

HEV/EV 用冷暖房システムの設計方法

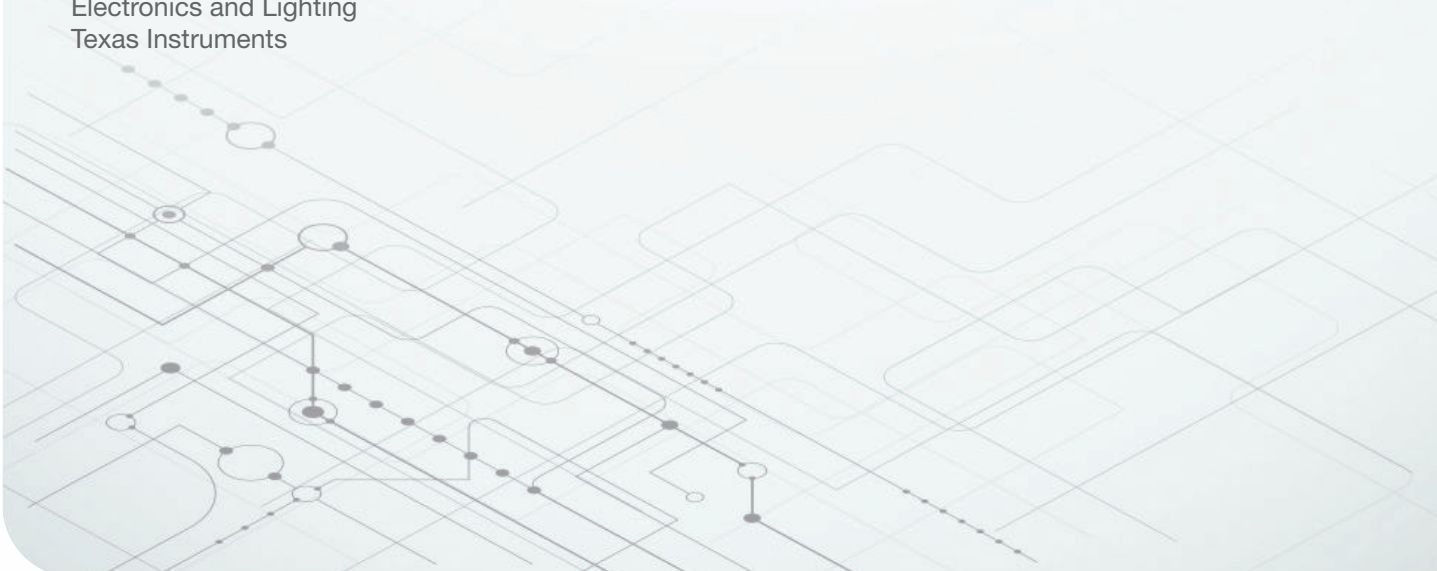


Arun T. Vemuri

General Manager, Automotive Body
Electronics and Lighting
Texas Instruments

Kevin Stauder

Systems Engineer, Automotive Body
Electronics and Lighting
Texas Instruments



何十年もの間、内燃エンジン (ICE) は車だけでなく冷暖房システムをも動かしています。自動車産業の電動化が進み、小型燃焼エンジンを搭載したハイブリッド電気自動車 (HEV) やエンジン無搭載の完全電気自動車 (EV) への移行が進むにつれて、暖房、換気、空調 (HVAC) システムはどのような仕組みになっていくのでしょうか。

このホワイトペーパーでは、48V、400V、または 800V の HEV/EV に搭載される新しい冷暖房制御モジュールについて説明します。その次に、これらのモジュールに固有のサブシステムについて、システム図と例を交えて説明します。最後に、貴社の実装計画の着手に役立つよう、これらのサブシステムの機能的なソリューションを改めて説明します。

