

275kV, 200,000kVA 超高压单卷变压器

275 kV, 200,000 kVA Extra High Voltage Auto-Transformer

木 沢 修* 栗 田 健 太 郎* 秋 丸 舜 二*
Osamu Kizawa Kentarō Kurita Shunji Akimaru

内 容 梗 概

東京電力株式会社信濃川発電所納 275 kV, 200,000 kVA 単巻変圧器 2 台が日立製作所国分工場において完成し、現地にて運転に入った。この変圧器は単巻変圧器として、国内はもちろん東洋における大容量記録品である。製作にあたっては、先に製作した多くの超高压変圧器の経験を十分に取入れるとともに、電磁模型を使用して、特に単巻変圧器特有な衝撃電圧特性を検討し、合理的な絶縁設計を行い、鉄道による組立て輸送を行うことができた。

1. 緒 言

超高压系統では変圧器の中性点を直接々地するが、154 kV 以下の系統では中性点は抵抗またはリアクトル接地系であるため、超高压系統とその他の系統の連けいに単巻変圧器を採用することはできなかった。

今回東京電力株式会社では信濃川系の電力を西東京幹線により東京周辺の超高压外輸線に送るため、信濃川発電所にて 154 kV 系統と 275 kV 系統を連けいする変電設備を増設するにあたって、154kV 系を直接接地に変更の上、275kV との連けいに単巻変圧器を採用したが、この超高压単巻変圧器 2 台は日立製作所国分工場にて製作された。

本変圧器の仕様は次のとおりである。

形 式 屋外用送油風冷式、三相単巻五脚鉄心内鉄形
制振しゃへい、窒素封入コンサベータ付

定格出力 一次：200,000 kVA
二次：200,000 kVA
三次：31,000 kVA (内蔵)

