100,000A 28,000kVA 電氣爐用變壓器

富士電機　技術部　山　本　利　藏

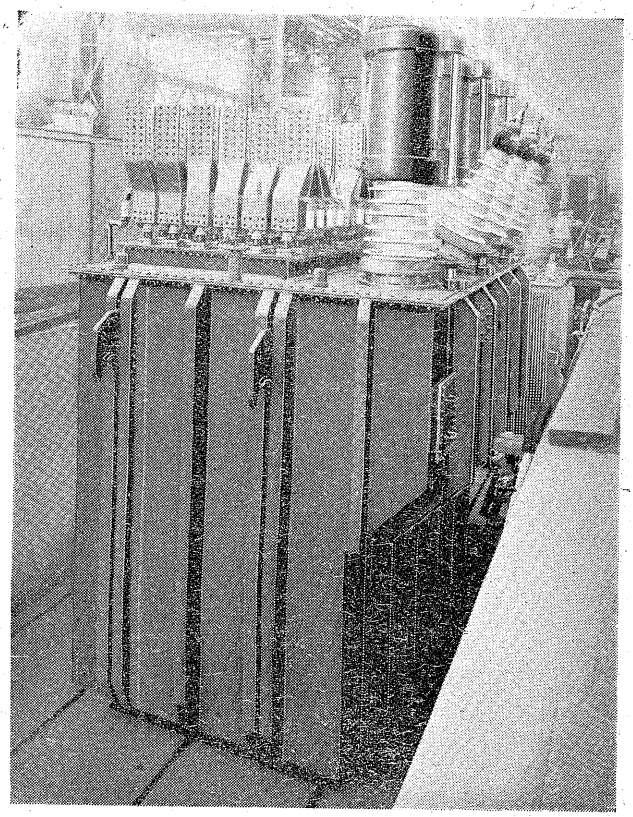
內　容　梗　概

今回完成を見たる 28,000kVA 電氣爐用變壓器に付き、其の特色即出力が大なること、一次電壓が 60kV なること、負荷時電壓調整裝置を附したること、送油水冷方式たること、水冷式導管端子を使用し油膨脹槽を附したること、導體にアルミニユームを使用したること、輸送上の車輛限界內に收めたること、等々につき說明を加へたものである。

I　緒　　言

近時目覺しい躍進を續けて居る電氣爐の發展の一半はその電源設備の技術的進步に起因すると云ふ事が出來る。電氣爐用變壓器の進步發達はその內最も重要なる役割を果しつゝあるものと云ひ得るであらう。

弊社は曩に本誌第17卷第2號誌上に詳細紹介發表せる如く、先年單相 8,000kVA 84,000A といふ本邦電氣爐用變壓器の記錄的製品の製作に成功し、その構造上、性能上、或は重要資材の節約的見地に於て幾多の新機軸を案出した。該製品は目下好評裡に朝鮮○○工場に於て重要資材の生產にその使命を果しつゝあるが、今回更に3相 28,000kVA 100,000A の電氣爐用變壓器を完成し、成功裡に工場試驗を完了近く現場据付の運びとなり、電氣爐用變壓器の記錄を更新する事となつたので、此の機會に之が內容の概要を紹介する事とする。