HVAC システムの燃焼エンジンの仕組み

ICE を搭載した車では、エンジンが冷暖房システムの基盤となっています。図 1 に、この概念を示します。

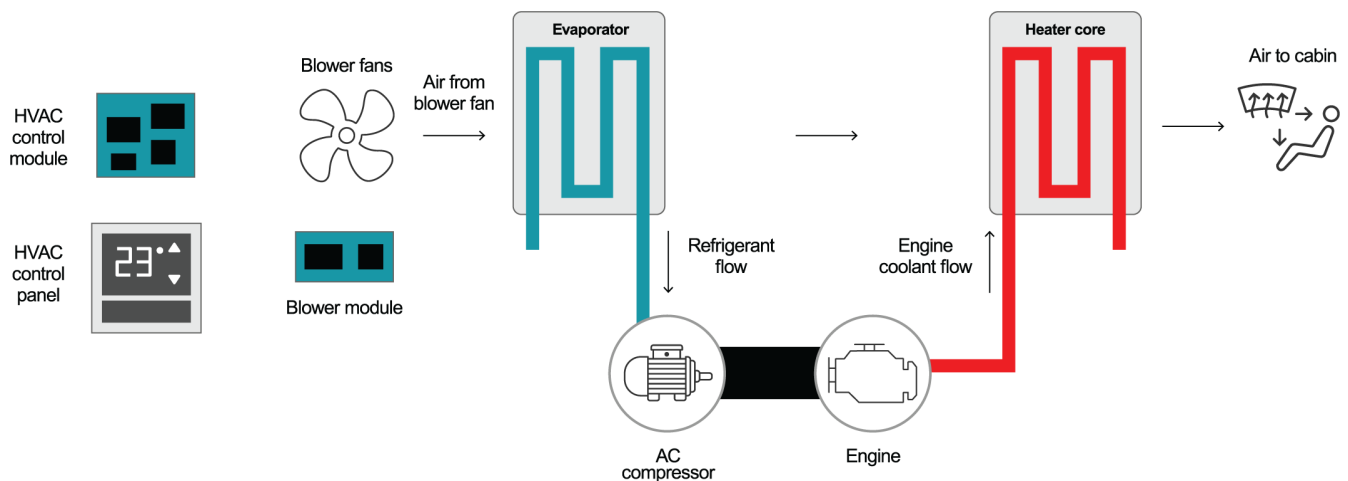


図 1. エンジンは ICE 車の冷暖房システムにおいて基本的な役割を果たしている

HEV/EV における冷暖房の仕組み

HEV/EV で燃焼エンジンの小型化や省略化を図るためには、図 2 に示すように、HVAC システムで重要な役割を果たす 2 つの部品を別途導入する必要があります。

冷房の場合は、送風機からの空気が蒸発器に流れ込み、そこで冷媒によって空気が冷やされます。次に、エンジンにより駆動される空調 (AC) コンプレッサによって冷媒が圧縮され、蒸発器から排出されます。

同様に、暖房の場合は、エンジンにより生成された熱が冷却剤に送られます。この温かい冷却材がヒーターの中心部に流れ込んで空気を温め、温められた空気がキャビンに吹き込まれます。このように、エンジンは車のキャビンの冷暖房において基本的な役割を果たしています。

1. ブラシレス DC (BLDC) モーターは、エンジンに代わって AC コンプレッサを回転させる DC モーターの一種です。
2. 正温度係数 (PTC) ヒーター、または代替となるヒート・ポンプは、エンジンではなく冷却剤を加熱します。

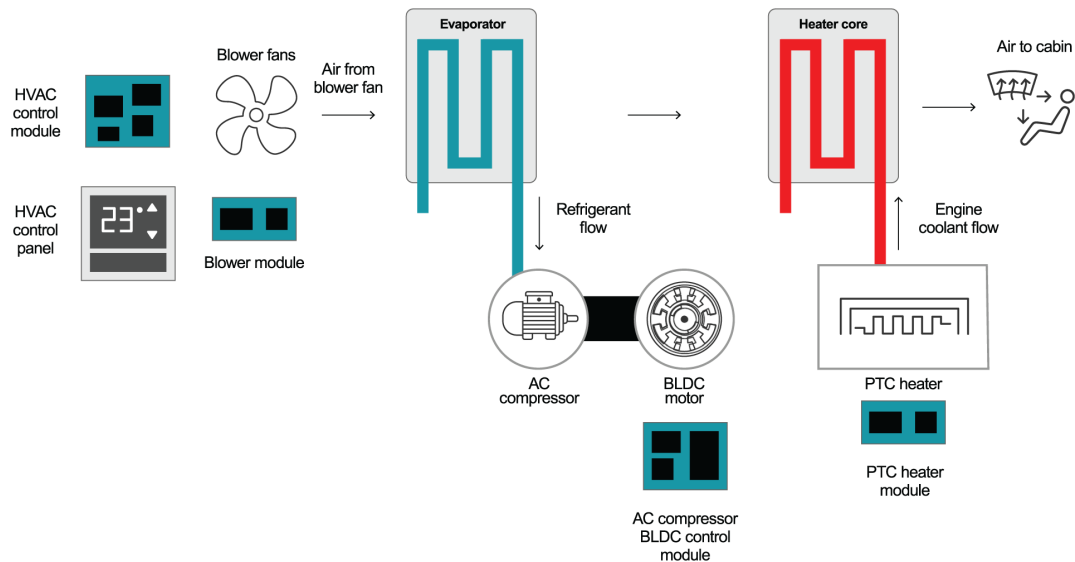


図2. HEV/EV の冷暖房システム

これらの部品を除けば、冷暖房システムのインフラの残りの部分は ICE 搭載車と同じです。前述のように、BLDC モーターと PTC ヒーターまたはヒート・ポンプは、エンジンがない場合に必要であり、消費電力、モーターと抵抗ヒーターの制御、および HVAC 全体の制御において別の課題をもたらします。

BLDC モーターと PTC ヒーターを制御する電子機器

高電圧 HEV/EV では、BLDC モーターと PTC ヒーターの両方で高電圧電力が使用されます。AC コンプレッサは 10kW もの電力を必要とする場合があります、一方で PTC ヒーターは 5kW もの電力を消費する場合があります。

