

計 器 用 縦 續 變 壓 器

高 島 正 一

(Fusi Denki Seizo K. K. Kawasaki Works)

100 kV 以上の高圧の計器用變壓器の進歩は、今日まで電力用變壓器と同様の道程を辿つて來た。即ち設計者は低壓のものと同じ方法で設計し、ただその絶縁丈けを丈夫にして居る。電力用變壓器に於ては、作用材料即ち銅及び鐵の費用は、非常の高壓に於ても套管及び捲線の絶縁費用の何倍にも上るから、こう云ふやり方は當然である。然るに計器用變壓器に於ては之と全く趣を異にし、高壓部分の絶縁と云ふことが構造の主位を占め、變壓部分は殆ど附屬物の如き觀がある。しかも此の變壓部分は實際要求する VA 容量よりも非常に大きくせねばならないのである。例へば獨逸に於て E 級の計器用變壓器は、 $\pm 0.5\%$ の精度で二次側の容量 30 VA が要求されて居るのに、100 kV の計器用變壓器では同じ精度に對して約百倍の容量を持つて居る。220 kV では容量は更に大である。しかも之は全く不必要な事である。

高壓電氣工學の初期に於ては導體は支へ碍子で支へた。然し乍ら此の支へ碍子は電壓が高くなるにつれて甚だしく大きくなり、従つて高價になるので、懸垂型碍子が採用せられ、その一連の碍子のユニット數を増すことによつて全體の値段は電壓に比例する様になつた。然し普通の型の計器用變壓器では條件が頗る悪い。次表は普通の型の計器用變壓器に於て、重量、値段及び試験電壓 1 kV 當りの値段が電壓の高くなると共に著しく増大することを示したものである。

50 サイクルに於ける 定格電壓	試 験 電 壓	全 重 量	1928年初の定價	試験電壓1kV當り に換算した定價
2 kV	10 kV	10,5 kg	170 馬克	17 馬克
12 "	36 "	33 "	280 "	7,8 "
15 "	42 "	65 "	700 "	16,7 "
30 "	68 "	168 "	850 "	12,5 "
40 "	85 "	300 "	1380 "	16,2 "
50 "	103 "	430 "	2100 "	20,4 "
65 "	130 "	700 "	3600 "	27,7 "
80 "	155 "	1000 "	4800 "	31,0 "
110 "	210 "	2175 "	11000 "	52,0 "
150 "	280 "	4000 "	21000 "	75,0 "
220 "	400 "	8500 "	45000 "	112,0 "

定格電壓 3 乃至 15 kV では大した相違は認められないが、比較に便ならしめるために表に掲げた。定格電壓 30 kV 以上になるとその重量従て値段が著しく嵩んで來ることを認めるであらう。即ち電壓が二倍になれば、距離も二倍にとらねばならぬから、絶縁材料に要する費用は八倍

になることになる。高電壓に於ては事實變壓器の値段は電壓の自乗に比例して増し、試験電壓 1kV 當りの値段は電壓に比例して増して来るのを見る。斯くの如く値段が高くなるのは主として套管のためである。たとへば 220 kV の套管は重さ 1000 kg で試験電壓は 50 kV であるが、その値段は一萬馬克に達する。従つて普通のやり方で V 接續の變壓器に於ては二個の套管を要するから、變壓器の値段は四萬乃至五萬馬克となり、かかる變壓器二個を用ふれば、一ヶ所の測定箇所で大約十萬馬克を要することになる。此の様な値は最高電壓網に於ても餘りに高價であるからもつと安價な電壓測定法を考へねばならなくなる。

C 測定法 (C=Messung)

