



PLECS DEMO MODEL

Lookup Table-Based PMSM

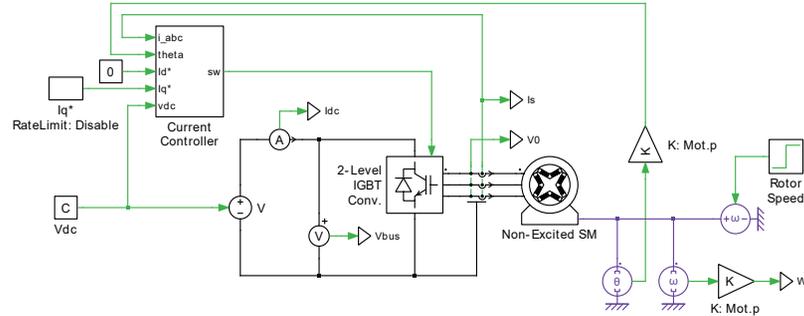
ルックアップテーブルベースのPMSM

Last updated in PLECS 4.3.1

1 概要

このデモでは、有限要素解析(Finite Element Analysis: FEA)データで構成したインバータ給電、8極、非線形の永久磁石同期機(Permanent magnet synchronous generator: PMSM)を紹介します。FEAデータは、InfolyticaのMotorSolveプラットフォームで、トヨタのプリウスのモータモデル用に生成しました。

図1: ルックアップテーブルベースのPMSMの電気回路



Note このモデルには、次からアクセスできるモデル初期化コマンドが含まれています。

PLECS Standalone: シミュレーションメニュー + シミュレーション・パラメータ... → 初期化

PLECS Blockset: Simulinkモデルウィンドウで右クリック → モデル プロパティ → コールバック → InitFcn*

2. モデル

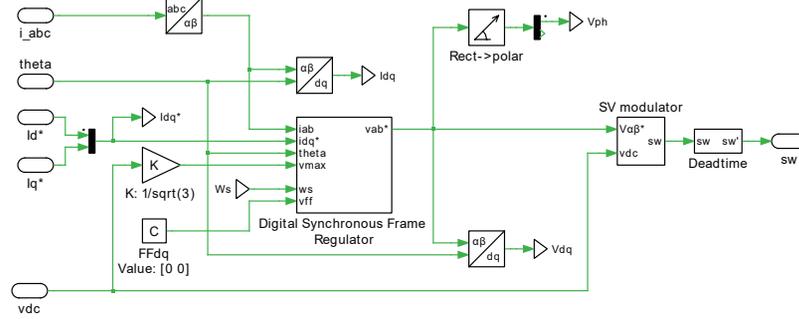
非励磁同期電動機では、ルックアップテーブルを使用してモータを構成できます。これらのルックアップテーブルは、InfolyticaのMotorSolveプラットフォームなどのFEAツールから取得できます。ルックアップテーブル用いることで、モータの飽和および交差飽和効果の影響を組み込むことができます。非線形PMSMのより詳細な説明は、PLECSコンポーネントライブラリの非励磁同期電動機(テーブル参照)コンポーネントの説明にあります。

電流コントローラの性能の検証のため、モータを一定速度で運転させます。これは、回転速度(非定常)のソースをPLECSマシンモデルの機械端子に接続することによって実現します。速度ソースでモータを運転させるには、モータの慣性パラメータを $0\text{Nm}\cdot\text{s}^2$ に設定する必要があります。

インバータ回路は、200VDC安定化電源を備えた理想インバータ(3相)としてモデリングしています。"Digital Synchronous Frame Regulator"[1]は、電流の閉ループ制御に使用します。モータの機械的速度、角度および固定子電流を測定します。機械的速度と角度は、電気的速度と角度を決定するために極対数でスケールリングします。

