

タービン用伸び差計の改良

Improvement of Differential Expansion Meter for Steam Turbine

新井 健* 西垣 光夫* 引地 進*

Takeshi Arai

Mitsuo Nishigaki

Susumu Hikichi

内 容 梗 概

タービン監視計器のうち主軸と車室の伸びの差を検出し、指示記録する伸び差計について、検出部残留電圧を新方式のブリッジにより消去し、回転円板の局所磁化による指示振れを軽減し、総合的に指示誤差、指示振れを減少せしめ、特性の向上ができた。

1. 緒 言

工業生産の高度化および家庭電化の普及は電力の需要を増大し、発電設備は水力、火力ともに、数年来大容量化されるに至った。特に火力発電設備は年を追って大容量となり、この運転のための監視計器もその重要性が増大している。

日立製作所は既にタービン監視計器としてケーシングの伸びを測定する伸び計、ケーシングと主軸との伸び差を測定する伸び差計、軸の振動を測定する振動計、軸の偏心を測定する偏心計、主弁のカム軸の位置を遠隔指示するカム軸位置計および回転計などを開発し、20セット以上を納入し、好評を得ている。これらの計器の概要については既に本誌⁽¹⁾に発表したところであるが、監視計器の重要性からさらに研究改良を加え、今日の日立タービン監視計器が完成されている。

本文においてはこれらのうち特に伸び差計の改良点について述べる。

2. 伸び差計の概要

伸び差計は前述のようにケーシングと主軸との伸び差を測定する計器であるが、まず改良前の伸び差計の概要について述べる。

第1図はこの構成図を示す。図において L_1, L_2 はケーシングにとりつけられた鉄心入りコイルであり、主軸の回転円板（磁性体）をそれぞれ、その磁路の一部にしている。したがってケーシングと主軸の相対位置が変化するとそれにつれて L_1, L_2 のインダクタンスが増減する。 $r_1 \sim r_4$ は抵抗で L_1, L_2 とともにブリッジを構成している。このブリッジを検出部として増幅器、平衡モータとにより自動平衡計器が構成されている。

ケーシングと主軸との伸び差が変化するとブリッジに出力電圧があらわれ、増幅器に入って平衡モータを回す。抵抗 r_3, r_4 の一部が図示のようにスライド抵抗になっており、そのブラッシは平衡モータの軸と連動しているので、平衡モータの回転によりブラッシも移動する。ブラッシが移動するにつれてブリッジ出力電圧も変化し、ついには平衡モータは停止するに至るが、そのときの指針の位置が、新たな伸び差を指示するような構造になっている。

