

OS0224 DC モータ系の自動ゲイン調整に関する研究

The study on the automatic gain adjustment of the DC motor system

正 安藤 嘉則・群馬大院
Yoshinori ANDO, Gunma University

○学 中沢 悠・群馬大院
Yu NAKAZAWA, Gunma University

木暮 進・(株)ミツバ
Susumu KOGURE, MITSUBA Co.

正 山田 功・群馬大院
Kou YAMADA, Gunma University

正 村上 岩範・群馬大院
Iwanori MURAKAMI, Gunma University

Key Words: DC motor, Ultimate sensitivity method, PID control

1. 緒言

個々のモータには、そのモータ固有の内部抵抗やインダクタンスなどが存在するため、同じ入力に対して、モータはそれぞれ異なった応答を示す。

そのため、全てのモータに対して望ましい応答を得るには、それぞれに対してゲイン調整を行う必要があるが、現在、この作業は多くの場合手動で行われており、希望の応答を得るまでには時間と熟練を要する。

そこで、本研究では短時間で希望の応答を得られるような自動ゲイン調整アルゴリズムを開発することを目標とする。DC モータ系に対して、修正を加えた限界感度法による速度ゲイン調整実験を手動で行い、得られた知見をアルゴリズム化して、自動調整則の開発へつなげることを目的とする。

2. ゲイン調整法

ゲイン調整法として、限界感度法の考え方を取り入れた調整法を用いた。限界感度法とは、入力に対する応答が持続振動を示すまで比例ゲインを上げ、そのときのゲインと振動の周期を求め、調整則(Table1)にしたがって調整を行うと、一般的に Fig.1 のような応答が得られるというものである。これに対し、本研究では、減衰率が 1/2 となった時点で限界感度法の調整則を適用する方法を用いる。以下、これを修正限界感度法と呼ぶ。

3. 実験装置

Fig.2 に実験装置の構成を示す。制御系は電流ループに PI 制御、速度ループには P 制御が施されている。イーサネット通信で接続された指令/モニタ用 PC から角速度指令を入力し、サーボドライバから PWM 信号をサーボモータに出力する。サーボモータからの位置信号は、エンコーダを用いてフィードバックし、応答波形はオシロスコープを使って観測する。

モータの回転軸に取り付けるイナーシャは、回転軸のイナーシャに対する比が 1 のものを I_1 、3 のものを I_3 とし、負荷なしの場合を I_0 と表記する。

Table1 Tuning rule of ultimate sensitivity method

	Proportional gain K_p	Integral time T_I	Derivative time T_D
P control	$0.5K_{pc}$		
PI control	$0.45 K_{pc}$	$0.83T_c$	
PID control	$0.6 K_{pc}$	$0.5T_c$	$0.125T_c$

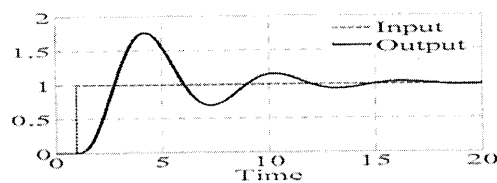


Fig.1 Response after adjustment

4. 修正限界感度法による速度ゲイン調整実験

以下のそれぞれの場合に対し、イナーシャ I_0 , I_1 , I_3 で実験を行い、修正限界感度法の有用性を確認する。また、実験 2, 3 については波形データを CSV ファイル形式で保存し、オフラインでフーリエ変換を行い、周波数解析を実施する。尚、解析には数値演算ソフトウェアである MATLAB/Simulink を用いた。

● 実験 1

0~50rpm ステップ入力を与え、徐々に速度比例ゲインを上げていき、応答波形の減衰率が 1/2 程度になった時点で、限界感度法調整則を適用し、応答を確認する。

● 実験 2

0rpm(サーボロック), 1000rpm, 2000rpm 速度指令を与える。この実験から、実験 1 で発生した共振現象の原因と共振周波数を調査する。

● 実験 3

以下のフィルタを挿入した状態で、実験 2 と同様、0rpm(サーボロック), 1000rpm, 2000rpm 速度指令を与える。フィルタによって共振現象を抑えられるか確認する。

ローパスフィルタ … カットオフ周波数 3500Hz

ノッチフィルタ … 中心周波数 5150Hz(I_1)

