

# 配電と配電用変圧器

鬼頭 国忠\*

## Distribution and Distribution Transformers

By Kunitada Kitō  
Kameido Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

With its present installations exceeding 1,200,000 sets, the distribution transformers are still on the swift increase following the rapid expansion of both major and minor consumers.

For the rationalization of distribution it has been felt that the iron loss of distribution transformer must be diminished, and recently this problem has been given solutions to some extent by one method or another. The automatic voltage regulator, herein introduced by the writer, is one of the solutions to this problem. Another subject the writer takes up in the article concerning the above problem is several new insulating materials and magnetic metals, both engaging the attention of power engineers for their revolutionary influence on the transformer design.

### 〔I〕 緒 言

柱上変圧器は逐年増加の一途を辿り、今や設備台数は1,200,000台を超える勢である。さらに電源開発の促進に伴ってますます増加するので、柱上変圧器の管理は重要な問題となり、配電合理化の主要部門として、配電関係各位の関心を集めていることは欣快に堪えない。

最近の柱上変圧器に関連する二、三の問題を採り上げて概述する。

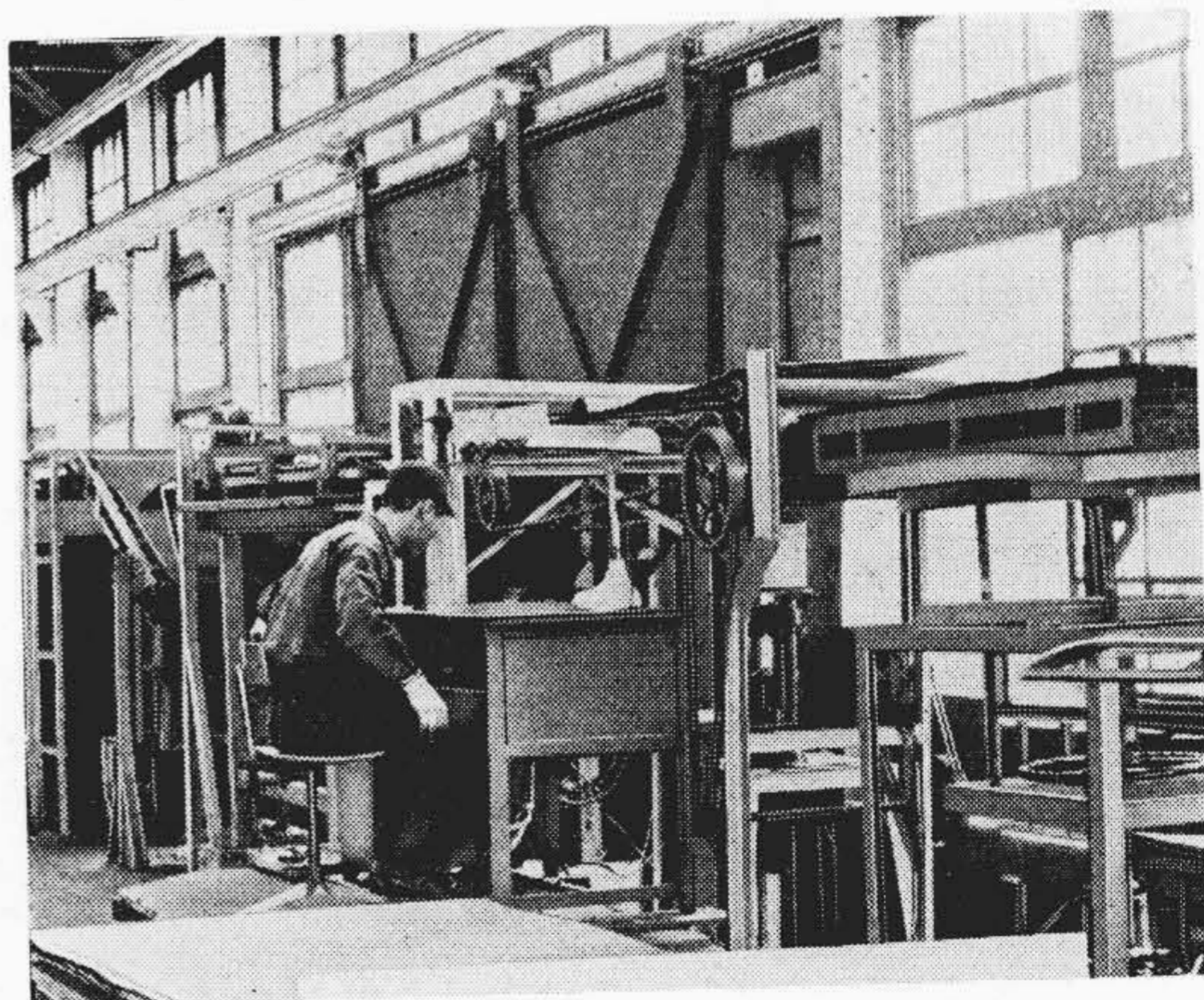
### 〔II〕 配電損失と柱上変圧器

柱上変圧器は常に配電線に接続されているので、昼夜を通じて無負荷損が消費される。柱上変圧器における無負荷損は鉄損といわれるので、配電線の損失軽減のために変圧器の鉄損が大きく着目され JIS の改訂が実施された。

#### (1) JIS-C 4302 (1954)

鉄損は珪素鋼板に負うところが大きい。珪素鋼板は戦前逐年改良されて来たが、昭和17年を頂点として逆行し、さらに終戦後の混迷期を経て逐次向上し、昭和27年においておよそ戦前の域に達した。さらに T90, T95 などの高級品が製品として現われ著しい進歩を見つゝある。

\* 日立製作所亀戸工場



第1図 珪素鋼板選別装置  
Fig.1. Selecting Equipment for Silicon Steel Sheets

しかしまだ各板のバラツキは相当大きく製品に影響を与えるので品質管理の一環として、珪素鋼板を原形のまゝ1枚1枚検査分類して使用されているのが現状である。

日本工業規格 (JIS) の改定にあたって各電力会社の御要望もあり鉄損を約 30% 減少させることになったが、現状においては JIS-C 4302 (1954) の特性は設計的に原価の上昇を招くことは避けられない。



(2) 全日能率

今  $Q$  = 変圧器の定格容量

$W_c$  = 変圧器の全負荷における銅損

$W_i$  = 変圧器の定格電圧, 定格周波数下における鉄損

$$\alpha = W_c / W_i$$

$k_l$  = 負荷率

$k_f$  = 負荷曲線の波形率

$k_d$  = 変圧器の利用率

とすれば, 変圧器の

$$\text{出力} = k_l k_d Q$$

$$\text{銅損} = W_c (k_f k_l k_d Q / Q)^2 = k_f^2 k_l^2 k_d^2 W_c$$

であるから, 全日能率 (All day efficiency)  $\eta$  は

$$\eta = \frac{k_l k_d Q}{k_l k_d Q + W_i + k_f^2 k_l^2 k_d^2 W_c}$$

であるが, 周知のように  $\eta$  の最大値は銅損, 鉄損の等しいときにえられる。したがって

$$W_i = k_f^2 k_l^2 k_d^2 W_c$$

$$\therefore \alpha = \frac{1}{k_f^2 k_l^2 k_d^2}$$

配電線における負荷率は約 35%, 波形率は約 1.2, 利用率は 1.2 に近いものとすれば  $\alpha = 3.9$  となるが, 現状は 2.5~3.1 であつて, 将来かかる観点より規格が再検討されることが望ましい。

