

# 500 kV 計器用変成器

## 500 kV Instrument Transformer

森 戸 廷\* 栗 本 茂\*  
 Tadashi Morito Shigeru Kurimoto  
 三 木 義 照\*\* 鎌 田 譲\*\*  
 Yoshiteru Miki Yuzuru Kamata

### 要 旨

500 kV 計器用変成器については、以前から開発をすすめてきたが、カナダ B. C. HYDRO から 500 kV 変流器を、アメリカ BPA から 500 kV コンデンサ形計器用変圧器を受注し、製作中である。その構造および性能上、重要な過渡特性と絶縁特性について紹介する。

### 1. 緒 言

500 kV 計器用変成器については、以前から開発研究を進めてきたが<sup>(1)(2)</sup>その技術的成果を認められ、カナダ B. C. HYDRO から変流器(CT) 9 台、アメリカ BPA からコンデンサ形計器用変圧器(PD) 53 台を受注し、現在製作中である。

これらの 500 kV CT, PD は絶縁特性ばかりでなく、高速度保護継電方式と関連してきびしい過渡特性を要求される。カナダ B. C. HYDRO 向 CT については絶縁特性および過渡特性確認のため、先行試作器 1 台を製作し確認試験を終了した。アメリカ BPA 向 PD は BIL 1,550 kV であるので、先に試作した BIL 1,450 kV の試作品をベースとして製作中である。これらの CT, PD の構造、絶縁特性および過渡特性について報告する。

### 2. 500 kV 変流器

#### 2.1 構 造

500 kV 変流器の構造としては、正立形、倒立形、縦続形などがあるが、絶縁性能、温度上昇および系統短絡時の熱的、機械的特性を考慮し、定格一次電流 2 kA 以下については正立形、2 kA を越えるものについては倒立形を標準としている。

このほど、カナダ B. C. HYDRO から受注した変流器の仕様は表 1 に示すとおりで、試作器の外観を図 1 に構造を図 2 に示す。

本 CT は、鉄心および二次コイルを 4 個組み合わせ成形し、その周囲に主絶縁を施し、主絶縁物中には、内部およびがい管表面の電位傾度を均等化させるため金属ハク電極を巻き込み、そのハク端には所要の絶縁を施している。二次口出線は主絶縁内の金属管中を通して下方に引き出している。

二次コイルおよび主絶縁部は、上部タンク内部とがい管下部の 2 点で支持しており、耐風、耐震にはじゅうぶんな強度を与えている。

本構造は、貫通形で一次導体が短いため、大電流 CT に適しており、温度上昇を低く押えることが可能で、短絡電流に対しても、熱的、機械的にじゅうぶんな強度を持たせることが可能となる。

また、本 CT は周囲温度が -52°C と極低温で使用されるため、絶縁油、パッキング類、がい管締金具その他について低温槽で試験を行ない、じゅうぶん使用に耐えることを確認している。

#### 2.2 過 渡 特 性

500 kV 送電保護リレー方式では、超高速動作を要求され、CT は、事故発生直後の第 1 波電流波形をいかに正確に二次に変成するかが重要な課題となっている。

CT の過渡特性<sup>(3)-(5)</sup>を決定する要因としては、(1) 鉄心の磁気

\* 日立製作所国分工場  
 \*\* 日立製作所日立研究所

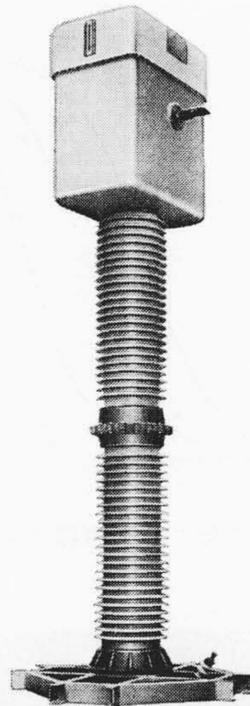


図 1 500 kV 変流器

表 1 B. C. HYDRO 納 CT 仕様

一次電流	3,000-2,000-1,500 A
二次電流	5 A
二次負担	200 VA×4
誤差階級	静特性, 10 L800 (CSA) (JEC 200 VA n>20 相当) 過渡特性, 指定有 (本文参照)
最高回路電圧	550 kV
商用周波耐電圧	860 kV (乾燥) 775 kV (注水)
衝撃波耐電圧	1,800 kV (全波) 2,070 kV (さい断波)
開閉サージ耐電圧	V <sub>50-3σ</sub> >1,250 kV (注水)
R I V	350 kV にて 500 μV 以下 (外部) 381 kV にて 25 μV 以下 (内部)
耐電流	40 kA (熱的) 113 kA (機械的)
耐震性	0.15 G
周囲温度	最低 -52°C

飽和、(2) ヒステリシス特性、(3) 残留磁気など励磁インピーダンス特性、(4) 二次負担、(5) 送電線の回路定数と短絡位相などがある。

この現象を解明するため、デジタル計算機を利用し、磁化特性のヒステリシスを考慮し、これまで難解とされていた残留磁気がある場合を含めて、解析し得る手法を開発した。

CT 一次側の漏れインピーダンスを系統インピーダンスに、励磁コンダクタンスおよび、二次漏れインピーダンスを二次負担に含むように考慮すると、CT の等価回路は図 3 のようになる。

図 3 において、 $t=0$  で故障が発生したとすると、

$$R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} = e_m \sin(\omega t + \theta) \dots (1)$$

$$n_2 \frac{d\phi}{dt} = R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} \dots (2)$$

$$i_1 = i_0 + i_2 \dots (3)$$

$$n_2 \phi = I(i_0) \dots (4)$$

(ただし  $t=0$  で  $i_1=0$ )

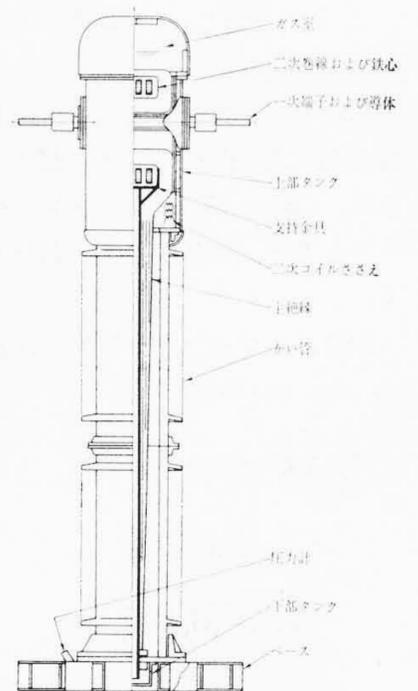
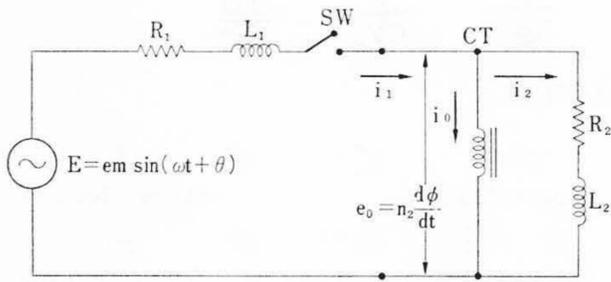


図 2 構造図



$R_1, L_1$ : 電源から故障点までの抵抗, インダクタンスの二次側換算値  
 $R_2, L_2$ : 負荷の抵抗, インダクタンス  
 $i_1$ : 一次電流の二次換算値  
 $i_2$ : 二次電流  
 $i_0$ : 励磁電流の二次換算値  
 $E$ : 電源電圧の二次換算値  
 $e_0$ : 励磁電圧の二次換算値  
 $SW$ : 故障発生スイッチ  
 $n_2$ : 二次巻線  
 $\phi$ : 鉄心中の磁束