図3 および 図4 はそれぞれ、AC コンプレッサの BLDC 制御モジュールと PTC ヒーター制御モジュールのブロック図です。これらのブロック図が示すように、どちらも AC コンプレッサの BLDC モーターと PTC ヒーターが高電圧バッテリーから電力を供給されていることがわかります。また、これらのモジュールではどちらも、絶縁ゲート・バイポーラ・トランジスタ (IGBT) と対応するゲート・ドライバを使用して、BLDC モーターと PTC ヒーターへの電力を制御しています。

さらに、図3 および 図4 では、両方の制御モジュールにおける残りのサブシステム間の類似点も示しています。どちらのシステムにも、電源サブシステム、ゲート・ドライバ・バイアス電源、マイクロコントローラ (MCU)、通信インターフェイス、および温度 / 電流監視機能が組み込まれています。

通信用のトランシーバや電流測定用の増幅器など、これらの制御モジュールで 사용되는サブシステムの多くは、他の冷暖房制御モジュールで使用されているサブシステムと同様です。ただし、電源サブシステムとゲート・ドライバ・サブシステムは、車の冷暖房システムにおけるこれらの制御モジュールに固有のもので、これらのサブシステムは高電圧ドメインへのインターフェイスだけでなく低電圧ドメインへのインターフェイスにもなっています。

この後このホワイトペーパーでは、これらのサブシステムに使用される回路トポロジの機能ブロック図について説明します。回路トポロジの選択にあたっては、サブシステムの機能性だけでなく、効率、電力密度、電磁干渉 (EMI) といったシステム設計上の要件も達成する必要があることに注意してください。

