



モータのしくみから位置/速度制御の実践テクニックまで

実践講座 小型モータの選定と制御技術

第7回 ブラシ付き DC モータの比例積分制御

～目標値と実際の回転数のずれを減らす～

萩野 弘司/Igeta Kenichiro
Hiroshi Hagino

本連載第6回(本誌2007年1月号)では、本誌2004年4月号付録マイコン基板MB-H8(ルネサス テクノロジーのH8/3694F搭載)を使用した、ブラシ付きDCモータの速度制御を取り上げました。

今回は、第6回で製作した速度制御回路の特性を測定し、さらに速度制御特性を改善する方法などについて解説します。

比例制御における速度制御特性

第6回(2007年1月号)では、速度制御方式として、もっとも基本的な比例制御(以下P制御と呼ぶ)から始めました。

DCモータの速度制御の第一の目的は、負荷トルク T が増えると回転速度 N が直線的に下がる垂下特性を、負荷トルクが変化してもできるだけ回転速度が変わらないようにすることです。

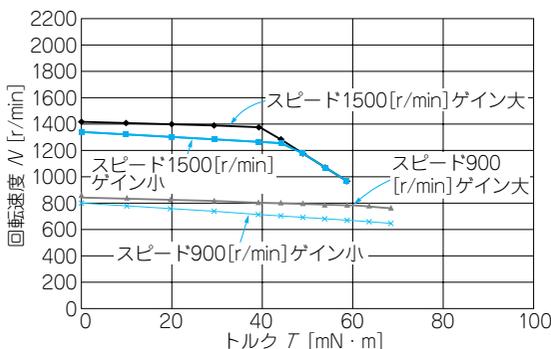


図7-1 P制御のトルク・スピード特性

速度指令値に対して、無負荷状態でもモータは若干低い値で回転し、負荷トルクが増えるとさらに回転速度が下がる特性になる

● トルク・スピード特性($T-N$ 特性)

目的が達成されたかどうか確認するために、トルク・スピード特性($T-N$ 特性)の測定結果を図7-1に示します。速度指令値が1500 r/minと900 r/minの場合について、比例ゲインの値を大(500)と小(250)として、無負荷状態から負荷トルク T を次第に増加したときの回転速度 N の変化を、糸掛けプリー法⁽¹⁾で測定しました。

速度指令値に対して、無負荷状態でもモータは若干低い値で回転し、負荷トルクが増えるとさらに回転速度が下がる特性になることがわかります。

速度指令値と回転速度の差を定常偏差と呼び、その差は比例ゲインが大きい方が小さく、トルクの増加に対する回転速度の下がり方も小さくなります。

定常偏差が発生する理由を説明します。第3回(2006年10月号)の図3-19⁽²⁾で示したように、モータの回転速度とPWM信号のデューティは比例します。一方、比例制御系の定常偏差×比例ゲインとPWM信号のデューティも比例するので、定常偏差がないと必要なデューティを確保することができないためです。

したがって、比例ゲインを大きくすれば、定常偏差を小さくすることができそうですが、一般に制御系を安定に動作させるためのゲインには限度があり、むやみに大きくすることはできません。

● 起動・停止特性

モータの起動・停止特性を測定した結果を図7-2～図7-4に示します。起動・停止時間は負荷を含めたロータの慣性モーメントが大きいくほど長くなります。ここでは時間差をわかりやすくするために、慣性負荷として第3回⁽²⁾で使用したプリー(慣性モーメント約 $23.4 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ で、モータのロータ慣性モーメントの約4倍)をモータ軸に取り付けて測定してみま

Keywords

MB-H8, H8/3694F, P制御, トルク・スピード特性, $T-N$ 特性, 定常偏差, スロー・アップ/ダウン制御, PI制御, DMN37JB, DMN37JEB, 垂下特性, 比例制御, 比例積分制御

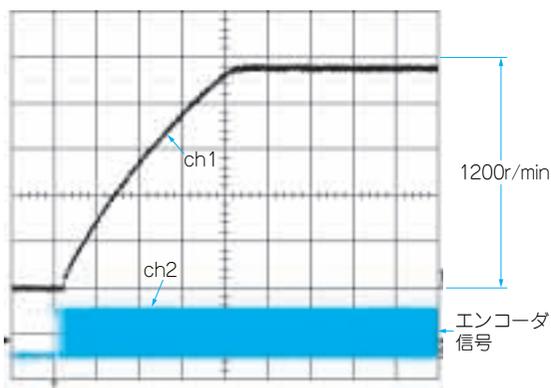


図7-2 速度設定値を1200 r/minにして起動したときの起動特性 (ch1 : 2 V/div., ch2 : 5 V/div., 10 ms/div.)
約40 msで立ち上がっている