(3) 変圧器の鉄損と電圧, 周波数

変圧器の鉄損はヒステリシス損 (Hysteresis Loss) と渦流損 (Eddy Current Loss) から成つている。ヒステリシス損に対して C. P. Steinmetz が与えた実験式 (1) は有名である。

$$W_h = \eta f B_m^{1.6} \dots \dots \dots (1)$$

ただし  $W_h$  = ヒステリシス損

$\eta$  = ヒステリシス係数

$f$  = 周波数

$B_m$  = 最大磁束密度

しかし  $B_m$  が  $10^4$  ガウス (Gauss) 以上においては  $B_m^2$  に比例するとされている。したがって最近では (1) 式を補足した (2) 式で表わされている。

$$W_h = \eta f B_m^{1.6} \sim \eta f B_m^2 \dots \dots \dots (2)$$

また渦流損は

$$W_e = \sigma (\Delta f k_f B_m)^2 \dots \dots \dots (3)$$

ただし  $W_e$  = 渦流損

$\sigma$  = 材料による定数

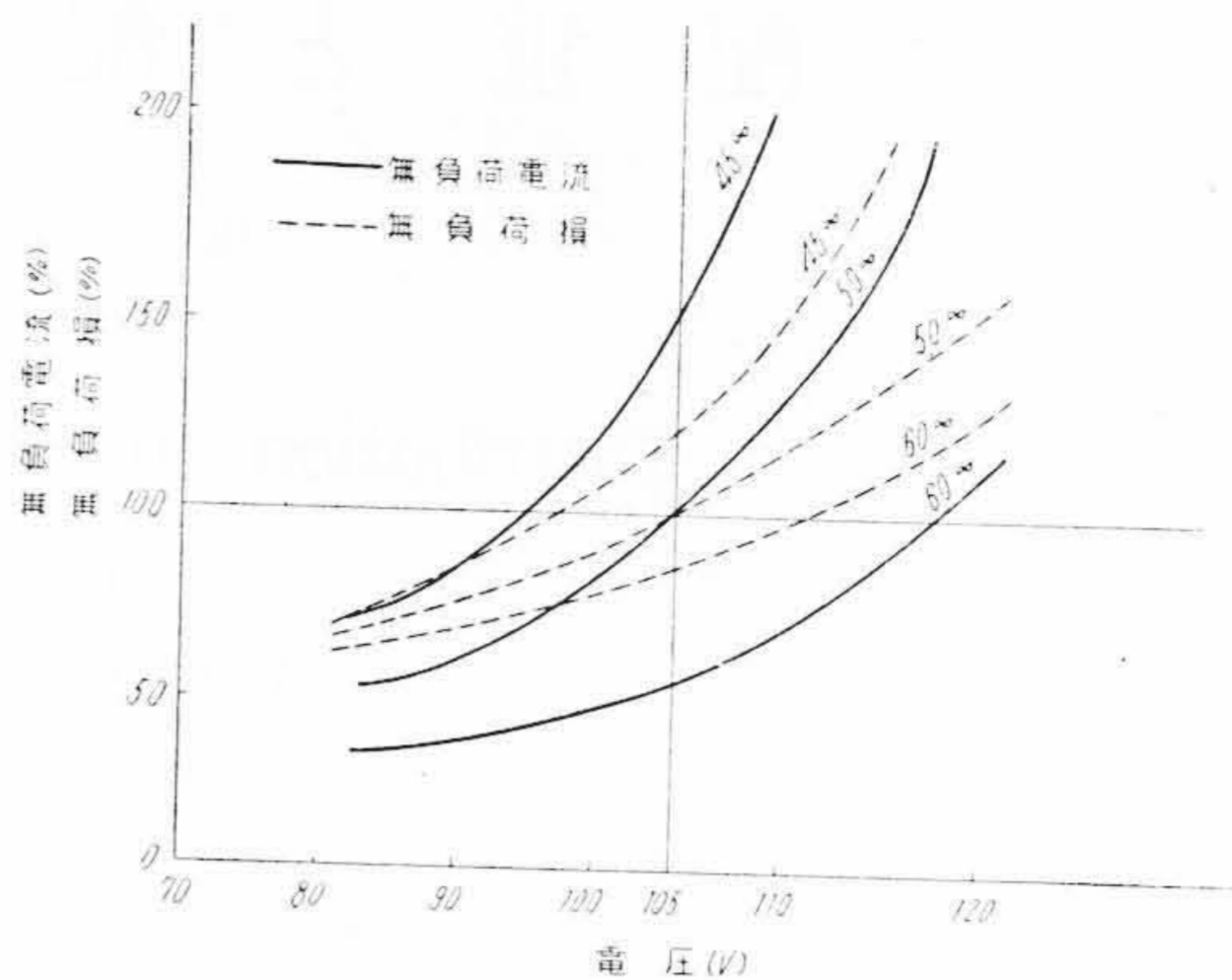
$\Delta$  = 鉄心の厚み

$k_f$  = 波形率

で表わされている。

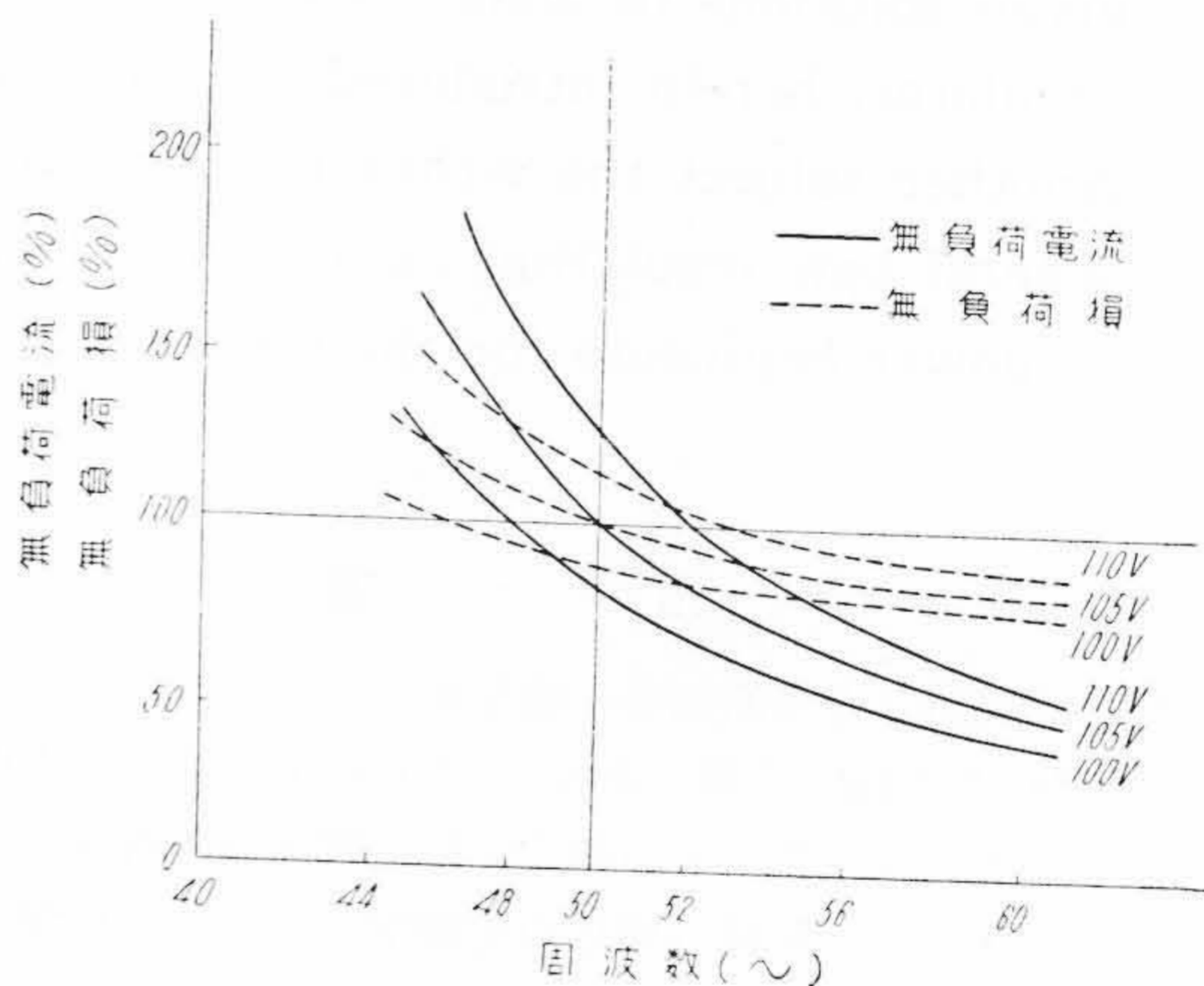
変圧器の基本は

$$E = 4k_f f N \Phi_m \times 10^{-8} \dots \dots \dots (4)$$



第2図 单相 5kVA 50~ 柱上変圧器の電圧に対する無負荷特性

Fig. 2. Voltage—No Load Character with Single-Phase 5kVA 50~ of Pole Transformer



第3図 单相 5kVA 50~ 柱上変圧器の周波数に対する無負荷特性

Fig. 3. Frequency—No Load Character with Single-Phase 5kVA 50~ of Pole Transformer

ただし  $E$  = 巻線の電圧

$N$  = 巻数

