

Application Brief

コードレス電動工具用 7-MOSFET



Jenson Fang, Kelly Tian

ドリル、粉碎、切削、研磨、締め具の駆動などの電動工具は、さまざまな産業や家庭で使用されています。コードレス電動工具は、バッテリー電源を使用して DC モーターを駆動し、さまざまな電力レベルの製品が用意されています。

高電流レベルのアプリケーションでは、電源の接続または切断時に安全な動作を確保するために、バッテリーとモータドライバの間にスイッチを配置するのが一般的です。また、スイッチをオフにすることで、機器の静止時電流を減らし、輸送時の電力を節約できます。

従来、このような状況ではシンプルで低コストのため、機械式スイッチが使用されてきました。ただし、スイッチの**信頼性は十分ではありません**。頻繁なスイッチングは機械式スイッチの寿命に影響を与えます。電気アークはスイッチング中にトリガされ、ボード上の他のデバイスに害を及ぼす可能性があります。

機械式スイッチに起因する問題を回避するために、電気 MOSFET スwitchを使用できます。モーター インバータは通常、3 相ブラシレス DC (BLDC) モーターを駆動するために 6 個の MOSFET で構成されているため、この追加 MOSFET スwitchを通常、**7 番目の MOSFET (7MOS)** と呼ばれます。

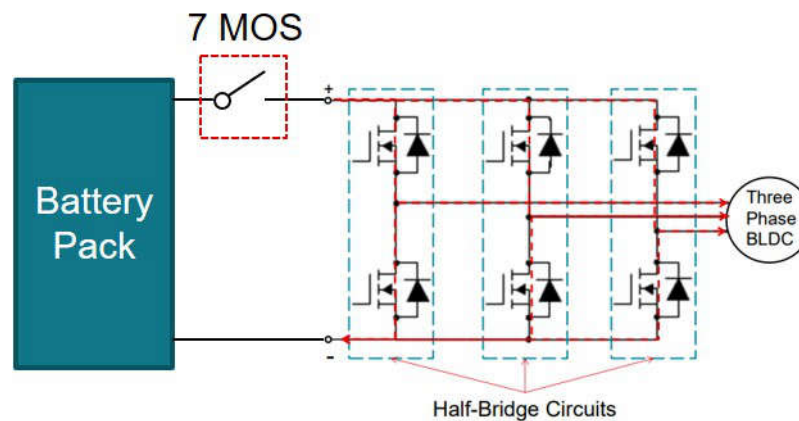


図 1. コードレス電動工具システムの 7MOS

7MOS の適切な実装ガイド

7MOS はさまざまな方法で実装できます。適切な設計を選択するには、このセクションを参照してニーズを特定してください。

どのタイプの MOSFET を使用すればよいですか – NMOS ですか、それとも PMOS ですか？

MOSFET は、次の 2 つのカテゴリに分けることができます。N チャネル MOSFET (NMOS)、P チャネル MOSFET (PMOS)。どちらもスイッチとして使用できます。PMOS と比較して、 $R_{DS, ON}$ サイズが小さくて同じ定格電流を実現できるため、NMOS は低コストと消費電力の実現に一般的です。したがって、このアプリケーション ブリーフでは NMOS を使用した設計についてのみに述べます。

NMOS は正の V_{GS} で駆動する必要があることに注意してください。これは、スイッチをオンにするには、ゲート電圧をソース電圧よりも高くする必要がありますことを意味します。NMOS をハイサイドに配置する場合、ソース電圧は電源電圧と等しくなるため、ゲート電圧は電源電圧より高くする必要があります。このゲート電圧を実現するには、追加のドライバ回路が必要です。

表 1. スイッチとしての NMOS と PMOS の関係

	$R_{DS,ON}$	コスト	ドライバ回路設計
NMOS	低	低	ハイサイド制御には追加の設計が必要です
PMOS	高	高	シンプル

7MOS を取り付ける基板: バッテリー側かモーター側か?