電 圧 一次：154 kV
二次：F287.5—R281.25—F275 kV
三次：22 kV

結 線 一次：}
二次：} 星形，単巻
三次：三角形

絶縁階級 一次：120 号
二次：200 号
中性点：30 号
三次：30 号

周 波 数 50～

インピーダンス 7% 一次二次間 200,000 kVA 基準

総 重 量 244 t

油 量 54,000 l

寸 法 幅 9.19m × 奥行 5.93m × 高 9.4m

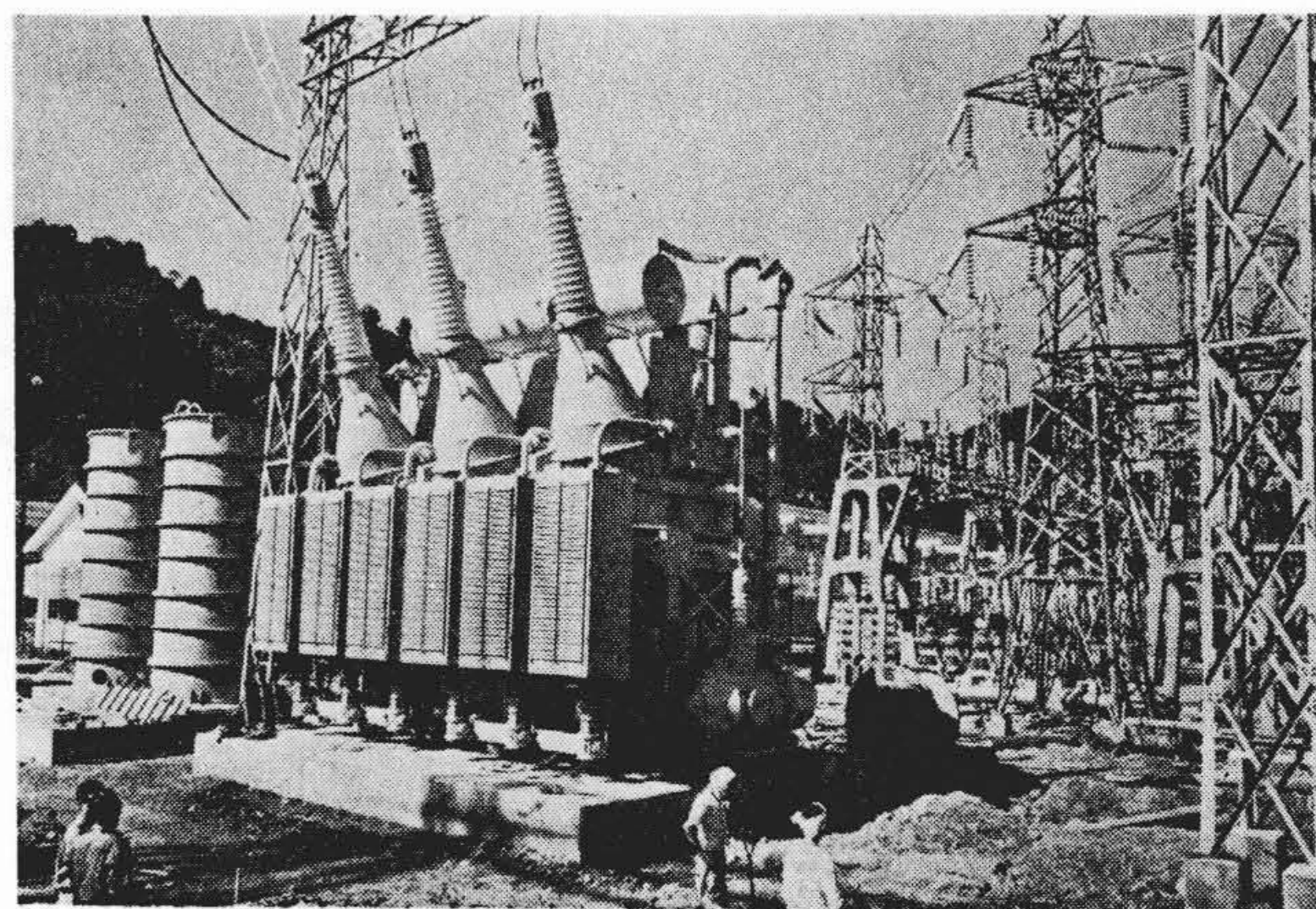
2. 巻 線 構 造

一般的構造は通常の超高压変圧器と類似であるので以下に単巻変圧器特有な問題について述べる。

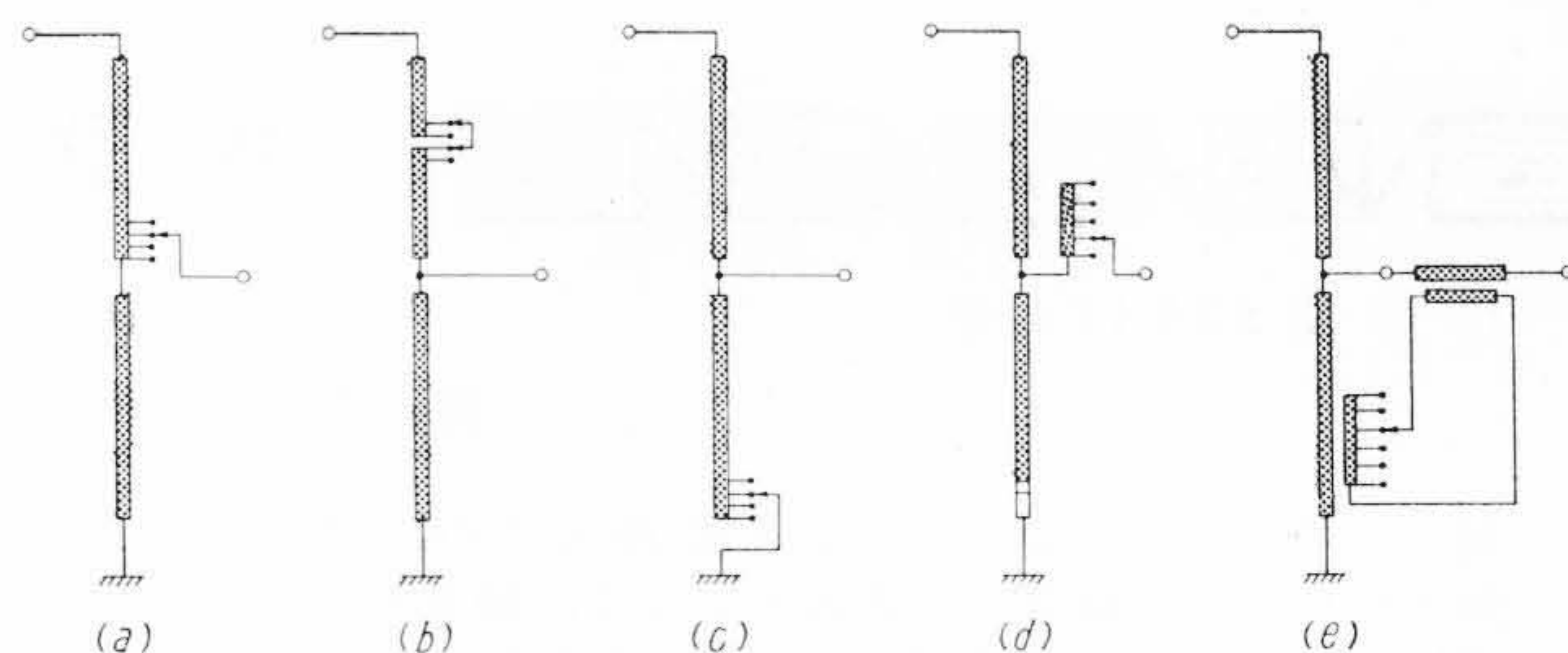
2.1 電圧調整方法

単巻変圧器の電圧調整タップのとりかたには第 2 図のように種々の方式がある。これらのどの方式を選ぶかについては、高低圧の電圧比、絶縁階級、タップ範囲などを十分考慮し、経済的かつ信頼度

