



スマートパワースイッチングによる  
スケーラブルで信頼性の高い  
車載設計へのアプローチ

# スマートパワースイッチングによる スケーラブルで信頼性の高い車載設計へのアプローチ

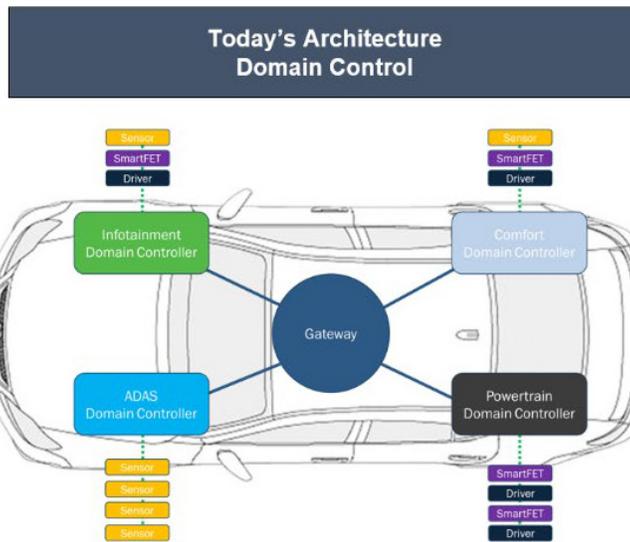
## 背景

車両アーキテクチャは、制御ユニット、電子センサおよび電気機械センサやアクチュエータ、多数の負荷など、複数のコンポーネントとサブアセンブリで構成されています。それにより、求められる運転機能と乗車機能を顧客に提供しています。長年にわたって、燃費、排出ガス、騒音・振動・ハーシュネス(NVH)や安全に関する基準への準拠といった最低限の要件を満たすことに重点が置かれてきました。それに加え、音声制御、スマートインタフェースの統合、自律走行などの機能により、快適でインタラクティブかつシームレスな運転体験を含めるようになってきています。このため、特定の機能を実行する「頭脳」としての役割を果たす、多様なモジュールが追加されるようになりました。こうした異なる機能間の相互接続が多数存在するネットワークの管理は、特にこれらの機能間で高速通信が必要な場合は、困難なものとなる可能性があります。さらに、極端な温度、ケーブルの短絡、電圧過渡といった過酷な車載環境によって問題は複雑化し、多くの場合、これらの「スマート」機能には高度の堅牢性が求められます。電力のスイッチングと分配は、自動車のどの機能にとっても常に不可欠な要素です。本稿では、スマートパワースイッチングと配電の観点から、車載制御の新たなトレンドを紹介します。

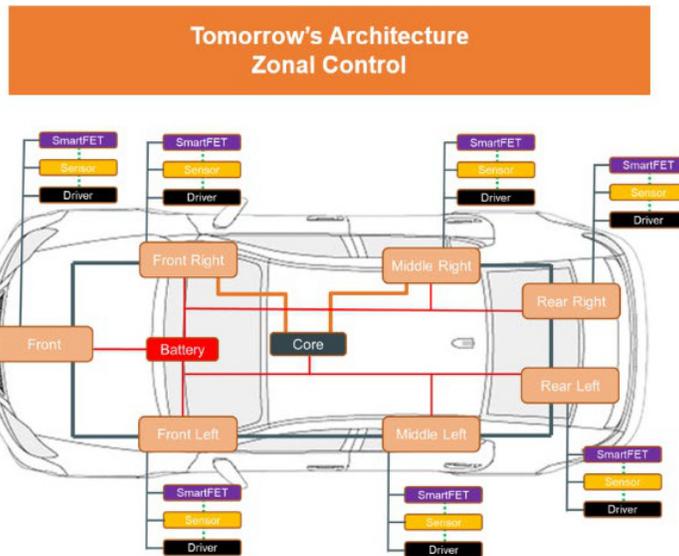
## ゾーン制御アーキテクチャとドメイン制御アーキテクチャ

多くの車載設計では、今日、アーキテクチャにドメイン制御アプローチを採用しています (Figure 1a参照)。簡単に言うと、個々のモジュールは特定の機能を提供し、それに接続されている機器やセンサの制御を行います。しかし、ドメインが複雑になると、機器とセンサは制御モジュールから離れた場所に位置する可能性があります。例えば、ビジョンコントロール機能は、車両の至るところに配置されたカメラや近接センサからの情報を利用します。これらの機器をビジョンコントロールモジュールに接続するには、長いケーブルとインタフェースを追加する必要があります。車両システムに導入されるセンサや機器が増えるほど、ハーネスが重量とコストの主要な検討事項となります。