$\Phi_m$  = 最大磁束密度

$$\therefore B_m = \frac{10^8}{4k_f N A} \cdot \frac{E}{f} \dots \dots \dots (5)$$

ただし  $A$  = 鉄心の断面積

であつて, 磁束密度は電圧に比例し, 周波数に逆比例する。したがって過水時における周波数の低下, 深夜における電圧の過昇は大きな鉄損を生じ余分の電力を失う結果となる。無負荷電流については言及しなかつたがやはり激増するので取上げられるべきテーマである。



(4) 焼損変圧器の処分

柱上変圧器は常に特性が向上し最近その傾向が著しいので、古いものゝ使用は一考を要することで、特に焼損変圧器の巻替に至つてはその結論があきらかである。すなわち新製品と焼損品の廃棄価格との差額は巻替修理費と大差がなく、電力損失の減少によつて僅に1箇年くらいで償いのつくものである。技術的には能率向上の外、寿命が永く信頼度が高く、構造が改善されているので、最近各電力会社においては焼損変圧器を新しい製品と交換する傾向が逐次増加して来た。このことは配電網全体の能率向上となり、各電力会社ともこの点十分注意が払われるようになり、今後旧品の新品取替に依る損失軽減が活発に行われるものと思われる。

〔III〕 構造と保守

柱上変圧器は一度柱上に設置されると保守の手が届かぬものである。最近の製品は気密構造になつていたので変圧器の保全に関して見るべき効果が挙つている。すなわち

- (1) 絶縁油を充填せず貯蔵しても巻線の絶縁抵抗が低下しない。
- (2) 油が漏れないので、油入のまま輸送することができる。
- (3) 運転中に湿気、塵埃が侵入しないので油の汚損がない。
- (4) 呼吸作用がないので絶縁油のスラッジ(Sludge)の成生、酸価の高騰が抑制される。
- (5) 絶縁油の蒸発減量が少い。
- (6) 天災地変などにより転倒しても外函が破損せぬ限り直ちに復役させられる。

柱上変圧器はタップの変更、点検に際して蓋をあけるので、このために気密構造の特長は減殺される。

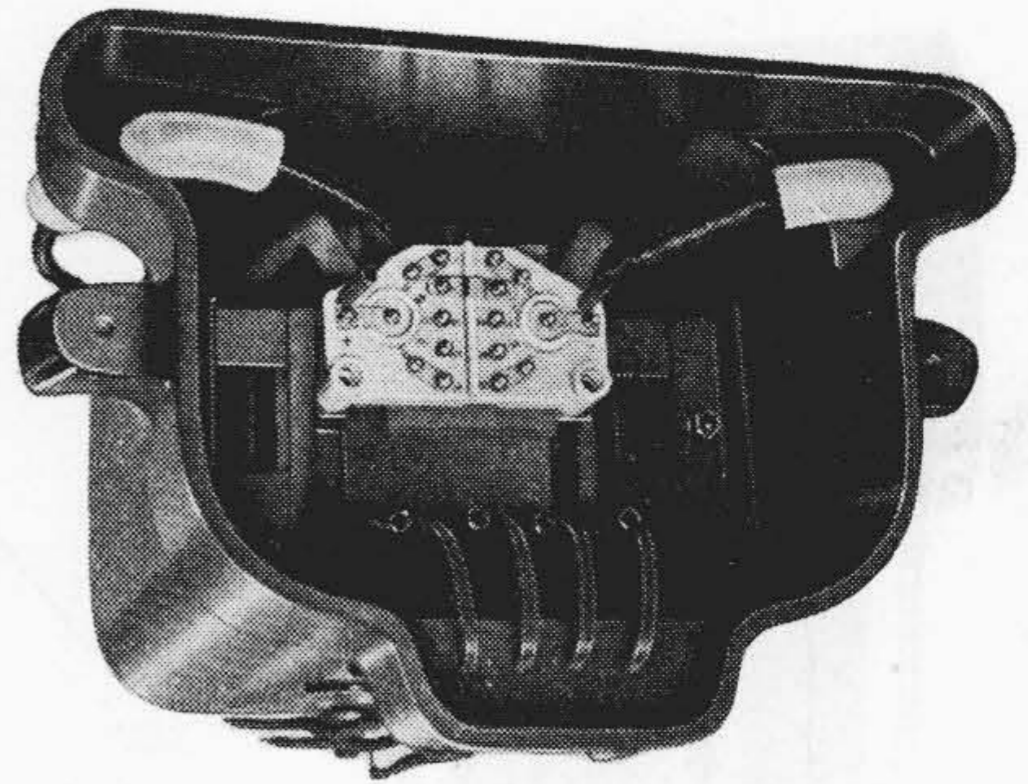
絶縁油の劣化抑制剤 (Inhibitor) は米国において数年前より実用化されている。インヒビターの使用は将来への課題であろう。

