

メタローチスイッチ (無接点近接スイッチ)

Metaloach Switch (Contactless Proximity Switch)

橋本英明* 中村義彦** 斎藤義雄**
 Hideaki Hashimoto Yoshihiko Nakamura Yoshio Saitō

内 容 梗 概

メタローチスイッチは無接点化した近接スイッチ⁽¹⁾⁽²⁾で、その用途は無限に広がり、あらゆる生産工程に応用できる。一般産業における無接触制御、無接点制御の素子として、高速度、高ひん度、じんあいなどの悪条件下で使用され、独得の性能を発揮している。

本稿は、機械的可動部分および電気的接点を全く持たないメタローチスイッチの動作原理およびその構造、動作特性、特長などについて述べ、さらに付属装置、二・三の応用例についても説明したものである。

1. 緒 言

メタローチスイッチは金属(Metal)が近接(approach)すると動作するという意味で“Metaloach Switch”と命名されたもので、無接点化した近接スイッチの日立商品名である。

最近、無接点制御の普及に伴い、トランジログ⁽³⁾(トランジスタ式論理制御素子)、ヒタログ⁽⁴⁾(磁気増幅器式論理制御素子)などの無接点リレーが開発された。これら論理制御素子に入力信号を与える器具が従来の接点式リミットスイッチである場合にはもはや動作速度、動作ひん度などの点で性能的に満足されないことが多くなってきた。また工作機などにおいて運転の高速度化に伴い、これに用いられる各種リミットスイッチも当然高速度、高ひん度の操作に耐えることが要求される。すなわち機械的接触部分および電気的接点を有するリミットスイッチでは保守点検、交換作業に難儀する場合があります、これを無接触、無接点のスイッチと交換したいという要求がある。

このような無接点制御、無接触制御の要求を満たすため開発されたのがメタローチスイッチで、トランジログ、ヒタログなどと組み合わせて使用するときには制御回路の完全な無接点化が実現できる。また一般的には付属のメタローチスイッチ電源箱と組み合わせて使用し、回路構成は従来のリミットスイッチと同一のまま無接触制御を行なうことができる。

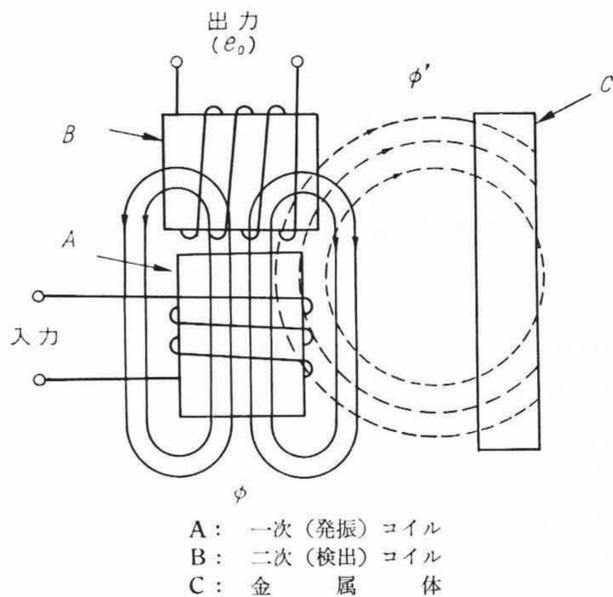
さらに無接触で磁性、非磁性の別なく、任意の金属を検出して動作するという特性を利用して、従来のリミットスイッチにはなかった新しい各種の制御が可能になる。

2. 動作原理

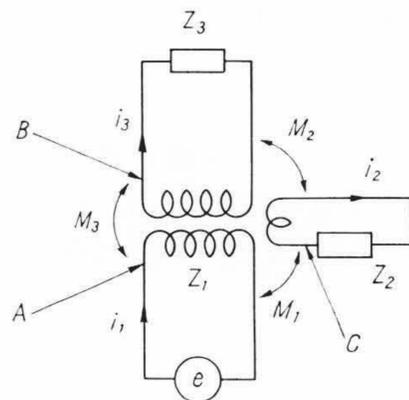
この種無接触式の近接スイッチにおいては各種の検出方式があるが、この装置においては第1図に示すように、発振コイルと直角方向に配置された検出コイルをもつ方式を採用している。

第1図においてA、B二つのコイルが互いに直角方向に配置され、中心軸に対して対称であるとし、入力交流電流による磁束 ϕ もまた図のように中心軸に対して対称に貫通するというように理想化して考えると、通常コイルBの出力端子には電圧が生じないことになる。ここで金属片Cを接近させるとCには ϕ の変化によって渦電流が流れるから、この電流によってたとえば図の ϕ' に示すような磁束が生じたとすると、コイル周辺の磁界が乱され、Bコイルと鎖交する磁束は非対称となるため、Bコイルの端子には電圧 e_0 が生ずることになる。

