

# 電子式流量積算計

Electronic Type Flow Integrator

菅原徹\* 鈴木敏孝\*  
Tōru Sugawara Toshitaka Suzuki  
富田貞美\* 門間秀\*\*  
Sadami Tomita Masaru Monma

## 要 旨

高精度を要求される計測に利用できる新しい材質のU字形鉄心を開発し、これを磁気マルチ回路の鉄心として使用すると良好な特性が得られる。この磁気マルチ回路と新しく開発した周波数引算回路とを使用して積算範囲がフルスケールの5~100%、精度がフルスケールの1%であるVS<sub>84</sub>形流量積算計を製作した。この積算計について報告する。

## 1. 緒 言

従来は磁気マルチ回路の鉄心としてはトロイダル形を使用していた。その理由はU字形鉄心になると鉄心磁路中のわずかの空げきで材料のもつ角形ヒステリシス特性がそこなわれたからである。それゆえ、この欠点のない新しい材質のU字形鉄心を開発した。

また、磁気マルチ回路の入力電圧-周波数特性の性質上、従来のこの種積算計<sup>(1)</sup>の積算範囲はフルスケールの20~100%であったが、もう一組の磁気マルチ回路と周波数引算回路<sup>(2)</sup>とを付加して積算範囲を拡大した。

これらの磁気マルチ回路および周波数引算回路は他の分野への応用も考えられるので、この二つの回路に重点をおきながら積算計の原理、構成、諸特性について報告する。

## 2. 流量積算計<sup>(3)</sup>の原理および構成

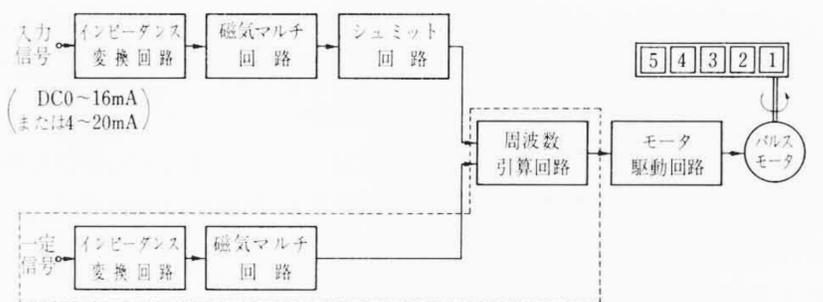
### 2.1 全体の回路

VS<sub>84</sub>形流量積算計の外観を図1に、構成を図2に示す。開平演算器ならびに電磁流量計などからの流量に比例した電流信号(DC 0~16 mAあるいは4~20 mA)を入力とし、これを計器内抵抗で0~5Vの電圧にする。この電圧をエミッタフォロワのインピーダンス変換回路に通したのち、磁気マルチ回路に印加して流量に比例した周波数を持つ方形波に変換する。シュミット回路は二つの働きをしている。すなわち、入力電圧がシュミット回路の弁別レベルより小さいときは出力が出ないようにし、大きいときには波形整形したパルスを出力として送りだすのである。この動作をさせる理由は図3に示すように、入力電圧が小さいときは磁気マルチ回路の発振周波数が急上昇して原点を通る直線からはずれてしまうので、この範囲の出力パルスを除去する必要があるからである。と同時に積算計のゼロ点の保証もこのシュミット回路が行なっているわけである。この波形整形したパルスを駆動回路に加え、そのフリップフロップ回路を反転させ、パルスモータを駆動して積算させる。以上が積算の原理であるが、本積算計ではさらにもう一組の磁気マルチ回路を付加し、その入力として一定の直流電圧を与えて基準の周波数をもつパルスに変換する。一方、流量信号側の磁気マルチ回路には、入力信号が0~16 mAの場合はさらに前述の基準周波数に相当する直流電圧を印加し、入力信号が4~20 mAの場合は4 mAで基準周波数のパルスが発生するようにしておく。そして、周波数引算回路で二つの磁気マルチ回路の出力パルスの差を演算することにより理論的にはフルスケールの0~100%全範囲積算させるようにできる。