第2圖　外　　觀

II　仕樣及特性の大要

第1圖は本器の外形第2圖はその完成寫眞であるが、その仕樣は次の通りである。

型式 RKW　負荷時電壓調整裝置付內鐵型屋內用送油水冷式

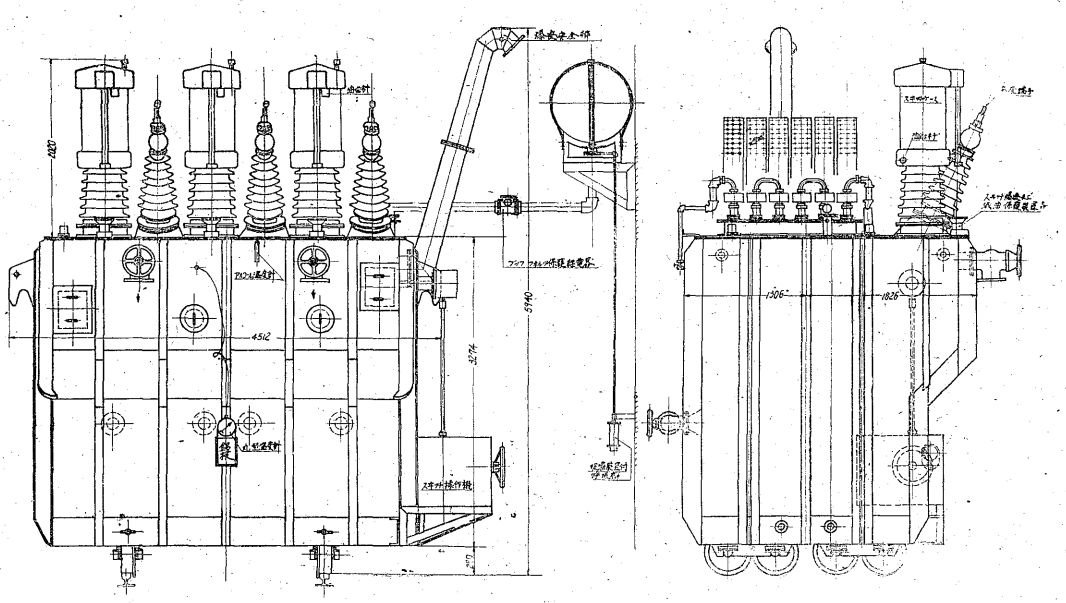
相　數　3　　周波數 60 サイクル

出　力　28,000kVA

電壓　一次　60,000V

二次　181～118V（此間17段階負荷時電壓調整）

電流　一次　270A



第1圖　外形圖

二次	100,000A			
全重量	83,000瓲（冷却裝置を含まず）			
油　量	20,000立			
鐵　損	計算値	125kW	實測	123kW
銅　損	〃	293kW	〃	296kW
能　率	〃	98.53%	〃	98.53%

III 本器の特色

1. あらゆる點で本邦最大最新の記錄品である

先づ出力の點に於て、本邦に於ける電氣爐用變壓器の單器出力は現在迄に於ては 10,000kVA 前後が最大のものであつたが、本器は一躍其の約3倍に達した製品である。電氣爐用變壓器は二次電流が膨大な値となるので二次タツプ電壓は一次側に置換え設置される關係上、その鐵心の大さは變壓器の最小アンペアターンの時、卽ち二次最高タツプ電壓の時の最大磁束密度に依つて決定され、一次卷線卷回數は二次最低タツプ電壓時に最大となる。從つて本器は定格出力は 28,000kVA ではあるが、之を一般電力用變壓器と比較すれば、變壓器鐵心は約 32,000kVA に相當する斷面積を有し、一次卷線容量は約 38,000kVA 相當するものとなつて居る。

技術的に見るに、本器は 60,000V 送電電壓より直接電氣爐電壓に遞降するもので、而も 53% に及ぶ廣範圍のタツプ電壓を 17 段階に負荷時電壓調整を行ひ、且つ二次電流は 100,000A と云ふ巨大なものである。從つて設計上種々の苦心考慮が拂はれて居り、鐵心及び卷線等も普通の內鐵型變壓器の概念を一擲したと云へる程度に今迄とは懸け離れた構造、配置を採用して居る。此の意味に於て單に數字上のみでなく技術的にも最新の特筆すべき製品であると言へる。

2. 60,000V 送電電壓を直接電氣爐電壓に遞降して居る。

電氣爐用變壓器は一般に負荷の性質上、普通の電力用變壓器に比し非常に苛酷な變動負荷を受ける爲機械的衝擊を受ける機會多く絕緣上好ましくない狀態にある。

又有害瓦斯又は埃の極めて多い場所に使用されるにも拘らず、大電流二次端子の油密或は氣密構造が困難な爲變壓器の呼吸作用により之等が變壓器內に吸入される事の爲に變壓器卷線の絕緣保護が不充分になる憂がある。

