

# 結合コンデンサ型計器用変圧器

森 山 昌 和\*

## Coupling Capacitor Potential Devices

By Masakazu Moriyama  
Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

It has been a common knowledge that the so-called PD or the capacitor potential device, while featuring such merits as light weight, competitive price, availability as the combining condenser for carrier use, etc., falls considerably behind the potential transformer in error limit, particularly of phase angle. Ingenuity of Hitachi's engineering staff, however, united with the repetition of meticulous research work, has made it possible to work out such an amelioration for the product that: Its error limit has become comparable with that of a potential transformer designed as JEC-118, 1.0 class; its phase angle error is around  $\pm 50$  minutes for the 90 to 105 percent frequency variation; and its transient characteristic can also parallel that of the potential transformer. With these new advantages, this PD of Hitachi's design is expected to extend its frontier of application further to general relays and measuring instruments and others, with which the potential transformers alone have hitherto been employed. Furthermore, as regards condenser for power factor improving, the actual measurement by the writer revealed to be negligibly small, so that it will not disturb the use of relays in any way.

### 〔I〕 緒 言

送配電系統に使用される計器用変圧器としては、従来巻線型のいわゆる PT が圧倒的に多かつたが、高圧になるにつれ、重量、価格ともに急激に大となり、さらに絶縁上にも種々困難な問題を生ずるといふ欠点がある。しかるに、静電容量による分圧を利用したコンデンサ型計器用変圧器（以下 PD と記す）は、回路電圧に応じて分圧用コンデンサの直列箇所を増加することにより、高圧用も比較的安価に製作しうる。またコンデンサを使用するため、本質的にサージ等に対する電位分布が極めて良好であるので、絶縁上の困難もなく、100 kV 程度以上の回路に使用すれば、PT に比しはるかに軽量かつ安価となる。さらに分圧用コンデンサは、搬送用結合コンデンサとしても利用できるという特長をも併有する。

PD は、以上のように種々の長所を有するにもかゝわ

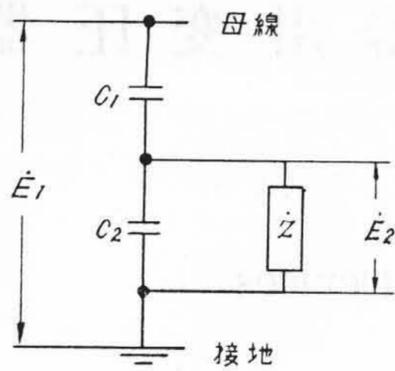
\* 日立製作所日立工場

らず、最近まで比較的使用されることが少なかつたのは、その特性、特に位相角の周波数特性において、PT に比し相当劣つていたためであつた。しかしながら、最近送電電圧の上昇とともに、ますますその必要性が痛感され、各国において種々研究、改良が行われた結果、従来の同期検定用程度に留まらず、一般の継電器用、さらに計量用としても使用しうるようになった。一方定格電圧も、すでにスエーデンで 380 kV、スイスで 400 kV 用の超高压の PD が製作されて良好な特性を示す等<sup>(1)(2)</sup>、前記長所を活用して急速な進歩向上を遂げつゝある。

日立製作所においても、最近各種特性を飛躍的に改善した PD を製作しているので、以下その概要を述べる。

### 〔II〕 PD の 原 理

第 1 図(次頁参照)は、PD の基本的構成、すなわちコンデンサ分圧器の接続を示したものである。負担インピーダンス  $Z$  が無限大の場合には、 $Z$  の端子電圧  $E_2$  と、



第1図 コンデンサ分圧器接続図  
Fig. 1. Connection Diagram of Capacitor Potential Divider

母線電圧  $\dot{E}_1$  との関係は、

$$\frac{\dot{E}_2}{\dot{E}_1} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \dots\dots\dots (1)$$

となり、理想的変成を行うことができる。

しかるに、実際には負荷として継電器その他が接続され、その  $Z$  に応じて若干の電流が流れるため、必然的に変成比誤差を伴うことはあきらかである。すなわち  $Z$  が有限な場合には、変成比は次式となる。

$$\frac{\dot{E}_2}{\dot{E}_1} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \times \frac{Z}{Z + \frac{1}{j\omega(C_1 + C_2)}} \dots\dots\dots (2)$$