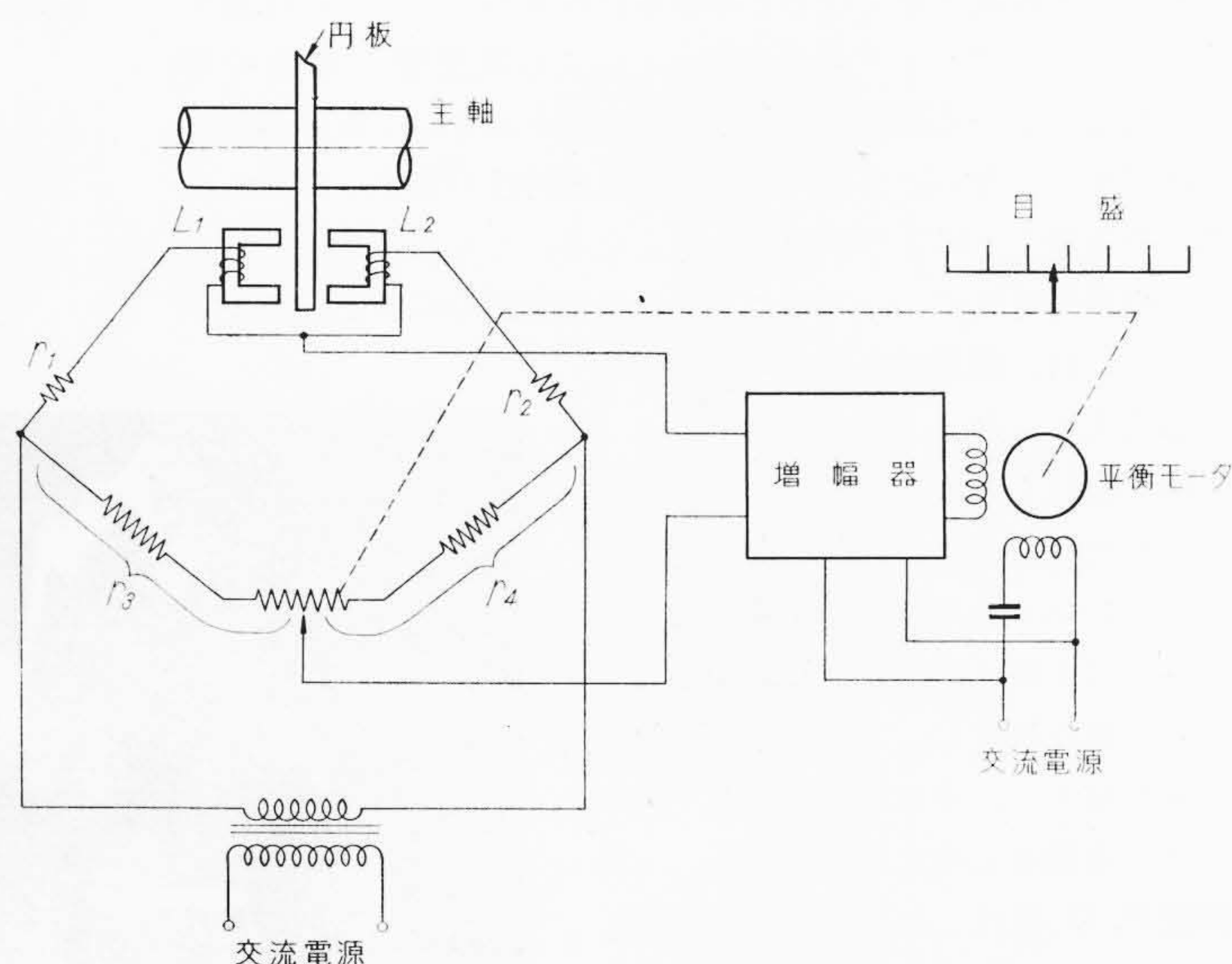
3. 検出部の残留電圧

第1図におけるブリッジの平衡条件は

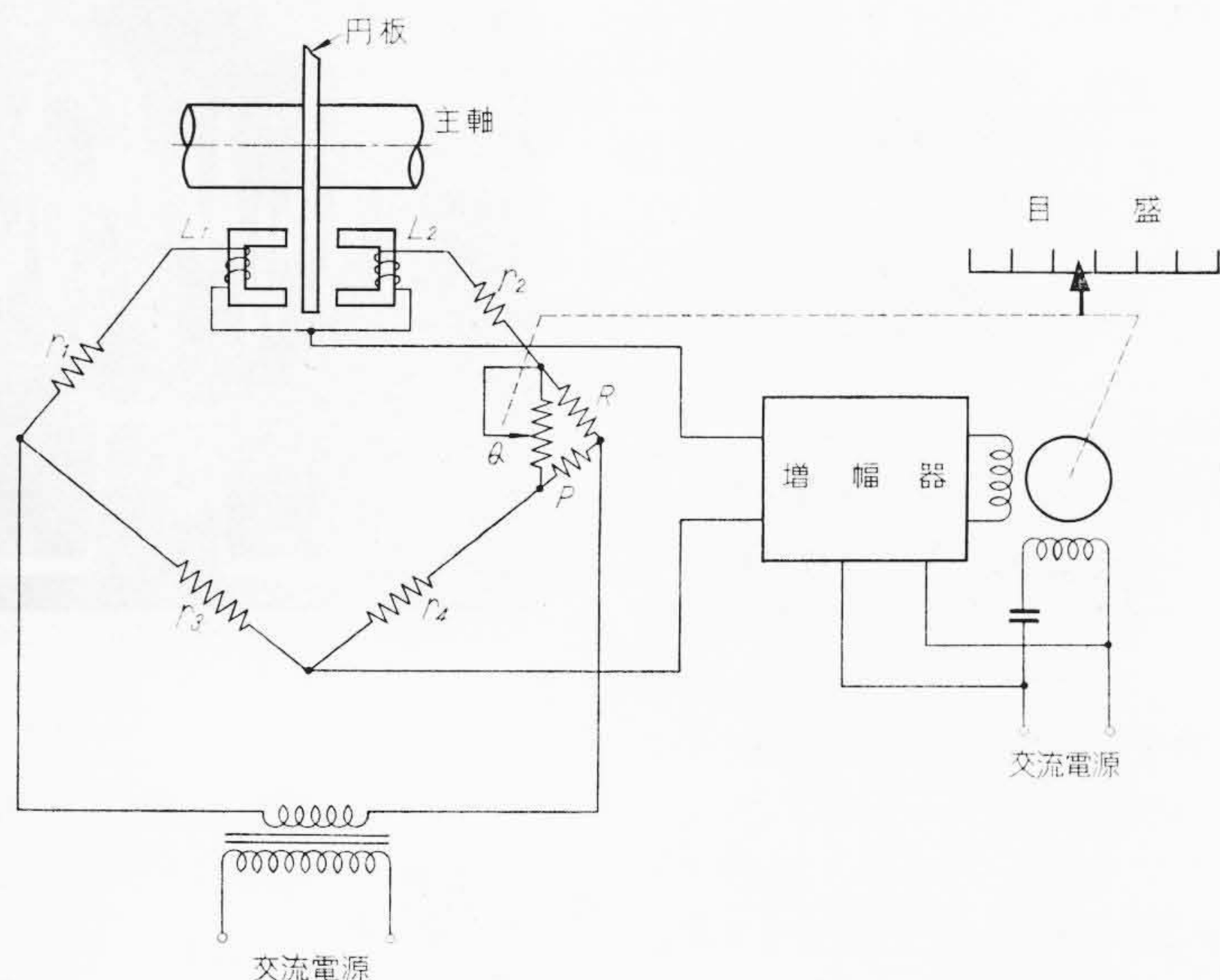
$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{r_3}{r_4} = \frac{r_1}{r_2} \quad (1)$$

で表わされる。したがって伸び差のある値に対してこの平衡条件が

* 日立製作所那珂工場



第1図 改良前の伸び差計の構成



第2図 新方式のブリッジによる伸び差計の構成

成立するようにブリッジを調整しておく、この点においてはブリッジの出力電圧は完全に零になって平衡モータは停止する。すなわちこの状態においては残留電圧はない。しかし伸び差が変化し、 L_1, L_2 が変ると平衡モータによりブラッシが動かされて、 r_3, r_4 が変化し、第1式の第1の等号は再び成り立ちうるが、 r_1, r_2 が定数である

ため第 2 の等号は成り立たない。したがってこのブリッジは伸び差の変化に対して完全に平衡することはできず、残留電圧が残ることになる。この残留電圧は伸び差が第 1 式が成立するように調整した点からづれるにつれて増大し、電源周波数と同じ基本波分である。平衡モータは増幅器の入力電圧が電源電圧に対し、ある位相になったときに回転力を発生するものであり、それと 90° ずれた位相の電圧が増幅器に入っても回転力は発生しない。したがってブリッジ出力に残留電圧がある場合にはちょうどこのような位相になるところにブラシが静止することになる。また残留電圧があっても伸び差が変化すればブリッジ出力には平衡モータを回転させる有効分を含む電圧が発生し、それを打消すように平衡モータが回転し、指針は新しい位置に静止する。このように残留電圧があっても計器は動作をするが、これがある程度大きくなると増幅器終段管のグリッドには過大電圧がかかりグリッドエミッションによる真空管の寿命の短縮、感度および応動速度の低下などの害があり、平衡計器としては好ましくない。また、増幅器の位相特性の変化（たとえば部品の取替え）により誤差が大きくなることもある。

この残留電圧についてはブリッジの平衡部分に新しい考案⁽²⁾をとり入れ、原理的に残留電圧を零にする方式とした。

第 2 図はこの新方式のブリッジをとり入れた伸び差計の自動平衡機構を示す。このブリッジは図に示すとおりブリッジの 1 隅に抵抗 P, Q, R をもって三角接続を構成し、このうち抵抗 Q を可変抵抗とし、そのブラシを平衡モータと連動せしめたものである。三角接続 P, Q, R はこれと等価な Y 接続に置換できるが、この抵抗を X, Y, Z とすれば第 2 図は第 3 図のように書換えることができる。

ここで

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{QR}{P+Q+R} \\ Y &= \frac{QP}{P+Q+R} \\ Z &= \frac{PR}{P+Q+R} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

である。

第 3 図のブリッジの平衡条件は

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{r_2 + X}{r_1} = \frac{r_4 + Y}{r_3} \dots\dots\dots (3)$$

