

EOI-2 形 発 振 式 指 示 調 節 計 の 特 性

Characteristics of Type EOI-2 Oscillating Method Indicating Controllers

小 野 寺 進* 中 道 不 二 雄*
Susumu Onodera Fujio Nakamichi

内 容 梗 概

EOI-2 形調節計は、オンオフ動作あるいは時間比例動作の制御を行なう発振式調節計で、無接触検出という発振式特有の利点をもっているが、特に全トランジスタ化された簡単な正帰還回路で、確実な動作を行なうという特長をもっている。外部抵抗調整もやりやすく、統一された日立独特の内部磁石形指示機構で正確な指示を行ない、保守取扱いの面でも細かい配慮が施されている。本文はこれら回路の動作特性、原理、構成について述べている。

1. 緒 言

自動制御は大規模な化学工業のプロセス制御から、身近な設備にまで浸透し、それぞれの用途に応じた機能をもった自動制御機器が開発されてきている。これらの自動制御には高尚な PID 調節機器は必ずしも必要でなく、小規模のプロセス制御および産業機械に密着して、設備の一部として働くオンオフ調節計で十分にその目的を達するものが多い。このような制御に適するものとして、日立製作所は従来から EOI 形発振式温度指示調節計を提供し、数多く納入してきたが、このたび、全トランジスタ化された新形 EOI-2 形発振式調節計を完成した。この EOI-2 形調節計は第 1 図に示すように、盤表面積が非常に小さく、装置と直結して手軽に利用できるものである。

EOI-2 形調節計はプラスチック成形機の金型温度制御、金属処理加工業の各種炉の制御、熟成、乾燥、冷凍などの温度制御に用いられ、機能的にもそれらに適するように考慮され、種類も 1 点 2 位式から時間比例式まで選択することができる。以下、これら機能、特性について説明する。

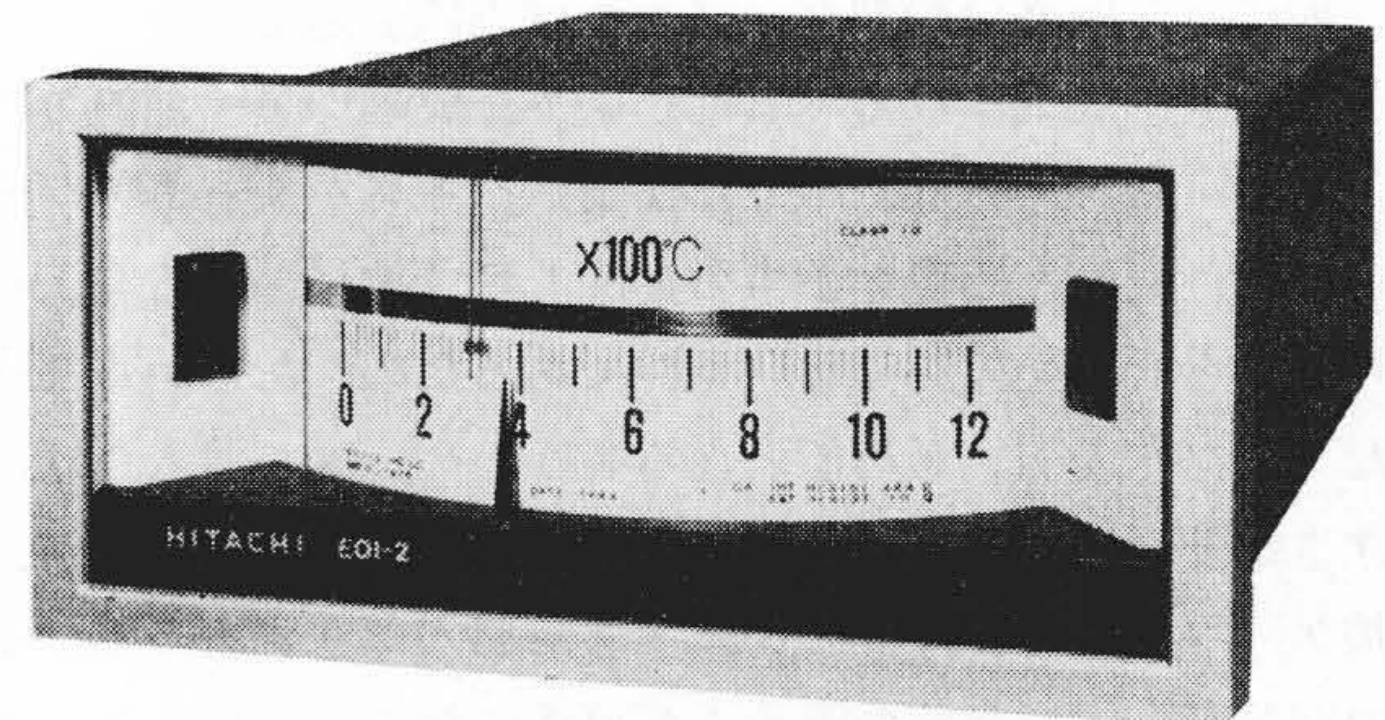
2. 動作、用途の概要

第 2 図に使用例を示す。槽内温度を一定に保ちたい場合、温度の検出には熱電対あるいは测温抵抗体が使用される。熱起電力あるいは抵抗の変化は、調節計の測定回路で検知されて指針が目盛板上にその温度を指示する。調節計にはあらかじめ希望温度をセットする設定指標があり、無接触で指針と設定指標の関係位置が電気量に変換される。すなわち、上限設定の場合には、設定温度よりも高くなると、発振回路の発振がとまり、これにより内蔵されたリレーが駆動されヒータが切られる。再び温度が下がると発振回路が発振し、リレーが働きヒータが入れられる。このように槽内温度が希望温度よりも高いか低いかでヒータを接断し、温度を常に一定に保つことができる。

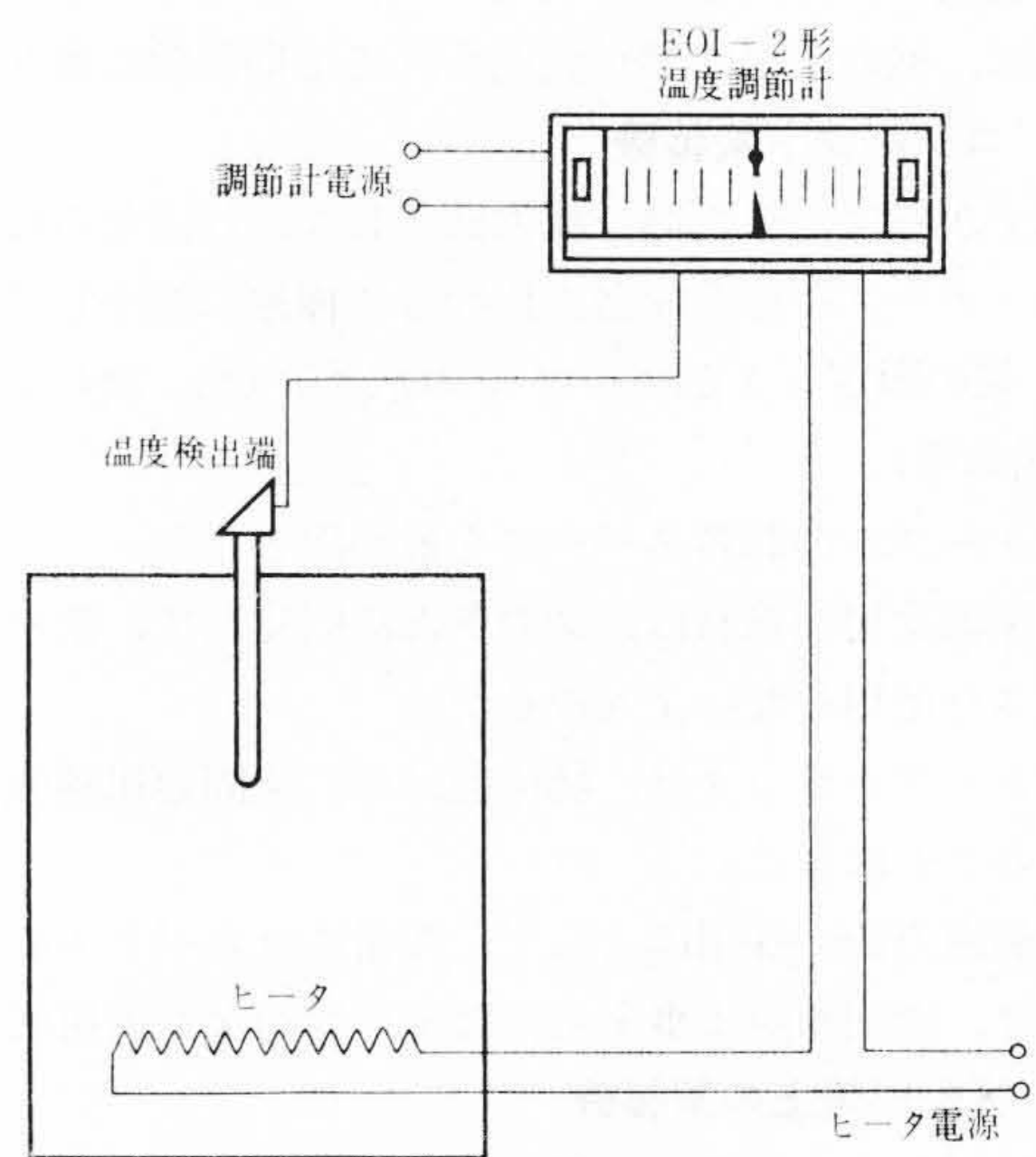
これはオンオフ制御の例であるが、一段と制御結果を向上させたい場合には時間比例動作調節計を用いる。時間比例動作は、ある周期でオンオフ動作をくりかえす方式で、たとえば、希望温度よりも指示値が高くなっていくほど、オンの時間が短くなり、逆に指示値が低いほどオンの時間が長くなる。ある温度以上希望温度からはなれるとオンになりっぱなしになるという制御を行なうものである。この制御方式では、オンオフ制御の場合に比べて温度のサイクリング幅はずっと小さくなり、良い制御結果を得ることができる。