油入遮斷器の如く開閉裝置に既に蓄電器型套管を使用して居るならば、之を利用して相當の精度で電壓測定が出来る。かゝる蓄電器型套管は、同じ靜電容量を持つた圓筒形の導體が幾層も絶縁物と交互に配置されて出来て居るから、電壓は各層一様に分布して居る。そこで靜電電壓計でこの部分電壓を測定すれば、この電壓計に全體の電壓に相當する目盛を施すことが出来る。然し靜電電壓計は測定用として便利なものではないから、近年此の裝置の接續を變更し、部分電壓を測定する代りに變流器と普通の型の電流計とで套管全體の充電電流を測定し、之に電壓の目盛を施す。此の C 測定法と名づくる方法¹⁾で大地に對する電壓及び線間電壓が測定出来、又無電壓計、二重電壓計、周波計で二つの線網を同期化出来る。然し乍ら此の方法は次の諸種の缺點がある。即ちその使用出来る最高の容量は 10 Watt に過ぎないこと、電流線輪のある特殊の計器を要すること、最後にその精度は $\pm 5\%$ に過ぎないこと等である。開閉設備に蓄電器型の套管がない場合には C 測定法を用ひやうとすれば、先づ蓄電器型套管を設備せねばならぬ。それ故 110 kV 以上の電壓では計器用變壓器に餘りかわらない値段となる。

最高電壓設備の測定の接續

從來高壓設備では電力の測定用として二つ測定要素を持つた計器を用ひて居つた。そしてこれは Aron 接續 (Aronschtaltung) で V 接續の計器用變壓器に接續せられて居た。然し乍ら此の測定法では三線式の場合にのみ負荷を正確に測定する事が出来るのである。今日では高壓線網は直接か或は消弧線輪を通じて接地されて居るから、常に四線式と考へられ、その中性線に電流が流れて居る際は二つの測定要素を持つた電力計では誤つた測定をして居ることになる。それ故完全な測定法は三つの測定要素を持つた電力計、及びその高壓側の中性點が接地された三つの計器用變壓器を用ひる場合にのみ可能である。此の種の計器用變壓器は電壓計或は保護繼電器の何れの方法に依るとしても線網の絶縁狀態の監視にも亦必要である。此の様な變壓器には全線間電壓に對して只三個の套管を要するのみである。かゝる變壓器を完全なものとして製作する場合には三肢の鐵心のものを用ひてはならないで、磁束がお互に鎖交しない様にせねばならない。之は五肢の變

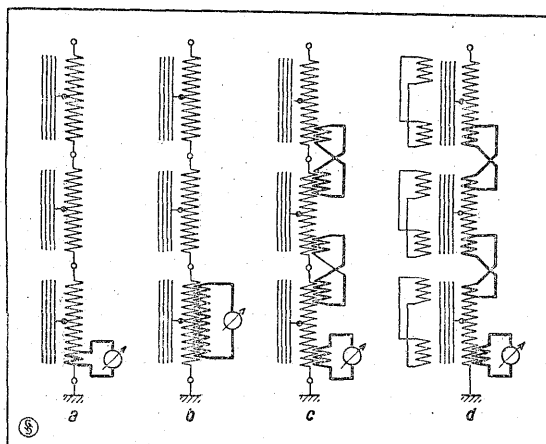
1) Keinath, Die Technik elektrischer Messgeraete, 3. Auflage, II. Band, s. 17-23 参照

壓器を用ひるか或は磁氣的に全然絶縁された三つの獨立した鐵心を用ひることによつて出来る。最近の進歩では一極を接地した三個の單相の變壓器を用ひることである。之は次に述べる Piffner¹⁾ 氏の新考案による接地用縦續塞流線輪及び計器用縦續變壓器である。此の方法は材料を節約出来大なる安全度を有する利益があり、しかも高壓電氣工學上普通の構造に比し明かに都合のよい構造である。

縦續塞流線輪及び計器用縦續變壓器の接續

定格電壓 110 kV のものでは三つの閉磁路の塞流線輪が直列に接續せられ、各捲線の中央が鐵心に接續されて居るから、かかるユニットの絶縁に就ては全體の電壓の六分の一がかかる。即ち吾々の場合には 110 kV で三つのユニットから出来て居るから全然地絡の場合には 18.3 kV 地絡がなければ 10.6 kV の電壓がかかる。10.6 kV や 18.3 kV の絶縁は極めて手易いことであるから非常に安全率の高い設計が出来ることになる。理論としては第一圖 a に示す如く大地側にある線輪から低壓をとつて測定用に用ひる事が出来るが、線輪を通る電流を合理的な範圍に止めやうとすれば、利用出来る容量は僅少となり、假りに 100 V で 100 mA の電流が流れたとしても、實際利用出来る容量は 10 VA に過ぎない。それ故利用出来る容量はほんの小部分に過ぎない。

