

めかとり通信

Shindengen Mechatronics Co.,Ltd.

新電元標準ソレノイド
3D-CAD データ
配信開始!

あらゆるデータ形式に対応
詳細はこちら
<http://www.shindengen.co.jp/smt/index.html>



<ソレノイドを使う>

「めかとり通信」は不定期ながら刊行を重ね、20号を迎えることになりました。これからもソレノイドユーザの皆様の役に立つ情報をお届けできるように努力していきたくと思います。

ソレノイドには、直流で駆動する DC ソレノイド、正弦波交流で駆動する AC ソレノイドがあります。いずれも所定の条件で通電すれば動作しますが、本来の性能を生かすために最低限知っておきたい事柄がいくつかあります。今回はその特性の違いや、通電するのに必要な知識、知っておくと役に立つと思われることについてお話しします。

■1. 通電電力

ソレノイドはそのコイルに電流を流すことによって推力を発生し、負荷を駆動します。ソレノイドの発生する推力はコイルに流す電流に比例しますから、大きな電流を流せば余裕をもって負荷を駆動できますし、より小型のソレノイドが選べます。ただし、コイルに電流が流れることでソレノイド自身が発熱します。加えた電圧 × 流れた電流 = 消費電力 これは発熱量そのものです。この値が限度を超えれば焼損して使えなくなってしまいます。したがってソレノイドが過熱し、焼損しない範囲で使うことが必要です。連続で通電すれば大きな温度上昇を伴うような電圧でも、一時的に動作（間欠動作）させるのであれば温度上昇は少なく済みます。通電時間に休止時間を加えた全期間に対する通電時間の割合を「通電率 / デューティ」と呼びます。当社の標準ソレノイドはその代表値として、100%（連続）、50%、25%、10% を選び、カタログに記載してあります。ただし、実際には通電周期はこの値と同じになることは少ないと思います。この場合には実際の周期よりも大きな値、通電電圧としては低い方を選んでいただければ焼損の心配はありません。正確には、実際の周期における通電可能な電圧は次式で求めることが可能です。

$$E = \text{連続電圧} \times \frac{1}{\sqrt{\frac{\text{通電DS}}{100}}} \quad \text{式 1.1}$$

通電 DS：実際に通電する通電率 (%)
連続電圧：カタログ 100% 電圧

なお、当社のカタログは放熱板に取り付けた場合の通電可能電圧を記載したものががあるので注意してください。放熱板の有無はカタログのコイルデータ表に記載してありますのでご確認ください。

ソレノイドでは発熱に伴って駆動力が低下します。コイルの素材である銅線の電気抵抗は正の温度係数を持っています。このため、温度の上昇に伴い、抵抗値が増加します。また、ソレノイドの発生する推力はコイルの巻き数と通電する電流の大きさに依存します。従って、
コイルへの通電 → コイル温度の上昇 → 巻線の抵抗値増加 →
流れる電流減少 → 磁力低下 → 駆動力低下
という連鎖が発生します。このことを考慮しないと、始め（低温時）は動くけれども使っているうちに動かなくなるということになります。

いずれにしても、カタログに記載された電圧と電流、通電率、ストロークなどの資料を基に適切な機種選択と駆動条件、回路設計が必要です。

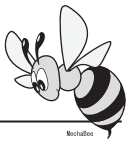
■2. 突入電流

ソレノイドなどの電気部品に通電する際、その性質によって突入電流を生じることがあります。その値については表 2.1 を参照ください。抵抗、DC ソレノイドでは突入電流を生じませんが、多くの負荷が突入電流を生じることが分かります。中でも AC ソレノイドは大きな突入電流を生じます。

Magnetic Technology & Quality

柔軟で独自の発想と豊富な実績で幅広い要求にお応えします。





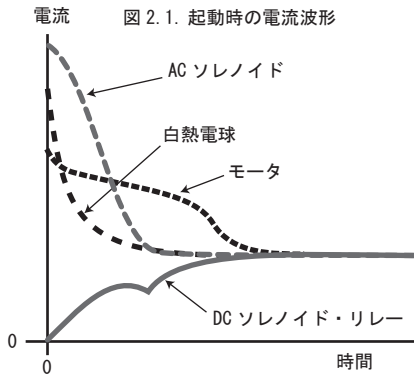
<ソレノイドを使う>

表2.1. 負荷の種類と突入電流

負荷の種類	突入電流	時間 (S)	
抵抗	定常電流の1倍	0	発生しない
DCソレノイド	定常電流の1倍	0	発生しない
ACソレノイド	定常電流の10~20倍	0.07~0.1	負荷状態によって異なる
モータ	定常電流の5~10倍	0.2~0.5	負荷状態によって異なる
白熱電球	定常電流の10~15倍	0.3	
水銀灯	定常電流の約3倍	180~300	
ナトリウム灯	定常電流の1~3倍		
コンデンサ	定常電流の20~40倍	0.01~0.04	容量によって異なる
トランス	定常電流の5~15倍	0.02~0.04	容量によって異なる