又二次電壓は廣範圍に、而も多段階の電壓調整が要求されるが、この多數のタツプは膨大な二次電流と、二次卷線卷回數の僅小なることとの爲例外なく一次側に置換え設置される。一次側に置換えられた廣範なタツプ卷線は、それが遊んで居る時に、給與電壓よりも可なり高い電壓を誘起し且つ進行波に對して自由端を形成する。タツプ卷線端に誘起される電壓はタツプの設置方法如何に依りては給與電壓に對し二次最高電壓と最低電壓との比に相當する電壓となる。本器の例に於ては $60{,}000\text{V}\times\frac{181}{118}=92{,}000\text{V}$ の値となる。此の樣な高い電壓が誘起せられること及び振動に對し自由端を形成することは益々卷線絕緣に對する脅威を加へる事となる。

之等の關係から一般には電氣爐用變壓器は3,000V乃至30,000V程度の配電電壓に依り給電せらるゝのが普通で、絕緣に對する種々の脅威を技術的に克服し得なければ本器の例に於ては 28,000 kVA 4基に對し60,000V 30,000kVA 4基の中間變壓器の必要が生じて來る譯である。

弊社は昭和4年 60,000V 單相 4,500kVA 電氣爐用變壓器の製作に成功し電氣化學工業株式會社青梅工場に納入したが、これが本邦に於ける 60,000V 電氣爐用變壓器の最初の製品で、當時 60,000V 電氣爐用變壓器は外國に於ても殆んど例がなかつた樣である。其後引續き同社大牟田工場に 60,000V 單相 6,500kVA のものが設置され、共に現今に到る迄好調に運轉を繼續して居る。

今回の計畫の初に於いては中間變壓器の設置が問題になつた樣にも聞いて居るが弊社に依つて製作せられた 60,000V 電氣爐用變壓器の優秀性が確認された事に依つて、膨大な中間變壓器を何等の不安なく省略し得た譯である。

3. 負荷時電壓調整裝置を附屬して居る。

電氣爐用變壓器の二次電壓の調整は電氣爐の操業の安易な點より云つても、均一な製品を得る點より云つても、電壓の調整に際して電流遮斷の必要のない負荷時電壓調整が望ましい事は勿論で、更に本設備の如く大容量電氣爐が集中して使用される場合には、送電電壓の安定、卽ち送電電壓の擾亂を來さしめざる爲にも負荷時電壓調整は不可缺の條件となる。

然るにタツプ卷線は前述の如く高電壓を誘起する憂があり、又進行波に對しても絕緣上の弱點となる惧れがあり、之に直接接續される調比裝置は此の絕緣上の脅威に十分耐え、而も機械的にも調整頻度の極めて高い電氣爐用變壓器用として充分な堅牢性、耐久性及び確實性を具備して居なければならぬ。

弊社が曩に製作したる 60,000V 4,500kVA 電氣爐用變壓器は當時未だ負荷時電壓調整裝置が今日の如き發達を見ず、手動操作の無負荷調比裝置が使用せられたが、本器には前記の條件に最も良く適合する富士發動型負荷時電壓調整裝置を使用した。

從來電力用變壓器としても、60,000V 側に負荷時電壓調整裝置を附したものはなく此の點に於ても記錄的製品である。

富士發動型負荷時電壓調整裝置は優秀な遮斷能力を有する高速度發動型負荷切換裝置と、精巧な機能を有する調比裝置とより構成されて居り、絕緣耐力の保持に優れた特徵を持つて居る事は、旣に本誌第16卷第8號に紹介されて居る處であるから詳細の說明は省略するが、電壓變換に要する正味時間が2サイクル（50サイクルとして）0.04秒と云ふ超短時間であるといふ一事を以てしてもこの裝置の特性の一端が窺はれるであらう。

本器に附屬する電壓調整裝置のタツプ電壓は 17 段階で調比裝置には極性變換裝置が併用されて居る。

負荷時電壓調整裝置の制御は遠隔制御電動操作方式で、裝置には誤操作及び誤動作を完全に防止する爲に機械的及び電氣的に二重鎖錠が施されて居り、非常の際或は必要に依つては手動操作も可能である。