このように調節計として用いられるほか、上下限警報、上限警報としても使用できるが、上下限の場合にはその出力接点の使い方で

* 日立製作所那珂工場



第 1 図 EOI-2 形発振式温度指示調節計



第 2 図 調節計の使用例

いろいろと変った制御を行なうことができる。

3. 特 性

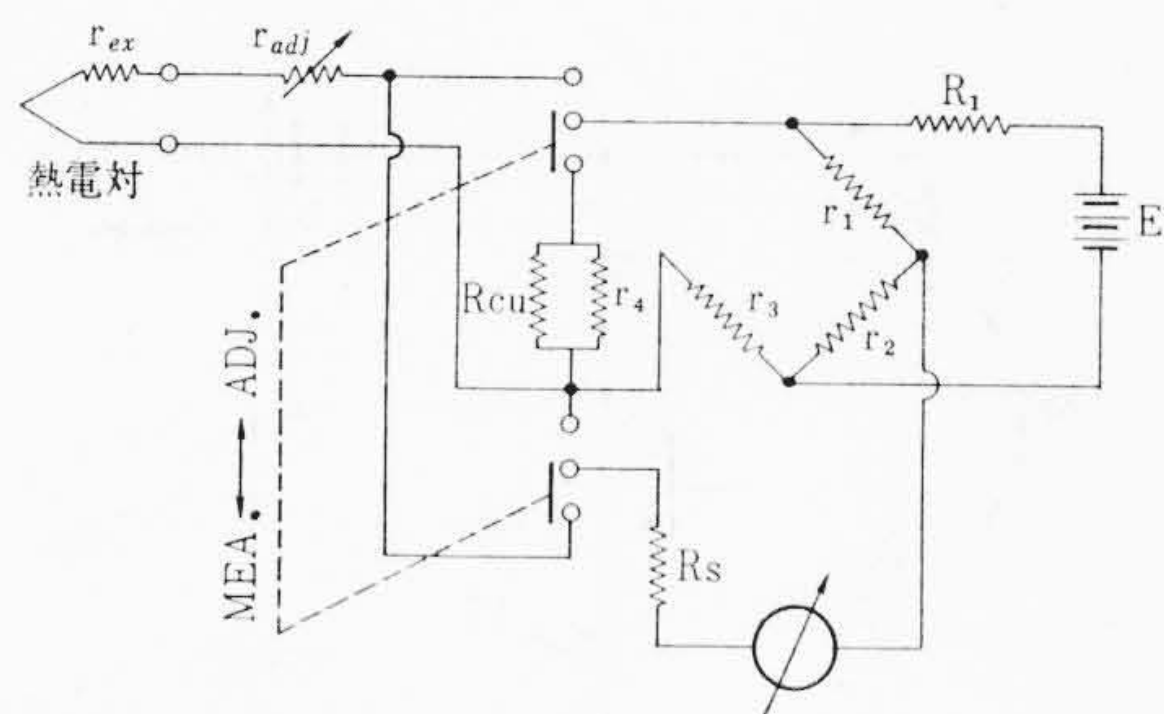
3.1 測 定 回 路

測定回路は検出端と接続されて、指示機構を動かし測定値を指示させる部分で、検出端が熱電対の場合と、测温抵抗体の場合とがある。

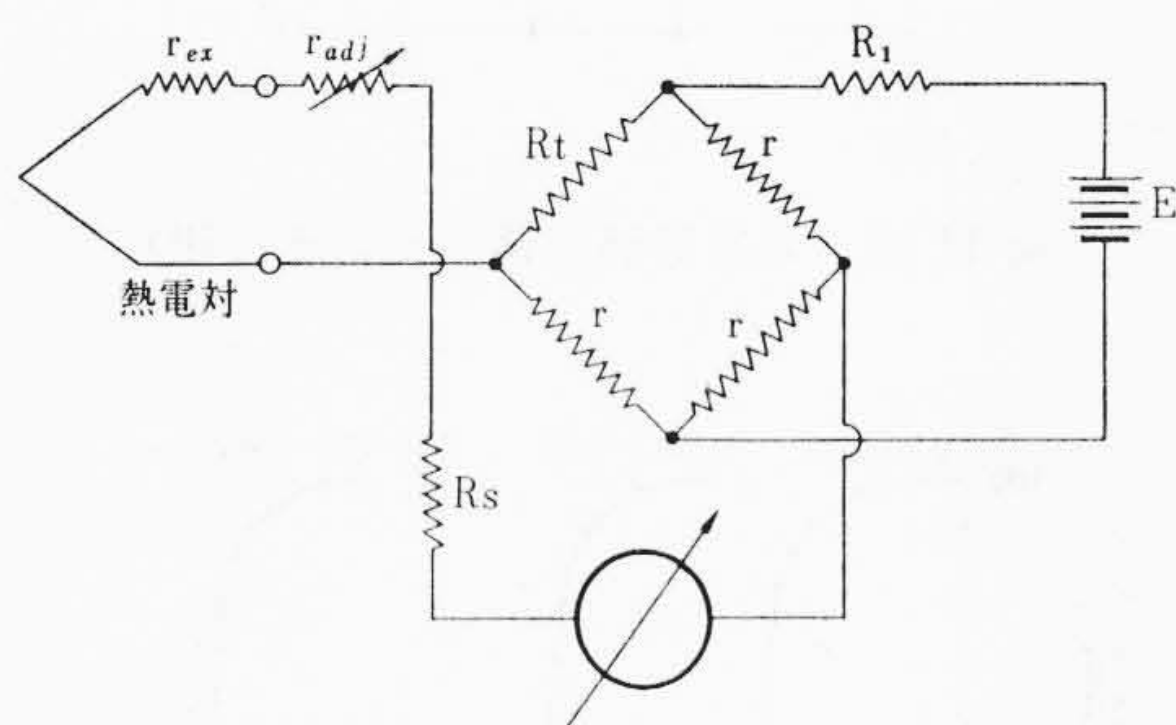
3.1.1 熱電対の場合

熱電対は、温接点と冷接点の温度差により熱起電力が発生し、一般にはその温接点の温度を測定しようとするものであるから、冷接点の温度は常に一定に保つか、あるいは冷接点温度変化に伴う起電力変化を補償してやるか、いずれかの方法をとらねばならない。

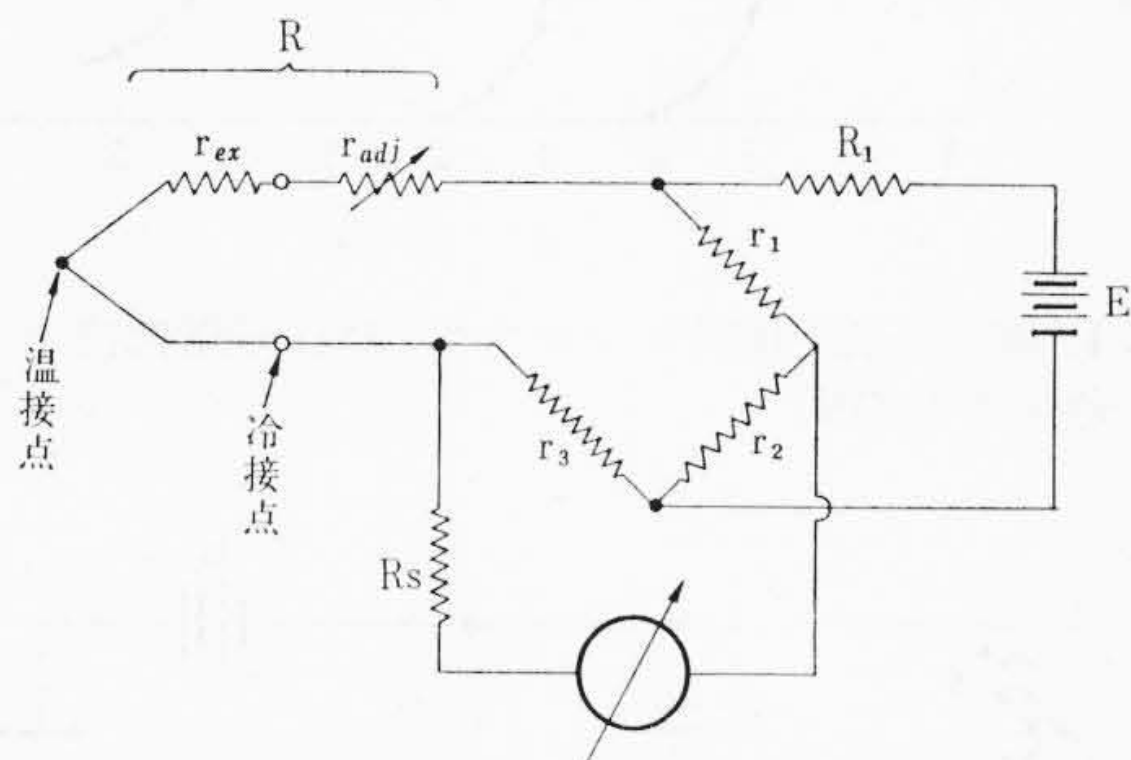
EOI-2 形調節計では冷接点を調節計裏面端子部とし、その部分



第3図 熱電式入力回路



第4図 冷接点補償等価回路

第5図 外部抵抗調整回路
(熱電入力の場合)

の温度で変化する銅抵抗を1辺とするブリッジを作り補償する方式をとっている。その回路構成を第3図に示す⁽¹⁾。

MEA. (測定) と ADJ. (調整) の切換スイッチがついており、MEA. 側の場合は r_1, r_2, r_3, r_4 と R_{cu} の並列抵抗の4辺でブリッジが組まれ、熱電対の熱起電力に、温度変化に伴う R_{cu} の変動のためのブリッジ不平衡電圧が加算または減算される。実際には、

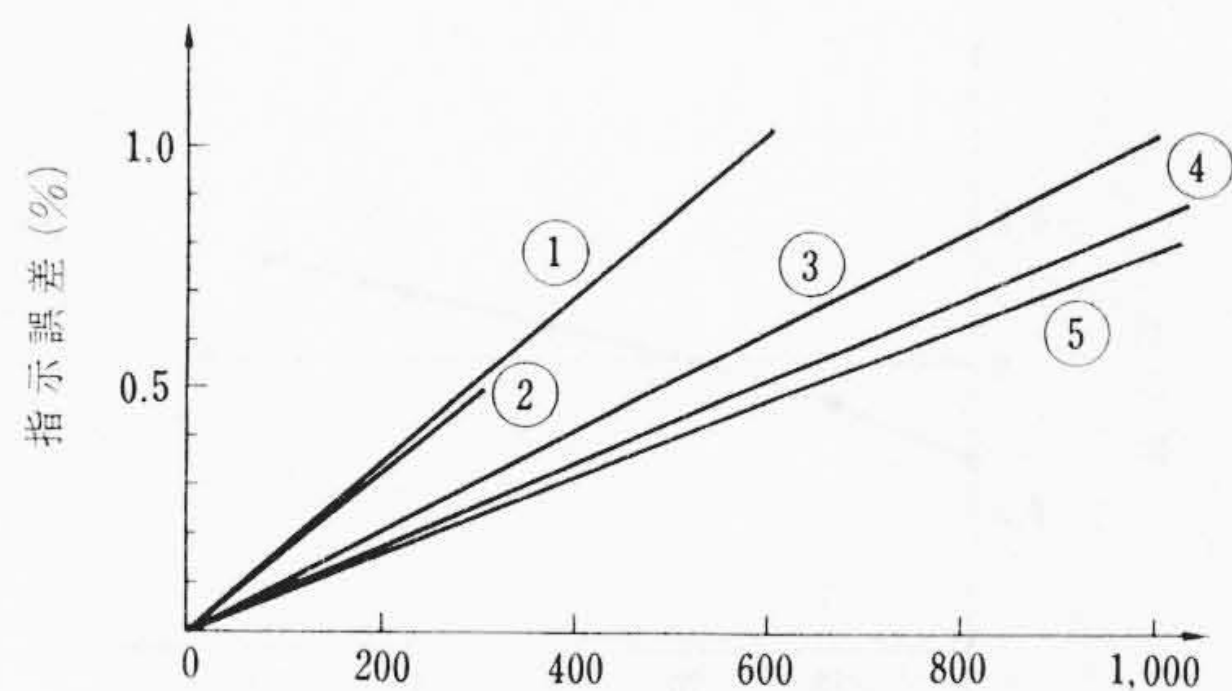
$$r_1 = r_2 = r_3 = r \dots \dots \dots (1)$$

であり、 r_4 と R_{cu} 並列合成抵抗を R_t とおくと第4図のように表わすことができ、不平衡電圧 E_t は

$$E_t = \frac{r(R_t - r)}{3R_1r + R_1R_t + 2r^2 + 2rR_t} E \dots \dots \dots (2)$$

となる。 R_t の温度変化による E_t はアルメル・クロメル熱電対 (CA) を使用したときは、CA の熱起電力と同じ量になるようにすれば、冷接点温度の変動による誤差を自動的に補償することができる。白金・白金ロジウム (PR)、鉄・コンスタンタン (IC) などの熱電対を使用したときもそれぞれ同様にして並列マンガン抵抗 r_4 を変更して自動冷接点温度補償効果を熱電対に合わせている。