\* 日立製作所日立研究所  
\*\* 日立製作所那珂工場



図1 VS<sub>84</sub>形電子式流量積算計



(注：フルスケールの20~100%積算時は点線内の回路は不要)

図2 流量積算計のブロックダイアグラム

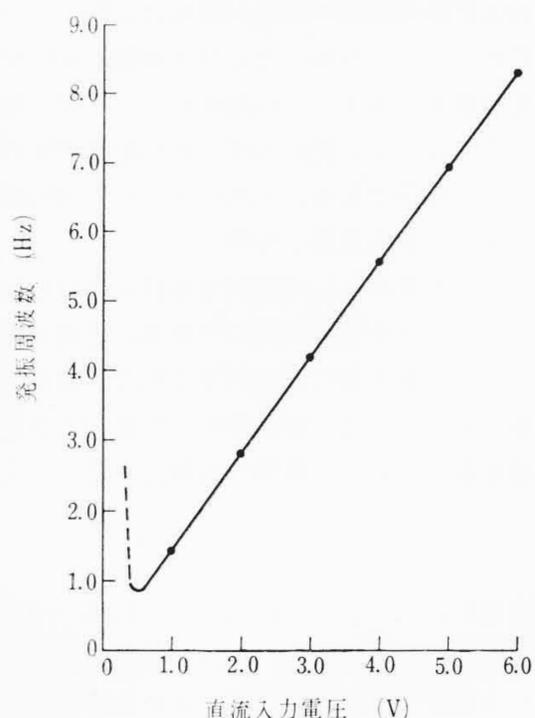


図3 磁気マルチ回路の入力電圧-発振周波数特性

表1 VS<sub>84</sub> 流量積算計の仕様

電 源	DC 18V × 0.28A
入 力 抵 抗	DC 0~16mA または 4~20mA
入 力 抵 抗	約 400Ω
出 力 計 数	100 カウント/時 (最大入力時)
表 示 け た 数	5けた (1けた目はさらに 1/10 まで読める)
積 算 範 囲	5~100% または 20~100%
精 度	±1%

表2 鉄心の磁気特性の一例

	U 字 形 鉄 心	トロイダル形鉄心
$B_{10}$	12kG 以 上	15kG 以 上
$B_{0.5}/B_{10}$	90% 以 上	90% 以 上
$H_c$	0.1 Oe 以 下	0.2 Oe 以 下
$B_m$ の温度係数	$3 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 以 下	$6 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 以 下
$H_c$ の温度係数	$6 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 以 下	$3 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 以 下

ここに  $B_{0.5}$ ,  $B_{10}$ ,  $B_m$ : 0.5(Oe), 10(Oe), 最大磁束密度  
 $H_c$ : 保磁力

VS<sub>84</sub> 形流量積算計の仕様は表1に示すとおりである。

2.2 磁気マルチ回路

磁気マルチ回路は図4に示すような磁気的な結合を有する一種のマルチバイブレータ回路である。図中の二つのトランジスタは互いに相手側のコレクタ電圧によって制御され、入力電圧に応じて定まる可飽和リアクトル中の磁束変化の周期により交互にオン、オフをくり返す。この発振周波数はリアクトルの磁束が  $-\phi_m$  から  $+\phi_m$  まで変化する時間で決定され、次式で示される。

$$f = \frac{E}{4\phi_m N} \dots\dots\dots (1)$$

- ここに、  $f$ : 発振周波数
- $E$ : 入力直流電圧
- $\phi_m$ : リアクトルの飽和磁束
- $N$ : リアクトルの巻数

したがって、入力の直流電圧はそれに比例した周波数を有する方形波に変換できることになる。しかし、入力電圧がある値以下になると、トランジスタのオン抵抗などのためにトランジスタがオンになっても可飽和リアクトルを飽和させることができない。そのため、磁束変化は鉄心の B-H 特性によって定まる Minor Loop をたどって、発振周波数は急上昇する。それで図3に示すように入力電圧小のときに発振周波数が逆に高くなってしまふ。

