

135,000 kVA 制 振 变 压 器

首 藤 清*

Hitachi 135,000 kVA Three-Phase Transformer with Contrasurge Shield

By Kiyoshi Shudō
Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

At Hitachi Works of Hitachi, Ltd. has recently been completed 135,000 kVA forced oil circulated forced air cooled type 3-phase transformer to the order of Kyushu Power Co. for the service at the Kamishiiba Power Plant. This makes the Japan's largest capacity record, ranking high among the world's largest.

This transformer is to serve on a 240 kV transmission line and has a distinctive feature of using the contrasurge shield which, developed from prolonged research works of Hitachi's engineering staff, assures an appreciable improvement in its impulse voltage characteristics. The impulse voltage characteristics of a transformer is determined by its constant expressed by $\alpha = \sqrt{\frac{c}{K}}$ (where c represents earth capacity of the winding and K , series capacity). The contrasurge shield theoretically provides the means of making the value of α minimum by greatly increasing the value of K . Theoretically, the internal voltage vibration of a transformer develops a broader magnitude as the value of α becomes greater, and this eventually gives rise to high potential gradient in the windings, resulting in a layer short-circuit. It follows that by diminishing α , abnormal high potential gradient occurring at the time of impulse voltage application takes a smaller value and enhances as a result the reliability of the insulation. In virtue of this type of shield α has been reduced to around 1.5~2, from 10~15 which is considered common without the shield. This means that the windings produce practically no vibration. In addition, in spite of its unprecedented effectiveness in core type transformer, the method of shielding is incredibly simple requiring no more labour than to roll a thin layer of insulation between turns of the winding.

For reducing the hoisting weight of the crane for installation at site, the core was made to assume a special construction which allowed the Company to check the capacity of the cranes used in assembly room at twenty tons. The tank, after installing at site, was welded at all joints, except in the part of the handhole parts where the bushings and the radiators are to be fixed. The bushings were sealed so as to prevent the deterioration of inside oil, and the conservator is designed in three-chamber type, nitrogen-sealed system. Also, it makes a feature

* 日立製作所日立工場

of this transformer that it is earthed on the low voltage side using $0.3 \mu\text{F}$ condenser for the purpose of decreasing induced voltage which is caused when impulse voltage is applied on either high or middle voltage side.

〔I〕 緒 言

九州電力株式会社，上椎葉発電所納 240 kV，135,000 kVA 変圧器は，最近日立製作所日立工場において完成し，目下現地据付中である。

本器は我国における従来の記録をはるかに凌ぐ大容量器で，東洋第一を誇るのみならず，世界屈指のものである。

この変圧器は上椎葉および附近の電力をそれぞれ 10.5 kV および 115 kV で受け山家変電所迄約 140 km を 240 kV で送電する。240 kV 側の中性点は直接接地で機器の絶縁階級は 170 号が採用されている。

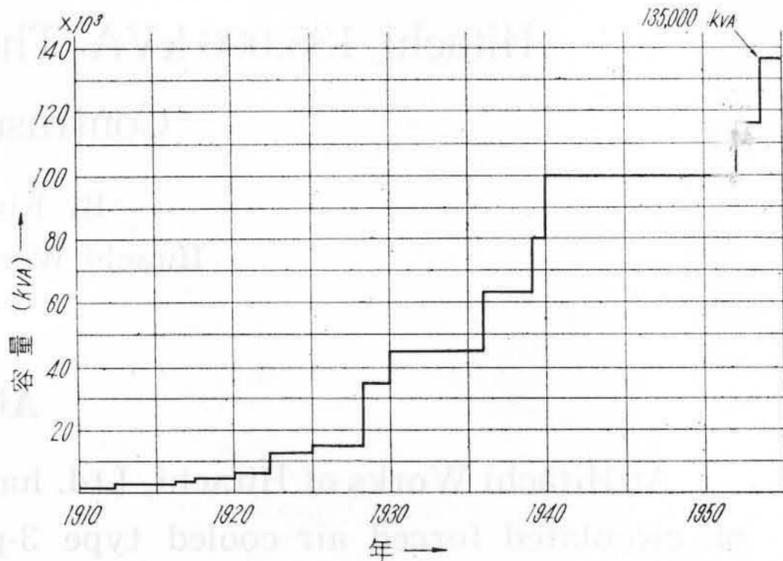
この変圧器の製作にあたっては，日立製作所における従来の多数の超高压変圧器の製作経験を十分にとりいれると共に，新設計としては，多年の研究により完成した制振遮蔽方式採用による衝撃電圧特性の改善，または特殊組立方式による現地組立の簡易化等，従来の変圧器に比し，進歩改善の跡が著しい。以下この変圧器の概要を紹介する。

本器の仕様は下記の通りである。

- 一 次 67,500 kVA 115 kV 人
絶縁階級 100 号
- 二 次 135,000 kVA 240~230 kV 人
絶縁階級 線路端子 170号
中性点端子60号
- 三 次 67,500 kVA 10.5 kV △
絶縁階級 10号
- 三 相 60~ 送油風冷式 内鉄型
- 総重量 260 t 油量 62,000 l
- 床面積 8.2 m×5.45 m 高さ 8.3 m
- 効 率 135,000 kVA 基準 99.44%