4. オイルコンザベータの使用

電氣爐用變壓器を直接送電線に接續する事を躊躇せしめた重大な理由の一つは變壓器の呼吸に依り吸入される有害瓦斯又は埃に依つてその絕緣が脅かされるからであつた。一般に電力用變壓器に絕緣油の劣化防止裝置として使用されるオイルコンザベータは、變壓器函內の油壓を高め變壓器呼吸作用に依り瓦斯、埃等が

直接變壓器函内へ侵入するのを完全に防止する事が出來る事と、オイルコンザベータ内へ吸入された瓦斯或は埃又は之等に依つて汚損せられた油を直接變壓器内へ流入せしめる事なく處置出來る事との爲に、防塵の目的にも非常に有効適切な裝置であるが、電氣爐用變壓器では膨大な二次電流を外部へ導く套管を完全な油密構造とする事が困難で、此の部分よりの洩油を防止する事が出來ないので、電力用變壓器の場合よりもより以上に必要な裝置であるにも拘らずあまり用ひられなかつたのである。

本器に於ては後に述べる通り 100,000A 二次套管として水冷式銅管端子を採用してゐる爲、最も困難なる大電流二次套管の油密を完全にする事が出來るので、オイルコンザベータを使用する事が出來、電氣爐用變壓器の重大な問題の一つである絶緣の劣化問題の解決に成功して居るのである。

オイルコンザベータの呼吸口には吸濕器付呼吸瓣が設置されて居る。呼吸瓣は變壓器の或一定限度以内の溫度變化による壓力差に對しては大氣中に開口しない。從つて吸濕劑はこれに依つて大氣と遮斷されて居る事になるので、吸濕劑が不斷に大氣中から濕氣を吸收する事がなく吸濕劑の吸濕機能の早期退化を保護して居る。吸濕器は吸濕劑の吸濕機能が飽和狀態になつた場合之を檢出識別出來る樣になつて居る。

5. 組立輸送が出來る

電氣爐用變壓器及び電氣爐は容量が大きくなる程能率が向上し、熱經濟の點より云つても有利となる。又据付場所も小になるので建設費が經濟的になるばかりでなく、電氣爐の作業能率をも向上し得る筈である。此等の點より云つても、又同容量に對する所要資材量が少くて濟む點から云つても、電氣爐の計畫が餘剩電力の利用と云ふ樣な特定な條件に支配されない限り、變壓器及び電氣爐の容量は技術的に許される範圍で出來る丈大きい方がよい事になる。處が一方變壓器が大きくなる事は變壓器の輸送と云ふ點で大きな問題になる。變壓器を組立てた儘輸送し得るか、或は重量、寸法の關係よりして解體しなければ列車輸送が出來ないかは大きな問題である。電力用變壓器では組立輸送が出來ない樣な大容量のものでも變壓器外函を上下に分割し、下部外函に變壓器中味を納めて輸送する所謂分割輸送法を採用する事にすれば變壓器現場据付作業も比較的簡單になり輸送も樂に出來ると云ふ手もあるが、電氣爐用變壓器では二次端子を取外し外函を分割すると云ふ事は變壓器を解體する事と同樣で、特に本器の場合に於てはこの爲に 100,000A の引出導體に接續部を設ける等の事は不可能に近く、假に實施したとしても現場に於ての作業は大變なもので解體輸送した場合と何等異る處がないものとなる。從つて電氣爐用變壓器を輸送する場合變壓器の分割輸送と云ふ事は意味のない事で外函は勿論分割する事なく、二次端子等も取付けた儘で荷姿が鐵道車輛限界以内に納り、重量の制限をも突破しない事が必要である。