誤差を小ならしめるためには、(2) 式の

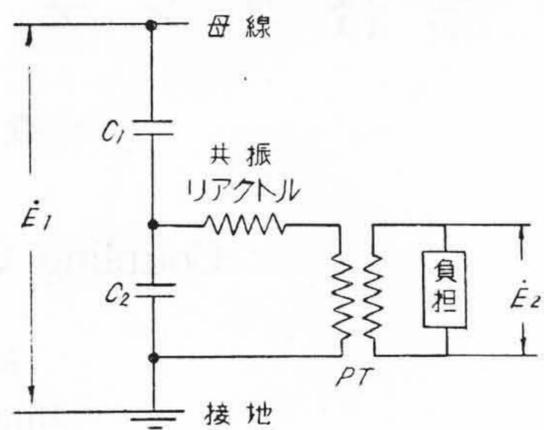
$$\frac{Z}{Z + \frac{1}{j\omega(C_1 + C_2)}}$$

を1に近づければよい。このためには  $Z$  または  $C_1, C_2$  を大にせねばならないが、 $Z$  は負荷により定まり、 $C_1, C_2$  も経済的見地から限度があるので、ある程度以上大とすることはできない。したがって実際のPDは、第2図に示すようにべつに共振リアクトルを設けて  $C_1, C_2$  と共振せしめ、分母第2項の影響をなくするとともに、低圧のPTを用いて、コンデンサ側に換算した負荷インピーダンスを大きくすることにより、この目的を達している。

第2図において、PT およびリアクトルの合成抵抗を  $r$ 、合成リアクタンスを  $x$  とし、PT の励磁インピーダンスを含めた負荷側の抵抗を  $R$ 、リアクタンスを  $X$  とすれば、変成比は(3)式のようになる。

共振リアクトルを適当に選んで、 $x = \frac{1}{\omega(C_1 + C_2)}$  とすれば、分母{ }の項を0とすることができ、PT の巻数比を大にすれば、高圧側換算  $R, X$  が大となり、かつ  $r$  を小にすれば、(1) 式の関係に近づくことになる。さらに周波数変動による変化を小にせねばならないので、 $C_1,$

$$\frac{\dot{E}_2}{\dot{E}_1} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \times \frac{1}{1 + \frac{Rr + X \left\{ x - \frac{1}{\omega(C_1 + C_2)} \right\}}{R^2 + X^2} - j \frac{Xr - R \left\{ x - \frac{1}{\omega(C_1 + C_2)} \right\}}{R^2 + X^2}} \dots\dots\dots (3)$$



第2図 PD 回路説明図  
Fig. 2. Explanatory Diagram for PD Circuit

$C_2$  はできるだけ大きく選ぶ必要がある。

また負荷に並列に、適当なコンデンサを接続すれば、(3) 式において  $X=0$  とすることができるので、誤差を減少せしめうるほか、補助負担により  $R$  を常に一定に保てば、負担による特性変化を全く消去することができる。

実際のPDを製作するにあたっては、 $C_1, C_2$  および巻数比を極度に大きくすることは、大型かつ高価となるので、所要の特性に応じてそれぞれ適当な値を決定せねばならない。

### 〔III〕 最近のPDの構造

最近のPDの製作にあたり、特に改良を加えた点は、共振を利用するというPDの原理上、当然周波数変動の影響を受けやすいので、これをできるだけ減少せしめることであつた。このためにはPTの巻数比と  $(C_1 + C_2)$  とが、互いに逆の傾向をもつので、これに経済性をも勘案して、最も適当な値を決定した。さらに従来共振リアクトルをPT二次側に挿入していたが、これはPTの励磁電流が共振リアクトルを流れないため、特性上不利なことは理論的にもあきらかであるので、最近のものは、一次リアクトル型を採用している。

なお近時、PTなども次第に密封型が採用される機運にあるので、コンデンサは勿論PT、リアクトルもすべて完全密封型とした。したがって信頼性は一段と向上した。

第3図はその外観、第4図は接続図を示したものである。

コンデンサ型分圧器は、直接送電線に接続されるので、その絶縁に特に注意を要する他、電力線搬送用結合コンデンサとしても兼用されるので、その周波数特性を良好

にするよう十分な考慮を払って製作している。

〔II〕に述べたごとく、PTはその励磁インピーダンスが、(3)式の $R, X$ に含まれ、PD特性に影響するところが大きいので、一般の巻線型PTの豊富な技術、経験を活用し、極めて優秀なものを製作使用している。またPTおよびリアクトルの抵抗 $r$ は、直接誤差の原因となるので、これも十分小さくするよう設計してあるのは勿論である。従来はこの他に補助変圧器を置いて負担電圧を調整していたが、この励磁インピーダンスも誤差の原因となるので、最近のものには使用していない。