〔IV〕 電圧改善と変圧器

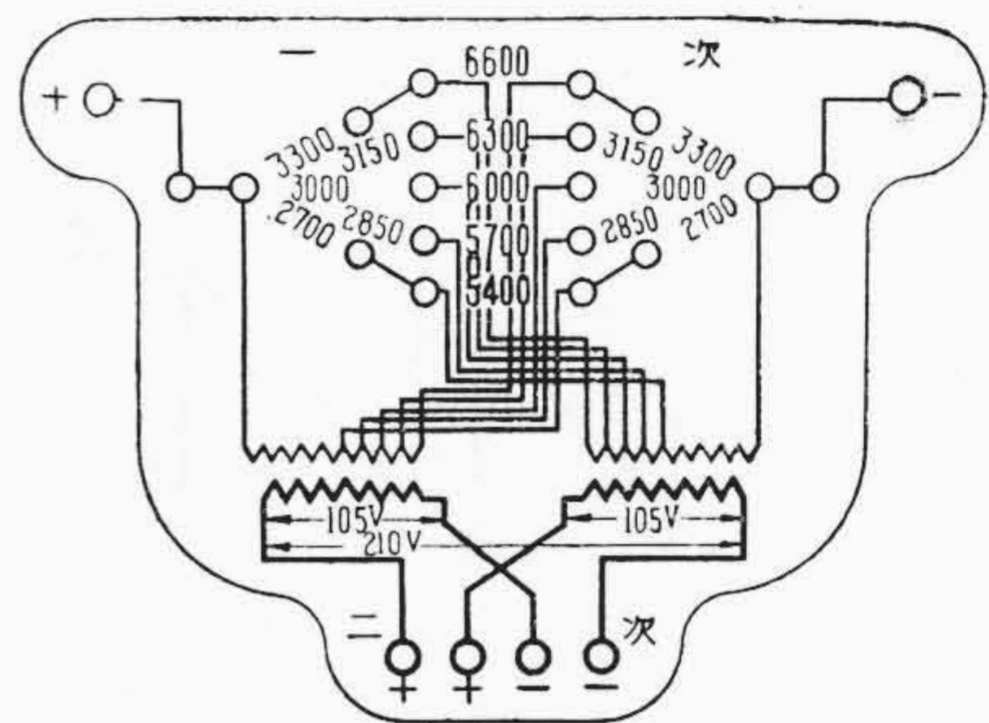
電力の質を論ずる場合、色々の観点がある。電圧ならびにその変動率は代表的要因であろう。初夜のピーク時はいわゆるゴールデン・アワーであつて、電圧降下の大きいことはラジオの聴取、テレビの観取、蛍光灯の点灯等々において、その普及度が向上した今日においては重要な問題である。

(1) 単相三線式配電

柱上変圧器の二次側を交叉結線とし、単相三線式配電を可能にしたことによつて単三方式が広範囲に採用され



第4図 6 kV 用 柱 上 変 圧 器  
Fig.4. Pole Transformer for 6 kV Distribution



第5図 6 kV 用 柱 上 変 圧 器 結 線 図  
Fig.5. Connection Diagram of Pole Transformer for 6 kV Distribution

たことが低圧配電線合理化の功績の一部をなしていると考えられる。

(2) 6 kV 配 電

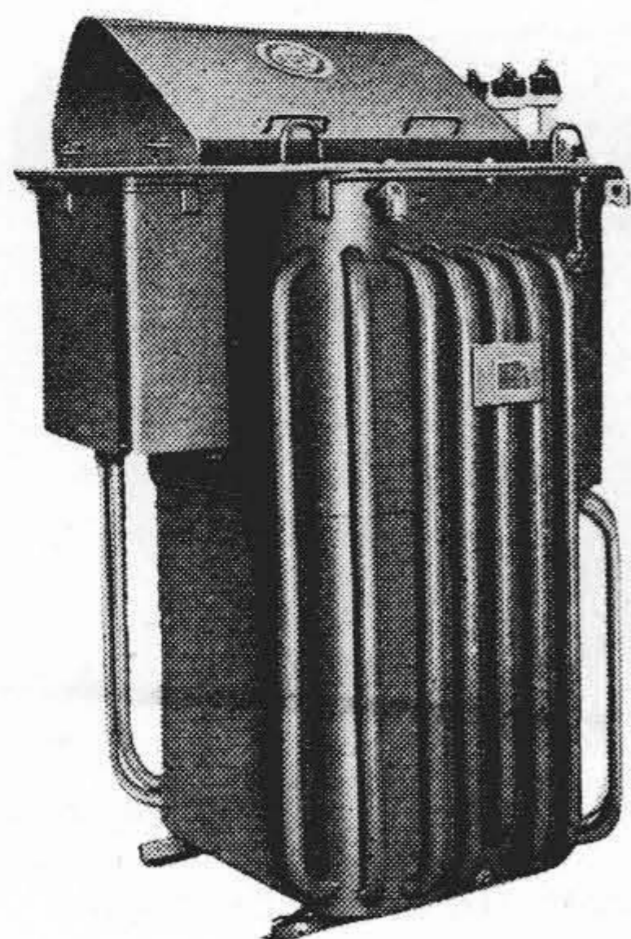
配電線路の長い場合は各種の負荷を負つているので、電圧変動ならびに降下が大きくなる。負荷の増加に伴つて送電容量の不足も問題となり、対策として3 kVの汎用変圧器Y結線による5.2 kV三相四線式配電が試みられた。地絡の検定など保安上問題があるので逐次6 kV三相三線式が多くなり一大発展を遂げた。

6 kV用柱上変圧器は昇圧工事の便宜のために3 kV、6 kVの二重定格になつている。6 kVへの切替はすべて柱上作業となるので、日立製作所の製品はきわめて便利になつている。