以上の関係を等価回路として考えると第2図が得られる。図にお



第1図 検出コイル原理図



第2図 検出部等価回路

いて i_1, i_2, i_3 はそれぞれ入力電流、渦電流および出力電流をあらわすものとし、また Z_1, Z_2, Z_3 をそれぞれの回路におけるインピーダンスとする。各コイル間の相互インダクタンスを M_1, M_2 および M_3 とすると

$$\left. \begin{aligned} Z_1 i_1 + M_1 P i_2 + M_3 P i_3 &= e \\ M_1 P i_1 + Z_2 i_2 + M_2 P i_3 &= 0 \\ M_3 P i_1 + M_2 P i_2 + Z_3 i_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ただし各インピーダンスにおいて

$$Z = LP + R$$

L: 自己インダクタンス

R: 抵抗

P: 微分演算子

が得られる。ここでA、Bコイル間の結合係数がきわめて小さく $M_3 \approx 0$ であるとするとき電流 i_3 は

$$i_3 = \frac{M_1 M_2 P^2}{Z_1 Z_2 Z_3 - Z_1 M_2^2 P^2 - Z_3 M_1^2 P^2} \cdot e \dots\dots\dots (2)$$

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所日立工場

となる。すなわち出力電流 i_3 は A, C および B, C 間の相互インダクタンス M_1, M_2 によって変化する。この結果より本検出方式は、被検出金属を接近させたことによってそれに流れる渦電流の変化に基づく検出部相互インダクタンスの変化を利用したものであるといえる。出力端子電圧は増幅、波形整形回路をへて負荷に供給される。

この装置においては、接近する金属の磁性、非磁性にかかわらず動作するものであるが、いまこれに対する考察に便なるよう、 y 軸および z 軸の方向に無限の広さをもつ平板状の金属体を考える。板の厚みを $2d$ とし、厚みの方向に x 軸をとり直角座標の原点を板の中心とし、 z 軸の方向に交番磁界 H が一様に加えられる場合をとる。金属板には磁界の変化によって起電力を生じ渦電流が発生する。渦電流を i とすると周知のように

$$\left. \begin{aligned} i &= -\frac{1}{4\pi} \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \\ \frac{d^2 H}{dx^2} &= \gamma^2 H \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \gamma &= q(1+j) \\ q &= 2\pi\sqrt{\frac{\mu f}{\rho}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

より、中心から任意の距離における電流 $|I|$ は

$$|I| = \frac{1}{4\pi} \sqrt{2} H_0 q \sqrt{\frac{\cosh(2qx) - \cos(2qx)}{\cosh(2qd) + \cos(2qd)}} \dots\dots (5)$$

として表わされる。

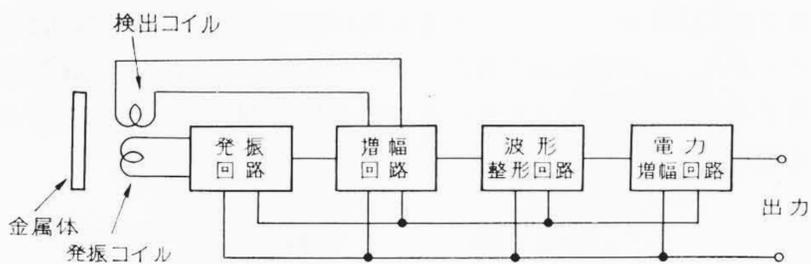
- ここに ρ : 金属板の固有抵抗
- μ : 金属板の透磁率
- f : 交番磁界の周波数
- H_0 : $x = \pm d$ における H

この結果より金属板に生ずる渦電流は、 q すなわち板の固有抵抗、透磁率などによって異なるが、また交番磁界の周波数によって大きな影響をうけることがわかる。

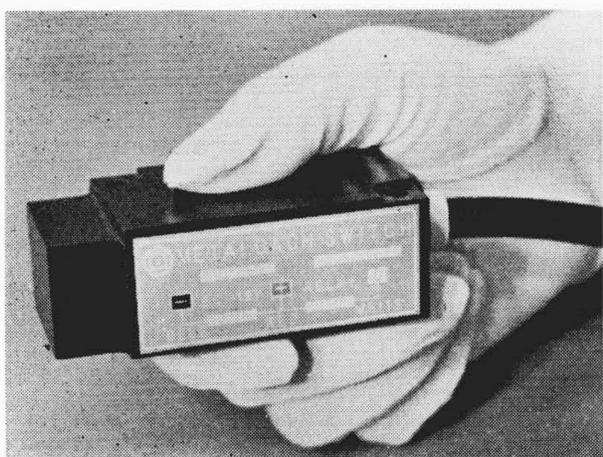
この装置においては磁界周波数を適当に選定することにより、近接する金属板の磁性の有無にかかわらず動作せしめるようにしている。

