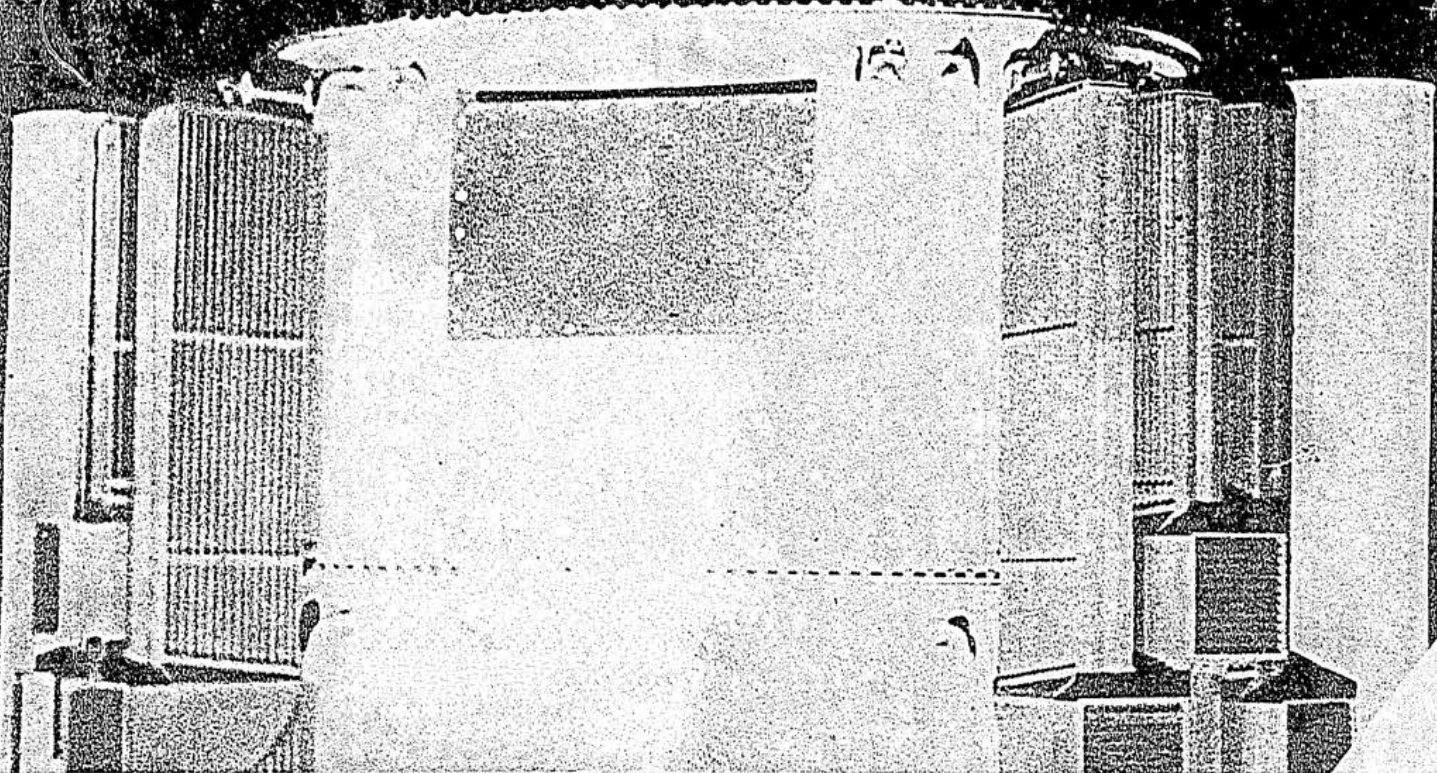


三菱電機

昭和九年 第十卷 第三號 三 月

42,000 kVA 220 kV 単相 60 サイクル
サージプルーフ変圧器の套管表面に於て閃
絡放置せしめ、絶縁の Coordination が完
全であることを示したものであります。

サージプルーフ変圧器.....31—40
154 kV. オートバルブ避雷器.....40—43
特高圧油入遮断器に於ける
デアイオン型接觸部と
コンデンサー型ブッシング.....44—46



三菱電機

第十卷

昭和九年三月

第三號

サージブーフ變壓器

變壓器設計係

小 野 寛

最近クライドノグラフ及陰極線オスシログラフ等に依る實驗の結果、嘗ては殆ど不可解と見なされて居た雷現象も漸く其の真相を窺ひ知る手懸りを得るに到り、又他方に於いては衝撃電壓發生裝置 (Impulse Generator) の實用化に伴ひ送電機器の絶縁特性に關する研究が徹底し來り、送電系統絶縁の合理化 (Coordination of Insulation Strength) の問題は一大進歩をなした観がある。弊社變壓器の製作に於いても夙に衝撃電壓發生並に試験裝置を設備して此の方面の研究に當て、又一方ウエスチングハウス社に於ける研究資料と相俟つて變壓器捲線の電氣的特性が明確となり、從來主として經驗を基礎として築き上げられた絶縁設計の方式の上

に理論的の種々な改良進歩が考案せられ、送電線の絶縁高度とよく釣合の取れた絶縁を有する所謂サージブーフ變壓器 (Surge Proof Transformer) が標準的に設計製作せられるに到つた。

送電線異常電壓

高電壓送電系統に於いて絶縁に對し破壊的利威を有する異常電壓は次の三種に大別する事が出来る。

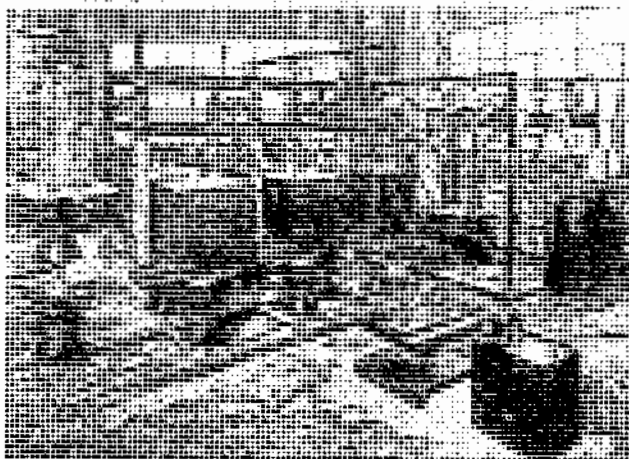
1. 回路開閉に伴ふ過渡現象に起因するもの (Switching Surge)
2. 線路碍子の弧光地絡に起因するもの (Surge due to Arcing Ground)
3. 雷による誘導或は直撃に起因するもの (Surge due to Lightning)

回路の開閉に起因する異常電壓は、時に常規電壓の5乃至6倍に達する場合がありとせられて居るが、斯の如き事は極めて稀である。

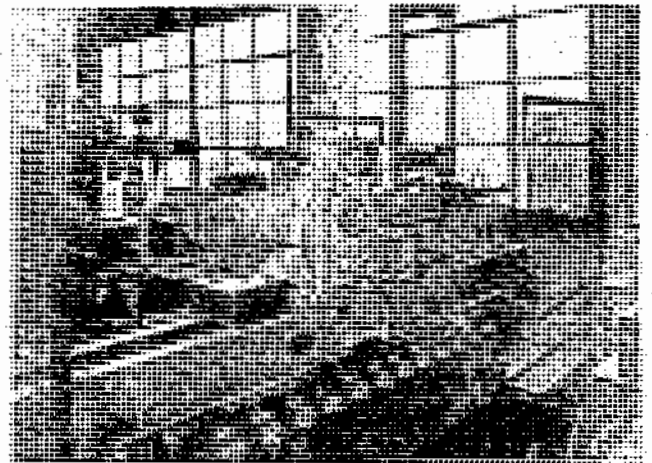
開歇弧光地絡に起因する異常電壓は米國 Consumer's Power Co. の送電系統に現れた常規電壓の7.7倍に相當するものが代表的のものであらう。此種異常電壓は中性點の抵抗接地或はリアクトル接地に依つて軽減或は防止する事が出来る。

以上二つの原因による異常電壓は其の大きさが大同小異で、次に記載する雷に起因する異常電壓に比較すれば其の破壊的威力は極めて小さい。

雷に起因する異常電壓は其の發生原因より更に大別して (イ) 雷雲に依り



第1圖 神戸製作所内衝擊電壓實驗室の一部



第2圖 神戸製作所内衝擊電壓實驗室の一部——陰極線オスシログラフ

送電線に誘導せらるゝ場合と(ロ)雷雲と送電線との間の放電即ち雷の直撃に起因する場合の二つに歸する事が出来るが、實際送電線に起つた異常電壓が(イ)(ロ)の何れに原因するか區別する事は困難である。此の異常電壓が線路碍子に及ぼした結果から見て更に次の3種類に區別する事が出来る。

(イ) 其の大きさが線路碍子の閃絡を起す程高電壓でないもの。之は発生した儘の形で送路の両端に向つて進行波を形成する。其の波形は普通衝撃電壓発生装置に依り得らるゝ第6圖Aに示す様な比較的正しい波形を有するものと想像せられる。

(ロ) 衝撃波の波尾に於て線路碍子の閃絡を起す程度の電壓のもの。之は波尾の中途で切斷せられた所謂 Chopped Wave で、概ね振動を伴ひ、第6圖Dに示す様な波形のものであると想像せられる。

(ハ) 電壓上昇の途中即ち衝撃波の波頭に於いて送路碍子の閃絡を起す程電壓の高いもの。之は碍子の閃絡が起らなければ更に高い電壓となる可き筈のものが、碍子閃絡のため其の高さを制限せられたもので、第6圖Fに示す様に非常に峻峻な波形の進行波を生ず

るものと想像せられる。

以上發生の状態から見て明かな様に(ハ)の場合は最も電壓が高く、波頭が峻峻で、波長は短かく、(ロ)の場合が之に次ぎ、(イ)の場合は電壓は最も低く、波長は普通最も長いものである。

送電系統に於いて實際に測定せられた雷に因る異常電壓の記録では、波頭の長さ1~13マイクロセコンド、 $\frac{1}{2}$ 波高値に於ける波長5~85マイクロセコンド、波高に於いては常規送電々種の15倍位に達するものがあり、波高の大きなもの程一般に波長は短いと云はれる。