本器は前にも述べた樣に 28,000kVA 100,000A と云ふ本邦記錄的製品であるにも拘らず後に述べる通り、鐵心、卷線及びその配置に特異な方法が講ぜられて居る爲に變壓器寸法を前述の列車輸送條件に適合させる事が出來、斯かる大容量電氣爐用變壓器の組立列車輸送と云ふ特筆すべき計畫を實現する事が出來た。オイルコンザベータ、一次套管、負荷時電壓調整裝置の上部負荷切換器槽、及び同支持碍管及び操作機構函等の外部より容易に取付け取外しが出來る部品のみを取外し別送し、100,000A の二次端子は變壓器に取付けた儘、窒素瓦斯封入に依り鐵道輸送し、据付現場に於いての組立作業及び乾燥の手數を省略する事とした。

IV 構　　造

本器は前述の通り多くの特異性を有する爲構造上種々特異な設計が採用され、又獨特な工作が加へられて居るので次に之等特異な點を摘錄して見る事とする。

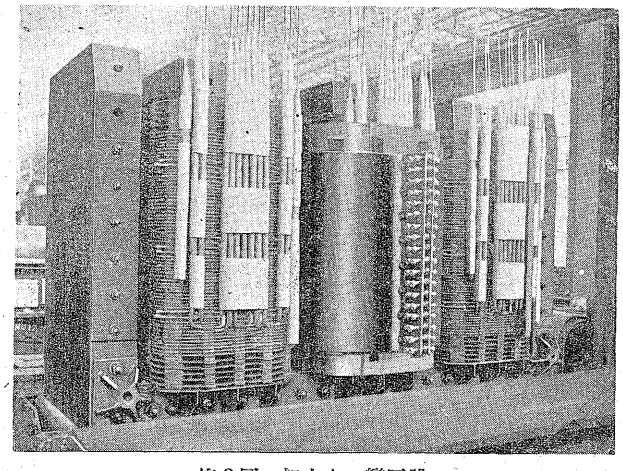
1. 鐵心

鐵心は内鐵型矩形斷面の五脚鐵心で、鐵心の成層方向に直角な冷却油道と、成層方向に平行な一條の通油道を持つて居る。鐵心は卷線を裝置後之を横倒しにして變壓器外函内に設置し、外見はあたかも三相外鐵型變壓器の樣な設置樣式を執つて居る。

鐵心の傳熱効果は鐵心の成層方向と、成層方向に直角な方向、即ち鐵板に添ふ方向とでは甚だしい相違がある。從つて鐵心の冷却を合理的ならしめる爲には鐵心成層方向に冷却油道を設ける事が最も有効適切である事は今更事新らしく述べる迄もない事で、弊社が成層方向油道を採用し、冷却効果少き鐵板に平行の油道を設けない所以も茲にあるのである。處で本器にはこの冷却効果少き平行油道が異例として直角油道と並置されて居るが、これは鐵心冷却油道としての必要からでなく、變壓器鐵心に五脚鐵心を採用し、鐵板幅を適當に保つ爲に鐵心を矩形斷面とした結果、變壓器卷線はあたかも外鐵型變壓器に於ける如く鐵心に包圍される事となり、卷線の鐵心繼鐵部に覆はれる部分が比較的大きくなり、卷線の冷却油通路が之に妨げられる爲、この部分に對する卷線の冷却油補給路として設置されて居るのである。第3圖は鐵心に卷線の一部を設置したものを示す。

2. 卷線

一次卷線は板狀矩形線輪を積重ね、二次卷線は一枚の銅板を用ひた角筒形の一回卷線輪で、その配置は一次卷線を内側に、鐵心に對し同心的に設置して居る。從つて一次矩形卷線は外部より强力な二次銅板卷線に依つて抱擁保護された格好になり、二次卷線の長邊側はその外側より更に五脚鐵心繼鐵部に依り支へられ、短邊側は卷線締付枠に依り外側より强力に支持されて居る。從つて機械的强度に弱點を持つと云はれて居る矩形線輪を採用して居る