参考 PanasonicのHP

DC ソレノイドはそのコイルの直流抵抗値と印加する電圧で計算できる電流が流れ、その値を超えることはありません。逆に、立ち上がりはコイルのインダクタンスの影響で遅れを生じます。



■2.1. 型式別の特徴

AC ソレノイドとDC ソレノイドは電源が異なるだけでなくその特性もかなり異なります。

■2.1.a AC ソレノイド

ACソレノイドの電流は、コイルのインピーダンスで決まります。インピーダンスとはコイルのインダクタンスと周波数で決まる交流に対する抵抗成分です。ソレノイドのインダクタンスは動作開始前のギャップが大きくなると、動作後のギャップが0となったときで大きく異なり、ギャップ0で大きな値を示します。このため、インピーダンスで電流が決まる交流ソレノイドは動作前には大きな電流が流れ、動作後ギャップが小さくなったときには電流が小さく抑えられます。

電源が交流ですから常に電流が変化します。従って推力も変化し、これに伴って唸りを生じます。これを避けるために、可動部の吸着面の一部に隈取コイルと呼ばれる特殊なコイルを配置し、唸りを低減しています。

このような構造から、大ストロークにおける動作開始時の推力が大きく、動作終了点の保持位置での電力が少なく済むというメリットの半面、

- 起動時に突入電流を発生する。
- 高頻度で動作すると発熱が大きくなる。
- 保持時に唸りを生じやすい。
- 動作終了時にギャップ0まで駆動する必要があり、衝突音が避けられない。

- 作動中に何らかの障害でロックした場合、大きな電流が流れ続けるためにコイル焼損にいたる。
- 出力の調整が不可能。

といった欠点を併せ持ちます。特に機械的にロックする可能性が確実に排除できる用途以外では、応用が難しいと考えるべきです。

■2.1.b DC モータ

DCモータ（ブラシ付き）の場合も突入電流を生じます。

負荷が重くなり、回転速度が下がるにしたがって電流が増して行きます。負荷が重く回転を維持できない状態をロック状態といいます。このときに最も大きな電流が流れ、この電流をロック電流と呼びます。電源投入時の回転開始前の状態はこのときと同じ状態になり最大電流が流れます。回転の上昇に伴い電流が低下しますが、このときの電流が突入電流です。

- 起動時に突入電流を発生する。
- 機械的にロックした場合、大きな電流（ロック電流）が流れ続け過熱する。場合によっては焼損に至る。

DCモータの場合にも安全のために、ロック対策を検討しておくことが重要です。ロック電流を検知して遮断する方法があります。

電源の容量はこのロック電流を流せるだけの容量が必要で、不足すると起動不良となります。

■2.1.c DC ソレノイド

DCソレノイドは電流がコイルの直流抵抗と印加電圧で決まるため、インダクタンスが変化しても電流に変化を生じません。仮に作動途中でロックしても過熱するような問題は原理的に発生しません。このため、極めて安全性は高いといえます。

DCソレノイドは、ACソレノイドと比較して、

- 突入電流を発生しない。
- 作動の途中で機械的にロックしても発熱しない。
- 作動音の防止のため、ギャップに柔らかいワッシャを挟むことで作動音を効果的に低減できる。
- 唸りを発生しない。
- 永久磁石と組み合わせた自己保持型が構成できる。

ただし、大ストロークでの推力はAC型が有利です。

なお、ACソレノイドの中には、DCソレノイドに整流用のダイオードを内蔵することで、直接AC駆動を可能としたものがあります。この場合にはDCソレノイドに準じた性能となります。



<ソレノイドを使う>

■3. 逆起電力対策

通電に当たっては逆起電力に対する配慮が必要です。

ソレノイドの駆動コイルは電流をオフした際にコイルに蓄積されたエネルギーの放出に伴う逆起電力が発生します。オンするときではなくオフするときです。最近ではデジタル回路からの制御信号による半導体スイッチで制御する例が増えています。ソレノイドの逆起電力によってこの半導体スイッチが破損します。これを防ぐために、巻線に並列に保護用のダイオードを入れるなどの対策が必要です。

