

MITSUBISHI - DENKI

三菱電機

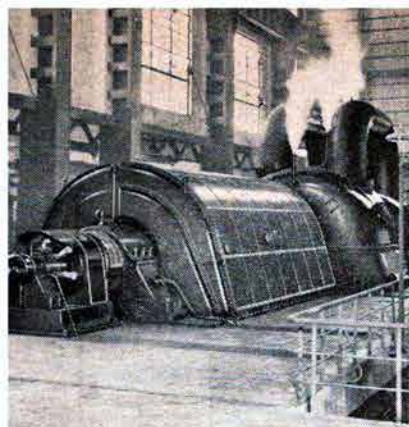
發電所機器特集號(前篇)



三菱電機株式會社

3

VOL. 25
1951



三菱電機

写真解説

尼二発電所は 日本有数の発電所である
戦災被爆を蒙りその復旧工事（電気関
は当社に委嘱せられた。

23年4月工事の完成を見、折柄の電力不
時期に際し、大いに貢献することがで
た。写真は当社製75,000kW(93,750kVA)
200V 60～2P 1,800rpm(国内最大容量)
タービン発電機であります。

三菱電機株式会社

ト 社

東京都千代田区丸の内(丸ビル内)

(電) 和田倉 (20) 代表1631・1641

施設部 千代田区神田鍛冶町3の3

(電) 神田 (25) 代表5141

神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町

名古屋製作所 名古屋市東区矢田町

丹波製作所 兵庫県尼崎市南清水

長崎製作所 長崎市平戸小屋町

大船工場 神奈川県鎌倉市大船

田谷工場 東京都世田谷区池尻町

山工場 福島県郡山市字境橋町

山工場 福山市沖野上町

路工場 兵庫県姫路市千代田町

歌山工場 和歌山市岡町

津川工場 岐阜県恵那郡中津町

岡工場 福岡市今宿青木

札幌修理工場 札幌市北二条東12

研究所 兵庫県尼崎市南清水

大阪営業所 大阪市北区梅田阪神(ビル内)

(電) 福島 (45) 5251-7

名古屋営業所 名古屋市中区広小路通

(電) 東 (4) 869・2338・4710・4711

福岡営業所 福岡市天神町(天神ビル内)

(電) 西 4480・4754・5091

札幌営業所 札幌市南一条西5の14

(電) (2) 3378・3911

仙台事務所 仙台市東一番丁63

(電) 仙台 376・5257

富山事務所 富山市安住町23の2

(電) 富山 4692・5273

広島事務所 広島市袋町1(明治生命ビル)

(電) (中) 1069・4824

昭和26年 第25巻 第3号

目次

電気界の前途.....	2
浅井徳次郎	
水車発電機について.....	3
石橋英樹	
火力発電とタービン発電機(附 タービン発電機の調相機運転).....	7
加賀貞広	
三菱ユスグストロムタービン発電機.....	12
鈴木正材	
ジーゼル発電機.....	14
松村敏三	
大型変圧器.....	16
田宮利彦	
161kV 三菱碍子型遮断器.....	27
荒井 潔	
新型線路開閉器.....	33
荒井 潔	
同期調相機.....	39
井関 巖	

昭和26年 第25巻 第4号

内容予定

発電所機器特集号(後篇)

「三菱電機」編集委員会

委員長	岸 本 久 雄								
委員	浅井徳次郎	荒井 潔	安 藤 三 二	石 橋 英 樹					
	市 吉 惟 浩	岡 屋 精 二	川 田 勝 利	進 藤 貞 幸					
	中 村 靖 之	松 田 新 市	毎 熊 秀 雄	前 田 幸 夫					
	松 尾 米 太 郎	松 岡 治	宗 村 平	森					
幹 事	薄 井 廉 介	木 村 久 男	(以上 50 音順)						
	吾 郷 侃 二								