であるが、第 2 式を代入して

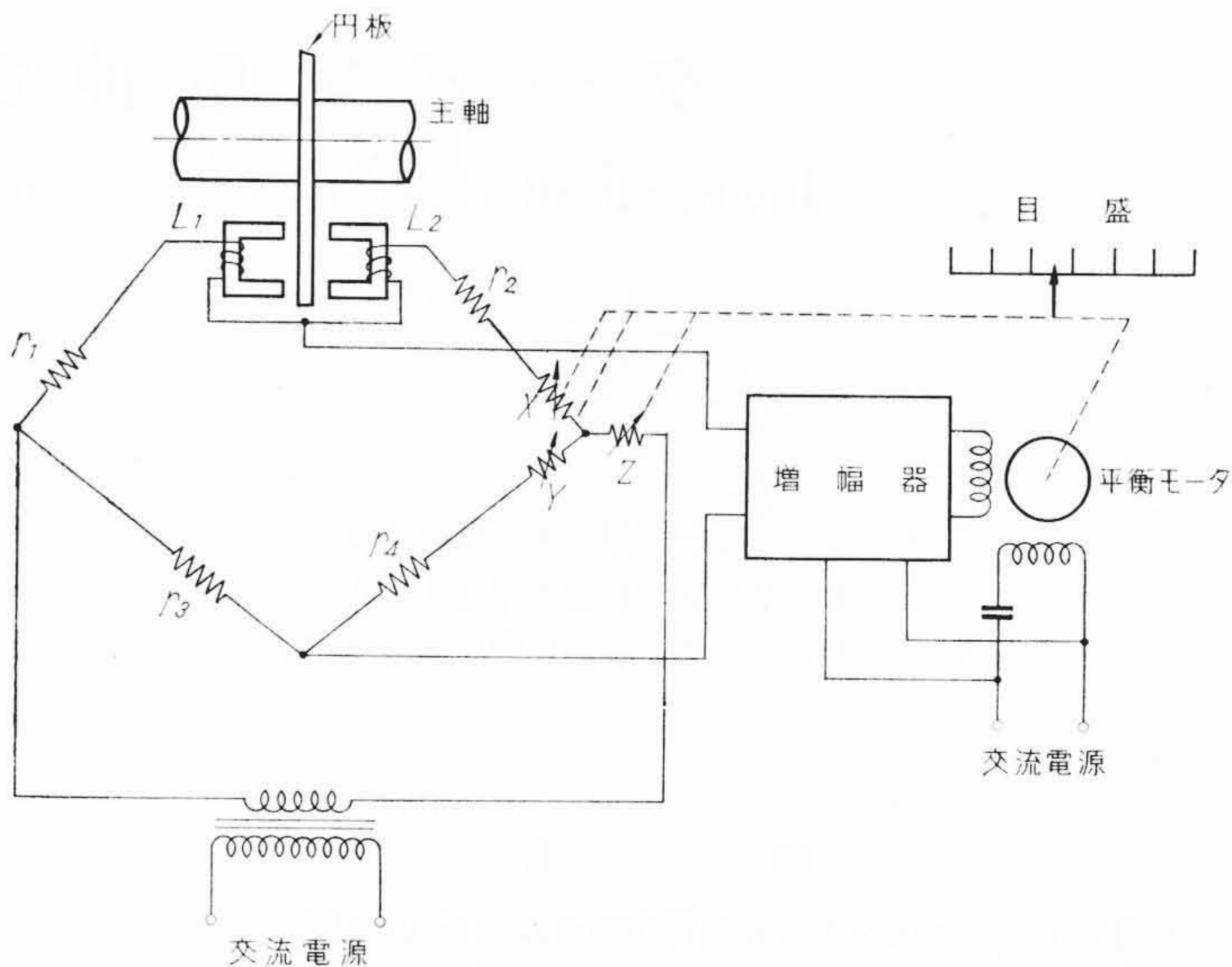
$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{r_2 + \frac{QR}{P+Q+R}}{r_1} = \frac{r_4 + \frac{QP}{P+Q+R}}{r_3} \dots\dots\dots (4)$$

となる。

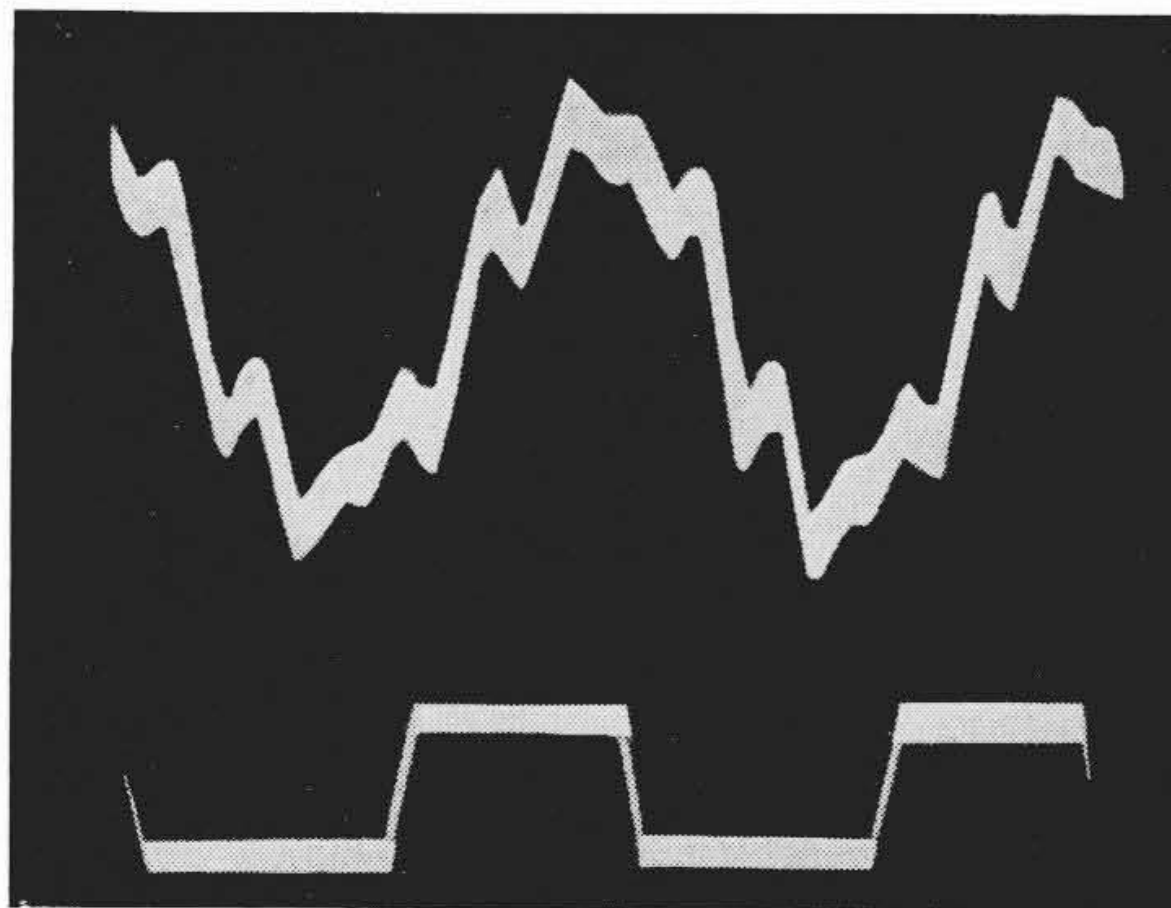
固定抵抗 r_1, r_2, r_3, r_4, P, R を次の第 5 式を満足するようにしておけば第 4 式の第 2 の等号は可変抵抗 Q のいかにかわらず成立する。