従来、磁気マルチ回路にU字形鉄心を使用し得なかったのは、鉄心磁路にわずかの空げきがあると、材料のもつ角形ヒステリシス特性がそこなわれ低保磁力および高角形比の特性が得られなかったからである。今回新しい材質のパーミンパからなるU字形鉄心を開発した。この鉄心の磁気特性は表2に示すように従来のトロイダル形鉄心の磁束密度および角形比とほとんど変わらず、飽和磁束密度の温度係数および保磁力はかえって小である。それゆえ、性能的に磁気マルチ回路の鉄心として使用できる見通しを得た。

ところで、U字形鉄心はその形状からして何枚でも積み重ねられるので、鉄心全体の磁束はトロイダル形より大にできる。磁気マルチ回路の発振周波数は磁束および巻き数に反比例するので、磁束が大ならば線の巻き数は大幅に減少できる。それゆえ、形状および巻き数の差により、鉄心に線を巻くに要する時間が短縮できるという利点を有する。

2.3 周波数引算回路

前述のように、直流入力電圧が小のときに磁気マルチ回路の出力周波数が直線からずれる範囲を使用しないで、しかも低入力より積算できるようにするため、本積算では二組の磁気マルチ回路の発振

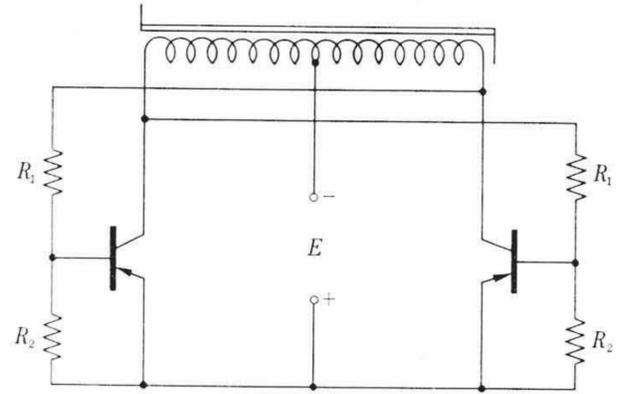


図4 磁気マルチ回路

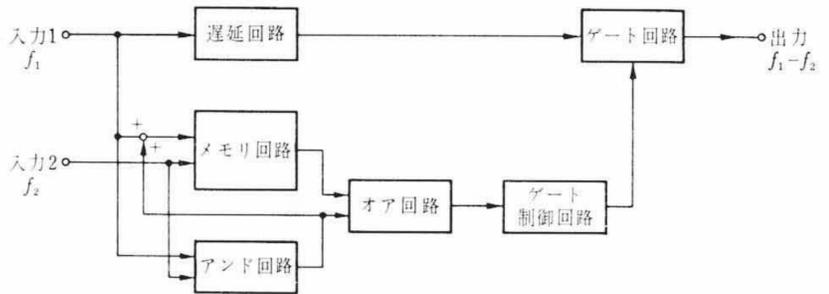
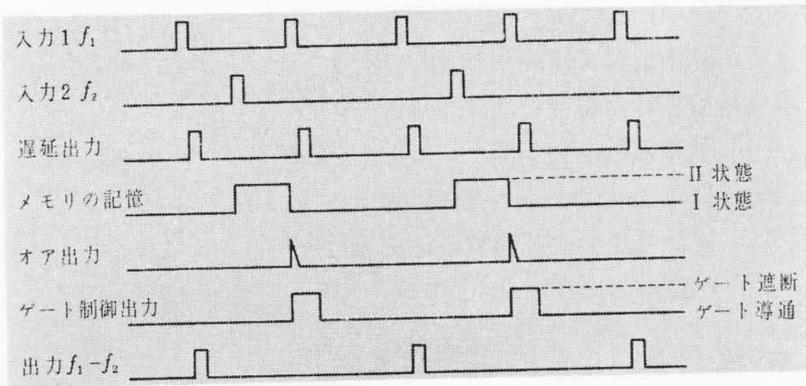