ゾーン型のアプローチでは、車両内のさまざまな「ゾーン」やサブシステムがネットワークを介して互いに接続されます (Figure 1b参照)。各ゾーン制御モジュールは、負荷の駆動とそのゾーンに固有の機能への電力の分配を担当しています。そのため、センサを接続するハーネスは、車両全体に届く必要がなくなります。それどころか、センサははるかに短いケーブルでそれぞれのゾーン制御モジュールに接続され、その後ネットワークに接続されます。



**Figure 1a. With a Domain Control Approach to Automotive Design, a Module Provides Control to Devices and Sensors Needing that Specific Functionality Everywhere in the Car**



**Figure 1b. With a Zonal Approach, Various Functions in Each Zone of the Vehicle Connect to a Zone Control Module, which in Turn Connect via a Network – Substantially Reducing the Required Harness**

ゾーンアプローチは、車載アプリケーションに多くの利点をもたらします。高度なコンピューティングリソースを一元化し、複数の機能にわたって最適化できます。集中型コンピューティングにより、処理リソースを簡単に追加し、車両全体で共有できます。車載ネットワークが高速で高度になれば、全体のアーキテクチャもシンプルにすることができます。また、ゾーン制御アプローチにより、車両全体でソフトウェアベースの機能を容易にサポートできるようになります。さらに、個々のサブシステムのスケールアップもはるかに簡単になります。ゾーンの機能は、進化するアプリケーション要件や車両のトリムに基づいて

拡張できます。同様に、センサやアクチュエータは、それほど配線を必要とせずに追加できます。ハーネスは現在、車両内で最も重く、最も高価なコンポーネントの1つであるため、ハーネスを減らすことで、車両のコストと重量が削減できます。

内燃機関車にゾーンアプローチを使用すれば、設計の類似性により、電気自動車(EV)への移行もより迅速に行えます。前述したシステムの重量と複雑さに関する懸念は、EVではさらに大きくなります。EVでは、バッテリーによって自動車の重量と効率が決まり、バッテリー寿命が航続距離を決める上で非常に重要なためです。ゾーンネットワークは、こうした懸念の軽減に役立ちます。したがって、内燃機関車またはハイブリッド車でゾーンシステムの中核として機能する電気コンポーネントは、EV開発にも引き継がれ、ミッションプロファイルの拡張などEVの環境に特有の要件を満たす必要があります。

ゾーン制御アプローチを採用するためには、より柔軟でよりスマートなパワースイッチングコンポーネントが必要となります。従来のリレーやヒューズでは、達成可能な効率に限界があります。より正確でより効率の高いパワーマネジメントを実現するには、関連する動作情報を収集し、制御モジュールと共有できる、よりスマートなスイッチングコンポーネントが必要です。また、これらのコンポーネントは自立し、自己診断を行ってさまざまな電源障害から保護する能力を備えている必要があります。自動車メーカー(OEM)が利用できる各種スイッチングオプションについては、以下で説明し比較します。

## なぜSmartFETなのか？

車載アプリケーションで使用される各種パワースイッチングコンポーネントには、リレー、IGBT、バイポーラトランジスタ、従来の金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ(MOSFET)などがあります。MOSFETソリューションは、面積効率の向上、優れた電磁干渉(EMI)およびノイズ性能による信頼性の向上を目的として、メカニカルなリレーやヒューズからの置き換えが一段と進んでいます。また、MOSFETは、リレーに避けられない接点腐食の問題も回避でき、メカニカルなヒューズとは異なり過負荷発生後に交換する必要もありません。

しかし、従来のMOSFETは、安全かどうかにかかわらず、コントローラからのコマンドに従って負荷に電力を供給または遮断する単純なスイッチです。MOSFETは、過熱、過負荷、出力短絡などの状況に対して脆弱なため、コントローラは各MOSFETを監視、保護する必要があります。MOSFETの安全な動作を保証するために、コンポーネントや相互接続を追加する必要があります。車両には保護が必要な何百個ものMOSFETが搭載されている可能性があり、システムの複雑さとコストが大幅に増加してしまいます。