図3 CTの過渡特性の解析に用いた等価回路

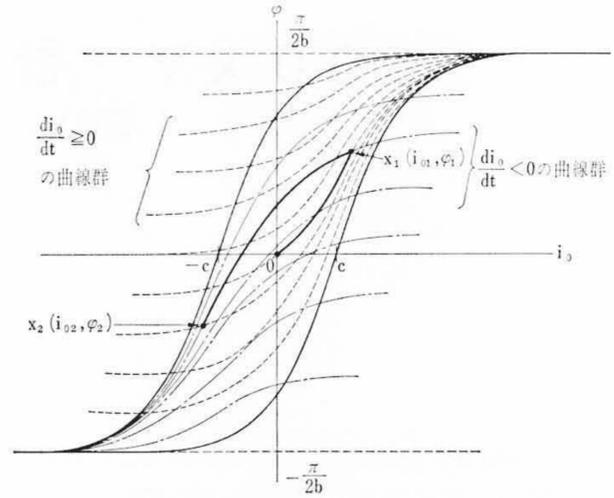


図5 ヒステリシス曲線内の動作

の関係が成り立つ。

また(4)式でヒステリシス特性のシミュレーションを行なうに当たっては

- (1) ヒステリシスのメジャーロープならびに、マイナーループの表現が可能なること。
- (2) 飽和特性を表現できること。
- (3) 残留磁気がある場合の解析が行なえるよう、メジャーロープ内のどの点から出発しても、計算ができること。

などの点を考慮し、 $i_0, \phi$  の関係を

$$b\phi = \tan^{-1} h i_0 \dots \dots \dots (5)$$

$$b\phi = \tan^{-1} h (i_0 - c) \dots \dots (6)$$

$$b\phi = \tan^{-1} h (i_0 + c) \dots \dots (7)$$

(ただし、 $\phi = n_2 \Phi$ )

とシミュレートした。

(5)~(7)式を、 $i_0, \phi$  平面 (B-H 曲線に相当) に描くと、図4のように、(6), (7)式を、メジャーロープとする、ヒステリシス曲線となる。

次に、メジャーロープ内の任意の点、 $i_{00}, \phi_{00}$  の関係は、

$\frac{di_0}{dt} \geq 0$  の場合

$$b\phi - \beta i_0 = \frac{\pi}{2}$$

$$b\phi_{00} - \beta i_{00} = \frac{\pi}{2}$$

$$\frac{\tan^{-1} h (i_0 - c) - \frac{\pi}{2}}{\tan^{-1} h (i_0 - c) - \frac{\pi}{2}} \dots \dots \dots (8)$$

$\frac{di_0}{dt} < 0$  の場合

$$\frac{b\phi - \beta i_0 + \frac{\pi}{2}}{b\phi_{00} - \beta i_{00} + \frac{\pi}{2}} = \frac{\tan^{-1} h (i_0 + c) + \frac{\pi}{2}}{\tan^{-1} h (i_0 + c) + \frac{\pi}{2}} \dots \dots \dots (9)$$

とシミュレートした。

これを描くと図5となる。

(1)~(9)式を組み合わせるにより、ヒステリシス特性を考

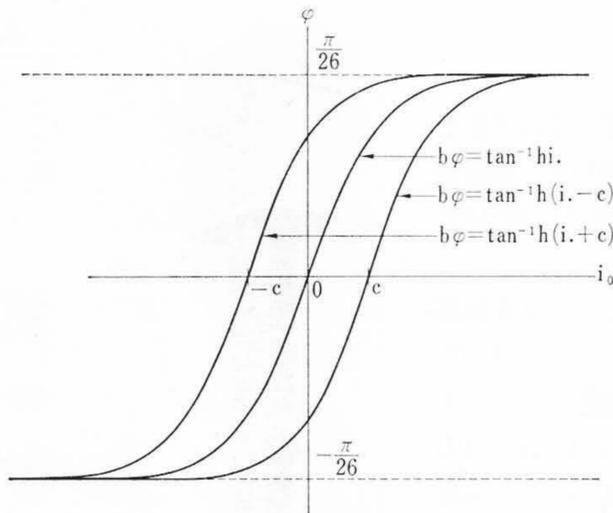
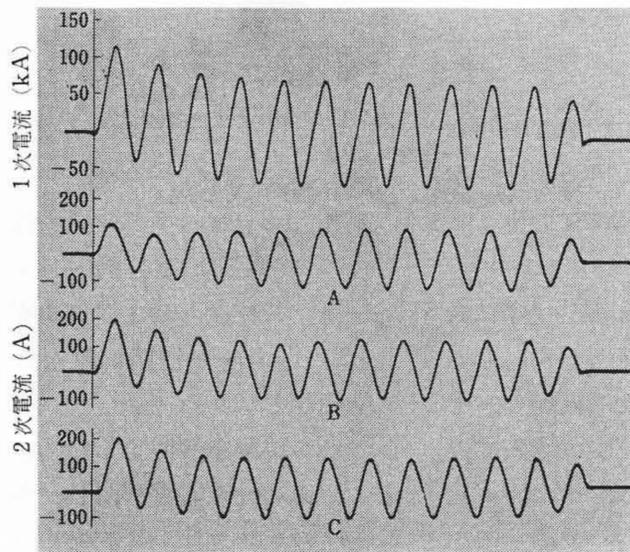
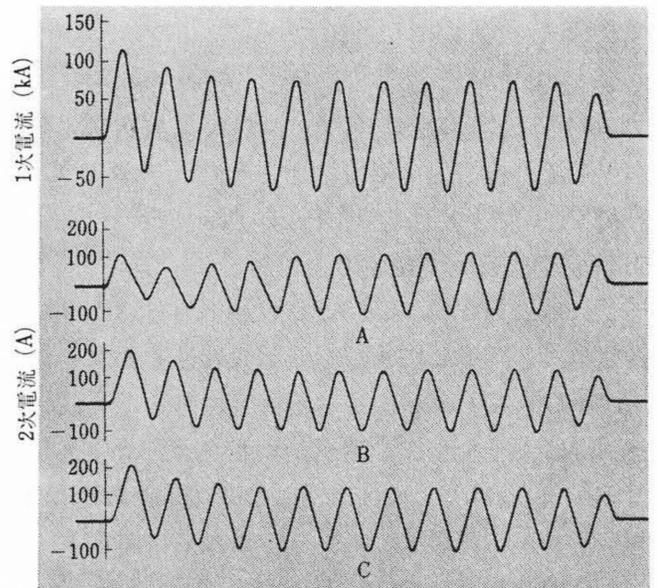


図4 ヒステリシス曲線のシミュレーション



A.....残留磁気正方向最大値  
 B.....残留磁気なし  
 C.....残留磁気負方向最大値

図7 過渡特性実測値



A.....残留磁気正方向最大値  
 B.....残留磁気なし  
 C.....残留磁気負方向最大値

図6 過渡特性計算値

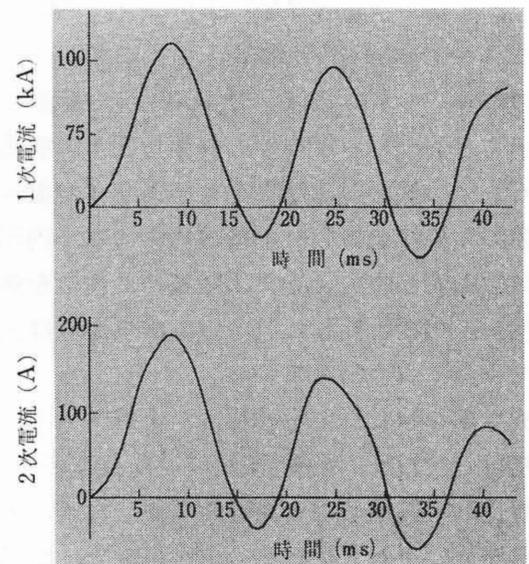
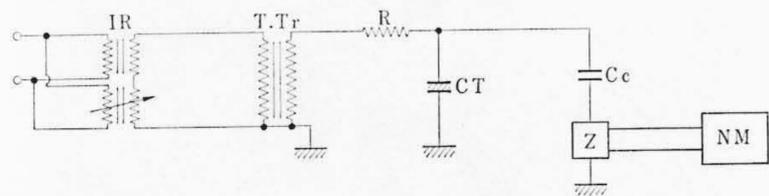