$$\frac{r_3}{r_1} = \frac{r_4}{r_2} = \frac{P}{R} \dots\dots\dots (5)$$

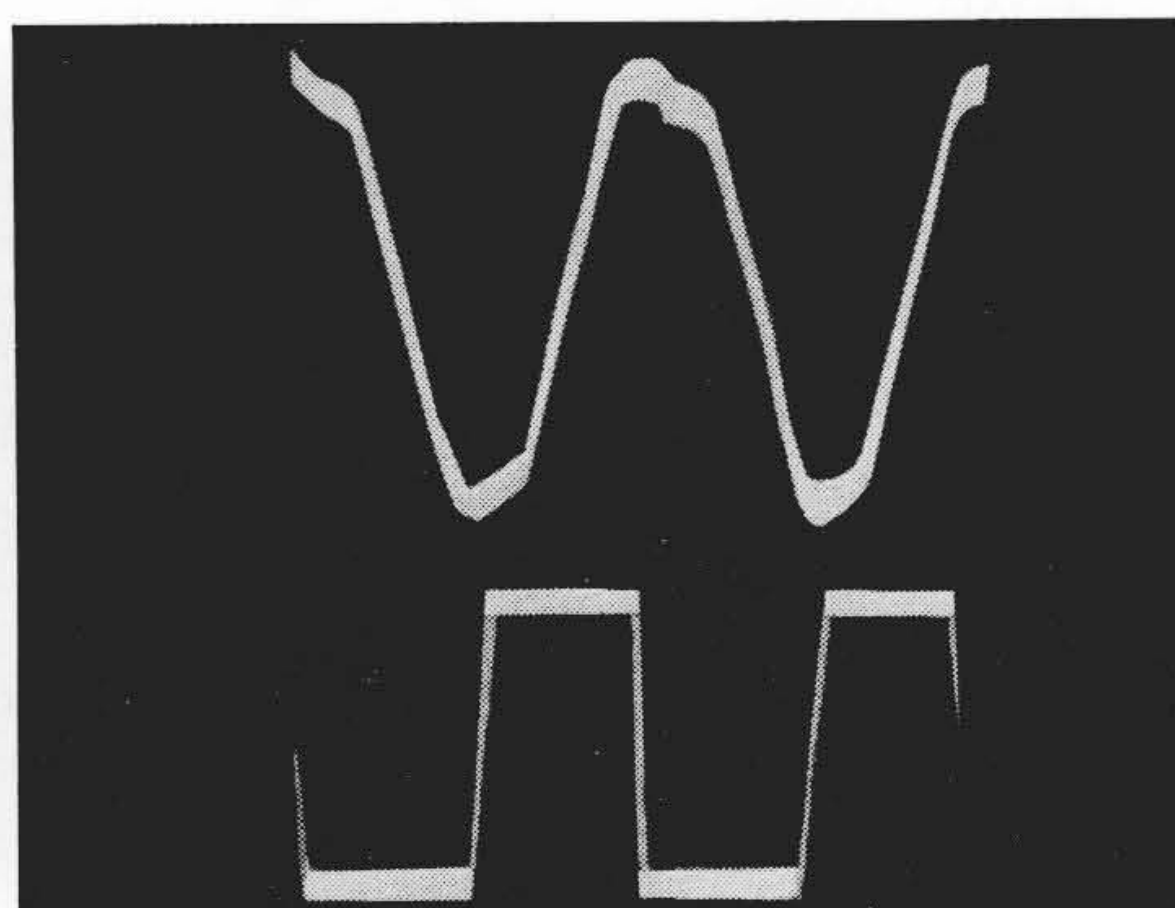
伸び差が変化して L_1, L_2 が変化すれば自動平衡機構により可変



第 3 図 等 価 回 路

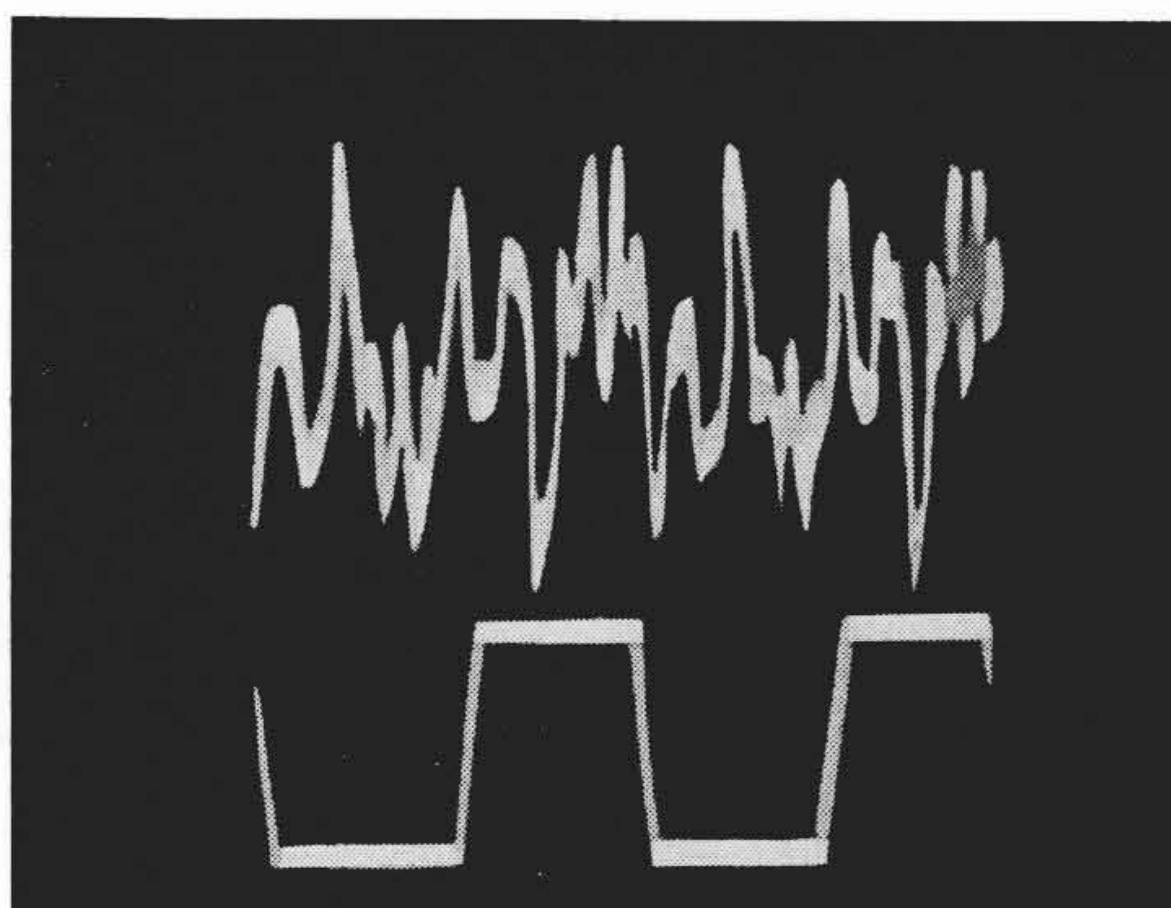


ブリッジ出力 60mV (先頭値)