斯の如き衝撃電壓の進行波は、送電線路を進行するに當つて線路の抵抗、コロナ、碍子の漏洩等の影響に依り波高は著しく減衰し、又波形も變化する。200萬V程度の進行波が1哩を進行する間に其の波高が半減した實例もある。故に異常電壓進行波が、線路の一端にある變電所機器の端子に達する時分には、其の電壓は非常に低くなつて居るものと考へられるが、最悪の場合、即ち變電所に極めて接近して異常電壓が發生したものと假定して、變電所機器の絶縁に脅威を與へる程度の異常電壓の最高値は、其の附近の線路碍子の衝撃波による閃絡電壓と略相等しいと云へる。

第3圖は懸垂碍子の衝撃電壓及60サイクル電壓に依る閃絡特性を示すもので、×印は實際の送電線で測定した雷に因り閃絡の起つた電壓を示して居る。

系統絶縁の合理化

前述の如く送電系統の異常電壓の大きさは、線路碍子の閃絡電壓に依つて

定まるものであるから、系統の種々な部分の絶縁強度の設計に當つては、線路碍子の衝撃電壓に對する絶縁耐力を基礎として決定す可き事勿論である。全系統の絶縁を合理的ならしめ、安全な送電をなすためには(1)變電所附近の線路碍子(2)變電所内母線其の他の碍子(3)機器の套管(4)變電器、油入遮斷器等の内部絶縁等の順序に階梯を設け、機器内部の絶縁を最高とし、線路碍子を最低とした配列が最も望ましい。然し乍ら線路碍子の絶縁高度を下げて之を系統中の最弱な部分とする事は實際問題としては色々な不便を伴ふから、線路碍子は第1表に示す様に、

第1表 送電電壓と懸垂碍子数

線間電壓 (kV)	一連の碍子数
44 (40)	3,* 4
55 (50)	3, 4,* 5
66 (60)	4, 5,* 6
77 (70)	5, 6,* 7
110 (100)	7,* 8
132 (120)	9,* 10
154 (140)	10,* 11
220 (200)	13,* 14, 15

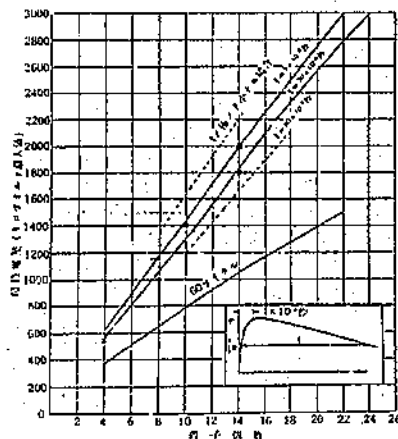
* 實際の送電線に於ける平均数

合理的に充分な絶縁耐力を有するものとし、變電所機器其他の保護として保護間隙 (Protective Gap or Coordination Gap) を用ひ、之を系統中の最低絶縁とする事が實用的であり、又合理的である。保護間隙としては下記の値が推奨せられる。

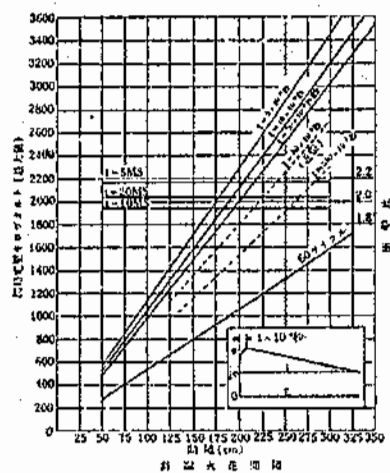
系統電壓 (kV)	間隙距離 (呎)
220	163
154	113
132	97
110	80
77	58
66	48

(A. I. E. E. Recommendation に依る)

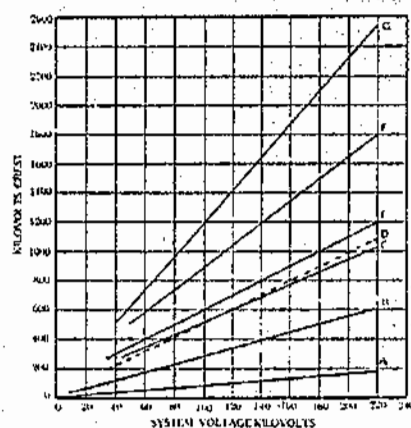
間隙電極としては13耗角鋼を使用し支持碍子に水平に取り付けたものを標準として、之を保護す可き機器から30米以内の所に設置する。普通の構造の Horn Gap 或は Arcing Ring 等で代用



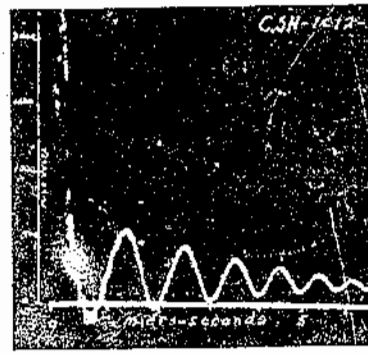
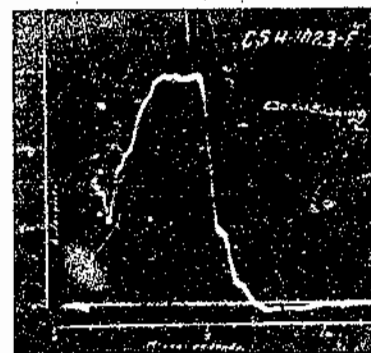
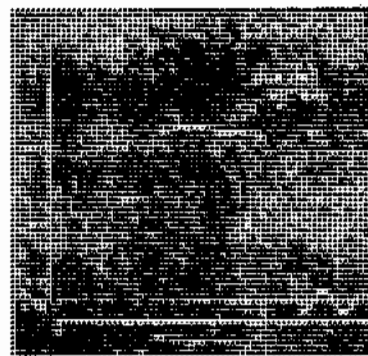
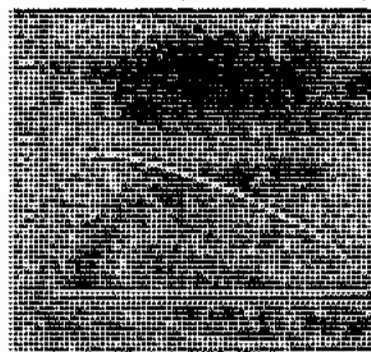
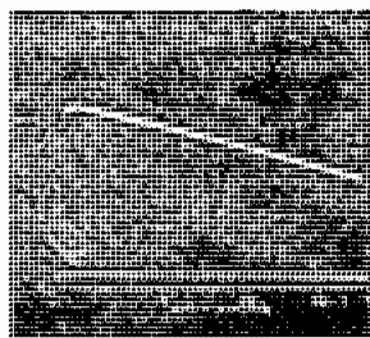
第3圖 懸垂碍子の閃絡特性
(西博士「送電系統の絶縁」による)



せしめる事も出来る。之等の間隙は電
氣的には針端間隙と同様と見做す事が
出来る。第4圖は針端間隙の衝擊電壓
特性を示したものである。



る異常電壓に對し常に線路碍子或は保護間隙より高い絶縁強度の端子套管及び更に高い絶縁強度の内部捲線を有し系統の他の部分と合理的に釣合の取れた變壓器が即ち所謂 Surge-proof Transformer である。



サイクル変圧器に於いて、衝撃電圧絶縁耐力を實際に試験証明したオスシログラムで、本試験は大容量変圧器に實際に高き衝撃電圧を加へて試験した點で記録的のものである。圖中 A は本試験に用ひられた衝撃電圧波形で變壓器其の他の負荷を接続せざる場合の原形を示し、B 圖は變壓器及 163 種の保護間隙並に懸垂碍子 14 個 1 連を接続した場合の電壓波形を示すものである。此の場合順次衝撃波發生裝置の電壓を高めて行けば、C 圖に示す様に先づ保護間隙が閃絡放電する。次に保護間隙の電極距離を擴げて更に電壓を高めて行けば、D 圖に示す様に 14 個の懸垂碍子が閃絡放電する。14 個の懸垂碍子を 21 個に増加し更に電壓を高めて行けば、E 圖に示す様に端子套管に於て閃絡放電する。次に衝撃波發生裝置の直列抵抗を除去し、蓄藏勢力を最も急激に放電し得る様に調節し、電壓上昇の途中に於て套管表面の閃絡放電をなさしめた場合が F 圖に示す状態である。此の場合電壓上昇の波頭速度は 1 マイクロ

セコンドにつき、11,000kV の割合である。尙此の場合使用せられた衝撃波發生裝置は、3,000 kV 容量 8000 μ F. のものである。第 7 圖は套管表面に於て閃絡放電せしめた場合の本變壓器の外観である。上記試験に於いて本變壓器は絶縁の Coordination が完全である事を證明し、最後に 460 kV 1 分間試験を施行し前記の苛酷な衝撃電圧試験に於いて捲線が何等の損傷も受けなかつた事を證明した。

斯の如き Surge-Proof 變壓器の設計に當つては二つの方法が實施される。

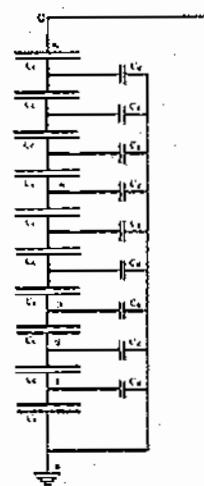
(1) 變壓器に侵入し来る衝撃電圧進行波に因り捲線内に生ずる初期電壓分布 (Initial Voltage Distribution) を可及的一様ならしめ、尚引き續き發生する電氣振動に對し、捲線が過度の電氣的歪を受けざる様にする事。

(2) 絶縁物の沿面距離に頼る絶縁耐力は、Impulse Ratio (衝撃波による破壊電壓と、60 サイクル正弦波による破壊電壓との比) が低いから沿面距離に頼らない絶縁物の配置とし、衝擊比を大ならしめる事。

シエル型變壓器に於て之等二つの改良は、從來の普通の設計に些少の変更を施す事に依り頗る簡潔に完成せられた。以下順を逐ひ之が説明を述べる事とする。

衝撃波に對する捲線の特性

衝撃進行波が變壓器捲線に侵入せる瞬間の捲線内電壓分布即ち Initial Voltage Distribution は捲線の静電容量の配置に依つて定まる。N 個の線輪より成る捲線に於て、各線輪間の静電容量を C_c とし、各線輪と大地と