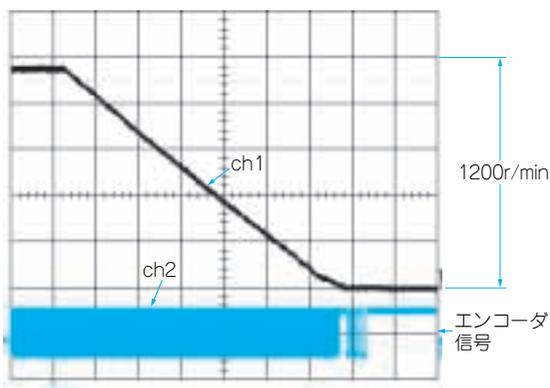


図7-3 ブレーキなしの停止特性 (ch1 : 2 V/div., ch2 : 5 V/div., 100 ms/div.)
停止まで約0.7 sec要した

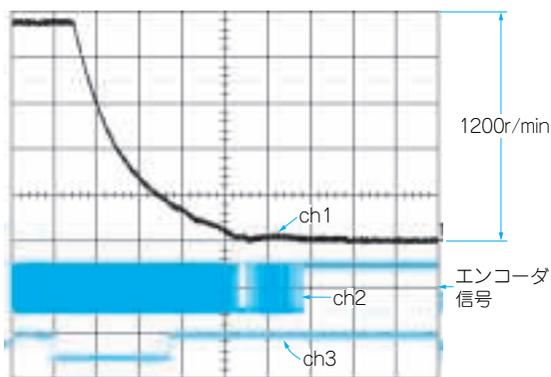


図7-4 ブレーキありの停止特性 (ch1 : 2 V/div., ch2 : 5 V/div., ch3 : 10 V/div, 50 ms/div.)
ブレーキなしに対して、停止時間が約0.2~0.3 secに短縮された

した。

図7-2は、速度設定値を1200 r/minにして起動したときの起動特性で、約40 msで立ち上がっています。

図7-3は、ブレーキなしの停止特性で、停止まで約0.7 sec要したのに対して、モータ・ドライバのショート・ブレーキ機能を用いた場合は、図7-4のように停止時間が約0.2~0.3 secに短縮されています。

指令値と回転速度の差を減らす 比例積分制御

● 比例積分制御とは

上記のとおり、比例制御方式では定常偏差が残ることがわかりました。この定常偏差をなくす方法として、速度偏差ぶんを時間積分して、偏差が残っている限り制御出力に加えるように速度制御系を構成すれば、定常偏差を小さくすることができます。

比例積分制御(以下PI制御と呼ぶ)のブロック線図を図7-5に示します。積分制御のために追加した部分は、図7-5の点線で囲んだ範囲になります。この追加部分は、ソフトウェアすなわちプログラムで実現できるので、ハードウェアすなわち回路部品などの追加は必要ありません。これがマイコン制御の特徴であるとも言えます。

制御用パラメータの設定を行う 外部設定器の製作

前回の速度設定方法は、マイコンの速度テーブルの値をターゲット・ボード上のDIP-SWで選択し、その値をPUSH-SWで確定する方法を採用しました。

今回は、連続的に回転速度を変えたり、さらにモータ

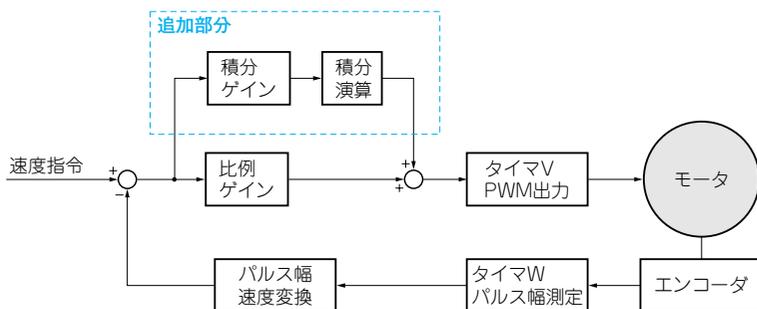


図7-5
比例積分制御のブロック線図
積分制御のために追加した部分は点線で囲んだ部分