3. 装置の回路および構造

装置は第3図の系統図に示すように発振、検出コイル、発振回路、増幅回路、波形整形回路および電力増幅回路より構成される。



第3図 系統図



第4図 メタローチスイッチ外観

第1表 メタローチスイッチの標準仕様

形 式	KLS-M01	
動作距離 (at 25°C)	磁性金属 (30 mm × 30 mm)	5 ± 2 mm
	非磁性金属 (30 mm × 30 mm)	7 ± 2 mm
周囲温度	-5°C ~ +55°C	
応答時間	動作	10 μs
	復帰	200 μs
入 力	12 VDC 20 mA (最大)	
出 力	11.5 VDC 10 mA (最大)	
電 源	12 VDC 電源 または第2表メタローチスイッチ電源箱	

回路はすべてトランジスタ化され、プリント配線基板に取り付けられている。

コイル部分に金属板が接近すると、第2章に述べたように、金属板の影響により、検出コイルには電圧が誘起される。この誘起電圧を増幅回路にて一段増幅したのち、波形整形回路(シュミット回路)にて方形波状の出力とし、スイッチとしてのスナップ特性を持たせている。負荷には最終段の電力増幅回路で増幅された出力が供給される。

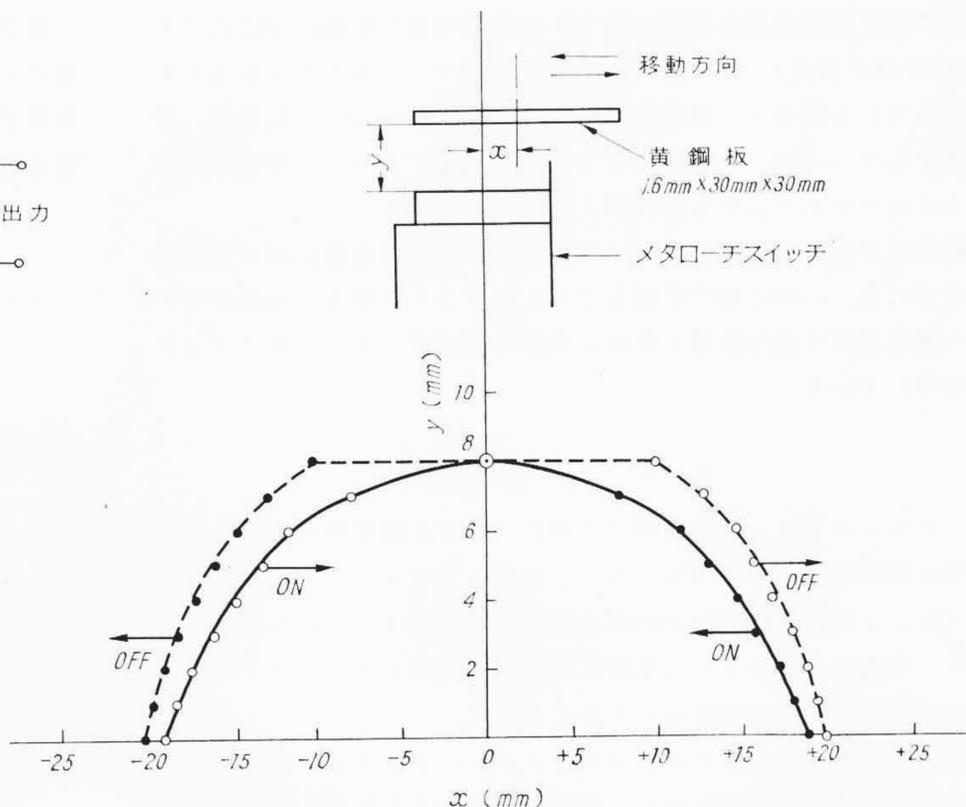
第4図はメタローチスイッチの外観を示す。装置全体を樹脂モールドすることにより、振動、衝撃、じんあい、水滴、湿気、有害ガスなどより回路部品を保護すると同時に、発振コイルと検出コイルの相対的位置の変動を防止している。側面の銘板には外部回路への接続方法が銘記されている。

