

E5. アクチュエータアイテム体験

E5 アクチュエータアイテム体験

E5.1 はじめに

アクチュエータとは，入力信号に基づいて運動量を制御するための機構であり，制御対象の運動を制御するためには必須のアイテムである．制御される運動の種類によって多くのアクチュエータが存在するが，E コース第 5 回ではその中の一つであるモータに焦点を当てて，動作機構や特性を理解しよう．また実際にアクチュエータを駆動するためにはドライブ回路が必要となるが，DC モータを題材にして実際に回路を製作してみよう．

本日の目標

1. 主要なモータの種類やそれぞれの特性，駆動方法等を理解する
2. DC モータの駆動回路を製作する

E5.2 ステッピングモータ

E5.2.1 ステッピングモータとは

知識 E5.1 ステッピングモータ

ステッピングモータは，Fig.E5.1 にその内部構造と電気回路を模式的に示すように，固定された電磁石（ステータ）と回転軸に取り付けられた磁石（ロータ）から構成されている．

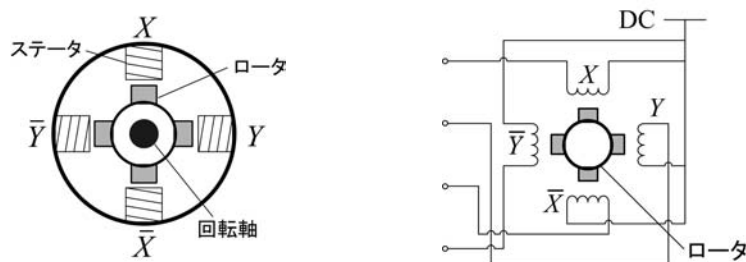


Fig.E5.1: ステッピングモータ内部の断面構造と電気回路の模式図

外部からの制御用パルス信号によってステータ部分のコイルに電流を流して磁力を発生させ，その力でロータを引き寄せて回転運動をする仕組みである．したがって，与えるパルス信号の回数と周期によって，回転角度および回転速度が決定する．その特徴は以下のように纏められる．

- フィードバック制御無しで高精度に位置（回転角度）決め可能である
- パルス信号の供給を止めるとその場で正確に停止すると共に，通電状態（励磁状態）では大きな静止トルクが得られる

- パルス信号の周期があまりに短い場合や負荷が大きすぎる場合には、正常に回転できなくなる (脱調)

用途としては、精密位置決めが必要なプリンタの紙送り機構部などに使用されることが多い。

E5.2.2 ステッピングモータの励磁方法

ステッピングモータを回転させるためには、パルス信号によりステータ部分のコイルに順番に電流を流す (これを励磁という) 必要があるが、その励磁パターンには以下のようなものがある。

知識 E5.2 1 相励磁

Fig.E5.2 に駆動パターンを示したように、各相を 1 つずつ順番に励磁することでモータを回転させる。最も単純な駆動パターンでただ単に回すだけであり、

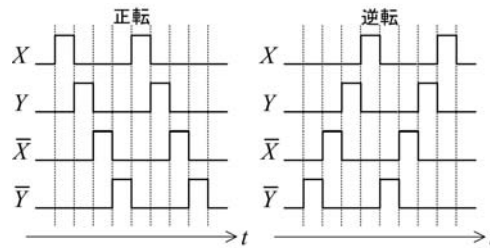


Fig.E5.2: 1 相励磁の駆動パターン

トルクが弱く高速な回転には向かない。

知識 E5.3 2 相励磁

Fig.E5.3 に駆動パターンを示したように、2 つずつ相を組にして順番に励磁することでモータを回転させる。同時に 2 相を励磁することでロータとステー

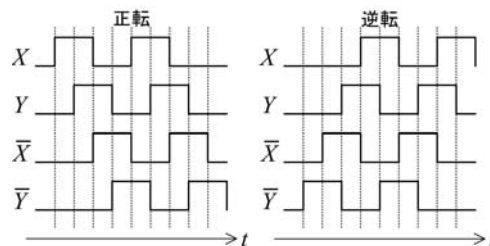


Fig.E5.3: 2 相励磁の駆動パターン

タ間の磁力が強まり、1 相励磁に比較してトルクが強くなる。

知識 E5.4 1-2 相励磁

Fig.E5.4 に駆動パターンを示したように、1 相励磁と 2 相励磁を組み合わせた励磁方法である。1 回の励磁に対するロータの回転角度 (ステップ角) は半分になり、1 相励磁、2 相励磁に比較して倍のパルスが必要となるが、回転角度の分解能は高くなるというメリットもある。

