

電気自動車用急速充電器の 抱える問題を突き止める

二酸化炭素排出量の削減を求める政府からの圧力が続く中、この課題に対する解決策の一つである、電気自動車 (BEV) への関心が高まっています

インフィニオンテクノロジーズ社、Pradip Chatterjee、Markus Hermwille

BEV市場は、いままで以上に魅力的な価格帯で多くの選択肢を提供し続けています。しかし、消費者が最も不安なのは依然として航続距離です。充電のあり方を見直す必要性が深刻な問題です。しかし、インフラが整っていないため、多くのBEVオーナーは自宅での充電を余儀なくされています。

旅行などの長旅の場合、消費者は内燃機関 (ICE) 車に給油するのと同じか、それに近い速さで充電できることを期待しています。

現在選択できる充電方法

家庭で簡単に充電できるようにするため、多くの自動車は家庭用単相交流 (AC) 電源による充電に対応しています。

これにより、夜間の充電が可能になります。車両とコンセントをつなぐケーブルだけのものから、ケーブル内制御/保護装置 (IC-CPD)、車両と電源装置間の通信、アースや内部保護、また、より複雑な構造の壁掛け充電器など、さまざまなソリューションがあります。

もちろん、バッテリー充電には直流 (DC) 電源が必要で、交流から直流への変換は車両に組み込まれた充電用回路で行われます。この方法を使うには、すべての車両に充電装置を取り付ける必要があり、冷却、効率、重量など、通常の制約に従って設計しなければならないため、最終的に充電電力、ひいては充電速度が制限されます。そのためユニバーサルな車載用DC充電器を開発することになったのです。

DC急速充電への取り組み

一般的な22kWのAC充電器では、200km分の航続距離の充電に120分かかります。この充電時間を16分に短縮するには、150kWのDC充電ステーションを利用しなければなりません。350kWであれば約7分と、ICE (内燃エンジン) 車の給油に近い充電時間になります。もちろん、こうした数値は、対象となるバッテリーがこのような充電速度に対応していることが前提となります。

また、消費者が業界に期待しているのは、給油と同じように、どこでも充電できることです。

ヨーロッパでは、CharIN e.Vという組織が、CCS (Combined Charging System) の開発と普及に力を入れており、充電プラグや充電シーケンス、データ通信まで仕様が決められています。日本や中国にもCHAdeMOやGB/Tといった組織があり、テスラも独自のシステムを持っています。

CharIN仕様では、プラグとソケットの実装により、AC、DC両方の充電に対応することが定義されています。そのため、DC700 Vで最大500 Aの定電流出力が想定されており、最大DC920 Vに対応します。また、システム効率は95%に設定されていますが、将来的には98%まで上昇させる予定です。なお、150 kWの充電器の場合、1%の効率低下は1.5 kWに相当します。したがって、損失を最小限に抑えるのは、高速DC充電器の設計における優先事項となります。

高速DC充電アーキテクチャ

高出力DC充電器の設計は、通常、2つの基本的なアプローチから選ばれます。1つは、3相AC入力を変換し、DC/DCコンバータに供給するものです。正確なDC電圧は、充電を行う車両との通信後に定義されます。もう1つの方法は、入力AC電圧をDC電圧に変換し、DC/DCコンバータが出力電圧を車両のバッテリーの必要性に合わせて調整するものです (図1)。

どちらのアプローチにも明確な利点や欠点はないと考えられており、最適なアプローチを決定するのはシステムの課題です。このような高出力ソリューションでは、モノリシックなアプローチは使用せず、それぞれが15~60 kW出力の複数のサブユニットを組み合わせることで、望ましい出力を達成しています。そのため、設計上の主な目標は、冷却に要する労力を最小限に抑え、高出力密度を実現し、システム全体のサイズを小型化することです。

設計効率は、フロントエンドのAC/DC変換回路から始まります。この力率改善回路の実装は、通常、三相整流回路 (Vienna Rectifier) トポロジーによります。600 Vのスイッチ素子を用いることで、コストと性能の適切なバランスを実現できます。また高耐圧SiCデバイスの利用が可能になったことにより、50 kW以上の電力範囲では通常の2レベルPWM方式のAC/DC変換回路も普及しつつあります。いずれの方式でも、出力電圧制御、正弦波入力電流制御、力率0.95以上、