通常、バッテリー管理とモーター制御を 2 枚の異なるボードに実装し、バッテリー管理ボードをバッテリーの近く (バッテリー側) に配置し、モーター制御ボードをモーターの周囲 (モーター側) に配置します。7MOS スイッチはどちらのボードにも取り付けることができます。

スイッチを配置したどこでも、スイッチは PCB のサイズ、消費電力、熱に関する追加を実施できます。スイッチの位置を決定するには、これらの仕様の劣化を許容できる側を考慮する必要があります。

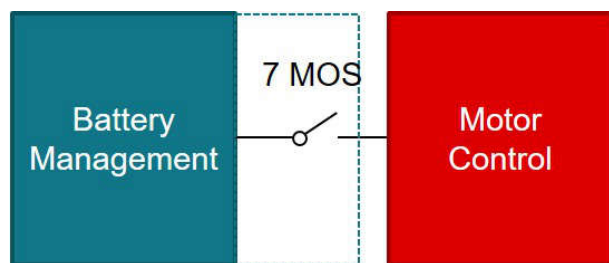


図 2. 7MOS の配置: バッテリー側

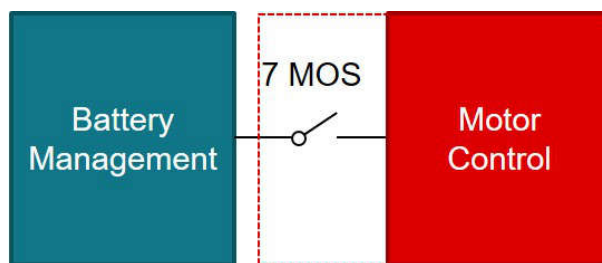


図 3. 7MOS の配置: モーター側

バッテリー側 7MOS

制御方式: ハイサイドか、ローサイドか

バッテリー側では、電源と負荷 (ハイサイド) の間、または負荷とグランド (ローサイド) の間に 7MOS を配置できます。

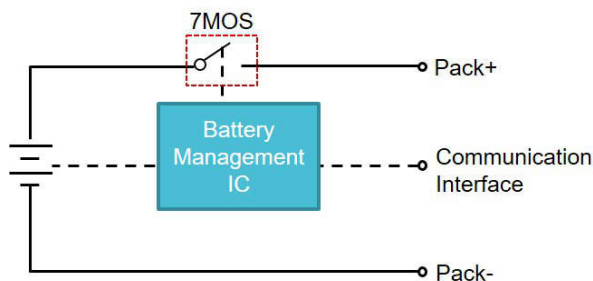


図 4. バッテリー側の 7MOS 制御方式: ハイサイド

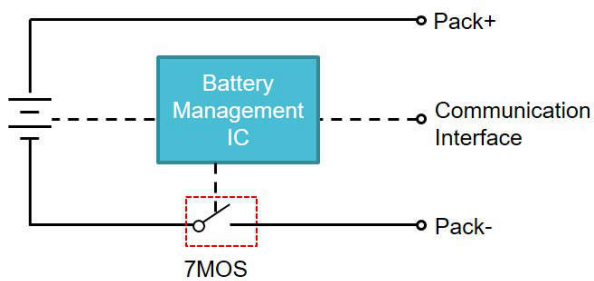


図 5. バッテリー側の 7MOS 制御方式: ローサイド

NMOS を使用してローサイドに実装する場合、スイッチはターンオン時に電源より高いゲート電圧を必要としないため、追加回路のコストと面積を削減できます。ただし、スイッチがオフのときに、回路の他の部分 (通信、モータードライバなど) のグランド基準が失われることが欠点です。フローティング グランドは安全ではなく、この場合の通信には絶縁が必要です。

ハイサイド NMOS スイッチには、電源より高い電圧を生成するドライバ回路が必要ですが、この実装では、システム全体で常に同じグランド リファレンスを維持できます。

表 2. NMOS 制御: ハイサイド対ローサイド

	グランド リファレンス	ドライバ回路設計	システムコスト
ハイサイド NMOS 制御	常時維持されています	電源電圧より高い電圧を発生させる必要があります	高
ローサイド NMOS 制御	NMOS がオフのときに遮断されます	シンプル	低

FET ドライバ: 内蔵か外部か

7MOS の制御信号を生成するには、ドライバ回路が必要です。一部のバッテリー マネージメント IC はすでに FET ドライバを内蔵しているほか、この機能を実現するために外部回路を必要とするものもあります。

ドライバ回路がバッテリー管理 IC に内蔵されているかどうかにかかわらず、これは**低消費電力**である必要があります。バッテリー側では、シャットダウン モードでボードの消費電力が厳格に制御されるので、輸送時や長期的な保管時のバッテリー電力損失を低減できます。