第 8 圖

初期電壓分布に對する等価回路

の間の静電容量を C_g とすれば、初期電壓分布に對する等価回路は第 8 圖の如き静電容量より成る回路を以て表され、電壓分布は次の式によつて求められる。

$$e_n = e_0 \sin \alpha \frac{n}{N} \sin \alpha \dots \dots (1)$$

但し e_0 = 外部より加へられた電壓

e_n = n 番目の線輪と大地との間の電壓

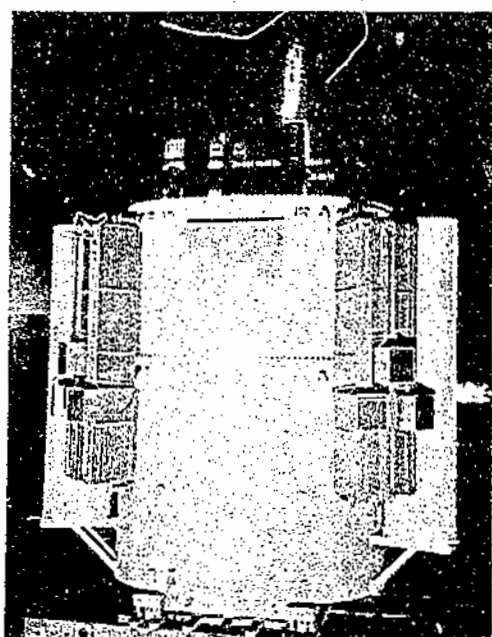
$$\alpha = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}$$

$$C_1 = C_g N$$

$$C_2 = C_c / N$$

(1) 式より明かな様に大地容量 C_1 に對し線輪間容量 C_2 が大なる程、換言すれば α の値が小なる程電壓分布は直線的となり全捲線に一様になる。

初期分布は時間の経過と共に變移し衝撃波の波尾が不變の波高を保ち永久に續く形状 (Permanent Rectangular Wave) の場合には相當時間の経過の後には遂に安定せる Permanent Distribution となる。以下假に之を前記初期分布に對し永久分布と名付ける。永久分布に於ては最早捲線の静電容量の影響は全くなり、抵抗及インダクタンスに依つて電壓の分布は決定される。



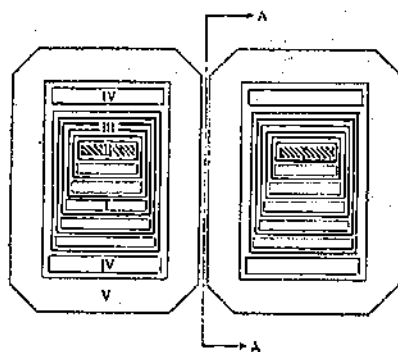
第 7 圖 衝擊電壓試験中の 42,000kVA 變壓器 (套管の閃絡せる時)

之等は略全捲線に對し一様であるから電壓の永久分布も亦全捲線を通じて一様と見る事が出来る。初期分布より永久分布に移る間に、捲線の固有周波数に依り捲線各部の電壓は振動する。

初期分布の形状、振動に依つて起る最高電壓並に振動の周期等は捲線各個の設計に依り異なる事勿論であるが、普通使用せられるシェル型並にコパー型捲線の二三の例に就いて以下概略の特性を記載する。

単群シェル型捲線

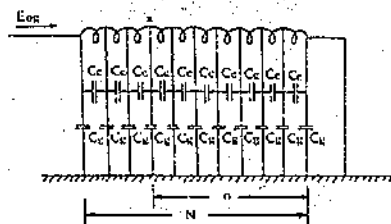
単群シェル型捲線 (Single Group Shell Type Winding) とは第9圖に示す様に高壓側數個の板狀線輪を重ね合せて一層とし、其の兩側に低壓線輪を配置した構造で、圖中 I が高壓側線輪 II は靜電板 III は絶縁、IV は低壓線輪



第9圖

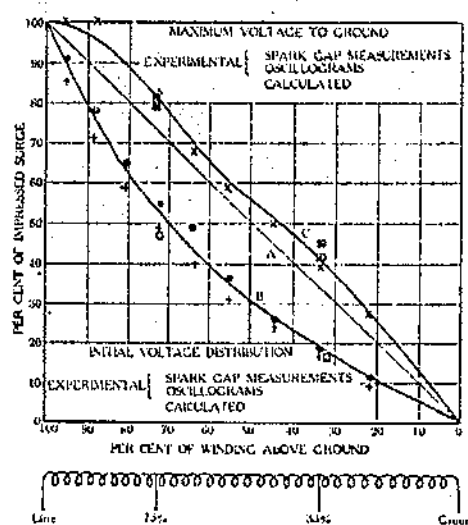
單群シェル型捲線の線輪配置

V は鐵心を示すものである。本圖は中性點直接々地の場合に使用せられる所謂 Graded Insulation の時の形状であるが、抵抗接地式或は非接地式の場合



第10圖

單群シェル型捲線の等価回路

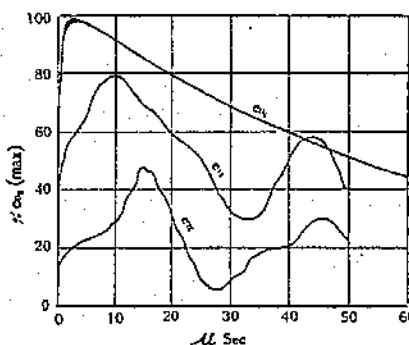


第11圖

單群シェル型捲線の衝擊電壓特性曲線

に採用せられる所謂 Full Insulation の時も線輪の配列は本圖と略同様である。

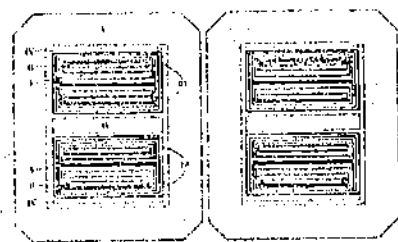
此の種の捲線の等価回路は第10圖に示す如く靜電容量の分布は略一様で、且つ構造上線輪の個数が少く、線輪表面積が非常に大となるため、第1式の C_2 の値が大となり、 C_1 の値が小となり、従つて α の値は他の構造に比し一般に最も小となる。故に此の場合の初期電壓分布は最も直線的で、全捲線を通じて一様に分布される事となる。初期電壓分布が直線的、即ち永久電壓分布に近い場合、捲線の自己振動に依つて起る最高電壓も又永久電壓分布に近い。



第12圖

單群シェル型捲線のオスシログラム

第7圖に示した 42,000 kVA 220 kV 變壓器は此の種の捲線を有し α の値は約 1.5 である。實際測定せられた電壓分布は第11圖に示す通りで、圖中 B 曲線は初期電壓分布を示し、C 曲線は波長 50 マイクロ秒の衝擊波のために振動に依り發生せる最高電壓、A 曲線は波長不變で波長無限大の場合の永久分布を示すものである。第12圖は此の場合のオスシログラムで、 e_{0g} は外部より加へられた電壓波形で波長 50 マイクロ秒のものである。 e_{1g} は接地端より 73% の捲線の部分に於ける電壓の變化



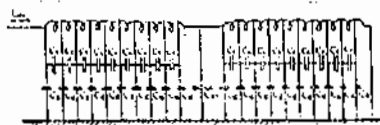
第13圖

二群シェル型捲線の線輪配置

で初期電壓で約 50%、振動に因る最高電壓で約 80% の値を示して居る。 e_{2g} は接地端より 33% の捲線の部分に於ける電壓の變化で、初期電壓で約 20%、振動に因る最高電壓で約 45% の値を示して居る。又本捲線の振動の固有周期は 33 マイクロ秒である。

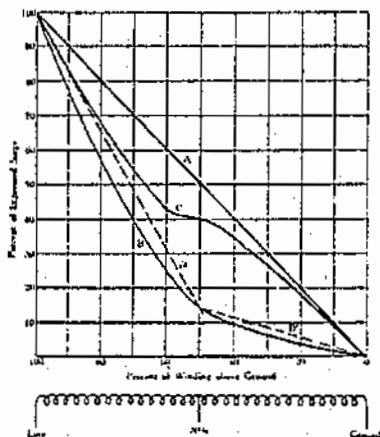
二群シェル型捲線

二群シェル型捲線 (Two Group Shell Type Winding) とは第13圖に示す様に高壓側捲線を二つの群に分ち、各群の兩側に低壓側捲線を配置した構造で、恰も二組の單群捲線より成り、之を直列に接続したものである。圖中 I は高壓側線輪、II は靜電板、III は絶縁、IV は低壓側線輪、V は鐵心を示す



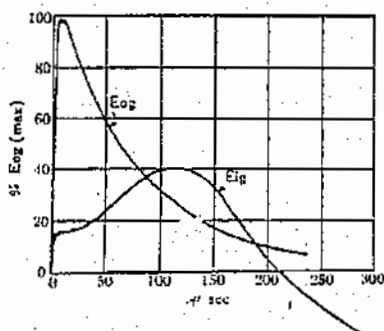
第14圖
二群シェル型巻線の等価回路

斯の様な構造の巻線に於ては、中央部低電圧線輪群と其の兩側に位置する高電圧線輪との間に大なる静電容量を有することとなり、等価回路は第14圖に示す如く巻線の中央部に於ける對地容量 C_{02} が著しく大となり、此の點に於ては巻線の性質は非連続的となる。



第15圖
二群シェル型巻線の衝撃電圧特性曲線

第15圖は出力4,500 kVA、144 kVの二群シェル型巻線の衝撃電圧特性を示した曲線で、Aは無限大波長に對する直線的永久電壓分布、Bは初期電壓分布、Cは波長60マイクロ秒の衝撃波に因り振動のために起る最高電壓



第16圖
二群シェル型巻線のアスシログラム

を示したものである。B曲線から明かな様に、初期電壓分布に於ては端子電壓の約86%の電壓が線端側巻線群にかゝり、残り14%の電壓が接地側巻線群にかゝる事となる。各巻線群自身の中の電壓分布は單群巻線の場合と同様直線的分布D或はD'に近い。

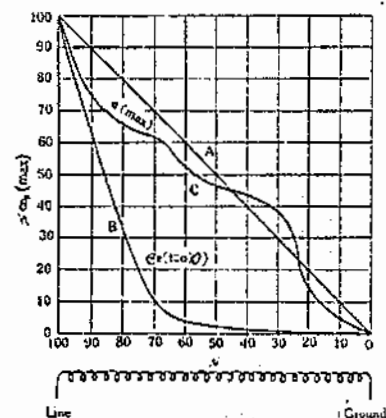
第16圖は本巻線の振動を示すオシログラムで、 e_{02} は線端即ち接地点より100%の部分の巻線の電壓変化、換言すれば外部より加へられた衝撃波を示すもので、 e_{12} は接地点より50%即ち巻線中央部に於ける電壓の変化を示すものである。