* 日立製作所国分工場



第 1 図 東京電力株式会社信濃川発電所納
275 kV 200,000 kVA 単巻変圧器



第 2 図 単巻変圧器のタップ切換方式の例

の高いものとしなければならない。

図で(a)～(d)は一鉄心の直接調整方式、(e)は二鉄心の間接調整方式である。(c)方式はタップ切換装置の絶縁が容易である反面、鉄心中の磁束密度が変化し、かつ調整巻線範囲が相当広くなることがある。

この場合の磁束密度の最大最小の比 r 、調整巻線電圧 U_R は次式であらわされる。

$$r = \frac{V_{H \min} - V_{L \max}}{V_{H \max} - V_{L \min}} \quad (1)$$

$$U_R = \frac{V_{H \min}}{r} - V_{H \max} \quad (2)$$

ここに、 $V_{H \min}$ ： 高压最低電圧 $V_{H \max}$ ： 高压最高電圧

$V_{L \min}$ ： 低压最低電圧 $V_{L \max}$ ： 低压最高電圧

本変圧器は、タップ範囲も比較的狭く、上記 r , U_R を計算すると

$$r = \frac{275 - 154}{287.5 - 154} = 0.906$$

第1表 端子各種条件における移行電圧

他端子接地抵抗(Ω)	高圧端子電圧 (%)	低圧端子電圧 (%)
500	100	20 (25)
1,000	100 (印加端)	27 (30)
∞	100	45 (42)
500	44 (49)	100
1,000	57 (64)	100 (印加端)
∞	180 (200)	100

() は電磁模型のとき

$$U_R = \frac{275}{0.906} - 287.5 = 16 \text{ kV}$$

となり、この調整巻線電圧 16 kV は分路巻線中の 9.4 % にすぎない。また将来負荷時タップ切換装置を付加することも考慮して、絶縁の容易な第2図(c)の方式を採用した。

将来負荷時タップ切換機構を追加するときは、現在の無電圧切換タップ間におおの2タップ追加し7タップとするが、現在それらのタップも本体側面に別置した無電圧タップ切換装置の端子板まで引き出し、改造時本体の油をぬくことなく短時間に取付けられるよう考慮した。

2.2 衝撃電圧特性

単巻変圧器の特殊性を考慮して、実物の設計に先だち電磁模型により検討した。

すなわち単巻変圧器は高低圧巻線がその一部を共通にしているため、高圧端子に雷が侵入すると回路条件によっては低圧端子に相当な移行電圧を生じることがあり、またその逆に低圧端子より侵入する雷により高圧端子へも大きな移行電圧を誘起することがある。

回路条件としては、遮断器開放または送電線のサージインピーダンスで接地された状態の二つが考えられるが、後者の場合変圧器のサージインピーダンスに比して送電線のサージインピーダンスが小さいので直接々地された状態とほぼ同様な電位分布を示す。

本変圧器については、適切な制振しゃへいのそう入により内部振動を抑制した結果、均等分布に近い特性をうることができ、他端子にあらわれる移行電圧も電圧比を下まわった。実測の一例を第1表に示す。第3図は他端子開放の場合の対地最高電位分布を電磁模型と実物をあわせて示す。