図8 B.C. HYDRO 仕様による過渡特性計算値

慮した CT の過渡特性の解析が可能となった。

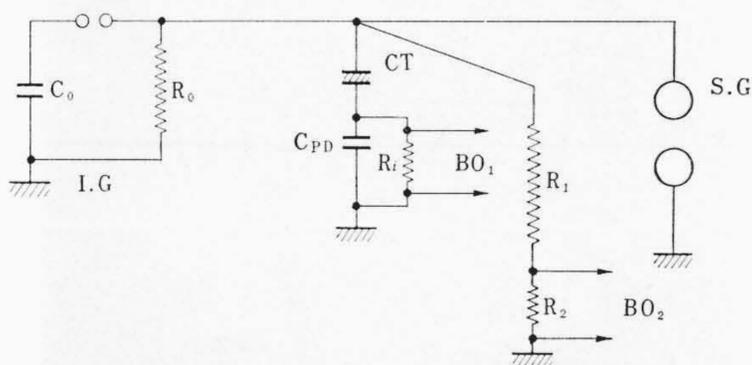
下記の条件で残留磁気の状態を変え 3,000-5A における計算値と、実側値を比較した。

- |            |                             |
|------------|-----------------------------|
| (1) 一次電流   | 48 kA (実効値)<br>115 kA (波高値) |
| (2) 電流比    | 3,000-2,000-1,500/5A        |
| (3) 一次側時定数 | 35 ms                       |
| (4) 二次負担   | 2.5+j5.0Ω                   |



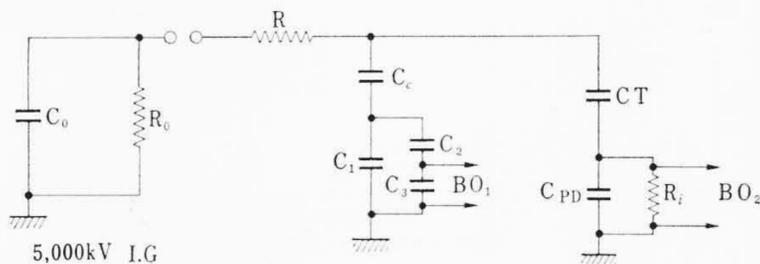
IR: 誘導電圧調整器 T.Tr: 1,650 kV 試験変圧器 R: 75 k $\Omega$  制動抵抗  
CT: 供試 CT Cc: 1,000 pF 結合コンデンサ Z: 800 $\Omega$  検出インピーダンス  
NM: ラジオノイズメータ

図9 部分放電試験回路



S.G.: 1,500 $\phi$  球ギャップ(さい断波試験用) I.G.: 5,000 kV 衝撃電圧発生装置  
C.T.: 供試 CT Ri: 0.5 $\Omega$  電流測定用抵抗 R1, R2: 23 k $\Omega$  分圧器  
BO1, BO2: サージシンクロスコープ CPD: ポテンシャルタップの静電容量

図10 衝撃電圧試験回路



R: 波形調整用抵抗 Cc: 5,000 pF 結合コンデンサ  
C1, C2, C3: 分圧コンデンサ C.T.: 供試 CT  
CPD: ポテンシャルタップ静電容量 Ri: 2 $\Omega$  電流測定用抵抗  
BO1, BO2: ブラウン管オシロスコープ

図11 開閉サージ試験回路

図6, 図7はその結果を示したものである。

図6, 図7から計算値と実測値がよく一致することがわかる次に, 上記CTにつき, B. C. HYDROの要求である。

- (1) 一次電流 40 kA (実効値)  
115 kA (波高値)
- (2) 一次側時定数 100 ms
- (3) 二次負担 2.5+j5.0 $\Omega$
- (4) 残留磁気 なし
- (5) 1サイクル後の誤差 10% 以下

の条件で計算した結果, じゅうぶん仕様を満足することが明らかとなった。その結果を図8に示す。

なお, 図6, 図7から明らかなように, 残留磁気の過渡特性に及ぼす影響は大で, これを低減するため, 空げき付鉄心使用を検討中である。

### 2.3 絶縁特性

試作500 kV CTの絶縁特性のうちで, われわれが最も重視したのは部分放電特性およびそれが耐電圧試験によってどのような変化を生ずるかということ, これが絶縁の信頼度に密接な関係を持つと考えられる。そのため通常の絶縁試験に部分放電試験を随所に組み合わせ, 次のようなプログラムで500 kV CTの絶縁特性の検討を行なった。

- (1) 部分放電試験 (最高印加電圧 600 kV<sub>rms</sub>)
- (2) tan $\delta$ -電圧特性試験 (最高印加電圧 400 kV<sub>rms</sub>)

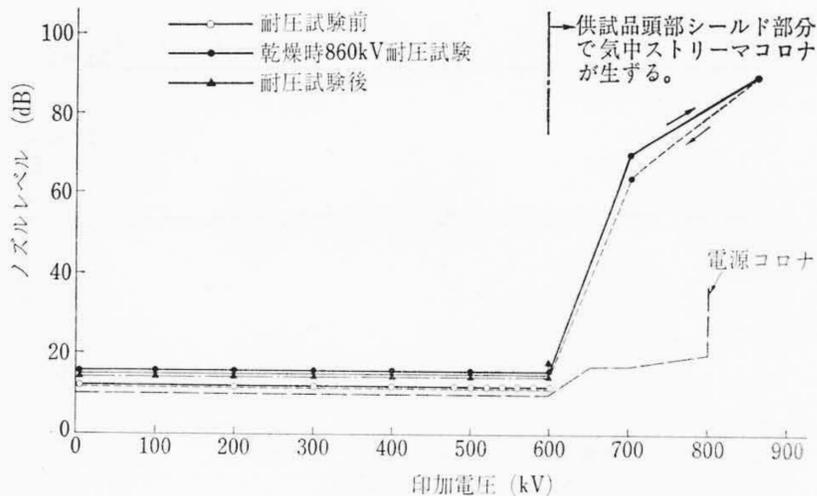


図12 525 kV CTの部分放電特性

- (3) 商用周波耐電圧試験 (部分放電試験を併用, 最高印加電圧 860 kV<sub>rms</sub>)
- (4) 部分放電試験 (最高印加電圧 600 kV<sub>rms</sub>)
- (5) 衝撃耐電圧試験 (最高印加電圧全波 1,800 kV, さい断波 2,070 kV)
- (6) 部分放電試験 (最高印加電圧 600 kV<sub>rms</sub>)
- (7) tan $\delta$ -電圧特性試験 (最高印加電圧 400 kV<sub>rms</sub>)
- (8) 開閉サージ耐電圧試験 (最高印加電圧 1,500 kV)
- (9) 開閉サージ注水閃(せん)絡試験 (最高印加電圧 1,450 kV)
- (10) 部分放電試験 (最高印加電圧 600 kV<sub>rms</sub>)
- (11) tan $\delta$ -電圧特性試験 (最高印加電圧 400 kV<sub>rms</sub>)

各耐電圧試験および閃絡試験にどの程度の信頼性を持って耐えたかを検証するために部分放電試験を交互に行なった。このような試験プログラムは実際の製品すべてに適用するにはいくつかの困難をともなうが現段階では製品の絶縁特性の信頼度を握るうえで最もすぐれた方法であると考えている。

以下各種絶縁試験結果について説明する。

試験回路は図9~11に示すとおりである。商用周波電圧試験は図9のような回路で行ない, 860 kV<sub>rms</sub>耐電圧試験時も部分放電を測定しながら電圧を上昇した。部分放電測定はNEMA. 107-1964に準拠して行なった。衝撃電圧の測定は図10に示すようにR1R2の抵抗分圧器を用いて行ない電流波形の観測はポテンシャルタップより行なった。ポテンシャルタップは89,000 pFの静電容量をもっているためRiはこれと並列になっている。