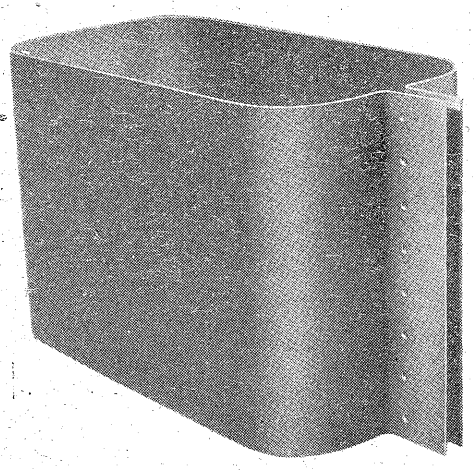


第3圖　組立中の變壓器

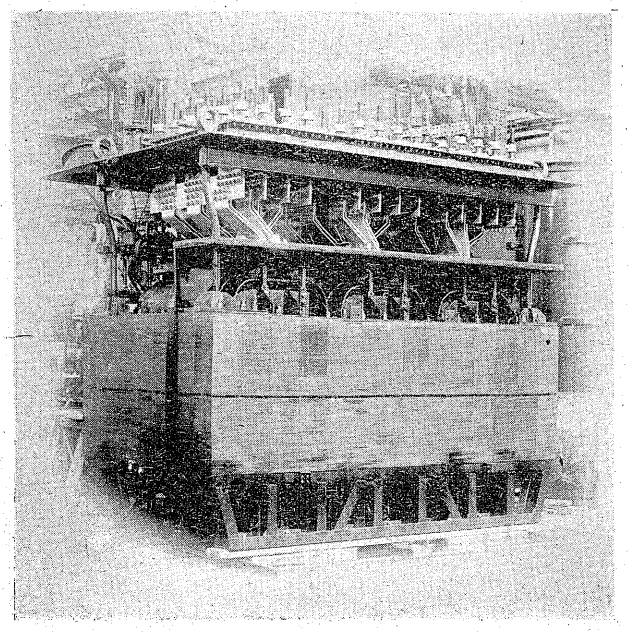
にも拘らず機械的には何等の危惧を要せざる程度に強力なものとなつてゐる。第4圖は二次卷線を示し第5圖第6圖は組立てられたる變壓器中味を示す。

一般に電氣爐用變壓器に於ては二次短絡の場合に於ける機械的強度を十分なものとする爲に二次卷線に平銅板線輪を用ひ、一次、二次卷線を交互積重ね配置、卽ちサンドヰツチ配置とする方法が多く採用される。處で平銅板線輪では線輪內邊と外邊とでは、その電流通路の長さが異る。從つて銅板內に於ける電流通路の抵抗が各部夫々異る事となり、この爲銅板內に於ける電流密度が線輪內邊に集中する傾向を生ずる。然るに本器の二次卷線は第4圖及第5圖に依つて了解される樣に導體內に於ける電流通路の長さは等しく從つて導體內に抵抗の不平衡はなく、且又卷線接續導體或は二次口出套管を含めても長さの不平衡從つて抵抗の不平衡を生ずる事がない。更に一次卷線に對する關係位置も各部同樣であるから二次卷線內或は接續導體內に於て不平衡電流を生ずる憂がない。

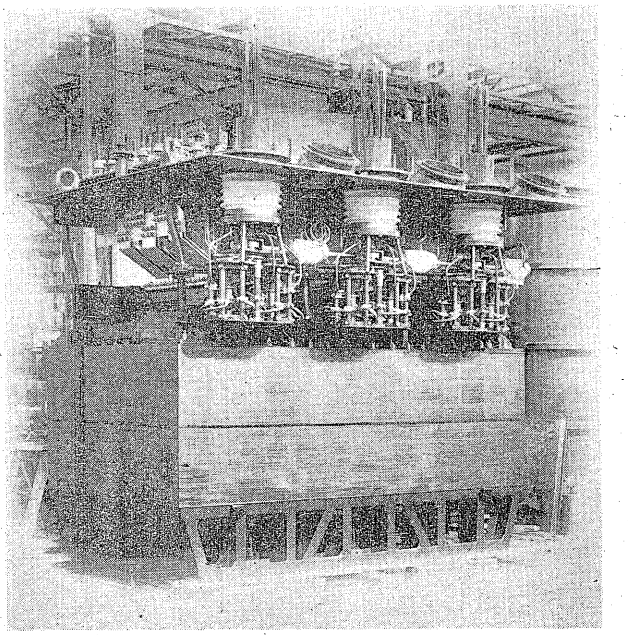
然し本器の如き構成は油の自然對流を利用する冷却方式には不適當であるが本器の冷却方式は重要資材節約の見地より所要資材