しかしさらに保護に万全をきずるために高圧および低圧用避雷器をそれぞれ変圧器端子側に設置し、遮断器開放時にも保護できるように配慮された。

2.3 そ の 他

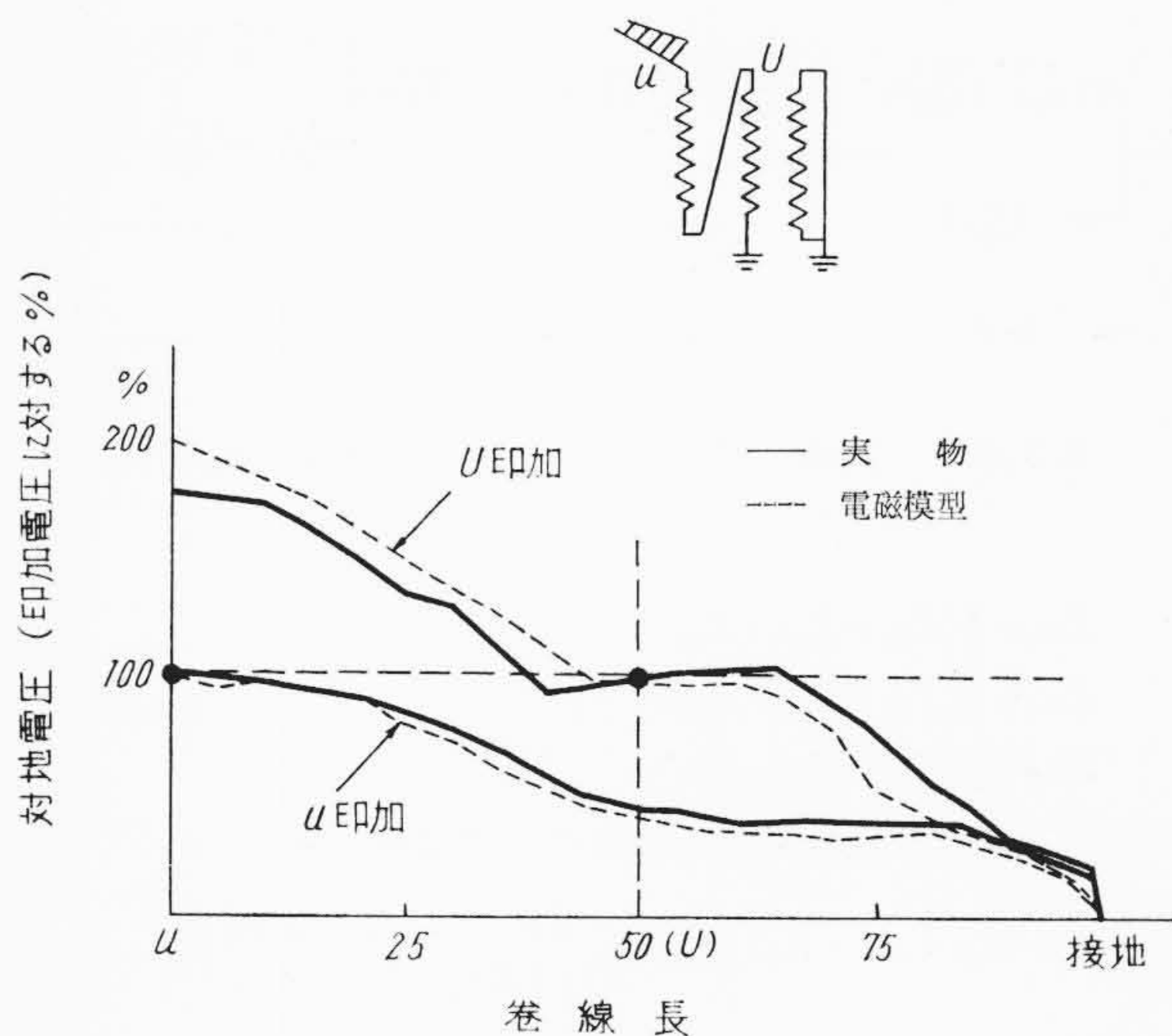
商用周波誘導試験は、高圧側端子試験時に低圧側端子も引きずられて電圧があがるため、種々の結線方式を検討したが、結局低圧側端子は試験電圧 275 kV を約 18% 超過するが、第4図に示すように高圧側二端子を接地して単相励磁を行い各相について実施した。

また中性点側からタップを抜くので分路巻線と直列巻線間のアンペアターンの不平衡、したがって発生機械力に対する支持構造には十分注意し、巻線はすべて機械力に強い円盤状巻線を使用した。その配列は、鉄道輸送限界なども考慮して鉄心側から三次巻線、分路巻線、直列巻線と同心状に配置した。