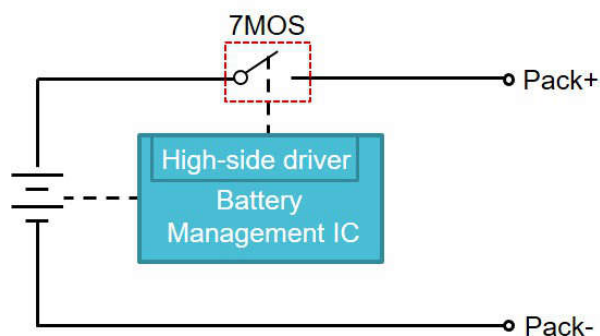
FET ドライバを内蔵したバッテリー管理 IC は、設計段階でドライバの電力をすでに考慮に入れています。したがって、低消費電力の目標を達成します。さらに、ドライバを内蔵することで、**コスト、基板サイズ、回路設計の余分な手間を節約**できます。

ローサイド制御用の外部ドライバ回路を**低コスト**のパッシブ デバイスを使用して構築し、MCU から制御信号を転送できます。この回路は**低消費電力**ですが、**ある程度の PCB 領域を消費**します。

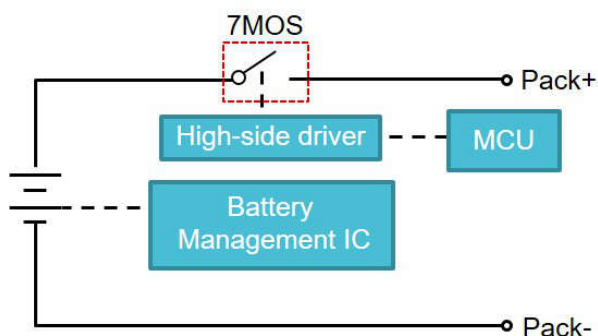
ハイサイド制御用の追加ドライバ回路の設計では、ドライバ デバイスを使用して電源電圧よりも高い制御電圧を生成するため、設計の簡素化と面積の削減が可能です。このドライバデバイスは、シャットダウン モードで消費電力を制御するため、**慎重に選択する必要があります**。IC 用のペリフェラル回路を構築するには、依然としてパッシブ デバイスが必要です。ドライバ デバイスは、**追加の保護機能** (過電圧保護、過電流保護など) を使用して構成できますが、**合計コストは増加**します。

表 3. バッテリー側の 7MOS 制御: ハイサイドとローサイド、内蔵 FET ドライバと外部 FET ドライバの比較

	制御方式	PCB サイズ	主なコスト
FET ドライバ	ハイサイド	小型	バッテリー管理 IC
	ローサイド	小型	バッテリー管理 IC
外部 FET ドライバ	ハイサイド	ドライバ デバイス (小型) + パッシブ デバイス (中)	バッテリー管理 IC + ドライバ デバイス
	ローサイド	パッシブ デバイス (中)	バッテリー管理 IC



**図 6. バッテリー側
7MOS 用 FET ドライバ: 統合**



**図 7. バッテリー側
7MOS 用 FET ドライバ: 外部**

モータ側 7MOS

モーター側では、バッテリー側と同様の状況になります。7MOS では、ハイサイドまたはローサイドの制御を使用できます。シャットダウン モードでの消費電力の制限は小さくなります。

ローサイド制御用に、モーター ドライバ IC には通常ローサイド MOSFET ドライバが内蔵されていないため、バッテリー側の 7MOS のように**低コスト**のパッシブ デバイスを使用して外部ドライバ回路を作成できます。

ハイサイド制御を実現するために、モーター ドライバ IC は通常、モーター インバータのハイサイド NMOS を駆動するために FET ドライバを内蔵しています。ドライバの構造は、さまざまなモーター ドライバ IC によって異なります。**追加の負荷**電流をサポートするものもありますが、サポートしないものもあります。追加負荷をサポートする場合は、ハイサイド制御に必要なのは、シンプルなペリフェラル回路と**低コスト**の受動デバイスのみです。余分な負荷をサポートしていない場合は、追加のドライバを使用する必要があります。このドライバは、ドライバ デバイスまたはパッシブ回路で実装できます。ドライバ デバイスは、受動回路よりも**サイズがコンパクト**で、追加の**保護機能**を搭載できますが、**コストが高くなります**。