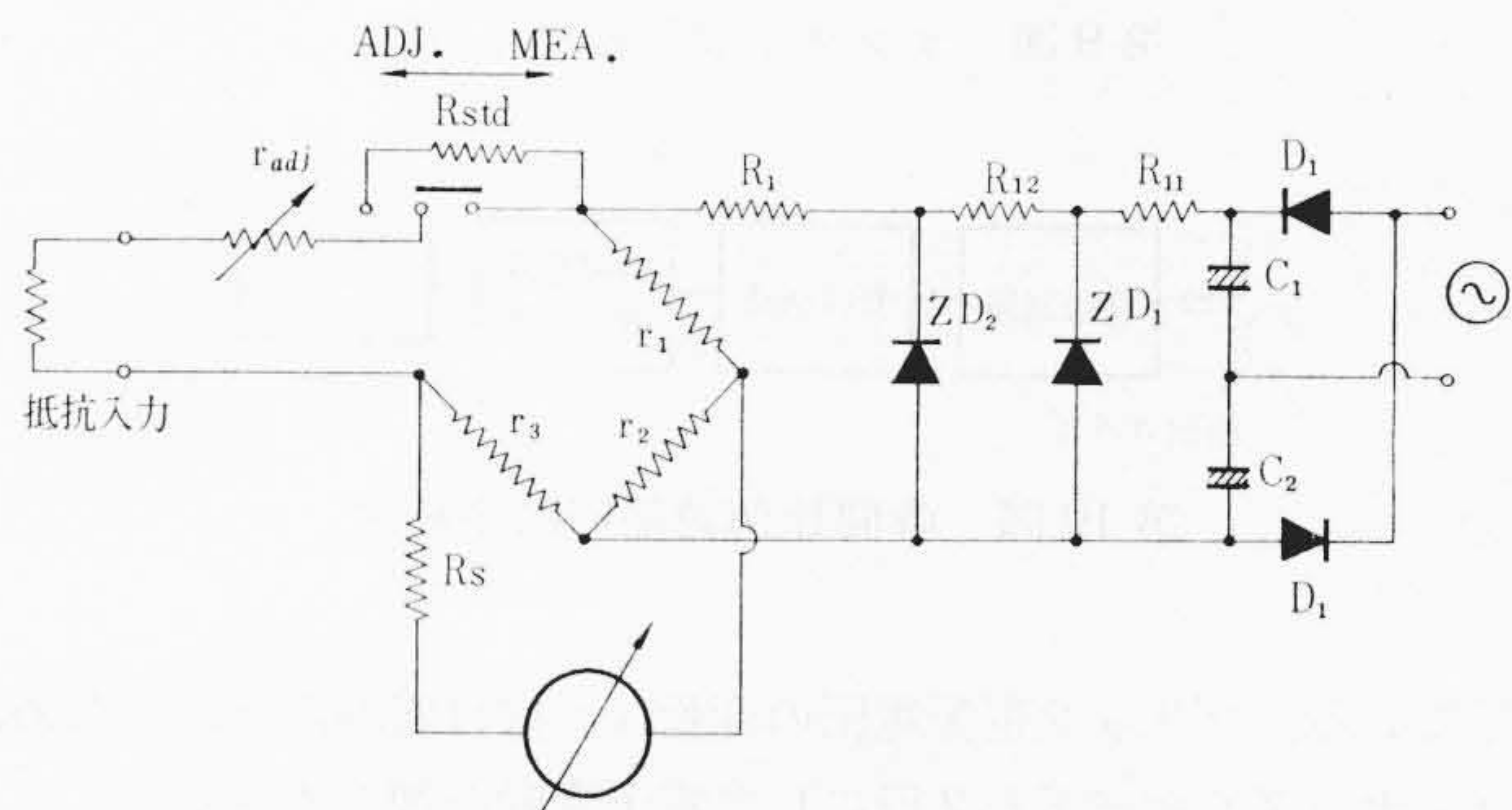
実際に使用する場合には、検出端と計器盤の距離が据付現場でそれぞれ異なるので、現場配線終了後その配線にマッチするように外部抵抗を調整する必要がある。第3図で、切換スイッチを ADJ. 側に入れると第5図のようになり、外部配線と熱電対を含んだ抵抗 R と r_1, r_2, r_3 でブリッジが構成される。熱電対の温接点と冷接点間に温度差がない場合は、このブリッジに不平衡電圧



外部抵抗調整時の温冷接点温度差 (deg. (°C))

- ① CA 0～600℃目盛
- ② IC 0～300℃目盛
- ③ CA 0～1,000℃目盛
- ④ CA 0～1,200℃目盛
- ⑤ PR 0～1,600℃目盛

第6図 外部抵抗調整時の温度差と誤差の関係



第7図 抵抗入力測定回路

が発生しないようにバリオーム r_{adj} を調整すればよい。すなわち平衡条件は

$$r_1 r_3 = r_2 R \dots \dots \dots (3)$$

となる。

温度差があり、そこに e_t なる熱起電力が発生している場合は、ブリッジ不平衡電流 i は次の式で表わされる⁽²⁾。

$$i = \frac{1}{\Delta} \{ E(r_1 r_3 - r_2 R) + e_t (R_1 r_3 + R_1 r_2 + r_1 r_3 + r_2 r_3) \} \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 $R = r_{ex} + r_{adj}$

$$\Delta = \begin{vmatrix} R_1 + r_1 + r_2 & -r_1 & -r_2 \\ -r_1 & r_1 + R + R_s & -R_s \\ -r_2 & -R_s & r_2 + r_3 + R_s \end{vmatrix}$$

で、 R_s は線輪抵抗やそのほかの調整抵抗をも含んだブリッジ出力側の抵抗値を表わしている。

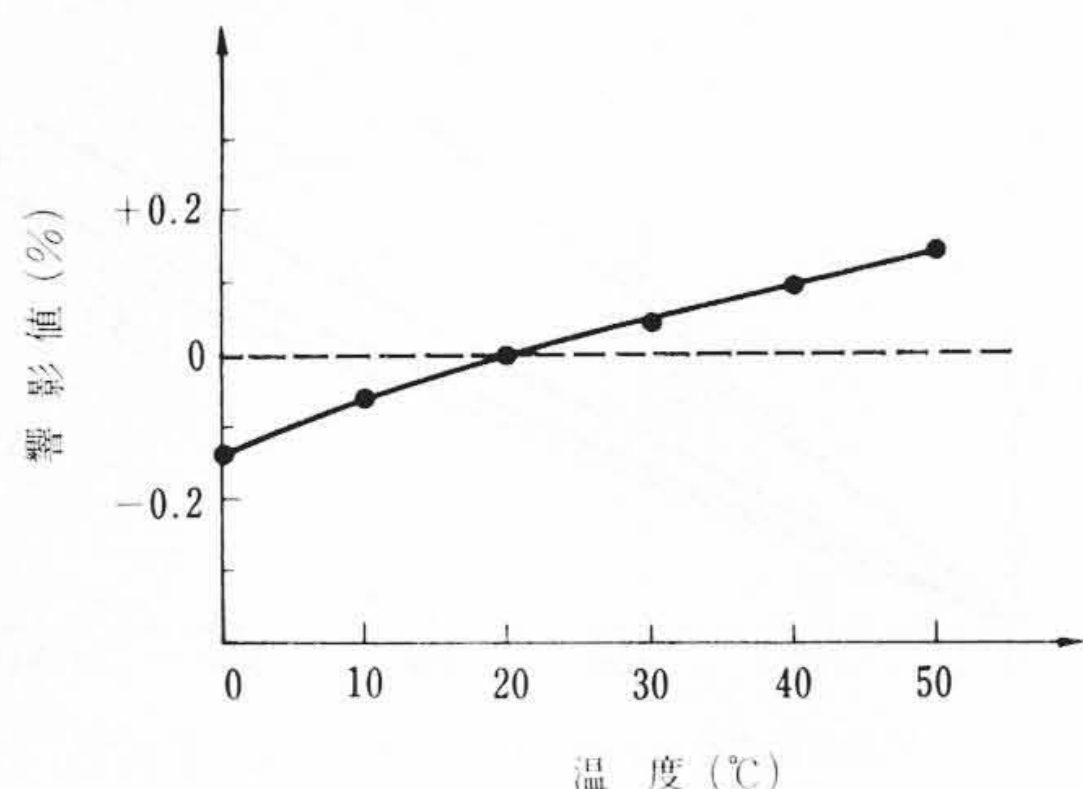
ここで、 r_{adj} を回してブリッジを平衡させると、 $i=0$ となり、そのときの R を R' とすると

$$R' = \frac{-e_t (R_1 r_3 + R_1 r_2 + r_1 r_3 + r_2 r_3)}{E r_2} + \frac{r_1 r_3}{r_2} \dots \dots \dots (5)$$

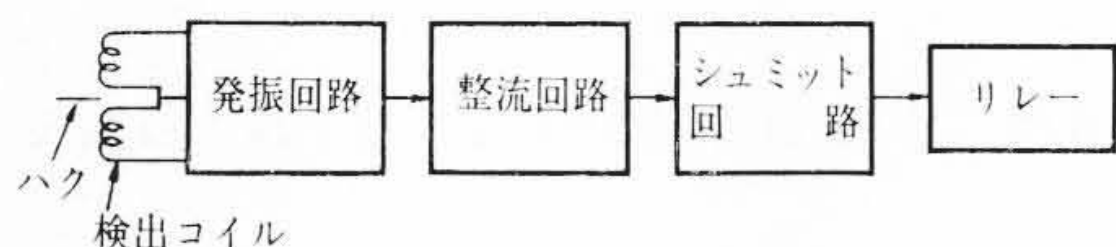
すなわち、第2項は R であるから温度差があると(3)式で与えられる R と異なった R' で平衡することになる。このように温度差により外部抵抗調整誤差は目盛指示誤差として現われるが、もちろん、この量は熱電対の種類、目盛範囲による調節計の内部抵抗によって異なるものである。EOI-2形調節計について計算したのが第6図である。これによると、外部抵抗調整を温冷接点の温度差のない状態で行なえば、これによる目盛誤差はないが、この誤差を0.2～0.3%以内に押えようとする場合は、温度差を200deg (°C)以下に止めなくてはならないことがわかる。

3.1.2 測温抵抗体の場合

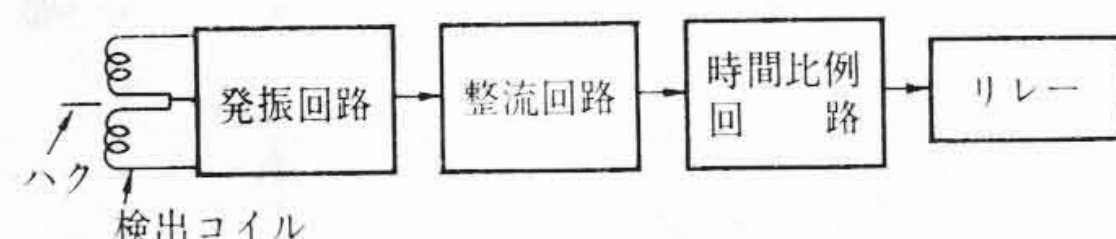
この場合は第7図のように入力回路には定電圧ブリッジを使用



第8図 ブリッジ電源温度特性



第9図 オンオフ調節回路系統図



第10図 時間比例調節回路系統図

している。ブリッジ電源電圧の変動は直接目盛誤差となるため、ツェナーダイオードを2段にして電圧変動を押えている。ブリッジ電源の温度影響結果を第8図に示す。

外部抵抗調整は切換スイッチを ADJ. に切り換えることにより標準抵抗 R_{std} がはいる、 R_{adj} により行なうことができる。

抵抗入力でも、特にサーミスタを使用する場合には、抵抗体そのものの抵抗値が高いため、外部抵抗調整は测温範囲の低い所では影響が無視でき外部抵抗調整を行なう必要がない。負性抵抗のためブリッジ出力を逆特性とし、サーミスタ特性の曲りを補正するための補償抵抗を入れて回路を構成している。