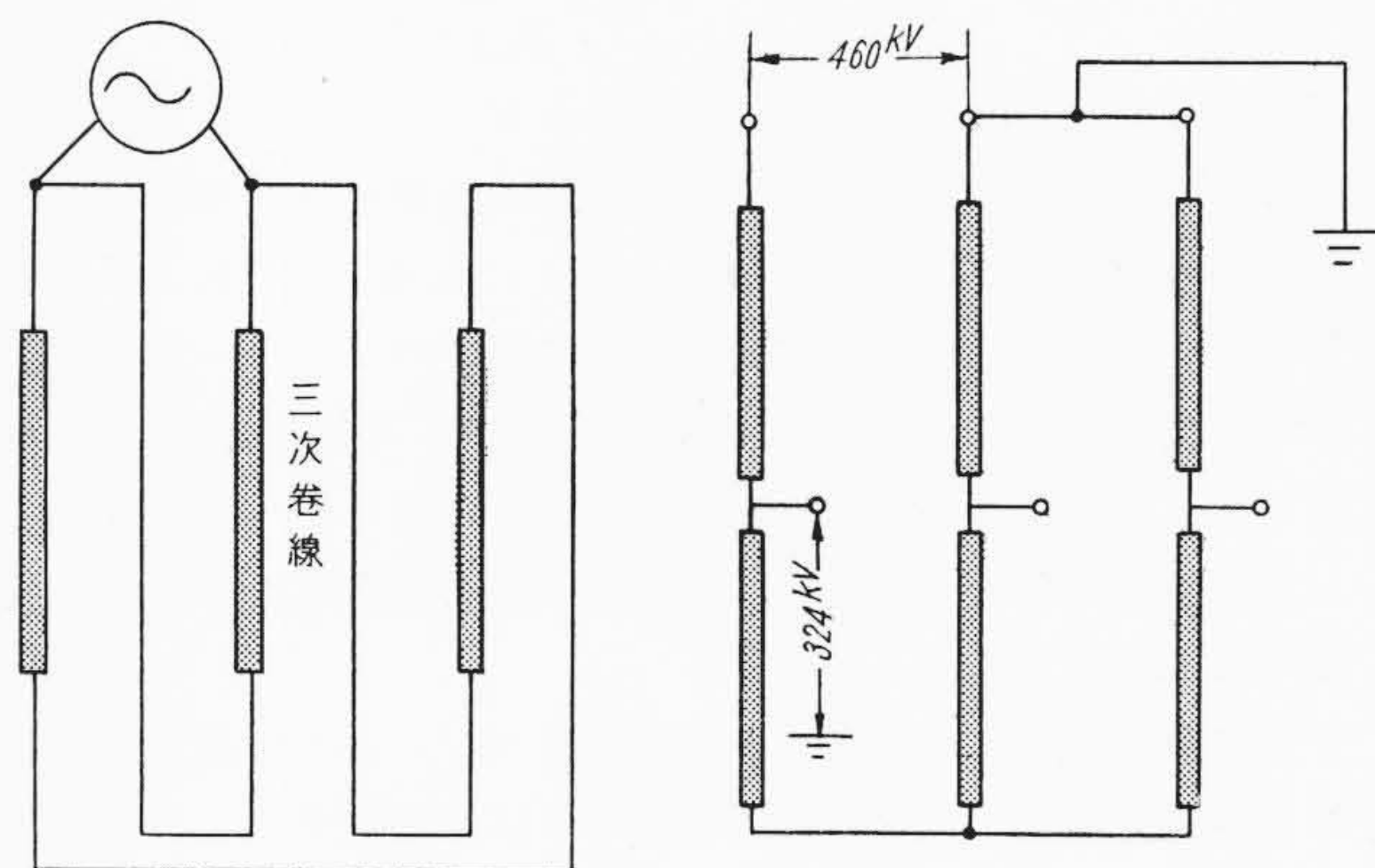
3. 三 次 巻 線

単巻変圧器における安定三次巻線の要否については広く論議され、CIGRE においても三次巻線なしの運転経験も述べられているが⁽¹⁾、現在のところその結論が出ていない。本変圧器では主巻線の自己容量の3分の1の三次巻線を内蔵し、以下述べる点を満足せしめ、工場では、三端子を引出して誘導試験などに利用した。

内蔵三次巻線の仕様を決定するにあたり考慮しなければならない



第3図 衝撃電圧特性



第4図 誘導試験回路

ことは、高低圧系統事故時の零相電流に対して熱的機械的に十分耐えるほか、高低圧巻線からの移行電圧に耐えるよう絶縁階級を選ぶことである。

三次巻線の容量は、他巻線とのインピーダンスをもとにして、零相容量を算出し、それに熱的機械的に耐えるか否かを検討して決定すればよい。

この零相容量の算出には、三次巻線に分流する電流をきめる、みかけの三次短絡インピーダンスを用いると便利である。

(1) 二次側一相地絡時の見かけの三次短絡インピーダンス

$$Z = (Z_p + Z_n + Z_0) \left(1 + \frac{Z_{T3}}{Z_{1-0} + Z_{T1}} \right) \left(1 + \frac{Z_{T0}}{Z_{2-0}} \right) \dots (3)$$

$$\text{ここに, } Z_p = Z_n = \frac{(Z_{L1} + Z_{1-2}) Z_{L2}}{Z_{L1} + Z_{L2} + Z_{1-2}}$$

$$Z_0 = \frac{Z_{T0} \cdot Z_{20}}{Z_{T0} + Z_{2-0}} \quad Z_{T0} = \frac{(Z_{1-0} + Z_{T1}) Z_{T3}}{Z_{1-0} + Z_{T1} + Z_{T3}} + Z_{T2}$$