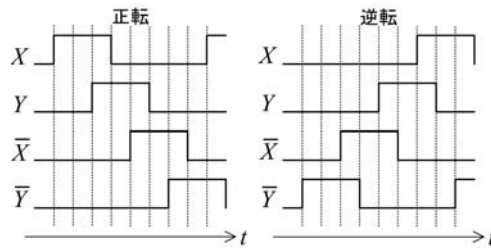


Fig.E5.4: 1-2 相励磁の駆動パターン

E5.2.3 ステッピングモータを駆動してみよう

実験 E5.1 ステッピングモータの手動駆動

ステッピングモータに対してパルス信号を入力し、実際に回転させてみよう。

1. 手順

- (a) スイッチ，電源，ステッピングモータを Fig.E5.5 を参考に接続する
- (b) 1 相励磁の駆動パターンを与え，モータを回転させてみる
- (c) 通電状態を作り，静止トルクを確認する
- (d) 2 相励磁および 1-2 相励磁で同様の確認を行い，結果を比較する

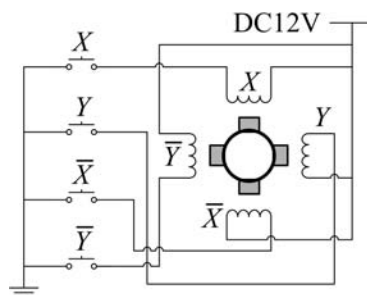


Fig.E5.5: ステッピングモータ駆動回路

2. 考察項目

- 1 相励磁と 2 相励磁での静止トルクの変化を確認すること
- 1 相励磁と 1-2 相励磁での回転角度の分解能の変化を確認すること

E5.3 DC モータ

E5.3.1 DC モータとは

知識 E5.5 DC モータ

DC モータは固定子に永久磁石，電機子にコイルを使って構成されるモータである。電機子に流す電流によって磁力を発生させ，その磁力と永久磁石の磁力

間の反発・吸引力をを利用して回転運動を生成し、回転方向は電機子に流す電流の向きを切り替えることで制御できる。その特徴は以下のように纏められる。

- 電機子電流に対して出力トルクが直線的に比例し、出力効率が高い
- 印加電圧に対して回転速度が直線的に比例する

知識 E5.6 DC モータの特性

DC モータ特性表の模式図を Fig.E5.6 に示す。特性表には 2 つの特性曲線が

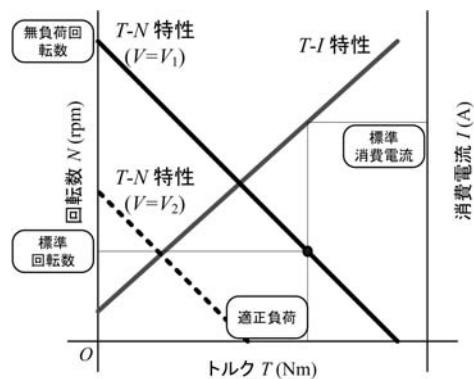


Fig.E5.6: DC モータ特性表の模式図

引かれており、モータの運転状況を規定することができる。

トルク-電流特性 ($T-I$ 特性) 電機子に流れる電流に対して発生トルクが綺麗な直線的に比例する。つまり、大きなトルクを必要とする場合には、電流をたくさん流せば良いことになる。

トルク-回転数特性 ($T-N$ 特性) 電機子への印加電圧が一定のときは、発生トルクに対して回転数が直線的に減少する。また負荷が一定であれば回転数は印加電圧に対して比例し、平行移動させた直線となる。

E5.3.2 DC モータの駆動制御方法

DC モータの駆動制御方法を、制御信号の種類および制御対象の種類によって分類し、それぞれの特徴を整理してみよう。

知識 E5.7 リニア制御とスイッチング制御

リニア制御 モータに印加する電機子電圧あるいは電機子電流をアナログ的に連続調節し、発生回転数、発生トルクを制御する駆動方法である。DC モータの最も基本的な駆動方法といえる。

スイッチング制御 (PWM 制御) ON-OFF を高速に繰り返すスイッチング信号で印加電圧を制御し、モータに加わる平均電圧・電流を調節して発生回転数、発生トルクを制御する駆動方法である。代表的なスイッチング制御方法として PWM(Pulse Width Modulation) 制御があり、以下のような特徴がある。

- デューティ比 (スイッチング信号の周期に対する ON あるいは OFF 時間の比) を調節して制御する
- デューティ比が大きいと回転数あるいはトルクが大きくなる

ON-OFF のスイッチング周波数は通常数 100Hz ~ 数 10kHz で行い、極めて短時間の ON-OFF であるために OFF の間もモータは慣性で回転を続けられるので、回転がガタつくようなことは起こらない。