パワーMOSFETのプロセス技術の進歩により、パワースイッチング機能と保護機能を経済的な方法で統合することが可能になりました。このような「よりスマートな」パワーコンポーネントにより、システムの複雑さが軽減されるだけでなく、最新の車載設計の柔軟性と汎用性が向上します。SmartFETは、必要なプリント回路基板(PCB)トレース総数を削減

しながら、より小さい実装面積で自己診断、および保護回路を内蔵したスイッチングを実現できます。

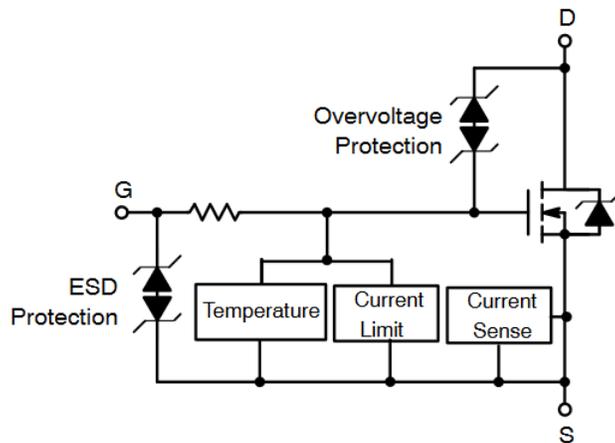
## ハイサイドSmartFETとローサイドSmartFET

SmartFETまたはパワースイッチは、負荷の「ローサイド」または「ハイサイド」に接続できます。ローサイドの場合、負荷は+Vとスイッチの間に接続し、スイッチのもう一方の端子はグラウンドに接続します。この場合のスイッチは、ローサイド構成と見なされます。あるいは、スイッチを+Vと負荷の間に接続すると、このスイッチはハイサイド構成と見なされます。この簡単な覚え方は、ローサイドスイッチはグラウンドを接続したり切断したりするのに対し、ハイサイドスイッチは電源電圧を接続したり切断したりするということです。

SmartFETは、ハイサイド構成とローサイド構成の両方で使用できますが、特定のSmartFETの特性は、どちらか一方の構成に合わせて調整されます。ハイサイドSmartFETは、ローサイドSmartFETに比べて比較的複雑です。これは出力FETを駆動するチャージポンプや、出力FETの制御や監視をグラウンド基準のI/O端子に接続するレベルシフタなどの機能を搭載する必要があるためです。アーキテクチャと設計が複雑でも、ハイサイドSmartFETは、その優れた負荷保護特性により、業界ではスイッチングソリューションの選択肢として急速に普及しています。

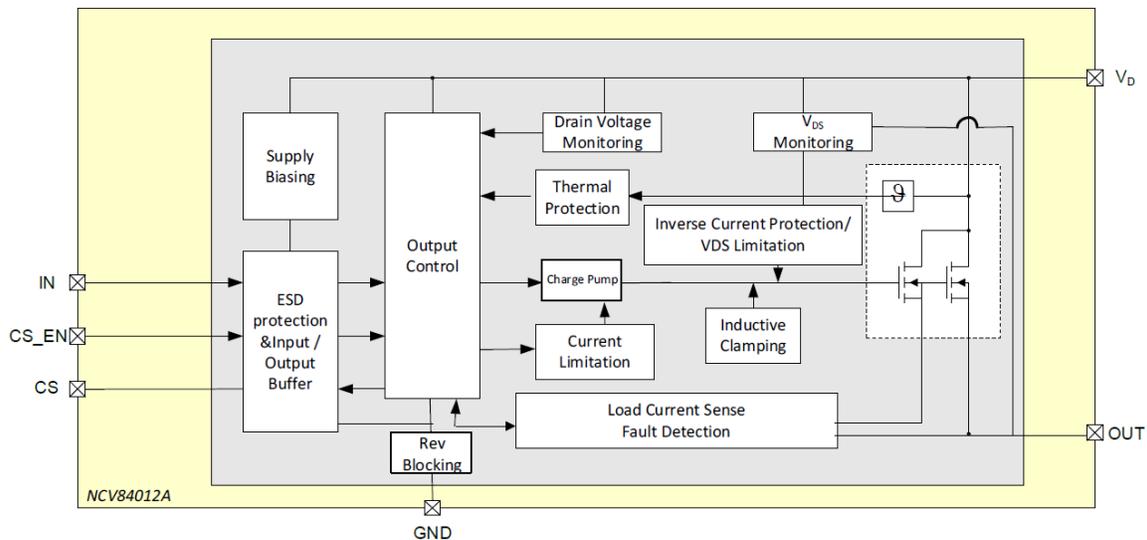
SmartFETは通常、制御ユニット内に収容されます。負荷のタイプと車両内の位置によっては、負荷を制御ユニットに接続するケーブルが非常に長くなる場合があり、シャージグラウンドへの短絡が発生する可能性が高まります。ローサイドスイッチがグラウンドにショートすると、負荷に深刻なストレスがかかる可能性があります。このため、アプリケーションの負荷を保護するには、ハイサイドSmartFETでバッテリーをスイッチングするのが安全な選択肢となります。さらに、ヒューズに代わるSmartFETの登場により、ヒューズは自然にハイサイド構成で接続され下流の負荷に電力を供給するため、ハイサイドSmartFETの重要性は多様化しています。これらハイサイドSmartFETは、レギュレータや通信インタフェースと組み合わせることで、高度なパワーマネジメントのシステムオンチップソリューションを実現できます。