3.2 制御回路

第9図にオンオフ式の制御回路、第10図に時間比例式の制御回路の系統図を示す。2個の検出コイル（発振コイル）は向い合って指標レバー上に取り付けられ、常に発振回路は発振状態にある。この発振交流電圧は整流回路で整流され、オンオフ式の場合はシュミット回路、時間比例回路の場合は時間比例回路を経て出力リレーに接続される。2個の検出コイルの間に、指針にとりつけられた金属ハクがはいることによって発振が停止し、シュミット回路あるいは時間比例回路にはいる信号がなくなって、リレーが動作する。

このように制御回路は発振回路、整流回路、オンオフ用シュミット回路、そして時間比例回路の四つに大別される。

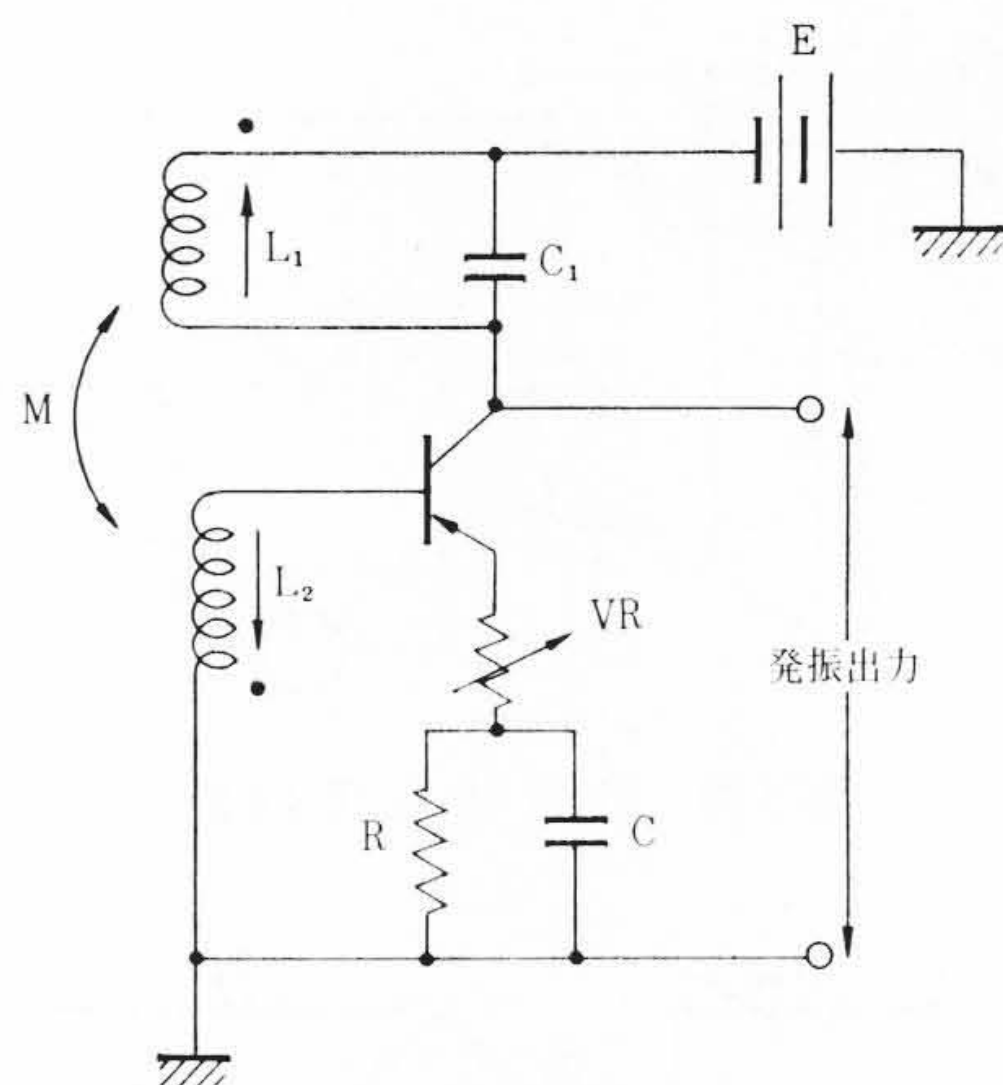
3.2.1 発振回路

発振回路は交流的に簡略化して書くと第11図のようになる。この回路は、トランジスタのベースの入力電圧がコレクタ側に出カとしてあらわれ、これが向き合って取り付けられた検出コイル L_1 , L_2 の間の相互誘導係数 M によって同位相の電圧がベースに正帰還されることによって発振している。したがって検出コイル間に金属ハクがはいると帰還が行なわれなくなり回路の発振が停止し、指針が設定点に到達したことが検知されるのである。

