

電気自動車 (EV) 充電ステーションを安全で高効率にするフォトカブラ



By Hong Lei Chen, Product Manager,
Avago Technologies

ホワイトペーパー

概要

路上を走行するEV台数が急増しており、エネルギーを補給して路上に迅速に戻るために、より多くの充電施設が必要とされています。EV充電ステーションは、充電施設において、電気エネルギーをEVに供給しネットワーク接続を提供する重要な要素です。急速充電システムのニーズは、充電ステーション設計において安全性や効率などのいくつかの課題を投げかけています。この記事では、設計においてそれらの課題を解決するためのフォトカブラの使用法について述べます。

EV充電ステーション市場について

世界の輸送プロセスの電化は、近年、高速化し続けています。IEA(国際エネルギー機関)のグローバルEVアウトLOOKレポートによれば、世界の電気自動車(EV)台数は、2012年末に約18万台でしたが、この数2014年末には3.7倍に増えて66万5000台を超えました。レポートは、世界のEV台数が、2020年までに2000万台に達すると予測しています。

EV台数の急成長は、EVによる移動距離を拡張するため充電施設の需要を強めています。EVSE(電気自動車充電施設)とも呼ばれるEV充電ステーションは、充電施設において電気エネルギーをEVに供給しネットワーク接続を提供する重要な要素です。ここで述べるEVとは、完全電気自動車またはバッテリー電気自動車(BEV)を含むプラグイン電気自動車、電気バス、およびプラグインハイブリッド車(PHEV)を指します。図1は、EV充電ステーションでEVを充電しているようすです。

図1. EV充電ステーションの使用イメージ



IHS Automotiveは、世界のEV充電ステーション設置が、2014年までの100万台から2020年には1360万台に急増すると予測しています。市場調査会社は、米国で430万台、EMEA(欧州、中東およびアフリカ)で410万台、アジア(日本を含む)で530万台が設置されたと推定しています [2]。ドイツ、中国および米国などの政府は、充電施設の開発を後押しする資金を増やしています。中国の最近の動向によると、中国は2020年までに450万台のEV充電ステーションを整備することを計画していると考えられます。これは、2020年までにBEVおよびPHEVの累積生産販売台数で500万台をサポートする計画であることを示しており、中国中央政府のウェブサイトwww.gov.cnに掲載されています。2014年末までに設置された3万1000台の充電ステーションと比較して、450万台の目標は、年率129%の途方もない平均増設率(CAGR)です。

充電ステーションの規格

EV充電施設の急速な市場需要の増大に伴って、取り組まなければならない大きな課題があります。そのひとつは、充電ケーブル、保護メカニズム、電力定格、プラグタイプおよび充電ケーブルの形状や通信など、充電システムにおける重要な要素の規格が共通化されていないことです。この問題は、AC低速充電よりも公共または準公共エリアに設置され、共用されることが多い急速充電システムで深刻です。それは、互換性のないシステムは共用することが困難だからです。

IEC(国際電気標準会議)には、EV充電に関する規格があります。たとえば、IEC 61851-1:2010EVは、最大1000Vの標準AC供給電圧と最大1500VのDC電圧でEVを充電する車載及び車外充電器に適用されます。IEC 61851-23:2014は、DC EV充電ステーションの要件を規定しています。また、IEC 62196-3:2014は、EV充電ケーブルの要件を規定しています。現在、世界的には、急速充電システムの規格が競合しており、その一方は、日本の工業界によって採用されているCHAdeMO方式、他方は、米国およびドイツの自動車メーカーによって採用されているSAE InternationalのJ1772複合充電システム(CCS、「Combo」方式としても知られる)です[1]、[8]。そのような規格には、様々な電力定格仕様、充電ケーブル設計およびEVSEとEV間の通信プロトコルがあります。しかしながら、CHAdeMO方式、SAE Combo規格ともオールインワン設計を特徴としていることから「no standards war」と呼ばれる見方があります。その一例がABBのTerra 53 multi-standard Charge Stationです[9]。もうひとつの比較的新しい競合規格は、改訂版が承認された中国のGB/T 20234です[10]。テスラのスーパーチャージャなどのいくつかの設計は、独自充電技術を使用しています[11]。

充電タイプ — ACまたはDC

規格の面倒な問題はさておき、電気を自動車の外部から内部のバッテリーに移す方法は主に2つ(ACまたはDC)あります。電力網は電力をACで伝送し、搭載バッテリーに蓄積されるエネルギーはDCであり、したがって、変換作業をするチャージャが必要です。チャージャが自動車の内部に取り付けられているかどうかにより、チャージャを車載チャージャ(OBC)と車外充電ステーションに分類することができます。OBCは、家庭や職場で利用できるコンセントからAC電源を受け入れ、DCに変換してバッテリーを充電します。AC充電は、通常、許容重量、スペースおよびコストなどの制約によるチャージャの電力定格の制限によって低速になります。

DC充電方法は、多くの場合、車外充電ステーションで使用されます。安定化されたDC電力を自動車内のバッテリーに直接供給します。DC充電機器が、サイズの制約がほとんどない固定位置に取り付けられているとき、その電力定格は、数百キロワットにも及ぶことがあります。たとえば、SAE J1772は、DCレベル2で最大100kWを規定しています[12]。CHAdeMOは、チャージャ位置で最大電力を確保するコストと、バッテリーを充電するのにかかる時間の両方の要素を考慮して、50kWを最適出力電力としてみなしています。テスラのスーパーチャージャは、並列で動作する複数のモデルSチャージャからなり、最大120kWのDC電力をバッテリーに直接供給します。この充電レートでは、約30分の充電で170マイルの航続距離が可能になります[11]。DC急速充電方式は、数時間の充電時間を数分に短縮します[11]、[14]。図2は、ACおよびDC充電方法を示します。表1は、ACおよびDC充電電力定格と推定充電時間を目安として示します。