知識 E5.8 速度制御とトルク制御

速度制御 (電圧制御) DC モータの回転速度を制御する方法である。負荷を一定と仮定すれば回転速度は印加電圧に比例することになるので、印加電圧値を制御することになる。

トルク制御 (電流制御) DC モータの発生トルクを制御する方法である。発生トルクは回転速度に拠らず電機子電流に比例するので、電機子電流値を制御することになる。トルク制御は、回転を止めた状態で負荷にトルクを与える制御とも解釈できる。

E5.3.3 H ブリッジ回路による DC モータのスイッチング制御

知識 E5.9 H ブリッジ回路

H ブリッジ回路とは、Fig.E5.7 に示すような DC モータ駆動用回路をさす。単一電源でモータに印加する電圧の向きを変えられる回路であり、回路が H 型

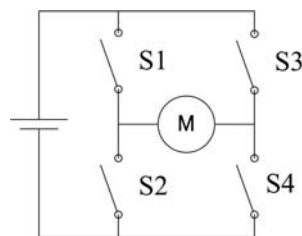


Fig.E5.7: DC モータ駆動用 H ブリッジ回路

をしていることにその名は由来している。

知識 E5.10 H ブリッジ回路の動作

H ブリッジ回路は、Fig.E5.8 に示すように 3 つの動作を与えられる。

正転 S1 と S4 のスイッチを同時に ON とすると、モータは正転する

逆転 S2 と S3 のスイッチを同時に ON とすると、モータは逆転する

ブレーキ S2 と S4 のスイッチを同時に ON にすると、コイルに逆起電力が発生してモータにブレーキを掛ける動作となる

実際に回路を構成する場合には、Fig.E5.9 に示すようにコンプリメンタリ (特性が揃った pnp 型と npn 型) FET による半導体スイッチを用いてブリッジ回路を構成し、スイッチの切換タイミングを正確に同期させる。

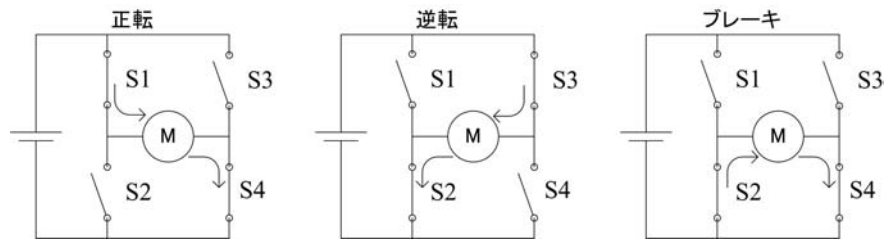


Fig.E5.8: Hブリッジ回路の動作

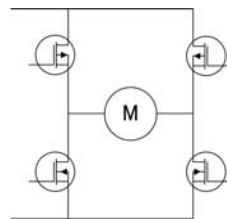


Fig.E5.9: 実際の H ブリッジ回路の構成

知識 E5.11 電界効果トランジスタ (FET)

FET(Field Effect Transistor) は、電圧だけで電流値を制御可能な電圧制御型のトランジスタ素子である。バイポーラトランジスタと異なり、正孔あるいは自由電子のどちらか一方のキャリアだけが関係するので、ユニポーラトランジスタとも呼ばれる。ドレイン (D)、ソース (S)、ゲート (G) の 3 つの端子をもち、多数キャリアが流れる部分はチャンネルと呼ばれる。

接合型 FET の動作 接合型 FET は 2 つの pn 接合によって構成されている。その動作は以下に示すとおりである。

1. D-S 間電圧によりキャリアが引き寄せられ、チャンネル部に電流が流れる
2. G-S 間に印加したゲート電圧による空乏層の大きさ変化を利用し、電流が流れているチャンネル部の幅を制御する
3. ゲート電圧によって電流値を制御することができる

金属酸化型 FET の動作 金属酸化型 FET(MOS-FET: Metal Oxide Semiconductor FET) は半導体の酸化皮膜上の金属電極がゲートである FET をさす。その動作は以下に示すとおり。

1. D-S 間電圧により空乏層が形成され、さらにゲート電圧を印加するとチャンネル層が誘導され電流が流れる
2. D-S 間電圧に比例して電流は増加し、空乏層の幅も広がる
3. 空乏層が広がると、それによってチャンネル層が切断される

E5.4 DC モータ駆動制御回路の製作

Hブリッジ回路を利用したDCモータの駆動制御回路を構成してみよう。今回はPWM制御方式による速度制御(電圧制御)およびトルク制御(電流制御)用の駆動回路を製作することにしよう。