なお、逆起電力がノイズとなって他の電子機器に影響を与えることも考えられるので、配線の引き直しなどにも気を配る必要があります。

これらについて順次説明していきます。

■3.1. フライホイールダイオード

ソレノイドのコイルに通電した後、これを遮断する際に、逆方向に大きな電圧が発生します。この時発生する電圧は逆起電力と呼ばれ、接点に火花を発生させ、半導体スイッチには耐圧破壊を引き起こします。スパイク状の大きなノイズになりますので、システムの誤動作の心配もあります。この現象に対するもっとも一般的で、確実な効果が得られるのがフライホイールダイオードの挿入です。

フライホイールダイオードはどのような考え方で定格を求め、品種を選ばよいかを考えてみます。

■3.2. 電流定格

フライホイールダイオードには、ソレノイドへの電流が遮断されたときのみ電流が流れます。従ってソレノイド電流の遮断の頻度が高いほどダイオードへの通電頻度が高くなります。ソレノイドへの通電時間ではありません。ソレノイドの電力制御のために、高速でスイッチングを繰り返す、通電率制御 (PWM) を行う場合がダイオードに最も頻繁に電流が流れます。ただし、その値はソレノイドに流れる電流値を超えることはありません。このため、ダイオードの電流定格はソレノイドへの通電電流を満足するものであれば問題ないことが分かります。

ダイオードの電流定格はソレノイドに流れる電流を基準とし、通電頻度を考慮して決定します。ダイオードは周囲温度により流せる電流に制約を受けます。周囲温度によるディレーティングに注意してください。ディレーティングカーブはダイオードの定格を参照してください。

PWM 制御を行う場合には、リカバリタイムの小さい高速なものが必要ですが、単純な ON/OFF の場合には一般整流用で十分です。

■3.3. 電圧定格

ダイオードに印加される逆電圧は通常電源電圧以上が加わることはありません。ただし、一般的に AC ラインには各種機器

が接続され、これら機器から発生するノイズが加わり、外来ノイズも乗りやすくなります。従って、AC ラインを直接整流して電源とするような場合にはこれらのノイズを配慮して耐圧を決める必要があります。ソレノイドに専用の電源を用意している場合にはノイズは比較的乗りにくくなりますが、他の機器と兼用する場合や、機器内での引き直し等を考慮して決定します。このように、電源回路電圧にノイズ等のサージ電圧が印加されることを想定して余裕を持って選定してください。具体的には、専用電源の場合には電源電圧の 3～5 倍、AC ラインの場合には 4～10 倍ほどの逆耐電圧のものを選択します。

■3.4. AC 整流電源の場合

AC 電源をブリッジダイオードで整流して使用する場合は、整流前の交流側に駆動接点を配置した場合には、ブリッジダイオードがフライホイールダイオードとして機能します。ですからフライホイールダイオードを挿入する必要はありません。整流後の DC 側にスイッチを設けた場合、DC 電源と同様にフライホイールダイオードを必要とします。

■3.5. フライホイールダイオード挿入による効果と問題

ダイオードを挿入することで、ソレノイドが発生するサージ電圧は完全に抑えられ、発生することはありません。ノイズ防止、素子保護の観点からは完璧です。フライホイールダイオードは、コイルのインダクタンスに蓄積されたエネルギーを電流の形で放出させます。この電流は、熱として消費されて、エネルギーが消滅するまで流れ続けます。すなわち電流の下降時間が遅くなることとなります。ソレノイドは電流が流れている間は推力を発生し続けますので、この間だけ復帰時間が遅れることになります。アプリケーションによっては問題になることが考えられますので、実作動状態での確認が必要です。

■3.6. ダイオード以外での対策

ツェナーダイオードやバリスタの設定電圧はソレノイドの復帰時間に影響し、高いほど時間短縮効果が大きくなります。ただし、ソレノイド電流を断続するスイッチや、半導体スイッチ素子 (トランジスタや FET) には、電源電圧とツェナーダイオードの設定電圧の合計電圧が加わりますので、素子の耐圧を見直す必要があります。ツェナーダイオードで蓄積エネルギーを損失させるわけですから、ツェナーダイオードは電力用を必要とします。ツェナーダイオードは、片方向素子なのでダイオードと直列に組み合わせて使用しますが、バリスタは極性が無いので単独で使用します。交流回路にも使えます。バリスタには連続して印加できる最大電圧 (最大許容回路電圧) が規定されていますので、電源電圧がこの値を超えないように注意する必要があります。その設定電圧と効果はツェナーダイオードと同じです。スイッチング素子に与える影響も同様です。バリスタは、

