

プロ御用達！ LTspice活用コーナ



ブラシレス・モータの機械系を電気回路に置き換えて
電力発生要素から温度変化までの特性を解析

LTspiceによる 機械系システムの動作解析法

渡辺 健芳 Tateyoshi Watanabe

機械系システムであっても、構成要素の動作特性を微分方程式などの数式で表わすことができれば、同じ数式で表される電気回路に置き換えてLTspiceなどの回路シミュレータで機械動作特性を解析できます。また、機械システムや電子デバイスの各要素間の熱抵抗や熱時定数がわかれば、電気回路に置き換えて電力発生要素や各要素の温度変化特性が求められます。

本稿ではブラシレス・モータの機械系を含めて電気回路に置き換え特性を解析します。次に、モータ側ロータ回転軸と負荷側回転軸間を連結するシャフトなどの機構のねじれ剛性を回路として追加し、剛性がモータ特性に及ぼす影響を調べます。モータ特性がわかったところで、回転速度制御のサーボシステムを構成してサーボ特性を調べます。

さらに、モータ内部のコイル温度、ケース温度、周囲温度を回路化し、その変化特性を解析します。温度の時間応答を知ることができれば、連続運転時の定常温度だけでなく動作条件の急変による温度変化や間欠動作時の温度変化なども求められます。

〈編集部〉

1. 機械要素を電気回路で表す

ブラシレス・モータは、ステータ・コイルに供給される電気エネルギーを入力とし、磁気エネルギー変換を経てロータ軸の回転を機械エネルギーとして出力する、電気・磁気・機械ハイブリッド・システムとみなせます。

機械系要素の主なものは、回転体の回転持続性をあらわす「慣性モーメント」と回転摩擦としての「粘性摩擦係数」です。そこで、回転トルクや回転速度などを含め、これらの関係を数式で表すことが必要です。

● 慣性モーメントの等価回路

慣性モーメントと回転角速度、トルクの関係は力学方程式として次式で表されます。

$$t_m = J_m \frac{d(o_m)}{dt} \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 t_m ：回転トルク[N・m]、 J_m ：慣性モーメント[kg・m²]、 o_m ：回転角速度[rad/s]。

ここで、図1に示した電気回路から次式が得られます。

$$i = C \frac{dv}{dt} \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 i ：回路に流れる電流[A]、 C ：キャパシタンス[F]、 v ：コンデンサの端子電圧[V]。

式(2)において、電流 i を回転トルク t_m 、キャパシタンス C を慣性モーメント J_m 、コンデンサの端子電圧 v を回転角速度 o_m に置き換えれば、式(1)と一致するので、図1は慣性モーメントの等価回路とみることができます。

● 粘性摩擦係数 D_m

回転トルクと回転角速度には、粘性摩擦係数を比例係数とする次式の関係があります。

$$t_r = D_m \cdot o_m \dots \dots \dots (3)$$

ただし、 t_r ：回転トルク[N・m]、 D_m ：粘性摩擦係数[N・m/(rad/s)]、 o_m ：回転角速度[rad/s]。

ここで、図2に示した電気回路から次式が得られます。

$$i_r = \frac{v}{R} \dots \dots \dots (4)$$

ただし、 i_r ：抵抗に流れる電流[A]、 R ：抵抗[Ω]、 v ：抵抗の端子電圧[V]。

式(4)において、抵抗に流れる電流 i_r を回転トルク

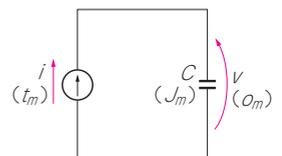


図1 慣性モーメント J_m の等価回路は、コンデンサ C の電気回路に置き換えられる

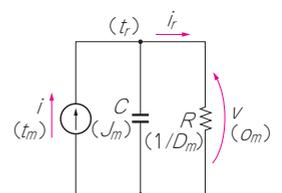


図2 慣性モーメント J_m と粘性摩擦係数 D_m の等価回路は、コンデンサ C と抵抗 R の電気回路に置き換えられる