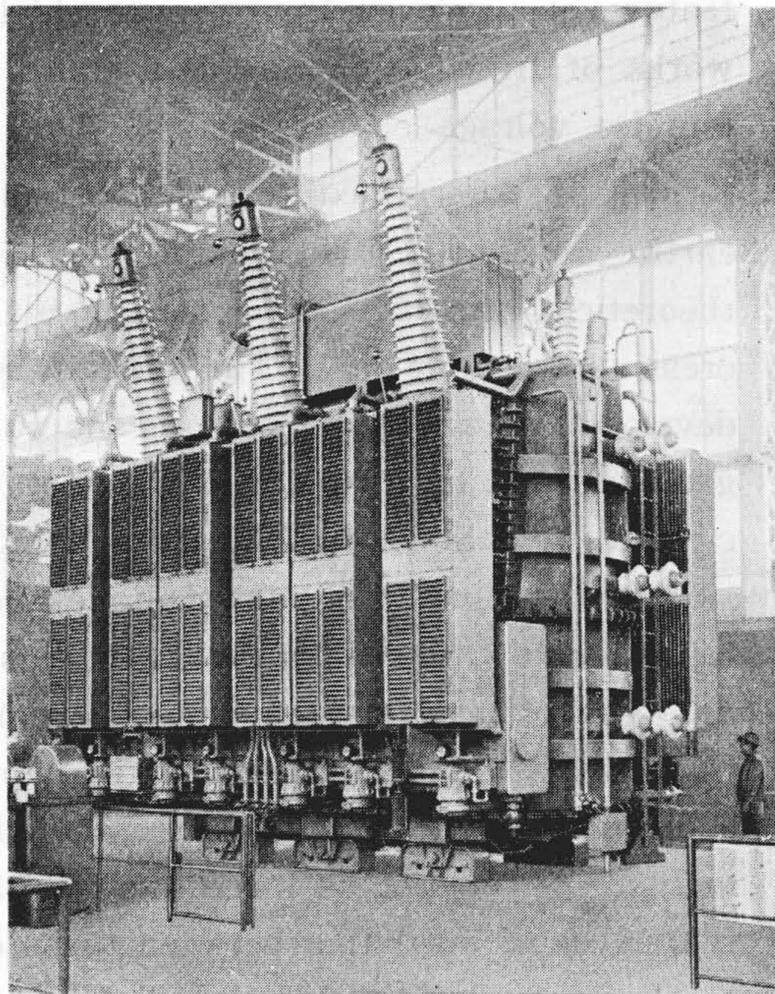
〔II〕 制 振 遮 蔽

本変圧器の設計に際し，最も重要な点は，温度上昇と絶縁である。温度上昇については，負荷状態におけるものと等価の工場試験を行い，適否を確認することができるため使用中この点で問題となることはないが，高压器の絶縁に関する問題は設計者の最も苦心するところで，現在の大容量電力用変圧器の信頼度は，もっぱら絶縁，特に衝撃電圧に関する信頼度に左右されるといつても過言でない。



第1図 変圧器記録容量変遷図

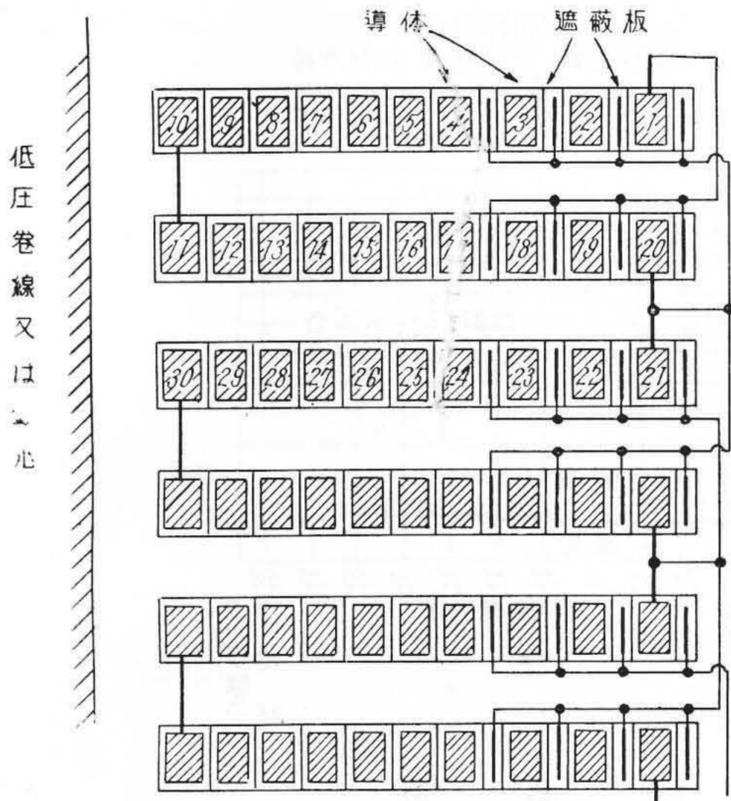
Fig.1. Capacity Record of Transformer in Japan



第2図 135,000 kVA 変 圧 器
115/240~230/10.5 kV 三相送油風冷式

Fig.2. 135,000 kVA Transformer
115/240~230/10.5 kV Three-Phase
Forced-Oil, Forced-Air-Cooled

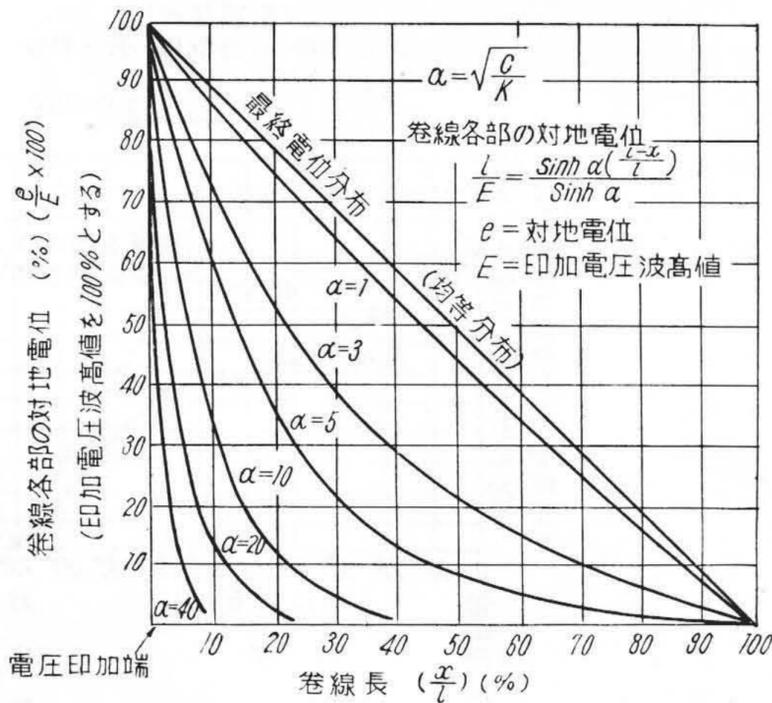
衝撃電圧に対する絶縁設計を容易ならしむるため巻線に遮蔽を行い，衝撃電圧印加時の巻線の対地異常高電圧ならびに巻回間の異常電位差を軽減することは，一般に



