

Application Brief

電気励磁同期機向けに最適化された励磁電力段



このアプリケーションブリーフでは、自動車の電動化で現在トレンドになっている電気機械、電気励磁同期機 (EESM) の概要を説明し、テキサスインスツルメンツからの励磁回路のシステム提案について紹介します。

概要

現在の自動車業界で最も使われている機械の 1 つは、高効率、高電力密度を特長とする永久磁石同期電動機 (PMSM) で、その次に主にフロントドライブ機として使用される交流誘導電動機が続きます。現在のトレンドは、OEM の EESM への移行を強く推進しています。主な理由の 1 つは、レアアース材料の削減であり、それは環境問題を軽減するだけでなく、供給リスクとコスト予測不可能性を軽減することでもあります。

電気励磁同期機の動作原理

EESM と PMSM は、同じ同期回転の原理で動作し、固定子の回転磁界と回転子の磁界が同じ速度で回転します。

PMSM では、固定子の回転磁界は、固定子巻線の 3 相 AC 電流によって生成されます。一方で EESM では回転子に、永久磁石ではなく、界磁巻線が取り付けられています。DC 電流は、スリップリングとブラシを介して、または電氣的に、ブラシレス励磁回路を介して巻線を励磁するために供給されます。電流が印加されると、これらの巻線は電磁石のように動作し、回転子は固定磁界を生成します。

同期は、これら 2 つの磁界間の磁気ロックによって発生します。これらの磁界が整列すると電磁トルクが生成され、トルクはそれらの間の角変位を減少させようとします。回転子は、両方の磁界が同じ速度で回転するまで加速または減速します。

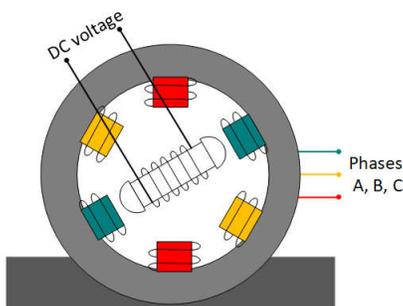


図 1. 電気励磁同期機

電気励磁同期機の利点

EESM の主要な推進要因の 1 つは、レアアース材料への依存度の低減です。EESM は、永久磁石を排除することでレアアース要素の使用を回避し、供給の安定性と持続可能性を向上させます。

PMSM とは異なり、EESM では磁界電流を調整することで、シンプルな回転子の磁束制御が可能です。そのため、このタイプの機械では弱め界磁制御が容易になり、ほぼ一定の電力範囲と、より高い動作速度での高効率が確保されます。

もう 1 つの主な利点は、故障状態下で、このタイプの機械は大きな逆起電力 (逆 EMF) を引き起こさないことです。故障が発生すると、ゼロ磁界電流が要求され、このゼロ電流によって回転子の磁束もゼロになります。このようにして、安全状態が PMSM よりも簡単に実現可能になります。ただし、励磁電流を制御するために、追加の回路とソフトウェア制御が必要です。

励磁回路のシステム設計

EESM の動作には、標準的なインバータトポロジ以外に追加の励磁回路が必要となります。この回路を使用して、回転子の界磁電流の供給と制御を行い、安全で信頼性の高い動作を確保します。機械の動作に直接影響するため、ISO28282 に従った安全要求レベル (ASIL) が必要となります。

図 2 に、導電性 EESM の励磁回路の例を示します。この例では、ブラシがスリップリングに物理的に接触し、界磁巻線に DC 電流が供給されます。

この回路には、HV+ と HV- の間に接続された、2 個のパワースイッチと 2 個のダイオードが含まれています。両方のスイッチが導通しているとき、回転子巻線に全 DC リンク電圧が印加されます。1 つのスイッチしか導通していない場合は、電流はゆっくり減少しますが、両方のスイッチが開路の場合はフリーホイールダイオードを通して電流が減少します。

これらのスイッチの標準的な最大電流は 50A 以下です。制御信号は、絶縁型バイアス電源から電源供給される絶縁型ゲートドライバから提供されます。さらに、閉制御ループには 1 つまたは 2 つの電流センサが必要となります。この電流は磁界に正比例し、機械の動作に直接的に影響を及ぼします。

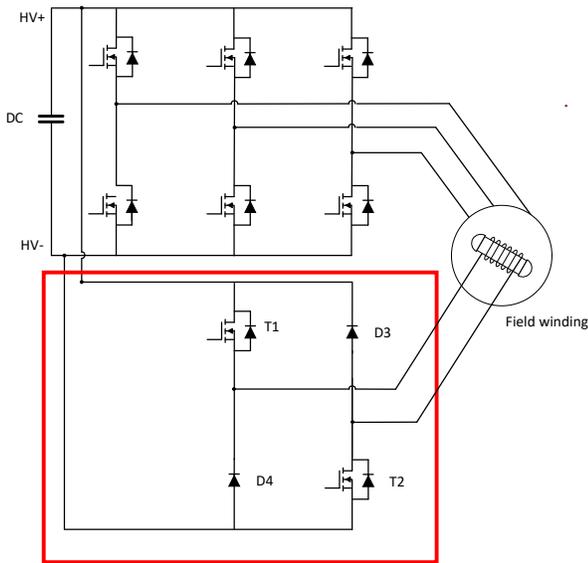


図 2. 追加励磁回路

機械の性能、信頼性、効率に直接影響を与えるため、デバイスの選択は非常に重要です。このシステムは高速スイッチング、安定したバイアス、高精度の電流フィードバックを採用しています。