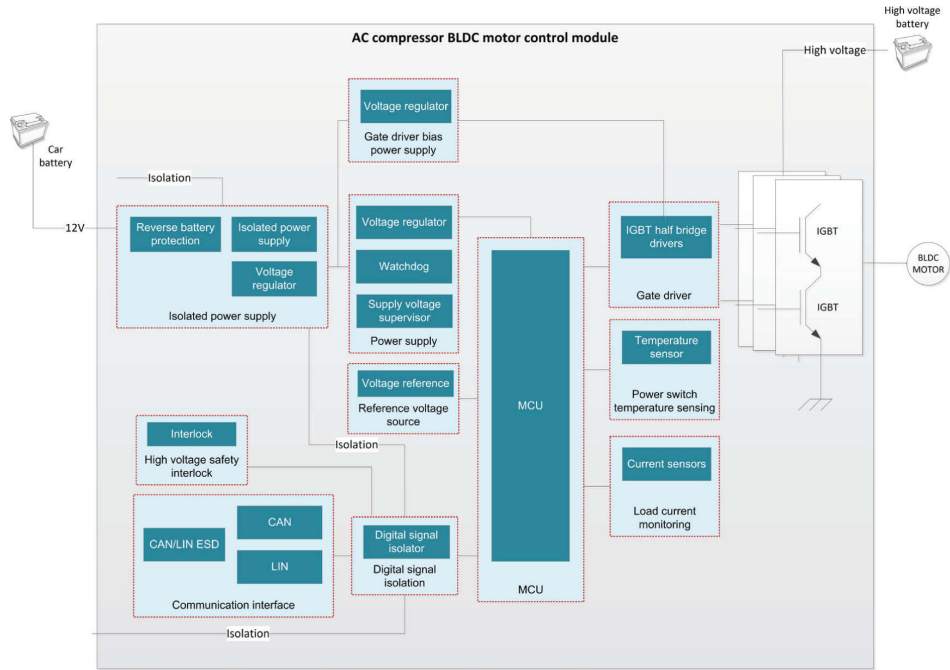


図3. 高電圧 AC コンプレッサの BLDC モーター制御モジュールのブロック図

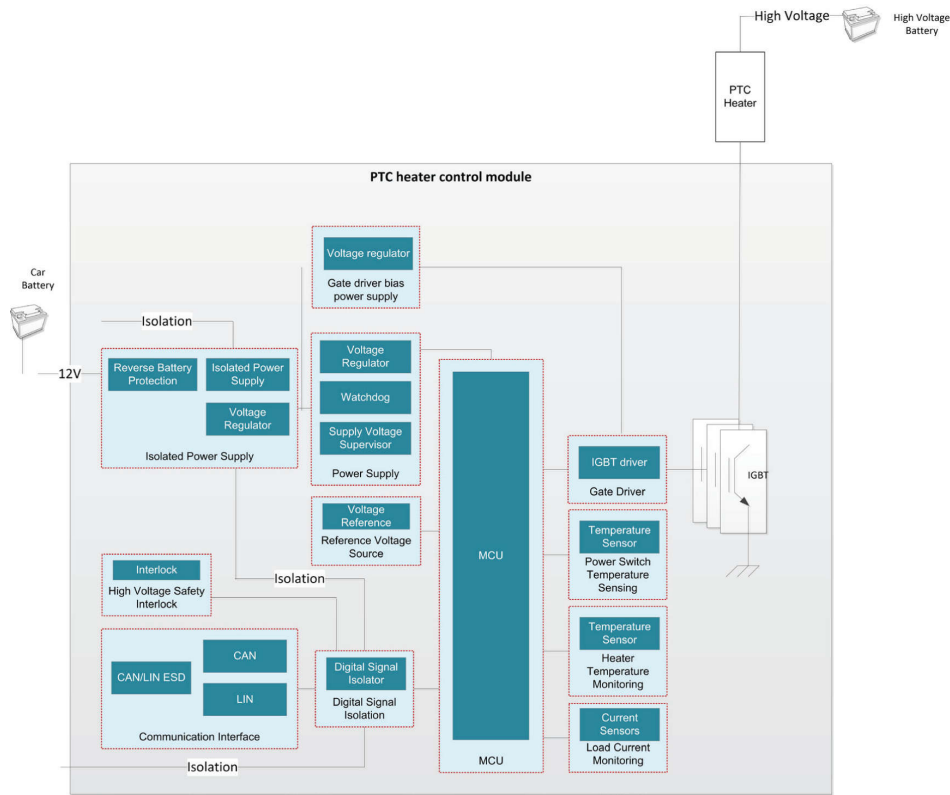


図4. 高電圧 PTC ヒーター制御モジュールのブロック図

ヒート・ポンプ

キャビンの暖房にハイパワー PTC ヒーターを使用する代わりに、**図 5** のように冷却回路をヒート・ポンプとして使用することもできます。このモードでは、反転バルブによって冷媒の流れ

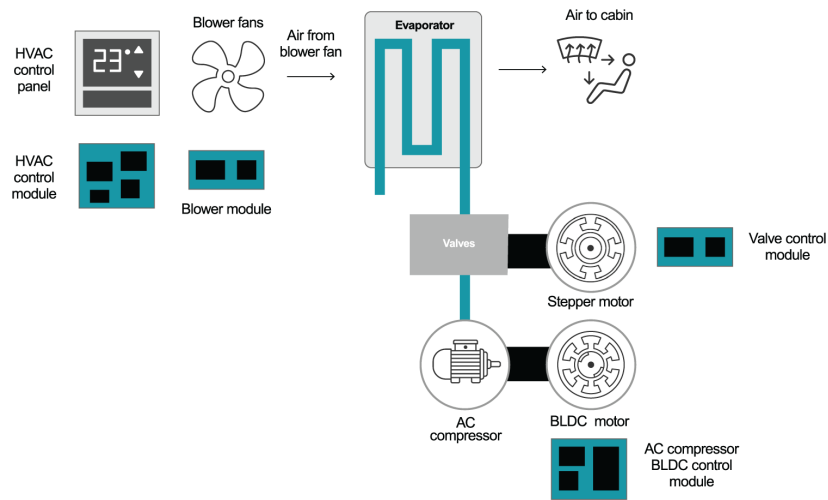


図 5. ヒート・ポンプ・システム

ヒート・ポンプに基づく冷暖房システムでは、次のタイプのバルブが使用されます。

- **膨張弁**は、冷媒の流れを制御します。膨張弁により、液化装置内で液化した高圧の冷媒が蒸発器内で低圧の冷媒へと気化する変化が促進されます。電子式膨張弁は通常、特にステッパ・モーターを使用して膨張弁を制御する場合に、負荷の変化に対してより高速かつ正確に応答するという利点を持ち、冷媒の流れをより正確に制御します。
- **遮断弁および逆転弁**は、冷媒の方向または経路を変更するもので、暖房と冷房のどちらのモードでも一部の要素の反転サイクルとバイパスを可能にします。遮断弁や逆転弁はソレノイド・ドライバでもブラシ付き DC モーターでも制御できます。

図 5 から、ヒート・ポンプ・システムでも前述の AC コンプレッサ・モジュールが使用されると推測できます。また、ヒート・ポンプ・システムでもバルブの駆動にモーター・ドライバ・モジュールが使用されます。このため、冷媒の流れを得るためにバルブを駆動しなければならないという設計上の課題が新たに生じます。

図 6 は、バルブの駆動に使用されるモーター・ドライバ・モジュールの標準的なブロック図を示しています。この図はステッパ・モーター・ドライバを示しています。モーターがブラシ付き DC モーターの場合、このブロック図ではブラシ付き DC モーター・ドライバがステッパ・モーター・ドライバの代わりになります。モーター・ドライバ・モジュールの設計では、電力密度と EMI が要件に含まれます。