なお電圧の較正とさい断波試験には1,500 $\phi$ 球ギャップを用いた。また開閉サージ試験は図11の回路で行ない, 波頭長の調整はRで行った。電圧の測定はCcとC1, C2, C3の分圧比から算出し, 1,500 $\phi$ 球ギャップおよび250 $\phi$ 球ギャップを用いて較正した。電流の測定に対しては衝撃電圧の場合と同様Riより検出した。

試験プログラム(1)で得られた部分放電試験の結果は図12に示すとおりである。高電圧電源側の部分放電発生電圧は同図で明らかなように600 kV<sub>rms</sub>まで無コロナなので供試CTの部分放電試験も600 kV<sub>rms</sub>まで実施したが, 600 kV<sub>rms</sub>で無コロナという結果が得られた。これは500 kV機器の常規対地電圧が約300 kV<sub>rms</sub>であることを考えると2.0Eでも無コロナということになる。引き続いて行なった(2)の試験においてもtan $\delta$ は0.36%以下で電圧特性は400 kV<sub>rms</sub>まで平坦である(図13)。

次に商用周波耐電圧試験(3)を実施した。(3)は乾燥耐電圧試験860 kV<sub>rms</sub>1分間と注水耐電圧試験775 kV<sub>rms</sub>10秒間がある。乾燥耐電圧試験を実施したときの部分放電特性を図12に併記した。約700 kV<sub>rms</sub>になると500 kV CT頭部シールドから気中コロナがかなり激しく発生するが, 図から明らかなように860 kV<sub>rms</sub>に上昇