中心周波数 5350Hz(I_3)

● 実験 4

実験 3 のフィルタを挿入した状態で、実験 1 と同様の実験を行う。

なお、実験 3 で用いたフィルタのカットオフ周波数は、実験 2 のフーリエ変換による周波数解析で得られたピーク周波数に基づいて設定している。また、実験 2~3 において、速度比例ゲインは実験 1 での最大のゲイン K_{pc} と、そのゲインに 0.5 をかけた値とする。

5. 実験結果

実験結果を以下に示す。ch1…速度指令, ch2…速度応答, Case1…実験 1 における最大速度比例ゲイン K_{pc} , Case2… $K_{pc} \times 0.5$ とする。

5.1 実験 1

Fig.3 に I_0 , Case2($K_{pc}=468$), Fig.4 に I_3 , Case1($K_{pc}=2248$)の結果を示す。

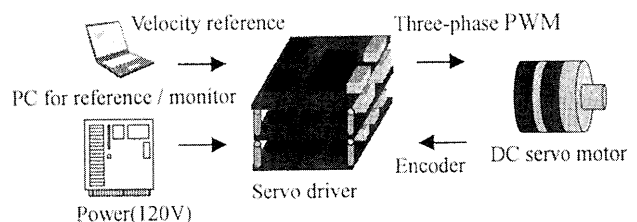


Fig.2 DC motor system

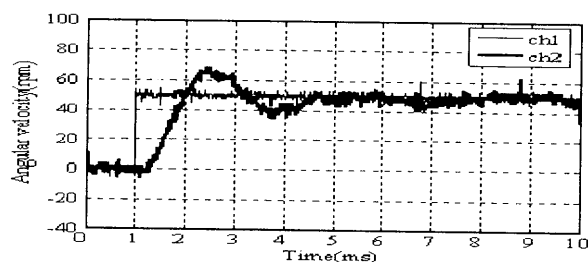
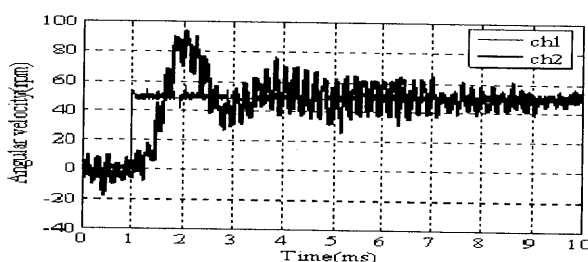
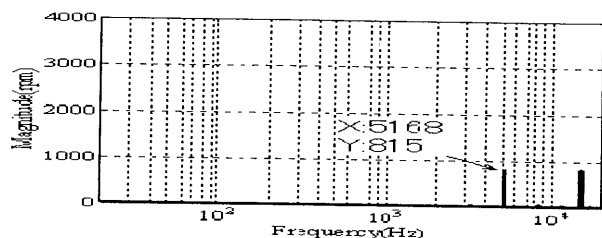
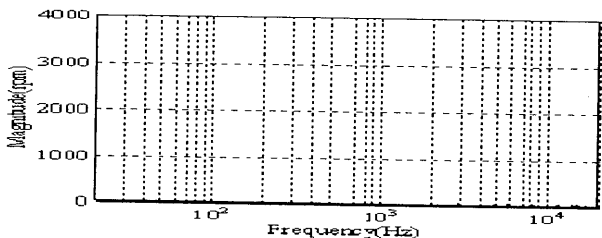
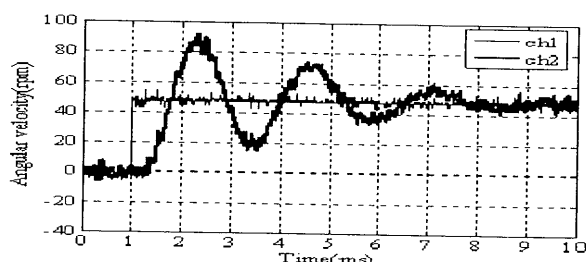
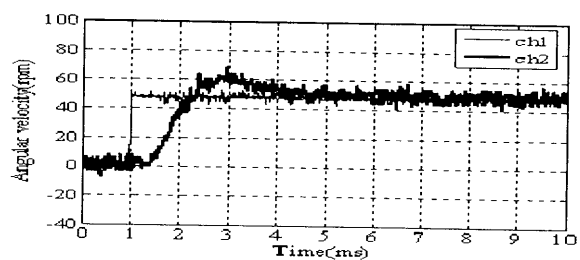