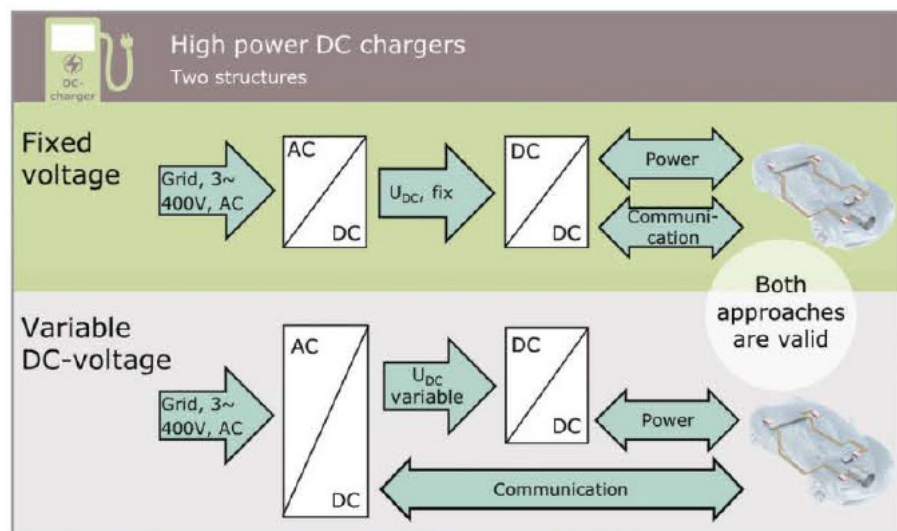
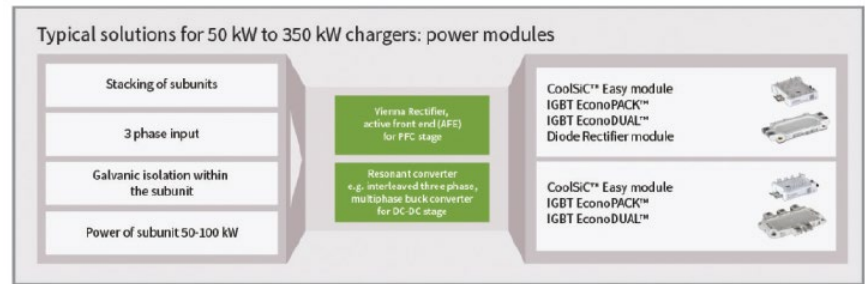


図1: 高出力直流充電器の2つのアプローチのブロック図

全高調波歪み (THD) 5%以下、効率97%以上を達成可能です。中電圧トランスによるグリッド側絶縁が可能なアプリケーションでは、フロントエンドにダイオードまたはサイリスタを使用したマルチパルス整流器トポロジが、そのシンプルさと信頼性、そして高い効率性から一般的になってきています。

DC/DC変換回路では、その効率とガルバニック絶縁のため、共振トポロジがしばしば好まれます。この設計は、より高い電力密度と小型化の要求を満たし、ゼロ電圧スイッチング(ZVS)によりスイッチング損失を低減し、システム全体の効率向上に寄与します。また、SiCデバイスを用いた位相シフトフルブリッジトポロジは、絶縁型における代替ソリューションとなります。グリッド絶縁型では、マルチインターリーブバックコンバータがDC/DCトポロジとして選択されます。この方式は、相間負荷分散、リップル低減、フィルタサイズ縮小などのメリットがありますが、部品点数が多くなります。



15~30 kW の出力範囲では、ディスクリット部品を使ってサブユニットを実装するのが最適です (図2)。TRENCHSTOP™ 5 IGBT と CoolSiC™ ショットキーダイオードを使用したVienna整流器は、コスト重視のアプリケーションに最適な組み合わせです。IGBTをCoolMOSTM P7 SJMOSFETに置き換えることで、さらに効率を改善できます。DC/DCコンバータでは、CoolMOS™ CFD7 MOSFETを使用した共振コンバータで十分な効率を達成できますが、最高効率を目指す場合はCoolSiC™ の製品ラインアップからMOSFETを選択することを推奨しています。

組み合わせやアップグレードによって高速 DC 充電が可能なサブユニットや、トップエンドの充電器を開発する場合、パワーモジュールに基づくソリューションが推奨されます。この出力レベルでは、空冷の可能性

も残されていますが、液冷が望ましいとされています。

Vienna 整流器は、CoolSiC™ Easy2B モジュールに実装されており、推奨スイッチング周波数は 40 kHzです。

DC/DC部は、インターリーブされた3相または多相バックコンバータを利用し、最大で数百kHzで駆動します。ここでは、CoolSiC™ Easy1BモジュールとディスクリットCoolSiC™ ダイオードの組み合わせで非常に効率的な組み合わせを実現しています。

CoolSiC™ ファミリーではEasy 2BモジュールにVienna整流回路を搭載したF3L15MR12WM1_B69 が提供可能です。RDS(ON)=15mΩ のこのモジュールは、設計の簡素化と高電力密度を提供します。絶縁ゲル充填セラミックは低キャパシタンスで、スイッチング損失は温度に依存しません。ハーフブリッジトポロジは、Easy 2Bおよび小型のEasy 1BモジュールでRDS(ON)=6mΩという低オン抵抗の製品を提供しています。