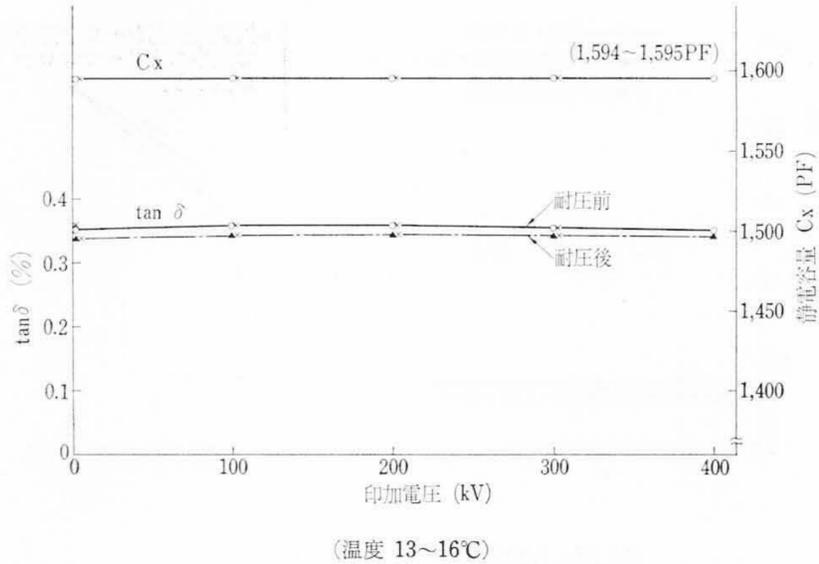


図13 商用周波耐圧試験前後の  $\tan \delta$ -電圧特性

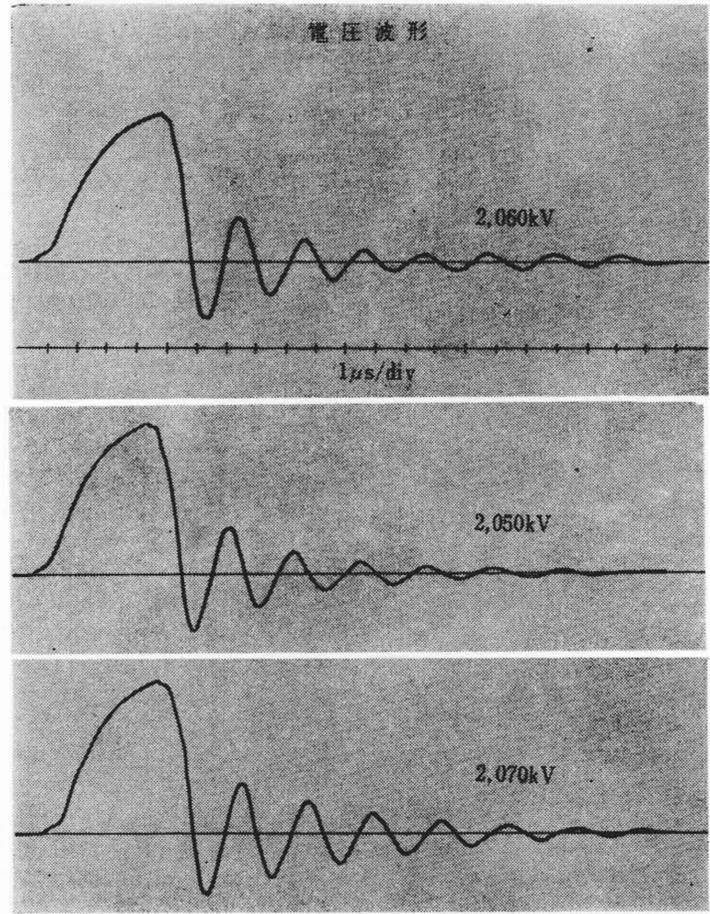


図15 さい断波試験時の印加波形

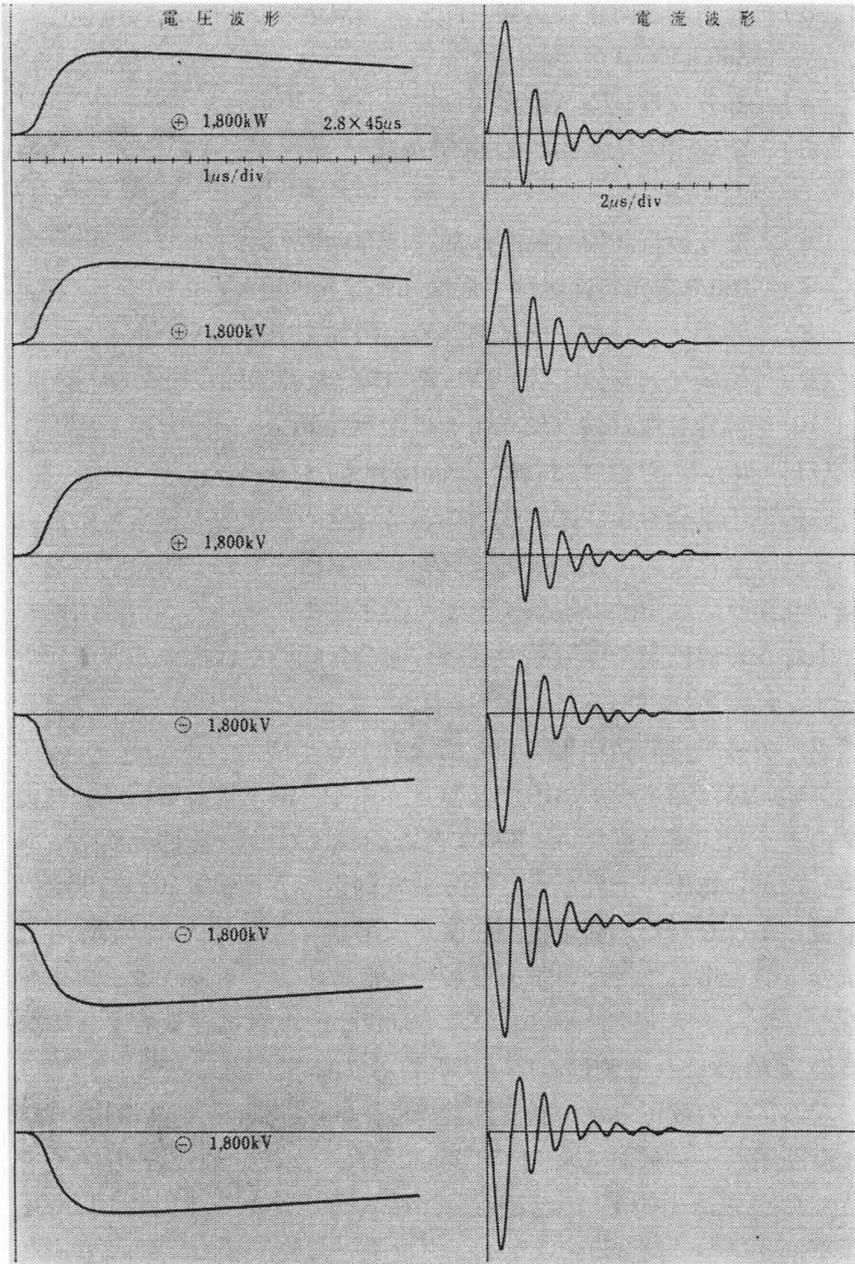


図14 衝撃耐電圧試験時の印加波形

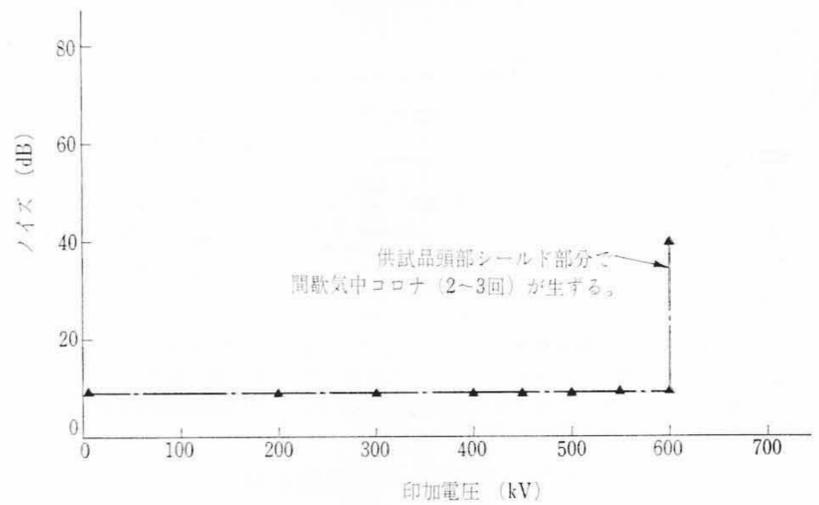


図16 衝撃耐電圧試験後の部分放電特性

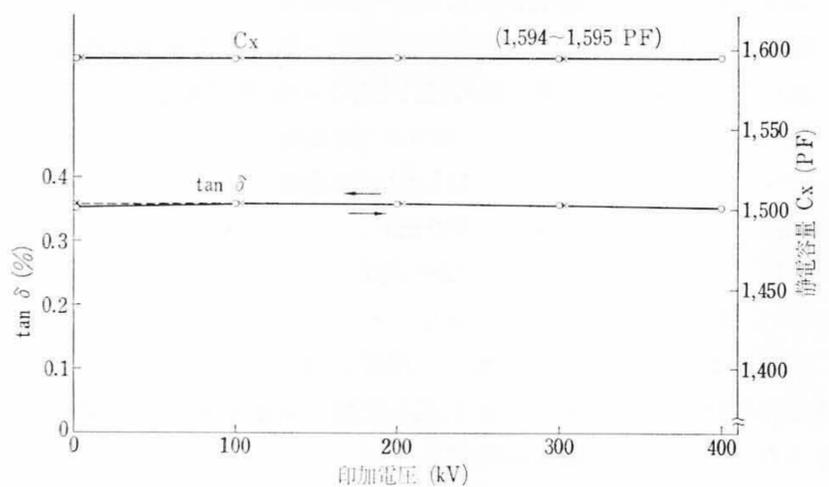


図17 衝撃耐電圧試験後の  $\tan \delta$ -電圧特性

させたときと下降させたときのノイズレベルにヒステリシスが無く、また  $860 \text{ kV}_{\text{rms}}$  1分間の耐電圧試験終了直後に再度(4)に相当する部分放電試験を実施したが、図12から明らかなように  $600 \text{ kV}_{\text{rms}}$  まで無コロナであった。さらに注水耐電圧試験を実施したのち再び(4)に相当する部分放電試験を実施し、 $600 \text{ kV}_{\text{rms}}$  まで無コロナであることを確認した。

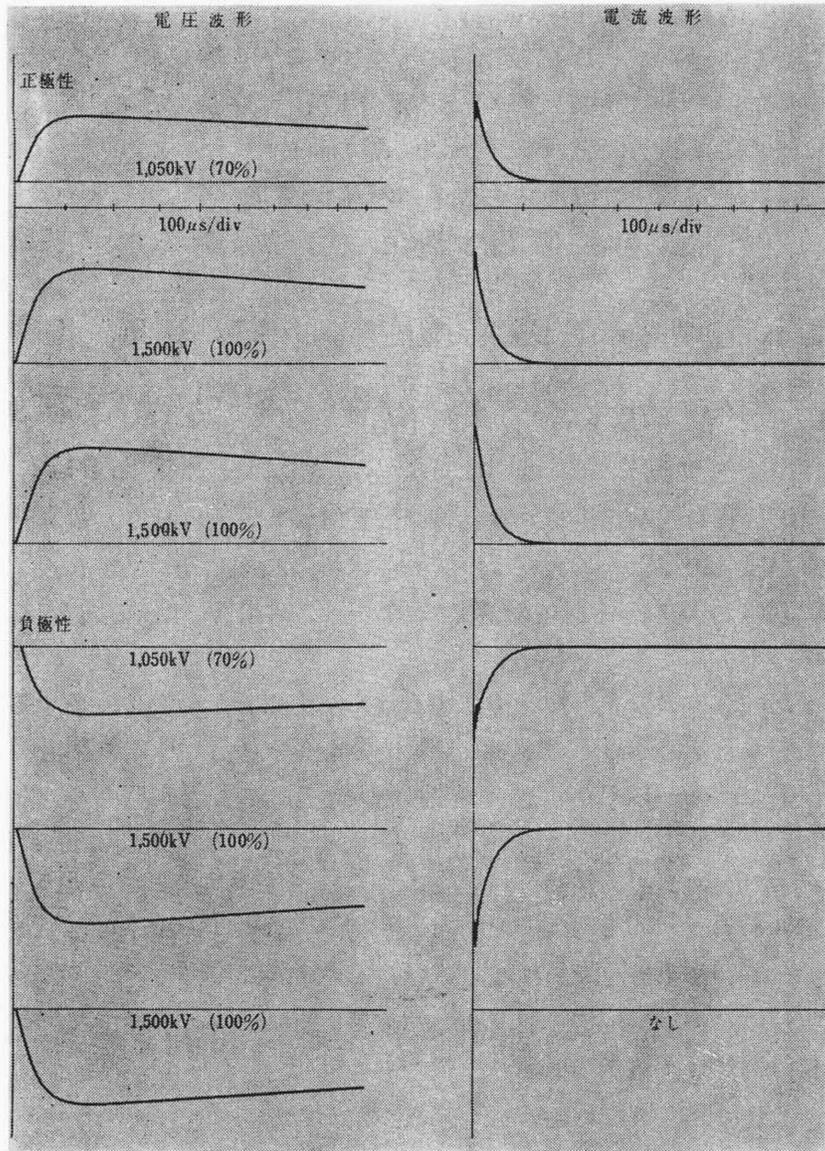
次に、(5)の衝撃耐電圧試験を行なった。印加波形は  $2.8 \times 45 \mu\text{s}$  となった。電圧値は  $1,800 \text{ kV}$  を100%として35%から15%のステップで上昇させ、そのときの電圧波形と電流波形をオシログラフで測定した。 $1,800 \text{ kV}$  正極性3回、負極性3回印加したときのオシログラムを図14に示す。さらにさい断波試験  $2,070 \text{ kV}$  を正極性で3回印加した。このときのオシログラムは図15に示すとおりであ

る。いずれもなんらの異常も認められなかった。

次に、(5)の衝撃耐電圧試験の信頼性を確認する意味で(6)の部分放電試験を実施した。この結果を図16に示す。このときも(4)と同様に約  $600 \text{ kV}_{\text{rms}}$  まで無コロナであり、内部絶縁には異常ないことを示す。