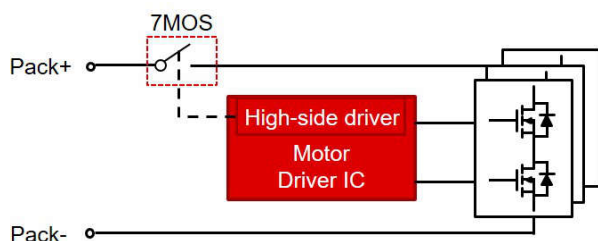


図 8. モータ側 7MOS 用 FET ドライバ:ハイサイド

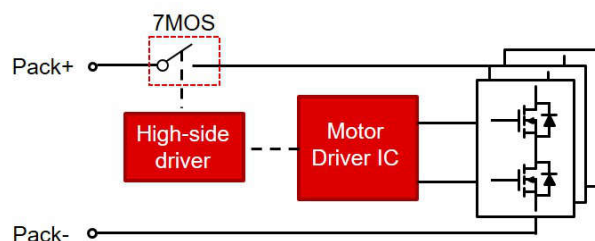


図 9. モータ側 7MOS 用 FET ドライバ:ハイサイド

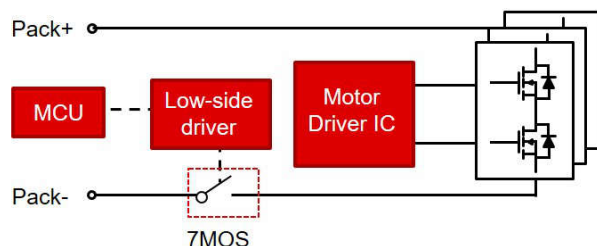


図 10. モータ側 7MOS 用 FET ドライバ:ローサイド

表 4. モータ側 7MOS 制御:ハイサイド対ローサイド

	ドライバ構造	PCB サイズ	主なコスト
ハイサイド	追加の負荷をサポートします	パッシブ デバイス (中)	モーター ドライバ IC
	追加の負荷をサポートしていません	ドライバ デバイス (小型) + パッシブ デバイス (中)	モーター ドライバ IC + ドライバ デバイス
		ドライバー回路 (大型) + パッシブ デバイス (中)	モーター ドライバ IC
ローサイド	なし	パッシブ デバイス (中)	モーター ドライバ IC

パワー スイッチ付きの 7MOS 制御

ハイサイド パワー スイッチ IC は、電源電圧より高い電圧を生成するためにチャージ ポンプを内部に備えています。7MOS コントローラとして構成したとき、MCU からの信号と、対応するピンの出力ゲート電圧によってスイッチをトリガできます。スイッチは**実装が簡単**で、**高集積度**で **PCB 面積を削減**できます。この設計は、基板上の他の IC を変更しない場合に役立ちます。

多くのパワー スイッチには MOSFET が内蔵されていますが、電動工具アプリケーションのピーク電流は数十アンペアに達する可能性があるため、放熱が問題になる可能性があります。したがって、ディスクリート NMOS を備えたパワー スイッチは、このアプリケーション用に設計されます。

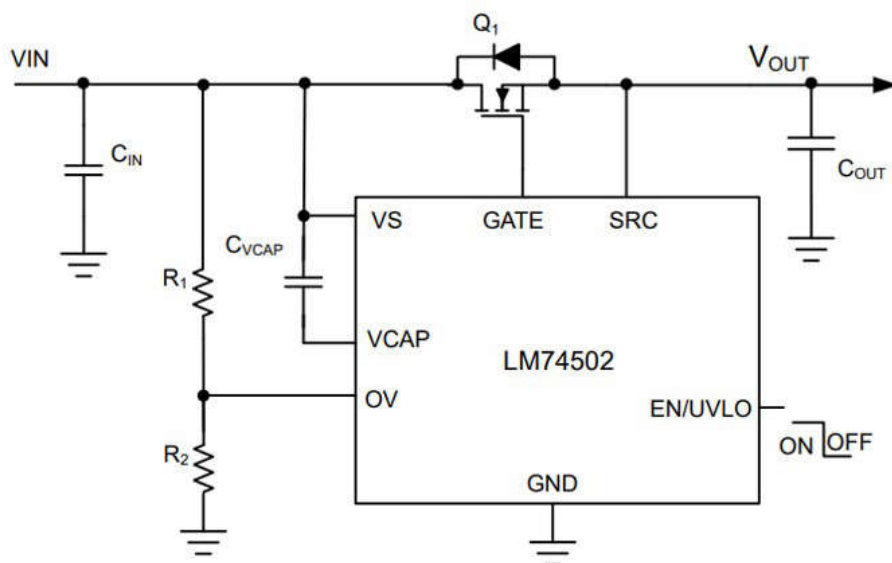


図 11. 7MOS 制御、電源スイッチ付き (LM74502)