図2. AC充電とDC充電[15, p. 6]

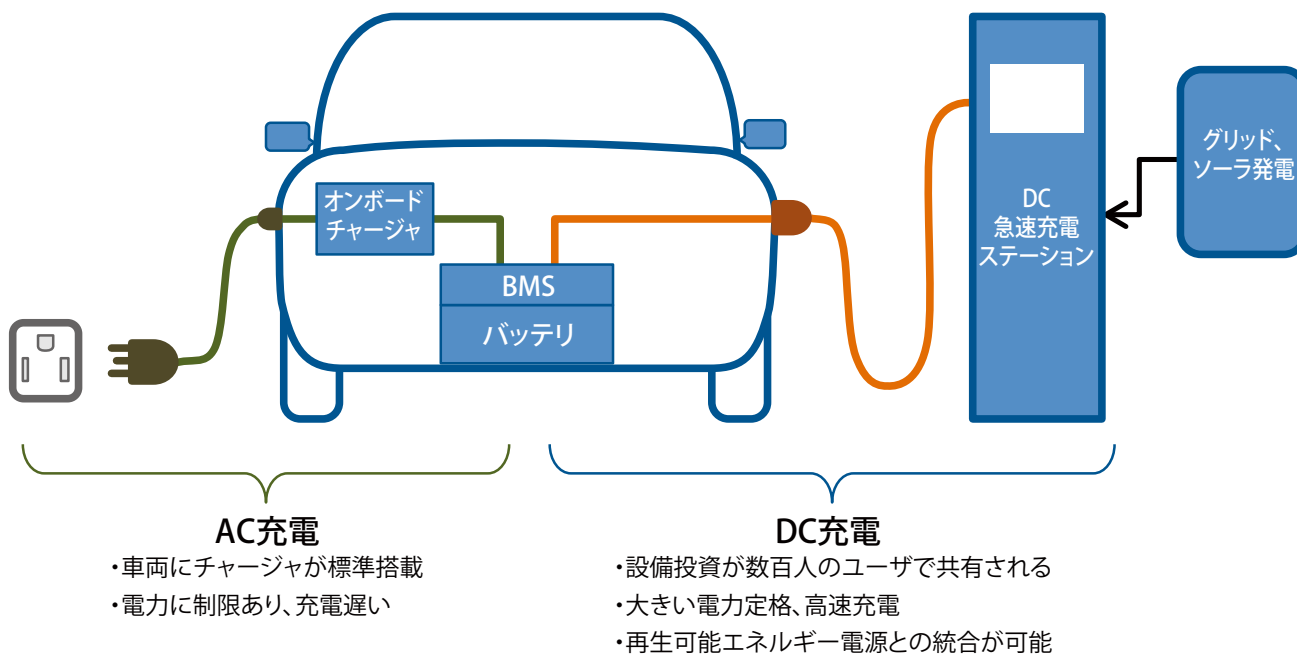


表1. AC, DC充電電気定格[14]

充電方式	公称供給電圧	最大連続電流	出力電力	推定充電時間 ¹⁾
ACレベル1	単相120V AC	12A	1.4 kW	17時間(OBC、SOC ²⁾ - 20%からフル充電)
		16A	1.9 kW	
ACレベル2	単相208-240 V AC	80A	最大19.2 kW	SOC - 20%からフル充電: 7時間(3.3kW OBC); 3.5時間(7 kW OBC); 1.2時間(20 kW OBC);
DCレベル1	200-500V DC(EVSE出力)	80A	最大40 kW	1.2時間(SOC - 20%から100%、 20kW車外チャージャ)
DCレベル2	200-500V DC(EVSE出力)	200A	最大100 kW	20分(SOC - 20%から80%、 45kW車外チャージャ)

注:

- 1) 簡素化のため、BEV(バッテリー電気自動車)の例のみ記載。
- 2) SOC(充電状態)は、BEV内のバッテリーパックの充電計に対応。0% SOCはバッテリーパックが完全に放電、100% SOCはフル充電状態を示す。
- 3) 定格電力は、公称給電電圧と充電カプラ定格電流による。
- 4) 理想充電時間は、充電効率90%、12Vで150Wの負荷、トラクションバッテリーパックのバランスング無しを想定。
- 5) BEV(有効25kWhサイズのパック)充電は、常に、1Cレート(1時間に充電される全容積)より速い20% SOCから開始し、100%ではなく80% SOCで終了する。