Figure 2は、自己診断回路と保護回路を含めた[ローサイドSmartFET](#)の一般的なブロック図を示します。静電放電(ESD)保護クランプと過電圧保護クランプは、電圧過渡を制限し、誘導性負荷のスイッチングと同時にアクティブクランプを可能にします。絶対サーマルシャットダウン(TSD)と差動サーマルシャットダウン(DTSD)、および電流制限保護も実装されています。



**Figure 2. Generic Block Diagram of a Low Side SmartFET, Including Integrated Self-diagnostic and Protection Circuitry**

Figure 3は、[ハイサイドSmartFET](#)のブロック図です。ハイサイドSmartFETは、ローサイドSmartFETと同様の保護を内蔵しています。リアルタイムの電流検出(CS)と診断レポート出力を組み合わせた新世代のデバイスも用意されています。



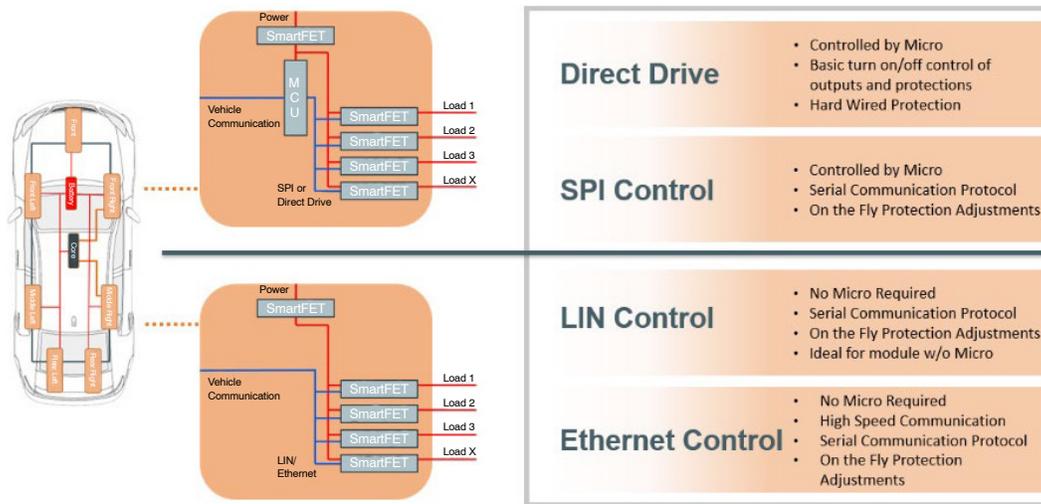
**Figure 3. Generic Block Diagram of a High Side SmartFET, which Integrates Protections as Well as Diagnostic Reporting**

## スマートな制御

SmartFETは、診断機能を保護回路と組み合わせて(つまり、保護機能付きスイッチ)内蔵することによって、標準MOSFETアーキテクチャを拡張したものです。SmartFETは、マイクロコントローラ(MCU)で制御できるだけでなく、状況に応じて自律的に自己制御することもできます。例えば、SmartFETは、自己の動作を監視し、必要に応じて自身をシャットダウンし、中央制御ユニットに障害を伝えることができます。SmartFETは、外付けの監視回路や制御回路を追加しなくても、出力電流を制限するか、大電流の障害が発生した場合は

自身をシャットダウンすることで、許容電流を超える電流を流さないように構成できます。監視回路が内蔵されているため、SmartFETは外付けの保護回路よりも迅速に反応できます。