第4圖　二次卷線



第5圖　變壓器中味完成（1）



第6圖　變壓器中味完成（2）

量最も少き送油水冷式が採用されて居るので油ポンプに依つて變壓器內へ送り込まれる循環油は變壓器函內に設けられた油の導入堰に依つて鐵心及び卷線の冷却油道へ强制導入され變壓器の冷却作用を遂行する。第5圖前面の棚狀板及び鐵心上下と側面の板は循環油の强制通路を形成する堰板である。

3.　二次套管

100,000A 二次側套管には連續丸銅管の內部に水を通した弊社獨特の所謂水冷式銅管端子を採用して居る。變壓器二次卷線は電氣爐電極への接續部に於て三角結線される。從つて變壓器は58,000A 二次套管6組を有してゐることになる。端子は一相分每に正負交互に四列配置とし、各相共正負交互配置された 48 枚の爐への接續導體に接續される。水冷式銅管端子に對しては本誌第17卷第2號上に解說した爲玆では省略するが、之の爲斯樣な大電流二次套管の變壓器蓋貫通部を確實に油密とする事が出來る爲電氣爐用變壓器では一般に取付困難視されて居たオイルコンザベータを附屬せしむる事が出來て居る。

4.　二次口出導體が最短になる如き特殊構造

電氣爐用變壓器に於ては二次口出導體の長さは卷線導體の長さに對し可なり大きな比率を占めるもので、時に依つては卷線導體長さを越える場合さへある。從つてこれが配置、撰定の巧拙如何は直接變壓器の能率に大きな影響を及ぼし、又電流並列通路のインピーダンスの異る樣な事態を生ずると導體內に電流の不平衡を生じ浮遊損の急增を來し、益々能率の低下を來すばかりでなく局部過熱等の危險を生ずる。

本器は前項に於ても述べた樣に鐵心と卷線との配置に獨特の方法が講ぜられ、これに冷却方式の利點を巧に關聯せしめ、且又水冷式二次套管の特長を十分に利用する事が出來之等の綜合的結果として本器の二次卷線口出導體は最も合理的なものとなり、その長さは變壓器として考へ得られる最短の長さを執り得る事となつた。而してその電流通路は各部皆同一長さとなつて居り、一次卷線に對する位置的關係も亦同樣となり、導體內に於ける電流密度

の偏位等は殆んど完全に近く除去する事が出來て居る。又斯樣な卷線配置を採り得た事は二次口出導體の長さを極端に短く爲し得たばかりでなく、變壓器の高さを少からず短縮する事が出來て、28,000kVA 100,000A と云ふ本邦記錄的製品の列車輸送と云ふ劃期的な企をも實現し得たのである。

V 銅資材の節減

電氣機械に於て銅材節約の爲め卷線導體にアルミニユームを使用する場合、卷線導體の導電率低下を補償する爲には導體斷面積を增す必要がある爲導體の空間占有率を增し、副資材の增加を來すばかりでなく能率の低下を來す事は今更述べる迄もない事である。電氣爐用變壓器は膨大な二次電流を必要とする爲普通の電力用變壓器に於ては殆んど問題にもならぬ卷線口出導體及び二次端子に多量の導體を必要とし、その量は場合に依つては二次卷線導體量に匹敵、或はそれ以上にも達する事がある。この口出導體及び二次端子はその寸法の撰擇及び配置如何に依つては能率或は副資材量に影響を及ぼす事なく、銅以外の導體に置換ふる事が出來る筈で、本器に於ては卷線導體及び二次端子の通水部分を除き他の通電部には總てアルミニユームを使用した。