"Current Controller"には、直流電流と直交電流の設定値を供給します。このコントローラは、モータ速度に基づいて分離されており、状態制限およびアンチwindアップ手法も含まれています。比例積分(PID)コントローラは通常、d軸とq軸の電流調整に使用します。コントローラのゲインとシステムの分離は、モータ速度、モータの増分インダクタンス(L_d と L_q)、固定子抵抗といったモータパラメータに基づいています。モータが飽和状態になると、 L_d と L_q 値が変化します。このデモでは、飽和領域におけるモータのインダクタンスを用いてコントローラを設計します。

図2: ルックアップテーブルベースのPMSM制御



3相固定子相電流は、閉ループ制御のために測定します。これらはレギュレータ内で直接直交(DQ)値に変換され、設定値と比較します。空間ベクトルPWMコンポーネントは、インバータの出力電圧を生成するために使用します。

直流設定値(I_d^*)は0Aで一定に保たれます。直交電流設定値(I_q^*)は、0.2秒で20Aから130Aに増加するように設定されています。このシミュレーションでは、すべてのトルクは励磁q軸電流によって生成され、リラクタンストルクは0Nmに維持されます。

3. シミュレーション

最初に、システムのq軸電流が0Aから20Aに増加します。d軸電流は0Aに調整されます。0.2秒後、q軸電流は130Aに増加します(図3を参照)。図4に見られるように、q軸の鎖交磁束が増加し、モータは飽和状態まで駆動します。

図3: 速度制限を無効にした場合のd軸とq軸の電流のプロット

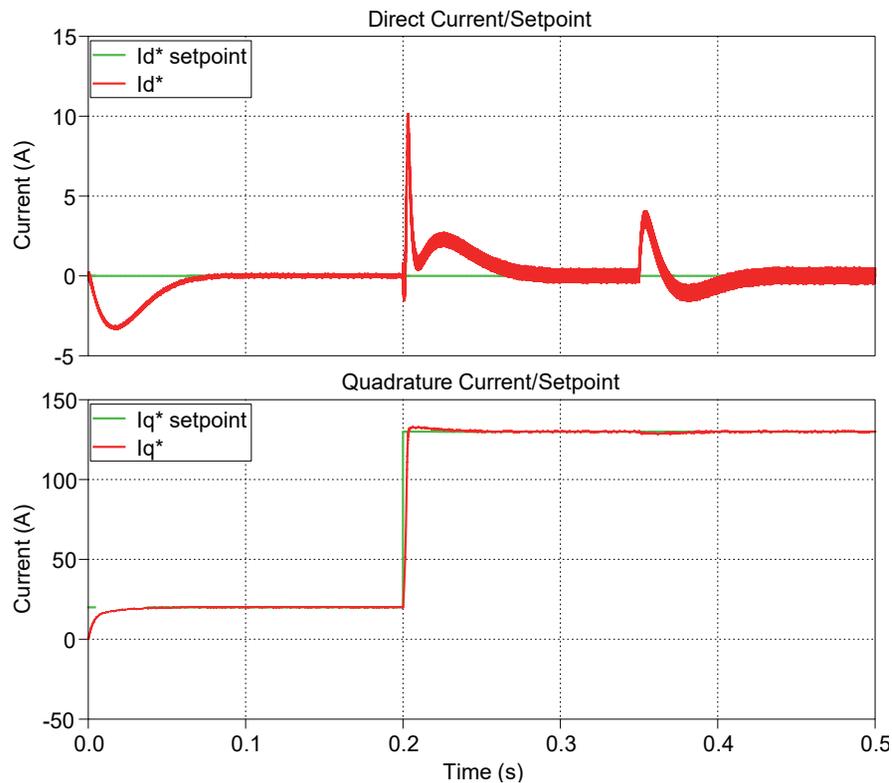
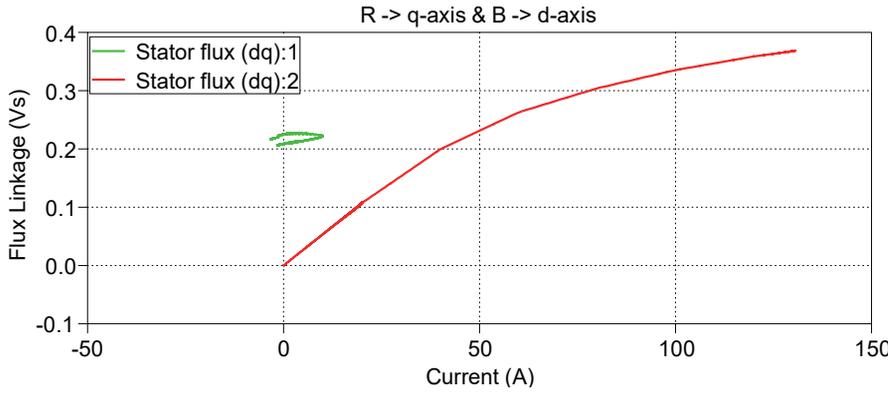


