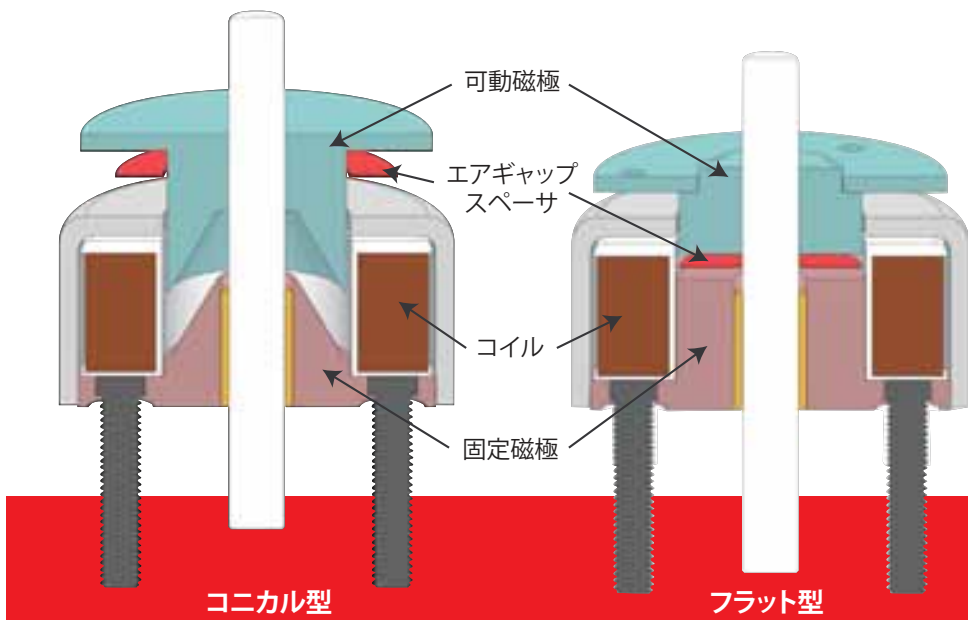


# めかとり通信

## プッシュ・プルソレノイド



ソレノイドは磁極の形状で性質が大きく異なります。  
平坦な磁極形状を有するフラット型は「押さえる」「保持する」といった用途に適しています。

### < 吸着・保持 >

ソレノイドの機能は一定のストロークを往復する動作ですが、それ以外にもさまざまな用途で使用されており、前回は「叩く」という使い方をご紹介いたしました。今回は「押さ

える」という使い方を考えてみます。「押さえる」「保持する」といった使い方に適したソレノイドの構造、それを使いこなすための方法について考え、検証してみます。

### ■ 1. ソレノイドの特徴

ソレノイドはシンプルな構造が特徴のアクチュエータですが、その力を発生する部分である磁極形状などを変更することで大幅に性格が変化します。そのため、磁極形状の変更によって多様なアプリケーションに合わせた特徴を持たせるこ

とが可能です。今回のテーマである「押さえる」「保持する」といった用途では作動最終点で大きな推力が必要となりますが、その位置で長時間保持することも考えられるので、効率の良さも求められます。

### ■ 2. 吸着・保持に適した磁極デザイン

ソレノイドの磁極形状として代表的なもののひとつである、磁極先端が平坦なフラット型は今回のテーマの用途に適しています。ストロークの最終点付近で大きな推力が得られるからです。ソレノイドコイルの形状は一般的には円筒型が多いと思いますが、吸着時の力を得るためには磁極の面積を大きくしたいので、円盤型が適しています。コイルの発生する磁束は磁極をめぐる形で流れるので、この経路の長さを短

くすることは効率向上に効果があります。また、推力を発生するギャップの方向が推力の方向と直交するため、無駄なく磁力を推力に変換できます。当社の標準形式でいえば、形状はチューブラソレノイドやオープンフレームソレノイドよりも、プッシュ・プルソレノイドがこの用途には適しています。プッシュ・プルソレノイドの断面形状を見ると、コイルの巻線部分が正方形に近く、磁気効率の良いことが分かります。