各種の IC には、逆極性保護 (RPP)、逆電流ブロック (RCB)、過電圧保護 (OVP)、低電圧誤動作防止 (UVLO)、過電流保護 (OCP) などの各種の**保護機能**が組み込まれています。

理想ダイオード / O リング コントローラとホット スワップ コントローラの 2 種類のパワー スイッチが推奨されます。デバイスを選択する際は、入力電圧、消費電力、パッケージ面積、コスト、必要な保護機能などの仕様を考慮します。

表 5. 推奨理想ダイオード、OR 接続、ホット スワップ コントローラ

部品番号	入力電圧 (V)	シャットダウン時の電源電流 (uA)	パッケージ面積 (mm2)	コスト	保護機能
LM74502	65	1.5	8.12	低	RPP、UVLO、OVP など
LM74500-Q1 、 LM74501-Q1	65	1.5	8.12	低	RPP、UVLO など
LM5050-1	80	475	8.12	中	RPP、RCB など
LM5060	65	15	14.7	中	OVP、UVLO、OCP など

ハイスайд 7MOS 制御向け TI デザイン

すでに説明したように、ハイスайдの 7MOS 制御を実現するための主な課題は、電源よりも高いゲート制御電圧を生成することです。このセクションでは、この課題の解決に焦点を当てます。

次の方法を検討できます。

モータ側

- パワー スイッチを追加
- FET ドライバが内蔵されたモーター ドライバ IC を使用します

バッテリー側

- バッテリー プロテクタまたは低消費電力パワー スイッチを追加します
- FET ドライバが内蔵されたバッテリー モニタを使用します

モータードライバ IC 付き 7MOS 制御

ほとんどの BLDC モータードライバ IC は、モーター インバータのハイサイド NMOS をオンにするために、チャージポンプまたはブートストラップ構造を統合しています。回路のこの部分を再利用して 7MOS を制御することもできます。

• チャージポンプ内蔵モータードライバ IC

この設計については、アプリケーションノート『[大電流モータードライバアプリケーションのカットオフスイッチ](#)』を参照。モータードライバ IC の VCP ピンには、低コストで省スペースのディスクリート回路を使って 7MOS をオンにする +10V の電源を提供できます。

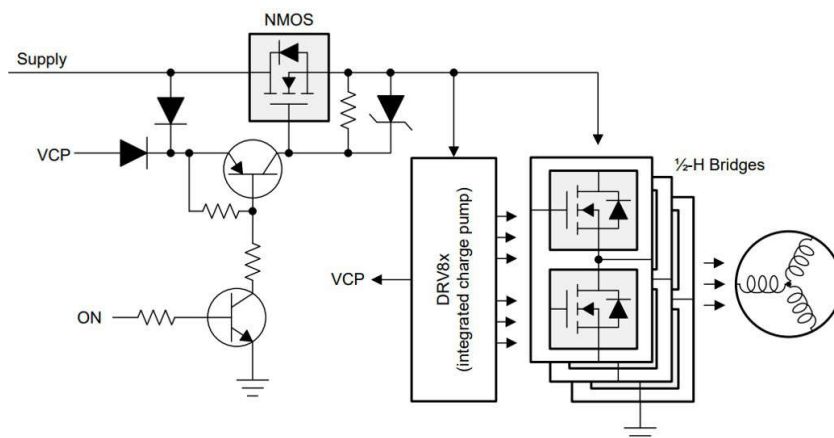


図 12. モータードライバ IC (チャージポンプ内蔵) 付き 7MOS 制御

• ブートストラップ内蔵、モータードライバ IC

ブートストラップアーキテクチャだけでは、7MOS を制御するための電源 +10V を生成することはできません。これは、定電圧を維持するためにモーターインバータのスイッチング動作に依存しているためです。ブートストラップアーキテクチャを採用した TI のデバイスでは、入力 PWM デューティサイクルが 100% に近いとき (DRV8328 や DRV8329 など)、ハイサイド NMOS ゲート電圧 (電源 +10V) を供給するためにトリクルチャージポンプを使用しています。ただし、トリクルチャージポンプは、非常に軽い負荷電流に耐えることができるため、7MOS を直接駆動するのは困難です。7MOS を駆動するためにドライバ回路を使用できます。以下は DRV8328 とドライバ回路を使用して 7MOS を駆動する例です。