縦續變壓器の一個のユニットの電壓を全部變壓してとれば測定用として使用出来る容量は甚だしく大となる。即ち此の場合は線輪に流れる電流を僅か 30 mA としても約 1 kVA の容量となる。此の場合の接續は第一圖の b である。然し此の場合には負荷のため大地側のユニットの電壓は降下し全體の電壓が不平等に分布することになる。之を避けるために主捲線に並んで太い線の捲線を設ける。之を連結捲線と名づけ第一圖 c に示す様に一つのユニットから他のユニットに逆に接續する。相隣れる鐵心の磁束が同一の場合には此の捲線には電流は流れないが、たとへば測定用に



第一圖 縦續變壓器の接續圖

使用した負荷のために一つの鐵心の磁束が減少すれば連結線輪は隣の單位から附加的の起電力をとり、斯の様に最後ユニットのところで測定用にとられた負荷はすべてのユニットに均等に分布する。それ故各ユニットは三個の捲線から成り立つ、即ち眞の塞流線輪の細い線の捲線及び太い線の理論上前者程嚴重に絶縁される必要のない、細い捲線に並んである二つの連結捲線がそれである。最後のユニット即ち大地側のユニットに於て

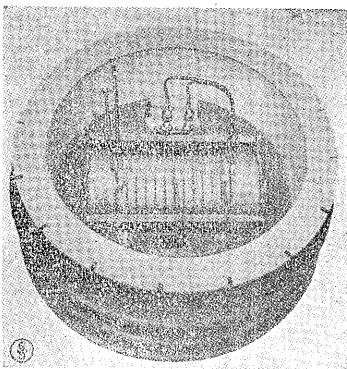
1) E. T. Z. 1926, s. 44

は連結線輪は計器に接続され、又、之と反対端のユニット即ち最高電壓端のユニットの連結線輪は不用である。此の捲線の場所は保護捲線に使用される。此の保護捲線については後に述べる。然しかゝる變壓器はなほ甚だ大なる漏洩が捲線間にある。之を防ぐために各ユニットの總ての捲線に沿ふて補償捲線を設ける。第一圖dは三個のユニットを持つた縦續變壓器の基本的な全體の接続圖である。

縦續變壓器の構造

その接続が通常の變壓器とは異つて居るからその構造も亦根本的に異つて居る。即ち之は高壓捲線、連結捲線、補償捲線と多數の構造分子を有し、又漏洩電壓が高いために普通の型の變壓器に比して變化の可能性が甚だ多い。使用者は次の如き數字に大いに興味を感ずるであらう。

- 1) 計器及び通常の器具に要する程度の負荷即ち約 30 VA 位の小負荷では精度は電壓の誤差が $\pm 0.5\%$ 位相の誤差が 20 分と云ふ程度で之は VDE の級 E に相當する。
- 2) 大きな容量では VDE の級 F に相當する精度を持つて居る。即ち電壓の誤差は $\pm 1.5\%$ 位相の誤差は 60 分或は繼電器をつないだ時の電壓の誤差は $\pm 3\%$ 程度である。
- 3) 精度を考へない時の最高負荷はただ溫度上昇のみによつて制限される。
- 4) 長時間接続に於ける耐電壓性。線大地間に接続された變壓器はその變壓器が接続されて居る他の線が地絡した際にはその地絡の状態が續く限りは線間電壓を受ける。大概の線網では消弧裝置の耐熱量の關係から地絡は一二時間丈けしか續けられない。變壓器も理論上地絡の場合設備の他の弱點をなす消弧裝置より以上に堪える必要はない。
- 5) 試験電壓。之は此の構造では高周波でのみ行はれ得る、此の事は又捲線の試験にもなる。
- 6) サージに對して安全である。
- 7) 其他の利益。目方が軽い事値段が安いこと、据付に場所をとらないこと、屋外用として甚だ便利な事