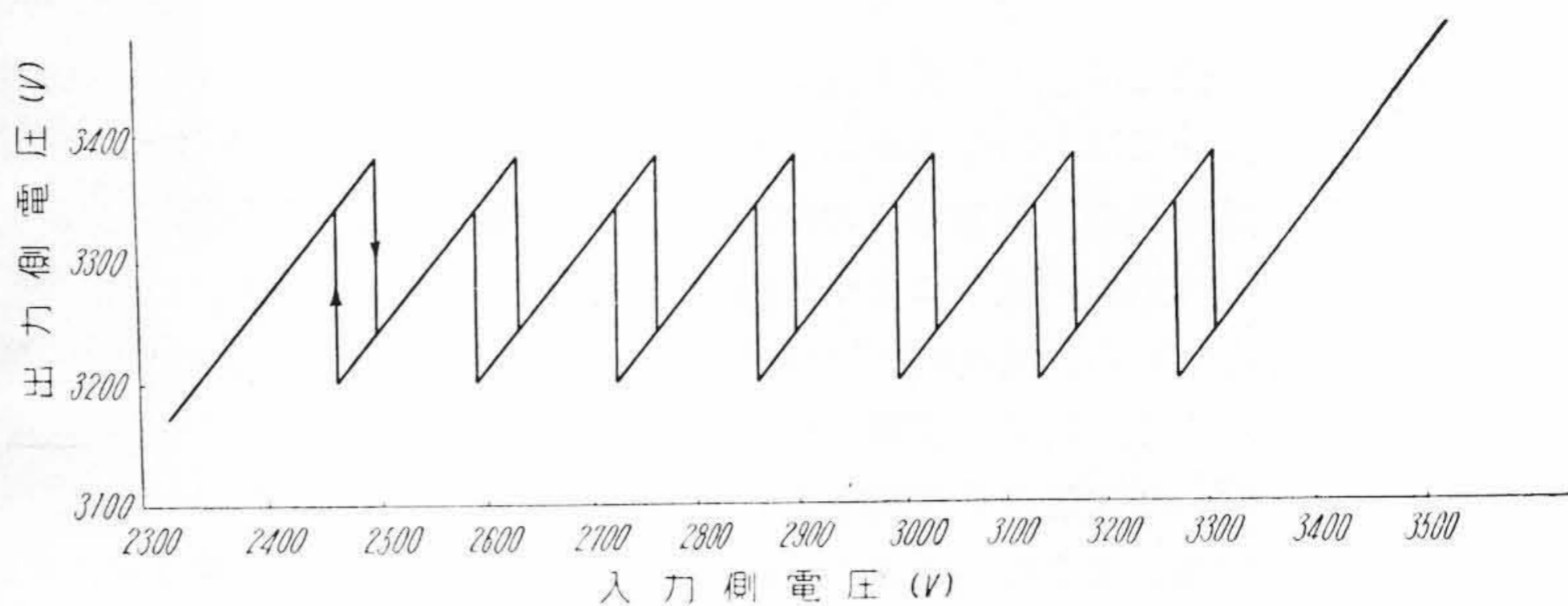
(3) 自動昇圧器

飛躍を遂げた農村電化、伸びつゝある家庭電化の面から各負荷点における電圧の維持、安定の必要が痛感される。しかし電圧の維持、安定の方策として6 kVへの昇圧工事、配電線の張替などでは膨大な資金を要する。日立製作所が完成した自動昇圧器はこの要望に応えるものである。本器にはA、B型の2種があつて、前者は電圧変動の割合少いところに、また後者は変動のきわめて大きいところに好適である。

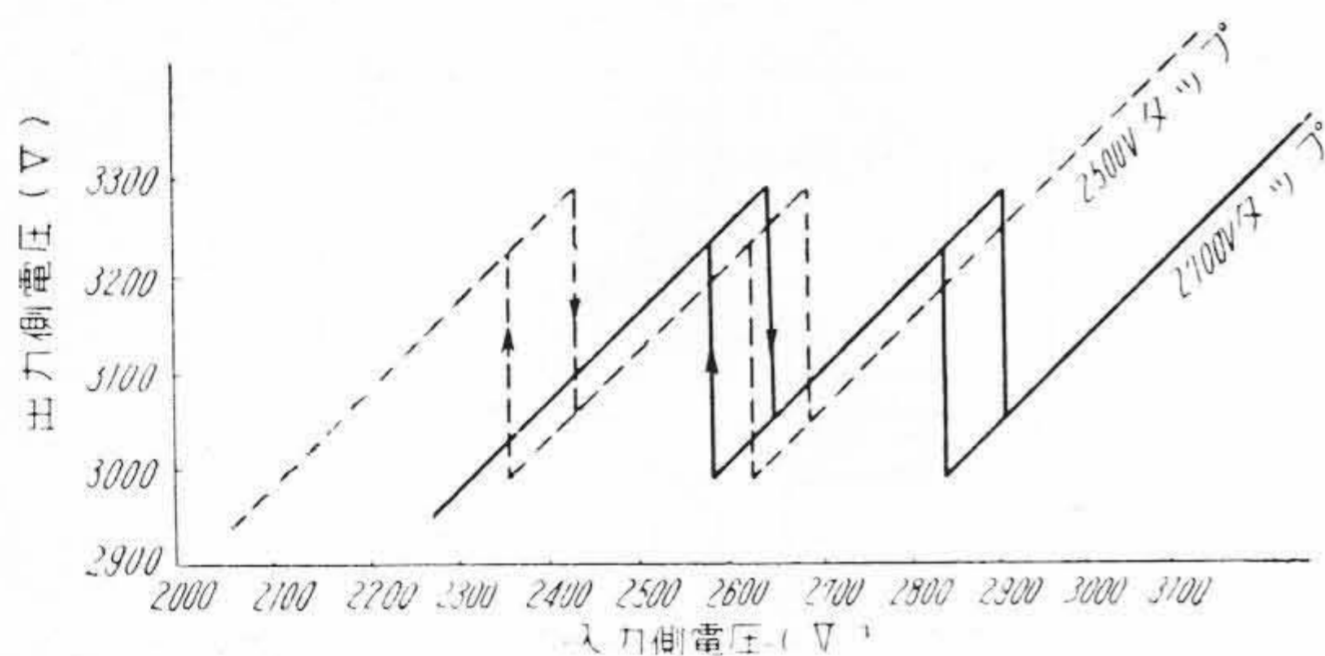




第6図 自動昇圧器 B 型  
Fig.6. Auto-Booster, Type B



第8図 B 型自動昇圧器電圧特性  
Fig.8. Voltage Character of Auto-Booster, Type B



第7図 A 型自動昇圧器電圧特性  
Fig.7. Voltage Character of Auto-Booster, Type A

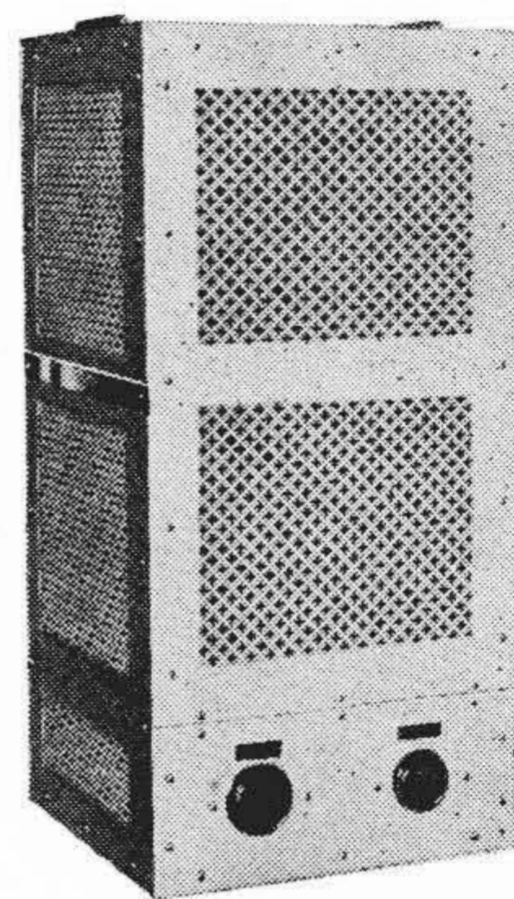
タップを備えたV結線の三相単巻変圧器を主体に、タップの切替機構と、電圧に応じて適切なタップに切替を指示する指示装置の3部よりなっている。A型は3タップ、B型は8タップを備えている。構造上電圧特性は鋸歯状となる欠点はあるが、他の電圧回修工事とは比較にならない程低廉なのが大きな特長である。

小規模に電圧の改善を計るには自動電圧安定器の使用も考えられる。

### 〔V〕 変圧器と最近の絶縁材料について

最近の高分子化学の発達は何多の興味ある新興材料を産みだし、優秀な接着剤の出現は一部に工作法の革命をもたらしている。絶縁材料のうちでメラミン、塩化ビニルなどはすでに広く使用されるようになって久しい。