第3図 制振遮蔽構造図
Fig. 3. Arrangement of Contrasurge Shield

古くから考慮されており、日立製作所においても従来実施していたが⁽¹⁾、今回多年研究の結果、簡単にして効果大なる方法を完成し、制振遮蔽 (Contrasurge Shield) と名付けこの変圧器に応用した。この遮蔽方法は一部は報告済みである⁽²⁾。

構造は第3図に示すように、円盤状コイル各巻回間に遮蔽板を巻き込むもので、遮蔽板としては薄い導体の絶縁電線を使用する。図中、導体に附した数字は巻回の順を示してある。1, 2, 3の傍にある遮蔽板は20に、18, 19, 20の傍にある遮蔽板は1にそれぞれ接続される。したがって1および20と傍の遮蔽板の間には20ターンの電圧がかかるのでそれに耐える絶縁強度をもたねばならない。円盤状巻線の絶縁構造においては1と20の間はほとんど导体自体の絶縁被覆に頼っておるので、遮蔽板の絶縁は导体と同程度におけばよるしい。遮蔽板は



第4図 衝撃電圧印加時の巻線電位分布
Fig. 4. The Initial Voltage Distribution along the Winding when the Impulse Voltage is Applied

最も電位差の高い外周の巻回間に3, 4回巻き込めば十分であるから作業も簡単で、これに要する空間も僅少である。

衝撃電圧印加の初期の巻線電位分布は下式で表される。(非印加端直接接地)