図4: 鎖交磁束と電流のプロット



モータが飽和状態になると、微分インダクタンス値が変化します。モータの微分インダクタンスと固定電流コントローラゲインの変化により、デカップリング項とPIレギュレータの性能に不整合が生じます。これにより、q軸の電流設定値が0.2秒で20Aから130Aにステップアップするため、d軸の電流が0Aの設定値から逸脱します。図3を参照してください。

このデモでは、モータトルクはすべてq軸励磁電流によって生成されます。リアクタンストルクは0Nmに維持されます。0.35秒で、回転子の速度が42rad/sから50rad/sに増加します(図5を参照)。電流レギュレータは、q軸とd軸の電流を目的のレベルに維持し、速度変化の過渡現象を通じて電気トルクを調整します。

図5: モータ速度と電気トルク、モータ電流とDC電流のプロット

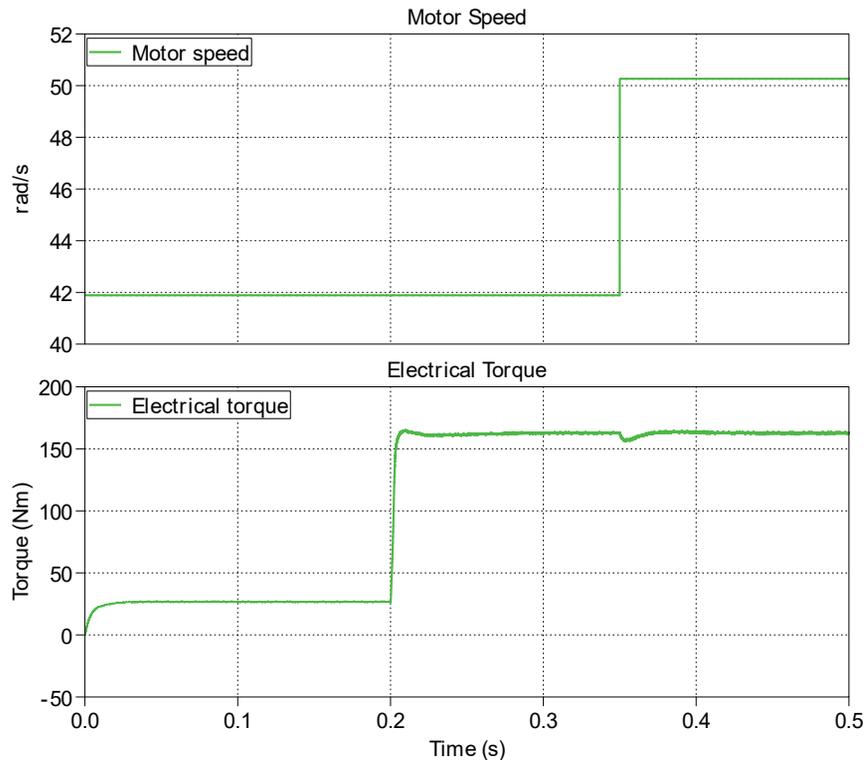
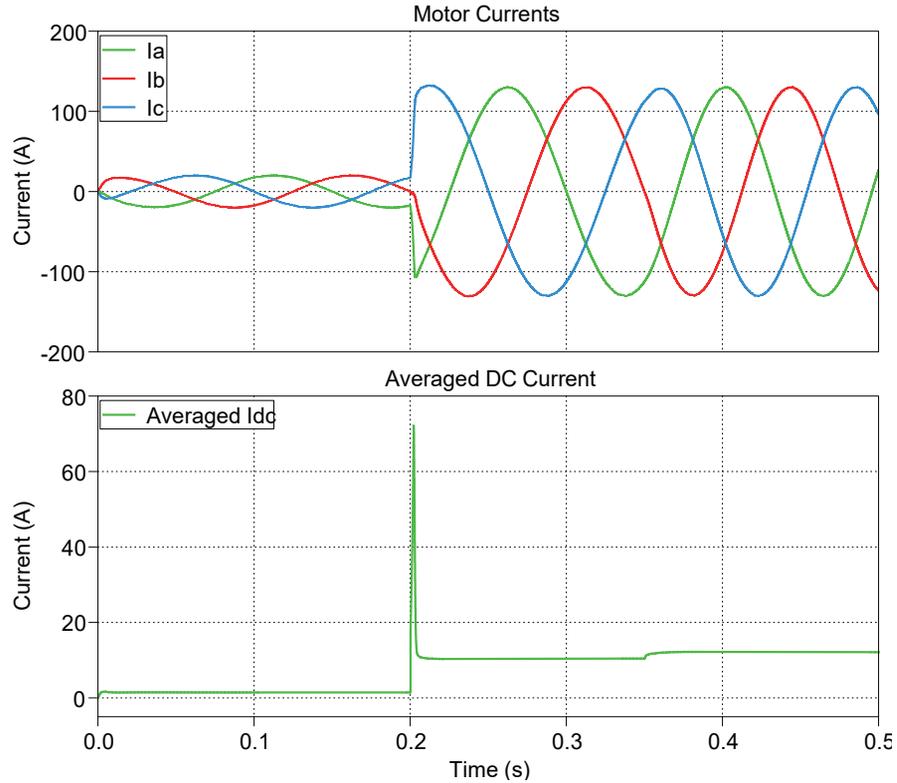


