

Converting Manual Waveguide Switch to Motorized Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

手動型導波管切替器の電動化 武安義幸 / JA6XKQ

手動型の導波管切替器 (WG-SW) を電動化した。俊敏な切替え動作と無通電でのポジション保持を実現できた。

はじめに

10 GHz 帯の手動型導波管切替器 (WG-SW) を電動化する相談を受けた。WG-SW は高価な部品で、中古品での入手性も悪いことから、手動型に駆動部を自作して追加したいとの相談であった。当該 WG-SW を EME 用アンテナへの導波管フィーダーの途中に設置し、送受切替えのシーケンサから制御するとのこと。設計目標として下記のポイントを設定した。

- EME での送受切替えを考慮し、切替時間を 150 ミリ秒以下とすること
- 瞬時の切替え時間以外はポジション保持状態であるので、切替え後のポジションを無通電で保持できること
- シーケンサとの連携を考慮すること
- 工作が簡単であること

切替え時間は市販品の仕様値を参考とした。

設計構想 水平対向二気筒エンジン

オリジナルの手動型 WG-SW は、メタル軸受けでポジション保持に永久磁石による吸着を利用している。吸着を引き離すために要する始動トルクは大きく、また、ベアリングではないメタル軸受けの影響で回転時のトルクも比較的大きい。無通電でのポジション保持の観点からは、永久磁石での吸着をそのまま使いたいところである。オリジナルのままの駆動トルクを考慮すると、ラジコン模型用サーボモータとホーンアームで駆動するアイデアが、直ぐに思い浮かぶ。しかし、切替え時間は瞬時とはいかないであろう。

そこで、無通電でのポジション保持と瞬時切替えについて従来から構想していたバネを利

用した機構を、まず実験してみた。図-1 に外観を示す。

図-1 において、アームは WG-SW の回転軸に接続されている。また、アームはバネで引張られている。アームの回転は 90 度に制限されるようにメカニカル・ストッパがある。バネによる引張り方向の関係から、アームが時計の 12 時の方向よりも左側にあれば -45 度へ自動的に固着し、12 時の方向よりも右側にあれば +45 度へ自動的に固着する。駆動としては +/-45 度の回転を与える必要は無く、12 時の前後へアームを駆動する直線運動で良い。図-1 に示すように、駆動には、プランジャを引き込むソレノイドを 2 個用いた。

図-1 の「水平対向二気筒エンジン」方式はシンプルだが、形状の大きさから不採用となった。形状をコンパクトにするには駆動力を回転で得る方式であろうと、ステッピングモータの構造を真似ることを検討した。市販品の WG-SW は、永久磁石のロータを 120 度に配置した二極のステータで駆動するステッピングモータ方式が多く採用されている。これを真似るには、磁極コア周辺の設計と工作が難しいので、ソレノイドと市販の永久磁石の利用を、現物を弄りながら模索した。その結果が、図-2 に示す「V字型二気筒エンジン」である。



図-1 : 電動導波管切替器 - 試作機「水平対向二気筒エンジン」

V字型二気筒エンジン

図-2 に示すように、WG-SW の回転軸にアルミ製のアームを接続する。アームの先端にコイン状の永久磁石を装着する。磁石は片面が N 極、もう一方の面が S 極に磁化されている。ソレノイドの鉄芯には、一本の太い鉄芯ではなく、複数の細い鉄線を束ねて用いた。

ソレノイドが無通电の状態では、アーム先端の磁石がソレノイドの鉄芯に吸着している。磁石が吸着しているソレノイドを、磁石が反発する極性で励磁すると、反発力でアームが回転する。同時にもう一方のソレノイドを同相で励磁しておくと、磁石の逆極を吸着する。二個のソレノイドで磁石の両極をプッシュ・プルする動作となる。逆回転させるには、ソレノイドを逆極性で励磁する。ソレノイドの励磁は回転時のみで、ポジション保持は永久磁石と鉄芯間の吸着であり、無通电で良い。