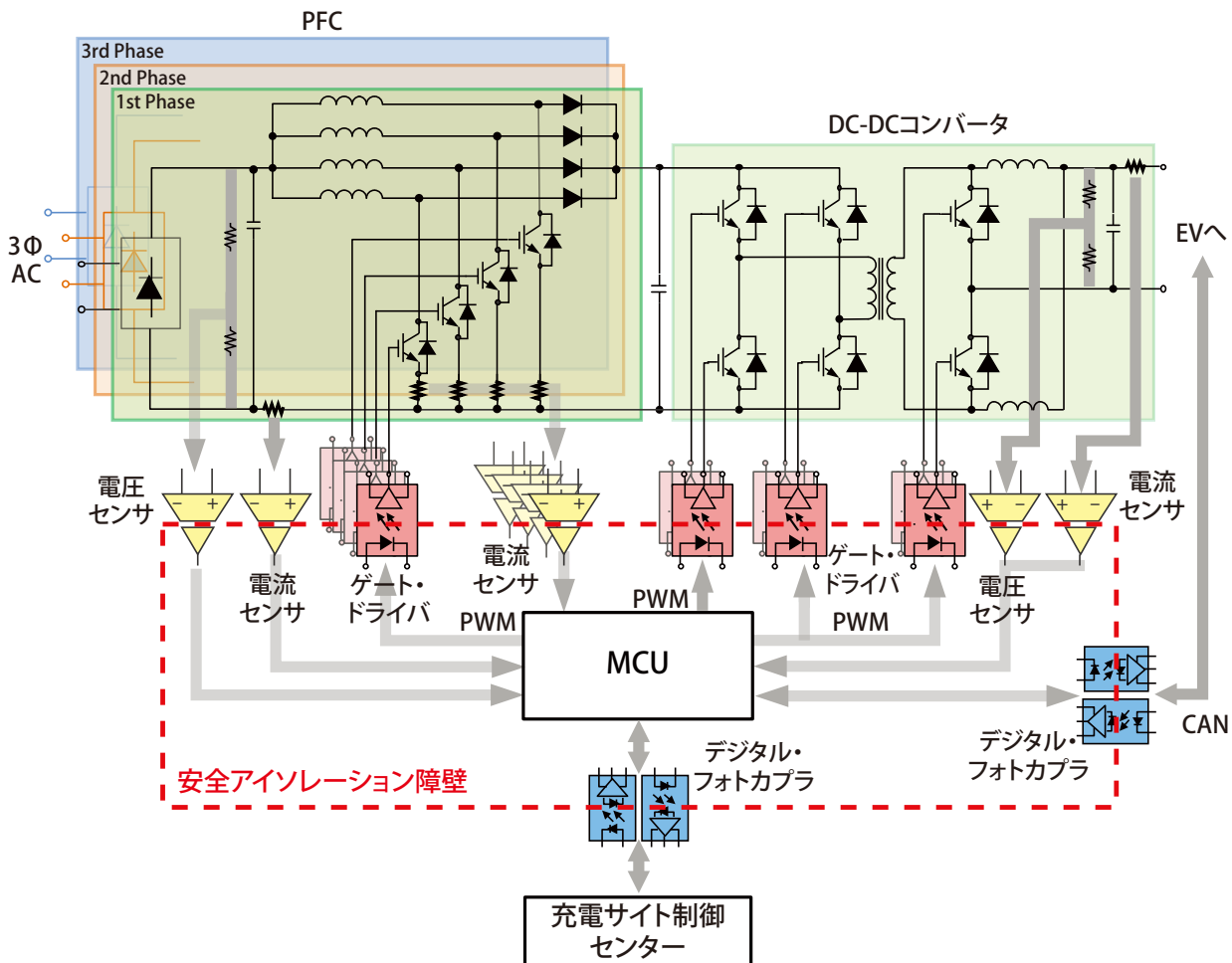
ACおよびDCチャージャは、異なる充電速度を提供し、両方式ともEVドライバの異なるライフスタイルにフィットすることが求められます。たとえば、EVドライバは、家や職場で駐車中のような十分な時間がある状況ではAC充電を使用することができます。DC高速充電は、EVドライバが旅行をすぐに続けることができるように充電時間を大幅に短縮できるので、明らかかつ重要な利点があります。急速充電は、特に長距離運転向けに航続距離の不安を解消して電気自動車の普及を成功させるには重要な装置です。

充電ステーションの構成および安全絶縁

EV搭載電子システムとEV充電ステーションのすべての機能には、安全絶縁が必要です。搭載システムには、高電圧バッテリー管理システム、DC-DCコンバータ、電動モータ駆動用インバータ、車載充電器があります [16]。EV搭載システムにおいて、アバゴ・テクノロジーのR2-Coupler™製品ファミリなどのフォトカプラは、ゲート駆動、電流/電圧検出、デジタル通信などの用途に適した高い信頼度と強化絶縁機能を備えた多様な車載グレード素子を提供します。この記事の考察では、産業機器グレードのデバイスが使用可能な場合もある車外充電器設計における絶縁ソリューションに焦点を当てます。

EV充電ステーションは、通常、車両のバッテリーの充電に適した電圧レベルに安定化するため、AC-DC整流器、力率改善(PFC)段、DC-DC変換などの機能ブロックを備えています。図3は、DC充電ステーションの簡略化したブロック図です。高周波絶縁方式では、高周波トランスおよび、安全アイソレーション障壁を維持しながら様々な信号分離機能を提供する複数の絶縁素子により、高電圧電力回路と低電圧制御回路間にガバナニク・アイソレーションが提供されています。これらの回路段では、MOSFETやIGBTなどのパワー素子がスイッチング用途に使用されます。

図3. EV充電ステーションのブロック図



システムの中心に位置するのは、PFCおよびPWM信号でDC/DCコンバータを制御するMCUです。制御は、電圧、電流、および温度やユーザ入力などの情報に基づいた計算と指示を実行することにより、設計された機能を実現します。充電制御のためのEVSEとEV間通信、EVSEと充電ステーション制御センター間の通信、更に充電データ・レポート、リモート・モニタリングおよび診断情報をクラウドに送るためのデジタル通信ポートがあります。

ガルバニック・アイソレーションおよび効率的な充電用フォトカプラ

図3に示すように、様々なフォトカプラの光学結合ポイントを結んだ線に沿って安全絶縁障壁が構築されていることが分かります。これは、設計安全性を規制基準に適合させるのに重要です。ガルバニック・アイソレーションの他、EV充電ステーション内のものも含めた電力変換装置の電力変換効率もまた重要な要素です。この記事では、カタログ[17]からいくつかのフォトカプラを使用し、効率的な充電ステーション設計において安全絶縁を実現する方法を紹介します。