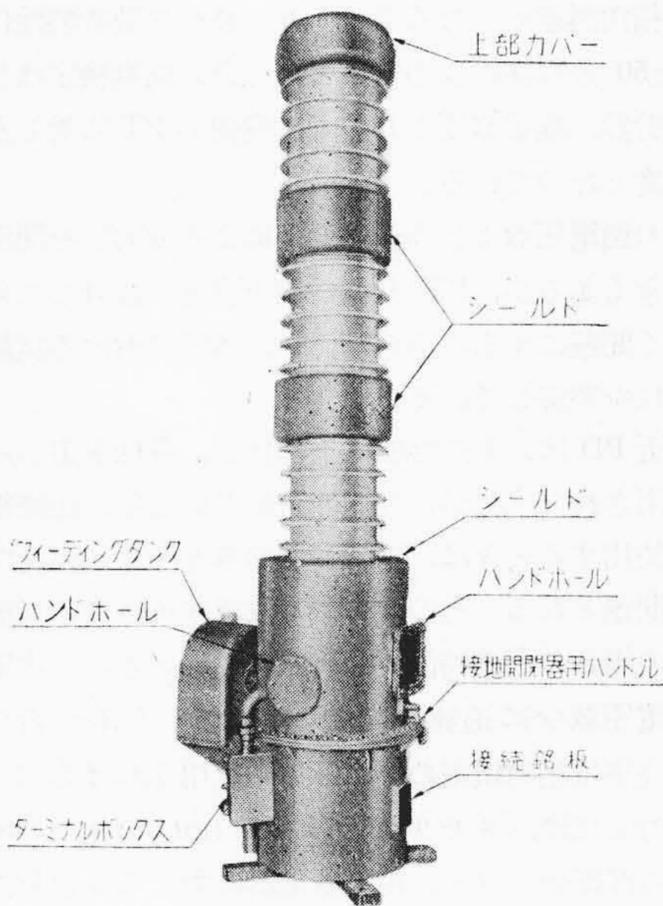
かように性能向上のため、種々改良を行つたが、各種機器常数の適当な選択により、その寸法重量とも従来の

ものほとんど同じ程度に製作されている。

第4図中、接地用開閉器は、PDの点検、運転休止に際し、コンデンサ $U$ 端子を接地し操作者に危害をおよぼさぬためのもので、第3図に示す接地開閉器用ハンドルにより外部より容易に操作できる。火花ギャップは負担の短絡事故による $UV$ 間電圧の異常上昇、外部よりの異常電圧侵入による絶縁破壊をさけるために、適当な電圧で放電接地せしめるものである。この両者は透明な視き窓から常に動作状態を確認しうるようになっている。

なお日立製作所では、力率調整用コンデンサおよび負担調整抵抗を附属しており、それぞれの調整はナイフスイッチおよびダイヤルスイッチにより、負担に応じて簡単に調整できるようにしてある。

搬送用結合コンデンサにも共用する場合には、第4図 $V$ 端子部分に開閉器1箇を追加すればよい。



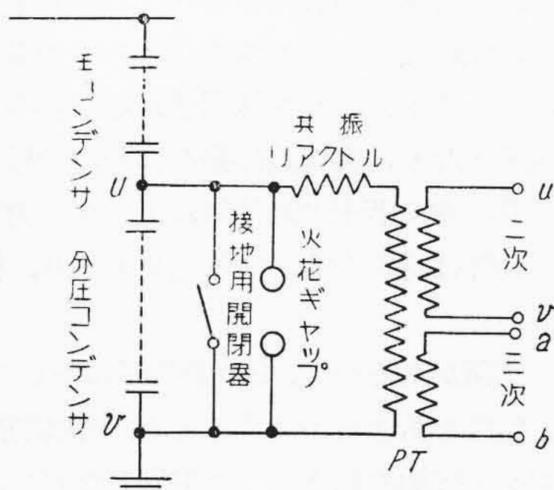
第3図 154 kV PD 外観  
Fig.3. Out Side View of 154 kV PD