図-3 に内部構造を示す。二層構造で一層目に駆動構造を実装し、二層目へ回転軸を延長してマクロスイッチによるポジション検出機構を設けている。

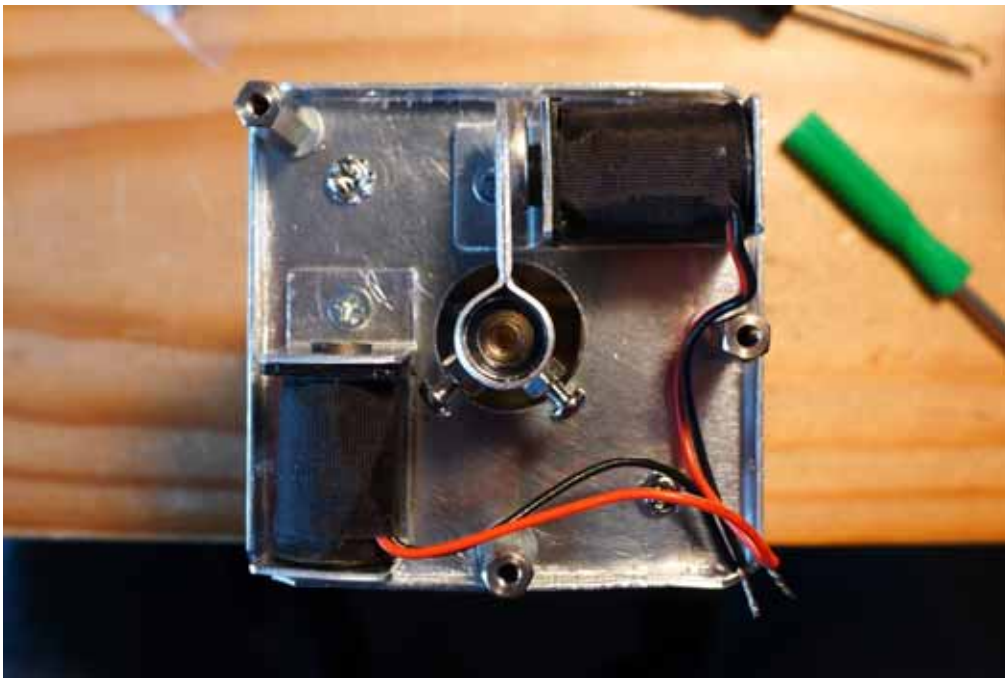


図-2 : 電動導波管切替器 - 「V字型二気筒エンジン」

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

ドライバ

回転方向に応じてソレノイドを逆極性に励磁するため、いわゆる H ブリッジ・ドライバを必要とする。当初は、DC モータの可逆回転が可能な市販の H ブリッジ・ドライバを用いた。回転トルクを稼ぐ目的から、ソレノイドを定格の 4 倍の電流で駆動したところ、トランジスタを使用している H ブリッジ・ドライバでの電圧損失が大きく、期待した回転トルクの増力が得られなかった。100 ミリ秒程度のパルス駆動なので、定格の 4 倍の電流でもソレノイド自体には実害を生じていない。ドライバでの損失改善を図るため、手っ取り早く、トランジスタをリレーで置換することとした。

送信/受信の二値の制御信号を出すシーケンサと連携するために、NE555 で 100 ミリ秒のワンショット・パルスが発生するコントローラを製作した。WG-SW には、正常に切替えが行われていることを示すポジション検出のマクロスイッチを装着した。コントローラでは、マクロスイッチ接点をリレーでバッファリングして、シーケンサへの制御レスポンスとした。シーケンサでは、WG-SW への制御とレスポンスの一致/不一致を検出して安全のためのインターロックを掛ける。