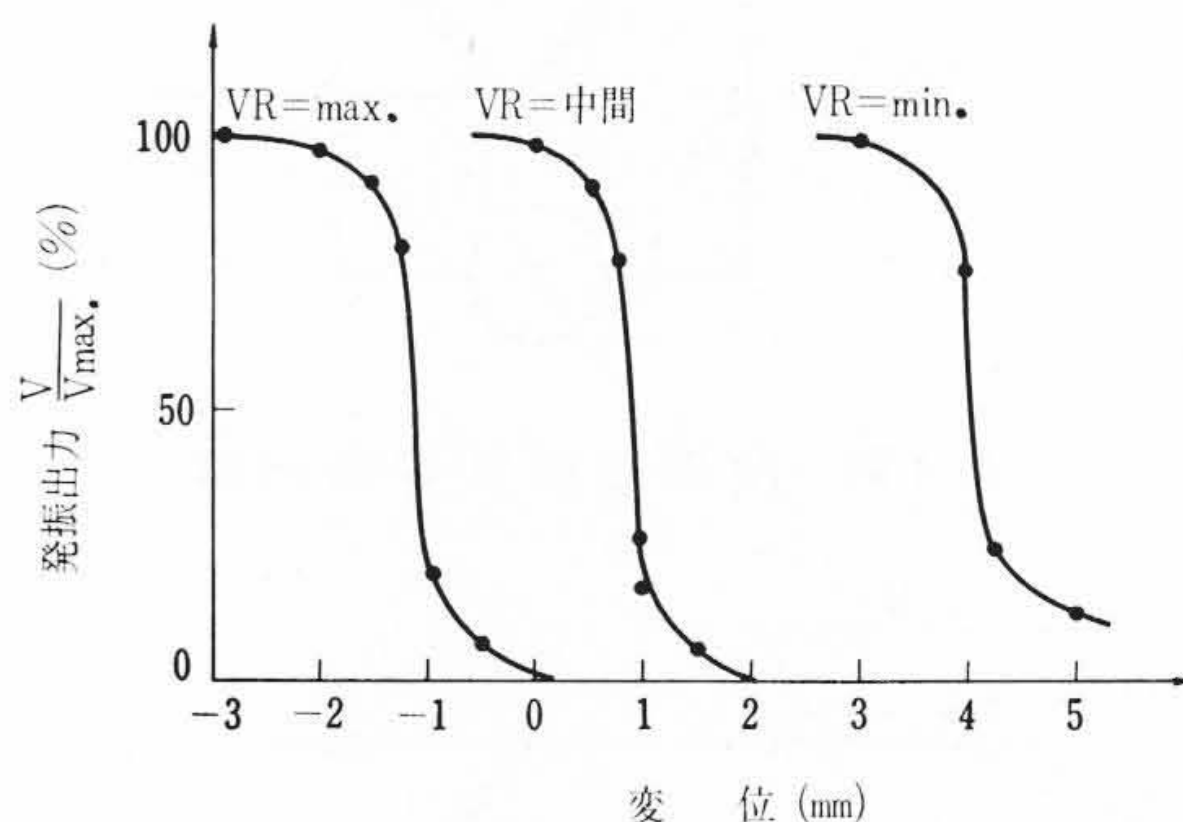
これは一般にコレクタ同調形発振回路と呼ばれているもので⁽³⁾ 発振条件は

$$\frac{M}{L_1} \geq \beta \quad \text{.....(6)}$$

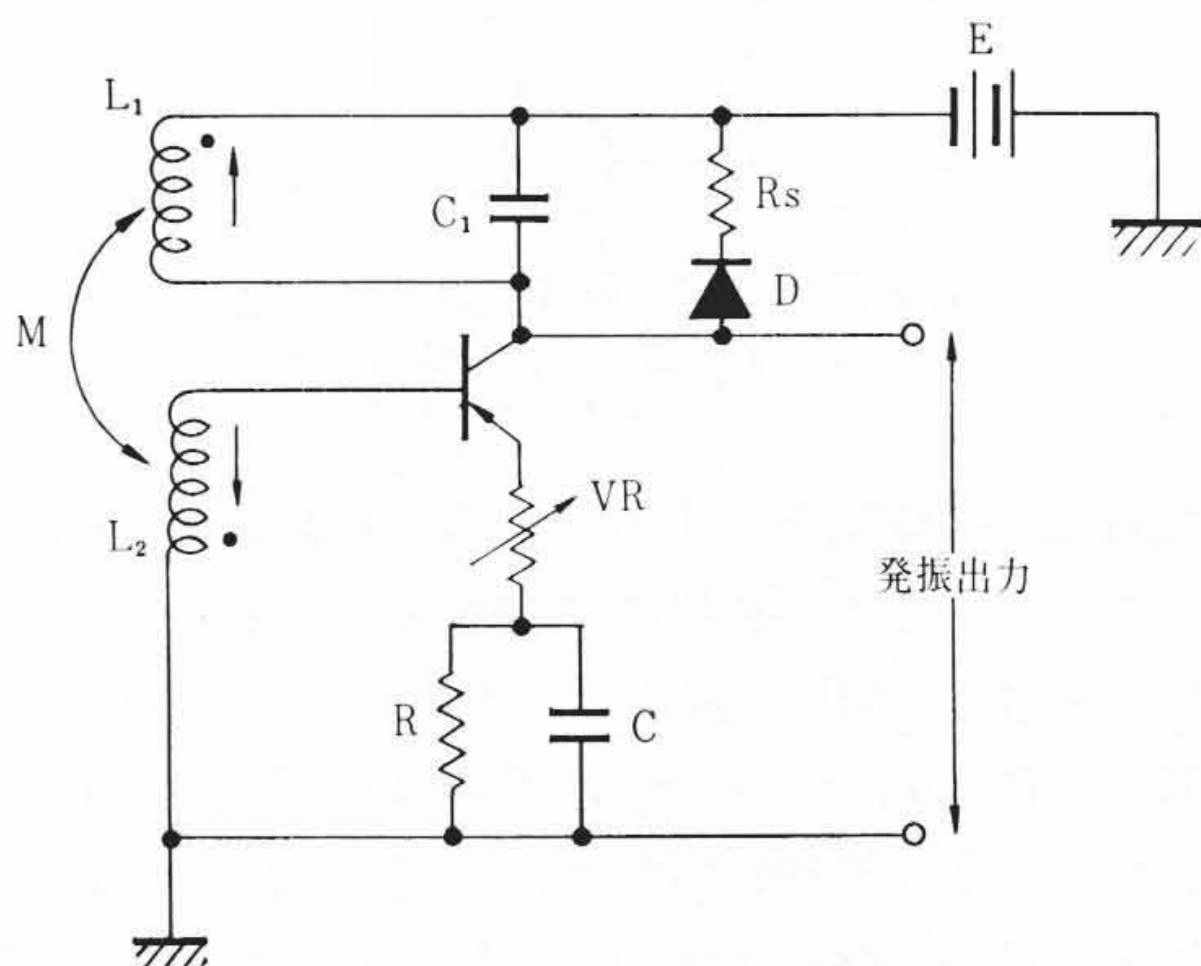
ただし、 M : 相互誘導係数



第11図 発振等価回路（オンオフ用）



第12図 発振回路（オンオフ用）の負帰還抵抗と動作点の関係



第13図 発振等価回路（時間比例用）

L_1 : トランジスタのコレクタ側コイルのインダクタンス

β : トランジスタの電流増幅度

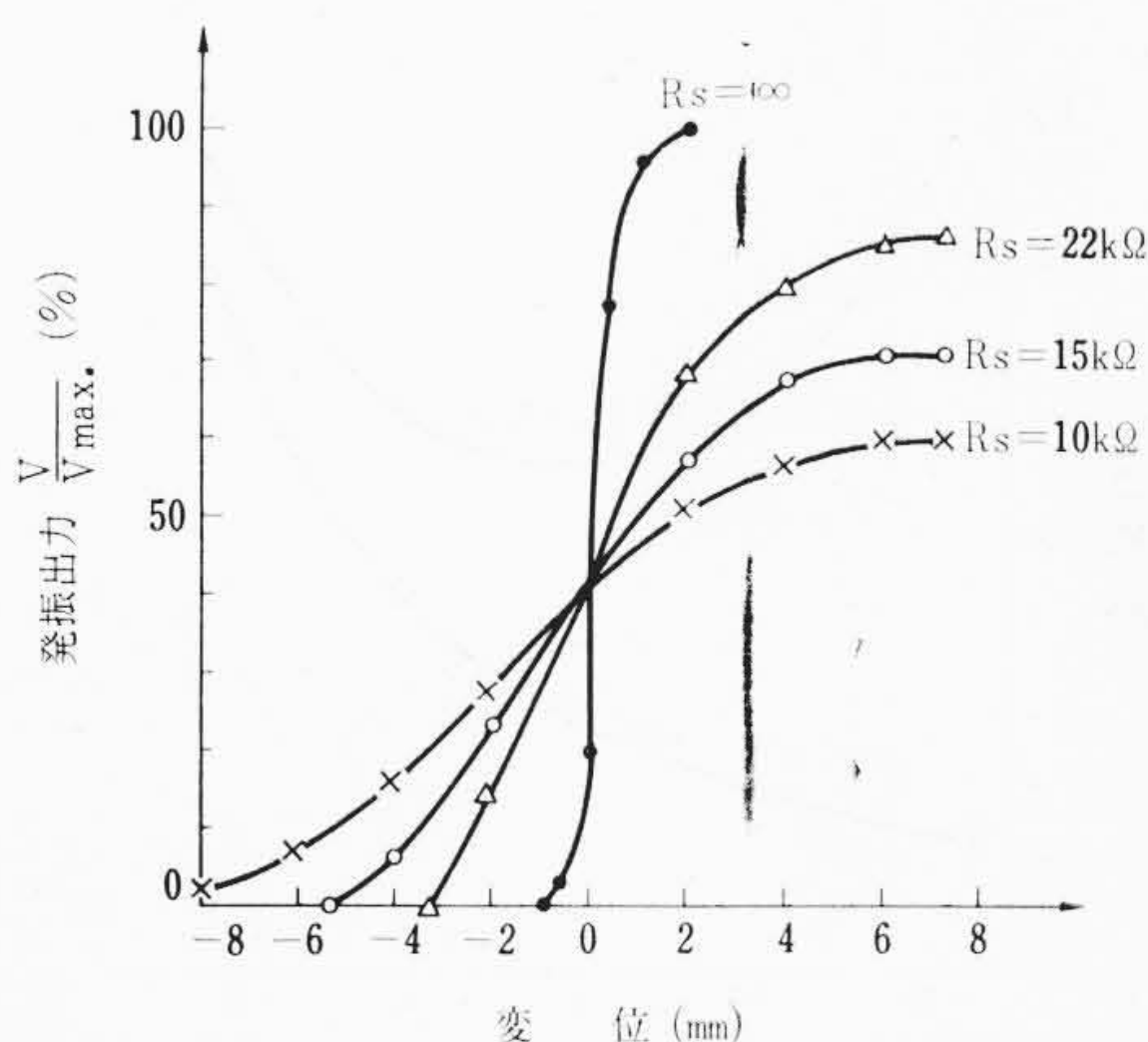
で、発振周波数 f は次のようにあらわすことができる。

$$f \doteq \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{C_1 L_1}} \quad \text{.....(7)}$$

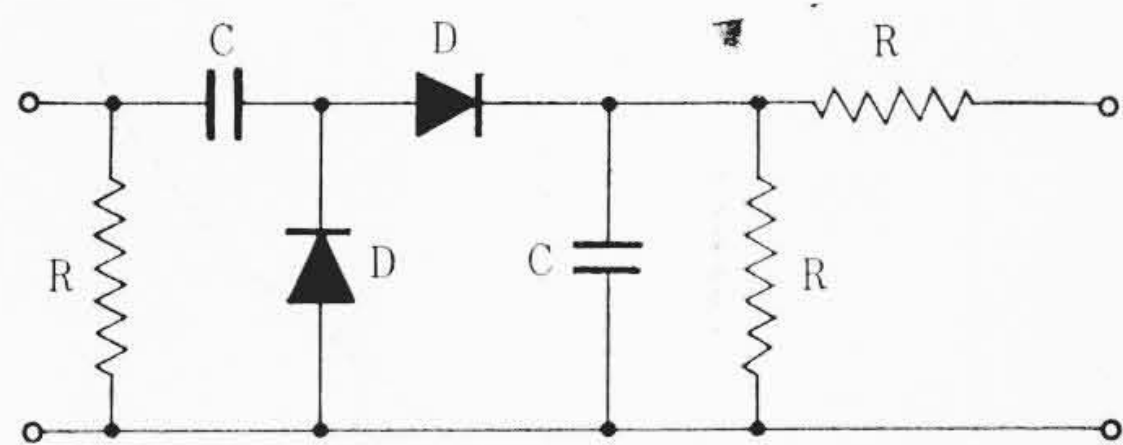
ただし、 C_1 : コレクタ側のコンデンサ容量

発振の条件は(6)式に示したように M , L_1 , β の値によって変わるが、これらのバラツキを調整するために第11図に示すようにトランジスタの負帰還抵抗をバリオームとし、これにより発振動作点の調整が行なわれるようにしてある。バリオームの変化による発振動作点の変化を第12図に示す。これにより、発振動作点の位置は比較的自由に調整できることがわかる。

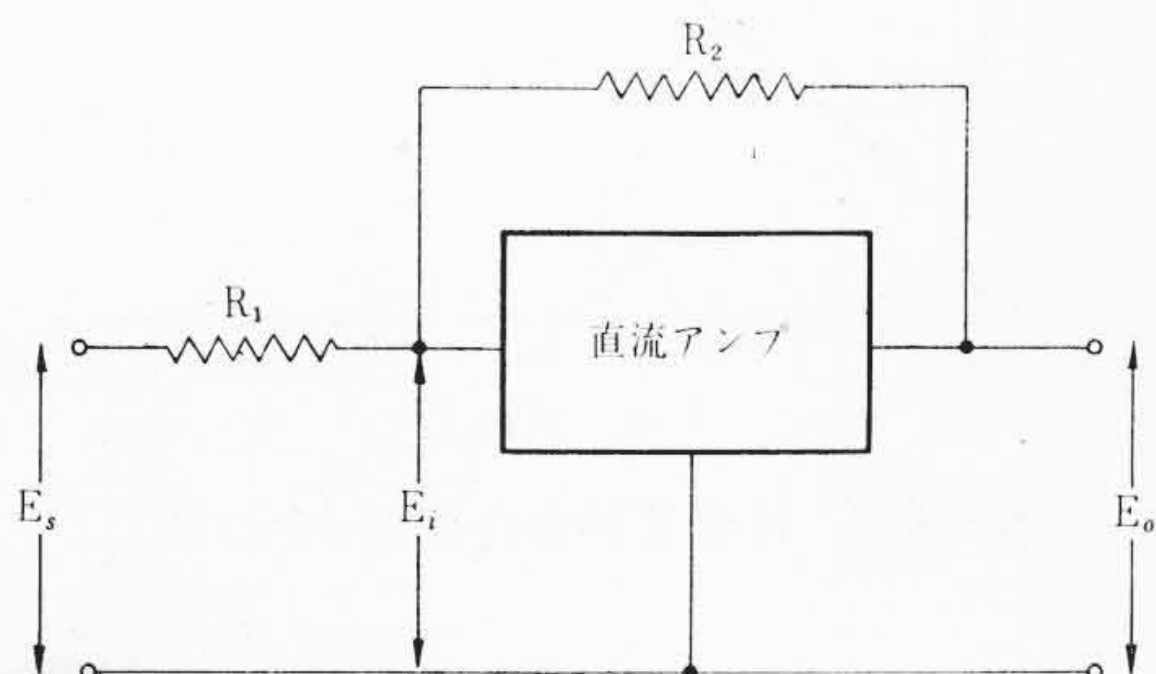
また時間比例回路の場合には、比例帯範囲内で金属ハクの位置に比例した発振電圧を取り出す必要があるため、第13図のようにトランジスタ負荷側に、ダイオードと抵抗よりなる回路を並列に



第14図 発振回路(時間比例用)の負荷側並列抵抗 R_s と発振電圧の関係



第15図 整流回路



第16図 オンオフ用シュミット回路原理図

入れている⁽¹⁾。これはダイオードの抵抗の非直線性を利用したもので、この抵抗変化に対する発振電圧を第14図に示す。この抵抗値を適当に選定することにより、比例帯を広くとることができる。

EOI-2形調節計では比例帯を5%としている。

3.2.2 整流回路

発振回路は出力として(7)式で与えられる高周波交流電圧が発生するが、この整流回路では第15図のようにシリコンダイオード2個を用いて次の回路へ1V程度の直流電圧を発信する。