〔IV〕 特 性

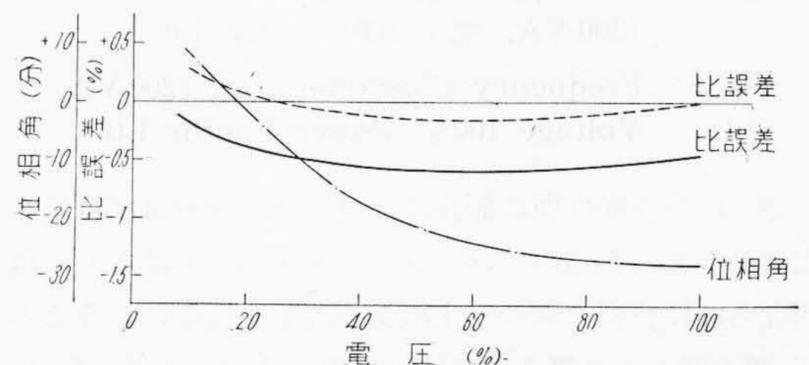
1例として、154 kV、60 $\sim$ 用PDの特性につきのべる。本器の仕様は下記のごとくである。

定 格 電 圧	.....一次	154 k / $\sqrt{3}$ V
	.....二次	110 / $\sqrt{3}$ V
	.....三次	110 / 3 V
周 波 数	.....	60 $\sim$
負 担	.....二次	200 VA
	.....三次	200 VA

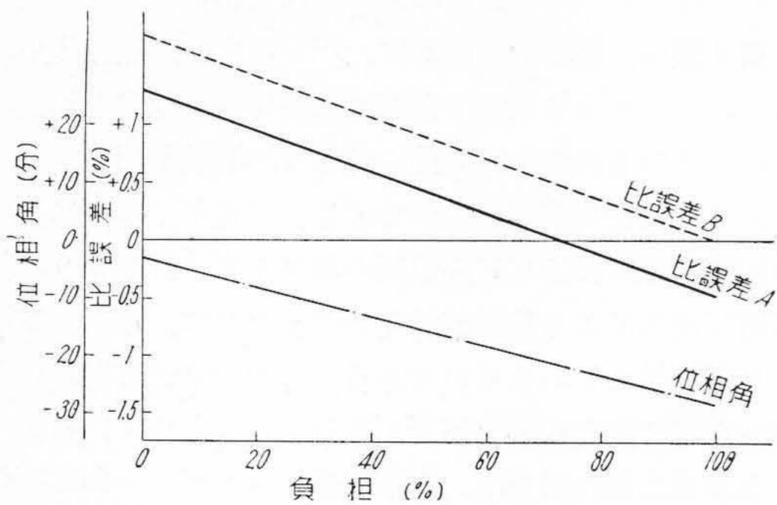
第5図～第8図は、その誤差特性で、いずれも力率調整用コンデンサおよび負担調整抵抗を使用せずに試験した結果である。比誤差特性曲線中、 $A$ は調整抵抗類なしで使用するよう調整したもの、 $B$ は抵抗類を用いて使用するよう調整したもので、特性 $A$ および位相角特性でわかるように、負担側を調整しなくとも JEC-118, 1.0 級 PT に匹敵する特性とすることができる。同一条件における、JEC-118, 1.0 級 PT の誤差限度と、負担を調整しない実測値との比較を第1表(次頁参照)に示す。なお参考のため、AIEE の PD 誤差限度を附記する。



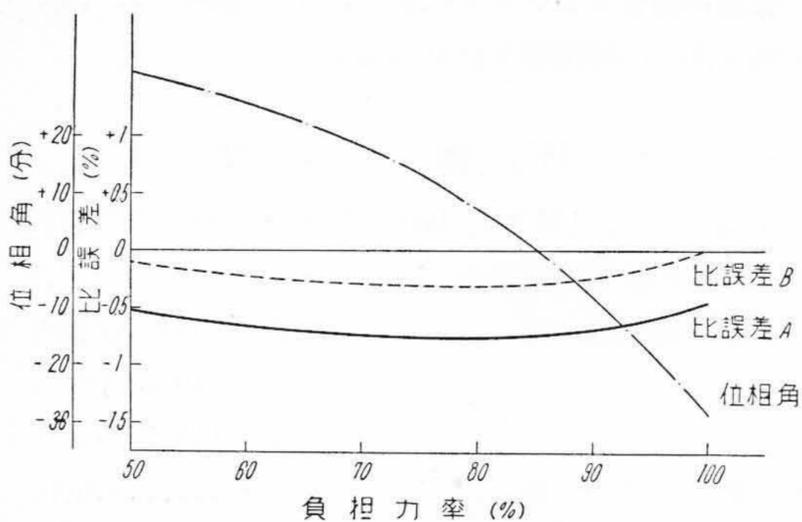
第4図 PD 接続図  
Fig.4. Schematic Connection Diagram of Coupling Capacitor Potential Device (PD)