図-4 に完成した WG-SW 外観を示す。切替え時間は実測で約 100 ミリ秒であり、目標を

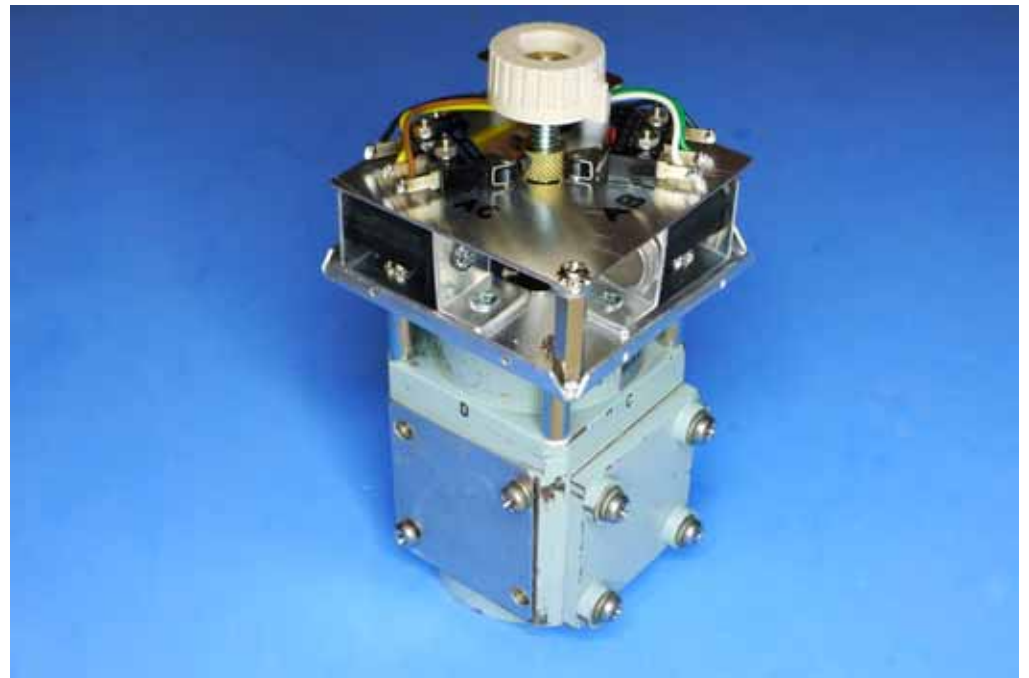


図-3 : 「V字型二気筒エンジン」 - 内部構造

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

達成することができた。駆動の機構自体が自己保持機能を持つので、構造を簡単にすることができた。また、ギア等も使用していないので、**図-4**に示すように、先端のつまみで手動回転も可能である。リモート制御で瞬時に切り替わる様は小気味よい。

ロータリー型二気筒エンジン

前項の「V字型二気筒エンジン」を完成させた後、アンテナのフィード部に設置するWG-SWにも同様な電動化を採用することとなったので、「V字型二気筒エンジン」の製作過程で得た構想を試すことにした。

V字型、つまり直角に配置したソレノイドでは、片方の磁極だけを利用し、もう片方の磁極が無駄になっている。片方の磁極を利用するので、永久磁石を取り付けたアームは回転軸に対して非対称となり、回転に関してバランスを欠いた駆動である。

この欠点は、**図-5**に示すようにトロイダル型(の一部を切り出した)ソレノイドを円形に配置し、二個の永久磁石をアームの両端に配置することで改善できる。**図-6**に、駆動開始時のソレノイドと永久磁石の極性を示す。駆動開始時のソレノイドは、永久磁石と反発する