此種巻線の自己振動の周期は單群巻線に比較して非常に長く、第16圖に示す様に上記巻線に於ては300マイクロ秒である。巻線の各群各自に於ては此の長い周期の振動の外に、更に各群自身の二次的固有振動を伴ひ、其の周期は單群巻線の固有振動と同様に20乃至40マイクロ秒の数値のもので、各群に於て第15圖D或はD'の直線を中心として起る。

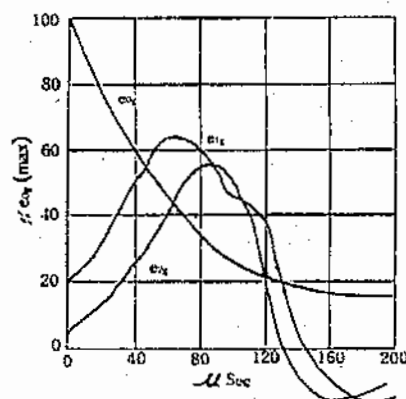
三群及多群シェル型巻線

三群及多群巻線 (Three-Group and Multi-Group Winding) の場合は二群巻線の場合を押し廣く考へる事が出来る。即ち三群巻線の場合には全巻線の33%及66%の點に於て大なる對地容量を有する非連続的性質の部分が存在し四群巻線に於ては25%、50%、及75%の三つの點に於て非連続的性質の部分が存在する事となる。初期電壓分布に於ては外部より侵入する衝撃電壓の90%内外のものは線端側巻線群にかゝる事となり、残り10%内外のものが他の數個の巻線群に分配せられ、各群夫自身の中の電壓分布は單群巻線の場合と

同様に直線的分布に略近い。全巻線の振動の固有周期は、二群巻線の場合と同様に非常に長く、又各群夫自身の固有周期に依る二次的振動を伴ふ事も前と同様である。



第17圖
三群シェル型巻線の衝撃電圧特性曲線



第18圖
三群シェル型巻線のアスシログラム

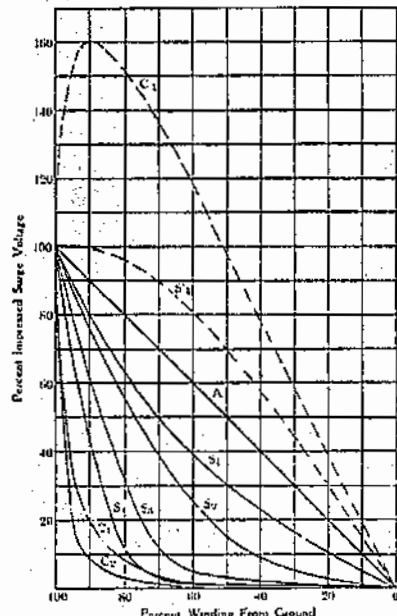
第17圖は三群巻線の電壓分布の一例で、Aは無限大波長に對する直線的永久分布を示し、Bは初期電壓分布、Cは波長60マイクロ秒の衝撃波の場合自己振動に因り發生する電壓の最高値を表す曲線である。第18圖は上記に對するオシログラムで e_{02} は巻線の線端電壓の変化、換言すれば外部から侵入した衝撃波の形を示し e_{12} は接地側から66%、 e_{22} は接地側から33%の點に於ける電壓の変化を示したもので、此の場合の振動の周期は約200

マイクロ秒である。

コア型捲線とシエル型捲線の比較

シエル型捲線の種々の場合に於ける衝撃電圧特性は前記略述した通りで、一般にシエル型捲線に於ては線輪の数が少く、線輪と線輪との対面積が大で線輪と大地との対面積が小であるため線輪間容量が大きく、対地容量が小となり、第1式 α の値が比較的小さく普通各線群に対する α の値は0.5乃至1.5位の値である。従て一捲線群内の電圧の分布は直線的分布に近い。

コア型捲線に於ては、構造上一捲線群を形成する線輪の数は非常に多く、線輪と線輪との対面積は小で、線輪と大地との対面積が大であるため、線輪間容量が小さく、対地容量が大となり、第1式 α の値が一般に大きい。出力6,000 kVA、154 kV 単相コア型変圧器の一捲線群に対する α の値が12.7といふ様な数字である。従て一捲線群内の電圧分布も直線的一様分布に非常に遠くなつて来る。捲線群数の影響はシエル型捲線の場合と同様で、



第19圖

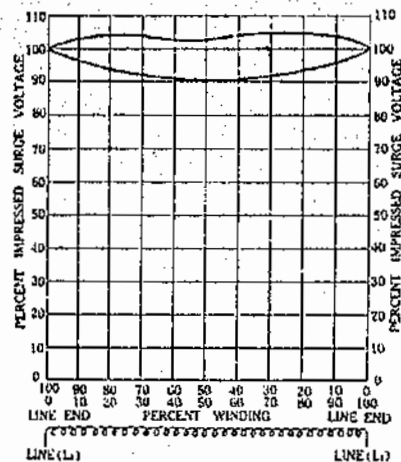
種々なる捲線の衝撃電圧特性比較

普通三相コア型変圧器は一相一群の捲線より成る単群捲線で、単相コア型変圧器は左右兩鐵心脚に一群捲線を配置した二群捲線が最も普通である。

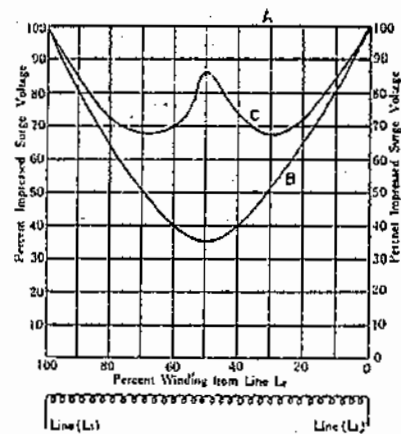
第19圖はシエル型並にコア型の種々なる場合に於ける初期電壓分布を比較した曲線で、 S_1, S_2, S_3, S_4 は夫々前記のシエル型單群、二群、三群及四群捲線の電壓分布を表し、 C_1 及 C_2 は夫々コア型單群及二群捲線の電壓分布を示したものである。單群捲線の如く固有振動の周期の比較的短い場合には、長い波長の衝撃波のため、振動に因り發生する最高電壓は、初期電壓分布曲線 S_1 或は C_1 を直線Aに對して反轉した曲線 S'_1 或は C'_1 の如きものとなし、初期電壓分布の良好なシエル型單群捲線の場合には、振動に因つても餘り高い電壓は起らないが、初期分布の C_1 の如き場合には、振動に因り外部から加へられた衝撃波の波高よりも非常に高い電壓が起り得る。

シエル型二群捲線及三群捲線に於ては、全捲線の固有振動の周期は普通送電系統に存在する衝撃波の長さと比較し非常に長いから、之により大なる電壓を發生する事はなく、實際に系統に存在する最も長い波長の部類に屬する60マイクロ秒波長に對しても振動に因る最高電壓は第15圖及第17圖に示す程度のものである。又比較的周期の短い捲線各群自身の二次的振動も各群一個の内に於ては初期分布が直線的で良好であるため、單群捲線の場合と同様に大なる電壓は發生しない。

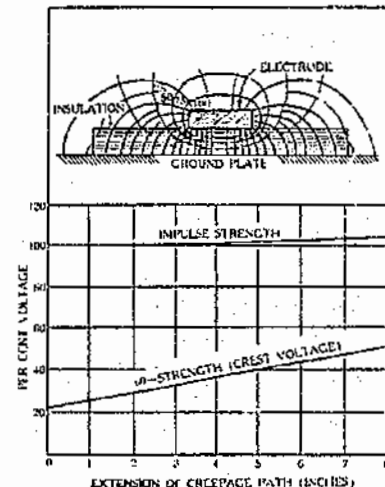
コア型二群捲線の場合には、全捲線の振動の周期は相當長くとも各群自身の二次的振動の周期は短かく、且つ一群内の初期分布が既に直線的分布に非常に近いから、此の二次的振動に依



第20圖 三角形捲線單群シエル型捲線の衝撃電圧特性

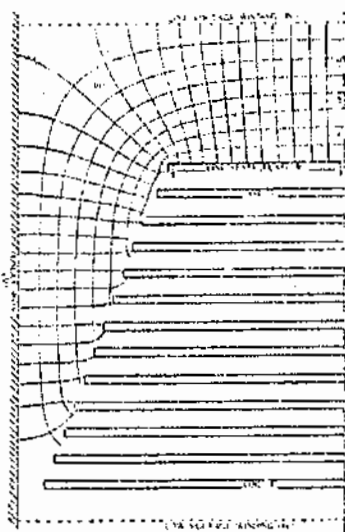


第21圖 三角形捲線單群シエル型捲線の衝撃電圧特性



第22圖

沿面距離による絶縁の特性



第23圖

単群シールド型電線の等電位線分布

つても非常に大なる電圧を発生することが出来る。

米國の中性點直接々地式の系統に於いて使用せられる變壓器に於て、第9圖の様に線端から接地端に向つて漸時絶縁を低減した所謂 Graded Insulation のシールド型變壓器が良好な成績を示したのに反し、Graded Insulation のコア型變壓器が絶縁上失敗であつた事は上記兩構造の衝擊電壓特性の差異に基因するものである。

中性點接地方式の影響

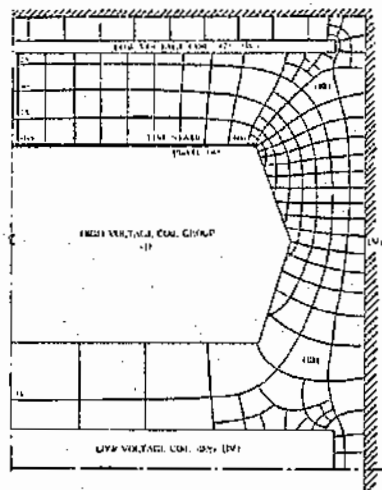
以上變壓器捲線の衝擊電壓特性に就ては、簡單のため、中性質は直接々地の場合として説明したのであるが、中性點が抵抗或はイムピーダンスを通じて接地せられる場合には、之等の抵抗リアクタンス並に其の靜電容量に依る等價回路を第10圖或は第14圖の如き變壓器捲線自身の等價回路の尾端に附加したものと考へ、全體の回路は、接地點の等價回路も含めて、一種の多群捲線で、其の一端を直接々地したものと考へれば宜しい。三群捲線或は多群捲線の衝擊電壓特性から明かな様に接地