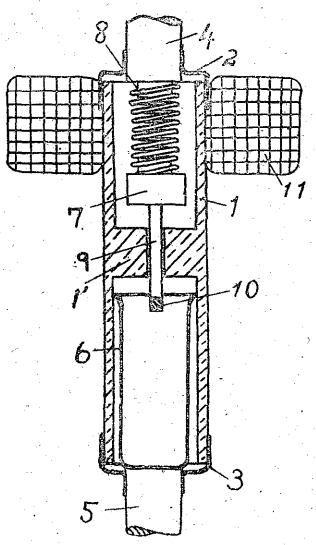
アルミニユームに置換えられた銅量は一臺當り約 2,500 瓩であるから 4 臺で約 10,000 瓩の銅量が變壓器の性能を低下させる事なしに節約された事になる。玆で一應考へられる事は二次卷線を本器の樣な構造にすれば、これも其の儘アルミニユームに置換えられさうに考へられる事である。つまり卷線抵抗を銅の場合と同じにする爲めにはアルミニユーム板を厚さ方向に約 67% 增せばよい譯で實際問題としてはこの厚さの增加は數粍程度のものであり、而も二次卷線は外側であるから副資材の增量も無視し得るものと考へ得る事である。處が此の場合導體の厚さを漏洩磁束に直角の方向に數粍增す事は導體內の渦流損を大いに增す事になり、導體厚さは或程度以上に增す譯に行かぬ。從つてアルミニユームに置換えるとすれば鐵心窓高を增し導體幅を增すか、或は導體を厚さ方向に 2 枚に分割して導體厚さを或限度に限定する必要が生ずる。導體幅を增す事は副資材の增量を來すばかりでなく、之の爲に變壓器の組立輸送が出來なくなり、導體を二枚並列とすれば、內、外側の導體は一次卷線との距離が異り、導體長さも相違する事となつて、各卷線の漏洩インピーダンスが異り、二次電流の不平衡を生じ浮遊損を增加する事になる。從つて今回は之を避けて、アルミニユームの使用を變壓器の性能及び副資材量に影響の無い口出導體又は二次端子接續導體に限定したのである。

VI 結　　言

本變壓器は以上述べた通り、出力、電壓、電流等に於て本邦の記錄的製品であるのみならず、その製作に當つては、經濟的にも技術的にも諸種の困難を克服し、而も其の間資材、勞力の合理的節減にも成功し得て、最も時代の要求に合致する製品を完成する事が出來、聊か電氣爐用變壓器の製作上、その技術的進步に寄與し得た事と信ずる次第である。

續流遮斷が確實なる新過電壓消滅器

抵抗體と放電間隙とよりなる從來の過電壓消滅器に於て、續流遮斷は交流回路に使用される場合には或る程度有效に行はれるが、直流回路の場合には極めて困難である。此處に紹介する新過電壓消滅器は直流回路並に交流回路に對し同樣に確實に動作するものであつて、放電間隙の一方の電極を全部又は一部分磁性體を以て構成し、而も之を對向電極に對する位置が過電壓消滅後に放電續行を消滅せしめる樣電磁作用により自動的に變化される樣に構成配置したことを要旨としたものである。圖に就いて說明するに 1 は陶器製圓筒筐、2, 3 は其の端面に鑞付された金屬蓋、4, 5 は接續用導體、6 は環狀固定電極、7 は可動電極、1′ は電極 7 の突出部 9 を嚮導する中心孔を有する嚮導壁、8 は導體 4 と電極 7 とを導電連結する撓條であつて、11は被保護回路に接續される電磁線輪である。今過電壓が發生せるものとすれば、電極突出部 9 と固定電極 6 との間に放電が誘起し過電壓を放出せしめるが、此の際電流通過と同時に線輪11は附勢される爲に、電極 7 は上方に吸込まれ突出部 9 は壁 1′ の中心孔に侵入し、從つて自動的に放電續行は絕たれ續流は有效に遮斷される。尙圖に示す樣に突出部 9 の先端に絕緣片10を附加する時は續流遮斷は特に有效となる。此の新過電壓消滅器に依れば、前說明に明かな樣に、別個の續流遮斷間隙を設ける必要なく、主放電間隙自身に於て交流の場合は勿論直流の場合にも有效に續流を自動的に消滅し得る利益が得られる。特許第 153411 號に據る。（富士電機　佐藤）



＊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。