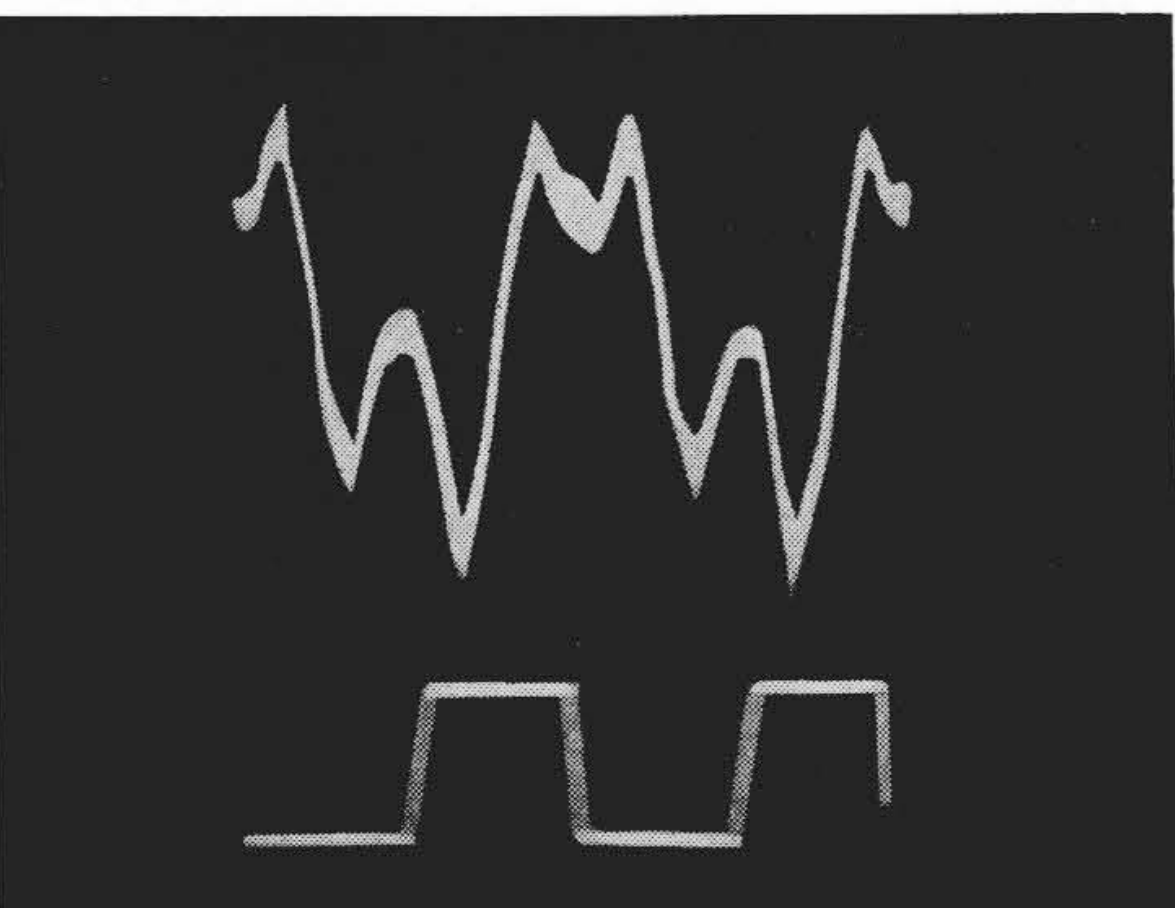


増幅器終段管格子電圧 12V (先頭値)

(イ) 改良前の残留電圧 (短形波は標準電圧を示す)



ブリッジ出力 18mV (先頭値)



増幅器終段管格子電圧 0.95V (先頭値)

(ロ) 改良後の残留電圧 (短形波は標準電圧を示す)

第 4 図 ブリッジの改良前後の残留電圧波形

抵抗 Q が変化して第 4 式の第 1 の等号が成立するようになるが、上述のように第 2 の等号は常に成立しているので、ブリッジは伸び差の値のいかにかわらず常に平衡することができ、平衡状態では増幅器に残留電圧が入ることはないのである。

この回路方式では第 3 図の抵抗 Z の値が変化してブリッジにかかる有効電圧が変化することになるが、本機構は本質的にブリッジ電圧の影響を受けない方式なので、なんらさしつかえはない。

第 4 図はブリッジの改良前および改良後の平衡計器の残留電圧を示すものである。増幅器終段管の格子における残留電圧としては 12V から 0.95V に改善されている。改良後のブリッジ出力波形には高調波が多くみられるが、これは鉄心の影響によるものであり、基本

波分は小さくなっている。増幅器終段管の格子ではこの高調波が大部分消去され、基本波分と第3高調波の残留電圧がみられる。原理的には平衡モータのトルクになる基本波分は零になるわけであるが、 r_1 , r_2 そのほかの抵抗値を定める調整上の誤差などにより残留電圧が残るが、この程度であれば性能を害することはない。

第5図はブリッジ出力および終段管の格子における残留電圧と伸び差の値(−7.5〜+7.5mm)との関係を示す。改良前のブリッジでは、平衡が比較的良好とれている点が一点あり、伸び差がそこからずれるにつれて残留電圧が増大する。改良後のブリッジでは、残留電圧は伸び差の値にかかわらずほぼ一定である。

4. 指示振れ

先に述べたように、伸び差の検出は主軸の円板によりコイルのインダクタンスが変化することを利用している。もし円板が局部的に磁化されていると、その影響を受けることになる。

伸び差の検出器のコイルは商用周波数で励磁されているが、円板に局所磁化があると検出器コイルには主軸の回転数によって定まる周波数の電圧が誘起する。したがって計器の指示はこの二つの周波数のビートにより動揺することになる。平衡計器には平衡モータなどの慣性があるので、あまり早い動きには応動できないので、ビート周波数がごく低くなったときすなわち主軸が同期速度に近づいたときに指示の振れが大きくあらわれる。

第6図は円板の局所磁化により検出器コイルに誘起される電圧波形の一例である。これから分るように多分に高調波を含んでいるので同期速度の数分の1のところでもかなり大きな指示振れがみられる。

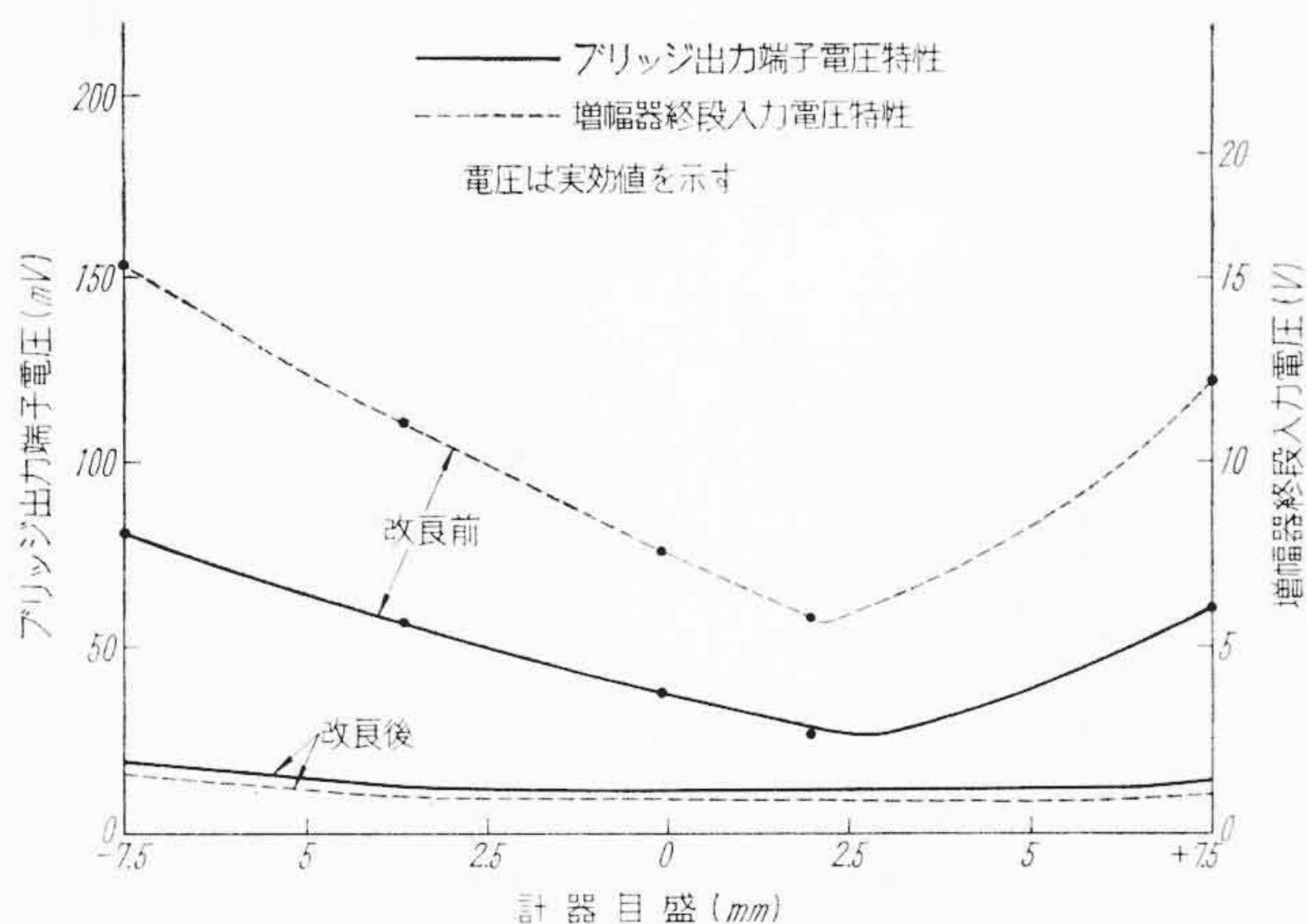
第7図は指示振れの幅が回転数によりどのように変わるかを示している。これは等価試験装置の回転円板の一部を人工的に局所磁化をして、検出コイルに電圧を誘起させ指示振れを生ぜしめてみたものであるが、現地における様相によく類似している。