試験プログラム(7)の  $\tan \delta$ -電圧特性は、図17に示すとおりである。

(8)の開閉サージ試験は内部絶縁の検証と外部絶縁の検証を行なうものに大別することができる。前者については  $80 \times 3,000 \mu\text{s}$  の開閉サージを  $1,500 \text{ kV}$  で正極性2回、負極性2回印加して異常のない



(試験電圧 150 kV)

図 18 開閉サージ耐電圧試験時の印加波形

ことを確認した。このときのオシログラムは図 18 に示すとおりである。後者については乾燥時 1,375 kV 正負両極性を各 20 回印加して閉絡の生じないことを確認したのち、さらに注水で 1,250 kV を正負各 10 回印加して、同様に閉絡を生じないことを確認した。

注水時正極性の開閉サージ 50% 閉絡電圧を昇降法によって求めたところ、1,375 kV となり、 $3\sigma$  を差し引くと 1,260 kV であった。図 19 は正極性 1,370 kV 印加時におけるストリーマの伸長状況を示したものである。

開閉サージ試験では 1,250 kV 以上の電圧が約 100 回程度印加されているので、内部絶縁の検証という意味で再度 (10) (11) の部分放電試験および  $\tan \delta$ -電圧特性試験を行なった。この結果が図 20, 図 21 である。部分放電特性は約 600 kV<sub>rms</sub> までノイズレベルは平坦であり異常ないことを示している。また  $\tan \delta$ -電圧特性も (2) の試験時とまったく変わらず、開閉サージ電圧を多数回印加したあともなんら異常のなかったことを示している。

このように、各種耐電圧試験前後の入念な部分放電特性試験において、特性に変化が認められないことからみて、本器は絶縁強度にじゅうぶんな余裕を持つことが明らかである。

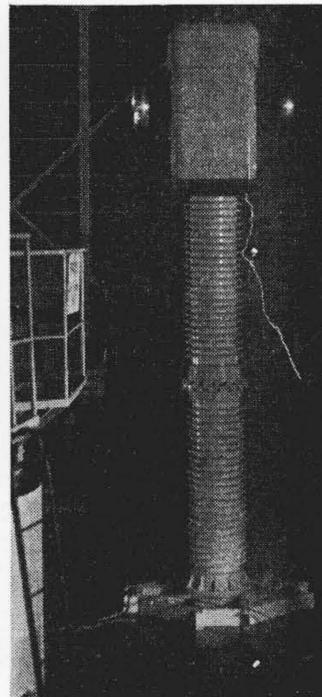
ことに約 600 kV まで、内部の部分放電が認められないことは、750 kV 級 CT の絶縁設計にもじゅうぶんな見通しを与えたものといえる。

### 3. 500 kV コンデンサ形計器用変圧器

#### 3.1 構造

アメリカ BPA から受注した PD の仕様は表 2 に示すとおりで、図 22 はその外観である。

結合コンデンサ部は、がい管を 3 段積とし各ユニットごとにフィ



(印加電圧 1,370 kV)

図 19 注水開閉サージ内絡試験時のストリーマ

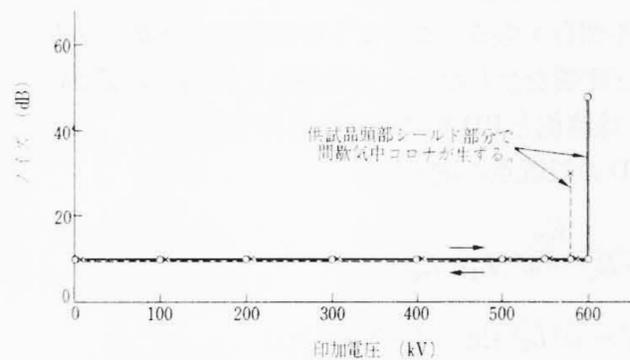
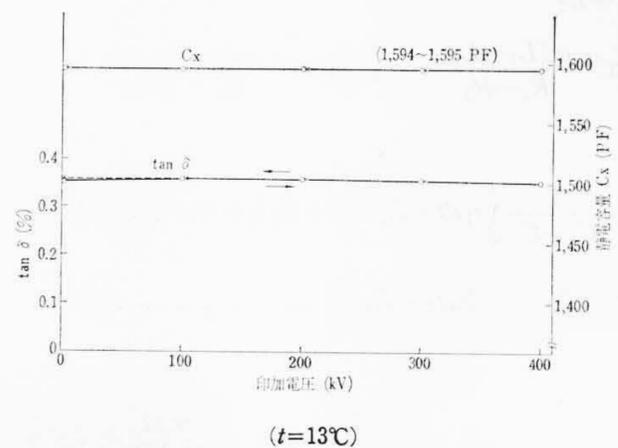


図 20 開閉サージ試験後の部分放電特性



( $t=13^{\circ}\text{C}$ )

図 21 開閉サージ試験後の  $\tan \delta$ -電圧特性

ーディングタンクをおいている。輸送にあたっては上段および中段を切り放して輸送する。

PD 本体は、PT, リアクトル, 搬送用付属器具などから成り、PT には

- (1) 二次巻線 2 個付のため、一次巻線間との漏れリアクタンスをバランスさせるため電磁的に対称な構造とした。
- (2)  $-40^{\circ}\text{C}$  における誤差規定があるため、部品個々の低温特性を測定し低温時の誤差変化を計算により補正した。
- (3) 注水時の誤差規定があるため、余裕をもたせた。
- (4) 二次側への移行電圧を低減するため静電遮へい付きとした。

などの考慮を払った。

リアクトルは誤差の負担特性を小さくするため、電流による特性の変化を小さくするよう留意した。

本 PD は前記 CT と同様、周囲温度が  $-40^{\circ}\text{C}$  と極低温で使用されるため、絶縁油、がい管、締金具などに特別の考慮を払っている。

一次電圧	300 kV
二次電圧	120-69.75 kV
二次負担	ZZ×2 (JEC 400 VA 相当)
誤差階級	静特性 0.3 級 過渡特性 指定有 (本文参照)
最高回路電圧	550 kV
商用周波耐電圧	690 kV (乾燥)
衝撃波耐電圧	1,550 kV (全波) 1,785 kV (さい断波)
開閉サージ耐電圧	1,175 kV (注水)
R I V	360 kV にて可視コロナなし(外部) 345 kV にて 25 $\mu\text{V}$ 以下(内部)
耐震性	0.2 G
周囲温度	最低 $-40^{\circ}\text{C}$

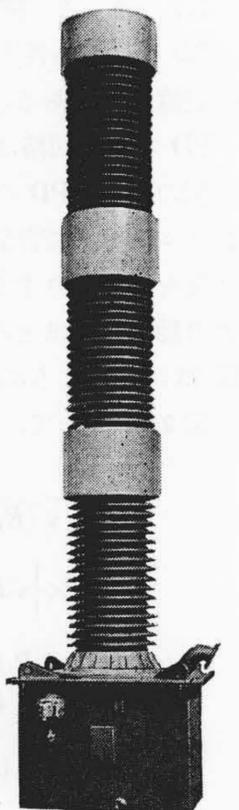
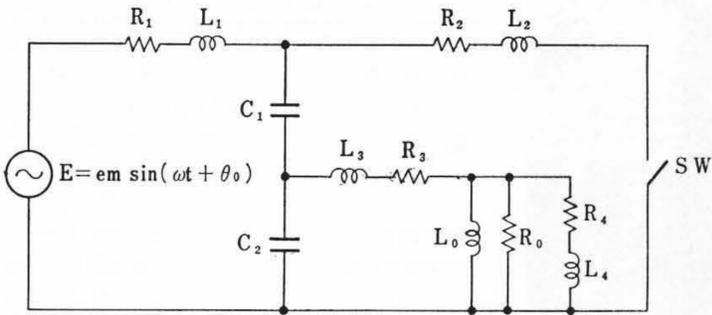