第二圖 縦續變壓器のユニット

各ユニットは細い線の捲線を有する三肢を持つた外鐵型の變壓器から出來て居る。此の細い捲線は眞の高壓の捲線で二十の線輪から出來て居り、その兩端は太い線の連結捲線につながつて居る。(第二圖参照) 高壓捲線の中央は鐵心に接続され、捲線の端は高級の絶縁物で嚴重に鐵心と絶縁されて居る。各ユニットは星形電壓で 22 kV に設計されて居る。これは連續して線間電壓に堪え、又線間電壓の 1.2 倍の電壓即ち約 45 kV に 10 時間に堪える。之を三ユニット用ふれば 135 kV 四ユニット用ふれば 180 kV 六ユニット用ふれば 270 kV に堪えることになる。著者は此の様な異常の使用狀態を

考慮することが必要であると考へて居る。短時間の過負荷で満足するならば、利用し得る負荷は約 100 %増加する。

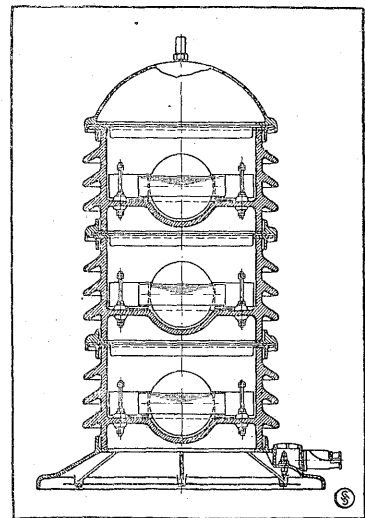
鐵心及び捲線は次の様な寸法の磁器製の容器に收められる。

内徑.....	520 耗
外徑ペチコートのところ.....	680 耗
磁器の全體の高さ.....	350 耗
厚さ.....	20 耗
閃絡電壓注水状態で.....	約120 kV

鐵心は次の性質を持つた電氣鐵板から出來て居る。

星形電壓での鐵損.....	52 Watt.
線間電壓の 100%の電壓の時の鐵損.....	130 Watt.
線間電壓の 120%の電壓の時の鐵損.....	180 Watt.
星形電壓での無負荷電流.....	3.5 mA
線間電壓の 100%の電壓の時の無負荷電流.....	90 mA
線間電壓の 100%の電壓の時の無負荷銅損.....	0.6 Watt.

各ユニットは含浸されない前の状態で星形電壓で試験され、次で磁器製の容器に收められ、(第三圖参照)それから特殊の方法で含浸され、尙残つて居る空所は容器の縁まで可塑性のコンパウンドで充され同時に之は水分が捲線に浸入することを防ぐ。此のコンパウンドはその凝固點が非常に低く、低温でもよくその柔性を失はない。尤もコンパウンドの部分は電氣的に電壓のかからない様特別に設計してあるからコンパウンド中の割目は無害である。電壓は大部分他の絶縁物にかかる様に出來て居る。内部の發生熱量は勿論僅少のものであるが鐵心内で發生した熱は特殊の冷却機關で放射的に一樣に外方に容器の方へ導かれる。それ故一局部の溫度が異常に上昇すると云ふことは絶體にない。第四圖は 110kV 150kV 及び 220kV 用のかかる變壓器の全體の組立了つたところを示して居る。