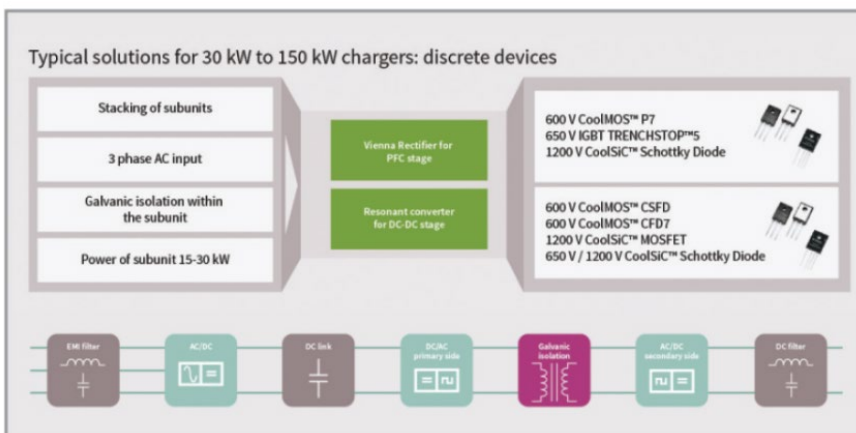


図2:ディスクリットデバイスで構成される充電器の典型的なトポロジ

制御、通信、セキュリティ

電力段の制御は、通常、マイクロコントローラ使用されます。

XMC4000シリーズなどのデバイスは、柔軟なADC (アナログ/デジタルコンバータ) と、高度に設定可能なタイマーおよびPWM (パルス幅変調) ペリフェラルを提供し、制御ループを実装します。

CAN接続により、サブユニットは互いに通信し、さまざまな種類のバッテリーの多様なニーズに対応することができます。サービス課金やソフトウェア更新/ハードウェア変更の認証は、自動車分野の安全関連アプリケーションで知られるAURIXTMマイクロコントローラーファミリーのハードウェアセキュリティモジュール(HSM)で処理することが可能です。交換するサブユニットの認証には、偽造防止用セキュリティチップOPTIGATM Trust Bなどを使用し、より高度な完全性保護にはOPTIGATM TPM トラストプラットフォームモジュールを使用しています。

まとめ

DC 急速充電インフラの展開は、BEV の台数増加という戦略上、不可欠な要素です。許容できる充電時間を提供する合理的な充電環境がなければ、BEV は必然的にグリーンな交通手段を求める人々や、毎日の移動距離が限られた消費者に制限されたままとなります。充電器とコネクタの仕様決定という準備作業は完了しました。

さらに、必要な革新的な半導体ソリューションも提供されています。従来のSi製パワーデバイスから、より高周波数スイッチングとより効率的な電力変換を提供するSiC(シリコンカーバイド)ソリューションまで、充電器の効率と信頼性を確保するための様々なソリューションが用意されています。MCUデバイス、認証およびセキュリティソリューションと組み合わせることで、DC充電インフラを提供するマルチサブユニットアプローチが、未来の輸送に電力を供給する準備が整うことは明らかです。

著者プロフィール

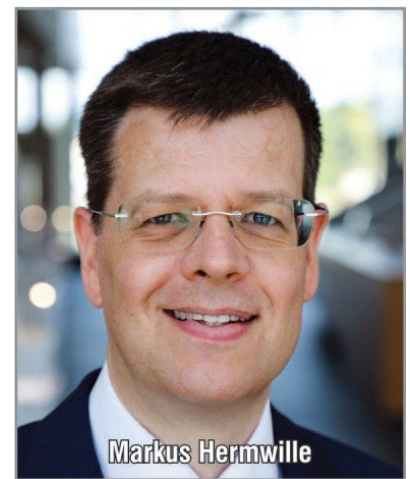
Pradip Chatterjeeは、EV充電のアプリケーションオーナーとして、



Pradip Chatterjee

彼の役割は、EV充電アプリケーションに焦点を当てて要件やトレンドに取り組むとともに、デザインインをサポートすることです。パワーエレクトロニクスの修士号を取得し、コンバータとシステムの設計において約15年の経験を有しています。

Markus Hermwilleは、インフィニオンテクノロジーズAGの産業用電力部門ビジネスディベロップメントディレクター。パワー半導体とシステムソリューションの分野で20年以上の経験を持ち、半導体業界で国内外のマーケティングとマネジメントのポジションを歴任。電気工学を専攻。



Markus Hermwille