図 22 500 kV コンデンサ形計器用変圧器



R<sub>1</sub>, L<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, L<sub>2</sub>: 線路側抵抗およびインダクタンス  
 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>: PD主コンデンサおよび分圧コンデンサ  
 R<sub>3</sub>, L<sub>3</sub>: 共振リアクトルおよびPTの抵抗およびインダクタンス  
 R<sub>0</sub>, L<sub>0</sub>: 励磁回路の抵抗およびインダクタンス  
 R<sub>4</sub>, L<sub>4</sub>: 負荷の抵抗およびインダクタンス

図23 基本等価回路

3.2 過渡特性

PDの過渡特性<sup>(6)</sup>で最も重要なものの一つに、一次側回路短絡時の記憶電圧がある。

PDの等価回路は、図23に示されるが、故障点によっては、線路側のLと、PDのCが共振することにより、高調波が生じ、デジタル計算機で計算する場合計算機の容量が不足したり、計算に長時間を要したりする不都合がある。このような高調波は計器や継電器の動作にはほとんど影響を生じないので等価性を考慮し、図24、図25に示すように、線路側とPD側に分けて計算した。

図24において、PDの設置点の電圧Vは

$$V = \frac{E_m}{\sqrt{(R_1+R_2)^2 + \omega^2(L_1+L_2)^2}} \times \left\{ \sqrt{R_2^2 + \omega^2 L_2^2} \sin(\omega t + \theta_0 - \varphi + \gamma) + \frac{R_1 L_2 - R_2 L_1}{L_1 + L_2} \sin(\theta_0 - \varphi) e^{-\frac{R_1 + R_2}{L_1 + L_2} t} \right\} \dots (10)$$

ただし、  $\varphi = \tan^{-1} \frac{\omega(L_1+L_2)}{R_1+R_2}$ ,  $\gamma = \tan^{-1} \frac{\omega L_2}{R_2}$

さらに図25から

$$\frac{C_1}{C_1+C_2} V = \frac{1}{C_1+C_2} \int i_1 dt + L_3 \frac{di_1}{dt} + R_3 i_1 + V_2 \dots (11)$$

$$V_2 = L_0 \frac{di_{0L}}{dt} = R_0 i_{0R} = R_4 i_2 + L_4 \frac{di_2}{dt} \dots (12)$$

$$i_1 = i_{0L} + i_{0R} + i_2 \dots (13)$$

- ここで、 V<sub>2</sub>: PD二次電圧  
 i<sub>1</sub>: 共振リアクトル L<sub>3</sub>の電流  
 i<sub>0L</sub>: 励磁サセプタンス L<sub>0</sub>の電流  
 i<sub>0R</sub>: 励磁コンダクタンス R<sub>0</sub>の電流  
 i<sub>2</sub>: 負荷 R<sub>4</sub>, L<sub>4</sub>の電流

を表わす。

図25の初期条件は、故障時の電圧

$$V = \frac{\sqrt{R_2^2 + \omega^2 L_2^2}}{\sqrt{(R_1+R_2)^2 + \omega^2(L_1+L_2)^2}} E_m \sin(\omega t + \theta_0 - \varphi + \gamma) \dots (14)$$

(10)~(14)式をデジタル計算機で計算することにより、故障時の、過渡一次電圧、二次電圧の関係が求められる。

275 kV PDにつき種々計算したが、その結果の一部を図26に示す。

また計算結果の妥当性を実証するため、実測したがよく一致する結果を得た。

以上のことからPDの過渡特性につき下記のことが明らかとなった。

- (1) 負功力率の影響  
負功力率が小さいほど過渡誤差が大で、減衰速度が小さい。
- (2) 負荷の大きさの影響  
負荷が大きいくほど、過渡誤差が大きい。
- (3) 故障位相角の影響  
故障位相角0度の時が最も過渡誤差が大きい。
- (4) 対地合成容量の影響  
対地合成容量が大きいほど過渡誤差は小さく、減衰速度が大きい。
- (5) 分圧電圧の影響  
分圧電圧が高いほど過渡誤差は小さい。

BPA納め500 kV PDの過渡特性は、USA規格の負荷W (12.5 VA, PF=0.1), およびZ (200 VA, PF=0.85)を二次側に接続し、一次側を短絡した場合、二次電圧は1/2サイクル後、5%以下に減衰することと規定しており、図25の等価回路により計算した結果、仕様をじゅうぶん満足することが明らかとなり、図27はその実測値を示したものである。