今までに経験したものでは、3,000 rpm において検出コイルに最大 60 mV の誘起電圧が認められたものがある。しかるに検出器は伸び差が 1 mm 変化すると 11 mV の電圧が発生する程度の感度であったため、この場合はかなり大きな影響を受けることになる。

伸び差の変化によるコイルのインダクタンスの変化分を ΔL 、コイルに流れている電流を I 、円板の局所磁化による誘起電圧を E_N とすれば、指示振れを減小させるには

$$\frac{\Delta LI}{E_N}$$

を大きくしなければならない。



第5図 ブリッジ出力および終段管の格子における残留電圧特性

局所磁化による誘起電圧 E_N を小さくすることが、最も根本的な対策である。これを行うにはタービンの現地据付時に消磁コイルで回転円板の消磁をすればよい。しかし消磁をするにも限度があるので、その影響を完全に除くことは不可能である。そこで検出器の感度を増してできるだけ局所磁化の影響を受けないようにしておかなければならない。

インダクタンスの変化分 ΔL を増すことは検出コイルの形状、およびタービンへの取付けを変更しなければならず困難を伴うのでコイルに流す電流 I を増して検出部の感度の増大をはかった。

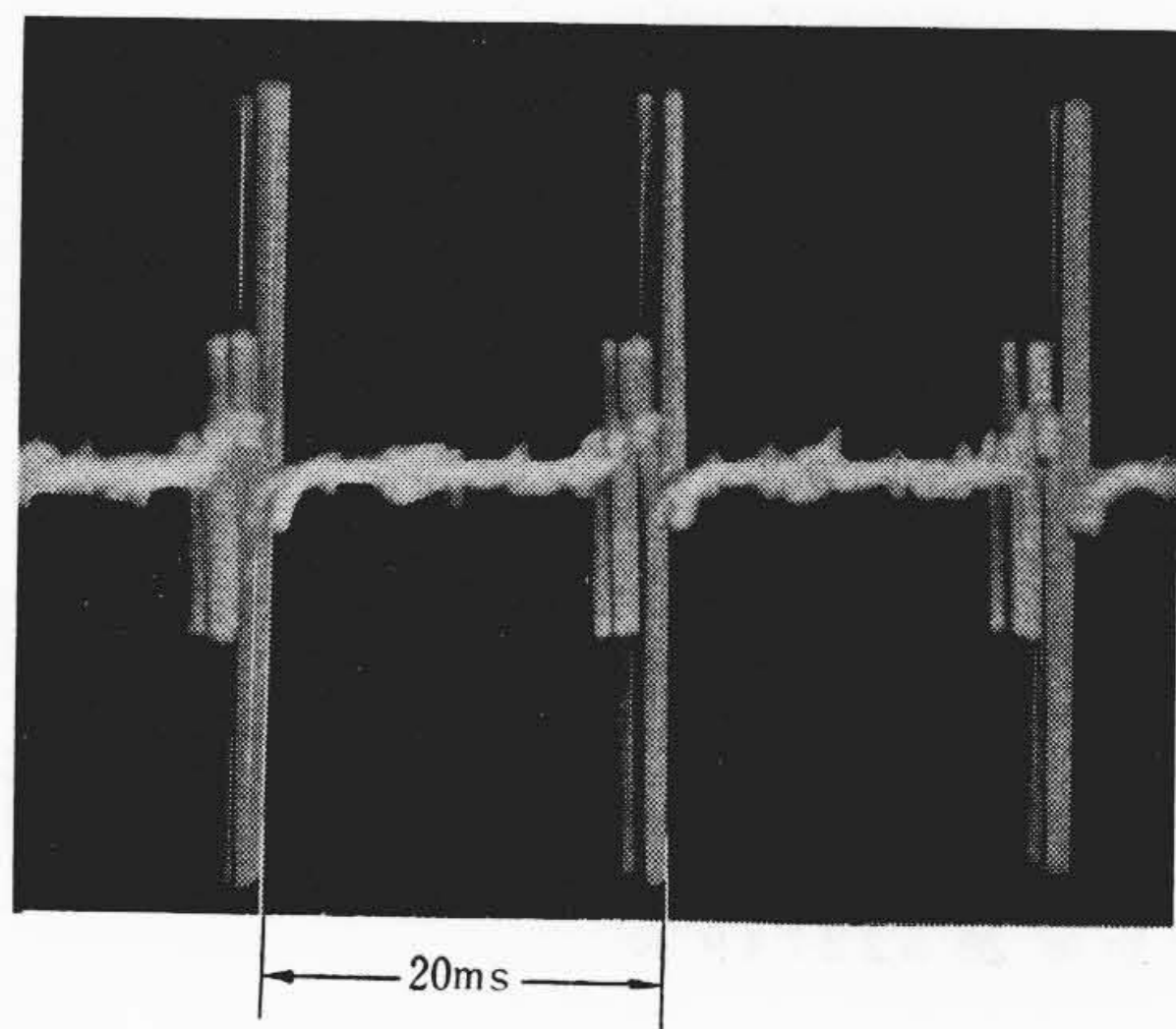
第8図は試験装置の回転円板を人工的に磁化して、検出コイルに各種の電流を流したときの指示振れを記録紙上に記録したものである。現在の改良後の検出コイルにはコイルの最大許容電流を流しているが、これは改良前の約13倍となり、指示振れの影響は約10分の1に軽減されている。