ゲート・ドライバ

EVチャージャでは、MCU(マイクロコントローラ・ユニット)が、バッテリー充電モードに従って、パワーMOSFETまたはIGBTのオン・オフと各ステータスの時間を制御し、出力電圧/電流を安定化させるPWM(パルス幅変調)信号を制御します。MCUからのPWM信号は、通常、MOSFETまたはIGBTのゲートを必要な周波数で駆動できるよう、出力電流を増幅して増やす必要があります。そして、そのための素子をゲート・ドライバと呼びます。

カタログ[17]には、効率的な駆動と保護の設計ニーズに対応するため、基本的な機能のゲート・ドライバから、豊富な機能を集積したゲート・ドライバまで、ゲート・ドライバの完全なポートフォリオが紹介されています。たとえば、ACPL-W346ゲート・ドライバは、出力電流2.5アンペア、レール・ツー・レール出力電圧、およびきわめて短い伝達遅延時間55nsを特徴としています。これらの電気性能は、電力変換効率を高めるための設計に不可欠です。この部品は、SSO-6小型表面実装パッケージで提供され、UL1577規格の5000Vrms、1分間および、IEC/EN/DIN EN 60747-5-5規格の1140Vpeak絶縁電圧定格に準拠しています。これらの規格認証は、コントローラとユーザ側の安全を確実にします。

EV充電ステーション設計では、[18], [19], [20]で議論されているような最適な電力変換方式の選択に加え、高性能なパワー素子と適切なゲート・ドライバを選択することにより目標とする効率を達成することができます。最近、商用パワー素子市場では、従来のシリコン系パワーMOSFETおよびIGBTを上回る数々の利点を提供する炭化ケイ素(SiC)MOSFETが急速に普及しています。その利点のひとつは、高電圧SiC MOSFETにはIGBTに見られるテール電流損失がないので、スイッチング損失を減少させることです。更に、SiC MOSFETは高い電流密度と小さいチップサイズにより、キャパシタンスがシリコンMOSFETより小さく、したがってスイッチング周波数を高くすることができ、システム効率を改善するのに役立ちます[21]。[22]の実験結果は、改善が大きいことを示しています。実験設計は、100kHzで動作する8アンペアSEPIC DC-DCコンバータ内でCREE C2M SiC MOSFETと共に動作するのにそれぞれ適したバッファ段を備えたACPL-W346とACPL-339Jを使用しました。図4に示した結果のように、600Vのブロッキング電圧レベルで、SiC MOSFETシステムは、従来のIGBTを用いた場合より4パーセント・ポイント高い効率を達成します。図5は、ACPL-339Jを使用したSiC MOSFET駆動回路の概略図です。

図4. アバゴのゲート・ドライバとCREE社のSiC MOSFETにより高効率を達成

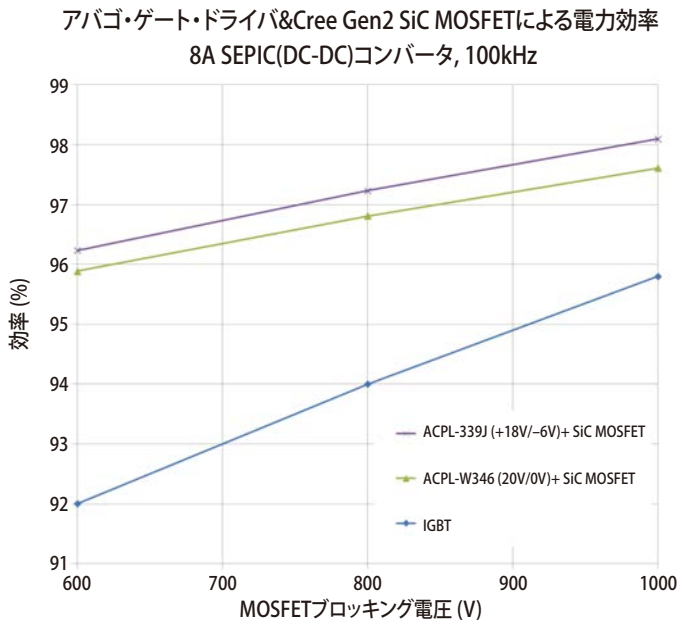
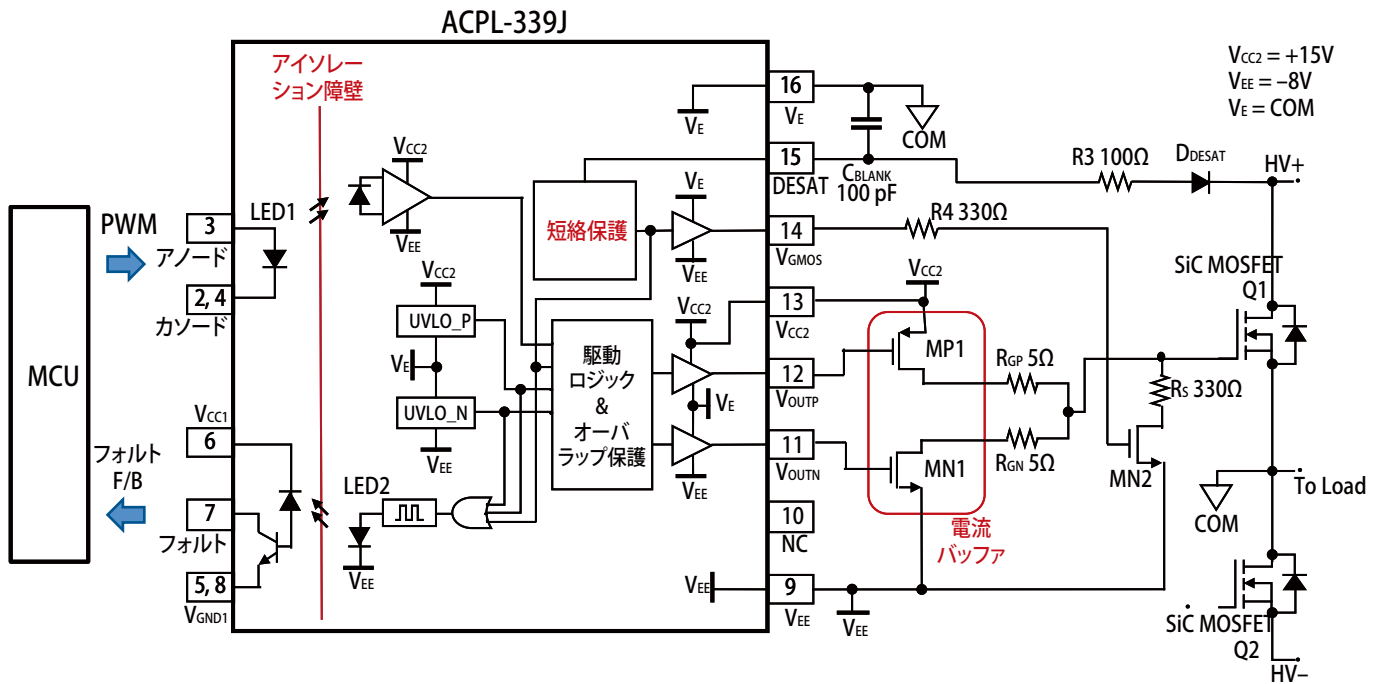