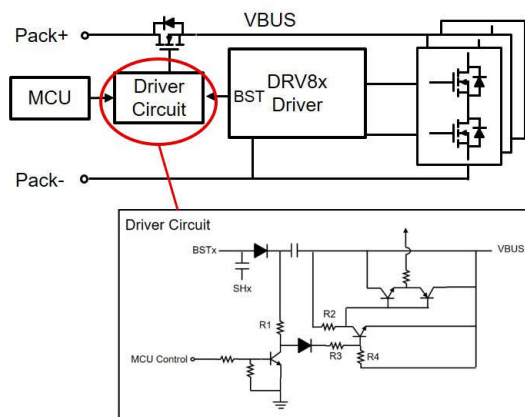


図 13. モータードライバ IC による 7MOS 制御 (ブートストラップ内蔵)

抵抗がブートストラップアーキテクチャから VBUS への不要なパスを形成し、負荷電流を伝達する可能性があるため、抵抗 R1、R2、R3、R4 は慎重に選択する必要があります。

また、トリクルチャージポンプの負荷電流負荷を軽減するため、大きな抵抗値を推奨します。また、抵抗が大きいと、回路はノイズや干渉に対して脆弱になり、スイッチング時間が遅くなります。

デモでは、R1、R2、R3、R4 を MΩ レベルで選択します。実際のアプリケーションでは、小さな抵抗値 (100kΩ レベル) を選択できますが、ブートストラップ コンデンサが完全に充電されるように、インバータのローサイド NMOS をしばらくオンにする必要があります。

デモ回路を構築し、テスト結果を図 14 に示します。ここで、チャンネル 1 は MCU 制御信号、チャンネル 2 はモーター インバータ (VBUS) のハイサイド NMOS のドレイン電圧を表します。

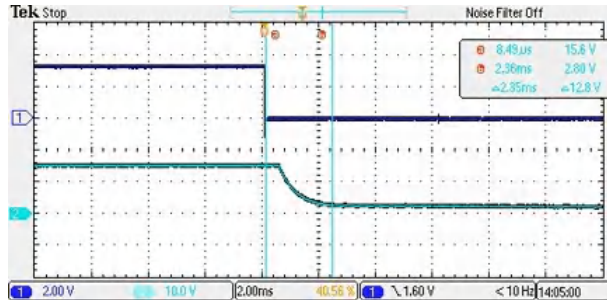


図 14. ドライバ回路を使用して 7MOS をオンにします

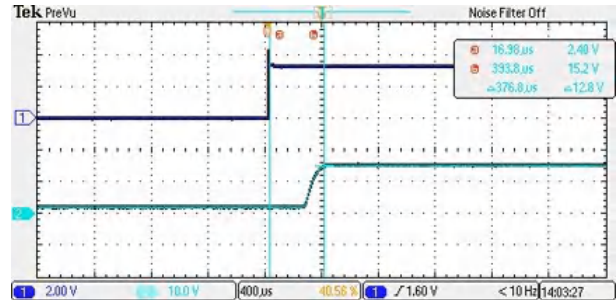


図 15. ドライバ回路を使用して 7MOS をオフにします

7MOS がオンになると、バッテリー電源 (15V) がモーター インバータに接続され、VBUS は電源電圧と等しくなります。7MOS がオフになると、バッテリー電源は切り離され、VBUS はグラウンドへの負荷抵抗によって低電圧レベルにプルダウンされます。したがって、マイコンは 7MOS を正常に制御し、このドライバ回路で電源を接続または切断できます。

このデモ デザインは、**低コストの受動デバイスと JEFT** を使用して構築されていますが、PCB の占有面積は約 30mm×30mm であるため、コンパクトなサイズ設計に懸念される可能性があります。