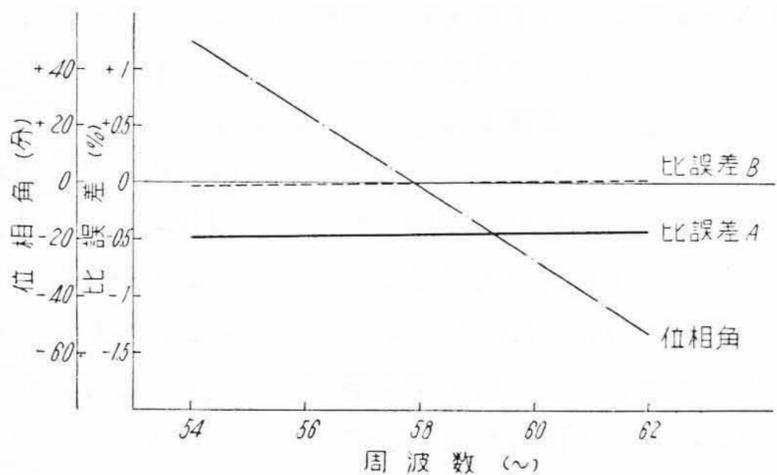
第5図 電圧特性 (200 VA, 60 $\sim$ , 力率 1.0)  
Fig.5. Voltage Characteristics (200 VA, 60 $\sim$  Power Factor 1.0)



第6図 負担特性(電圧100%, 60~, 負担力率1.0)  
Fig.6. Burden Characteristics (Voltage 100%, 60~, Burden Power Factor 1.0)



第7図 負担力率特性(200 VA, 電圧100%, 60~)  
Fig.7. Burden Power Factor Characteristics (200 VA, Voltage 100%, 60~)



第8図 周波数特性 (200 VA, 電圧100%, 力率1.0)  
Fig.8. Frequency Characteristics (200 VA, Voltage 100%, Power Factor 1.0)

さらに日立製作所の製品は、コンデンサおよび抵抗を附属せしめてあるので、これを使用することにより、負担ならびに負担力率の変化による誤差を皆無にしうるので、第6図および第7図の特性曲線はすべて水平となり、いつそう精度を向上せしめることができる。しかもその調整は、[III]にのべたように極めて簡単である。

この型のPDの著しい特長は、実測値でもわかるよう

第1表 PD, PT 誤差比較表

Table 1. Error Comparative Table for PD, PT

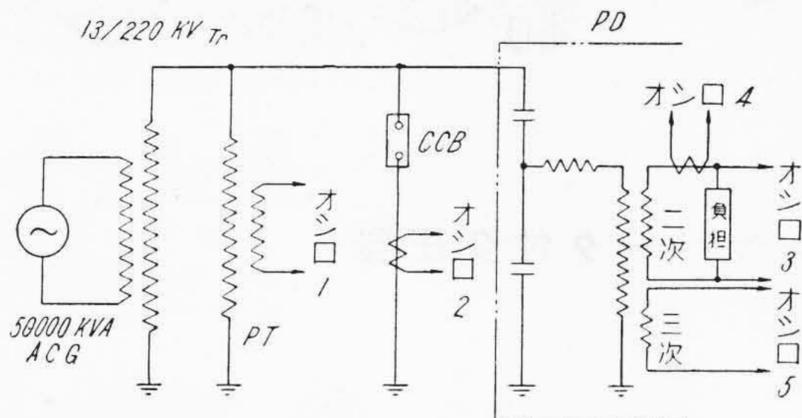
	実測値	AIEE. No. 31 A級 PD	
		JEC-118 1.0級 PT	
変成比誤差 (%)	±0.9	±1	±6
位相角 (分)	±30	±40	±240
電圧 (%)	80~120	90~110	100
負担 (%)	25~100	100	50~100
負担力率	遅れ 0.8	1	
周波数 (%)	100	100	

に位相角誤差の小なる点であり、特に周波数特性は誤差を ±50 分程度に収めることができ、同期検定は勿論、一般計器、継電器用としても、巻線型 PT に対し遜色ない程度となつている。