$$e = \frac{\sinh \alpha \left(\frac{l-x}{l} \right)}{\sinh \alpha} E$$

e = 巻線各部の対地電位

E = 印加電圧波高値

l = 巻線長

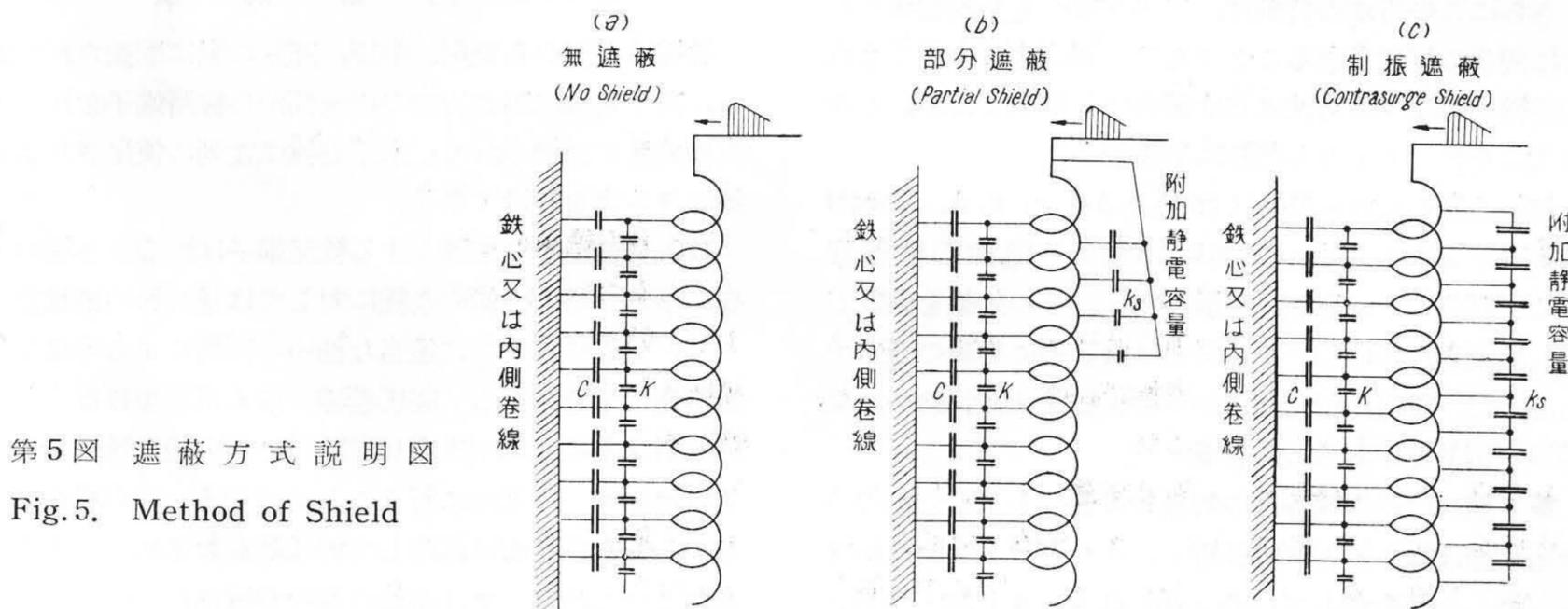
x = 電圧印加端からの巻線長さ

$$\alpha = \sqrt{\frac{c}{K}}$$

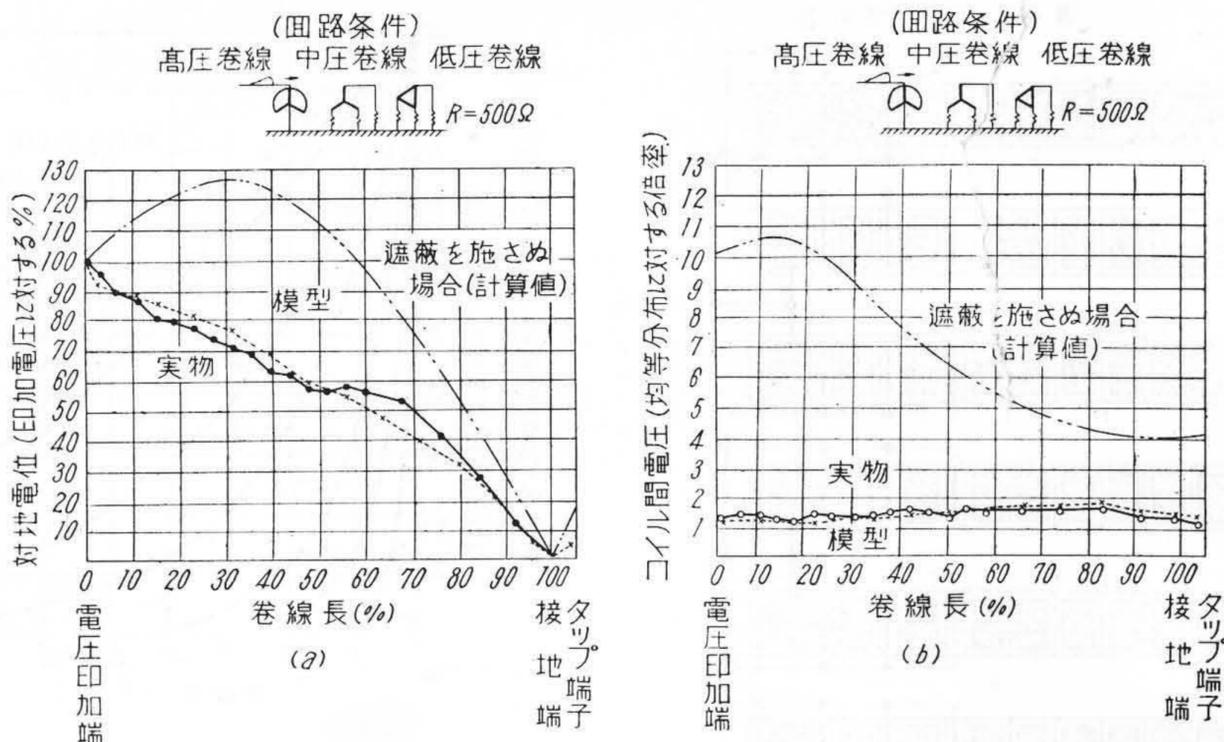
c = 対地全静電容量

K = 巻線直列静電容量

(上下端コイル間の容量)



第5図 遮蔽方式説明図
Fig. 5. Method of Shield



第6図 衝撃電圧特性

- (a) 対地電位分布特性
- (b) コイル間電圧分布特性

Fig. 6. Impulse Characteristic

- (a) Voltage Distribution along the Winding
- (b) Voltage between Coils

α は電位分布および過渡内部振動の振幅を決定する。巻線の定数である。これを図示すれば第4図となる。 α が小なれば小なる程、初期電位分布は直線に近ずき電圧印加端附近における電位傾度は小となり、振幅も小となる。

第5図は遮蔽の原理説明図で、(a)は無遮蔽、(b)は従来行われた部分遮蔽、(c)は制振遮蔽で、 k_s は附加された静電容量である。(b)は電圧印加端から適当な静電容量により巻線各部の電位を制御していたのであるが、制振遮蔽は直列静電容量をまして α を小とする方法である。この方法によれば、 $\alpha=10\sim15$ のものを1.5~2程度とすることは極く簡単である。この程度の α となれば実質的に無振動といえる。

さらにこの方法の特長は、内側巻線にも外側巻線と同様に簡単に採用できることである。部分遮蔽方式でも内側巻線に応用する方法は日立製作所で開発したが、この方式はそれよりもなお簡単に応用できる。

制振遮蔽の設計に際してはあらかじめ P. A. Abetti の提唱による⁽³⁾実物との寸法比5対1の電磁的模型変圧器を製作して、詳細に試験を行い、その効果を確認した。模型変圧器についての詳細は後日別に発表の予定であるので、説明は行わないが実物完成後比較試験の結果相当の相似性があることを認めた。

第6図(a)は巻線各部の対地最高電位を示したもので分布状態はほとんど直線に近く、また実物と模型はかなり近似した値を示している。(b)はコイル間電圧の最大

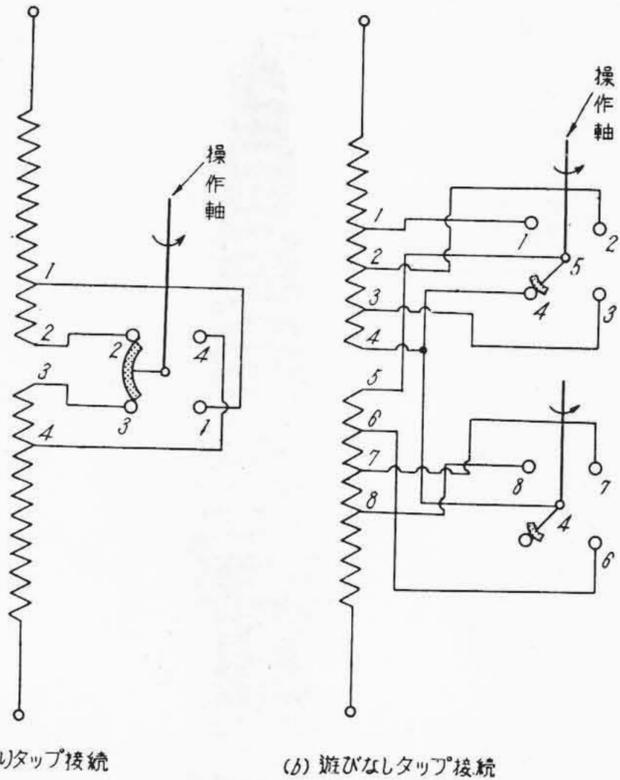
値を均等分布(直線的分布)の場合の倍数で示したもので遮蔽を施さぬ場合は10倍余のものが、最高1.8倍におさまり、従来一般に行われている各種の遮蔽方式に比し格段の改善がなされたことを示している。またこの場合も実物と模型とがきわめて近似した値を示している。