3.2.3 オンオフ用シュミット回路

この回路の主体はトランジスタ直流アンプで、その出力から入力に抵抗で正帰還をかけたもので、第16図のようにになっている。

ここで、 E_s : 信号電圧

E_i : 直流アンプ入力電圧

E_o : 直流アンプ出力電圧

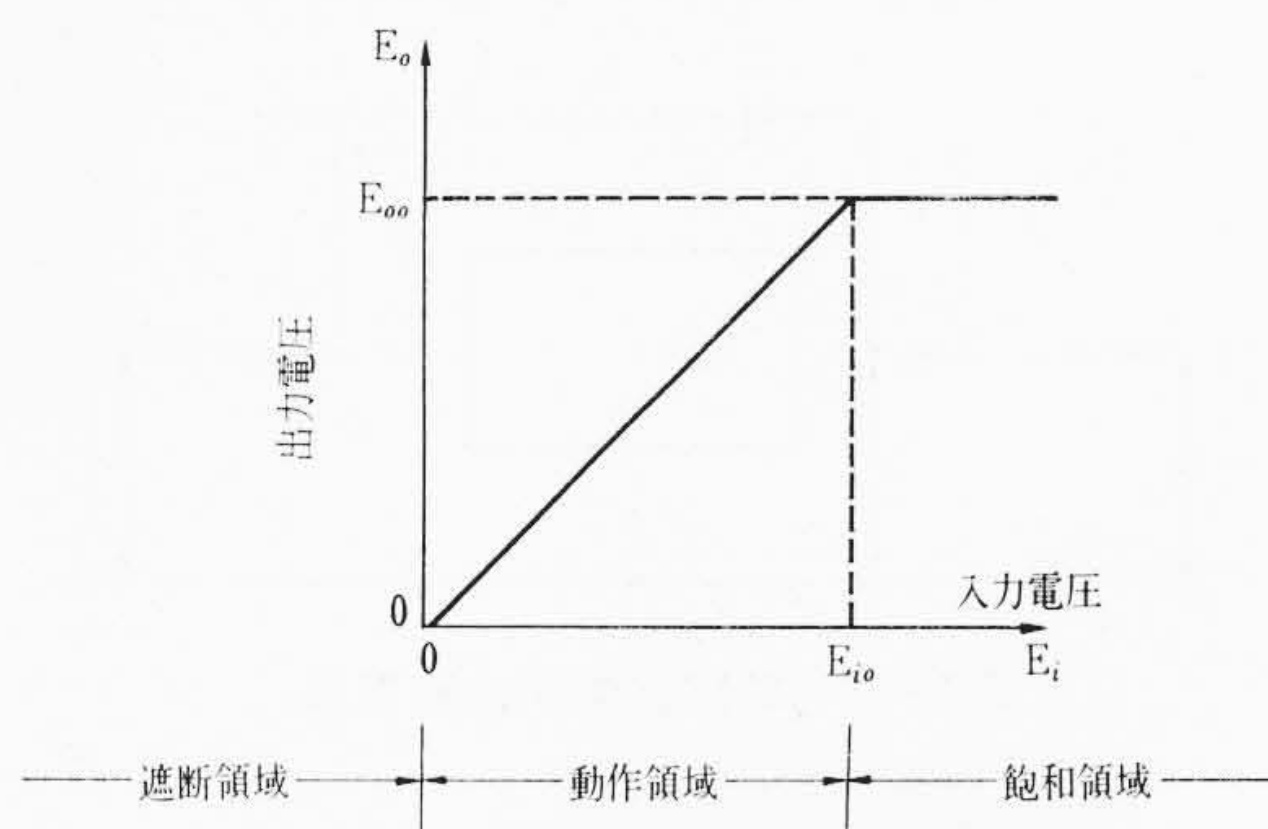
R_1 : 直流アンプ入力抵抗

R_2 : 正帰還抵抗

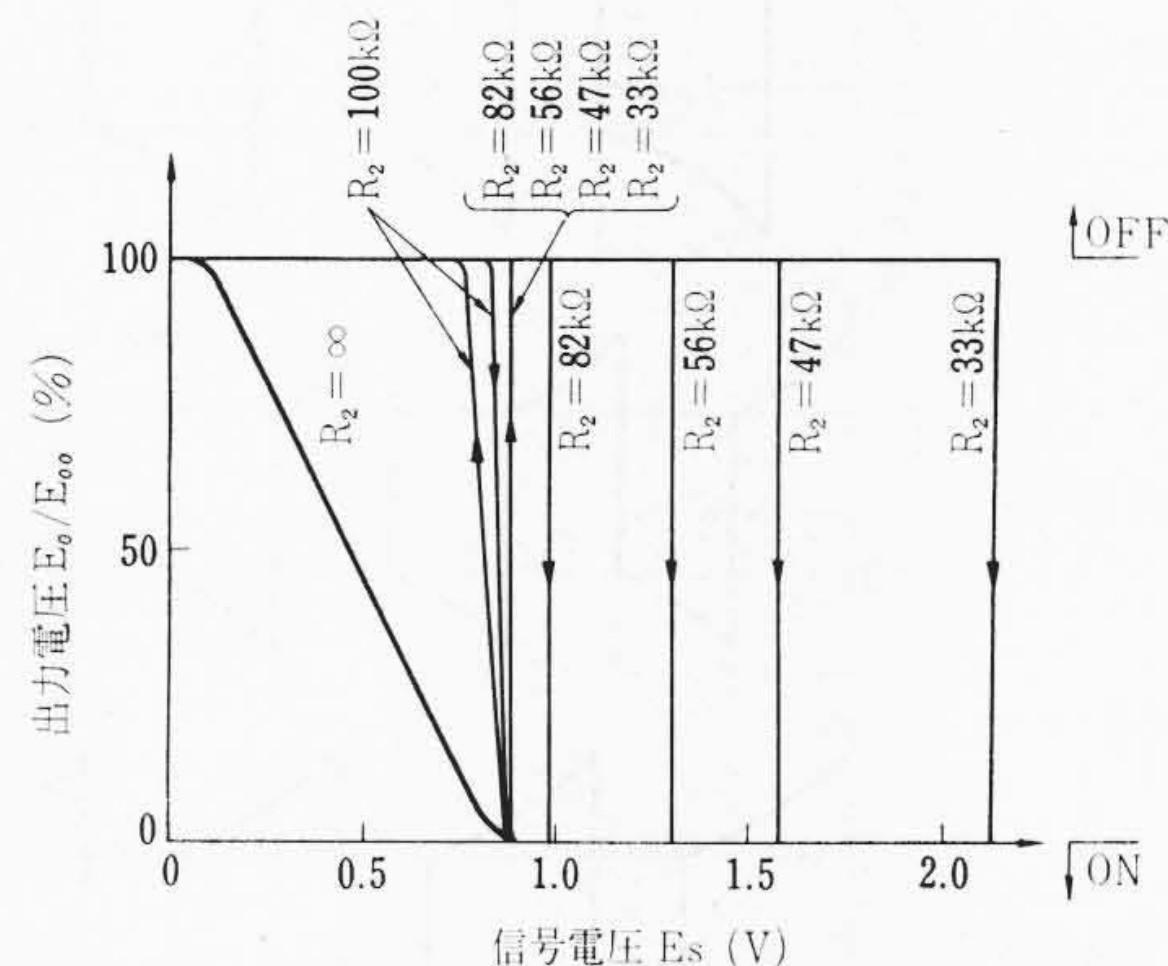
である。直流アンプ特性を第17図のように表わすと、信号電圧 E_s が遮断領域にある場合、すなわち $E_s < 0$ では、 $E_o = 0$ であるから

$$E_i = E_s < 0 \quad (8)$$

である。 E_i が増加して $E_i = 0$ となった瞬間、この直流アンプは動作領域に入り、出力電圧の変化が正帰還抵抗 R_2 によって入力側に正帰還されるために、急速に動作領域を越えて飽和領域に到



第17図 直流アンプの特性と領域



第18図 正帰還抵抗値とヒステリシスの関係

達してしまう。

ここで直流アンプの入力抵抗が R_1 よりも十分に大きいとすると飽和時の入力電圧は

$$E_i = E_s + \frac{R_1}{R_1 + R_2} E_{oo} \quad (9)$$

となる。信号電圧 E_s が減少して

$$E_i = E_{i0} \quad (10)$$

に到達したとき、すなわち

$$E_s = E_{i0} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} E_{oo} \quad (11)$$

で、直流アンプは飽和領域から急速に動作領域を経て遮断領域にもどる。一般に

$$E_{i0} < \frac{R_1}{R_1 + R_2} E_{oo} \quad (12)$$

であるから、信号電圧 E_s でみると、この回路は

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} E_{oo} - E_{i0} \quad (13)$$

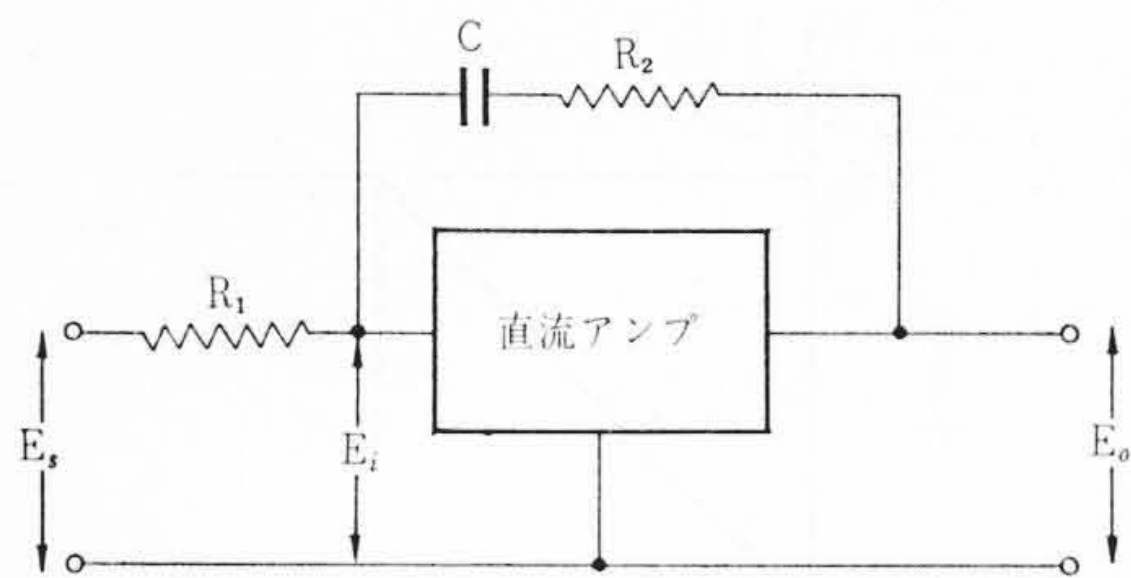
なるヒステリシス幅をもったシュミット特性の動作を行なうことがわかる。また、この式からも明らかのように正帰還量の増大、すなわち R_2 抵抗の減少とともに、そのヒステリシス幅も広がる。 R_2 の変化とヒステリシスの関係は第18図に示すとおりである。この図からも正帰還をかけることによって、立上りこう配が急しゅんに行なわれ、動作時間も非常に短いことがわかる。このためリレー動作時に、トランジスタに消費される電力も小さく、小電力用のトランジスタで十分使用することができる。

3.2.4 時間比例回路

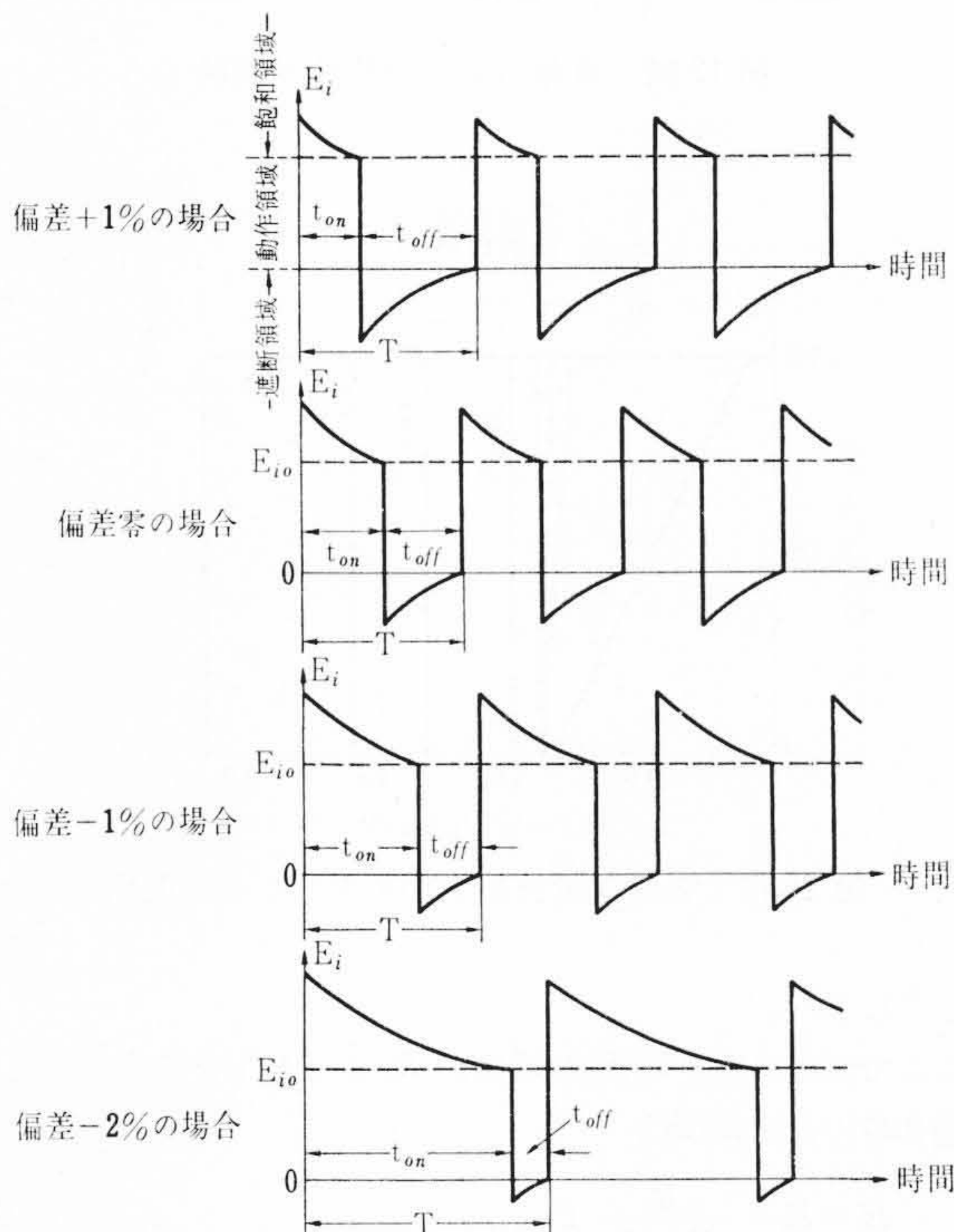
オンオフ回路が抵抗で正帰還をかけていたのに対して、時間比例回路は第19図のように抵抗とコンデンサで正帰還をかけたものである⁽¹⁾。図中の記号は

