスでは、そのゼロ逆回復特性により、シリコンベースのデバイスに比べて整流性能と効率が大幅に向上し、損失と整流ステージの複雑さが大幅に低下します。HyperFast、UltraFast、Stealthなどのシリコンベースのダイオードは、コストに非常に厳しい制約があるプロジェクトでは、性能や複雑さを犠牲にすれば、代替品として役立つ場合があります。センタタップ整流によるソリューション(Figure 6)は、高電圧出力の整流ステージには使いやすいものではありません。

ん。ダイオードが出力電圧に等しい逆電圧に耐えるフルブリッジ整流とは異なり、センタタップ構成では、ダイオードはこの2倍の値に耐えることとなります。通常のフルブリッジ位相シフト型コンバータ(二次側にインダクタ)は、説明したように、各整流方式(フルブリッジ整流またはセンタタップ整流)ともに、より高いブレークダウン電圧のダイオードが必要となります。従来のフルブリッジ位相シフト型コンバータでは、1200 Vまたは1700 V定格のダイオードが必要になる課題を克服するために、複数の出力を直列に接続することとなります。

**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)