元来遮蔽方式の良否は経済的条件を度外視しては意味がない。いかにより効果を上げて、経済的に不利なものは採用できない。内部振動の多い変圧器でもこれに耐えうる設計を経済的に行いうるならば、なんら差支えなく使用できる。制振遮蔽方式は、優秀な効果にあわせて極く簡単で、経済的な点において従来他に例のない優れた方法である。

〔III〕 内部構造

巻線は内部から低圧、中圧、高圧の順に配置されており、高圧巻線は高さ方向の中央部から線路端子を出して直接套管に接続される。上下巻線は並列に使用され上下端にタップを設けてある。

170号の絶縁を必要とする線路端子は円筒形巻線の中央にあるため、内側の巻線に対しては適当数の絶縁筒により、外函に対しては適当な油中の距離による簡単な絶縁構造で十分である。高圧巻線で最も構造複雑な上下継鉄に対する絶縁は中性点(直接々地)側の絶縁階級60号なるため、至つて簡単に行うことができる。この構造は従来から超高压巻線に応用して好成績をおさめている⁽⁴⁾。またこのためタップは中性点側の巻線端におくことがで



第7図 タップ切換器構造図
(a) 遊びコイルあり
(b) 遊びコイルなし

Fig.7. Construction of Tap Changer
(a) With Free Coil
(b) Without Free Coil

きるので三相を1箇のタップ切換器で済ますことができる。

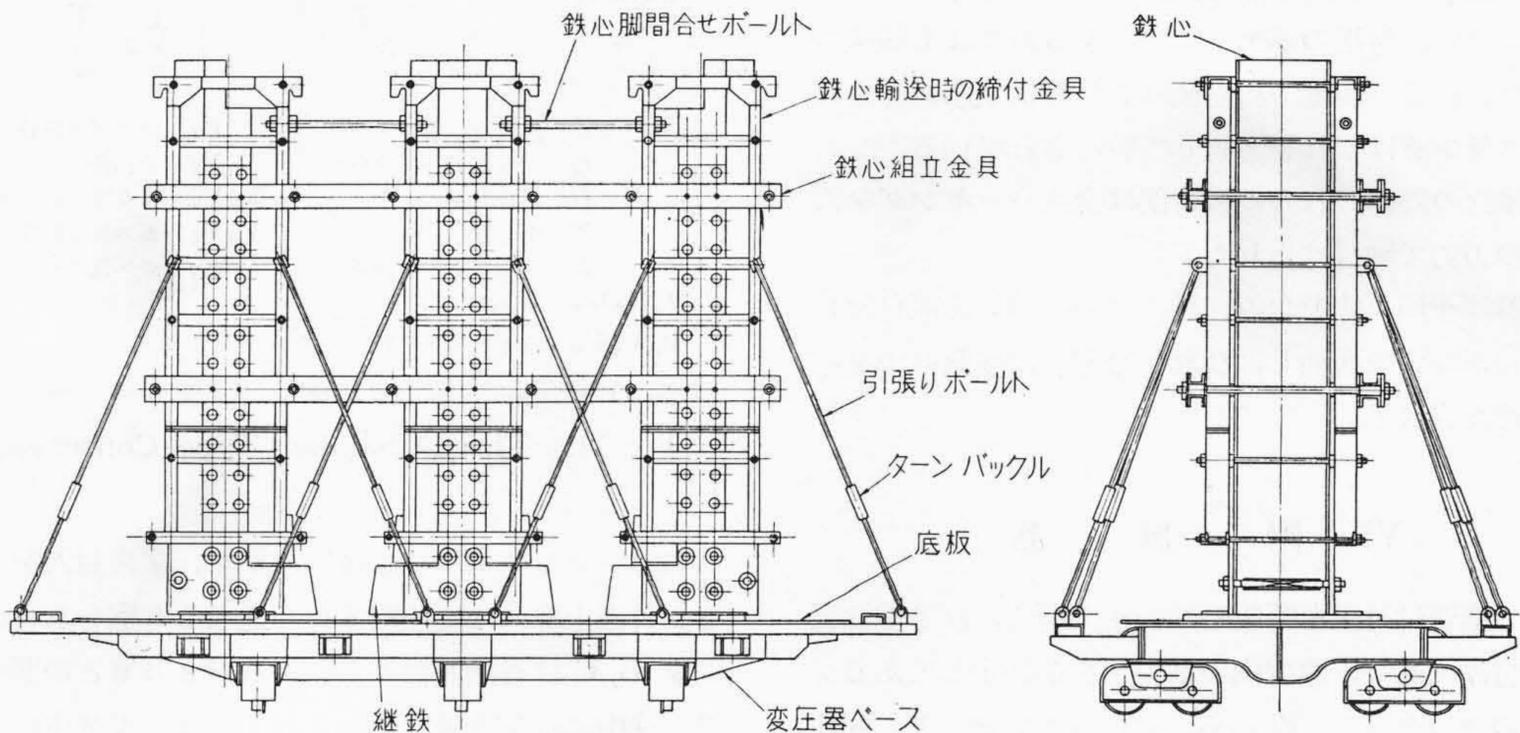
衝撃電圧印加の際遊びタップに生ずる異常電圧も超高压巻線については重要である。普通の巻線においては均等分布の3~4倍の電圧が遊びタップ端子間に表れることは珍しくない。これを防ぐため遊びコイルなしの構造が発表されている。その方法は第7図(b)に示す方法で(a)に比しタップ切換器の接点度は2倍になり、構造複雑で大型となる。しかし普通の変圧器においてもかなら

ずしも(b)の方法が(a)より良好な結果を示すものではなく、日立製作所の実験結果の示すところによると、むしろ(a)の普通の方法の方がタップ間電位差は小さいことが確かめられている⁽²⁾。この変圧器の設計に際しては、前述の模型変圧器により両者の比較が行われたが、(a)構造の方が良好なることが認められたので、簡単なこの構造を採用した。