4. 標準仕様および動作特性

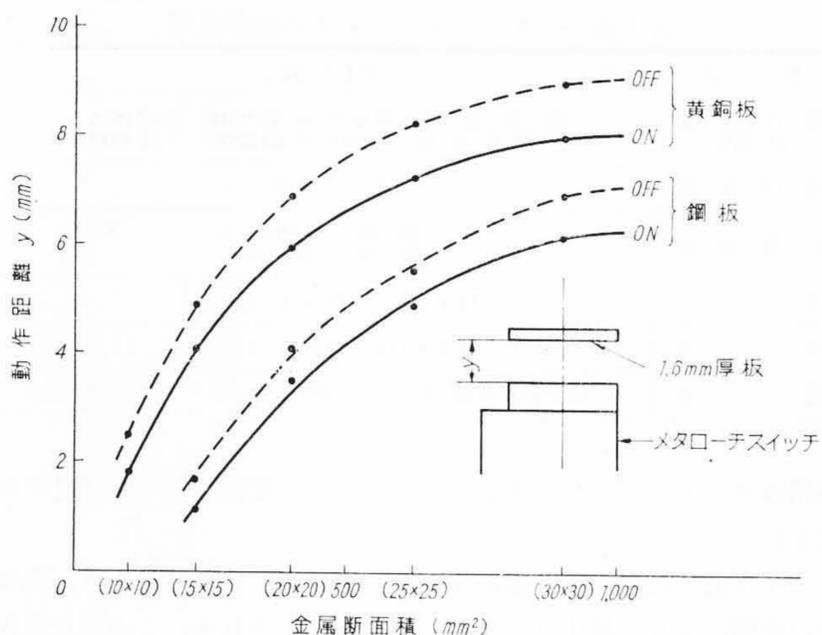
メタローチスイッチの標準仕様を第1表に、動作特性の一例を第5~7図に示す。

第5図の二次平面における動作特性は y 軸に関して左右対称な特性となっている。“ON”位置を示す実線と“OFF”位置を示す点線の間には数mmの差が生じているが、これはヒステリシス特性を示すもので、シュミット回路の特性に由来している。ヒステリシス幅はシュミット回路の定数を変更することにより変えることができる。

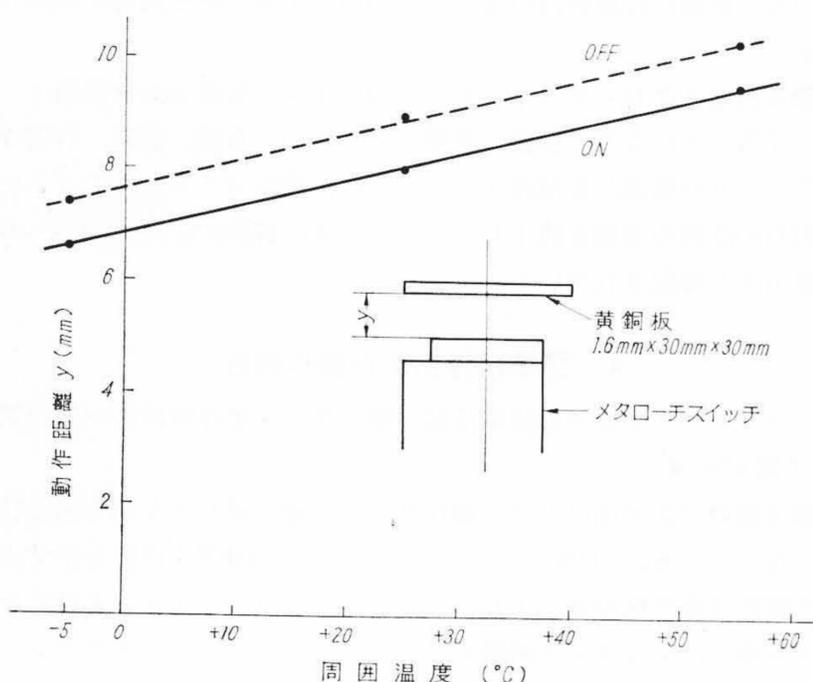
第6図は金属板の断面積および材質による動作距離の変化を示す。厳密には金属の材質により動作距離は異なるが、非磁性体の場合はほぼ図の黄銅板と同一の特性を示し、磁性体の場合は図の鋼板



第5図 二次平面 (x, y) における動作特性 (at 25°C)



第6図 金属断面積による動作距離変化特性 (at 25°C)



第7図 周囲温度による動作距離変化特性

とほぼ同一の特性を示す。金属板の断面積により動作距離は大きく変動するが、板厚にはほとんど左右されず、数 μ の金属はくでも検出可能である。

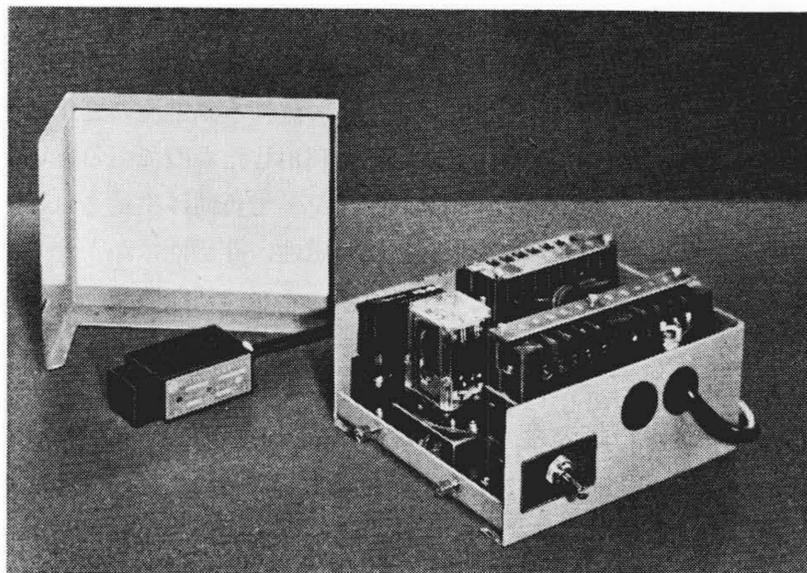
第7図に周囲温度の影響を示す。 y 方向の動作距離は 1°C につき約 0.05 mm 変化している。標準品はゲルマニウムトランジスタを使用している関係上、使用温度範囲は $-5^\circ\text{C}\sim+55^\circ\text{C}$ であるが、特殊形として $-20^\circ\text{C}\sim+70^\circ\text{C}$ まで使用可能なシリコントランジスタ式メタローチスイッチも製作納入している。