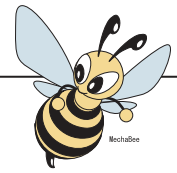
### ■ 3. 使いこなしテクニック

#### < 3.1. フラット型の問題 >

小ギャップにおける効率の高いフラット型ですが、作動初期のギャップが大きい領域においては、大きな推力を得るこ

とができません。これをどのように解決するかが使いこなしの上でのポイントのひとつです。





その対策として、

- ・極めて大きなストロークであれば、モータなどのアクチュエータで保持位置まで駆動し、ソレノイドでその位置を保持する。
- ・短時間定格の大きな電力を作動時に加え、作動終了後の保持位置で連続定格電力以下に低下させて保持する。

といった方法がよく使われます。

### <3.2. 電流遮断時の問題>

もうひとつ忘れてはいけない問題があります。ソレノイドは通常、最小ギャップ位置付近で保持して使用されますが、解放時には電源を遮断して電流を絶ち、発生推力が失われることで解放、復帰します。ソレノイドコイルは大きなインダクタンスを持つので、電流の遮断時には逆起電力に注意が必要なることはよく知られています。一般的にはコイルと並列にダイオードを挿入することでこのときに発生する電圧を抑制し対策します。ダイオード挿入法では、電流遮断時にコイル内に蓄えられていたエネルギーが放出される経路として、ダイオードを用意します。簡単で効果的に対策が出来る半面、応答性に問題を生じることがあります。エネルギーの放出にはある程度の時間がかかり、この間は電流が流れ続けますから、吸着力の発生が継続し復帰が遅れることがあります。

### <3.3. 磁気的な遅れ>

応答の遅れは磁気的にも生じます。使用位置での推力は磁気ギャップの大きさに依存し、小さなギャップの方が大きな力を発生します。

ところが、ギャップを小さくすると、電流を遮断した後でも磁力が残留し復帰不良を生じることがあります。これは磁極を構成する鉄の磁気的な性質から生じるもので、磁極の材質によって変化しますが、一般的に使用される素材においては避けられない現象です。このため、通常は力の減少には目をつむり、ギャップがある程度以下にならないように非磁性体のワッシャを挟み込んだ形で使用します。

### <3.4. 駆動>

具体的にこれらの問題に配慮した駆動の方法についてご紹介しましょう。起動時の推力確保にはふたつの方法が考えられます。

ひとつは、保持時に連続定格が可能なコイル定格を選択する方法です。この仕様ですと起動力が不足しますので、通電開始後に短時間定格仕様の大きな電圧を印加し、通電後にタイマなどで保持電圧に切り替えます。起動電圧の確保には、2系統の電源を用意する、または昇圧電

源を用いる、などの方法があります。

(図1上)

もうひとつは、起動時に必要な推力が確保できる短時間定格仕様のコイルを選択する方法です。このままですと連続で通電できないので、作動後、PWM(通電率制御)により平均電力を下げることで連続通電可能とします。

(図1下)

いずれの方法でも同じ結果が得られますが、PWMによる電圧の垂下は比較的簡単に実現できます。昇圧電源はコスト的に負担が大きいでしょうが、2種類の電源が用意できるのなら、回路的にはこれが最も簡単です。

これらの方法で保持時に必要以上の電力を印加しないようにすることは、電流遮断時の電流垂下遅れ、残留磁気の低減にも効果があり、応答速度の上昇が期待できます。

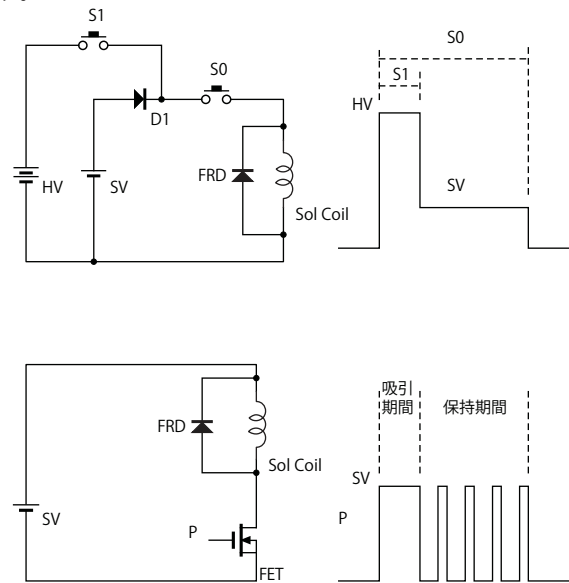


図1 駆動回路

### <3.5. 電流遮断時の対策>

電流遮断時の対策についていくつかご紹介します。

まずは、ダイオードの代わりにバリスタを挿入する方法です。バリスタは ZNR や TNR などといった商品名で供給され入手は容易です。この設定電圧は高いほど復帰速度を早くする効果がありますが、駆動用の半導体素子や近接した回路への影響も大きくなりますので、周辺の条件を考慮して決めます。