回転円板の局所磁化はおおのこのタービンにより異なるので、どの程度の電流であればよいかは一概にはいえないが、改良後のものについては全然、問題を起していない。

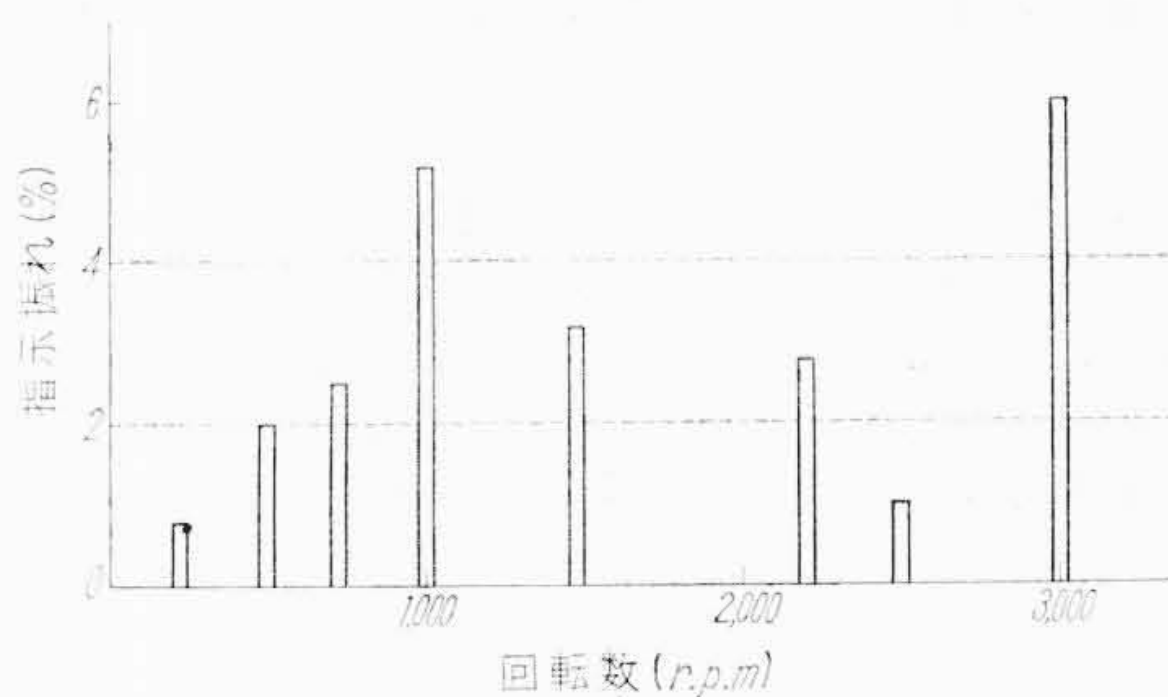
5. 瞬時的雑音による影響

電子管式平衡計器は平衡モータにより速度制限がかかるので、フルスケールの平衡にはかなり時間がかかるが、入力変化が数%の範囲では、その時定数に相当するものは0.1秒の程度であり、かなり早いものである。これをそのまま伸び差計に適用すると、タービンの軸受の遊び、外部からのパルス状の雑音電圧などに起因する瞬時的な雑音に忠実に応動してしまうことになる。この結果記録紙上に"ヒゲ"がでて記録が見苦しいだけでなく、警報接点が誤動作をして適切な判断を誤ることもなりかねない。

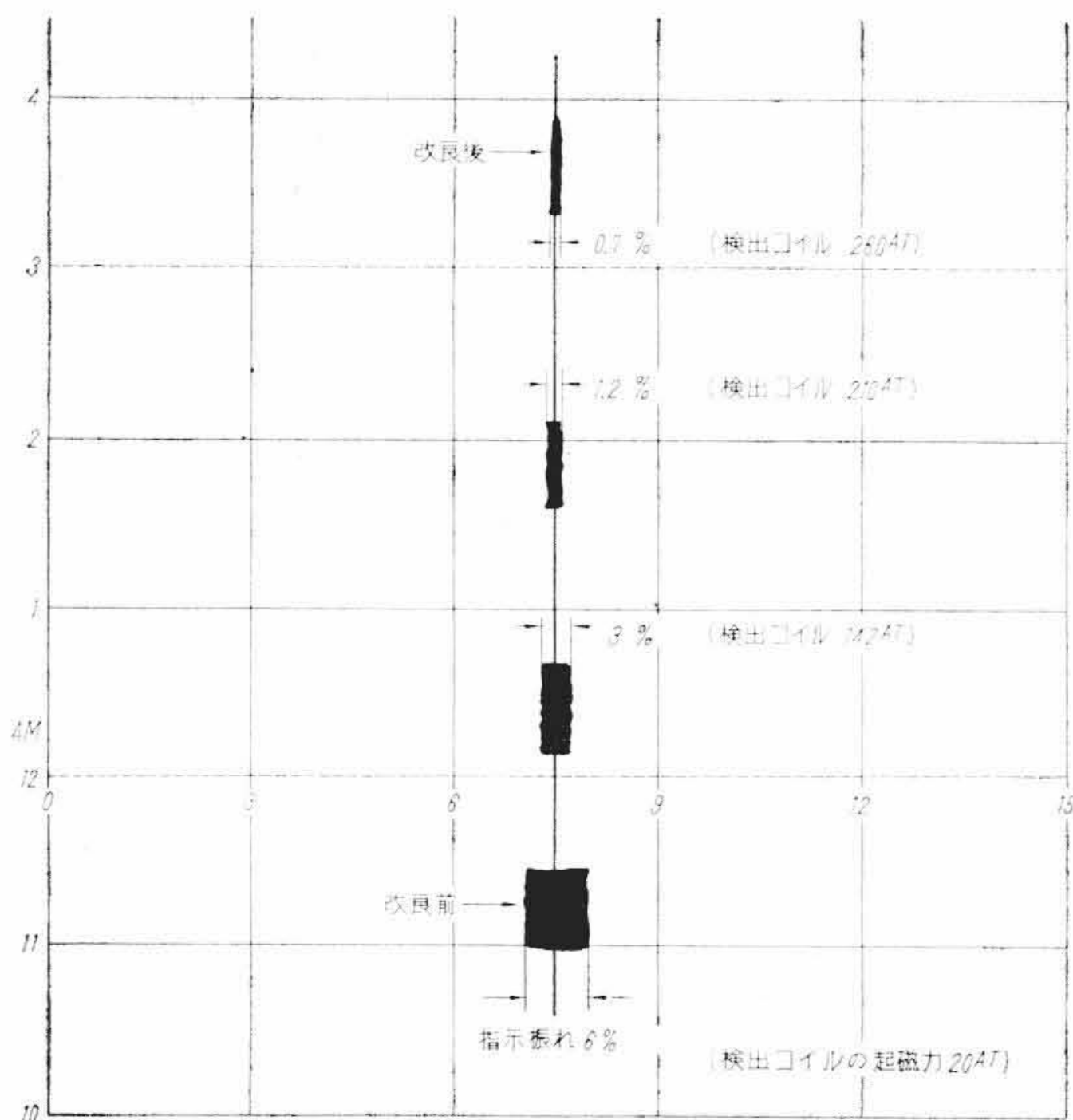
蒸気タービンでの伸び差の原因は熱的なものであるから、急激な変化はしないものと思われる。そこでこの瞬時的な雑音の影響を避