日立製作所はビニル・ホルマール線(VF線)を一部の変圧器に使用して好成績を挙げている。その特長は絶縁耐力が強大で、衝撃電圧に対するレベルが向上することおよび絶縁油の酸価が増大した場合に綿巻導線を使用したものに比していつそう大きな効果がある。しかしVF線は未だ高価な欠点があるので全面的使用には至っていない。



第9図 自動電圧安定器  
Fig.9. Voltage Stabilizer

#### (1) シリコン

新興絶縁材料中の白眉はシリコン(Silicon)であろう。180°C またはそれ以上における連続使用が可能といわれており、耐湿性も優れているので、大容量、高圧のものも乾式とすることが可能となつた。

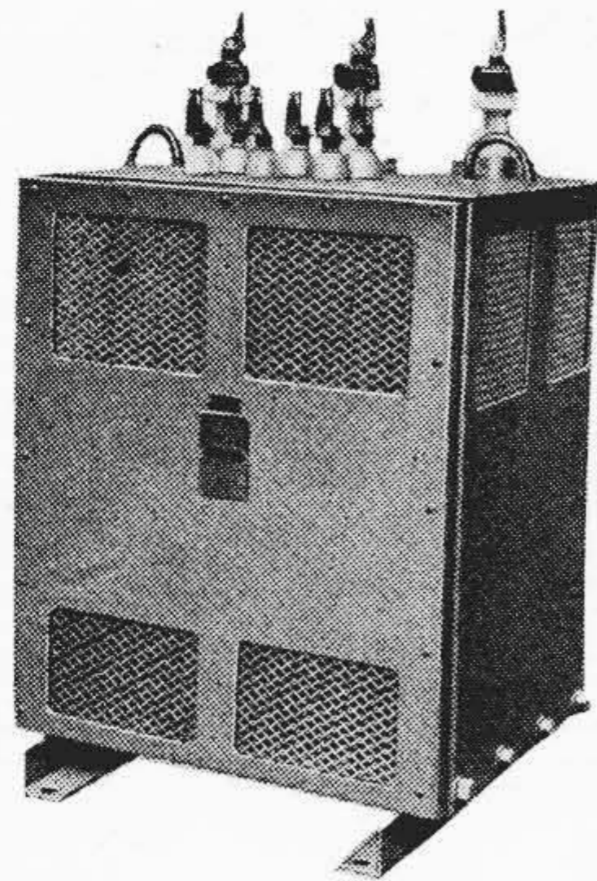
ガラス繊維、マイカ、アスベストなど無機絶縁材料をベースとしてシリコン処理によつてえられる乾式変圧器は小型、軽量となり、かつ火災の危険がないから発電所、ビルディング内に設置する屋内用に採用されて革命的变化をもたらした。

乾式変圧器は構造上絶縁物が空気と共存するために衝撃電圧に対する強度の小さい悩みがある。この欠点を除去することは困難ではないが寸法が大きくなり、かつ価格もかなり飛躍的に高くなるので、乾式変圧器は雷電圧が直接に侵入しない場所に使用するか、あるいは異常電圧に対する保護装置を附属させて設置することが望ましい。

#### (2) 不燃性合成絶縁油

不燃性の合成絶縁油を磁物油の代りに用いることは変圧器の燃焼を防ぎ、かつ衝撃電圧に対するレベルを高





第10図 乾式変圧器  
(3φ, 30 kVA, P.V. 3,150V, S.V. 210-105)

Fig.10. Silicone Insulated Dry Type Transformer

く保ちうるので注目すべきものがある。不燃絶縁油は比重が1.4程度であり、冷却効果が鉱油に比して劣るので軽くすることおよび小型にすることが困難である。ま

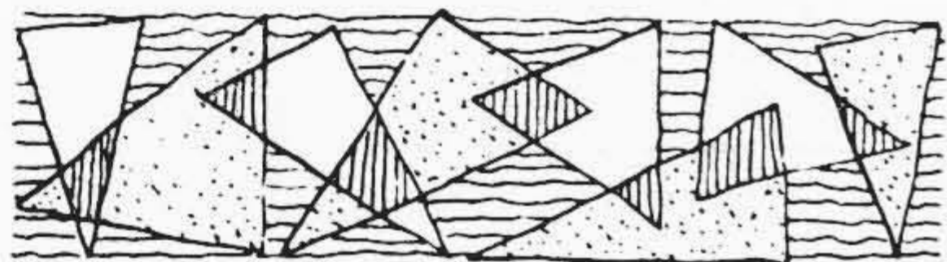
たその成分は塩化ジフェニール(Chloro diphenyl)および塩化ベンゼン(Chloro benzene)であつて溶解力が絶大であること、その他二、三の問題があるので、現在の製品の絶縁油は単に置換するだけでは済まされない。不燃油充填の変圧器は近い将来にシリコン絶縁変圧器とともに使われるであろう。

(3) 方向性珪素鋼帯

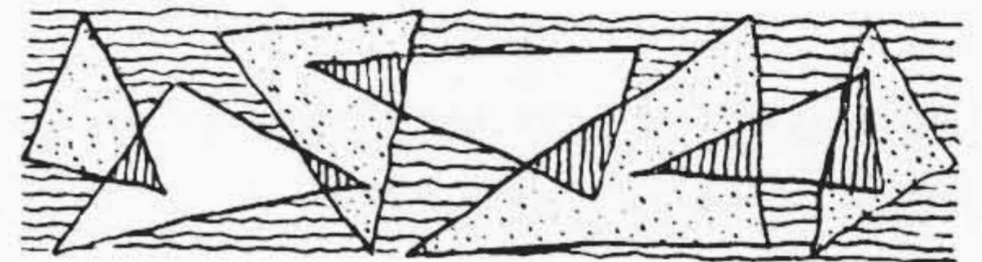
磁性材料においては方向性冷間圧延珪素鋼帯(八幡製鉄—Orient Core)の出現が挙げられる。変圧器は巻鉄心型となり、特性も改善され、製作方法に革命を起すこととなる。将来逐次この型に移行するであろう。

[VI] 結 言

最近の進歩の跡を述べ、特殊用途の変圧器、将来の問題にも若干言及した。柱上変圧器は配電線の最終関門であつて電力需用家と低圧配電線を通じてつながっている。高い信頼度、均質な製品を眼目として生産している。各位の御鞭撻をお願いする。