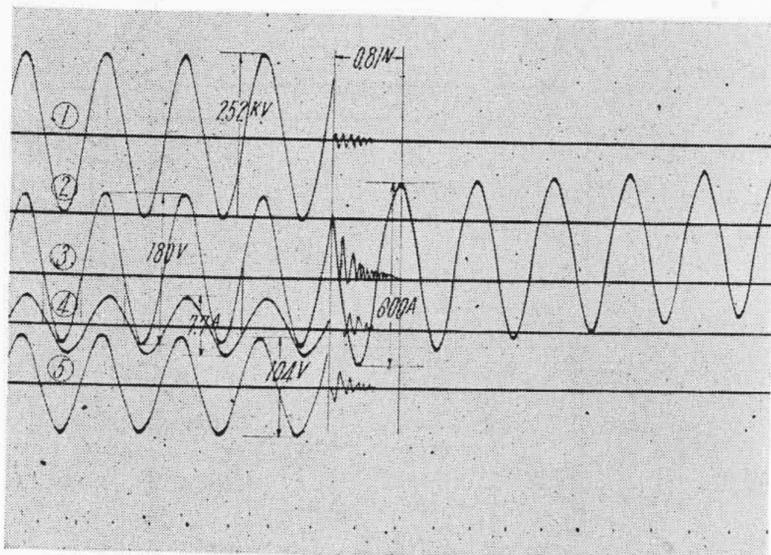
なお過電圧および周波数低下による鉄共振を問題にする向きもあるが、PT を低い磁束密度に設計してあるので全く問題にするに当たらないし、本器における試験結果もこれを実証している。

最近 PD は、その性能向上に伴い、各種継電器用として使用されて来たが、高速度方向性継電器、距離継電器等に使用するとき、定常特性のみならず過渡特性が重要な問題となる。そのうち最も注意すべきは、母線電圧急減の場合の過渡特性すなわち、このとき、二次電圧が母線電圧減少に追従して急速に減少しうるか否かである。従来位相角誤差の小さい PD を用うれば方向性継電器に対しては、メモリ・アクション(memory action)はむしろ好影響を与え、距離継電器に対しては悪影響を与えるとされていたが<sup>(3)</sup>、AIEE の委員会においては、メモリ・アクションは大部分の継電器に対して実用上差支えないけれども、ある種の方向性継電器において問題になる場合があると報告されている<sup>(4)</sup>。しかしまだ最終的結論をうる段階にないようである。さらに力率調整用コンデンサについても、これを使用すればいわゆる複エネルギー過渡現象となり、高周波振動を含むので好ましくないとする意見、逆に若干の過補償により進み力率とすれば、むしろ特性は良くなるとする意見もあり、種々疑問が残されていた。

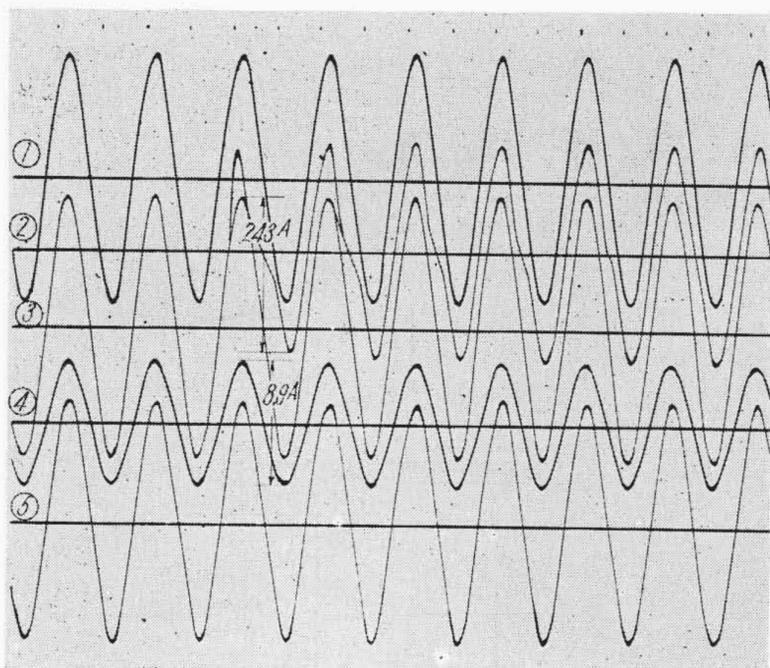
これらの問題があるので、日立製作所においても、PD 自体の過渡特性をあきらかにするため、一次側完全接地、インピーダンス接地の両者につき実測したので、その結果を第10図乃至第12図に示す。試験回路は第9図により、インピーダンス接地の場合は、CCB 接地側に適当なインピーダンスを挿入した。図中のオシロ番号は、各オシログラム中の番号を示す。第10図は負担力率 1.0、