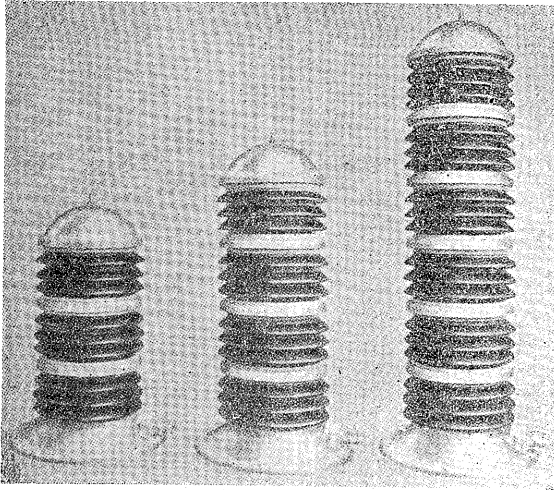


第三圖 ミュニットの縦續變壓器の斷面圖

五十時間連續負荷の場合最高溫度の場所である鐵心で測定した溫度は次の様である。

星形電壓で.....	25° C
線間電壓で.....	60° C

線間電壓の 1.2 倍の時.....86°C



第四圖 110, 150 及 200kV 用の縦続變壓器の組立つたところ

無負荷の時と負荷の場合とで温度上昇は一般に殆ど變らない。三個のユニットの全體の銅線の抵抗は 21000 ohm で線間電壓の 1.2 倍の時の無負荷電流は 15 mA 従つて銅損は 4.73 Watt となる。低壓側の負荷が星形電壓で 57.8 Volt 即ち 100 Volt 線間電壓で 300 VA の時は二次の銅損は 14.5 Watt である。その利用範圍を廣くするため各縦続變壓器に二個の各獨立ししかも捲數の同じ二次線輪を具へる事が出来る。その一つは計器用に用ひ他は絶縁監視裝置又は繼電器への接続に用

ひられる。

以上の概論に續いて此の新變壓器の性質を述べたいと思ふ。

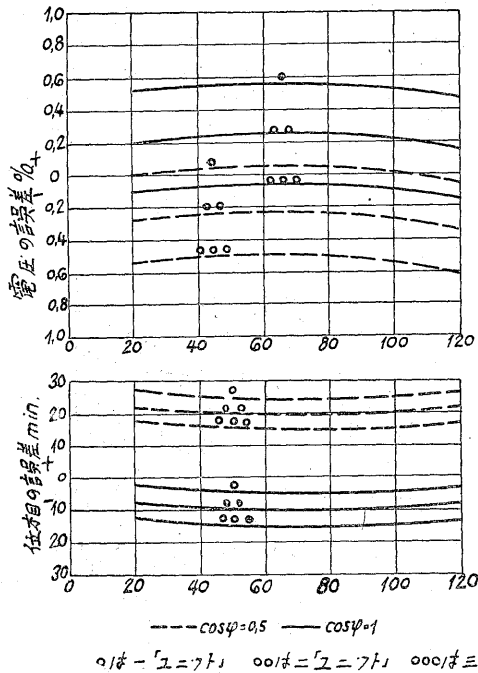
精度

與へられた範圍内の精度では許し得る負荷は負荷の種類のみならずユニットの數によりて變化する。此の際許容負荷は略々ユニットの數に逆比例して減少する。試験の結果次の數字を得た。但し此の際ユニットの數の増加につれて二次の捲線を調整した。

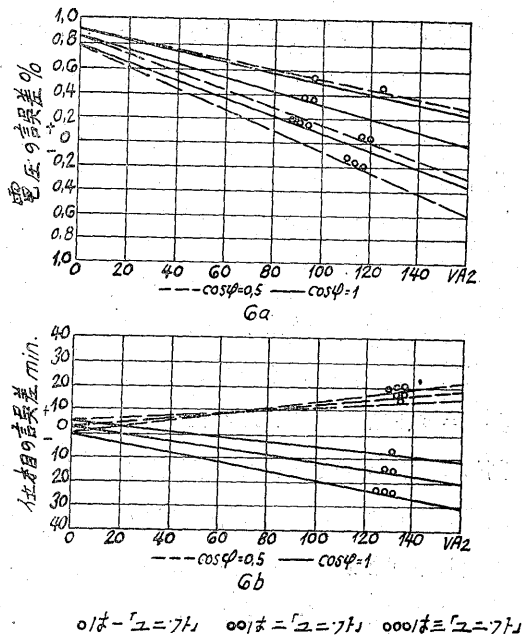
ユ ニ ッ ト 數	1	2	3	4	5	6
最 高 線 間 電 壓	38	75	110	150	185	220kv
力率 0.5 乃至 1 の誘導負荷の時位相の誤差 20分の場合	150	110	80	60	50	40VA
同上 電壓の誤差 ±0.5% の場合	220	140	100	80	65	55