図 3 に、提案するシステム設計を示します。ここで選択したデバイスはコンパクトな実装と高精度の制御を実現します。

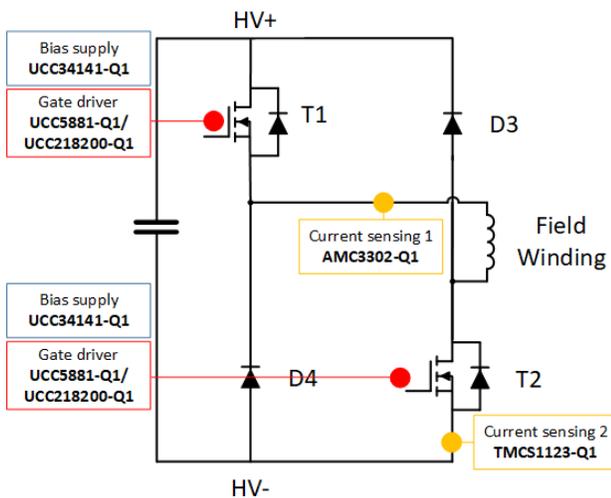


図 3. 励磁回路のシステム提案

UCC218200-Q1 は標準の絶縁型保護ドライバであり、SPI 通信を使用せず動作すると同時に、機能安全を強化するために統合された高度な機能を提供します。このドライバは、DESAT 保護機能、出力電圧ゲート監視用コンパレータ、パワーアップ時の内蔵セルフテスト (BIST) 診断機能を搭載しています。

設計全体のサイズをさらに小型化するために、TI は機能安全に準拠したプログラマブル絶縁型ゲートドライバである UCC5881-Q1 を提供しています。このゲートドライバは、すでに説明した特長に加えて、アクティブ ミラー クランプ、2 次側センシングに使用するための 2 つの ADC チャンネル、調整可能なゲートドライブ強度など、いっそう多くの機能を実現しており、設計をよりコンパクトで効率的にします。

ゲートドライバには、さまざまな絶縁型バイアス電源トポロジから電力を供給できます。トポロジによっては、絶縁型バイアス電源は LV バッテリに直接接続するか、またはプリレギュレータ経由で DC/DC コンバータを使用して LV または HV および HV バッテリに接続できます。UCC25800-Q1 は超低 EMI トランスドライバであり、最大 1.2MHz のスイッチング周波数の開ループ LLC トポロジに使用されます。もう 1 つの代表的なトポロジはプッシュプルです。TI は 3V ~ 36V の広い入力電圧範囲を持つ SN6501-Q1 と SN6507-Q1 の各デバイスを提供しています。LM5181-Q1 フライバックコンバータを採用すると、さらに広い 4.5V ~ 65V の入力範囲を実現できます。入力電圧範囲が広いので、プリレギュレータが不要になります。システムのサイズと重量をさらに抑え、PCB の配線を簡素化するために、トランスを内蔵した絶縁型 DC/DC モジュールを使用できます。UCC34141-Q1 および UCC35131-Q1 デバイスは、最大 1.5W および 2W の出力電力を供給します。

ゲートドライバとバイアス電源に加えて、精度と信頼性が磁束制御に直接影響するため、重要な役割は電流検出にもあります。最初のアプローチは、TI の最新絶縁型アンプ、AMC3302-Q1 を使用して、シャント方式の電流検出を使用することです。このデバイスは $\pm 50\text{mV}$ の入力電圧範囲を持ち、DC/DC コンバータが内蔵されているため、単一電源動作が可能です。アンプ以外に、TI は電氣的絶縁型ホール エフェクト センサも提供しています。TMCS1123-Q1 は帯域幅 250kHz で、過電流検出機能と周囲磁界除去機能を搭載しており、最大 80A の連続電流を測定できます。

前の図で示した導電性 EESM のほかに、磁気 (誘導性) カップリングを使用して励磁が伝達される EESM 用の誘導励磁回路もあります。そのような設計の利点は、システムコストは増加しますが、低メンテナンスであることです。

まとめ

EESM は、自動車業界の重要なテクノロジーとして登場しており、高速効率を向上させ、直接磁束制御による柔軟性を提供しています。故障が発生した場合、励磁電流を切断することで、高い逆起電力電圧や回転が制御されないリスクを排除できます。追加の励磁回路を必要としますが、これらの機械はレアアース材料に依存していないため、供給リスクと機械コストを低減できます。高集積で高性能なデバイスを使用して適切に設計された励磁回路により、EESM は次世代の電気自動車向けにコスト効果の高い設計を実現します。

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

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](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。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。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

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

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日 : 2025 年 10 月