図5 周波数引算回路のブロックダイアグラム

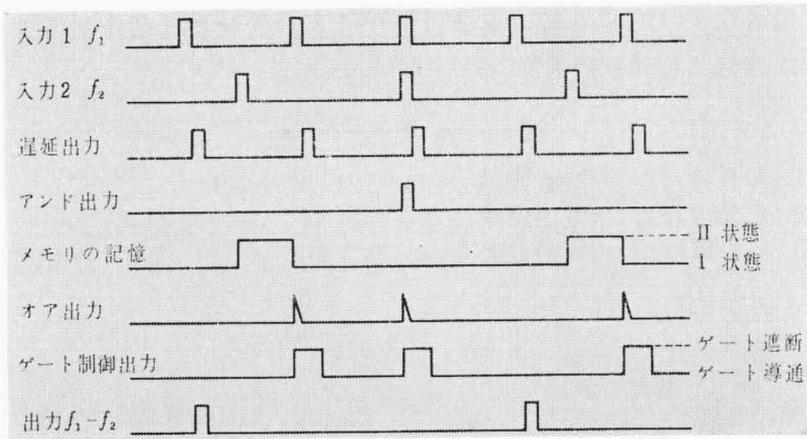
周波数の差をとり、その出力パルスでモータを駆動している。以下、この周波数引算回路について記述する。

まず、この引算回路のブロックダイアグラムを図5に示す。その動作原理はメモリ回路に  $f_2$  パルスが1個はいったら、それを記憶しておき、その次にくる  $f_1$  パルスを1個だけゲート回路で遮断する。この遮断される  $f_1$  パルスもメモリ回路に加えて記憶を変更させて次に  $f_2$  パルスがはいつてくるまでゲート回路が常に導通状態になるようにする。そうすると、このゲート回路を通過する出力パルス列は  $f_1 - f_2$  となり二つの周波数の差を求めるという目的を達成できる。アンド回路をメモリ回路と並列に付加したのはメモリ回路に  $f_1$  および  $f_2$  パルスが同時にはいつてきたときにメモリ回路が誤動作するのを補償するためである。メモリ回路には I と II の二つの記憶状態があり、 $f_1$  パルスが加わると I 状態に、 $f_2$  パルスが加わると II 状態の記憶になり、II 状態から I 状態に記憶が変更するときのみ出力パルスが発生する。ゲート制御回路はパルスが加わると一定振幅、一定パルス幅のパルスを発生し、その出力パルスの存在するときだけ、ゲートを遮断状態にする働きをしている。それゆえ、ゲートの遮断、導通は完全に  $f_1$  パルスに同期しているわけである。そして、ゲートにはいる  $f_1$  パルスは遅延回路で適当に遅延されるので、 $f_1$  パルスはゲートで完全に導通か遮断かになり、パルスの一部分のみが導通したり、遮断したりということはない。

この回路のタイムチャートを図6に示す。図6(a)の  $f_1$  および  $f_2$  パルスに重なりがない場合から説明する。この場合にはアンド回路は動作することはないので、ないのと同じである。前述のように、 $f_2$  パルスが印加するまではメモリ回路は I の記憶であり、 $f_1$  パルスは遅延されるだけで、ゲートを通過し出力としてでてくる。次に、 $f_2$  パルスが1個加わるとメモリ回路は II 状態の記憶になる。続いて  $f_1$  パルスがメモリ回路に加わると、その記憶は II から I 状態に変わり、このときにパルスが発生する。このパルスはオア回路を通過したのちにゲート制御回路を駆動する。ゲート制御回路は定振幅、定パルス幅のパルスを発生し、そのパルス幅の時間だけゲートを遮断するので、遅延した前述のパルスを完全に遮断できる。このときにはメモリ回路の記憶は I 状態であるので、次の  $f_2$  パルスがはいつてくるまで  $f_1$  パルスは遮断されることはない。それゆえ、出力端には  $f_1 - f_2$  のパルス列がでてくる。