Z_p : 正相インピーダンス

Z_n : 逆相インピーダンス

Z_0 : 零相インピーダンス

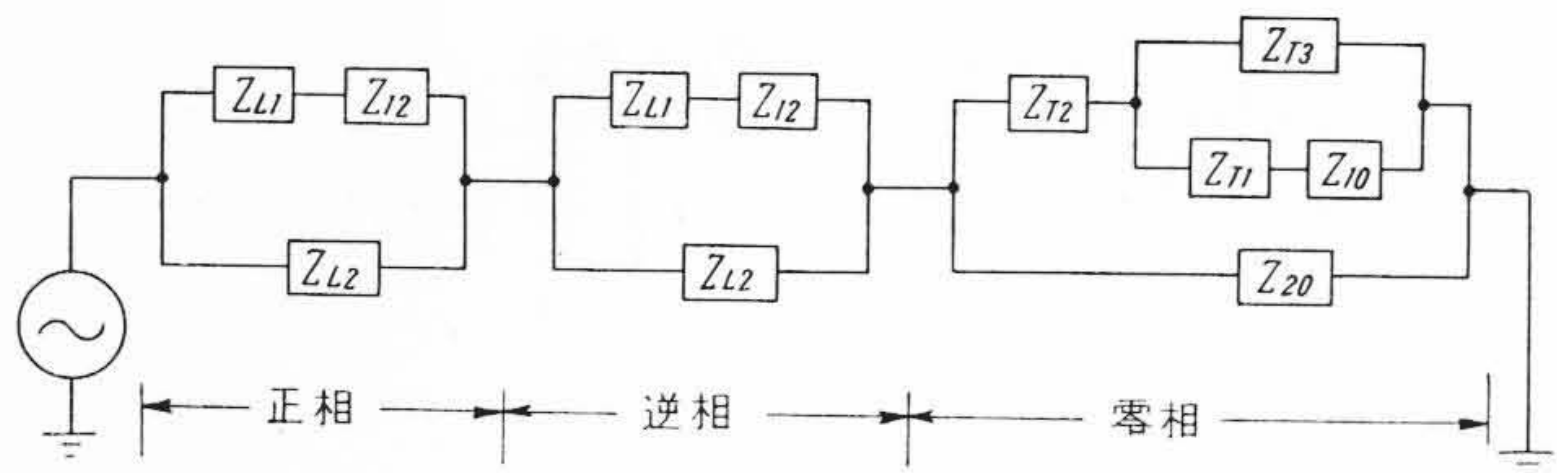
Z_{1-0} : 一次系統の零相インピーダンス

Z_{2-0} : 二次系統の零相インピーダンス

Z_{L1} : 一次系統の正相または逆相インピーダンス

Z_{L2} : 二次系統の正相または逆相インピーダンス

$Z_{1,2} = Z_{T1} + Z_{T2}$: 変圧器の一次二次間インピーダンス
変圧器各巻線に分離したインピーダンス



第 5 図 二次側一相地絡時のインピーダンス回路

$$Z_{T1} = \frac{1}{2}(Z_{12} + Z_{13} - Z_{23})$$

$$Z_{T2} = \frac{1}{2}(Z_{21} + Z_{23} - Z_{13})$$

$$Z_{T3} = \frac{1}{2}(Z_{31} + Z_{33} - Z_{12})$$

(2) 一次側一相地絡時の見かけの三次短絡インピーダンス

$$Z = (Z_p + Z_n + Z_0) \left(1 + \frac{Z_{T3}}{Z_{2,0} + Z_{T2}} \right) \left(1 + \frac{Z'_{T0}}{Z_{1,0}} \right) \dots \dots (4)$$

$$\text{ここに, } Z_p = Z_n = \frac{(Z_{L2} + Z_{1,2}) Z_{L1}}{Z_{L1} + Z_{L2} + Z_{1,2}}$$

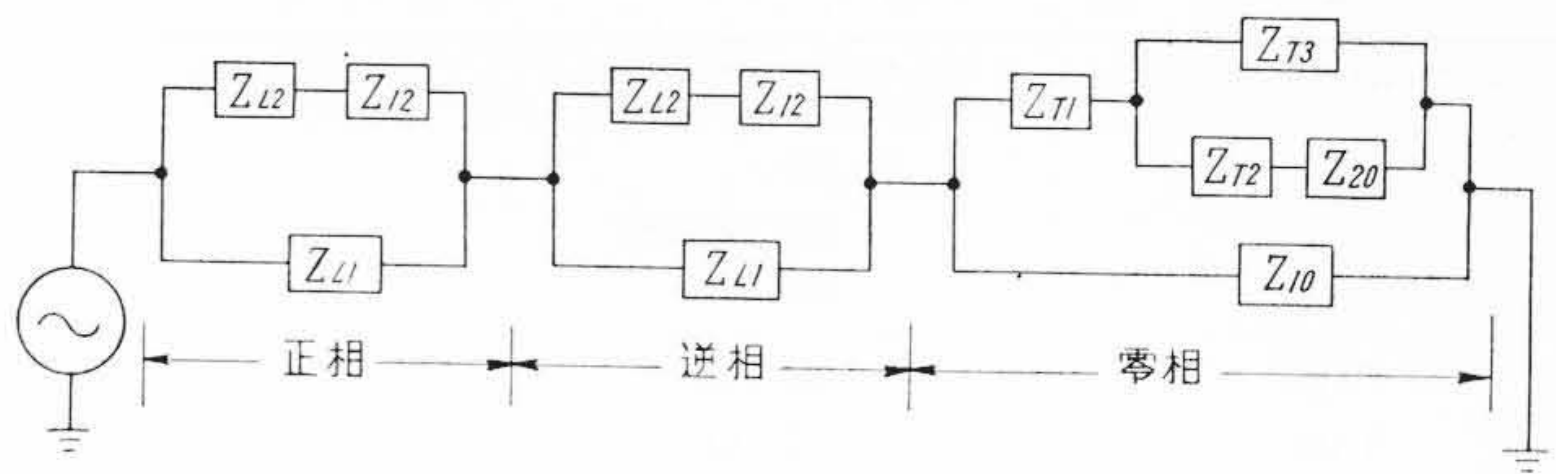
$$Z_0 = \frac{Z'_{T0} \cdot Z_{1,0}}{Z'_{T0} + Z_{1,0}} \quad Z'_{T0} = \frac{(Z_{2,0} + Z_{T2}) Z_{T3}}{Z_{2,0} + Z_{T2} + Z_{T3}} + Z_{T1}$$