第五圖はユニットの數が各 1, 2, 3 の時 100 VA の二次負荷の際の誤差を示す。誤差は常に星形電壓でその常規電壓を基準にして居る。一線が地絡した場合の如き異常状態では誤差は勿論之より大であるが、かかる異常状態はほんの束の間に過ぎ去るもの故問題にする必要はない。第六圖 a 及び b は星形電壓の時ユニットの數が夫々 1, 2, 3 の場合の二次負荷と誤差との關係を示す。但し之は捲線の調整はしない時の曲線である。

第六圖 a は二次負荷と電壓の誤差との關係で第六圖 b は二次負荷と位相の誤差との關係を示す。



第五圖 二次負荷 100 VA の時の電圧と誤差との関係を示す曲線



第六圖 星形電壓に於ける二次負荷と誤差との関係を示す曲線

負荷

之は既に述べた様に要求された精度の他にユニットの數によりて異なる。即ち下表の如くである。

ユ ニ ッ ト 數	1	2	3	4	5	6
50サイクルに於ける最高定格電壓	38	75	110	150	185	220kV
級 E (0.5 %, 20')	150	110	80	60	50	40VA
級 F (1.5 %, 60')	450	330	240	180	150	120 "
級 3 %	1000	600	500	350	300	250 "

又周波數の小さい場合には使用電壓及び負荷共に下表の如く小となる。

ユ ニ ッ ト 數	1	2	3	4	5	6
42サイクルに於ける最高定格電壓	30	60	90	120	150	180 kV
16%サイクルに於ける "	25	50	75	100	125	150 "
42サイクルに於ける級 E	125	90	65	50	40	35 VA
42サイクルに於ける級 F	375	270	200	150	120	100 "
16%サイクルに於ける級 F	150	110	80	60	50	40 "

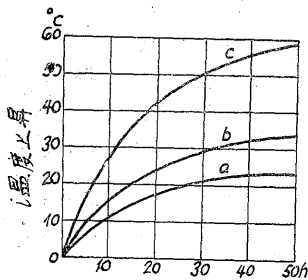
最高負荷

第七圖は星形電壓 67 kV で三ユニットの變壓器の際の 1000 VA までの誘導負荷及び無誘導負荷の場合の電壓誤差を示す。同時に銅損及び連續使用狀態の捲線の溫度上昇ものをせてある。此の曲線よりして縱續變壓器で吾々が利用して居る負荷よりもはるかに大なる負荷に堪える事が了解出来る。

連續使用狀態での耐電壓度

各ユニットの最大電壓は 38 kV である事は既に述べた。約 20 % 連續過負荷出来るから最高 45 kV となる。各ユニットは捲数が 18000 で 20 に分割してあるから一捲きの電壓は平常狀態に於ては、1.2 Volt、地絡で 20 % 電壓上昇の際は一捲の電壓は 2.5 Volt 従つて其の際の一分割線輪の電壓は

約 2300 Volt である。説明するまでもなくかかる小さい電壓に對する絶縁は何等の問題でもない。各線輪は高周波で八時間 30 kV の電壓で閃絡することがない。各捲回は良くお互に絶縁されてある。二つの捲回間では四乃至五 kV で閃絡が起きる。縱續變壓器は平常狀態の捲回間の電壓が小さいのであるから線間短絡に對して甚だ安全である。又此の變壓器の溫度上昇は既に述べた如く甚だ少い。溫度上昇は頗る緩慢である。第八圖は時間と溫度上昇との關係を示した曲線である。