図5. ACPL-339Jを使用したSiC MOSFET駆動回路の概略図[23]



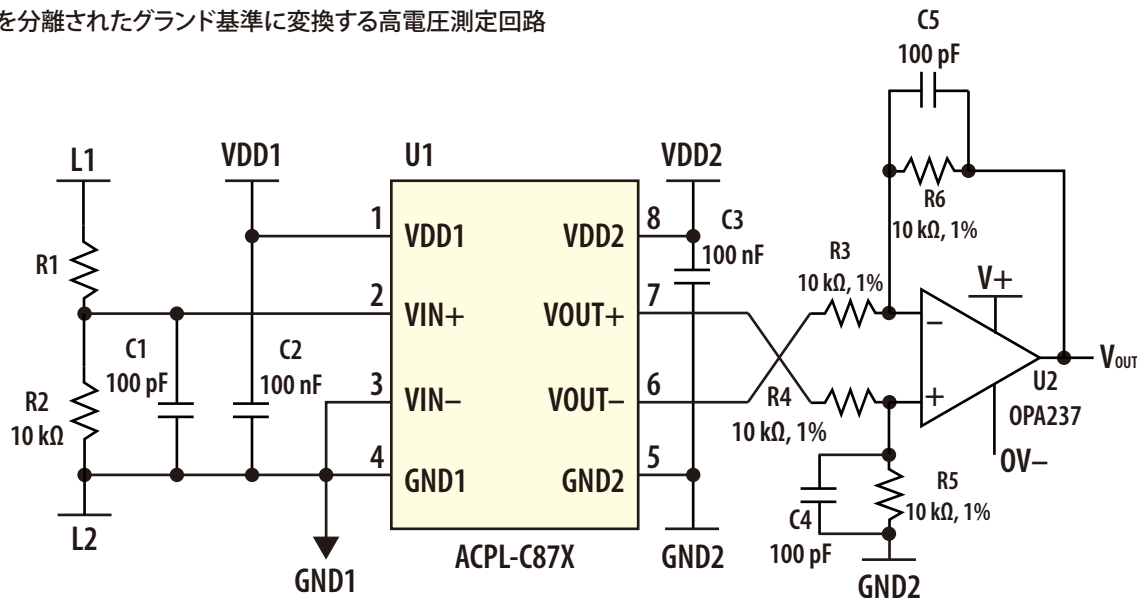
電圧および電流検出

EVバッテリーでは、主に、(1)定電圧、(2)定電流、および(3)この2つの組み合わせの3つの充電方法があります。ほとんどのEV充電システムは、充電プロセスの初期に定電圧を使用し、その後定電流に移行し終了します。[24]これらの充電方法を効果的に実現するには、回路各所の電圧と電流を測定し、PWM信号を制御するMCUにフィードバックすることが必要です。たとえば、図3の回路ブロックにおいて、DCリンクとチャージャの出力電圧は、連続的に監視し正確に読み取ることが必要です。電圧情報に加え、PFC段で入力から出力レールに流れる電流を測定する必要があります。高効率充電システムに関する[7]、[19]、[25]などの多くの研究では、制御アルゴリズムと電力計算の基本パラメータとして電圧および電流情報を利用しているため、この情報の精度がきわめて重要です。充電電圧、電流および充電時間により充電中の電力使用量が決まり、それが充電コストに跳ね返ります。したがって、確実な測定精度レベルが要求されます。