(3) または(4)式で求められたインピーダンスのみで短絡電流が制限されるから、%インピーダンスの基準を三次巻線容量にとれば 100/Z 倍の零相電流が流れることになる。(3)および(4)式からもわかるように三次容量の決定に系統のインピーダンスが大きく影響してくることはもちろんであるが、零相回路における三次巻線と他巻線との分流比も重要な要素となる。

計算の結果では、高压側一相地絡の場合定格電流の11倍、低压側では20倍であった。

次に移行電圧については、サージアブゾーバで保護される通常の三巻線変圧器の三次絶縁階級のようには決定することができない。

静電的に移行する成分と電磁的に誘起される成分を十分検討した結果、30号とし、実測の結果、いかなる条件でも移行電圧が30号をこえないことを確認した。



第 6 図 一次側一相地絡時のインピーダンス回路

4. 外部構造

本変圧器の中身は本体タンクにて、つりはり式特殊貨車シキ 140号で組立輸送を行った。従来の多くの製作経験と、模型による各部応力の測定など⁽²⁾により軽量かつ堅固な構造とし、一方現地付近の鉄道線路の一部補修なども行い、輸送に成功した。

付属品としては、最近この種容量の標準としている窒素ガス圧自動調整装置や、ピトー継電器をそなえている。

そのほか、現地は積雪が多いので耐雪構造に留意し、特に細い銅パイプの類は、補強金具にておった。

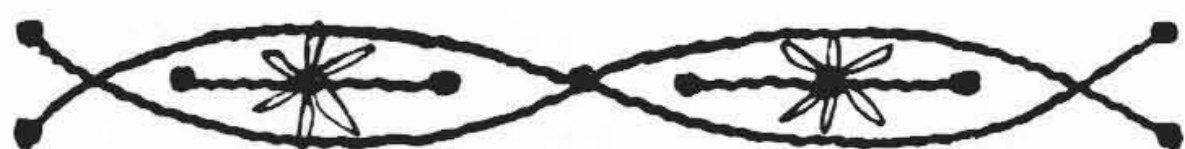
5. 結 言

国内における最初の超高圧単巻変圧器を完成したことは、近い将来予想される 400 kV 級単巻変圧器の問題点の解明に貴重な資料を提供し、そのもつ意義は大きい。

今後の機器の単器容量は、組立輸送限界によって左右されるところと考えてよいほどであり、本変圧器の場合にも、二巻線変圧器であったならば発電所付近の不利な輸送条件では組立輸送も不可能であったと思われる。この地点に単巻変圧器を設置する計画を実行された東京電力株式会社関係各位のご英断に敬意を表するとともに製作にあたり、種々ご指導いただいたことを深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) E. C. Rippon, Problems Peculiar to Large High-Voltage Auto-Transformer (CIGRE, 1960, Report No. 140) など
- (2) 木沢, 栗田: 日立評論 42, 1 (昭35-2)



登録新案 第 514770 号

新 案 の 紹 介



松 原 為 治・佐 々 木 幹

モ ビ ール ク レ ーン の 外 側 さ さ え 装 置

従来の外側ささえ装置（アウトリガ）は、角形断面の出入杵を角形断面のささえ枠内を摺動させる構造なので、出入杵の出し入れがきわめて重い。

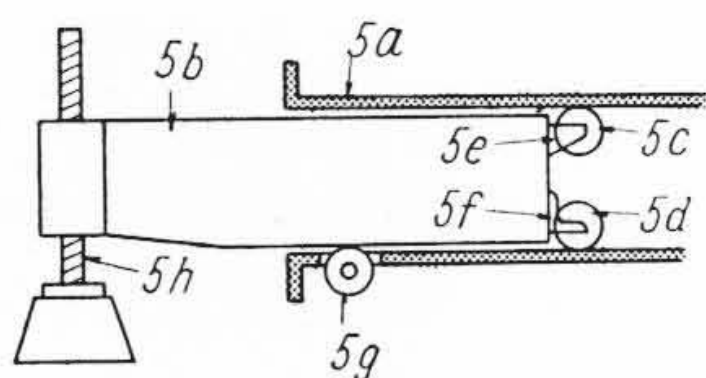
この考案は、つぎのような構造で、杵の出し入れを軽快にした。

出入杵 5 b を機体 1 に連結したささえ枠 5 a 内に移動できるようにさし入れる。出入杵の外側端部にはささえ脚 5 h を取付け、内側端の上下にはローラ 5 c, 5 d をブラケット 5 e, 弾性板 5 f を介して取り付ける。また、ささえ枠の外側端の下部にローラ 5 g を設ける。