標準品の動作距離は約 7 mm であるが、被検出金属体が大形となる場合には、一般に動作距離もより大なることを要求されるので、この種用途には動作距離 100 mm 程度の高感度メタローチスイッチを製作している。

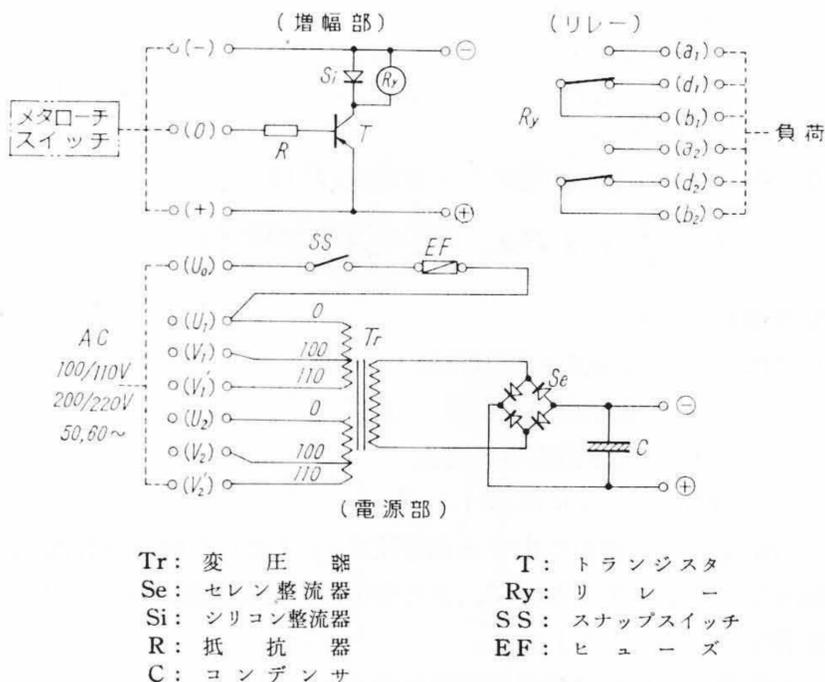
5. 付 属 装 置

メタローチスイッチを使用する場合、まず直流電源の有無および負荷の種類を検討せねばならない。負荷としてヒタログ、トランジログなどを用い無接点制御回路を構成する場合は、これらの無接点リレー用に特に設計された定電圧直流電源(たとえばトランジスタ式定電圧装置)を共用することができる。

従来の接点式リミットスイッチをメタローチスイッチで置換する場合には負荷が接点式リレー、電磁接触器などとなる場合が多い。このような用途には付属装置としてメタローチスイッチ電源箱が必



第8図 メタローチスイッチ電源箱



第9図 メタローチスイッチ電源箱接続図

要になる。第8図はメタローチスイッチ電源箱の外観を示す。第9図はメタローチスイッチ電源箱の接続図である。商用電源を入力とし、DC 12 V の出力をうる電源部、メタローチスイッチの出力を増幅する増幅部、メタローチスイッチの“ON”、“OFF”を接点の“ON”、“OFF”に変換する電磁リレーの三部分より構成される。

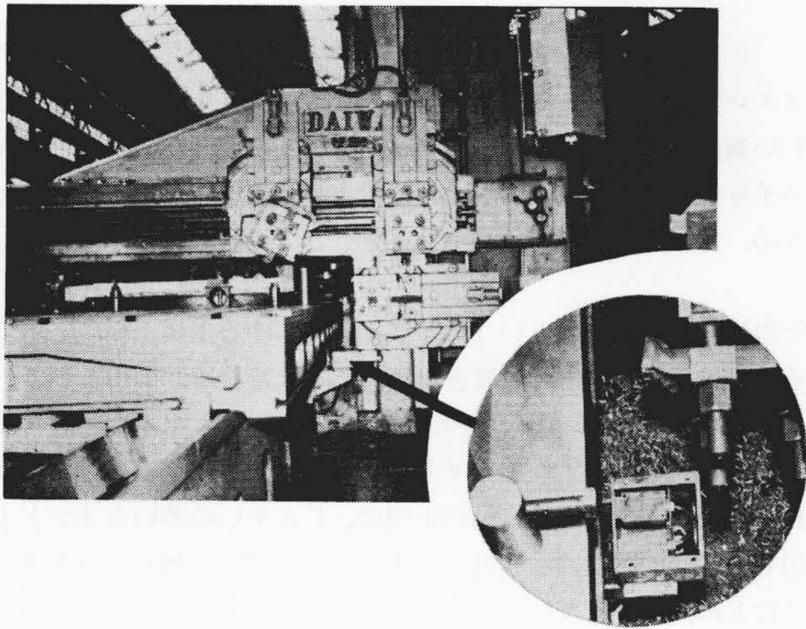
第2表にメタローチスイッチ電源箱の標準仕様を示す。表中に記載のとおり、この電源箱1個にメタローチスイッチ1個を接続して使用するが、複数個のメタローチスイッチが同時に使用できる電源箱も別に製作している。