図6: モータ電流とDC電流の平均プロット

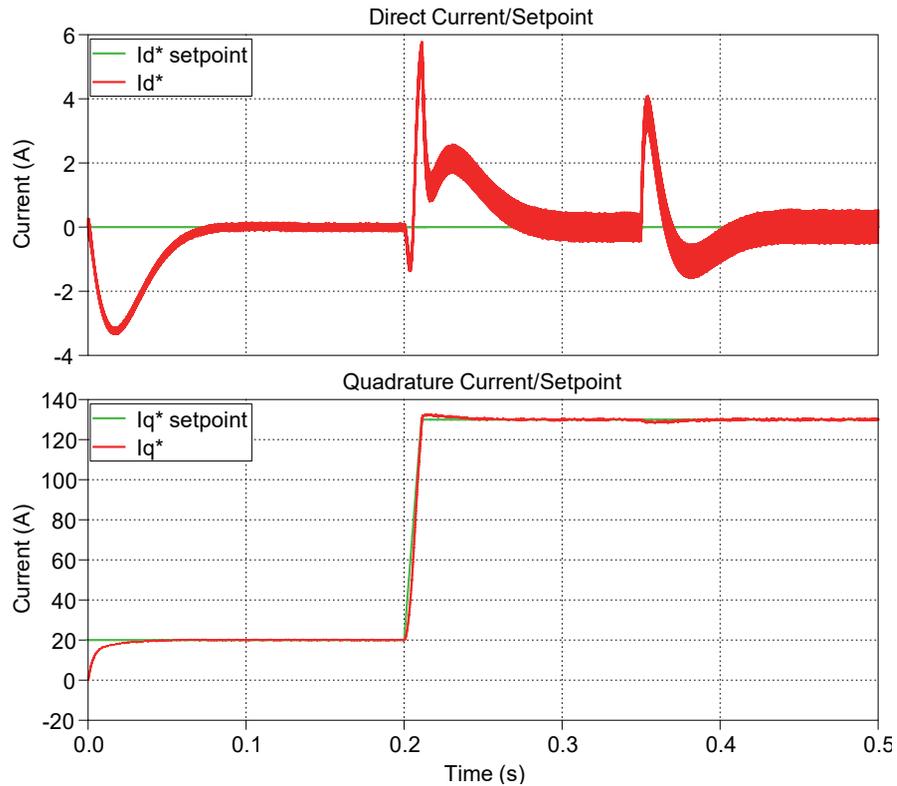


0.2秒でのq軸電流設定値のステップは、q軸電流誤差のステップ変化をもたらします。d軸とq軸の電流誤差は、同期フレームレギュレータでd軸とq軸を分離する際に使用します。分離パラメータとマシンの微分インダクタンス(飽和による)の不一致により、d軸電流が0Aの設定値から逸脱します。解決策の1つは、分離パラメータとPIゲインにルックアップテーブルを使用して、モータのパフォーマンスを最適化することです。

別の方法として、電流設定値の変化率を制限することです。ミリ秒あたり10Aの速度制限を導入することで、q軸誤差の大きさが減少します。したがって、分離パラメータの不一致の影響と、変化するモータの微分インダクタンスの影響が減少します。これにより、q軸電流設定値の変更によるd軸電流偏差が減少します。

q軸の電流設定生成器の速度制限を有効にして、シミュレーションを再実行します。q軸の電流設定値が0.2秒で20Aから130Aに変更されるときd軸電流に対する速度制限の影響を観察します(図7を参照)。

図7: 速度制限を有効にしたd軸とq軸の電流のプロット



4 まとめ

このモデルは、FEAで構成された非線形永久磁石同期機(PMSM)に焦点を当て、いくつかのPLECSの制御器ブロックコンポーネントを紹介しています。制御器ブロックに焦点を当てた他のモデルについては、PLECSの**demos**ライブラリのフィルタ機能を利用してください。

参考文献

- [1] F. Briz, A. Diez, M. W. Degner and R. D. Lorenz, "Current and flux regulation in field-weakening operation [of induction motors]," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 37, no. 1, pp. 42-50, Jan.-Feb. 2001. Click to access online: [IEEE Xplore webpage](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/902207).

改訂履歴:

PLECS 4.3.1 初版



Pleximへの連絡方法:

☎ +41 44 533 51 00	Phone
+41 44 533 51 01	Fax
✉ Plexim GmbH	Mail
Technoparkstrasse 1	
8005 Zurich	
Switzerland	
@ info@plexim.com	Email
http://www.plexim.com	Web



計測エンジニアリングシステム株式会社

<https://kesco.co.jp>

PLECS Demo Model

© 2002-2023 by Plexim GmbH

このマニュアルに記載されているソフトウェアPLECSは、ライセンス契約に基づいて提供されています。ソフトウェアは、ライセンス契約の条件の下でのみ使用またはコピーできます。Plexim GmbHの事前の書面による同意なしに、このマニュアルのいかなる部分も、いかなる形式でもコピーまたは複製することはできません。

PLECSはPlexim GmbHの登録商標です。MATLAB、Simulink、およびSimulink Coderは、The MathWorks、Inc.の登録商標です。その他の製品名またはブランド名は、それぞれの所有者の商標または登録商標です。