第6図 回転円板の局所磁化により発生する検出器コイル端子電圧波形



第7図 回転円板の局所磁化による指示振れと回転数の関係



第 8 図 検出器コイルのアンペアターンと記録紙上における指示振れの関係

けるため、計器の応答時間を従来の約 7 倍にした。平衡モータの軸からスライド抵抗のブラッシまでの減速比を、増大したわけである。

このようにすると指針は瞬時的な雑音には応動しなくなるが、本来の伸び差に対して感度が低下するようなことにはならない。

6. 結 言

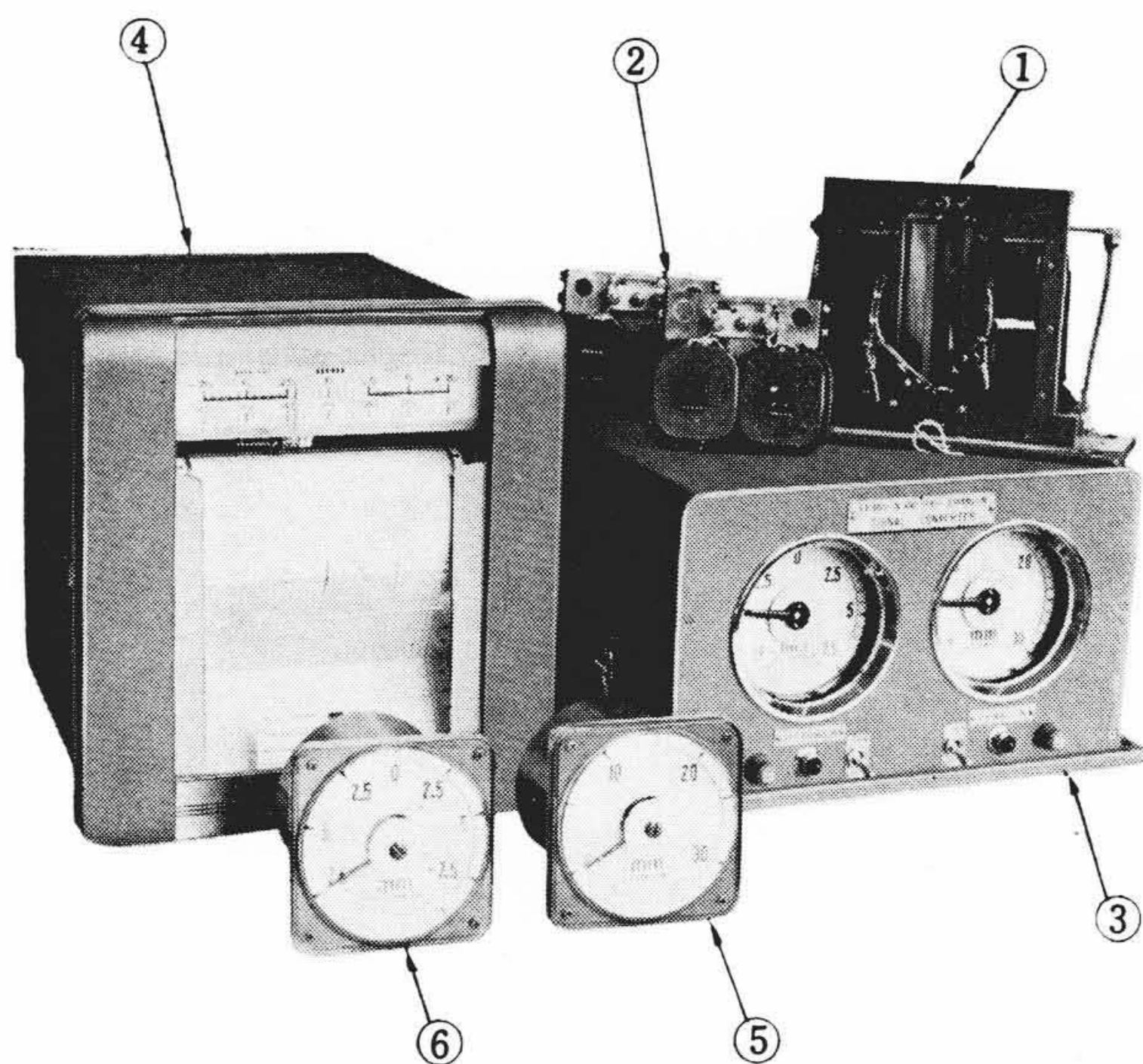
以上蒸気タービン用伸び差計の改良点について述べたが、その改良項目としては次の 3 項が挙げられる。

- (1) 平衡時におけるブリッジの残留電圧
- (2) 回転円板の局所磁化による指示振れ
- (3) 瞬時的雑音による影響

このうち第 1 の残留電圧は計器本来の性能の問題であり、新方式のブリッジを採用して残留電圧の軽減をはかった。

第 2、第 3 の点は計器を実際に現地に据付けてから問題として起ったものであり、タービン監視計器として要求される性能に関係する。

第 2 の局所磁化による指示振れについては、消磁コイルで局所磁



- ① L L R 3 形伸び検出器
- ② L L R 2 形伸び差検出器
- ③ X-L L R 23 形変換器箱
- ④ V K P 30-M 形伸び伸び差記録計
- ⑤ S R 35 形伸び指示計
- ⑥ S R 35 形伸び差指示計

第 9 図 伸び伸び差指示記録計一式

化を減少させるとともに検出器コイルに流す電流を増して、検出器の感度に対する誘導電圧の比を小さくした。

第 3 の瞬時的雑音による影響については伸び差は本来、急激な変化量ではないので計器の応答速度を適正なものにすることにより対策した。

これらの対策をすることにより、現在、各所に納入されている伸び差計はほかのタービン監視計器と同様に、いずれも良好な動作を続けている。

第 9 図は伸び伸び差計の一式を示す。記録計はさん新なデザインの日立中形電子管式記録計を使用し、ケーシングの伸びと伸び差計を同一の記録計で打点記録する方式とし、盤占有面積の縮小化を計っている。

参 考 文 献

- (1) 井沢、西垣、岩谷：日立評論 39 (昭 33-7)



登録新案 第 522749 号

新 案 の 紹 介



小 沢 重 樹・新 井 健

分 圧 器

従来の分圧器はその分圧用抵抗自体の抵抗変化により端子電圧が変化する不都合があったが、本実用新案はこの点を改良したものである。

これを図面で説明すれば、電源 e_0 の両端 A, B 間の電圧 e_{AB} と、その中間点 P を電源に接続されたしゅう動抵抗 RV のしゅう動子 SL と中間点 P 間の電圧 e_{AC} との差を増幅器 Amp で増幅し、電動機 M を回転させそれと連結したしゅう動子 SL を調整することによって $e_{AB} = e_{AC} = e_0$ となるようにする。ここで電源の一端 A としゅう動子 C 間に分圧抵抗 $RV_1, RV_2, \dots, RV_n$ を接続すれば A, C 間の端子電圧は常に e_0 に保たれる。

(手 島)