6. 特 長

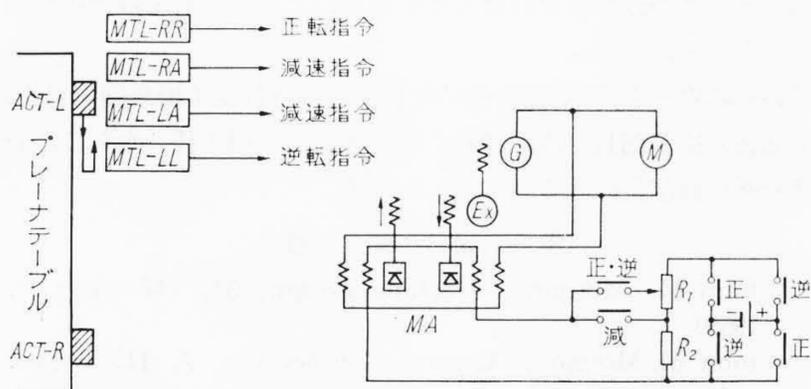
メタローチスイッチが従来の接点式リミットスイッチと根本的に

第2表 メタローチスイッチ電源箱の標準仕様

形 式		KLS-P ₁	
入力電圧, 周波数		AC 100/110V または 200/220V : 50, 60 \sim	
接 続		メタローチスイッチ 1個	
リ	接 点 容 量	200 VAC 2 A	100 VDC 0.2 A
	接 点 構 成	双 極 双 投	
レ	応 答 時 間	動 作	4 ~ 15 ms
		復 帰	2 ~ 15 ms
1	耐 圧	1,500VAC 50, 60 \sim	
	(注)	メタローチスイッチ出力はパワートランジスタによって増幅されたのち、このリレーを駆動する	



第10図 プレーナテーブル正逆転制御



MTL-RR, MTL-RA, MTL-LA, MTL-LL; メタローチスイッチ
 ACT-R, ACT-L; 作動子(金属片)
 MA: 磁気増幅器 Ex: 励磁機
 G: 直流発電機 M: 直流電動機

第11図 プレーナテーブル正逆転制御説明図

異なる点は無接触で動作することである。この特長を具体的に説明すると、

- (1) 金属体は形状および種類の別なく、任意の方向から接近しても検出できる。
 - (2) 可動部分が全くなく、操作力を必要としない。また磁性金属体に対しても吸引力を生じない。
 - (3) 小形で堅ろう、かつ高感度である。
 - (4) 樹脂モールド構造のため、振動、衝撃などは特性に全く影響を及ぼさない。また完全な防滴、防湿、防じん、防食形の構造である。
 - (5) 検出コイルとトランジスタ回路は一体として組み込まれ、出力は増幅された後継電されるため外来雑音の影響を受けにくい。
 - (6) トランジスタ化されているため、高ひん度、高速度の制御に適し、無保守で長い寿命を保証できる。
 - (7) メタローチスイッチ出力にて、直接無接点リレー(ヒタログまたはトランジログ)を動作することができる。
 - (8) 付属装置のメタローチスイッチ電源箱と組み合わせて使用することにより、従来の接点式リミットスイッチと簡単に置換できる。
- などをあげることができる。

7. 応 用 例

7.1 プレーナテーブル正逆転制御

工作機には一般に多数のリミットスイッチが使用され

ている。ところが最近の工作機は高速化、高ひん度化の傾向が著しい。そのため機械的接触部分を有するリミットスイッチの保守や寿命が問題視されるに至った。この問題を根本的に解決するためには無接触のスイッチを用いざるを得ない。