他には、ダイオードに直列に抵抗器を挿入する方法で、これも確実な効果があります。抵抗値が高いほど効果が大きくなるのはバリスタと同じですが、同様の問題を生じます。また通電頻度が高くなるとこの抵抗器の電力消費が大きくなりますので、駆動条件をよく考えながら決めてください。



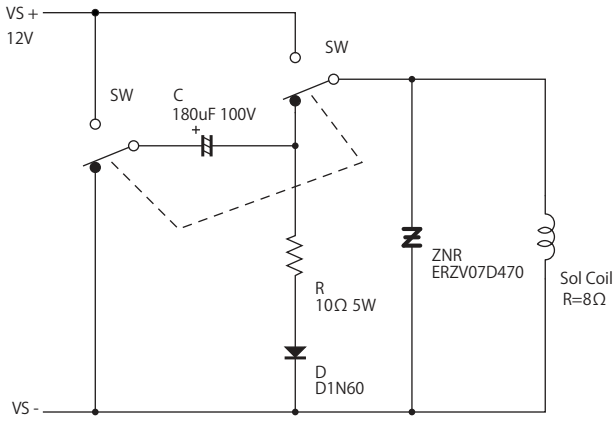
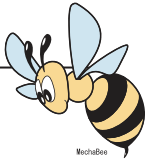