(a)  $f_1, f_2$ パルスに重なりがない場合



(b)  $f_1, f_2$ パルスに重なりがある場合

図6 周波数引算回路のタイムチャート

次に、 $f_1$ パルスと $f_2$ パルスとに重なりがある場合の動作を図6(b)を参考にして説明する。 $f_1$ パルスと $f_2$ パルスとが同時にメモリ回路に加わると、その記憶はI状態になるか、II状態になるか、一般には予測できない。このときにはアンド回路から出力パルスがあるので、このパルスはオア回路を通過したのちにやはりゲート制御回路を駆動し、同時にはいったパルスをゲート回路で完全に遮断する。このときは同時にはいった $f_2$ パルスにより $f_1$ パルスを1個差し引いたのであるから、メモリ回路の記憶はI状態にしておき、次に続いてくる $f_1$ パルスはゲート回路を通過するようにしなければならない。そのためにアンド回路の出力をメモリ回路にも印加して、メモリ回路の記憶がI状態になるようにしている。

以上の説明から、この引算回路が正確に演算できるための条件が次式で表わされることがわかる。

$$M_{in}\left(\frac{1}{f_2}\right) \geq M_{ax}\left(\frac{1}{f_1}\right) \dots\dots\dots (2)$$

$$M_{in}\left(\frac{1}{f_1}\right) > \tau_g > \tau_d + \tau_o \dots\dots\dots (3)$$

$$\tau_a > \tau_i + \tau_m \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 $M_{in}(1/f_2)$ :  $f_2$ パルス列における二つのパルスの最小間隔時間

$M_{in}(1/f_1), M_{ax}(1/f_1)$ :  $f_1$ パルス列における二つのパルスの最小および最大間隔時間

$\tau_g$ : ゲート制御回路の出力パルス幅

$\tau_d$ : 遅延回路の遅延時間

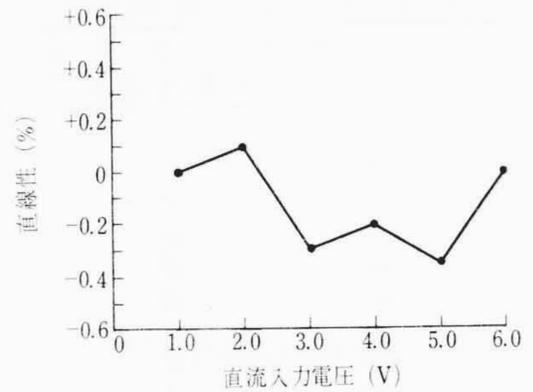
$\tau_o$ : ゲート回路にはいる $f_1$ パルスのパルス幅

$\tau_a$ : アンド回路の出力パルス幅

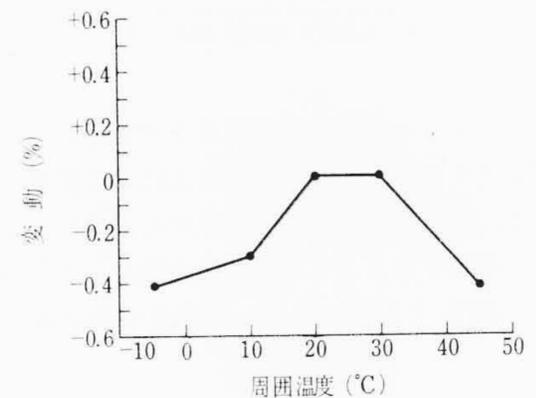
$\tau_i$ :  $f_2$ パルス列のパルス幅

$\tau_m$ : メモリ回路の弁別時間

(2)式は $f_1$ パルスが印加する前に $f_2$ パルスが2個以上印加しないための条件、(3)式はゲート回路でゲート制御回路の出力パルスにより1個だけ $f_1$ パルスを遮断するための条件、(4)式はアンド回路が動作したときに、メモリ回路の記憶を確実にI状態に保持す