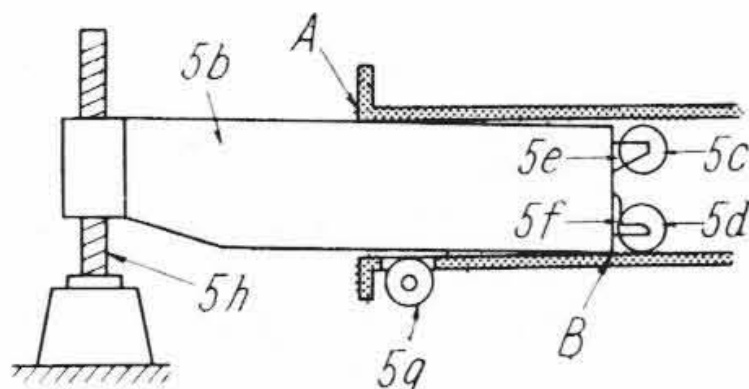
出入杵 5 b を出し入れするときには出入杵がローラ 5 g, 5 c, 5 d でささえられているので(第 2 図参照), その動きが非常に軽快になる。また、負荷中の状態では弾性板 5 f がたわむことにより、出入杵とささえ枠とは出入杵の内側端の下部 B およびささえ枠の外側

端の上部 A で接触し、ローラ 5 g と 5 c とは遊び状態となり、出入杵が安定するので(第 3 図参照), なんらの不都合も生じない。

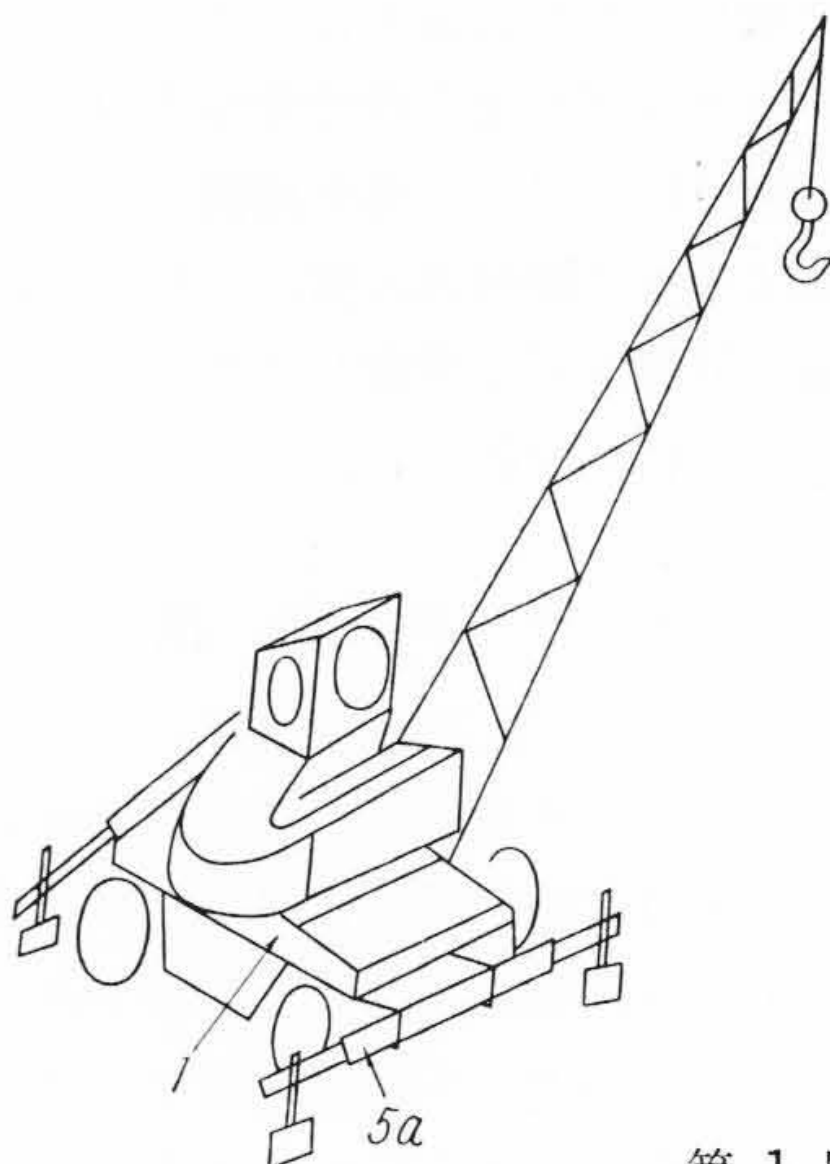
(富 田)



第 2 図



第 3 図



第 1 図