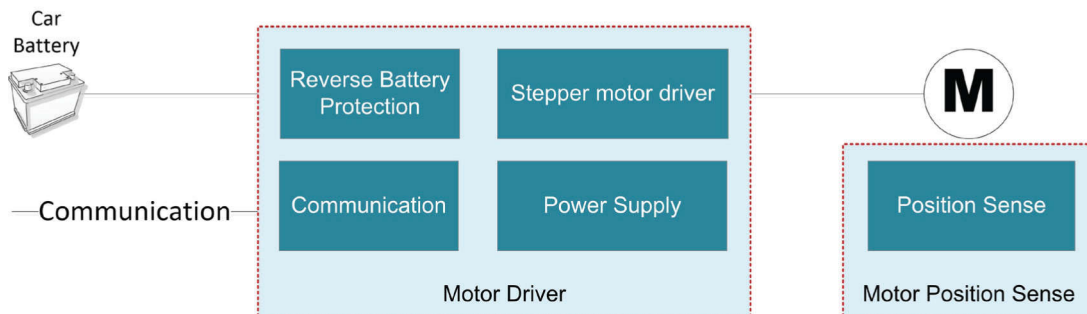


図 6. ステッパ・モーター・ドライバのブロック図

HVAC 制御モジュール

図 7 は、HVAC 制御モジュールの標準的なブロック図です。HVAC 制御モジュールは高電圧接触器を制御します。これらの接触器は、BLDC モーターと PTC ヒーターに対する高電

圧バッテリーの接続および切断に使用されます。ブロック図には、ダンパ・モーター制御、霜取りヒーター、通信インターフェイス、および電源サブシステムも示されています。

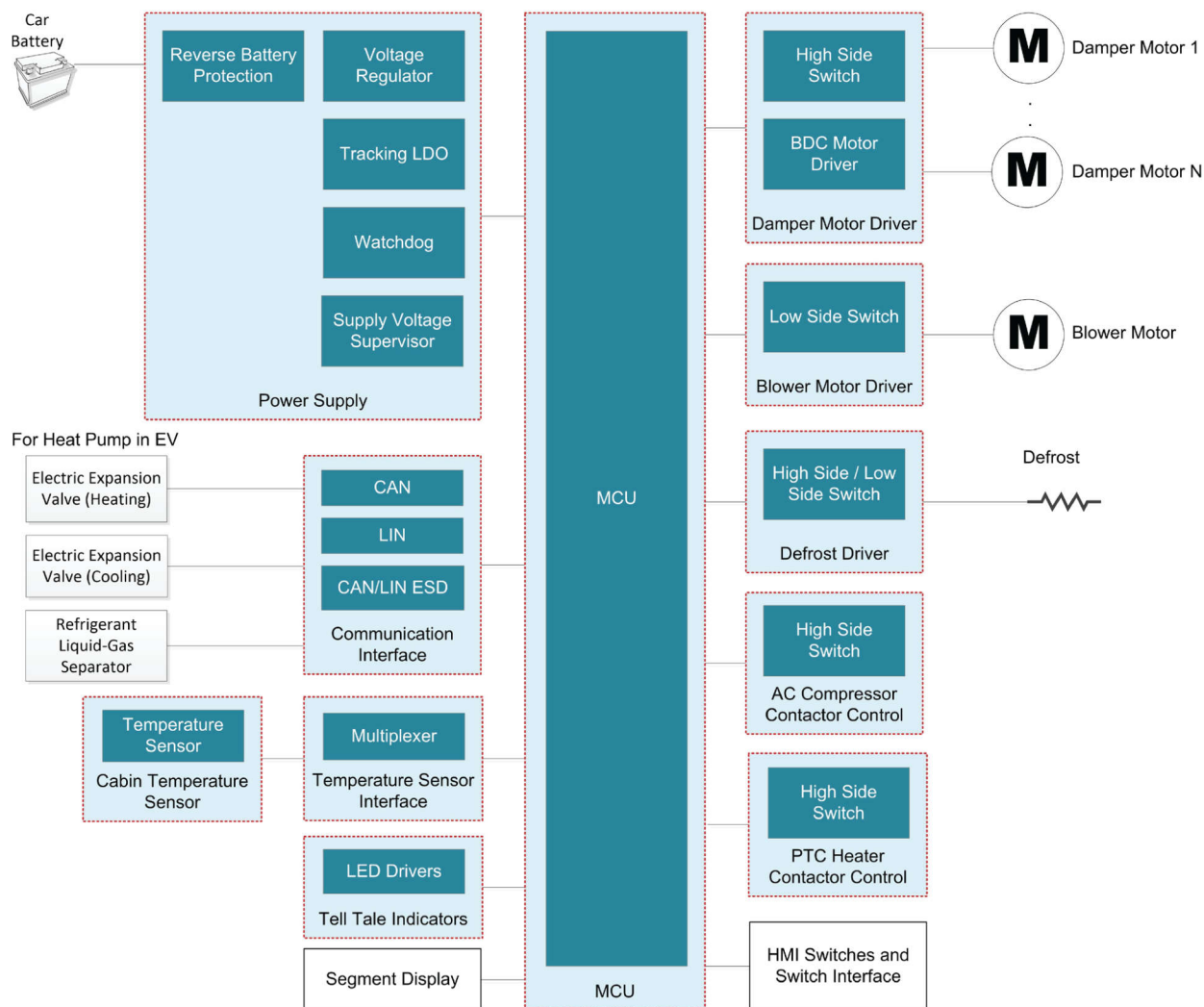


図 7. HVAC 制御モジュール

高電圧バッテリーの加熱と冷却に関する注意:

周囲温度によっては、高電圧バッテリーの加熱または冷却が必要になる場合があります。これは、キャビンの冷暖房を行うのと同じシステムを使用して達成することが可能です。または、別のヒーターを使用して、バッテリーに流入する冷却剤を加熱することもできます。この冷却剤は、低温でバッテリーを加熱するために使用されていますが、バッテリーから熱を抽出し、その熱を交換器に送ってキャビンの空気を加熱することもできます。こうしたシステムでは、ステッパ・モーターが追加のバルブを制御し、バッテリーと熱交換器の配管に冷却剤を送ります。

独自の HVAC サブシステムの標準的な機能ブロック図

すでに説明したように、HEV/EV の新しい冷暖房システムで追加される制御モジュールには、これらの制御モジュールに固有のサブシステムとして、冷媒の流れの制御に使用される電源、ゲート・ドライバ、ステッパ・モーター・バルブ・ドライバなどが含まれます。

このセクションでは、高電圧 AC コンプレッサと PTC ヒーター制御モジュールにおける、これらのサブシステムの回路トポロジの標準的な機能ブロック図について説明します。これらのトポロジでは、HEV/EV の絶縁バリアや EMI といった独自の課題に対処する必要があります。これについては次のセクションで説明します。

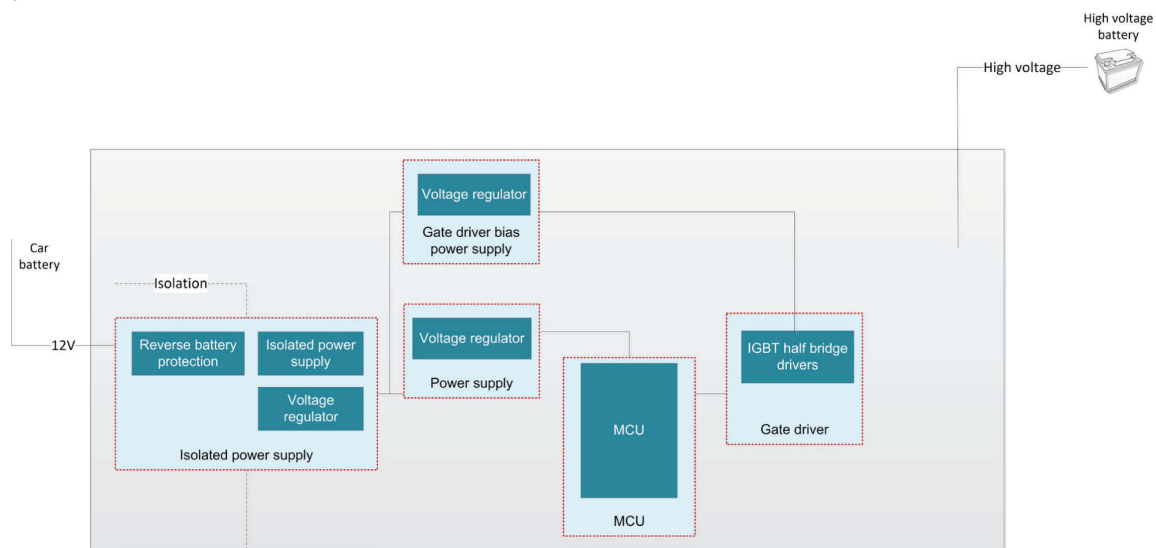


図 8. 12V レールから制御モジュールの回路への電力供給

48V システムでは、スタータ / ジェネレータやトラクション・インバータなどの重要なシステムにおいて、通常は 12V レールと 48V レールからの電源間に O リングが必要になります。冷暖房サブシステムでは多くの場合、この O リングは必要ありません。

図 8 では絶縁バリアも示しています。800V や 400V などの高電圧システムでは、12V 側と高電圧側の間で常に絶縁が必要です。ただし、48V の車では対策はそれほど直接的ではありません。電圧が低いため、車の 12V システムと 48V システムの間で電気的な絶縁を必要としない場合があります。実用上は、12V ドメインと 48V ドメインの間で機能的な絶縁 (必

電源

HEV/EV では、BLDC モーターや PTC ヒーターといった、電力を大量に消費する冷暖房サブシステムが存在します。ただし、モジュール内の残りのサブシステムである MCU、ゲート・ドライバ、温度センサ、その他の回路などは、通常は低電力です。

標準的なアプローチとしては、図 8 示すように、電力を大量に消費する負荷には利用可能な高電圧 (800V、400V、または 48V) から直接電力を供給し、基板上の回路には 12V レールから電力を供給します。