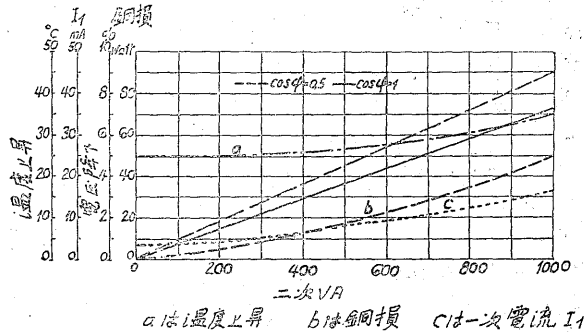
aは星形電圧の場合
bは線間電圧の場合
cは線間電圧の120%の場合

第八圖 鐵心の溫度上昇

壓 10KV 以上では

試験電壓 = 1.75 定格電壓 + 15 kV である。

即ち此の規定で行へば



第七圖 三ユニットの縱續變壓器の星形電壓に於ける
二次負荷と諸量との關係を示す曲線

試験電壓

鐵心に對する 最高電壓は地絡の際 19 kV である。試験は高周波で行ひ各ユニットに對し 80 kV と定めてある。之は鐵心に對して 40 kV に當る。最も危険な點即ち捲線の端での閃絡電壓は使用狀態で溫度の上昇した際に行ひ八回の實驗の結果の平均値は 100 kV で 90 kV 以下では閃絡は一度も起らなかつた。それ故試験電壓に對して 100 % の安全度がある事になる。

今日獨逸に於ては計器用變壓器は計器用變流器よりも低い電壓で試験されて居るので、計器用變壓器は定格電

定格電壓 110 kV では試験電壓は 208 kV

150 kV では試験電壓は 278 kV

220 kV では試験電壓は 400 kV である。

が、此の縦續變壓器では高壓器具、油入遮斷器、及び計器用變流器と同様の規定

試験電壓 = 2.2 定格電壓 + 20 kV

の公式まで試験電壓を上げる事が出来る。

即ち

100 kV の試験電壓 = 240 kV

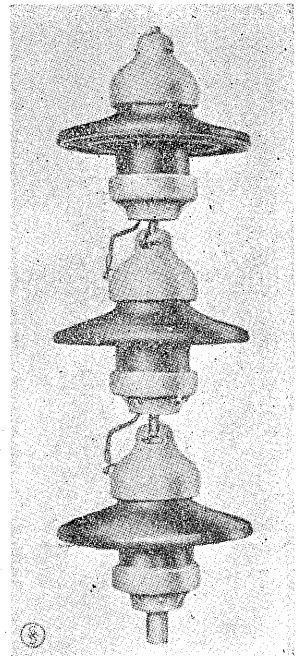
150 kV の試験電壓 = 350 kV

200 kV の試験電壓 = 430 kV

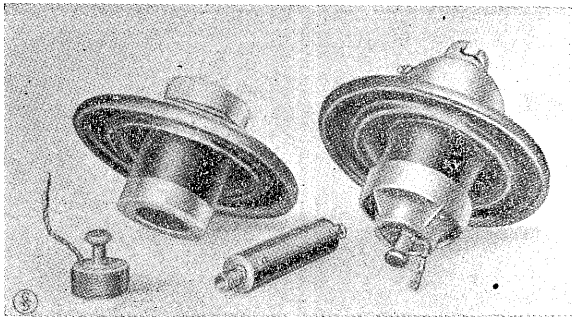
此の新縦續變壓器は此の様な高い電壓で試験出来る。ここに注意すべき事は絶縁試験は低周波では無負荷電流が頗る大となるから高周波でのみ行はれると云ふことである。

