磁性流体を利用したチルトスイッチ

TDK (株) フェライト事業部 小田川良基

TDK (株) 開発研究所 若山 勝彦

Yoshimoto Odagawa and Katsuhiko Wakayama: Tilt Switch using Magnetic Fluid.

With highly developed electronic instruments abounding and an avalanche of information being communicated these days, the need for sensors is increasing. Sensors are needed, among others, in the place where safety or security is prerequisite and for systems where they are needed to attain particular purposes required for each system. We developed a Tilt Switch using Magnetic Fluid. It detects an angle of tilt with high accuracy and reliability. Conventional tilt switches were mainly a mercury applied type or a mechanical type. This Tilt Switch is made possible by magnetic ally levitating using the metallic magnetic fluid developed by our own technology. The movement and tilt of the levitated metallic magnetic fluid provides a switching function. Our metallic magnetic fluid has excellent characteristics. It has high flux density resulting in strong magnetic levitation and its flux tends to be concentrated making it possible to detect tilt angle with high sensitivity and accuracy.

(Received June 30, 1989)

1. まえがき

センサはいろいろな分野で利用されており、センサ技術によってシステムの性能、特徴が決まってしまうとまで言われている。急速に発展するエレクトロニクス機器、コンピュータ通信システムなどにおいて、センサは不可欠で、センサ技術の適用は広がる一方であり、その役割は重視されていく傾向にある。そこで筆者らはこれらの機器、装置等に組みこまれている傾斜スイッチに着目した。

従来、傾斜を感知するスイッチとしては水銀式、振り子式が良く知られているが、精度が低く、経年変化が大きい、衝撃に弱い、不要になった時の水銀の処理の問題点がある。そこで筆者らはこれらの欠点を補う為に磁性流体を利用し、高精度、長寿命の傾斜スイッチを開発したので報告する。

2. スイッチの構造

本チルトスイッチはFig.1 に示すように永久磁石と磁性流体を完全密封したケースとその真下に位置する縦に配置したリードスイッチで構成されている。リードスイッチを取付けたリードスイッチホルダーは本体ケース内で鉛直方向に摺動できるようになっており、リードスイッチに与える永久磁石からの磁界の強弱を調整出来る。磁性流体が被着した永久磁石は底面より浮上するという現象を利用して、永久磁石はケース内で自由に動ける状態となっている。

Fig.1 Structure of Tilt Switch.

3. 動作原理

本スイッチはリードスイッチで回路を開閉する構造になっている為、これを駆動させる永久磁石とどのように組み合わせるかが重要なポイントである。

リードスイッチを永久磁石で駆動させる場合、リードスイッチの種類、感動値、開放値、加工状態および永久磁石の材質、形状、着磁状態により特性(ON/OFF領域)が異なる。

従来ではリードスイッチの接点部を中心にして永久磁石を移動、あるいは回転させてリード端子にN極とS極を誘起させる。この磁氣的吸引力により作動し（接点閉の状態）、磁界が取除かれるとリードの弾性により復旧し、回路が開くのが一般的な方法である。本スイッチではFig.2 に示すように片側のリード端子のみにN極（あるいはS極）を誘起させる方法を考案した。リード端子に感動値以上の磁界が加わっているとき（永久磁石がリード端子に近いとき）、リードスイッチの接点は閉、開放値以下のときは（永久磁石がリード端子から遠ざかっているとき）は接点は開の状態となる。この原理を本チルトスイッチに應用するとFig.3 のようになり、水平時と傾斜時のリードスイッチと永久磁石の位置関係を示している。水平時はケースが傾いていないときの状態であり、底面中央部の平面が水平になっている。このとき永久磁石はリード端子の真上にあるため、磁気に影響されてN極に帯磁して、接点部はS極となる。さらに、そのS極に接近している一方のリード端子の端がN極に帯磁するため、両リードは互いに吸引し合って接続することになる。次に水平時からケース底面と側面に至る傾斜面 θ 以上にスイッチが傾斜した状態では永久磁石はその自重により中央部から側面に急速に移動する。このとき、リード端子は永久磁石の磁気の影響範囲から外れ、帯磁がなくなり、磁気吸引力が消滅してスイッチが開くことになる。

Fig.2 Switching of Reed Switch.

Fig.3 Movement of Magnet and Mag. Fluid.

4. 磁性流体の選定と製法

前項に述べたように永久磁石とリード端子に強い磁氣的吸引力が働くため、これに打勝つだけの高い飽和磁化とケース内で永久磁石が円滑に移動させるための低粘性の磁性流体が必要であることが予想された。そこで我々は本スイッチに最適な磁性流体を選定するために従来の酸化磁性流体と金属コバルト微粒子を分散した金属磁性流体を用いて実験を行った。用いた磁性流体の特性をTable 1 に示す。

Table 1 Property of Magnetic Fluid.