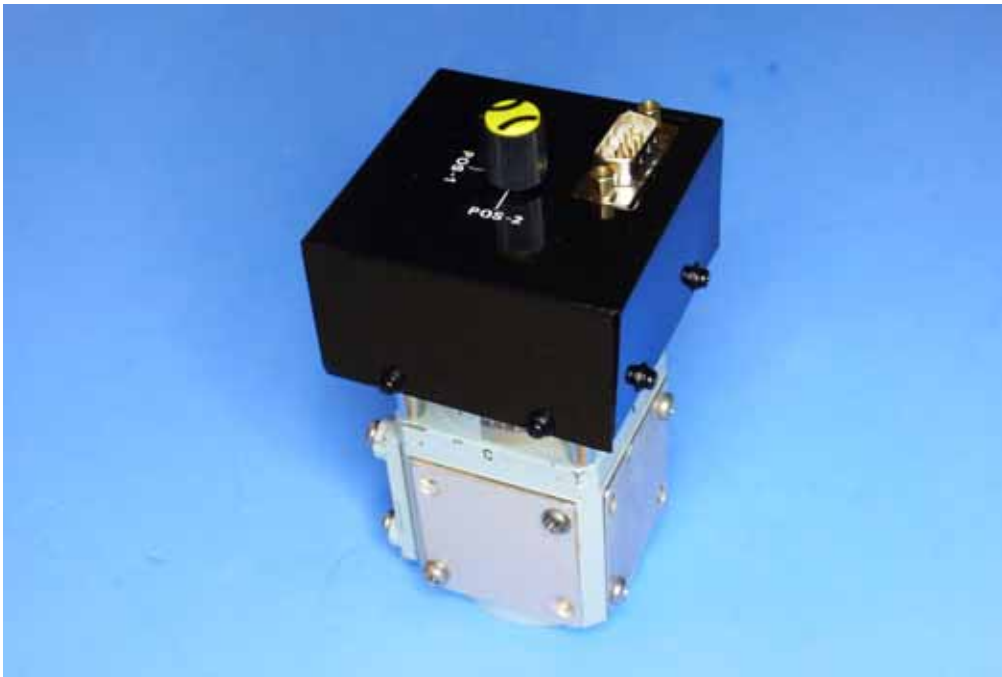


図-4 : 「V字型二気筒エンジン」 - 完成外観

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

ように励磁される。一方、駆動開始時に開放側であるソレノイドの磁極は、永久磁石を吸着するように励磁される。回転軸に対称に配置された永久磁石とソレノイドにより、「V字型二気筒エンジン」に対して二倍のバランス良い駆動力が得られる。なお、逆方向に回転させるには、各ソレノイドを逆極性に励磁する。

「V字型二気筒エンジン」のソレノイドには市販品のコイル部分を流用したが、「ロータリー型二気筒エンジン」ではコイルも自作した。コイルは、細い鉄線をトロイダル状(の一部を切り出した形)にして束ねた直径8mmの鉄芯に、線径0.32mmのポリウレタン線を巻いた。正確な線長と巻き数は計測していないが、5.6の抵抗値から逆算すると、約27mの線長と約660回の巻き数と推定される。永久磁石は、直径12.7mmで2400ガウスと称するものを使用した。

図-7に内部構造を示す。**図-3**と同様に二層構造で一層目に駆動構造を実装し、二層目へ回転軸を延長してマクロスイッチによるポジション検出機構を設けている。フィード部に実装することから防水構造が必要であり、ケースの隙間をRTVシリコーン・ゴムでコーキングする仕上げとした。導波管の接続フランジはOリングを用いた防水となっている。

ドライブは、前項の「V字型二気筒エンジン」と同一回路を用いたパルス駆動である。ソレ



図-5 : 電動導波管切替器 - 「ロータリー型二気筒エンジン」

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

ノイドの電源電圧は、二個のコイルを直列で約 2 A の電流で駆動するために、19.5 V とした。しかし、タワー上の 3 m 径パラボラ・アンテナのフィード部までのケーブルで生じる電圧降下が大きく、19.5 V の電源電圧では駆動にマージンがないことが試運転で判明した。このため、19.5 V を 27 V まで昇圧する DC/DC コンバータをドライバに追加することで対策した。

まとめ

手動型の導波管切替器を電動化するにあたり、永久磁石とソレノイドを用いた駆動方式を試作から三種類製作した。その形状を自動車のエンジンになぞらえて、「水平対向二気筒エンジン」、「V字型二気筒エンジン」、そして、「ロータリー型二気筒エンジン」と称してみた。いずれも、瞬時の切替え時間と無通電自己保持を特長とする。工作をハンド・ツールで賄うことができる構造であり、性能/特長とともに所期の目標を達成することができた。