<ソレノイドを使う>

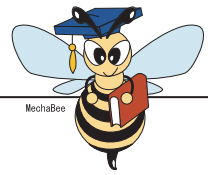
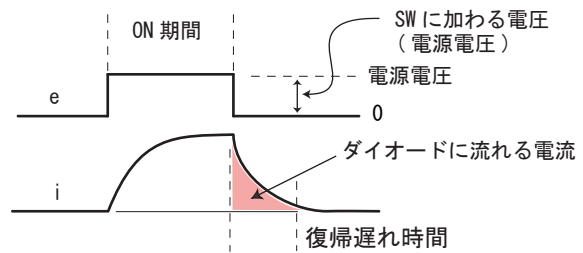
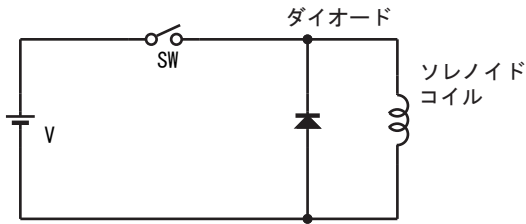
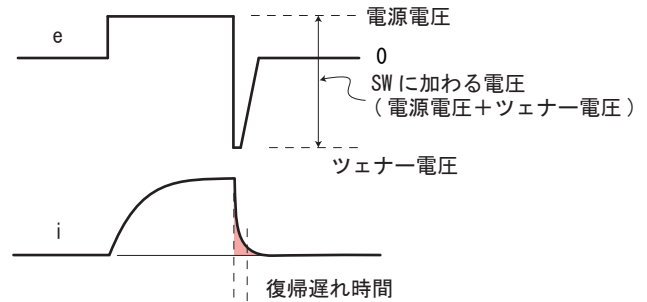
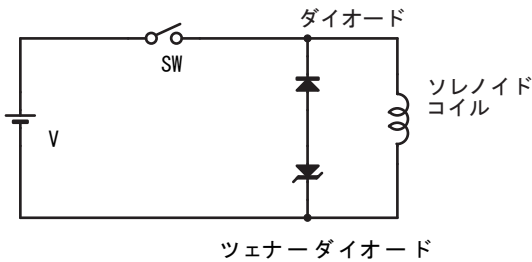


図 3.1. 逆起電力対策回路

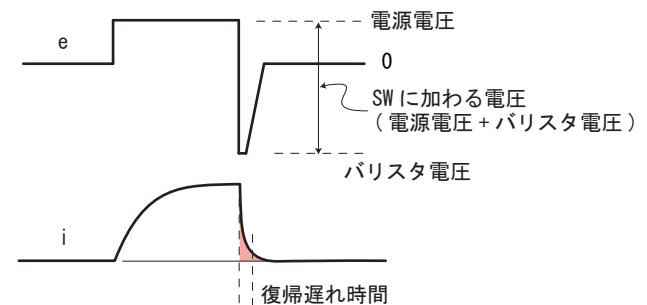
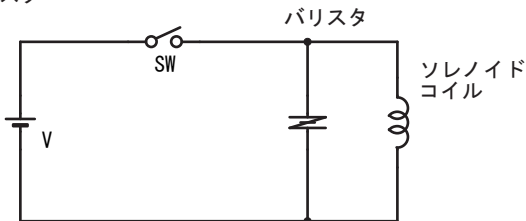
ダイオード



ツェナーダイオード



バリスタ



セラミックバリスタ、酸化亜鉛バリスタなどと呼ばれ、各社から供給されています。

なお、この方法によっても復帰遅れ時間が無くなるわけではなく、短くなるだけですのでご注意ください。

また、CRを使用して火花消去を行う方法もありますが、素子の選定が非常に困難で、確実に効果を得るのが難しく、お勧めできません。

■次号予告

今回は紙面を今までの倍の4ページを用意しましたが、残念ながらここでスペースがなくなりました。

フライホイールダイオードを挿入することによる問題の解決、バリスタの選定方法などは、次号にお伝えすることにいたします。また、自己保持型ソレノイドの駆動方法、比例ソレノイドやSSソレノイドを用いた位置制御などの方法についても、順次掲載していく予定です。また、お客様から頂くご質問への回答をまとめてご紹介することも考えております。今後とも「めかとり通信」にご期待ください。

■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

「めかとり通信」に関するお問い合わせは

2015年9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

新電元メカトロニクスのソレノイドのご用命は