第9図 過渡特性試験接続図  
Fig. 9. Connection Diagram of Transient Performance Tests

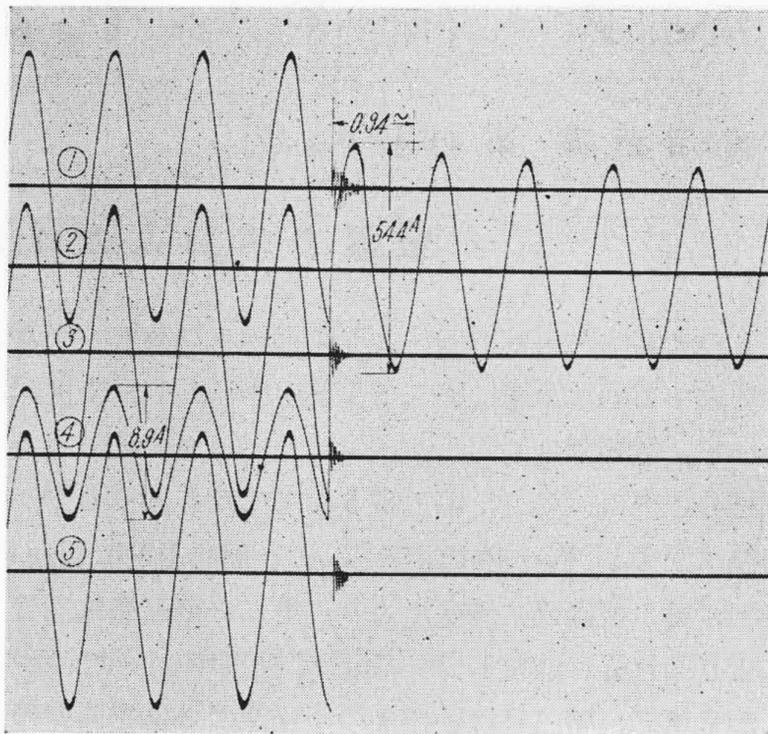


第10図 過渡特性 (力率 1.0, 完全接地)  
Fig. 10. Transient Performance (Power Factor 1.0, Dead Grounding)



第11図 過渡特性(力率1.0, インピーダンス接地)  
Fig. 11. Transient Performance (Power Factor 1.0, Impedance Grounding)

完全接地, 第11図は負担力率1.0, インピーダンス接地, 第12図は負担力率 0.86 をコンデンサにより力率 1.0 に調整した完全接地の例で, いずれも極めて良好であり, PT にまさるとも劣らぬ特性を示している。



第12図 過渡特性(コンデンサにより力率1.0に補償, 完全接地)

Fig. 12. Transient Performance (Power Factor 1.0 Corrected by Power Factor Correction Capacitor)

本例の特性程度ならあらゆる継電器用として十分使用しうるし, また力率調整用コンデンサを挿入することによつても, 過渡特性をさほど変化せしめないで, 定常特性改善のため, これを用いることは当然推奨さるべきであろう。

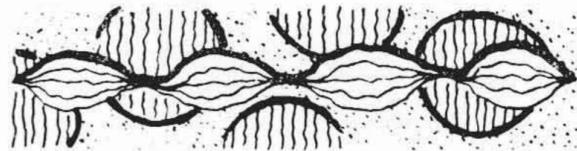
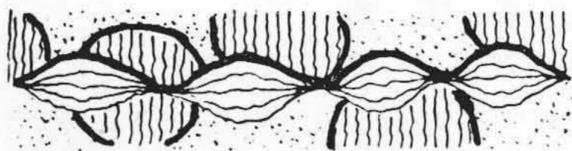
### 〔V〕 結 言

以上最近製作している PD の概要を紹介したのであるが, 上述のごとく種々改良を加えた結果, 定常特性, 過渡特性ともに, 一般継電器および計器用として十分 PT に比肩しうる特性を示し, かつその経済性を失わぬ優秀なものとなつたので, 今後の活用が大いに期待されるが, さらに特性の向上, 操作, 保守の簡易化を目標に努力するとともに, 過渡特性についても十分な検討を加え, また負担容量の増大, 超高压用 PD の製作等, 今後の PD の発展のため, いつその努力を続ける所存である。