高電圧を測定する代表的な方法は、電圧を抵抗分圧器を使用してリニア検出素子が測定しMCUに送るのに適したレベルまで下げることです。電流検出回路は、しばしば高精度なシャント抵抗を使用して電流を小電圧に変換し、いくつかの信号調整回路を介してMCUに送ります。しかしながら、PFC段やDC-DCコンバータ段などの高電圧領域から低電圧コントローラ側に信号を正確に伝送するには常に困難さが伴います。これは、これらの2つの領域に跨る高いスイッチング雑音とグラウンドループ雑音によるものです。それら回路に生じる共通の問題は、データ精度の低下、MCUの破損、更にはユーザ安全性を損なう可能性を生じさせます。そのような状況で電圧および電流の検出を行うには、ACPL-C87XシリーズやACPL-C79Xシリーズなどのアイソレーション・アンプが重宝します [26], [27]。

ACPL-C87X絶縁型電圧センサの使い方は簡単です。ACPL-C87Xを用いた詳細なDC電圧検出回路を図6に示します。ACPL-C87Xの V_{IN} の公称入力電圧は2Vなので、ユーザは、 $R1 = (V_{L1} - V_{IN}) / V_{IN} \times R2$ の式に従って抵抗器R1を選択します。たとえば、 V_{L1} が600Vで、R2が10 kΩの場合、R1の値は2990kΩです。いくつかの抵抗器を組み合わせると目標値と一致させることもできます。たとえば、2 MΩ、430 kΩ および560 kΩ抵抗を直列接続するとちょうど2990 kΩとなります。ダウンスケールされた入力電圧は、アンチエイリアシングフィルタ回路によってフィルタリングされ、ACPL-C87Xにより検出されます。絶縁差動出力電圧($V_{OUT+} - V_{OUT-}$)は、ポストアンプU2によってシングルエンド信号 V_{OUT} に変換されます。 V_{OUT} は、高電圧側ライン電圧にリニアに比例し、システム・マイクロコントローラに安全に接続することができます。ACPL-C87Xの標準ゲインは1のため、総合伝達関数は、単純に $V_{OUT} = V_{L1} / (R1 / R2 + 1)$ [26]となります。

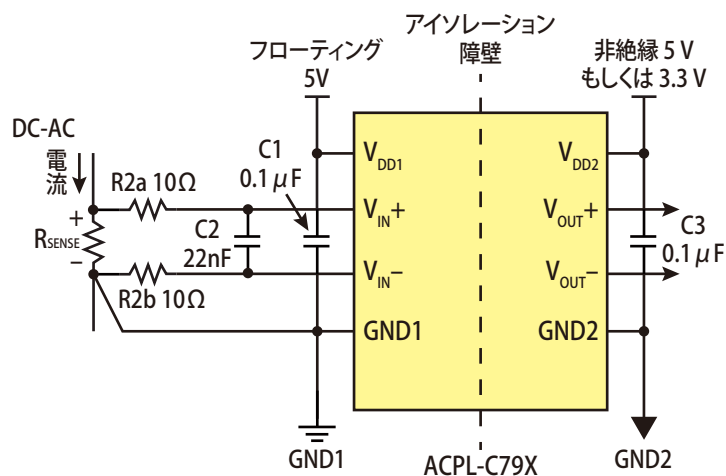
図6. 出力を分離されたグランド基準に変換する高電圧測定回路



アイソレーション・アンプを使用した電流検出は、図7に示すようにシャント抵抗器を入力に接続し、アイソレーション障壁を介して差動出力を得るシンプルなものです。適切なシャント抵抗器を選択することにより、1A未満から100Aを超える広範囲の電流を測定することができます。作動は、シャント抵抗器を電流が流れて生じるアナログ電圧降下をACPL-C79Xが検出します。光アイソレーション障壁を越えた側に差動出力電圧を出力します。この差動出力電圧は、

電流の大きさに比例し、図6に示したポストアンプなどのオペアンプを使用してシングルエンド信号に変換することができる他、コントローラのアナログ-デジタル・コンバータ(ADC)に直接送られます [27]。

図7. 代表的な電流検出アプリケーション回路



デジタル通信

充電ステーションとEV間での充電制御プロトコル実行には高度な制御スキームが必要とされます。しかしながら、これは、分岐化した規格により領域が異なります。たとえば、SAE J1772は、ACレベル1および2に対し、デューティサイクル変調を使用した制御パイロット信号通信方式について規定しています [12]。SAE委員会はまた、DC充電に必要とされるデジタル通信において、制御パイロット信号または主信号通信に電力線通信(PLC)スキームを使用することを提唱するJ2931の更新作業に取り組んでいます [28]。テスラは、SAE委員会活動に参画し、SAE J1772と同じ制御信号スキームを使用することを決定したようです。

最も普及した充電規格であるCHAdeMO(急速充電型のEV販売による) [2]は、急速充電用にCAN(コントローラ・エリア・ネットワーク)を選択しました。DC高速チャージャの500V/100A出力は、1つでも誤りがあれば重大な事故に繋がる可能性があるため、高い通信信頼性が必要とされるということが、日本の協議会のウェブサイトに記載されています。協議会は、CANが、車載電子制御システムの標準的な通信方法として、高い信頼性実績を持つことを考慮しています。その高い雑音耐性は、ECU(電子制御ユニット)が充電プロセスを制御する通信方法としてPLCよりも優れています [13, p. "FAQs – Technology"]。

CHAdeMO規格は、チャージャ側と車両側を接続する1対のCANバス線を充電ケーブル・インタフェースに備えています。ケーブル・ピン8および9はそれぞれ、CANトランシーバを接続することができるCAN-HおよびCAN-L [13, p. "Technological details"]として割り当てられます。CANトランシーバとCANコントローラ間に光アイソレーションを追加することにより、何らかの損傷がシステムMCUまで連鎖的に広がるのを防ぐ安全障壁をフォトカプラが提供するので、システム安全性が向上します。この構成は、高電圧バッテリー充電システムなどきわめてノイズの多い環境でより信頼性の高いデータ通信を可能にします。図8は、急速充電ステーションにおいて、フォトカプラを使用した絶縁型CANデジタル通信を実現する方法を示します。車載グレードの部品を使用することにより、車両側でも類似の回路が適用できます。