	Sat. Magnetization	Density	Viscosity
Kind of Fluid	emu/g	g/cm ³	c. p.
Co mag. Fluid①	61.8	1.55	19.8
Co mag. Fluid②	41.4	1.15	5.3
Co mag. fluid③	21.8	1.09	3.1
Fe ₃ O ₄ mag. Fluid	18.1	1.32	40.0

・金属磁性流体の製法

飽和磁化を大きくするためには分散粒子濃度を高くするか粒子自身の大きい材料を用いれば良い。前者の場合、粒子濃度が高すぎるとペースト状になるため、飽和磁化の大きい磁性流体の製造は困難となる。そこで飽和磁化の大きい粒子、例えばFe、Co、Niなどの金属系材料を用いた金属磁性流体の開発が行われるようになった。^{2) 3)}我々は以下に示すCoカルボニルの熱分解法によるCo金属磁性流体の開発を行った。

分解反応

Co(CO)をポリグリセリンやソルビタンの脂肪酸エステルを溶解してあるケロシンやトルエンの炭化水素媒体中に懸濁させる。媒体を還流しながら、COガスの発生が無くなるまで反応を行う。冷却後、遠心分離を行い沈澱物を取除く。Fig.4にCo磁性流体の電子顕微鏡写真を示す。粒子が均一で、しかも単分散していることがわかる。Fig.5に密閉中及び空气中に放置したときの飽和磁化の経時変化、Fig-6に低温貯蔵(-40℃)、高温貯蔵(+80℃)での飽和磁化の経時変化を示す。解放系では時間と共に劣化しているが、密閉中では全く変化していない。また高、低温でも安定であることがわかる。

Fig.4 Photo by TEM.

Fig.5 Change of Magnetization of Co Metallic Magnetic Fluid vs Time.

Fig.6 Change of Magnetization of Co Metallic Magnetic Fluid vs Time (in sealed up).

5. 結果

Fig.7に4種類の磁性流体を用いたチルトスイッチの応答角度の経時変化を示す。酸加物磁性流体と飽和磁化が低いCo金属磁性流体は応答角度が不安定である。これはリード端子と永久磁石間の磁氣的吸引力が、磁性流体の永久磁石を浮上させる力よりも強く、安定点に達するまでに永久磁石がリード端子側に引寄せられていることを示している。飽和磁化の高いCo金属磁性流体では逆に永久磁石を浮上させる力が強いので初期の段階から安定点に位置していると考ええる。

Fig. 8 は Fig. 7 の実験結果から得られた最適な磁性流体 (C o 金属磁性流体②) を用いて試作したチルトスイッチの永久磁石とリード端子の距離による応答、復帰角度の違いについて測定したものである。この図の距離はリード端子とケース外側底面間を表している。距離を変えることによって応答角度を自由に設定することができる。また、C o 金属磁性流体の注入量のバラツキ、リードスイッチの個々の感動値、解放値のバラツキを吸収することもできる。

Fig. 7 Change of response angle vs Time

Fig. 8 Response angle and return angle vs distance from wire

これらの結果から高飽和磁化のC o 金属磁性流体を用いることにより、高精度で安定なチルトスイッチを開発することができた。また、傾斜角度だけでなく、fig. 9 に示されているように、振動（加速度）に対しても非常に敏感に応答することから、振動検知スイッチとしての用途も考えられている。

6. あとがき

以上、高飽和磁化のC o 金属磁性流体を用いた応用例について述べた。密閉中での応用は本チルトスイッチで使用可能であることが確認できたが、空気中での酸化による飽和磁化の劣化の問題が残っている。酸化を防止するためには粒子を有機質や無機質でコーティングするか、粒子自身を耐酸化性のあるものを選択すればよいことになる。両者共、技術的に難しい面があると思われるが今後の技術開発に期待したい。

参考文献

- 1) R. E. Rosensweig, AIAA J4 (10), p. 751 (1966)
- 2) I. Nakatani, T. Furubayashi, T. Takahashi and H. Hanada: J. Magn. Magn. Mat., 65, p. 261 (1987)
- 3) 中谷、古林: 日本応用磁気学会講演要旨集, p. 268 (1984)
- 4) Papirer et al. J. Colloid Interface Sci. 94, p. 207 (1983)

Fig. 9 Switching Property of Tilt Switch for vibration.