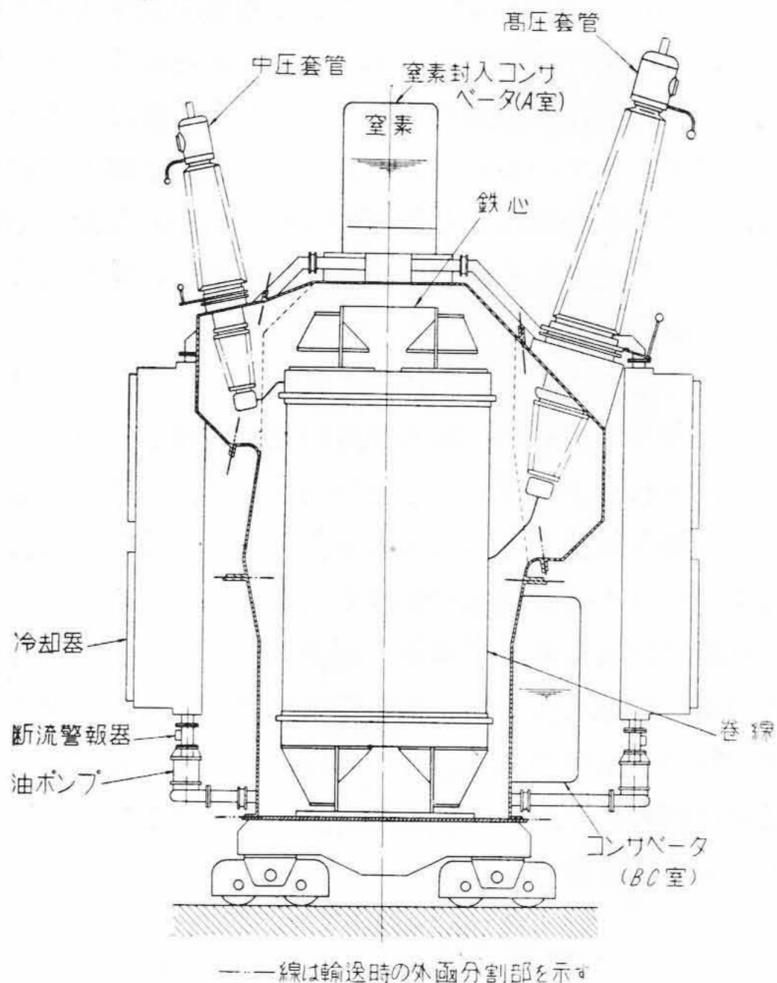
導体としては複導体が採用された。大容量器の導体は過流損減少の目的で、ある程度以上の電流となれば2本またはそれ以上の並列導体を使用するが、従来は層間絶縁に必要な被覆を行つた導体を並列に使用するので並列導体間には不必要以上の絶縁を行つていることになる。これをさけるためまず導体に過流損を防止するにたるだけの薄い絶縁を行い、これを合せて層間絶縁に必要な被覆を行つたものである。この製作は技術的に相当困難で従来は行われなかつたが長期研究の結果はじめて実現をみたものである。

[IV] 鉄 心 構 造

現地据付の際、吊上重量を少くすれば組立用建家ならびに吊上設備に要する費用を節約することができる。普通の組立方法にしたがえば、少く共鉄心のため約80tの吊上設備を必要とするが、この重量を軽減するため特殊の鉄心構造が採用された。第8図に示すように下部継鉄の一部は斜に切断されて重ね合せ接合となつている。工場で正規に組立てられた鉄心は輸送の際に上部継鉄および下部継鉄の斜に切断された部分が外される。現地組立の際は、各脚を別々に吊上げて床板上におき、組立用金具で各脚の相互関係を正確に保持した後、下部継鉄を挿しその後下部を三脚共通の鉄心締金具により締付ける。



第8図 鉄 心 組 立 法
Fig.8. The Method of Core Assembly



第9図 135,000 kVA 変圧器構造図
Fig. 9. Construction of 135,000 kVA Transformer

これ以後の作業は普通の組立方法と変るところはない。この方法により現地組立用のクレーンは 20t で済ますことができた。

底板はこれらの作業に便なるよう平板としてある。

[V] 外 函 構 造

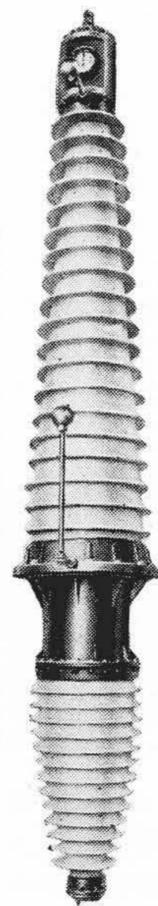
外函は台車付底板，中部外函，上部蓋に三分割される。上部蓋は套管取付用のポケットを有するがこれも輸送の際には取外される。現地で組立後はこれらは全部溶接されるのでフランジはこれを考慮して設計されている。