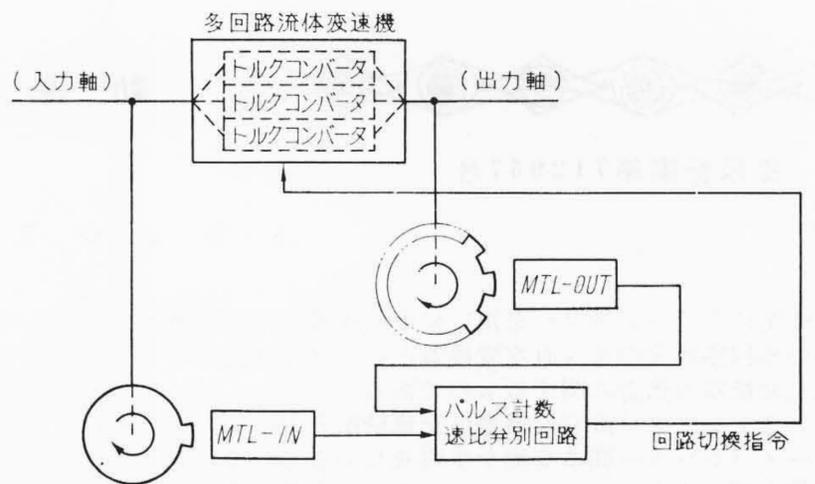
第10図はメタローチスイッチをプレーナテーブル正逆転制御に使用した例で、大和重工株式会社に納入したものである。その回路の概略を第11図に示す。

テーブルには金属板の作動子 ACT-L および ACT-R が所定のストロークで配置されている。作動子 ACT-L はまずメタローチスイッチ MTL-LA を通過する。その際 MTL-LA は“ON”となり減速指令を発し、テーブルは減速される。次いで ACT-L はメタローチスイッチ MTL-LL を通過する。MTL-LL は逆転指令を発するため、逆転側の接触器が投入され、MA→Ex→G の順に出力の極性が逆転され電動機Mしたがってテーブルは逆転される。テーブルが所定のストロークだけ移動すると、作動子 ACT-R がメタローチスイッチ MTL-RA, MTL-RR を次々に通過し、前述と同様にして移動方向は反転される。なおテーブルの運転ストロークは作動子 ACT-L と ACT-R の間隔を調整することにより任意に決定できる。

7.2 回転速度比検出装置

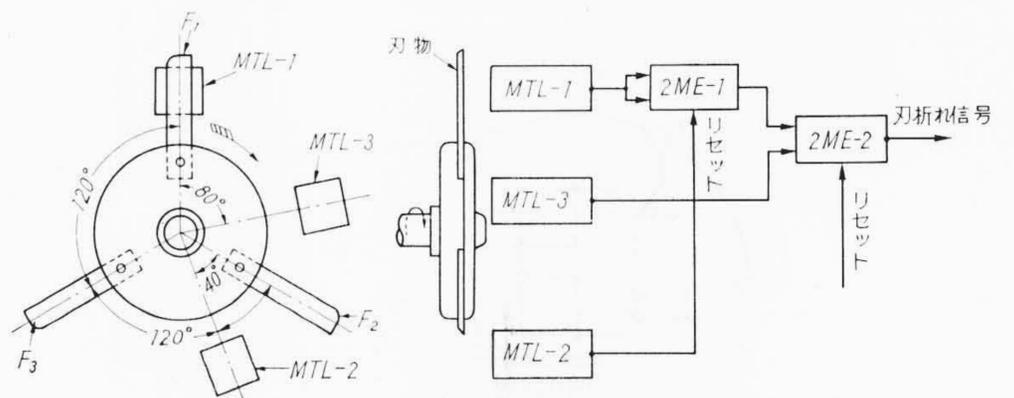
メタローチスイッチの応答速度が非常に速い点に着目した応用例として、高速回転軸の回転数検出装置をあげることができる。第12図は日本国有鉄道に納入した多回路流体変速機の入出力軸回転速度比検出装置を示す。この装置は DD-51 形ディーゼル機関車に使用されたものである。

2個のメタローチスイッチ MTL-IN と MTL-OUT はそれぞれ外周上に一定数の歯を有する金属円板と対向して設置される。入力軸に結合された金属円板の歯数は1で、出力軸に結合された金属円板の歯数は15である。したがって、MTL-IN は入力軸の1回転ご



MTL-IN, MTL-OUT; メタローチスイッチ

第12図 回転速度比検出装置説明図



F1, F2, F3; カッタ刃物
 MTL-1, MTL-2, MTL-3; メタローチスイッチ
 2ME-1, 2ME-2; トランジログ記憶素子

第13図 双折れ検出装置説明図

とに 1 個のパルスを、MTL-OUT は出力軸の 1 回転ごとに 15 個のパルスを発信する。これら 2 個のメタローチスイッチより発信されたパルス数をトランジスタ化された計数回路にて計数し、入出力軸の回転速度比を弁別する。入出力軸の回転速度比に従ってトルクコンバータ回路を切り替え、多回路流体変速機が全体として常に高効率にて運転するよう制御している。

入力軸の最高回転数は 4,000 rpm で、金属円板の周速にして 12 m/s になる。なおメタローチスイッチとしては周速 60 m/s まで動作試験を行なっている。