特 許 の 紹 介

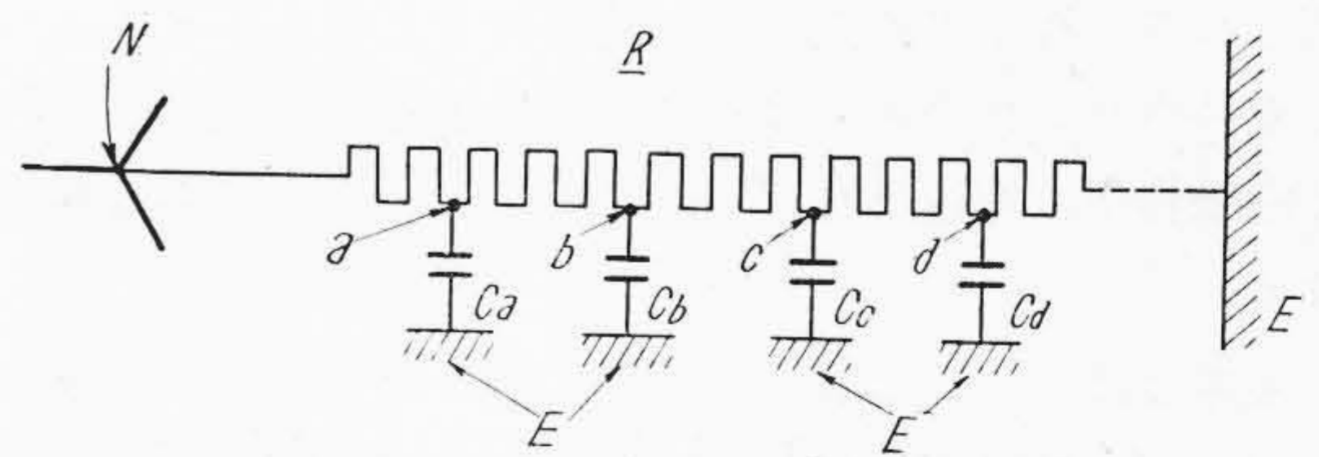


特 許 第 193048 号

三 浦 倫 義

中 性 点 接 地 抵 抗 方 式

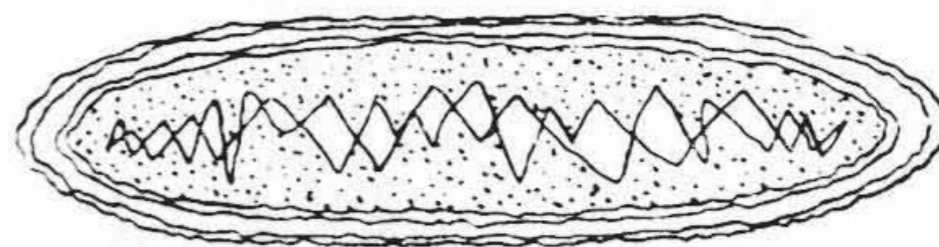
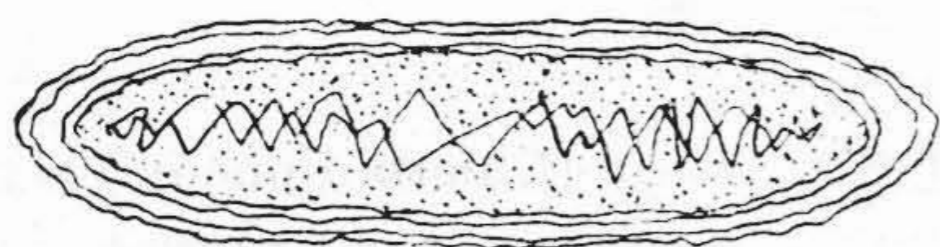
この発明は変圧器巻線などの中性点接地抵抗を改良して異常電圧来襲時の中性点電圧の異常上昇を防止するものである。中性点抵抗の抵抗値は通常数百オーム以下でこの値は変圧器の巻線の波動抵抗に比べれば著しく低いので異常電圧来襲時の中性点の電圧は十分低い値に抑制されているものと考えられていたのであるが、意外にも實際上中性点の電位は相当高い値にあることが実測上知られた。これは中性点抵抗たるグリット抵抗は全長にして数メートルに達し、かつ導磁率も相当大であつて、これを無誘導になるように工作してもなお残留インダクタンスはかなり存するので、これとグリット抵抗単位間に分布する容量とによる波動抵抗  $\sqrt{L/C}$  は場合によつてかなりの相違があるとしてもとにかく数千オームにも達するという事実にもとづくものである。かゝる現象を抑える一つの方法としてはグリットを非磁性金属で作ること



あるが、この発明はグリットの金属はそのままとして図に示すように中性点Nと大地Eとの間にわたる抵抗Rのa, b, c, dなどの間隔点と大地E間にコンデンサー  $C_a, C_b, C_c, C_d$  などを接続したものである。この結果中性点接地抵抗の等価波動抵抗値がグリット抵抗器の対地間静電容量小なることに原因して意想外に大となるのをきわめて有効に抑制することができ、中性点電圧の異常上昇をこれによつて安全値に抑えることができた。

(宮 崎)





特許第194851号

桑山正俊・落

清・中野義映

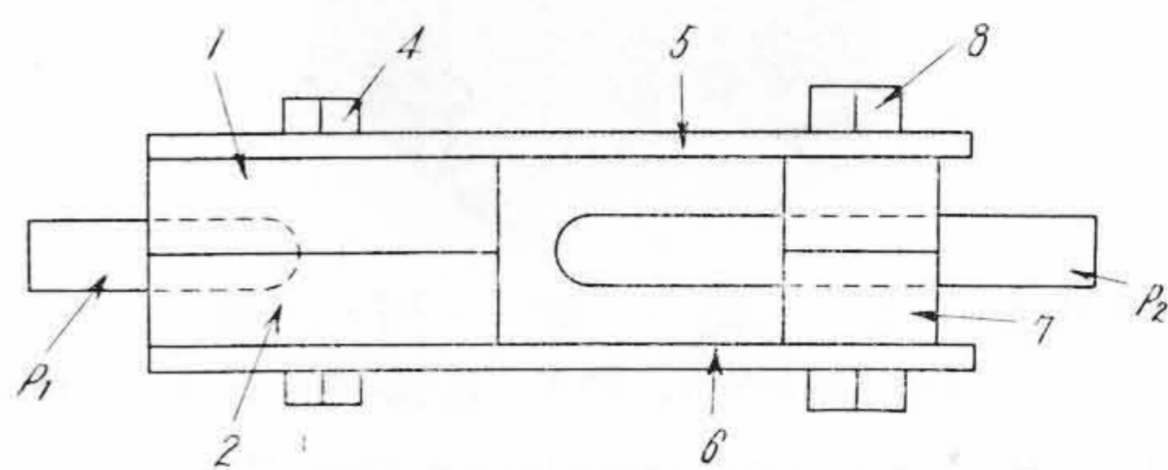
異常電圧放電器

この発明は送電線路絶縁協調の見地からほどこされるいわゆるコオージネーションギャップその他類似目的の異常電圧放電器の改良新型である。従来のこの種の放電器には管状、函状、板状などの種々の形状構造のものがあるが、すべてその弧光放電路はあらかじめ設定されたものであつて、電弧はその中に生じてその中から外部に放逐されるという一つの型に限られていたものである。