ずしも感電に対する保護として機能せずにシステムが正常に機能する絶縁) が使用される可能性が最も高くなります。

絶縁バリアはシステムの入力側にも出力側にも配置することが可能です。図 8 はシステムの入力側での絶縁バリアを示しています。ここでは、システム部品のほとんどを高電圧側に配置しています。この場合は、12V 電源と通信インターフェイスに絶縁部品が必要です。対照的に、絶縁バリアをシステムの入力側に配置する場合は、回路部品のほとんどを低電圧側に配置する必要があります。この場合は、図 9 に示すようにモジュールで絶縁ゲート・ドライバを使用してトランジスタを駆動します。

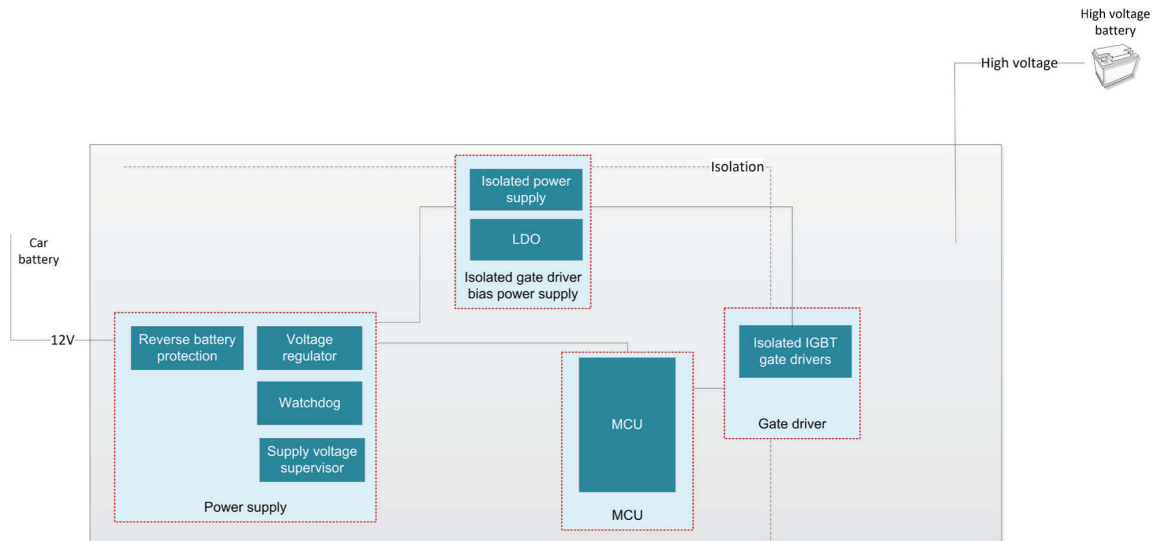


図9. 12Vレールから制御モジュールの回路への電力供給

コンプレッサ向けの自動車用高電圧高電力モーター・ドライバのリファレンス・デザインでは、LM5160-Q1 絶縁型フライバックブースト・コンバータを使用した例を示しています。このコンバータは、16V をゲート・ドライバに、3.3V (低ドロップアウト・レギュレータの後では 5.5V) を MCU、オペアンプ、その他すべてのロジック部品に供給します。このアプローチは比較的シンプルでコンパクトであり (単一のコンバータとトランスを使用して両方の電圧を生成)、優れたパフォーマンスをもたらします。

ゲート・ドライバ

インバータ・ステージのトランジスタの駆動には 3 相ブリッジ・ドライバ集積回路 (IC) を使用できます。ただし、駆動の強度が弱いため (500mA 未満)、3 相ブリッジ・ドライバ・ソリューションでは通常、電流ブースタとして機能するバッファが別途必要になります。これは部品の追加を意味し、コストの増加、プリント回路基板 (PCB) の大型化、EMI のリスクによるパフォーマンスの低下、および、理想的でない PCB レイアウトに起因するシステム全体の伝搬遅延の増加につながります。

トランジスタのスイッチング損失を最小限に抑え、EMI を低減してシステム効率を高められるようにするには、図 10 に示すように、UCC27712-Q1 などのハーフブリッジ・ゲート・ドライバを使用してインバータ・ステージの各相を駆動することを検討してください。