図8. 代表的な絶縁型CANデジタル通信

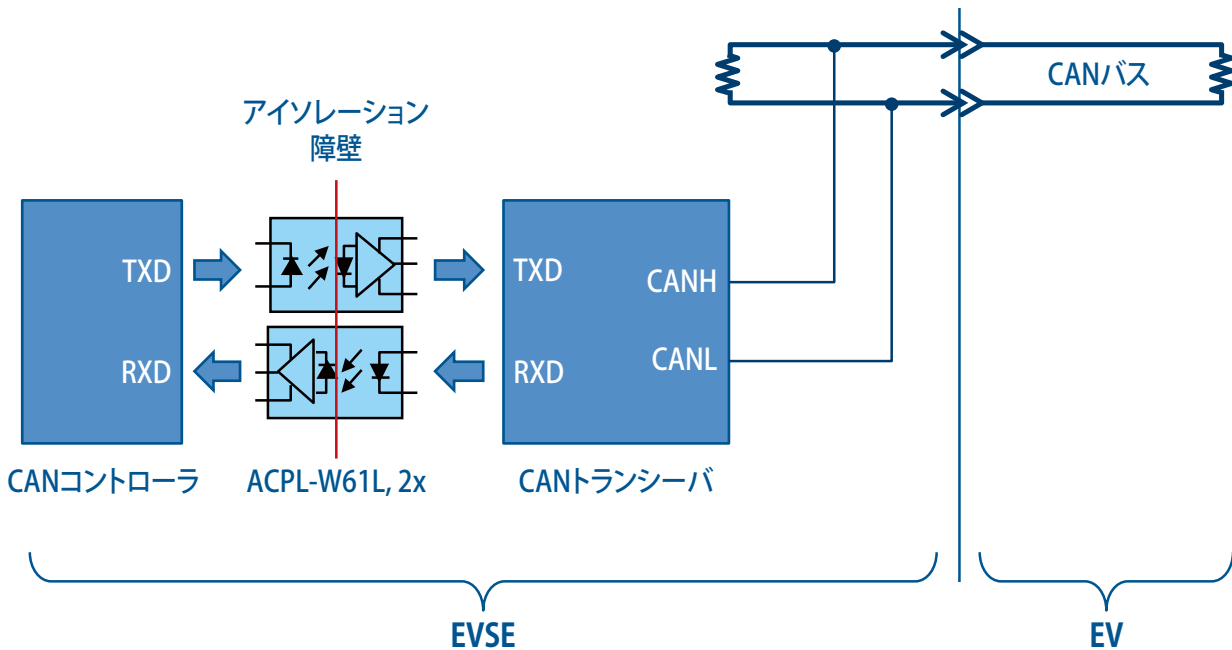


図8に示した回路例では、データ送受信に1対の10MBd高速フォトカプラACPL-W61Lを使用しています。この製品は、1.6mAのきわめて小さなLED入力電流で動作し、サイズが従来のDIP-8/パッケージの半分以下という小型SSO-6パッケージで提供されます。ACPL-W61Lは、小さいサイズにもかかわらず、UL1577規格に準拠し5000Vrms,1分間の高電圧に耐えます。この部品は、激しい過渡雑音が存在する状況でも信号を送信するように設計され、35kV/ μ sの同相過渡耐性が保証されています[30]。設計ニーズが異なる場合、ACPL-W61Lの代わりに他のフォトカプラを使用することもできます。それらのフォトカプラには、5MBd定格のACPL-W21L [31]と25MBbデュアル・チャンネル双方向のACSL-7210 [32]が含まれます。

結論

EVは、輸送の石油依存を軽減するのに役立ち、比較的安価に入手できる可能性のある電気を利用します。また、温室効果ガスや他の汚染物質の排出の削減に役立ち、それらは発電設備が再生可能エネルギーをより多く利用することで一層改善することができます。EV充電施設は、EV利用を幅広く普及させるために重要です。EV充電ステーション(特にDC急速充電)では、車両搭載のバッテリーに短期間に大量のエネルギーを送るため複雑な電源システムが使用されています。1つの充電ステーションに、低電圧制御システム、高電圧電力システム、および人が触れるユーザ・インタフェースが共存するため、安全絶縁が不可欠です。EVチャージャの設計においても1つの重要なポイントは、エネルギー変換効率です。ゲート・ドライバ、電圧センサ、電流センサ、デジタル・フォトカブラなどのフォトカブラは、単一パッケージで安全絶縁とそれぞれの電氣的機能の両方を提供し、効率の高いシステムを実現するのに役立ちます。

参考文献

1. IEA, "Global EV Outlook - Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020," Edition 2013, and 2015 Update.
2. B. Scott, "Electric Vehicle Charging Infrastructure: 2015 Update," *IHS Automotive Tech Report*, August, 2015.
3. China Times, "Revised National Standard for Electric Vehicle Charging Station Releases in August," 1 August 2015. [Online]. Available: <http://www.chinatimes.cc/article/49943.html>.
4. The State Council of China, "State Council Issues Notice on the Development Plan (2012–2020) for Energy-Saving and New Energy Automotive Industry," 28 June 2012. [Online]. Available: http://www.gov.cn/zwggk/2012-07/09/content_2179032.htm.
5. Xinhua News Agency, "China to Expedite Building Charging Infrastructure for 5 Million Electric Cars by 2020," 4 October 2015. [Online]. Available: http://www.gov.cn/zhengce/2015-10/04/content_2942543.htm.