側一群のリアクタンス、靜電容量等の變壓器捲線全體に對する影響は極めて微弱である。

特殊の場合として、三角形接線の變壓器に於けるが如く、兩端子共に送電線に接続せられ、兩端子から同時に衝擊波が侵入して来る場合には、一端から衝擊波が侵入して来る場合の前述の特性を二つ重疊した様な電壓分布となる。第20圖は單群シールド型電線の兩端子から同時に同一波長の衝擊波が侵入した場合の電壓分布曲線で、Aは永久分布、Bは初期分布、Cは自己振動に依り發生する最高電壓を示すものである第21圖は前記第15圖と同じ二群シールド型電線の兩端子から60マイクロセコンド波長の衝擊波が侵入した場合の特性曲線である。

絶縁配置の改良

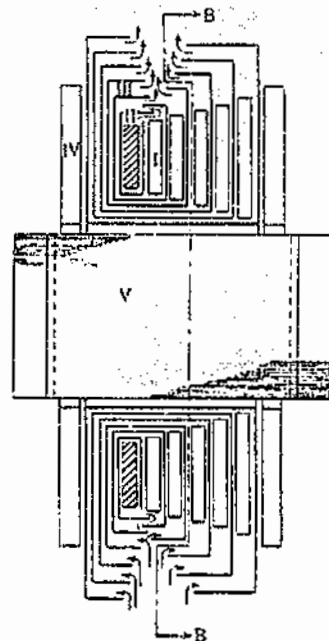
衝擊波に因る絶縁の破壊と60サイクル電壓に因る絶縁の破壊とは其の特性が非常に違ふ。第22圖に示す様に固體絶縁物を、接地せる鉄板とエレクトロードとの間に挟み、全體を絶縁油中に浸して放電電壓を測定するに、60サイクル電壓の場合には放電電壓は沿面距



第24圖

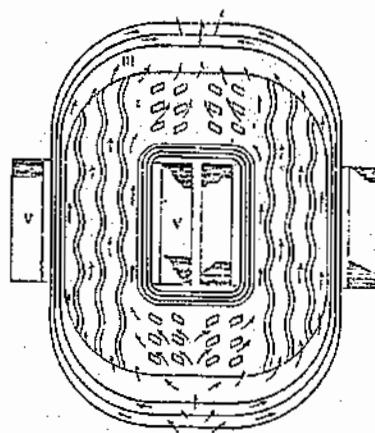
二群シールド型電線の等電位線分布

離の増加と共に殆ど直線的に増加するが、衝擊電壓に因る放電電壓は沿面距離が増加しても殆ど増加を示さない。換言すれば衝擊電壓に對しては沿面距離に依る絶縁は、絶縁耐力が低く衝擊比衝擊波形に因る破壊電壓と正弦波60サイクル破壊電壓との比 (Impulse Ratio) は小である。



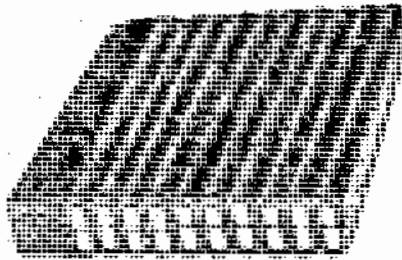
第25圖 線輪面に直角なる垂直斷面に於ける線輪及絶縁の配置

此の簡單な事實に基き最近のシールド型變壓器に於ては絶縁物の配置が改良せられ、絶縁物の表面を衝擊電壓に對する捲線内電壓分布の等電位面



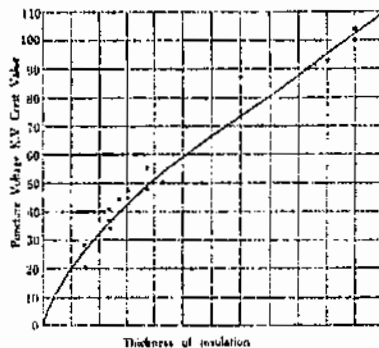
第26圖 線輪面に平行せる垂直斷面に於ける絶縁配置

(Equipotential Surface) に一致せしめる事に依つて、放電は必ず固体絶縁物を其微破壊するのでなければ起り得ない様な構造とした結果、大なる衝撃比を有する絶縁を製作するに到つた。



第27圖 154kV線輪の一部断面

第23圖は單層シェル型捲線に於ける等電位面を示すものであるが、前掲第9圖の絶縁の配置 III が此の等電位の分布と一致せる事が明瞭であらう。又第24圖は二層シェル型捲線の等電位の分布の一例であるが、前掲第13圖



第28圖 捲回間絶縁の衝撃電圧による破壊特性

の絶縁物の配置 III が之等等電位面と一致せる事が判る。第25圖及第26圖は夫々線輪面に直角並に線輪面に平行せる垂直断面を示す略圖で、各部の絶縁の配置並に絶縁油対流の状態を示したものである。

線輪捲回間の絶縁は優良なマニラ紙テープを使用し、純良なワセリンを用ひ、特殊操作を施した後特殊工作機械に依り導體に捲き付けたものである。第27圖は154kV線輪の一部断面を示したもので導體は過流損失を減少せしめ



第29圖 7500 kVA, 165 kV
サージプルーフ変壓器

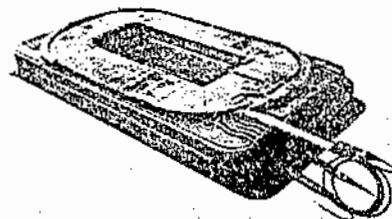
るため二つに分括した所謂 Sub-divided Conductor である。此種絶縁の衝撃電壓に依る破壊特性は第28圖に示した。

製品 の 例

第29圖は弊社が臺灣電力株式會社殿へ納入したサージプルーフ・シェル型變壓器(Surge Proof Shell Type Trans-



第31圖 165kV線輪



第32圖 165 kV捲線及絶縁の一部



第33圖 捲線上部の絶縁



第34圖 捲線下部の絶縁



第30圖 7500 kVA, 165 kV,
サージプルーフシェル型變壓器中身

former) で、次記の定格を有する。

等価出力 7500 kVA,

单相、自冷式、60サイクル

一次 165,000-157,500-150,000

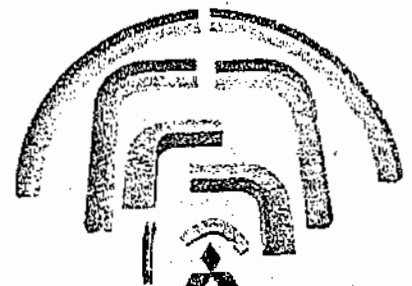
-142,500-130,000V, 5,000kVA,

二次 69,000-66,000-63,000-60,000

-57,000V, 5,000kVA,

三次 11,000V, 5,000kVA.

第30圖は本變壓器の中身、第31圖は一次 165 kV. 線輪の一部を示すもので



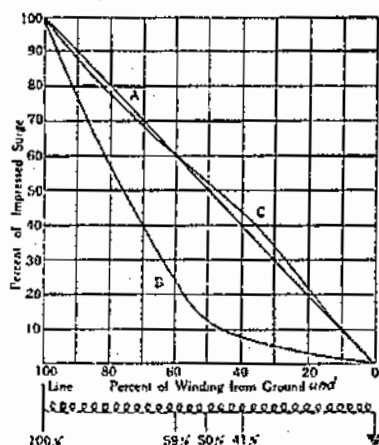
第35圖 角に使用せられる絶縁物



第36圖 變壓器組立工場の一部

ある。第32圖は高壓側捲線の一群に絶縁の配置せられた状態で、上部に見えるのは捲線の一端に配列せられる静電板である。第33圖及第34圖は夫々高壓捲線群の外部上側及外部下側の絶縁配列即ち前記等電位面配列を示し、第35圖は等電位面配列に於て、線輪の内外兩側の角の部分に使用せられる特殊形状の絶縁物である。第36圖は變壓器組立工場の一部で、左方にある2台が機心積作業中の本變壓器である。

本變壓器高壓側は前述の二群捲線で

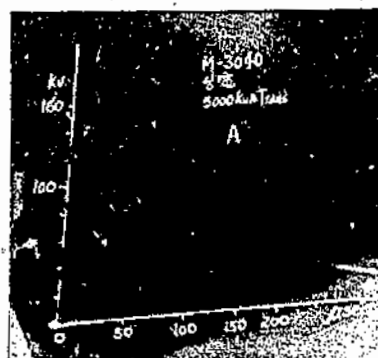


第37圖

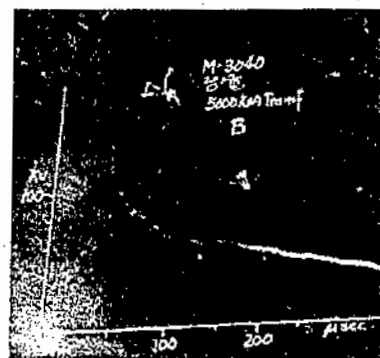
7500 kVA 變壓器衝擊電壓特性曲線

各群の6個の線輪と1個の静電板とからなり、兩群の間及其の外側に中壓側及低壓側捲線が配置せられ、各群に対する前掲第1式 α の値は11.5、兩群接続部に於ける對地容量前掲第14圖 C_{g1} の値は1115 μF である。第37圖の曲線Bは本捲線の初期變壓分布を示し、曲線Cは100マイクロ秒波長の

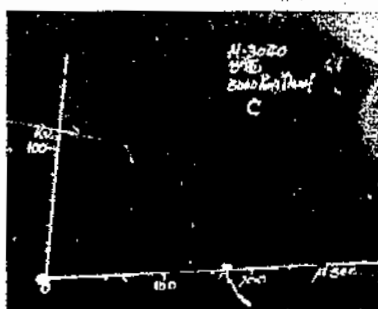
衝擊波に因り捲線振動のために發生する最高電壓を示したものである。第38圖は本變壓器の衝擊電壓試験に於ける陰極線オスシログラムで、Aは外部から加へられた衝擊波、Bは接地端から59%の點、Cは接地端から50%の點、Dは接地端から41%の點に於ける電壓の變化を示したものである。