MCUで駆動する場合、SmartFETは、直接の制御入力またはシリアルペリフェラルインタフェース(SPI)などの通信プロトコルを利用して制御できます(Figure 4)。SPIの機能により、MCUはこのスイッチをさまざまなレベルの動作に設定できます。つまり、性能を調整するための専用ハードウェアなしで、同じデバイスをさまざまなアプリケーションで使用できます。複数のSmartFETをデジチェン構成で駆動することで、MCUのコネクタのI/O数を減らした駆動インタフェースが可能になります。ゾーンモジュールへの多くの機能の統合では、SPIの駆動機能がOEMによって活発に検討されています。図は制御用のMCUを必要としない構成を示しています。代わりに、SmartFETがローカルインタコネクネットワーク(LIN)またはイーサネットを使用して管理されており、動的な保護の調整が可能になっています。



**Figure 4. SmartFETs Supporting Zonal Applications**

最近における設計の改善では、SmartFETは消費する動作電流を最小限に抑えるように設計されているため、システム全体のリークを低減できます。これにより、システムの効率やバッテリー寿命(特にEVにおいて)が向上するだけでなく、SmartFETでセントリモード動作などの高度な機能をサポートできるようになります。このモードでは、定期的な負荷チェックや夜間のソフトウェア更新などのタスクのために回路をアクティブ状態に維持するよう、必要最小限の電力をキーオフモードで供給します。

## 回路保護

SmartFETは、前述したように、自己、負荷、その他の損傷しやすい電子機器を保護する回路を備えています。自動車の動作環境は過酷なものになる場合があります。例えば、高温、高電圧、大電力過渡、ハーネスや負荷の短絡、誘導性フライバックによるオーバーシュート、静電放電、その他の電源障害などです。信頼性を維持するには、スイッチやそれ

が電力を供給する負荷を保護するために、電力監視や自己保護のメカニズムを導入する必要があります。

最も一般的な障害の種類は短絡で、これにはいくつかの形があります。特に課題となるのは、短絡が頻繁に断続的に発生したり、非常に短い期間に発生したりする可能性があることです。そのため、短期間に繰り返し高い熱や電力の「衝撃」を引き起こします。短絡が発生すると、その結果生じる大電流によって、デバイス、ハーネス、コントローラPCB、およびスイッチ付近のコンポーネントが損傷する可能性があります。SmartFETは、以下に示すいくつかの方法で短絡から保護することができます。

- SmartFETは流している電流を常に監視しています。内部で設定された電流の閾値を超えた場合、SmartFETが電流を調整／制限できるため、パターン、配線、その他のコンポーネントが焼損することはありません。あるいは、アプリケーションやユースケースに応じて、電源を完全に遮断することもできます。
- 差動サーマルシャットダウン(DTSD)：SmartFETは2つの温度センサを備えており、1つはダイの中央、もう1つはダイの周辺部にあります。ダイの温度が急速に上昇すると、ダイに電熱破壊が生じる可能性があります。差動サーマルシャットダウンは、電流が短絡障害を引き起こすほどではないが、大きな温度勾配を引き起こすほど高い場合にシステムを保護します。
- サーマルシャットダウン(TSD)：ダイの静的温度が内部で設定された閾値を超えた場合、あるいは継続的な短絡障害によって蓄積された熱でダイ温度が上昇した場合、スイッチが自動的にターンオフします。

これらすべての保護メカニズムにおいて、SmartFETは待機した後に再度安全にターンオンしようとします(自動再試行)。デバイスによっては、入力がある限り自動再試行を継続できますが、他のデバイスでは、設定された試行回数に達してもスイッチが安全にターンオンできない場合、SmartFETは自動再試行を無効にします。出力段はこの状況が解消され、MCUが安全にスイッチをオンに戻すことができるようになるまでオフになります。SmartFETの再試行方法は各製品のデータシートに記載されています。

SmartFETは、他のさまざまな保護メカニズムも内蔵することができます。例えば、過電圧保護、ロックアウトによる低電圧保護、オフ状態負荷オープンや電源への短絡検出、誘導性負荷スイッチング用の出力クランプなどがあります。オンセミのSmartFETは、低／中電流負荷に対する高速応答レギュレーションや大電流負荷に対するピーク検出シャットオフにより、アクティブな突入電流処理についても最適化されています。SmartFETには、持続的な短絡時の電力損失を低減するためのフォールドバック電流制限を備えているものもあります。また、ヒューズを置き換えるソリューションが登場したことで、SmartFETは温度ヒューズと同様の $I^2t$ のプロファイルをエミュレートし、下流のハーネスや負荷を大電力状態から保護するように設計されています。