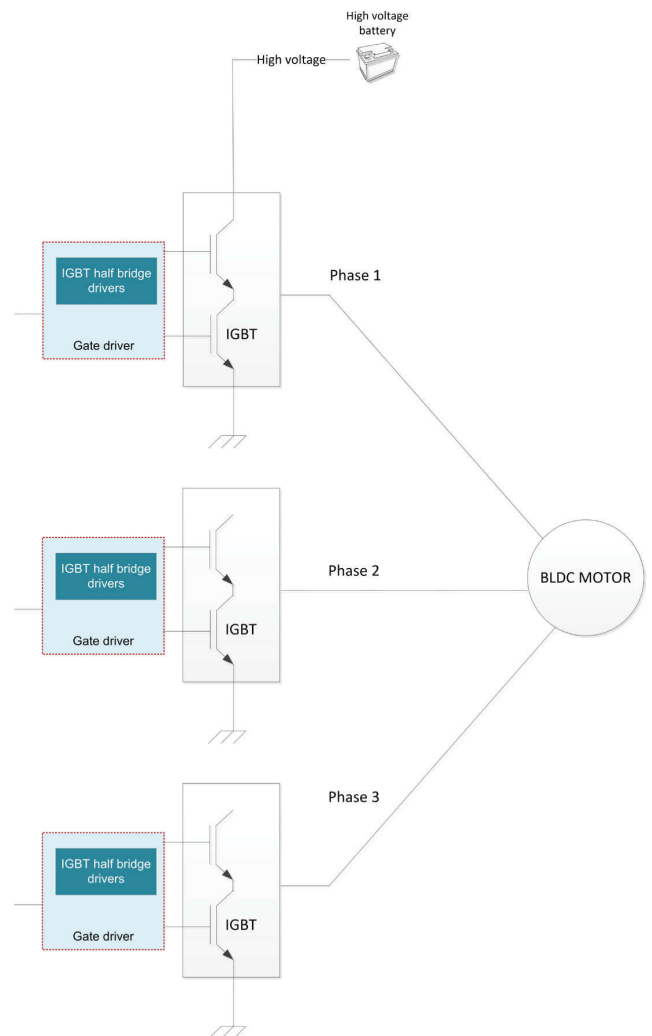


図10. 3つのハーフブリッジ・ゲート・ドライバを使用したインバータ・ステージの駆動

ゲート・ドライバ側から見ると、EMI には多くの場合、ゲートのオーバーシュートが伴います。図 10 に示すハーフブリッジ・ゲート・ドライバによるアプローチでは、余分な部品を除去しやすくなり、PCB レイアウトの複雑さが軽減されます。これは、ドライバをトランジスタのごく近くに配置できると同時に、スイッチ・ノードを最小限の領域に制限できるためです。こうした工夫により、EMI の問題が少なくなります。また、IC で大きなソース電流とシンク電流を実現できるため、ハーフブリッジ・ゲート・ドライバはゲート駆動電流を増幅するための外部ブースタ・ステージを必要としません。ハーフブリッジ・ドライバは通常、インターロック機能とデッドタイム機能を実装しており、両方の出力が同時にオンになるのを防ぐことでハーフブリッジをシュートスルーから保護し、トランジスタを効果的に駆動するための十分な余裕を提供します。

ステッパ・モーター・ドライバ

ステッパ・モーター・ドライバがヒート・ポンプ・システムのバルブを駆動している場合に、ステッパ・モーター・ドライバに備えるべき重要な機能として、ストール検出があります。これはドライバ電子回路の機能で、特にモーターがマイクロステップ駆動されている場合に、機械的なブロックにぶつかったためにモーターが停止したことを検出します。マイクロステップは非常に正確なバルブ位置制御を実現できます。

モーター・コイルはパルス幅変調 (PWM) 信号によって駆動されるため、EMI が問題になります。ステッパ・モーター・ドライバには負荷トルクを駆動する機能も必要です。

DRV8889-Q1 などのデバイスには、マイクロステップ中のストール検出に役立つモーター電流検出回路や高度な回路が組み込まれています。また、DRV8889-Q1 には EMI の軽減に役立つプログラマブル・スルーレート制御技術やスペクトラム拡散技術も組み込まれています。

まとめ

HEV/EV の高電圧化による新しい HVAC 制御モジュールの導入により、電源遮断、EMI、マイクロステップ中のストールといった新たな課題が生じています。絶縁型フライバック・ブースト・コンバータ、ゲート・ドライバ、ステッパ・モーター・ドライバなどの製品による標準的な回路トポロジーを活用することで、ICE から HEV/EV の HVAC システムへの移行をスムーズに進めることができます。

HVAC の設計の開始にあたっては、テキサス・インスツルメンツの HVAC コンプレッサ・モジュール、または HVAC 制御モジュール・システムの概要をご覧ください。HEV/EV 向けの製品および設計に関するリソースについては、テキサス・インスツルメンツのハイブリッド / 電気 / パワートレイン・システムをご覧ください。

重要なお知らせ:ここに記載されているテキサス・インスツルメンツ社および子会社の製品およびサービスの購入には、TI の販売に関する標準の使用許諾契約への同意が必要です。お客様には、ご注文の前に、TI 製品とサービスに関する完全な最新情報のご入手をお勧め致します。TI は、アプリケーションに対する援助、お客様のアプリケーションまたは製品の設計、ソフトウェアのパフォーマンス、または特許の侵害に対して一切責任を負いません。ここに記載されている他の会社の製品またはサービスに関する情報は、TI による同意、保証、または承認を意図するものではありません。

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2023, Texas Instruments Incorporated