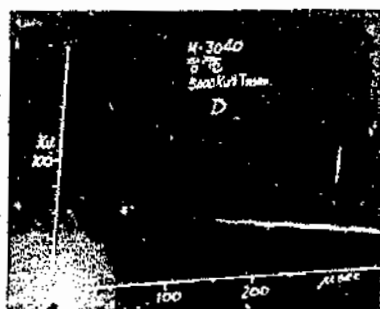
A



B



C



D

第38圖 165 kV 捲線の陰極線オスシログラム

154,000V.SV ポーラスブロック型 オートバルブ避雷器に就て

配電盤設計係

更 田 健 彦

弊社は、臺灣電力株式会社に於て日月潭發電所御計畫の一部に使用せらる可き避雷装置として、昨年154,000V用SV ポーラス・ブロック型オートバルブ避雷器4組の御用命を受け、爾來工場に於て鋭意製作中の處過般完成し、今度全社の高雄發電所に2組と霧峯、

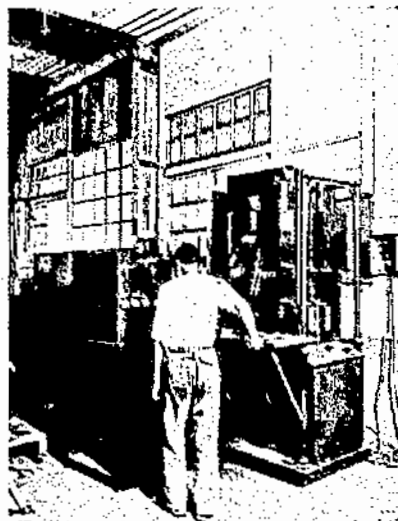
嘉義の兩發電所に各1組宛納入し滞り無く据付が終つたから、此の機会を利用して同器の特徴、構造等に就て概略御紹介申し上げ度いと思ふ。ポーラス・ブロック型オートバルブ避雷器に就ては既に本誌第九巻第五號に於てその原理、特性並びに一般の構造を相當詳細

に掲載したから、本稿に於ては専ら前記SV型154,000V用避雷器を中心としてその特徴と實際的構造とに就て少しく申述べる事とする。

ポーラス・ブロック型オートバルブ避雷器の長所と認められる處は下記の諸點に在る事は既に前稿に於ても申述

べた通りであるが、今度 154,000 V 用避雷器として御採用の榮に預り得た所以も勿茲に存するものと堅く信じて居る次第である。即ち

1. 多孔性物質の微孔内に於ける制限放電が呈する鈍性と云ふ物理的性質を利用した避雷器であるから放電に際して避雷器素材に何等化学的變化を生せず、従つて極めて確實に動作し而も長年の使用に當つて全く劣化する恐れが無い。——此の點に就ては化学的作用を原理としてゐる他の種の避雷器に比して一段と優秀である。
2. 放電は總て氣體中に於て行はれ且直列火花間隙は密閉多間隙型と成つて居るから、火花の遅れが最も少く、異常過電壓が到来すれば延滞無く動作する。——此の點に於ても他の化学的作用を其の原理として居る避雷器に比して優れて居る。
3. 避雷要素の特性は陰極線オスシログラフの示す處に依れば極めて理想的な鈍性を呈する。即ち電壓電流特性は頗る平坦な曲線を表はし、避雷の残留電壓と續流遮断電



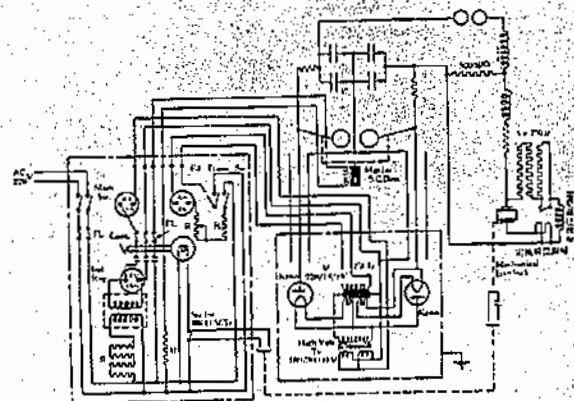
第1圖 弊社工場に於ける衝擊電壓發生器と可視型オスシログラフ

壓との比は従来の避雷器に比して一層小であるから、異常過電壓の到来するや、之れを能ふ限り抑壓し、異常過電壓の通過後は機流の續流するのを完全に防ぎ、且回路に何等擾亂を與へ無い。

4. 放電は無数の微細な氣孔中に擴つて行はれるから放電容量は至つて大である。
5. 容積、重量に於ても他の避雷器の追隨を許さぬ程小である。又構造も極めて簡單であるから据付に殆んど手数を要しない。
6. 使用中充電等の心配が無く、其他保守上にも特別に注意を要する處が無い。

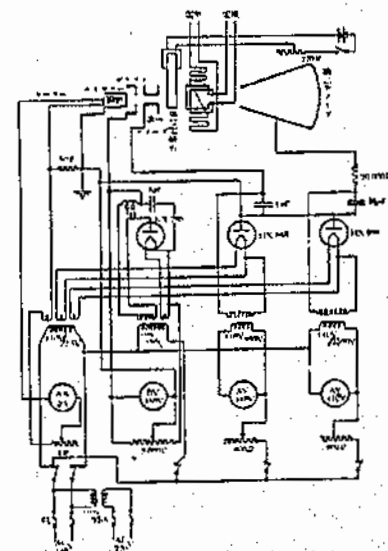
等をその重なる特徴として挙げる事が出来る。

抑も本型避雷器の開発に當つて弊社は實に久しきに渉る年月と相當多額の研究費を費消したのであるが、その製作の過程に於ても亦極めて慎重に處理して居るのみならず、特に試験、検査等に於て最も意を注いで居る。元來避雷器の性能試験には適當な衝擊電壓發生器と陰極線オスシログラフが無ければ完全に行ふ事は出来無いのであるが弊社に於ては之れが爲めに特に 300 kv の衝擊電壓發生器と陰極線オスシログラフを設備して使用して居る。(本誌第30頁所載の第1圖及第2圖を参照せられ度い)然し本装置の使用には相當熟練を要し、且つ日常の工場試験に使用するには不適當であるから、之れは主として研究實驗用に使用し、此

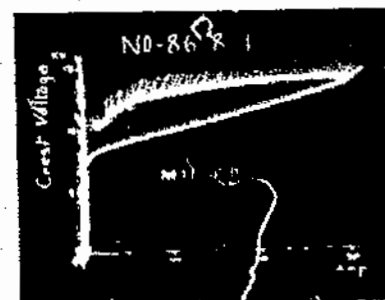


第2圖 ガートバルブ避雷器試験用オスシログラフ結線圖

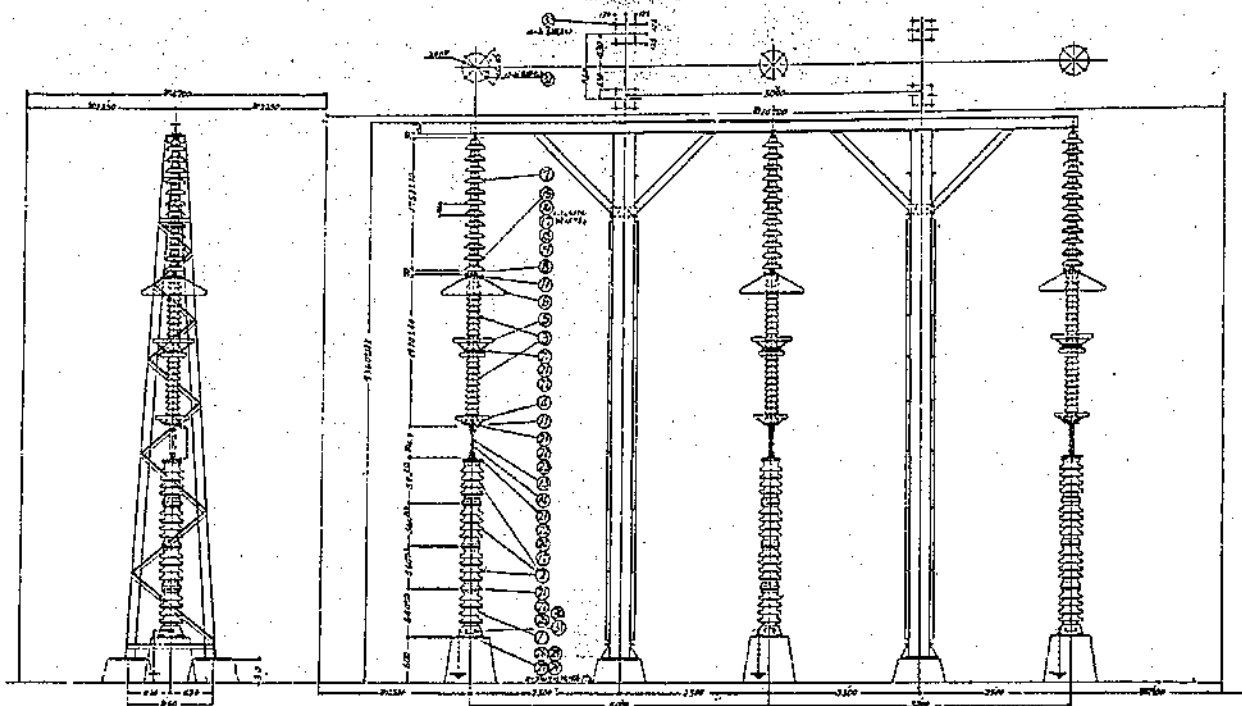
の外 60,000V の衝擊電壓發生器と可視型オスシログラフを設けて避雷要素を一つ宛つ試験して萬漏無きを期して居る。第1圖は本器の外観を示すものであつて、右側に見えるのは衝擊電壓發生器、左側に見えるのは可視型オスシログラフである。何れも可搬型構造を有し、日常工場に於て使用するのに