## 電流検出と診断

SmartFETは、内蔵センサを利用することで、CSピンを介してCSの情報をコントローラに渡すことができます。このデータは、デバイスを通過する電流のレベルについてコントローラへの情報を更新し、何らかの障害が発生したかどうかを示します。このようにして、車載システム全体で車両内のすべてのSmartFETの状態を把握できます。

コントローラ側では、MCUがアナログ／デジタルコンバータ(ADC)を通じて検出データを監視し、負荷電流のデジタル値を取得します。SmartFETのアナログCS出力は、個別の障害表示と多重化されます。診断される障害の一般的なカテゴリとしては、GND／バッテリーへの短絡、負荷オープン、過熱、電流制限などがあります。CS出力の公称電流と故障電流の範囲はデータシートに規定されているため、マイクロコントローラは通常動作とアプリケーションの障害を区別できます。

業界でSmartFETを差別化している要因の1つは、CS出力の精度です。このデータはコントローラに役立つため、メーカーはより高いCSの精度を達成するSmartFETの開発に投資しています。例えば、単一のSmartFETが1ストリングあたり50 mAで合計400 mAの負荷となる8ストリングのLEDを駆動する場合を考えてみましょう。1ストリングに障害が発生した場合、負荷は350 mAに低下します。CS比の仕様が高精度であれば、特にこのケースのLEDのような軽負荷を駆動する場合、出力電流レベルの小さな変化を区別するのに役立ちます。負荷電流を監視することで、MCUはあるストリングに障害が発生したことを特定できます。そのような監視を行わない場合、MCUは障害に気づかないままです。

CSの精度は、車両がゾーン制御アーキテクチャに移行するにつれて、ますます重要な役割を果たします。各ゾーンの機能が統合されているため、1つのスイッチで複数の負荷を駆動することがよくあるでしょう。正確な負荷電流データが得られれば、コントローラは、下流の負荷に障害が発生しているかどうかを判断できます。さらに、ゾーンアーキテクチャのアプリケーションでは、特定のCS出力電流に対してより高い負荷電流を検出できるように、SmartFETには多くの場合、高いCS比が必要になります。

将来的に、さらに高度なセンシング機能をサポートするために、OEMはSmartFETがコントローラとの通信インタフェース(ほとんどの場合、SPI)を統合することを期待できます。これによって、車両がより多くのことを把握し、よりインテリジェントな動作ができるようになります。また、SPIインタフェースを使用すると、電流と電圧の検出データをデジタル出力として利用できるため、このデータを読み取るためにADCを用意する必要がなくなり、基板上の外付けコンポーネントのためのスペースも節約できます。

統合 = 信頼性 + 簡潔さ

## まとめ

オンセミは、パワーエレクトロニクスの業界リーダーとして、OEMが高効率かつ高信頼性の車両を設計、製造する上で必要としている技術を提供することにコミットしています。当社のビジョンの重要な部分は、オンセミのサプライチェーンが、OEMによる持続可能な技術構築を支援し続けることです。

ドメイン制御からゾーン制御への移行は、車載アプリケーションの機能統合をもたらしました。この統合の結果、各ゾーンには適切に配分されたより多くの電力が必要となります。ハーネスのコストを削減すると同時に車両の軽量化と信頼性の向上を実現するために、OEMはスマートなパワースイッチングコンポーネントを必要としています。これは自動車が完全な電気自動車への移行を進める中、確実な電力供給、設計の複雑さの軽減、スケーリングの簡素化を可能にするものです。

SmartFETは、車両が電力を供給し、その電気インフラを保護する方法を変革します。SmartFETは、正確な診断機能と保護回路をスイッチ自体に統合することで、自立したパワースイッチングを実現します。これにより、システムの複雑さの軽減、設計の簡素化、コンポーネント点数の削減、電子回路のフットプリントの縮小、冗長なケーブル配線の排除と同時に、信頼性の向上と総所有コストの削減が可能になります。出力電流とデバイス温度を常に監視するアクティブ制御回路と、電圧過渡やその他の電力障害に対するパッシブ保護を組み合わせたSmartFETは、多くの車載アプリケーションに理想的なデバイスです。

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)