上記は一例です。この場合、MOS をすばやくオンまたはオフにすることはできず、100% デューティ動作をサポートすることはできません。これに注意を払う必要があります。

表 6 に、推奨デバイスを示します。

表 6. 推奨モーター ドライバ IC

部品番号	ドライバ構造	最大入力電圧
DRV8320、DRV8323	チャージ ポンプ	60V
DRV8350、DRV8353	チャージ ポンプ	100V
DRV8328、DRV8329	ブートストラップ	60V
DRV8334	ブートストラップ	60V
DRV8161、DRV8162	ブートストラップ	100V

ブートストラップ アーキテクチャを採用したモーター ドライバ IC 向けにテキサス インストルメンツの将来の製品では、より高い負荷電流に対応し、ペリフェラル回路の小型化を実現するようにドライバ設計をアップグレードすることができます。

7MOS 制御、バッテリー プロテクタまたは低消費電力パワー スイッチ付き

FET ドライバ: 内蔵か外部かで説明したように、シャットダウン モードでバッテリーの電力を節約するため、バッテリー側で**低消費電力デバイス**を使用する必要があります。これを実現するために、設計者はドライバ機能を備えたバッテリー プロテクタ、または低消費電力スイッチのいずれかを使用できます。

TI のバッテリー プロテクタである BQ76200 は、シャットダウン モードでの消費電流が 9.5µA 未満です。これにはチャージ ポンプが内蔵され、7MOS 制御の要件を満たす外部 (MCU またはバッテリー モニタ) からの信号で制御できます。

パワー スイッチ付きの 7MOS 制御で導入した低消費電力パワー スイッチもここで使用できます。シャットダウン時の消費電流は 20µA 未満であり、これらのデバイスは電力バジェットを制御下に保持することもできます。

表 7. 推奨されるバッテリー プロテクタ、または低消費電力スイッチ

部品番号	タイプ	シャットダウン時の電 源電流 (uA)	最大入力電圧 (V)	パッケージ面積 (mm ²)	コスト	保護機能
BQ76200	バッテリー プロテクタ	9.5	27.5	32	高	なし
LM74500-Q1、 LM74501-Q1、	理想ダイオード	1.5	65	8.12	低	RPP、UVLO など
LM74502	理想ダイオード	1.5	65	8.12	低	RPP、UVLO、OVP など
LM74700-Q1、 LM74701-Q1	理想ダイオード	1.5	65	8.12	中	RPP、RCB、UVLO など
LM5060	ホット スワップ コント ローラ	15	65	14.7	中	OVP、UVLO、 OCP など

まとめ

7MOS は、コードレス電動工具の電源を確実に接続または切断する方法を提供します。NMOS トランジスタは、ハイサイドまたはローサイド制御で 7MOS を実装できます。ハイサイド制御を実現するための主な課題は、電源電圧より高いゲート電圧を生成することです。表 8 に、7MOS に対するテキサス インストルメンツのデザインの概要を示し、性能の比較を示します。

表 8. TI のハイサイド 7MOS 制御設計

TI Design リファレンス デザイン	アーキテクチャ	推奨デバイス
モータ側		
パワー スイッチを使用した制御 (理想ダイオード / O リングコントローラ)	モーター ドライバおよびパワー スイッチ	LM74502、LM7450x-Q1、LM7470x-Q1、LM5050-1
電源スイッチによる制御 (ホット スワップ コントローラ)		LM506x、TPS249x
モーター ドライバ IC (チャージ ポンプ) を使用した制御	モーター ドライバ	DRV8320、DRV8323、DRV8350、DRV8353
モーター ドライバ IC (ブートストラップ) による制御		DRV8328、DRV8329、DRV8334、DRV8161、DRV8162
バッテリー側		
制御にバッテリー プロテクタを使用します	バッテリー モニタ + バッテリー プロテクタ	BQ76200
制御を低消費電力スイッチで提供します	バッテリー モニタ + 電源スイッチ	LM74502、LM7450x-Q1、LM7470x-Q1、LM5060
バッテリー モニタによる制御	バッテリー モニタ	ハイサイド: BQ769x2 ローサイド: BQ76905、BQ76907

商標

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

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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ます。

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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツ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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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ます。

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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用される テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツ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 © 2025, Texas Instruments Incorporated