サージに對する耐力

定常電壓の場合には此の縦續變壓器は各々のユニットに電壓が最も有効にかかり得る。三ユニットのものでは定格電壓の六分の一に六ユニットのものでは定格電壓の十二分の一に對してのみ絶縁する。之に反してサージの如き定常電壓でないものに對して縦續方法は効果が無い。此の場合にはサージは捲線の端に浸入し、其の所で電壓分布の變化を起し捲線の絶縁を破壊しようとする。特殊の場合を除けば一般に捲線の入口と捲線の出口が一極接地の場合でも一番損ぜられる。捲線をサージに絶體的に耐える様にする事は不可能である。が使用状態に起るサージ開閉の際に起るサージ、或は雷の如きサージに對して捲線を損ぜられない様にする事は可能である。陰極線オシログラフやクリドノグラフによる近年の研究や理論によつて吾人は此のサージの大きさや波長に就て或る程度まで分つて居る。短時間の過電壓は線間定格電壓の三倍まで起り、電壓上昇相の長さは 50 米突位までである事はたしかである。それ故 110 kV の縦續變壓器では波高電壓は 350 kV に上り捲線の長さ 1 米突に就き 7 kV 電壓上昇が起る事はなる。偶然にも縦續變壓器の一捲の長さは約一米突であるから一捲に 7 kV の電壓がかかることになる。最も危険な最上部のユニットには連結線輪の場所があいて居るから此の場所を用ひて入口の捲線は全く特別に丈夫に絶縁出来る。即ち最初の一十捲回は各捲回間の閃絡電壓が 50 サイクルで實効値 50 kV 即ち最大値 70 kV となる様に絶縁されて居る。経験によると衝撃電壓に對する閃絡電壓は甚しく高く 50 サイクルの時の約三倍即ち 200 kV と見積られる。次の二千捲回は最初の一十捲回よりも少く絶縁してあつて各捲回間の衝撃電壓に對する閃絡電壓は略々 100 kV である。それ故安全度は甚だ高く 700 kV のサ



第九圖 制動抵抗



第十圖

合で此の抵抗も屋外用としのみ製作され線網から變壓器への接続の途中に吊下げられる。(第九圖参照)使用状態で之にかかる電壓は極めて僅かであるから、此の抵抗の絶縁に就ては何等高い要求がない。外部の碍子は單なる風雨の害を防ぐ防禦物に過ぎない。

重量、値段、大きさ

今までのべた事よりして放電器としての接地線輪としても利用出来る此の新縦續變壓器はその耐電壓性と云ふことに關しては間然するところなく、其設計の思ひ付きが頗る優秀であるため他の種類の變壓器の企及することが出来ぬ程安全であることが了解されたであらう。縦續變壓器のユニットは全部で約二百瓩であるそれ故之を本文の初頭に掲げた表と對照すると下表の如くなる

定格電壓	通常の型の變壓器		縦 續 變 壓 器		重量の節約
	重 量	試 驗 電 壓	重 量	試 驗 電 壓	
110 kV	2175 kg	210 kV	775 kg	240 kV	65%
150 "	4000 "	280 "	1000 "	320 "	75%
220 "	8500 "	400 "	1500 "	460 "	82%

尙 110 kV の通常の型の計器用變壓器の値を百としてその値段を比較すると下表の如くなる。

定 格 電 壓	通常の型の變壓器	縦 續 變 壓 器	値 段 の 節 約
110 kV	100	55	45%
150 "	200	75	62%
220 "	400	120	70%

以上二表よりして此の縦續變壓器は高電壓に對しては値段の點からしても甚だ卓越せることが分る。100 kV 以下の電壓に對しては 70 kV 迄は縦續變器の方が安價であり、50 kV でも屋外用の場合は縦續變壓器の方が安價である。ベースの直径は各電壓何れも同じで一米突十種、高さは電壓が大きい程大きく、ベース及び上蓋を入れた全體の高さは下表の様になる。此の寸法は降雨の際の閃絡距離に對する普通の標準に適合して居る。

110 kV に對して	1550 耗
150 " に對して	1900 耗
220 " に對して	2600 耗

ージが起ると考へられる六ユニットの 220 kV の縦續變壓器でも充分である。

それにもかかはらずその上制動抵抗が用ひられて居る。之は誘導的に磁器製の圓筒に捲いたエナメル抵抗であつて、定格電壓 20 kV 毎に 2000 Ohm であるから 100 kV に對しては 10000 Ohm の抵抗が直列に接続される。製作の都



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。