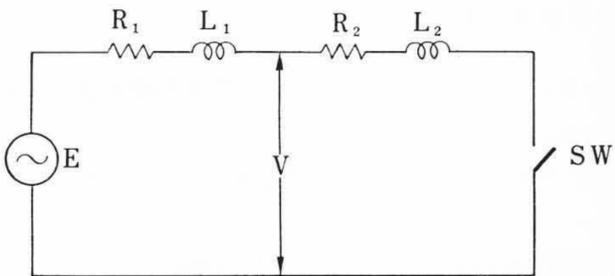


図24 線路側等価回路

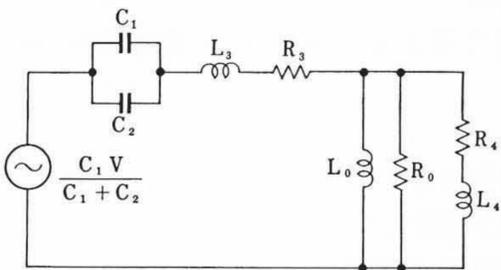


図25 PD側等価回路

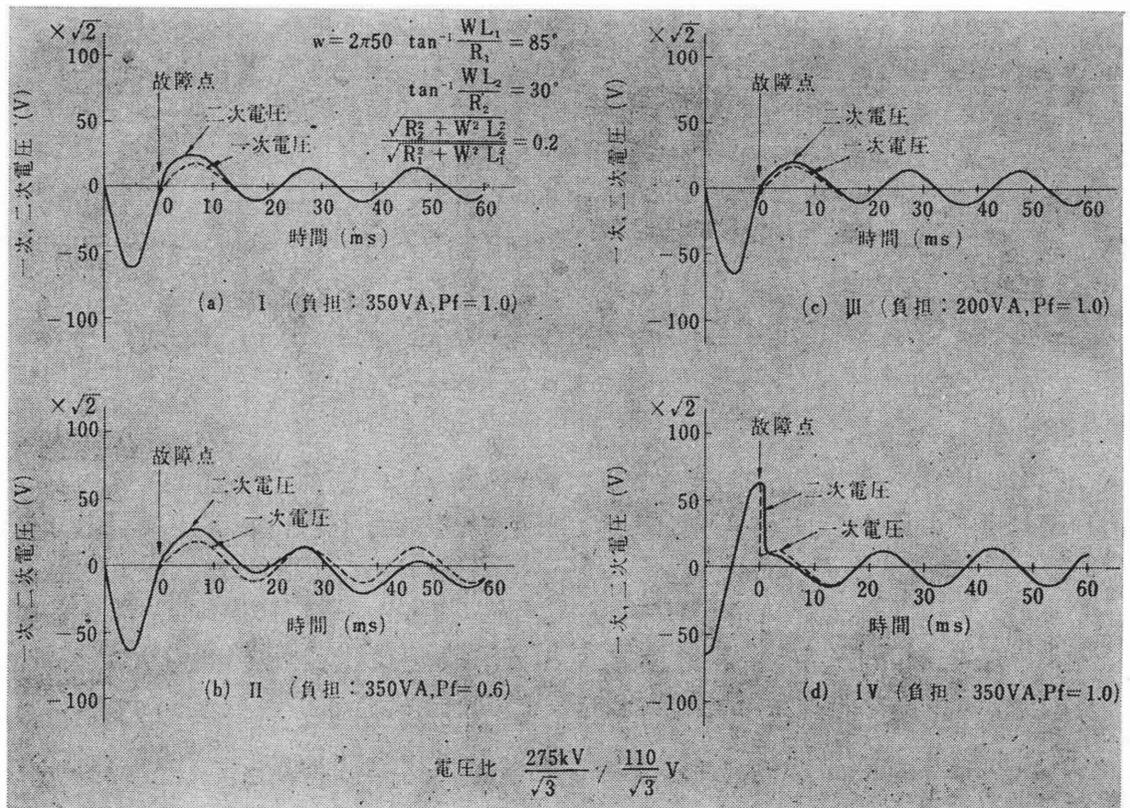


図26 過渡特性計算例

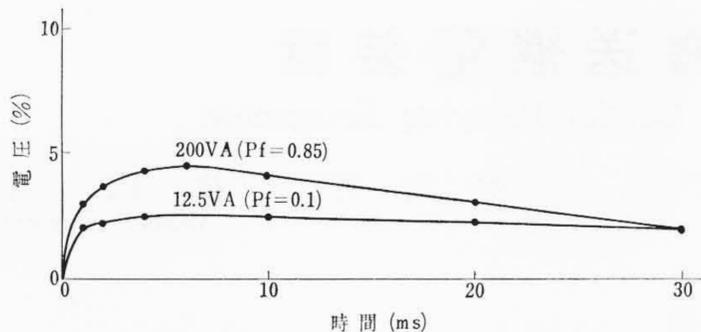


図 27 BPA 納 500 kV PD 記憶電圧

さらに現在、鉄共振を含めた過渡特性の解明を検討中である。

3.3 絶縁特性

PD の内部絶縁は単位コンデンサの特性から決まり、特別な問題点はないので省略する。

外部絶縁については注水時の開閉サージ耐電圧を確認するため、さきに試作した 400 kV PD につき、閃絡確率を求めた。

試験は、正極性、負極性とも、各 20~30 回の昇降法で行なった。図 28 は正極性 1,520 kV にての閃絡時の状況を示し、試験結果は、正極性については図 29 に、負極性については図 30 にそれぞれ示されている。

図 29, 図 30 より、50% 内絡電圧  $V_{50}$  および耐電圧値  $V_{50}-3\sigma$  は、

(1) 正極性

$V_{50}=1,524 \text{ kV}$

$V_{50}-3\sigma=1,498 \text{ kV}$

(2) 負極性

$V_{50}=1,855 \text{ kV}$

$V_{50}-3\sigma=1,797 \text{ kV}$

となる。

これは、PD においては外部の電圧分布がコンデンサの容量分割により、良好な状態になっているため比較的高い値を示すものである。

BPA から受注した PD の仕様では、注水耐電圧 1,175 kV であり、上記の実測値を基準とすればじゅうぶん満足できることが確認された。

BPA 納 500 kV PD の部分放電試験は、耐圧試験前後とも約 500 kV まで、ノイズレベルは平坦であり、絶縁性能はじゅうぶん余裕を持つことが明らかとなった。したがって CT 同様、750 kV 級 PD の絶縁設計にも、じゅうぶん見通しを得ることができた。

4. 結 言

500 kV CT, PD は実用器を製作中で、44 年 7 月から 45 年にかけて出荷される予定である。

さらに今後の飛躍を期し、500~750 kV 計器用変成器専用の試験設備として、1,050 kV 試験用変圧器、1,100 kV PD、 $525/\sqrt{3} \text{ kV}$  標準計器用変圧器などを新設するとともに、極低温時の性状確認の

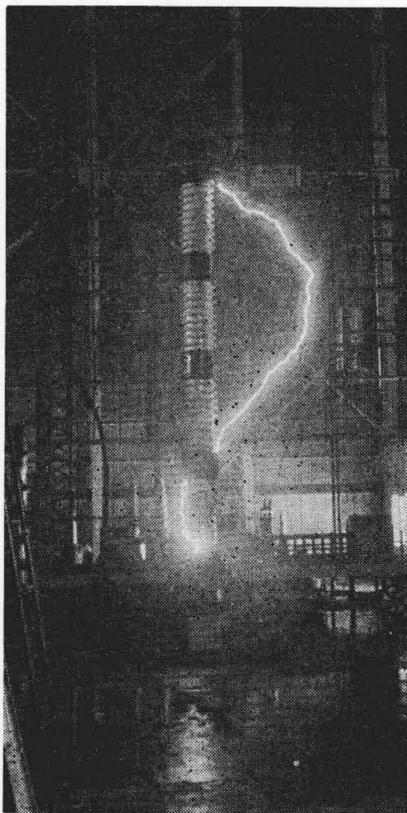


図 28 注水開閉サージ試験状況

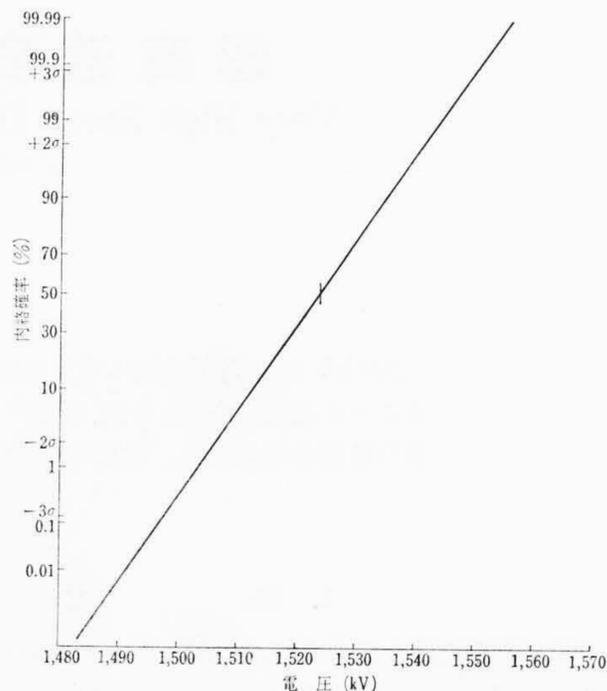


図 29 開閉サージ試験結果 (注水時正極性)

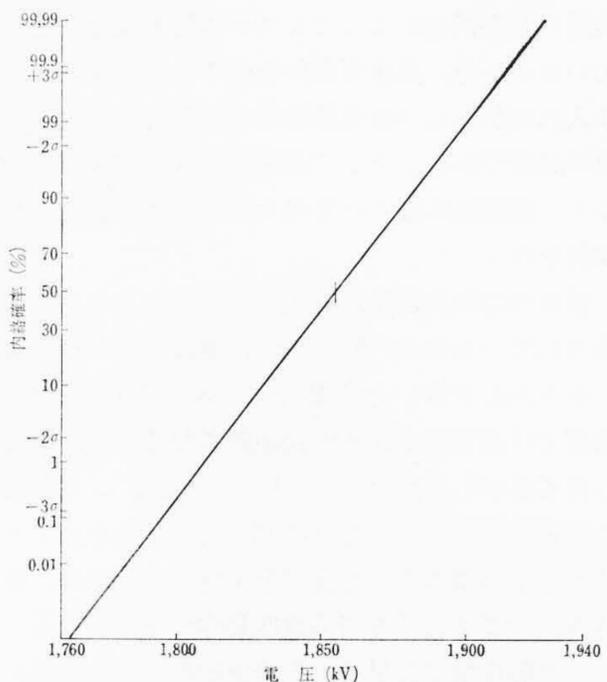


図 30 開閉サージ試験結果 (注水時負極性)

ため、大形低温槽を完成した。

また、絶縁作業時の温度、湿度および作業管理には特に注意を払っている。

以上、500 kV CT, PD の量産を機会に二、三の研究成果を紹介したが、わが国における 500 kV 送電の開始を目前に控え、関係部門一体となって信頼性の高い製品の生産を期し、いっそうの研さんを重ねたい。

参 考 文 献

- (1) 木沢ほか 2 名：日立評論 別-36, 1960
- (2) 小林：昭 37 電四連大 No. 552
- (3) 三木ほか 2 名：第 3 回 PSCC：ローマ (昭 44-6)
- (4) 三木：昭 42 電四連大 No. 991
- (5) 三木：昭 43 電四連大 No. 263
- (6) 三木ほか 3 名：昭 44 電四連大 No. 1202