//

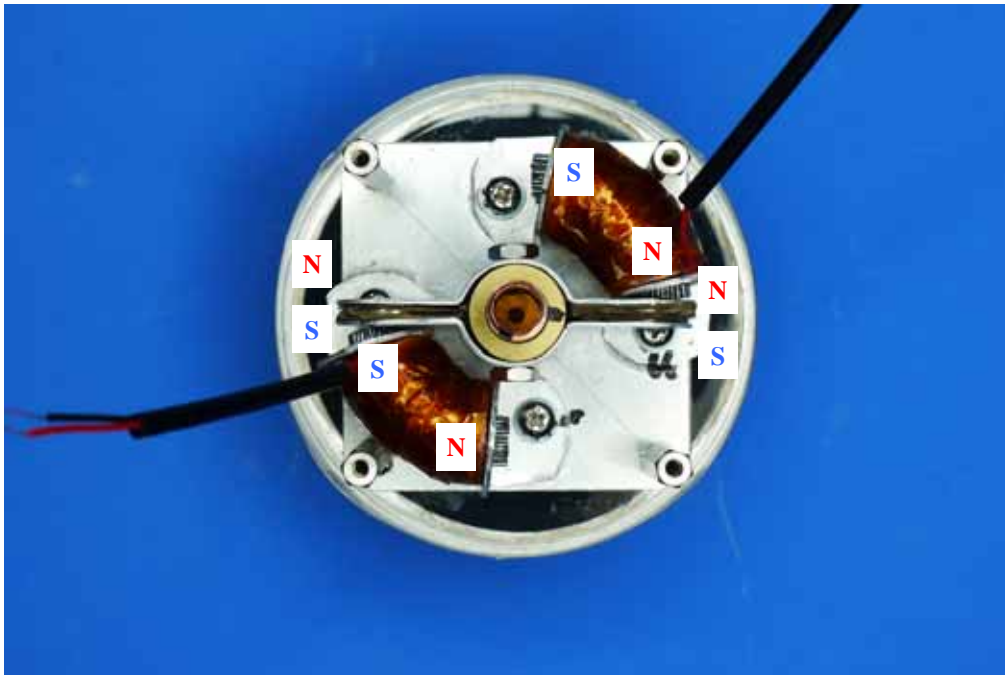


図-6 : 「ロータリー型二気筒エンジン」 - 駆動時の極性

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

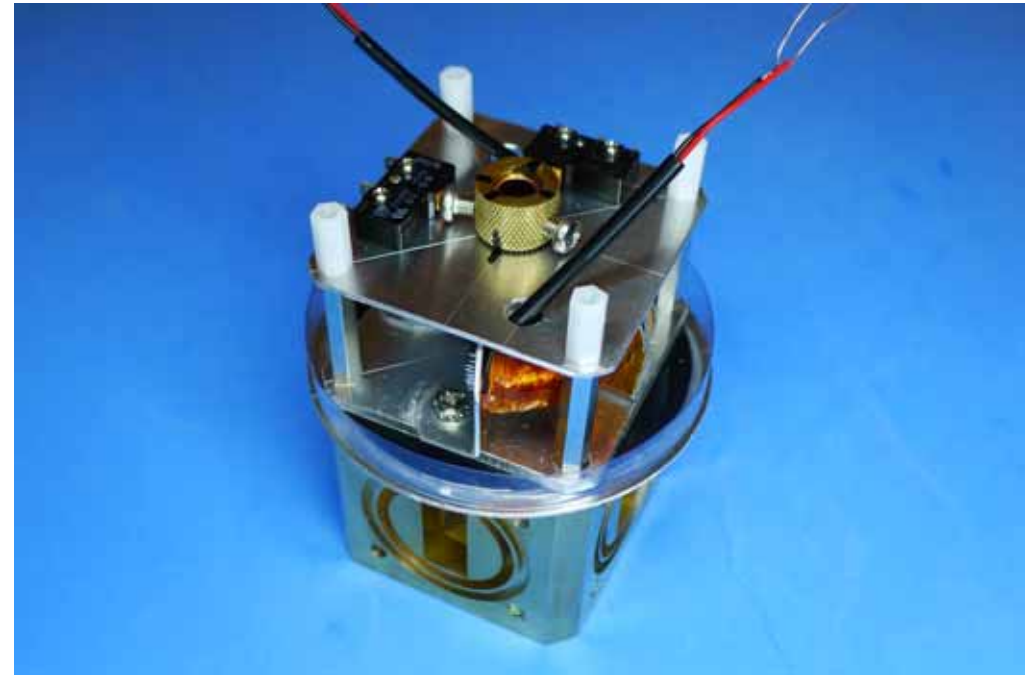


図-7 : 「ロータリー型二気筒エンジン」 - 内部構造

(C) 2018, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