c : 正帰還コンデンサの容量

$E_s, E_i, E_o, R_1, R_2, \dots$ 第16図と同じ



第19図 時間比例回路原理図



第20図 時間比例動作説明図

である。ここで、直流アンプの入力抵抗が R_1 に比べて十分大きく、信号源の出力インピーダンスが R_1 に比べて十分小さいものとする。いま、信号電圧 E_s が増加し、直流アンプが遮断領域から飽和領域に達し、直流アンプの出力 E_o が 0 から E_{00} になったとする。これによりコンデンサ C は充電を開始し、この時期の最初にコンデンサ C に印加されていた電圧を E_{c1} とすれば、直流アンプの入力電圧 $E_i(t)$ は

$$E_i(t) = E_s + \frac{R_1}{R_1 + R_2} (E_{00} - E_{c1}) e^{-\frac{t}{R_2 C}} \quad (14)$$

で表わされる。この式の第2項は時間の経過とともに減少し、 $E_i(t) = E_{i0}$ に達した瞬間、直流アンプは正帰還作用により、飽和領域から急速に動作領域を経て遮断領域にもどり、コンデンサ C は放電を開始する。この時期の最初におけるコンデンサの充電電圧を E_{c2} とすると、直流アンプの入力電圧 $E_i(t')$ は

$$E_i(t') = E_s - \frac{R_1}{R_1 + R_2} E_{c2} e^{-\frac{t'}{R_2 C}} \quad (15)$$

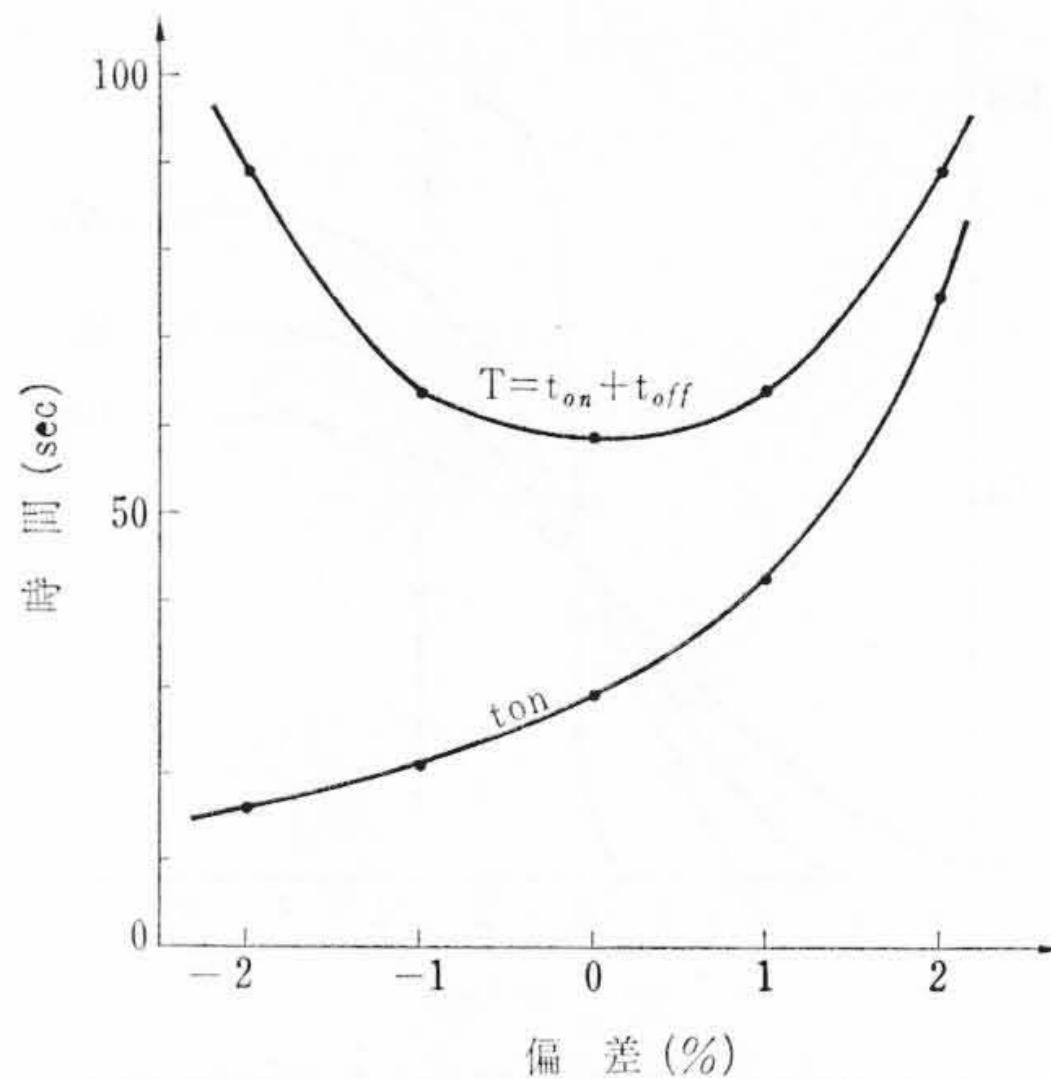
で表わされる。

(14)、(15)式より直流アンプの飽和時間 (t_{on}) と遮断時間 (t_{off}) を求めると

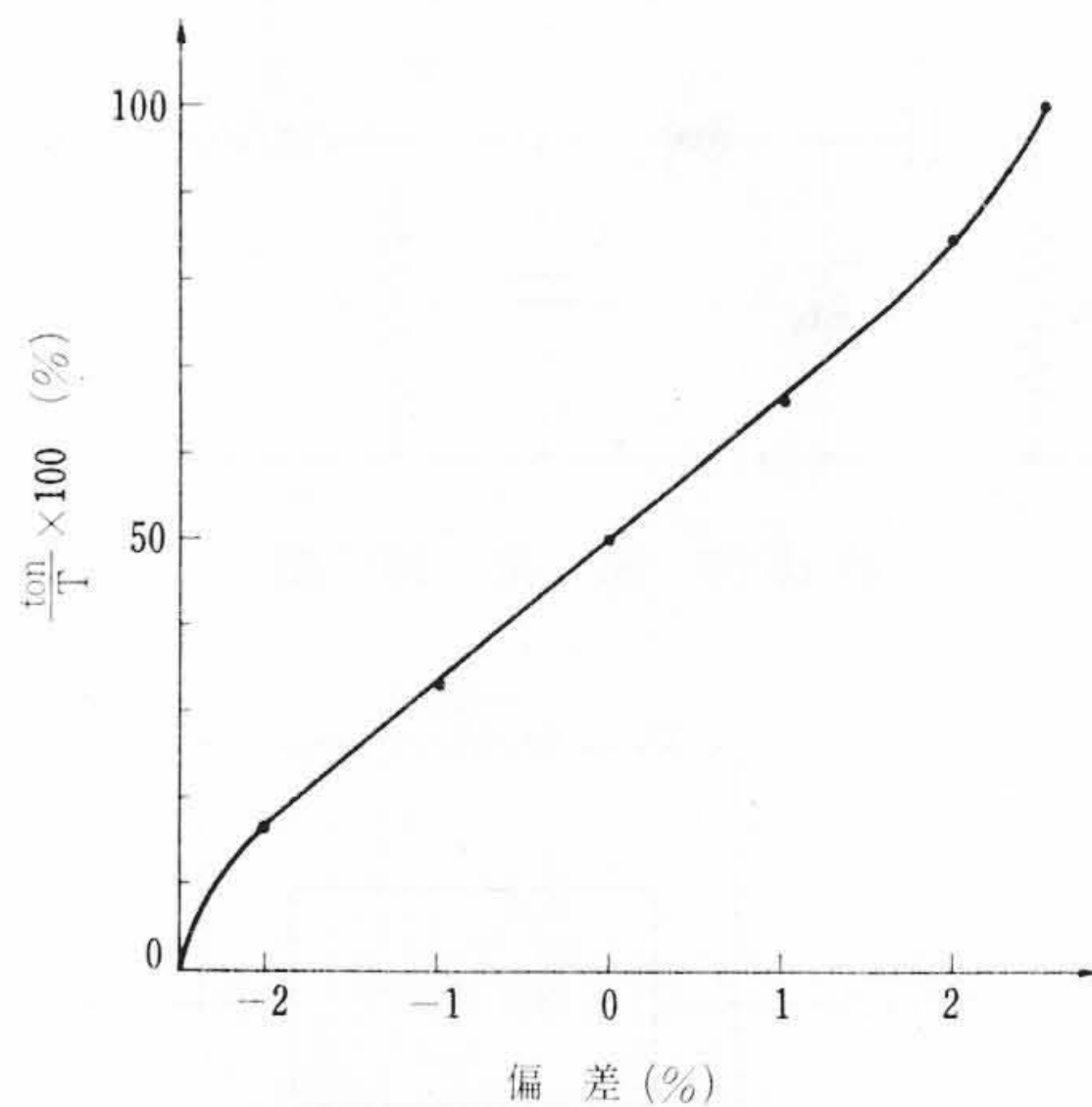
$$t_{on} = R_2 C \ln \frac{G_L E_{i0} - E_s}{E_{i0} - E_s} \quad (16)$$