E5.4.1 速度・トルク制御用PWM駆動回路の動作原理

原理 E5.1 駆動信号の生成原理

Fig.E5.10にPWM駆動信号を生成するための回路のブロック図を示す。フィー

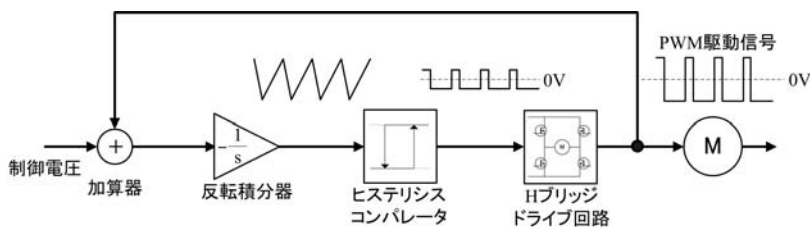


Fig.E5.10: PWM信号生成するための回路のブロック図

ドバックされてくるPWM駆動信号と制御電圧を加算したのち、反転積分器とヒステリシスコンパレータを通すことで自動的にPWM信号を生成する。

積分器の出力がコンパレータの閾値を越えるとコンパレータ出力が反転してPWM信号のレベルが切り換り、同時に積分器への入力信号の符号が切り換って、同様の動作を繰り返すことでPWM信号が生成されていく。積分される信号に制御電圧を加算することで、制御電圧によって積分器出力信号の傾きが変化し、デューティ比が変化する仕組みである。