(a) 直線性



(b) 温度影響

図7 磁気マルチ回路の直線性および温度特性

るための条件である。

これらの条件を満足する周波数引算回路の構成としては図5以外にも考えられるが、簡単である点から本積算計では図5の構成にした。なお、本引算回路においてはメモリ回路としてはフリップフロップ回路を、ゲート制御回路としては単安定回路を使用している。

### 3. 実験結果および検討

#### 3.1 磁気マルチ回路

新しく開発したU字形鉄心を使用して磁気マルチ回路を組み、直流入力電圧一発振周波数特性を測定した。その結果を図3に示す。発振周波数は数サイクルであるので、計数器で磁気マルチ回路の出力パルスの周期を測定し、その逆数を計算して求めたものである。その結果を図7に示す。直線性はよく $\pm 0.5\%$ 以下であり、温度特性も $20 \pm 25^\circ\text{C}$ で $\pm 0.5\%$ 以下であった。

トロイダル形に比べてU字形鉄心のほうが有利な点をあげると下記のとおりである。

- (1) その形状からU形鉄心のほうは何枚でも積み重ねられるので、全体の磁束を大きくすることができる。
- (2) 磁束が大きいので巻き線の巻き数および電気抵抗値は小さくなる。
- (3) 形状および巻き数の差により space factor は約半分になり、鉄心に線を巻くに要する時間は従来の $1/10$ に短縮できた。

#### 3.2 流量積算計の特性

前述の磁気マルチ回路と周波数引算回路を使用して流量積算計を製作し、その特性を測定した。測定すべき出力周波数は数サイクルであり、周波数の引算をしたのちではパルス列のパルス間隔は均一でないので、計数器で1分間のパルス数を計数して求めた。その結果を表3に示す。信号側磁気マルチ回路には信号電圧と基準電圧との和の電圧を印加し、もう一組の磁気マルチ回路にも同じ基準電圧を加え、周波数引算回路で二つの磁気マルチ回路の出力パルス列の差を演算させているが、正しく動作していることがわかる。

最後に、本積算計では磁気マルチ回路の発振周波数の急上昇する低入力電圧範囲のパルスを除去するためにシュミット回路の弁別レベルを利用しているため、この弁別レベルの変動は重要である。本

表3 積算計全回路の特性

入力信号電圧 (V)	計数器の指示 (個/min)		
	信号側磁気 マルチの出力	補償用磁気 マルチの出力	周波数引算 回路の出力
0	87	87	0
0.5	127	87	39
1.0	165	87	77
1.5	205	87	117
2.0	244	87	156
2.5	283	87	196
3.0	320	87	232
3.5	358	87	272
4.0	397	87	309
4.5	433	87	347
5.0	472	87	386

注：信号側磁気マルチには（入力信号+基準）電圧が印加

器においてはシュミット回路の電源電圧を定電圧にし、トランジスタの温度影響をダイオードで補償することにより変動しないようにしてある。また、積算計のゼロ点を確保する必要があるため、各製品のばらつきを考慮するとともに十分な余裕をみて積算範囲をフルスケールの5~100%とした。なお、周波数引算回路も  $f_1 \leq f_2$  のと

きは  $f_1 - f_2$  の出力はゼロになるので、積算計のゼロ点の保証に利用できるが、本積算では使用しなかった。

本流量積算計の総合特性は下記のとおりである。

- (1) 積算範囲はフルスケールの5~100%
- (2) 積算精度はフルスケールの±1%以下
- (3) 電源電圧および周波数の影響はない
- (4) 温度影響は  $20 \pm 25^\circ\text{C}$  でフルスケールの±0.5%以下