擧筆するにあたり, 新型 PD の製作に際し, 種々御指導を賜つた日立製作所日立工場首藤変圧器設計課長始め関係各位に厚く感謝の意を表する。

### 参 考 文 献

- (1) A. Métraux: Bull. de ASE 44 annee (1953) p. 162
- (2) R. Nordell, L. Högfeltd: CIGRÉ Rep. No. 320 (1948)
- (3) E. L. Harder & Others: Transaction AIEE Vol. 59 (1940) p. 91
- (4) AIEE Comittee Report: Transaction AIEE Vol. 70 (1951) p. 2089



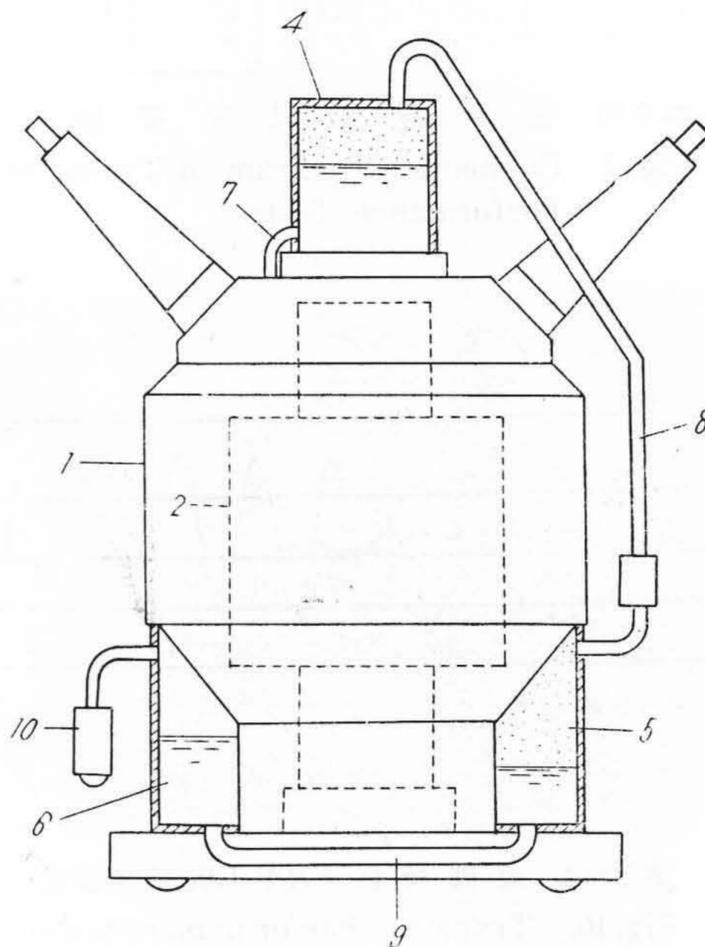
実用新案 第404368号

阿部春雄

### 窒素ガス封入オイルコンサベータ付変圧器

この考案は、図面に示すように油槽1の外態を中身2の要求する絶縁距離に応じて下部を小径とした変圧器において、窒素ガス封入三室型コンサベータの第一室4を油槽の上部に、第二、第三室5および6を油槽の下部小径部に配置し、第一室は油管7により油槽内油に連通し、第一、第二室はガス管8により、第二、第三室は油管9によりそれぞれ連結し、第三室に呼吸器10を設けてなり、しかも第二、第三室は油槽1の小径部の外壁を囲壁の一部として利用してなるものである。この構造によれば、三室共に油槽の上部に設けた場合、または第二、第三室を油槽より離して床上に別設した場合等に較べて、コンサベータの工作が容易となり、所要資材を減じ、また変圧器の占有する床面積も狭くてすみ、コンサベータの保守も容易である。

(滑川)



実用新案 第411562号

桑山正俊・落清

### 乾式避雷器直列間隙碍管

この考案は放電間隙1を多数積重したものを碍管2内に嚴重な水密構造として収納した上碍管2の外表面上に水分を撥散する特殊処理として珪素樹脂またはフラン樹脂層を被着したものである。従来の避雷器直列多間隙すなわち密封碍管の表面に水分の撥散処理を行わぬものにあつては、注水時の放電々圧は最大で乾燥時の放電々圧の1.5倍にも達し、単なる湿度の差によつても20~30%の変動を来すことがあるが、本案のごとく碍管表面に水の撥散処理を施したものは注水時においても上記の比率は5%以下に止まる。すなわち一例として乾燥時放電電圧100kVのものは注水時105kVとなりこの差は実用上無視し得る程度である。

(宮崎)