工場組立の際にはこれらの接合部は全部パッキングを入れ多数の万力で締付けられた。

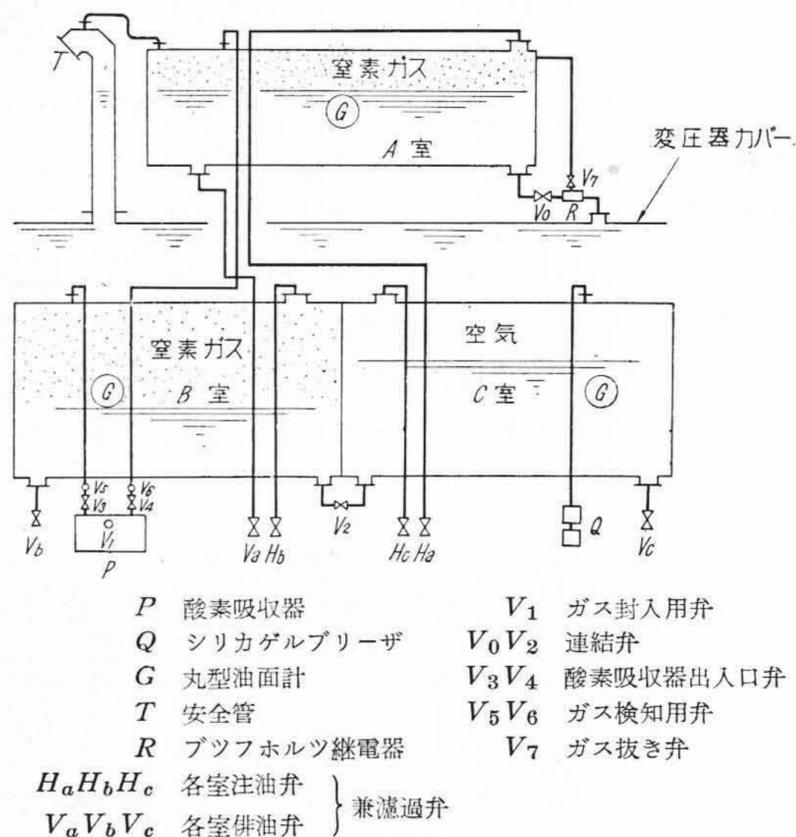
冷却器は予備1箇を含み，外函外周に12箇取付けられ各々油ポンプで送油し，ひれ付冷却管は多数の小型冷却扇で冷却される。

[VI] 附 属 品

(1) 套管は外気を呼吸しない密閉型で，浮子型油面計を取付けてあり，套管内の油の劣化を防止してある。套管内の油は套管の上部から，中心導管を通して，変圧器本体の油と通じ，油の膨張収縮による増減は，本体の油により調節される。

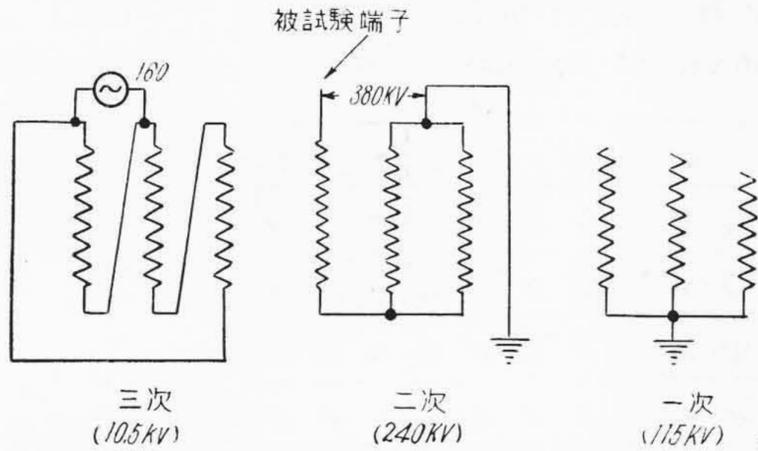


第10図 240 kV 側 套 管
Fig. 10. Bushing for 240 kV Side



第11図 三室型コンサベータ
Fig. 11. Three-Chamber Type Conservator

(2) コンサベータは三室型で，窒素封入をしてある。外函上部には変圧器本体を通じるA室をおき，他の二室 B, C は外函側面におき，A室とB室との間の連絡管の途中には酸素吸収剤を入れてあり，ガス中に含まれた酸素を完全に除去する。酸素吸収剤，吸湿呼吸器等は地上から点検取換可能のところに取付けてあり，上部コ



第12図 240 kV 巻線の絶縁試験法
Fig. 12. The Method of Insulation Test of 240 kV Windings

ンサーベータの注油は地上から接続可能のように配管を行つてある。

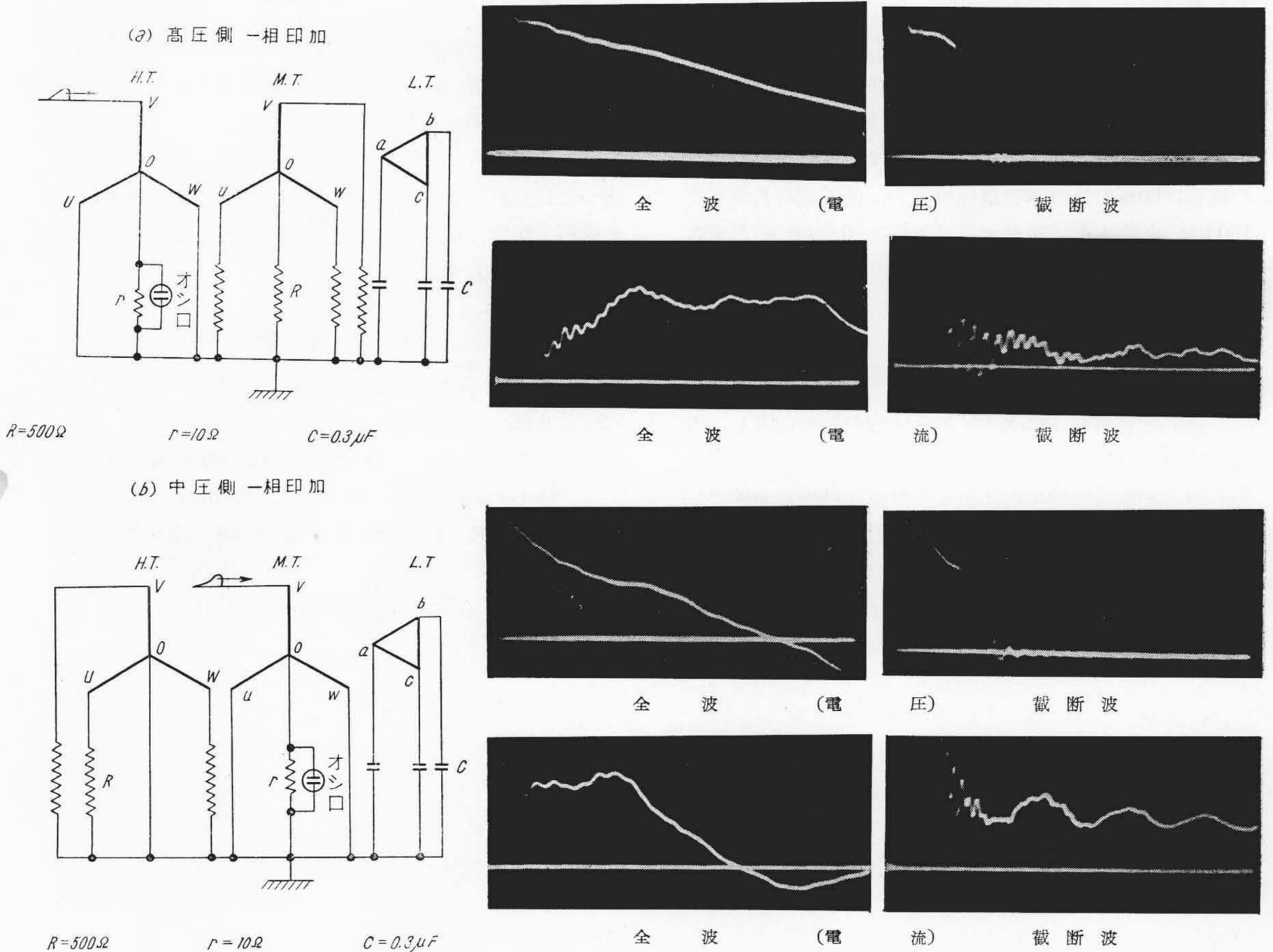
(3) ダイヤル温度計は完全防湿型で、変圧器本体の振動が直接伝わるのを防ぐように防振ゴムにより取付けてあり、指示の狂いの生じるのを防いである。