6. IEC, "IEC 61851-1:2010 Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements," 25 November 2010. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/6029>.
7. S.-H. Ahn, J.-W. Gong, H.-J. Ryoo and S.-R. Jang, "Implementation of 60-kW Fast Charging System for Electric Vehicle," *IECON 2013 – 39th Annual Conference of the IEEE*, pp. 7256–7261, 2013.
8. M. C. Falvo, D. Sbordone, I. S. Bayram and M. Devetsikiotis, "EV Charging Stations and Modes: International Standards," *International Symposium on Power Electronics*, pp. 1134-1139, 2014.
9. A. Bartosh, "EV Roadmap 7: DC Lessons," *ABB EV Charging Infrastructure*, 2014.
10. Xinhua News Agency, "China National Standard for Electric Vehicle Conductive Charge Coupler Approved," 2 October 2015. [Online]. Available: http://www.gov.cn/xinwen/2015-10/02/content_2942142.htm.
11. Tesla Motors, "Superchargers," [Online]. Available: <http://www.teslamotors.com/supercharger>.
12. SAE International, *SAE J1772 Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler*, 2012.
13. CHAdeMO Association, [Online]. Available: www.chademo.com.
14. SAE International, *SAE Charging Configurations and Ratings Terminology*, ver. 100312, 2012.
15. M. Langezaal and C. Bouman, "Towards Winning Business Models for the EV-Charging Industry," ABB White Paper 4EVC200801-AREN, 2012.
16. M. Yilmaz and P. T. Krein, "Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 5, pp. 2151–2169, 2013.
17. Avago Technologies, *Optoisolation and Optical Sensor Products Selection Guide*, AV00-0254EN, 2015.
18. L. Tan, B. Wu, S. Rivera and V. Yaramasu, "Comprehensive DC Power Balance Management in High-Power Three-Level DC-DC Converter for Electric Vehicle Fast Charging," *Transactions on Power Electronics, IEEE*, vol. 31, no. 1, pp. 89–100, 2015.
19. F. Musavi, W. Eberle and W. G. Dunford, "Efficiency Evaluation of Single-Phase Solutions for AC-DC PFC Boost Converters for Plug-in-Hybrid Electric Vehicle Battery Chargers," *Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), IEEE*, pp. 1–6, 2010.
20. Y. Zhang, J. Long, W. Gong, Y. Liu and B. Zhao, "Implementation of High Efficiency Batteries Charger for EV Based on PWM Rectifier," *Vehicle Power and Propulsion Conference, IEEE*, 2012.
21. S. Davis, "1200V SiC MOSFET Poised to Replace Si MOSFETs and IGBTs," *Power Electronics Technology*, February 2011.
22. R. Law and C. K. Tee, *SiC MOSFET Gate Drive Optocouplers*, Avago Technologies, AV02-4498EN, 2014.
23. Avago Technologies, *ACPL-339J Gate Drive Optocoupler Interface Data Sheet*, AV02-3784EN, 2015.
24. S. Dhameja, *Electric Vehicle Battery Systems*, Boston: Newnes, 2002.
25. J. Channegowda, V. K. Pathipati and S. S. Williamson, "Comprehensive Review and Comparison of DC Fast Charging Converter Topologies: Improving Electric Vehicle Plug-to-Wheels Efficiency," *IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, pp. 263–268, 2015.
26. Avago Technologies, *ACPL-C87B/C87A/C870 Precision Optically Isolated Voltage Sensor Data Sheet*, AV02-3563EN, 2013.
27. Avago Technologies, *ACPL-C79B/C79A/C790 Precision Miniature Isolation Amplifiers Data Sheet*, AV02-2460EN, 2014.
28. SAE International, "Digital Communications for Plug-in Electric Vehicles," [Online]. Available: <http://standards.sae.org/wip/j2931/1/>.
29. D. Tuttle, "Plug-In-Hybrid Electric Vehicle DC Fast Charging: The Future Just Got More Interesting," [Online]. Available: <http://electricvehicle.ieee.org/2015/01/08/plug-hybrid-electric-vehicle-dc-fast-charging-future-just-got-interesting/>.
30. Avago Technologies, *ACPL-W61L Ultra Low Power 10 MBd Digital CMOS Optocouplers Data Sheet*, AV02-2150EN, 2012.
31. Avago Technologies, *ACPL-W21L Low Power 5 MBd Digital CMOS Optocoupler Data Sheet*, AV02-3462EN, 2012.
32. Avago Technologies, *ACSL-7210 Dual-Channel (Bidirectional) 25 MBd CMOS Buffered Input Digital Optocoupler Data Sheet*, AV02-4235EN, 2013.

製品情報と販売代理店リストは、弊社ウェブサイトwww.broadcom.comをご覧ください。
Broadcom、パルス・ロゴ、Connecting everything、アバゴ・テクノロジーおよびAロゴは、
アメリカ合衆国、いくつかの他の国々および/またはEUにおけるBroadcomの商標です。

Copyright©2016 Broadcom.著作権保有。

用語「Broadcom」は、Broadcom Limitedおよび/またはその子会社を指します。詳細は、
www.broadcom.comをご覧ください。

Broadcomは、信頼性、機能または設計を改善するために、製品またはデータを断りなく変更する権利を留保します。

Broadcomによって提供される情報は、正確で信頼性が高いと考えられます。しかしながら、Broadcomは、この情報の適用または使用、およびここに記載された製品または回路の適用または使用から生じるいかなる責務も負わず、特許権やその他の権利下のいかなるライセンスも譲渡しません。