#### 4. 結 言

新しい材質のU字形鉄心および周波数引算回路を開発し、これを利用して低入力まで積算できる流量積算計を製作した。これと電磁流量計などの精度の高い流量計とを組み合わせると流量を積算すれば、非常に有効と考える。

#### 参 考 文 献

- (1) 倉持ほか：日立評論 別-44, 24 (昭36-9)
- (2) 鈴木ほか：電気四学会連合大会 p.2775 (昭41-4)
- (3) 菅原ほか：自動制御連合講演会前刷 p.329~330 (昭42-11)



### 新 案 の 紹 介



登録実用新案 第821209号

玉淵 武昌

### 圧 力 開 閉 器

家庭用の井戸ポンプに使用される圧力スイッチは機種によって動作および復帰圧力が異なるため、両者の設定圧力値が任意に調整できることが要求される。またこの種の圧力スイッチは動作ひん度が大きいために接点の寿命の長いことも要求される。

この考案は上述の要望事項を満足するものであって、外レバー6と中レバー5との間に速切バネ9を介装してトグル機構を形成し、外レバーにダイヤフラム2からの変位を伝達し、中レバーによって可動接片13を固定したしゅう動板16を動作させるようにし、さらに外レバーに作動圧力値を調整するメーンスプリング20を係

合させ、上限調整ネジ18によって中レバーの移動範囲を制限するようにしたものである。

この圧力スイッチでダイヤフラム2に加わる圧力が上昇すると、U字形レバー8を介して外レバー6がメーンスプリング20を圧縮しながら上方に移動し、速切バネ9が死点を越すと中レバー5が鎖線の位置に移動し、しゅう動板16を引き下げて接点を開くように動作する。したがって上限調整ネジ18の位置を調整することにより速切バネ9の死点を越す位置が自由に換えられる。また圧力が下がってきた場合には中レバー5が実線の状態に復帰して接点を閉じるのであるが、下限調整ネジ19を調整することによって復帰圧力値を換えることが可能である。

また中レバー5としゅう動板16との連結部には遊びきがあるため接点の開離速度は速くなり大電流遮断の際の溶着、摩耗などのおそれはない。(岩田)

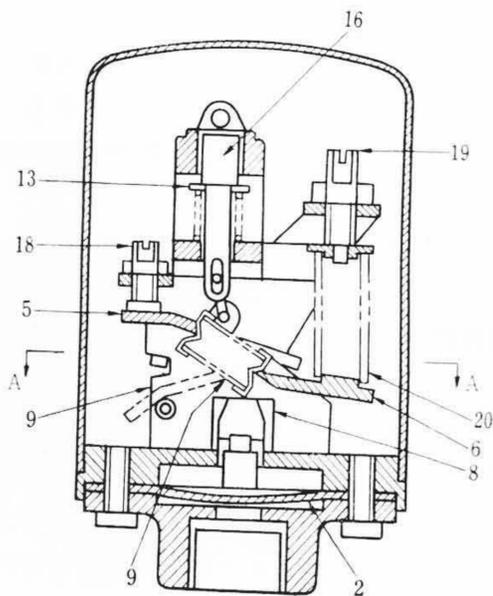


図 1

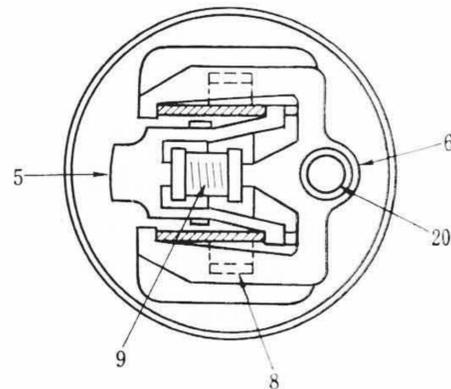


図 2