Fig.3 Step response(I_0 , Case2)

Fig.4 Step response(I_3 , Case1)

Fig.5 Frequency response(I_3 , Case1, 2000rpm)

Fig.6 Filtered frequency response(I_3 , Case1, 2000rpm)

Fig.7 Filtered step response(I_3 , Case1)

Fig.8 Filtered step response(I_3 , Case2)

Fig.3 より, I_0 , Case2 のとき, 立ち上がりが約 0.5ms, オーバーシュートが約 20% の応答を示している. この応答は望ましい応答といえる. 一方, Fig.4 を見ると, 共振が発生したために, 正確な減衰率を求めることが困難になっている, この共振の発生は I_1 においても見られた.

5.2 実験 2

Fig.5 に I_3 , Case1 ($K_{pc}=2248$), 2000rpm の速度周波数応答を示す. 5150Hz 周辺に, 振幅の大きな周波数が表れている. この周波数は, 0, 1000, 2000rpm 全ての回転数で見られ, かつ 11,13 いずれのイナーシャを取り付けた場合でも見られたことから, 共振の原因は, 制御周期とイナーシャを取り付けた場合に生じる回転軸のねじれ振動によるものと考えられる.

5.3 実験 3

Fig.6 に, Fig.5 の実験条件にローパスフィルタとノッチフィルタを挿入した場合の周波数応答を示す. ピーク周波数の振幅が小さくなっていることから, 適用したフィルタは有効であることがわかる.

5.4 実験 4

Fig.7 に, フィルタを挿入した状態で, 減衰率が 1/2 を示すまでゲインをあげた時の応答波形を示す. Fig.4 でみられた共振の振動が抑えられ, 減衰率を求めることが容易になっている. また Fig.7 のゲインに限界感度法の調整則を適用した結果を Fig.8 に示す. 立ち上がり時間が約 1ms, オーバーシュートが約 20% の応答が得られた. これは望ましい応答といえる.

以上のことから, 修正限界感度法によるゲイン調整アルゴリズムは, Fig.9 のようなフローチャートによって表すことが出来る. このアルゴリズムを適用することにより, 安定した応答を得ることが出来ると考えられる.

6. 結言

手動による修正限界感度法を用いたゲイン調整実験から, ゲイン調整アルゴリズムを構築できた.

今後の方針として, 本研究で得られたゲイン調整アルゴリズムのプログラミングによる自動化や, 位置制御への拡張などが挙げられる.

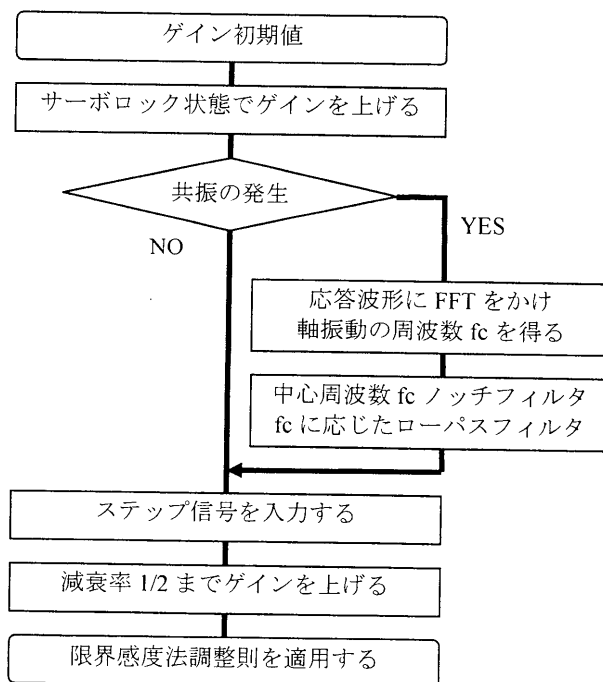


Fig.9 Modified ultimate sensitivity method algorithm