$$t_{off} = R_2 C \ln \frac{G_L E_{i0} + E_s - E_{i0}}{E_s} \quad (17)$$

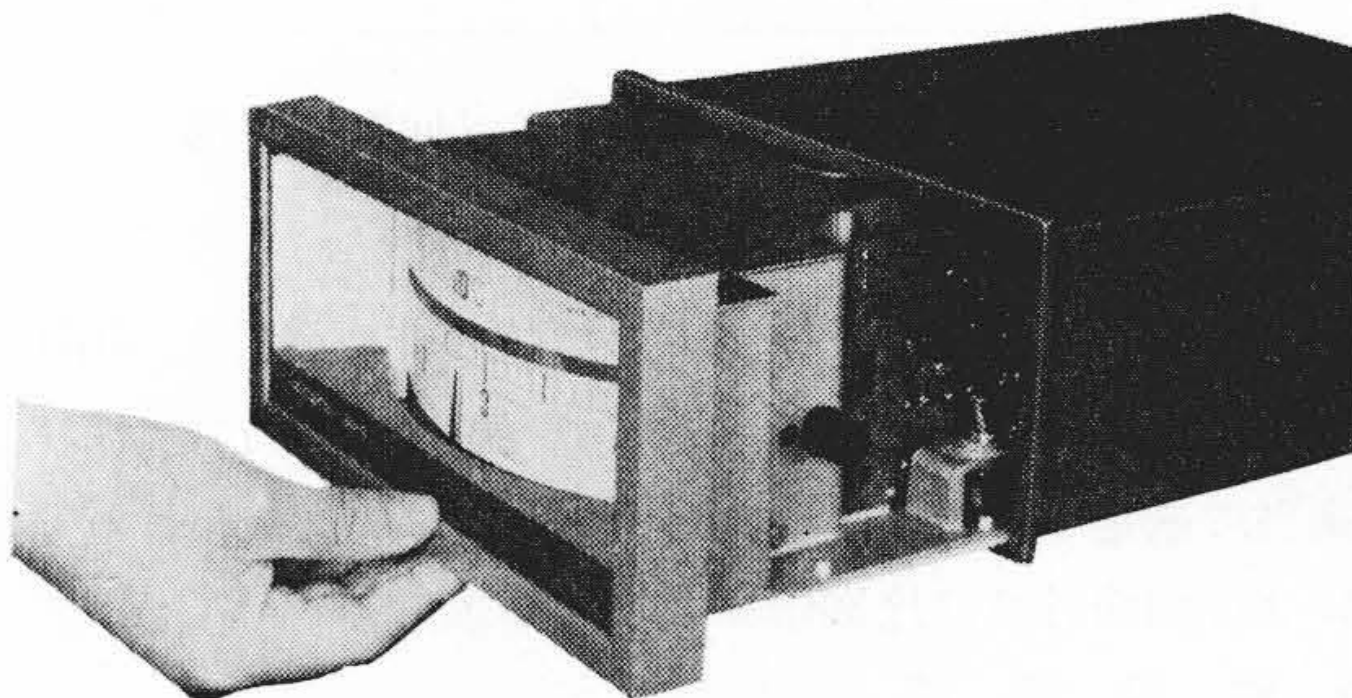
$$\text{ここに、} G_L = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \frac{E_{00}}{E_{i0}}$$



第21図 時間比例動作特性 (その1)



第22図 時間比例動作特性 (その2)



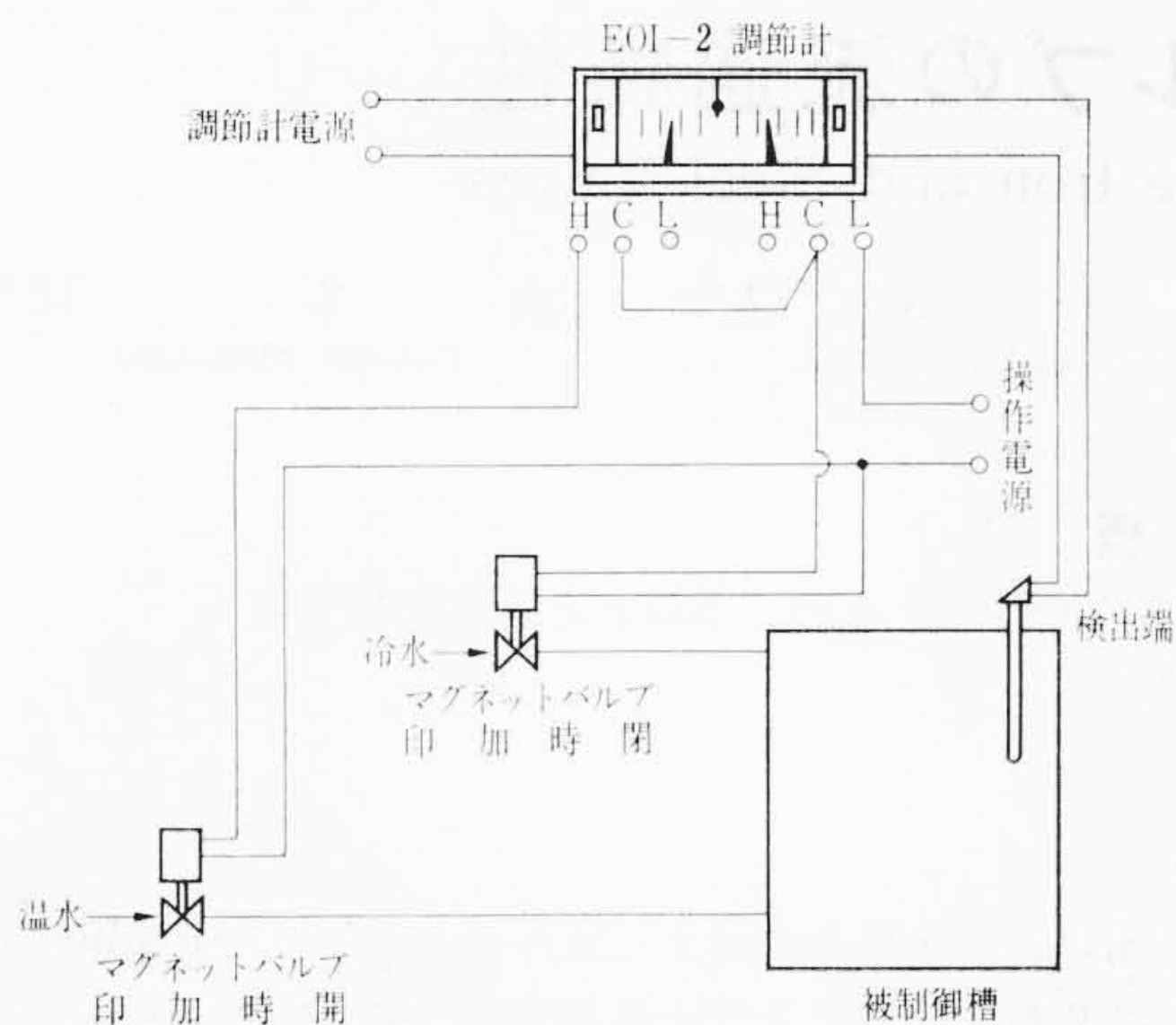
第23図 調節計内部引出しの状態

となる。すなわち、 t_{on} あるいは t_{off} の時間は入力電圧 E_s (つまり偏差) によって変わり、その状態を図示すると第20図のようになる。 $R_2 C$ により指数関数的にオンオフの時間や周期が変わるが、 t_{on} および $T = t_{on} + t_{off}$ の結果は第21図に示すとおりである。これを T に対する t_{on} の百分率で表わしたものが第22図である。20~80%の間はほぼ直線的に変化し、両端10%程度の部分は中央部よりも曲線が立ち上がり、調節感度が上がっている。これは偏差が大きくなるにしたがって感度を上げ(すなわち比例帯を狭め)て制御を行なうもので、制御目的上好ましい特性である。

3.3 構造、機能、その他

3.3.1 全体の構成

EOI-2形調節計は第1図に示すように正面デザインも一新し、表面に諸調整ダイヤルを出していない。第23図のように設定値の変更、零コレクタ、外部抵抗調整、電源スイッチの操作、マニュアルリセットなどはすべて内部を引き出して行なう形になっている⁽¹⁾。内部は、カバー下面を押すことにより手軽に前に引き出す



状 態	接点の状態
↑	H C L H C L
▲	H C L H C L
▲	H C L H C L
電源断	H C L H C L

第 24 図 EOI-2 形上下限設定調節計の使用例

ことができるので、盤占有面積が小さく、しかも自動制御運転中に部外者からダイヤルを動かされるおそれがないという効果をもっている。このような構成のため、塵埃(じんあい)をきらい内部可動部分は、外側ケースの中にさらにケースを納めた形をとり、ケース部や機構貫通部には発泡樹脂のパッキングを取り付けてある。表示ランプの交換も容易にできるよう配慮されている⁽¹⁾。

3.3.2 マニュアルリセット機構⁽¹⁾

比例動作調節計で本質的に出てくるオフセットの消去方法として、時間比例のEOI-2形調節計では、ふつうの設定指標のほかに、もう1本修正指標を設け、オフセットが出たときに修正指標だけをずらすことにより、オフセットのない制御ができるようにしてある。この操作は設定点変更用と同一ノブにより行なわれ、比例帯全幅修正することができ、簡単確実に目的が達せられる。

3.3.3 出力リレー

リレーには直流24Vの日立A902P形リレーを使用している。前述のリレー駆動用トランジスタの出力で直接動作し、DPDT(双極双投)の接点をもっている。通電容量AC100V、7.5A(抵抗負荷)で、機械的、電気的寿命の点でも十分に検討されたものである。

DPDTの接点をもっているため、上下限設定の場合には、その接点を直列に接続したりすることによって、一部停電あるいは全停電などの場合に安全側に操作されるよう、かなり広範囲な保護対策を施したシーケンスが選択できる。

第24図は、100Vライン(調節計電源)のみの停電時、および全

第 1 表 EOI-2 形調節計標準仕様

目 盛 幅	120 mm
指 示 精 度	±1%
表 示 ラ ン プ	赤および緑2個付
比 例 帯	5% (マニュアルリセット付)
比 例 動 作 周 期	約 60 秒
外 部 抵 抗 調 整	{ パリオームにより可能 熱 電 対 10 Ω 測 温 抵 抗 2.5 Ω
出 力 リ レ ー	{ C 接 点 通 電 容 量 AC100V 7.5 A 標 準 電 源 遮 断 容 量 AC100V 5 A
標 準 電 源	100V, 110V, 200V, 220V
表 面 寸 法	100 mm×213 mm
電 源 変 動	定格値の ±15%
周 囲 温 度	0~50℃
重 量	4.5 kg
そ の ほ か	自動冷接点補償回路内蔵 電源スイッチ、ヒューズ付

第 2 表 EOI-2 形調節計の種類

EOI-2-T-HC	熱電式温度調節計上限接点
EOI-2-T-LC	熱電式温度調節計下限接点
EOI-2-T-HCLC	熱電式温度調節計上下限接点
EOI-2-T-HT	熱電式温度調節計上限時間比例
EOI-2-T-LT	熱電式温度調節計下限時間比例
EOI-2-C-HC	{ 抵抗式温度調節計上限接点 (熱電式と同様このほか4種あり、以下同じ)
EOI-2-S-HC	抵抗式温度調節計上限接点 (サーミスタ検出)
EOI-2-FL-HC	誘導コイル式流量(液面)調節計上限接点
EOI-2-AP-HC	湿度調節計上限接点
EOI-2-AK-HC	電導度調節計上限接点
EOI-2-NH-HC	回転数調節計上限接点
EOI-2-MA-HC	mA 入力調節計上限接点
EOI-2-MV-HC	mV 入力調節計上限接点

停電時に安全側(冷水を通す)にもってくる使用例である。

4. 結 言

以上、EOI-2形発振式調節計について、その構成、機能、特性などを、温度調節計を主体として説明したが、この調節計は温度のみでなく、流量、液面、圧力をはじめ湿度、水電導度、pH、回転数など多くの制御対象に使用することができ、警報計、調節計として各方面に使用されている。その目的に十分適合した経済的な調節計として、今後もその応用範囲を拡大していくものと思うが、本稿が多少なりとも関係各位の参考に資せられれば誠に幸いである。

最後に、本調節計の完成に当たり種々ご尽力をいただいた日立製作所中央研究所、那珂工場の関係各位に厚くお礼申し上げる次第である。

付 記

参考までに標準仕様、調節計の種類を第1,2表に示す。

参 考 文 献

- (1) 特許、実用新案申請中
- (2) 酒井：ブリッジ回路 121 (昭-37, 日刊工業新聞社)
- (3) 半導体ハンドブック 613 (昭-39, コロナ社)