第3圖 ガートバルブ避雷器試験用オスシログラフ結線圖



第4圖 陰極線型オスシログラフによつて撮影した避雷要素特性曲線

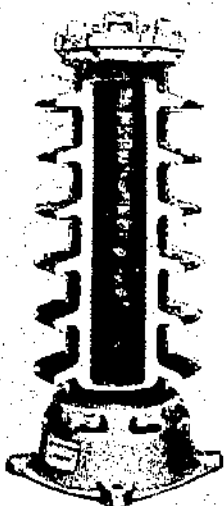


第 5 圖 154 kV用SV ガーラス・ブロック型オートバルブ避雷器組立図

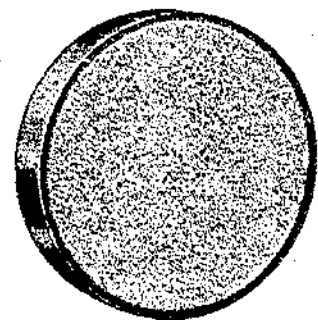
適する様種々の考慮を巡らして設計、製作されて居る。可視型オスシログラフと云ふのは傍熱型陰極、グリッド、第一陽極及び第二陽極を有する特殊のブラウン管であつて、陰極から發する陰極線を避雷器の端子電壓並びに放電々流に依據して偏位せしめ、管底に塗布された熾光性物質上に生ずる殘映に依つて電壓電流特性を検するのである。第2圖及び第3圖は本装置の結線圖を示して居る。又第4圖は冷陰極型オス

シログラフに依つて撮影した避雷要素の特性である。第5圖は 154,000 V 用 SV ガーラス・ブロック型オートバルブ避雷器の組立構造を示すものである。同圖で見ると、避雷要素を蔵めた磁器ケーシングは各相分4個のユニット(標準型では2個であるが現場に於ける試験装置の關係上特に4個としたのである)より成り、基礎上に積み重ねられ、之れに直列に成る可き火花間隙は2個の磁器ケーシングに蔵められ、鐵構上に取付られた懸垂母子から吊下げられてゐる。而して避雷器ユニットと直列火花間隙とは發條に依り互に聯絡せられ、風壓又は地震等に依つて直列火花間隙又は避雷器ユニットが振動する場合に於ても可及的兩者に歪力の生ぜぬ様留意されてゐる。第6圖は避雷器ユニットの内部を示し、第7圖は避雷要素たる多孔片を示すものである。多孔片はカーボランダム其他より成る燒成物であつて、圓筒形をなし、兩底面には電氣的接觸を良好ならしめる爲めに

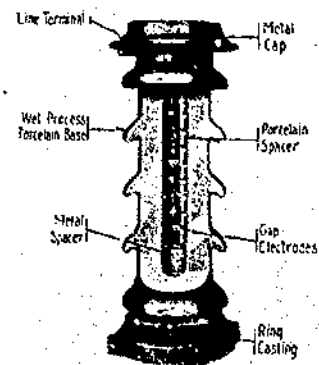
シニープ法に依り銅粉を吹付け、側面には沿面放電を防ぐために特殊のコンパウンドを塗布して居る。この様な多孔片を所要數宛、間に鉛ワッシャーを挟んで積み重ね、磁器製ユニット、ケーシング中に收め、更に之れに適當な



第 6 圖 避雷器ユニット内部



第 7 圖 避雷要素



第 8 圖 直列火花間隙

發條に依つて壓力を加へ相互の電氣的接觸を良好ならしめて居る。而して多孔片と磁器ケーシングとの間の隙間には特殊のワックスを流し込んで居るが之れは運搬中の振動其他に依り多孔片が毀損するのを防ぐ爲めである。磁器ケーシングの兩底面には鋳物製の金具をセメント着けし、之れにガスケットを當て、底板を締付け、完全に濕氣の侵入するのを防いで居る。

避雷要素に直列に挿入す可き直列火花間隙としては、従來 66,000 V 以上の避雷器に於ては殆ど開放型間隙が使用されて居たのであるが、本型に於ては之れを改めて總て密閉型多間隙に変更した。即ち其の構造は第 8 圖に示す通り磁器製のケーシングの中に收められた多間隙であつて、各單位間隙は磁器製のスペーサーを間に挟んで相對峙した半球型の電極から成立つて居る。

密閉型多間隙が開放型單一間隙に比して優れてゐる事は云ふ迄も無いが、その長所としては次の諸點が列挙出来る。

1. 密閉型に於ては濕氣の侵入する事が絶対に無いから、天候の變化等に依つて、放電電壓に狂ひを生

じない。

2. 蛇、雀其他の鳥類、蟲類等が直列火花間隙に入り込み、誤つて放電を起す様な恐れが絶対に無い。
3. 多間隙が單一間隙に比して放電特性の優秀な事は周知の通りである。
4. 支持金具、碍子等が簡單で済むから重量が減する。
5. 従つて据付に要する容積も減り又据付も簡單である。
6. 一度工場で調整して置けば現場で据付けの際に再調整する手数が省ける。

直列火花間隙の目的は送電線の常規電壓に於て避雷器を放電せしめる事無く、異常過電壓が到來した時にのみ放電し避雷器を線路に接続せしめるに在る。即ち避雷器は雷其他の原因に依る衝擊電壓に對しては充分之れを放電せしめるだけの容量を有す可き事は勿論であるが、發電機の發生電壓に依る過電壓等の如き相當長期間に渉り持続するものに對しては如何に大なる避雷器と雖も到底よく堪え得るものではない。従つて直列火花間隙の放電電壓は發電機並びに線路の状態等に依り適當に撰

定する必要があるであつて、今回納入した避雷器に於ては系統にベテルゼン・コイルが設置せられる點等を考慮して避雷器の規定電壓の 2 乃至 2.2 倍に之れを調整した。

密閉型間隙の上下には 3 個のスタック・シールドが附してあるが、之れは多間隙に一樣な電位分布を與へ、且外物に依つて電位分布に變動を生じ放電電壓の變化するのを防ぐ爲めである。避雷器を取付ける可き鐵構は溝形鋼其他を適當に銲接着けたものであつて、表面には亜鉛鍍金を施し雨雪に依る腐蝕を防いでゐる。

本器の構造は凡そ以上の如くであつて、之れを従來の抵抗板型オートバルブ避雷器に比しても一層簡單に成つて居る。試みに兩者の占有する床面積に就て比較すると、舊型に於ては三相分に對して 42 平方米占有したのであるが新型に於ては僅かに 11.5 平方米で充分である。又周圍に設ける可き鐵柵金網を含めての占有面積に就て比較すれば舊型に對しては 108 平方米 (7.7 米 × 14) 米入用であるのに反し、新型では 75 平方米 (5 米 × 15 米) で済む事に成る。



特高電圧油入遮断器に於ける

デアイオン型接觸部とコンデンサー型ブッシング

配電盤設計係

浅井 徳次郎

デアイオン型接觸部

デアイオン油入遮断器の眞價は最近理論的にも實驗的にも世に認められて來たのであるが、ウェスチングハウス社に於ても 100,000 kVA の試験用發電機によつて試験した結果、及びインヂナポリスで行つた數多の試験成績によつて本遮断器は其の仕様を充分満足することを立證し得たのである。茲數年間弊社に於て製作したデアイオン油入遮断器に於ても何れも満足に動作して居るのである。

此のデアイオン油入遮断器に使用されて居るデアイオン型接觸部が、大容量の油入遮断器、殊に特高電壓のものに好適である理由を茲に説明するに當つて、先づ順序として従來の早切式の接觸部に就て述べることにする。

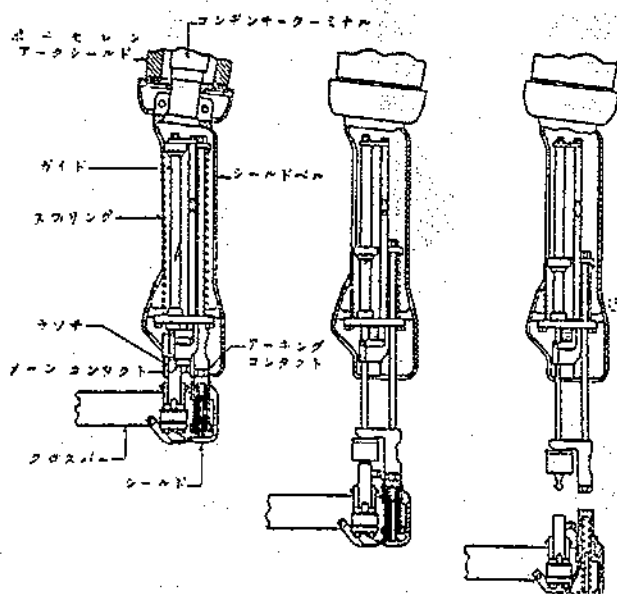
早切式接觸部

此の接觸部は随分古くから各社で製作せられて居るが、弊社標準のものに就きその動作を示すと、第1圖に示すものはバイオネット型と稱するもので左端は閉路状態、中央は開き始め、右端は遮断の瞬間を示すものである。圖によつて明かな様に、下の接觸部が下降すると、ラッチが90度回轉して外れ接觸部が上下に引離される。此の式は何れの製作者にも採用され、その性能を充分發揮して來たのである。

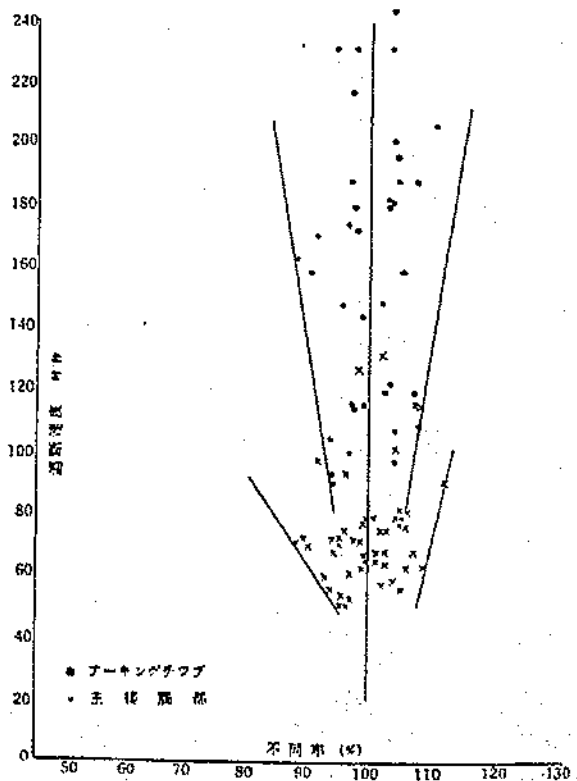
抑々早切式の利點とする所は、電弧を廣い面で油に接觸せしめて冷却を有效にし、速に接觸部を引離して遮断距離、即ち復歸電壓に耐える距離を長くし、電極を冷油中に引入れて