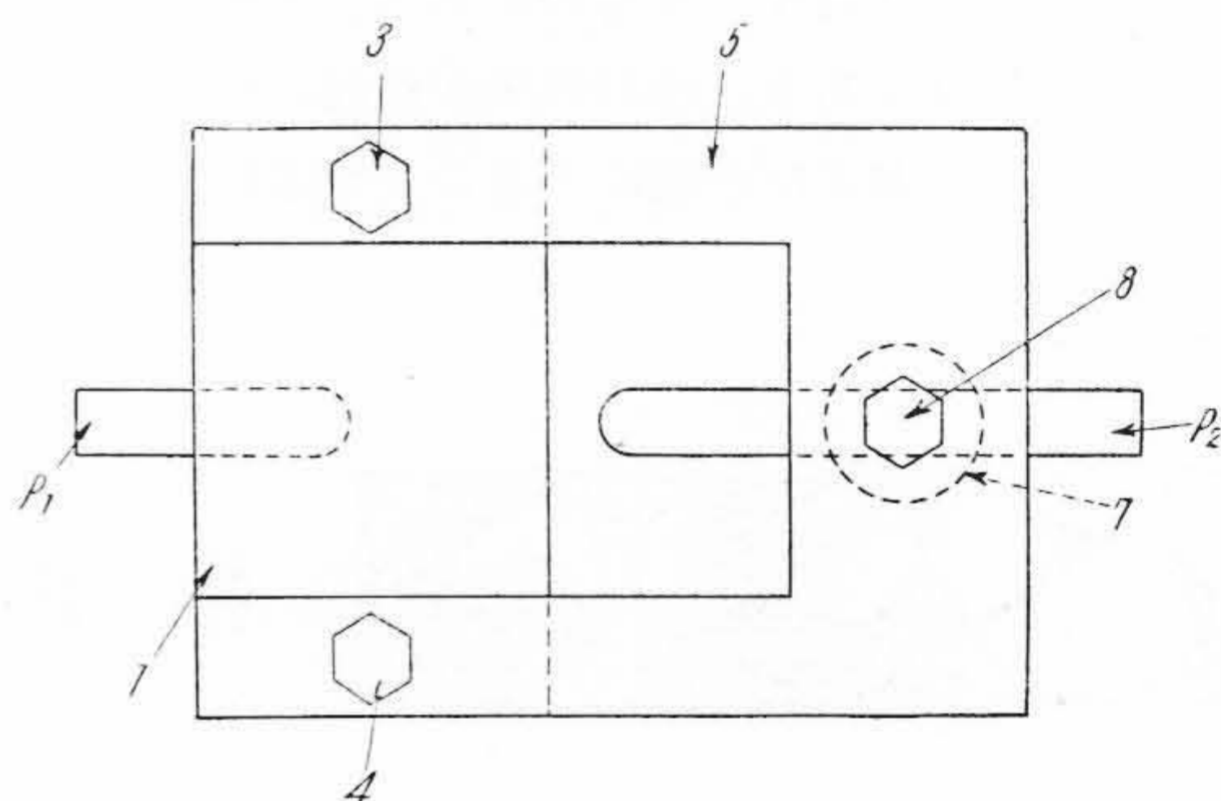
本発明はこの従来の型を破つたものである。すなわちこの放電器の弧光放電路は通常状態では閉塞されていて、放電作動時に開通し、しかもその開通の開度は放電弧光の強度に比例するもので、したがつてまた放電の勢が衰えるとそれに依じて開度を減じ最後に自動的に閉塞してしまうものである。さらにまた放電弧光路は広大な面と面との間に形成されるようにしてあるから対向面から生ずる消イオンガスは放電弧光の強さに比例して十分に発生し、大なる機流の続流といえども迅速確実に遮断できる効果がある。

図の1,2は2枚の同形の絶縁板で、これはそれ自身弾性を有し、多量の消イオンガスを発生し、また耐弧的であることを要する関係からホーンファイバーが採用される。3,4は締付棒 5,6 を介して 1,2 を締付け圧接するボルトで電極  $P_1$  の先端は 1,2 の孔  $H_1, H_2$  に嵌合挟圧される。相手の電極  $P_2$  は絶縁片 7 とボルト 8 によつて支持されこれの先端は外気に露出する。すなわち  $P_1$  は絶縁物中に埋込まれ  $P_2$  は外界にばくろして両者相対する。

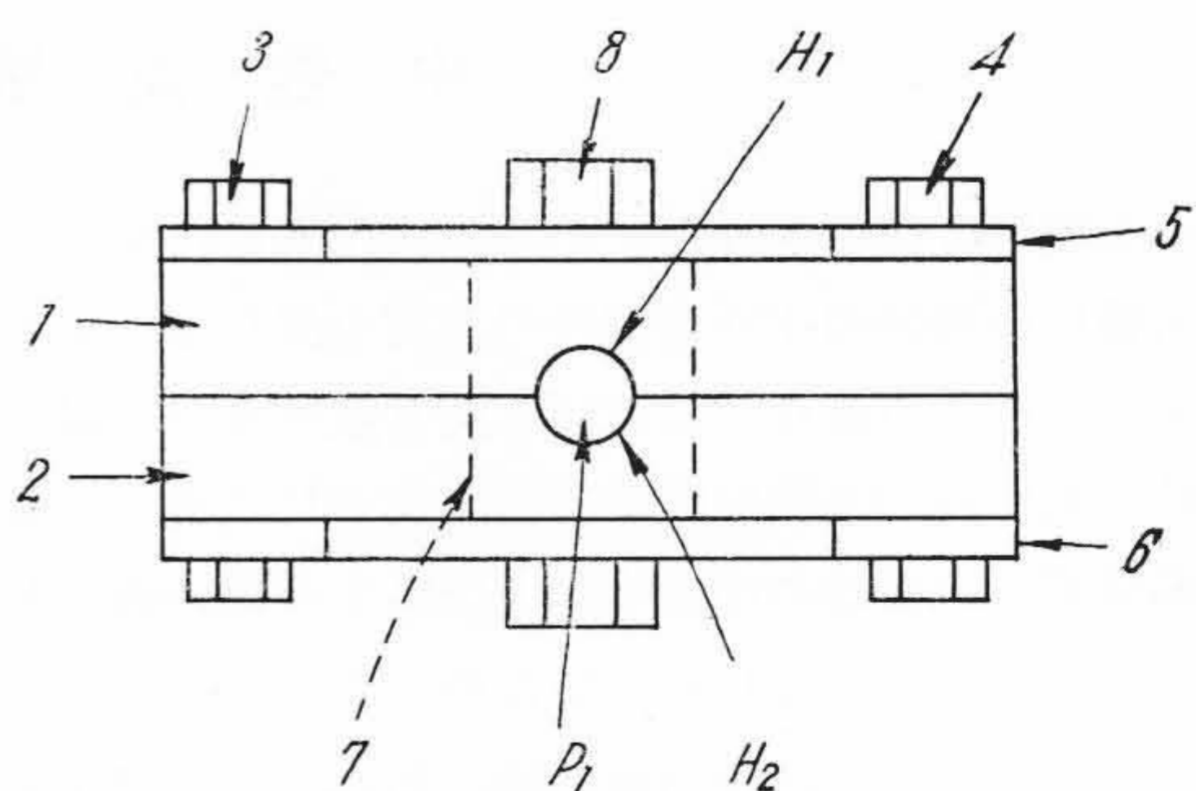
放電ははじめ 1,2 間のきわめて微少なギャップを通過して  $P_1, P_2$  間に弧絡する。これと同時に放電々流のエネルギーによつて 1,2 間に強力な離間作用が生じ、これにより弧光放電路は開かれまた弧光の接触によつて 1,2 の対向面から消イオンガスを生ずる。このガスは狭隙において圧力を生じ開放空間に向つて急速に放出され、このとき弧光を伸張し切断して外界に放逐する。しかして放電々流のエネルギーによつて放電路が開いたのは 1,2 の



第 1 図



第 2 図



第 3 図

弾性にもとずいたのであるから、弧光が弱まり次第強大な原復力により 1,2 は瞬間閉塞して放電路はここに全く遮断される。(宮崎)