(4) 車輪はトラバースを使用せずに組立室から据付現場迄運搬できるように 90° 方向転換可能なような設計とした。

(5) 高中圧側からの衝撃移行電圧保護用として低圧 11 kV 端子各相と大地間に 0.3 μF の静電蓄電器と避雷器を併用して取付けてある。これらは低圧端子の近傍の外函に取付けてある。

〔VII〕 絶 縁 試 験

絶縁試験は交流および衝撃波で行われた。高周波試験においては高圧側は段絶縁なるため、線路端子の絶縁は誘導法により行われた。第12図の結線により各相毎に 380 kV の電圧を誘起せしめるわけであるが、このため中性点には $380 \text{ kV} / 3 = 127 \text{ kV}$ の対地電位を生じ、このためにのみ中性点の絶縁を上げて設計しなければならない。常規使用状態においては中性点は 20 号程度 (絶縁試験電圧 45 kV) で何等不都合はない。試験のためのみ絶縁階級を上げた設計を行うということは無駄なこと



第13図 衝撃電圧試験の波形
Fig. 13. Wave Forms of Impulse Test

第1表 衝撃電圧印加時の移行電圧
Table 1. Transferred Voltage of Impulse

印加法	接 続	低圧端子接地法	U V W 0	u v w 0	a b' c
高圧 一線		C=0 (開放)	100 0 0 0	52 34 35 36	10 8 12
		C=0.3μF	100 0 0 0	50 39 36 36	6 0.8 4
高圧 三線		C=0 (開放)	100 100 100 0	53 53 53 36	30 30 30
		C=0.3μF	100 100 100 0	46 46 46 14	0.7 0.7 0.7
中圧 一線		C=0 (開放)	143 60 60 0	100 0 0 40	20 34 26
		C=0.3μF	150 70 67 0	100 0 0 48	8 9 4
中圧 三線		C=0 (開放)	106 106 106 0	100 100 100 106	80 80 80
		C=0.3μF	122 122 122 0	100 100 100 114	0.9 0.9 0.9

であり、今後何等かの対策が考えらるべきであろう。例えば線路端子の絶縁強度は衝撃電圧印加によりたしかめるといふがごとき簡略法を定めるべきと思う。

衝撃電圧試験も各巻線に施行され、印加波形、電流波形を第13図に示す。

なお特殊試験として、高中圧巻線に衝撃電圧印加の場合の低圧側への誘起電圧の測定を行つた。第1表にそのを示してあるが、低圧側無負荷で 0.3 μF の静電蓄電器結果のないときは高圧側印加のときは 30%、中圧側印加の場合は 80% の最高誘起電圧を生じ、低圧側の基準強度 150 kV をはるかに超過するがこれを 0.3 μF の静電容量で接地すればそれぞれ 6% および 9% となり、安全電圧となる。

[VIII] 結 言

記録的大容量の 13,500 kVA 変圧器の製作に際し、特に従来と変り、進歩改良した主要点としては

- (i) 制振遮蔽の採用による衝撃電圧特性の改善
- (ii) 複導体の使用による製品重量の軽減
- (iii) 新考案になる現地組立の際の吊上重量の軽減を挙げることができる。これらはいずれも長期の実験お

よび試作の結果製品に応用し得るようになったものである。

なかんづく制振遮蔽方式は従来の方式に比し、飛躍的な高性能を有するもので、諸外国にもその例を見ないのである。

今後さらに大容量のものが製作される傾向にあるが、われわれ製作者は、この結果に満足することなく今後の進歩改良に努力をしたいと考えている。

終りにのぞみこの変圧器の製作に当り、多大の指導を賜つた日立製作所日立工場変圧器部長谷崎義一氏をはじめ設計、製作、試験に多大の努力をされた担当の方々に深甚の謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) 首藤, 木沢: 日立評論 33 597 (昭 26-8)
- (2) 首藤: 日立評論 別冊 No. 5 (昭 28-12)
- (3) P.A. Abetti: Transformer Models for the Determination of Transformer Voltages A.I.E.E. Technical Paper 53-132 Feb. 4, 1953
- (4) 首藤: 日立評論 33 951 (昭 26-11)