原理 E5.2 電圧制御用回路

Fig.E5.11に電圧制御用回路の回路図を示す。加算回路と反転積分回路、PWM

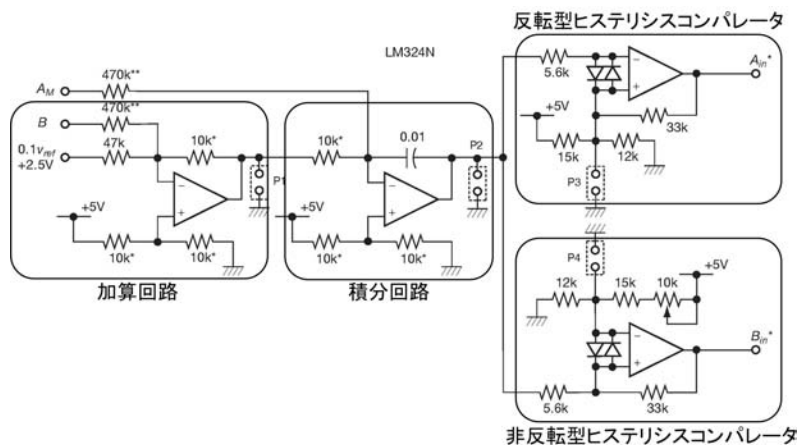


Fig.E5.11: 電圧制御用回路

E5.4. DC モータ駆動制御回路の製作

E5. アクチュエータアイテム体験

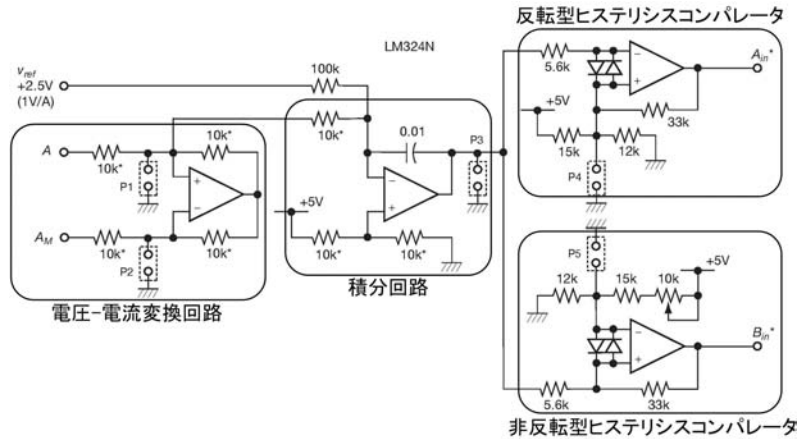


Fig.E5.12: 電流制御用回路

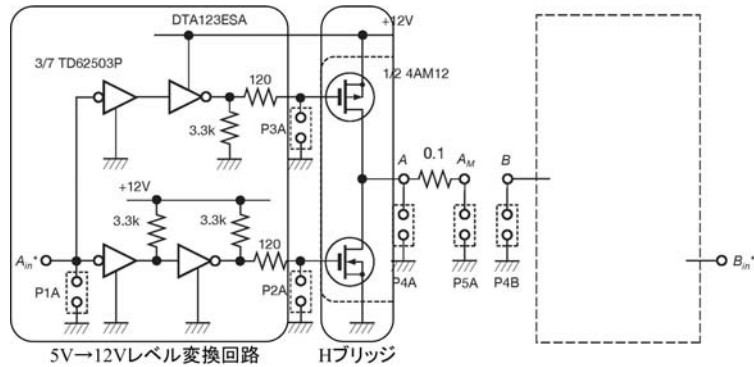


Fig.E5.13: モータドライブ用 H ブリッジ回路

駆動信号を生成するための反転型および非反転型ヒステリシスコンパレータから構成される。

原理 E5.3 電流制御用回路

Fig.E5.12 に電流制御回路の回路図を示す。モータに流れる電流値の検出回路と加算・積分回路、および電圧制御回路と同様の反転型および非反転型ヒステリシスコンパレータから構成される。

原理 E5.4 モータドライブ回路

Fig.E5.13 に、ドライブ用 H ブリッジ回路を示す。電圧レベルの変換回路と H ブリッジ回路、電流検出用抵抗などから構成される。図中には回路の片側半分のみを示したが、実際にはもう一組の同様の回路が組み込まれる。

E5.4.2 ドライブ回路の製作

実験 E5.2 各回路のプリント基板への部品ハンダ付け

Fig.E5.11 ~ E5.13 の回路図, Fig.E5.14 の素子実体配置図および作業手順を参考にして、モータ駆動制御用回路の各プリント基板に部品をハンダ付けしよう。

実験 E5.3 ドライブ回路のテスト

1. 手順

- (a) ファンクションジェネレータから 0-5V の矩形波を A_{in} および B_{in} に入力する
- (b) A, B の各端子に 0-12V の矩形波が観測できれば OK

実験 E5.4 電圧制御用回路のテスト

1. 手順

- (a) ドライブ回路と同記号の端子同士を接続した後、各回路に所定の電圧を供給する
- (b) A, B の端子から矩形波が出力されるように V_R を調整する
- (c) 制御電圧に $V_{ref}=2.5V$ を入力し、さらに V_{ref} を変化させてデューティ比が変化すれば OK

実験 E5.5 電流制御用回路のテスト

1. 手順

- (a) ドライブ回路と同記号の端子同士を接続した後、モータを接続してから各回路に所定の電圧を供給する
- (b) A, B の各端子から矩形波が出力されるように V_R を調整する
- (c) 制御電圧に $V_{ref}=2.5V$ を入力し、さらに V_{ref} を変化させてデューティ比が変化すれば OK

2. 注意事項

- モータを接続しないと動作しないので、注意すること

E5.5 サーボモータ

E5.5.1 サーボモータとは

知識 E5.12 サーボモータ

物体の位置や姿勢などを制御量とした数値制御で動作する自動制御装置のことをサーボ機構という。サーボモータは、Fig.E5.15 にそのブロック図を示すよ

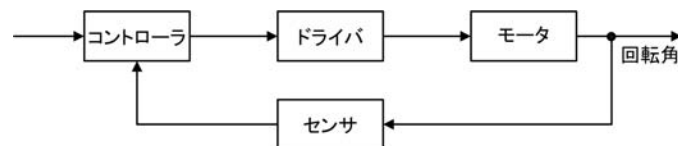


Fig.E5.15: サーボモータのブロック図

うに、コントローラがサーボアンプを解してモータを制御し、モータは制御量の状態(角度など)を計測してコントローラにフィードバックすることによって、回転角度を目標値に追従させることができるモータである。

例 E5.1 RC サーボ

RC サーボとは、DC モータ、減速ギア、ポテンショメータと制御用回路をひとつにパッケージしたアクチュエータである。ラジコンカーのステアリング駆動などに利用されており、信号線に加える PWM 信号のパルス幅 (デューティ比) で回転角度が決まり、その位置を保持する。

E5.5.2 サーボモータを駆動してみよう

実験 E5.6 RC サーボを駆動してみよう

RC サーボに制御信号を入力し、実際に回転角度制御をしてみよう。

1. 手順

- (a) ファンクションジェネレータの出力信号をオシロスコープに接続し、駆動用 PWM 信号が出力されるように設定する
- (b) RC サーボの制御信号線にファンクションジェネレータの出力を、電源線にユニバーサル電源を接続する
- (c) 制御用 PWM 信号のデューティ比を変化させ、回転角が追従することを確認する

2. 注意事項

- 定格外の制御用信号を RC サーボに与えないこと