図2 効果計測回路

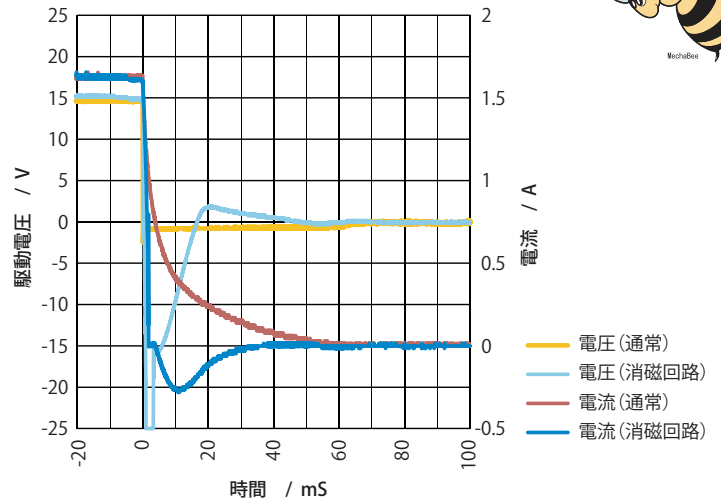


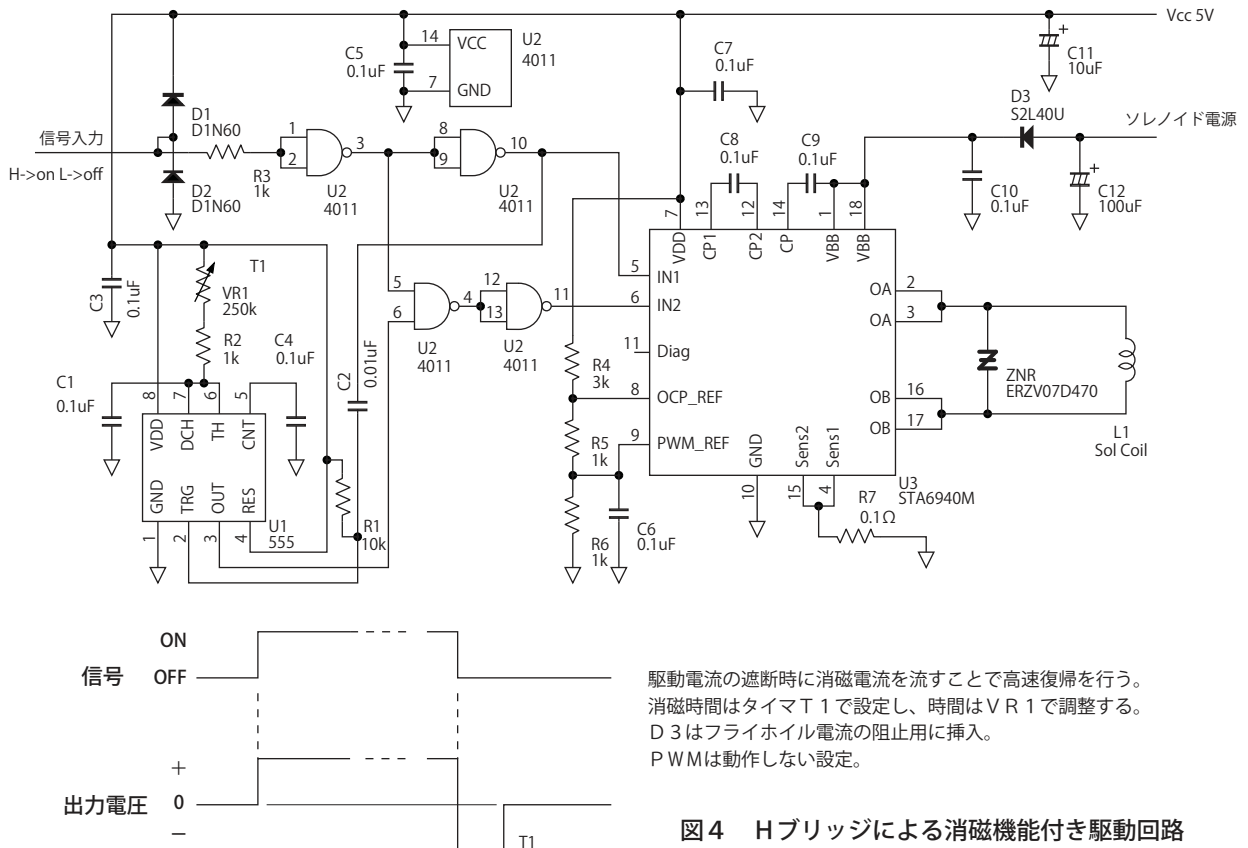
図3 動作波形

< 3.6. 残留磁気を低減する駆動回路 >

残留磁気による復帰遅延・障害についての対策はなかなか面倒ですが、駆動回路の工夫で低減が可能です。

磁性体に残留した磁気を取り除くには、交流を流してその振幅を徐々に下げていくのが確実で、この原理で脱磁器は働いています。しかし、このような回路を駆動回路に組み込むのは面倒ですから、復帰するのに支障のない程度に残留磁気を下げる方法を考えます。できるだけ短時間で終わらせないと復帰時間の短縮が出来ないわけですから、作動期間にも注意します。ソレノイドは直流電流で駆動するので、磁極にはこの駆動電流の方向に磁化された磁気が残留します。そのた

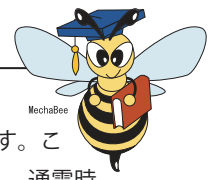
め、逆方向に電流を流せばこれがキャンセルできます。この方法を用いた駆動回路の例を図2に示します。通電期間にコンデンサに充電しておいた電荷を、電流遮断時にコイルに対して逆方向に放電することで脱磁します。接点に障害を生じないようにするためバリスタを挿入しています。ソレノイドの大きさによって消磁に要する時間が変わりますので、コンデンサの容量で調整する必要があります。この回路の効果を図3の動作波形に示します。ここでは駆動終了点で逆方向に電流が流れています。電流の垂下速度が速くなり、復帰の改善が期待できることがお分かり頂けると思います。



駆動電流の遮断時に消磁電流を流すことで高速復帰を行う。消磁時間はタイマT1で設定し、時間はVR1で調整する。D3はフライホイール電流の阻止用に挿入。PWMは動作しない設定。