電極を冷却する等電弧を満足に遮断するために設計せられたものである。従てあらゆる方法を盡してより速かに遮断する様考案せられて居る。されば其の目的に副ふため遮断速度は競つて増大せられて居るのである。所が茲に考ふべき事は、此の増大せられた速度が如何程の正確さを有して居るかどうかと云ふことである。

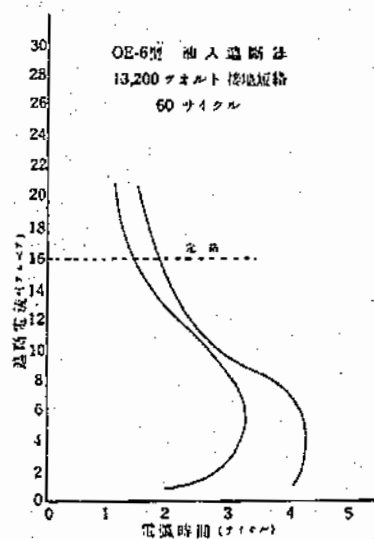
多年製作した各種の油入遮断器に就いて遮断速度の變化度とも云ふべきものを聚めて見たが第2圖は之を示したものである。本圖は縦に空中に於ける遮断速度を毎秒に於ける吋で表はし横に不同率を%で表した。而して×印は



第1圖 バイオネット型早切接觸部



第2圖 遮断速度變化曲線



第3図

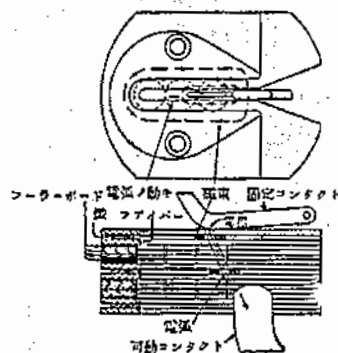
主接点部の速度であり之は遮断容量には無関係であるが、即ちアーキングチップを示し之は遮断容量に大なる関係がある。本圖に於て明かな様に速度が大となれば不同率も大となる。



第4図 デアイオン型接觸部

之等は接觸部に電流を通さないで試験したものであるが、實際の場合と同様電流を通じて行つたならば又相當の變化がある様に思はれる。早切式のものに入念に製作しても之位の不同は止

むを得ないと考へられる。そこで遮断器を設計するに當つては之を考慮に入れ、速度最低の場合を基とし、且つ安全率を見込んでやればよいのであるがさまなければ満足な遮断器のある油入



第5図 デアイオン型接觸部内部構造
遮断器は得られない。又保守に當つても速度の變化といふ事に就ては特に注意を願はねばならないのである。

次に油入遮断器に於て電流遮断の有様を検べて見るのに、電圧が低くて遮断電流の大きなものになると、電流の電磁力による吹消作用が充分に利くから、速度が餘り問題とならない。第3圖は之をよく現はして居るが、本圖は弊社製OE-6型油入遮断器の電圧15kV、遮断容量14,000A.のものと試験記録である。縦に遮断電流、横に電弧時間を60サイクルで現はしたものであるが、圖中曲線Bでは5,000Aからは電弧時間が段々減つて居る。即ち電流の吹消作用が利いて居るのである。又A曲線は遮断速度がBの場合より50%少い時の成績であるが、兩者を比較すると速度を1.5倍にしても電弧時間は夫に應じて減らないことが分る。

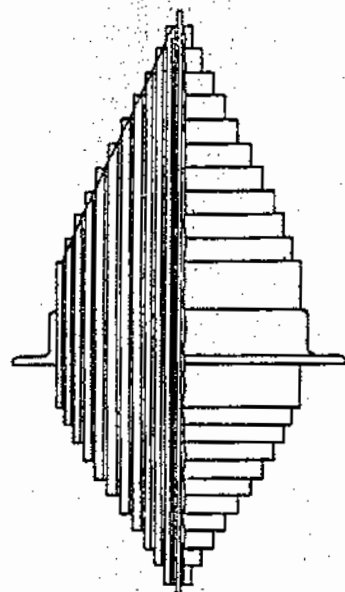
要之、大容量の油入遮断器で、電壓の低いものでは早切速度の不同の影響は少いが、電壓の高いものでは遮断電流が小で、吹消効果が衰れぬから、速度の不同が問題となつて来る。是に於て弊社は特高電壓の大容量油入遮断器

に對してデアイオン型接觸部を推奨する次第である。

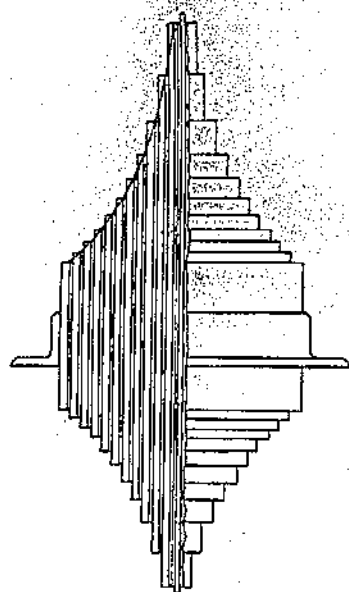
デアイオン型接觸部

此のデアイオン接觸部は第4圖に示すものであつて、其の内部構造は第5圖に示す様になつて居る。

油入遮断器で油中電弧の消える有様を述べて見ると、先づ電流の通つて居る接觸部が開くとその間に電弧が発生する。従て其の周囲の油は熱のために分解して瓦斯体となり、熱及び電氣のためにイオン化せられて居る。而も内部になる程電氣の良導體である。斯くして出来たイオンは互に結合や脱出によつて少くなるが、電弧の續いて居る間は絶えず補充せられる。電流が零になつて電弧が消えると、イオンは急速に減少して瓦斯は絶縁物となるが、充分消イオンせぬ間に電壓がかかると、中央のイオンの密度の大なる所を通じて電流が流れるのである。此の状態を繰返して居ては容易に電弧電流を遮断しさうにもない。デアイオン・グリッドは電弧の出る所に溝のある絶縁物の板と鐵板とを具へ、磁氣作用によつて電弧を溝の中へ押込み、上記瓦斯の消イ

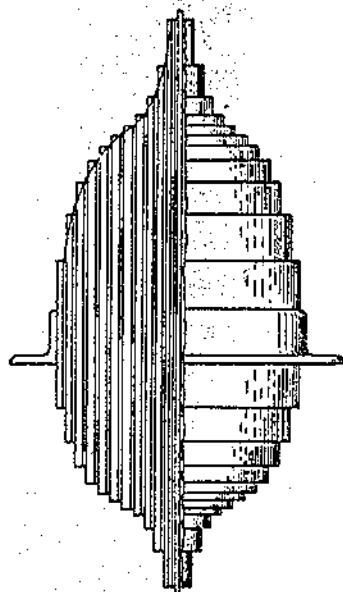


第6図



第 7 圖

オン現象を速くするのである。即ち接觸部が開いて電弧が発生すると電弧電流によつて生じた磁束から発生する磁力のため左の方へ押され、瓦斯の中央にあるべき電弧が瓦斯の周辺に出て油に直接接觸するのである。従て其處で絶えず新しい瓦斯が発生する。斯くて電弧が板の端、即ち絶縁物の壁に當つても板が多孔質であり、所々に凹みを設けてあるから、其の部分の油が分解して新しい瓦斯が発生する。此の瓦斯が膨脹して右方出口へ脱出する時、電



第 8 圖

弧を形成して居るイオン化せられた瓦斯中を通り、之を稀薄にして消イオンを行ひ、同時に結合による消イオン現象も促進せられるのである。如斯、速度には全然頼つて居ないから、前述の様な不同率を氣にかけける心配が無いのである。

遮断試験の結果

ウェスチングハウス社がその遮断試験室でデアイオン遮断器の試験をやつた結果を挙げれば次の通りである。下表で特に目立つのは電弧時間が従来のものより以下になつて居る點である。

型	定格電圧 (kV)	遮断電圧 (kA)	遮断電流 (A)	電弧時間 (サイクル)	遮断電力 (kVA)
GO-2	69	44	3,950 3,900	1.5 1.5	520,000 510,000
GO-2	115	66	2,450 1,900	2.5 2.5	485,000 380,000
GO-2	161	100	1,950 1,850	4.0 3.5	585,000 555,000

コンデンサー型ブッシング

次に特高電壓のコンデンサー型ブッシングに就いて略述する。

コンデンサー型ブッシングの設計は導体となるべき心棒に、絶縁物と金属箔とを交互に同心目的に捲きつけて、各金属層間の容量を等しくしたものであるが、今迄一般に知られて居た捲き方に二つあつたのである。

その一つは各層間の長さの差を皆等しくしてその厚さをかへて容量を等しくしたもので第6圖に示した所のもの、今一つは各層間の厚さを皆同じにして容量が同じになる様に長さを變えたもので第7圖に示した所のものである。前者は既に我々が長年採用し來つた方法であるが、圖に於て見る通り各層の厚さは中心と外端とで最も薄く、その途中が厚い。又後者では各層の長さの差が外端は少く、中心になる程多くな

るので今假に各層の端をつなぐ線を引きくと、此線は對数曲線になることが圖によつてわかる。

さて近來種々の測定器具の發達によつて衝撃電壓の研究が大いに進み、之等が絶縁に及ぼす影響も大いに考慮せられることとなり、従来の設計になるブッシングではサージに對して不満足を唱へられる様になつた。即ち第一の方法で設計したものは、此の瞬間的高電壓のためにツネーク・ポイントである中心又は外端で閃越放電を起す患がある。何れもその點が層の厚さが薄

いたためと、外部の影響を受け容量が減少するからである。第二の方法によつたものは外端に於ける層の長さの差が極端に少いから、此點で忽ち閃越放電を起す患がある。

然らば使用電壓や試験電壓に充分耐え、而も使用中に屢々起る衝撃電壓に對し安全なブッシングは如何に設計製作すればよいかと云ふのに、第一の方法によるものゝ中心及び外端部の各層の長さの差を中央部より大ならしめ、而も各層の容量は皆等しくなる様厚さを選定するか、或は第二の方法に於て、外端の層の長さの差を上端に於ける様に大ならしめればよい。かゝる考への下に設計した理想的コンデンサー型ブッシングは第8圖に示す様な形であつて、その層端をつなぐ曲線はS字形をなすものである。本ブッシングではその中心及び外端の彎曲度は實際の線路の状態使用機器の條件等を考慮に入れて決定せられる。