7.3 刃折れ検出装置

第 13 図はメタローチスイッチを応用した工作機カッタの刃折れ検出装置を示す。カッタは 3 本の対称な刃物を有し矢印方向に回転している。正常時においてはメタローチスイッチは MTL-1, MTL-2, MTL-3 の順にパルスを発信するように配置されている。まず MTL-1 がパルスを発信すると、トランジログ記憶素子 2ME-1 が“ON”となりその出力は記憶される。次に約 40 度回転すると MTL-2 がパルスを発信し、2ME-1 をリセットするため、2ME-1 の出力は“OFF”となる。さらにカッタが約 40 度回転すると MTL-3 がパルスを発信するが、2ME-1 の出力が“OFF”された後のため、2ME-2 は出力“OFF”の状態を持続する。

いま刃物 F_2 が折れた場合を考えると、上述の過程において、MTL-2 が“ON”とならず、2ME-1 の出力は“OFF”されない。したがって MTL-1 に続き MTL-3 がパルスを発信し、2ME-2 には同時に 2 入力が存在するため、2ME-2 の出力は“ON”となり、刃折れ信号を発する。なお 2ME-2 のリセット端子にリセット信号を加えることにより、刃折れ信号はリセットされ、平常状態に復帰する。

8. 結 言

メタローチスイッチは無接点化した近接スイッチで、近年普及の著しい無接触制御、無接点制御には欠くことのできない新しい形式のスイッチである。機械的可動部分および電氣的接点を全く持たないため、無保守で寿命が非常に長いというすぐれた特長を備えている。

その用途はほぼ無限というに等しく、あらゆる生産工程に応用できる。付属の電源リレー装置と組み合わせた無接触制御用として、また無接点リレー(ヒタログまたはトランジログ)と組み合わせた無接点制御用として、工作機用リミットスイッチをはじめ、コンベヤの自動制御、クレーンの自動停止制御、じんあいの多いセメント工場用各種操作開閉器、耐食性を要求される化学工場用リミットスイッチなどに使用されている。

現在量産中のメタローチスイッチ標準品は動作距離が約 7 mm であり、さらに高感度化の要求も多いため動作距離約 100 mm 位まで製品シリーズの標準化を行なっているが、これに関しては別の機会にゆずることとする。

終わりにのぞみ、ご指導を仰いだ日立製作所日立工場泉副工場長、平川部長、桧垣部長、藤木課長、橋本課長、松村主任、ならびに日立研究所小林部長に厚くお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) John M. Morgan: Machine Design, 31, 147 (Aug. 6. 1959)
- (2) John M. Morgan: Control Engineering, 7, 115 (April. 1960)
- (3) 佐野, 吉田: 日立評論 44, 1162 (昭 37-8)
- (4) 佐野, 松村: 日立評論 別冊 34, 104 (昭 35-2)



新 案 の 紹 介



登録新案第 712957 号

小 宮 山 茂 雄

ト ラ ン ジ ス タ 直 交 変 換 器

本案はトランジスターを用い従来の機械的直交変換器の用いられている回路にそのまま直交変換器として変換可能なトランジスター直交変換器の構造に関するものである。

トランジスター直交変換器は交流励振入力によって、そのエミッター・コレクター間に交流を生成せしめるものである。

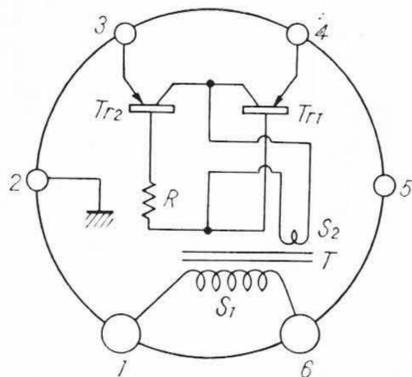
第 1 図は本案のトランジスター直交変換器の構造略図を示すもので、 Tr_1, Tr_2 は pnp トランジスター、 R は抵抗、 T はトランス、 S_1 は励振交流を加える一次巻線、 S_2 はトランジスターのベース・コレクター間に加えられるように接続されたトランスの 2 次巻線であ

る。

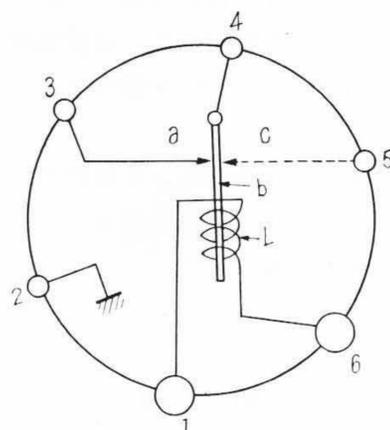
第 2 図は従来の機械的直交変換器の構造略図で、 a は接点、 b は可動体、 L はコイル、 c は必要に応じて用いる補助接点である。

従って、上図に於いて、差込み足 3, 4 間には直流電源が負荷を通して接続され、1, 6 間には交流励振電圧が印加される。

この様な本案によれば、従来の機械的直交変換器に回路のインピーダンス等多少考慮すれば、そのまま差換え可能なトランジスター直交変換器が提供出来る。(中 村)



第 1 図



第 2 図