図4 Hブリッジによる消磁機能付き駆動回路





< 3.7. Hブリッジによる方法 >

コンデンサを使用しない方法もあります。DC モータの駆動素子（モータドライバ）は通電する極性を切り替えることが可能です。これを利用すると同じような効果を得ることが可能です。図4をご参照ください。

ただし、今回のような目的に使用する場合には若干の工夫が必要になります。通常のモータドライバに使用されているHブリッジ回路は、フライホイール回路を内蔵していますので、これの働きを止める必要があります。例に示したものはモータ電源端子にダイオード（D3）を挿入することで対策できました。ただし、発生電圧の抑制のためにバリスタの挿入が必要です。使用する素子の等価回路をよく見て判断する必要があります。

消磁に要する時間はソレノイドのサイズや通電電流によって異なります。この回路を使用すると、遮断時のキャンセル時間はタイマによって調整することが可能です。実際に作動させ、効果を確認しながら時間を決めてください。図4の回路例ではアナログタイマを用いましたが、マイコン等で駆動する場合には、このキャンセル時間もマイコンで生成することが可能で、回路はシンプルになるでしょう。なお、ドライバメーカーの推薦以外の使用法となる可能性があり、動作をご理解の上、必要であればドライバメーカーにご相談の上でご検討ください。なお、実施結果については、当社が責任を負うものではありません。

< 3.8. 高速化回路 >

もうひとつ実用的な回路をご紹介します。図2は復帰時間を大幅に改善できる回路です。ただ、動作に関しては効果がありません。復帰の改善に加えて動作時間の改

善にも効果のある回路が図5に示すものです。これは図2と同等の復帰時残留磁気対策に加え、通電時の電流上昇率改善のために準定電流駆動用の抵抗を直列に接続してあります。これらの効果で往動作、複動作ともに速度改善効果が望めます。しかしこの回路は、確実な効果がある反面、直列抵抗での電力損失が大きいのが問題で、あまり現実的ではないかもしれません。原理の理解用とお考えください。図4と同様にHブリッジを用いて極性反転で消磁を行い、駆動時にPWMによる定電流通電を行うことで、直列抵抗器と同等以上の電流上昇率の向上が可能となります。この方法によれば効果を犠牲にせずに電力損失の低減が可能となり、実用的に使用できます。モータ駆動用のHブリッジにはこのような用途に用いることが可能なPWM機能を内蔵したものもあります。

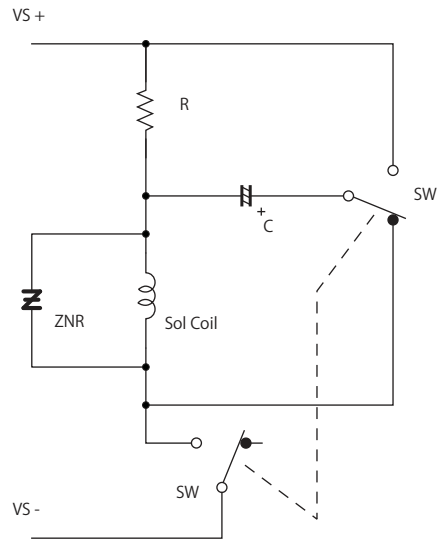


図5 高速化回路

■ 4. 応用

復帰時の電流垂下遅れや残留磁気による復帰不良は、フラット型に限ったことではなく、もうひとつのプッシュ・プルソレノイドの標準形であるコニカル型でも程

度の違いはありますが同じように生じます。今回ご紹介した対策は同様に適用できますので、速度向上のためにお悩みの方はご参考にしてください。

■この資料の内容は改良の為、お断り無く変更することがありますのでご了承ください

「めかとう通信」に関するお問い合わせは

2018年1月現在

新電元メカトロニクス株式会社 <http://www.shindengen.co.jp/smt/>

本社 〒357-0037 埼玉県飯能市稲荷町11番8号 TEL 042(971)6212 FAX 042(971)6218

西日本支店 〒460-0003 名古屋市中区錦1-19-24名古屋第一ビル TEL 052(219)9711 FAX 052(201)4780

茜台工場 〒357-0069 埼玉県飯能市茜台2丁目1番5号

新電元メカトロニクスのソレノイドのご用命は