昭和26年7月10日印刷

昭和26年7月15日発行

『禁無断転載』

定価1部金30円(送料6円)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内2丁目3番地

吾 郷 侃 二

印刷所

東京都港区麻布竹谷町1番地

博文堂印刷所

印刷者

大 橋 佑 吉

発行所

三菱電機株式会社内

「三菱電機」編集部

電話丸の内(23)4151-9

日本出版協会登録 213013

電 気 界 の 前 途

阪 営 駐 在 浅 井 徳 次 郎
本社電力技術部長

終戦後のわが国の電力は、戦争中の軍需の消滅で大きな余剰を生じる筈であつたが、長年にわたる発電及び変電設備の酷使や破壊のため、なるほど一時は余剰を生じたので、一にも電力二にも電力と電力の濫費の時代もあつたが、追々電力需要の急激なる増加のため意外の電力不足が生じた。その上労働攻勢及び電気事業の再編成、終戦後の虚脱状態等幾多の困難に遇い混迷の状態を続けてきた。

しかし諸工業の興隆と共にこの電気事業界も転換期が来た。すなわち 38 箇地点の水力発電所の建設、7 火力発電所の増強が認められて待望の電源開発が力強く発足し只見川、北上川、四万十川等の開発も世間の注視的となつて、前途に光明を見るに至つた。また熾烈であつた労働攻勢も落付き、更に、電気事業の再編成問題は予て紛糾しておつたが種々交渉の結果落着し、既に去る 5 月 1 日を以てそれぞれ新電力会社が発足した。戦争により国土の 4 割を失ひ、8 千万の人口が資源の乏しいこの狭い国内にひしめき合うのであるから、唯一の天然資源を開発する電気事業はわが国経済復興の主産業として、また、国民生活安定上不可欠の事業として重要な役割をするものである。

戦後各国が水力発電所の開発を以て経済復興の中心政策として取上げ、また T. V. A. の事業が米国の産業に与えた偉大な成果を見ても、一國産業の興隆がいかに電気事業に負う所大なるかがわかる。今や電気事業を巡る諸情勢は一大発展を示し前途に輝かしき光明を認めるに至つた。

一方電力会社の技術部では、学界の権威を動員して古

い機械設備の再検討、電圧昇圧の問題、回路異常現象の問題等を熱心に審議せられ、これを実測によつて裏付け、その成果見るべきものがある。また電気製造業者の方では終戦後もはや 6 箇年になるが、一時は工場は戦災に遇ひ、人心は虚脱状態に陥り、その上材料難ならびに材料不良のため、製品の品質にもとかくの批難はあつた。すなわちその時製造した家庭用品等の如きものこれであるが、只今では工場の整備も終り材料も戦前に近いものが入手できるようになり、(炭)、(油)、(電)、(銅)、工事と相次いで電気機器の需要も急激に増加して製作者の奮起を促し、技術、工作も戦前に復し、大方の御希望を満足できるようになつた。

次に観点を変えて、わが国は幸ひ東洋の「エデン」とか一大観光国となるの素質があるので旅客の旅行を快適なものとするため鉄道を電化し、併せて速度上昇すると同時に乏しき石炭を節約してこれを他の化学工業に振向けるのはこれまたわが国経済復興への大貢献を与えるものである。

ひるがえつて、海外への輸出事業は如何と言うに印度中支等において欧米一流の「メーカー」に伍して電気機械の注文を獲得し、欧米の規格にて検査してこれに合格し、温帯にはもちろん熱帯にも納入せられ立派に使命を果すようになった。これすなわち技術の向上品質の改善が如実に実証せられたのではあるまいか。

この時にあたり当社は米国ウェスチングハウス社と契約を復活しその優れた技術、秀でた設計を加味して更に技術的飛躍を遂げることとなり今後の発展は期待すべきものがある。

水 車 発 電 機 に つ い て

神 戸 製 作 所 石 橋 英 樹

I. 緒 言

電気は各種工業特に化学工業の生産資源として欠くべからざるものであり、また生活様式の電化は文化生活の尺度とも考えられるものである。戦争によつて、あらゆる資源を失つたが、幸に水力発電設備のみは被害なく、未開発の包蔵水力資源も豊富なため、これが活用ならびに新規開発が強く叫ばれるに至つた。水力電源としては既開発発電設備は約 640万kW で、なお約 1,400万kW が未開発として残されている状況である。これが開発は緊急の事項として、政府によりて採りあげられ、昭和24年度より5カ年計画により 87 地点 126万kW を目標とする案が決定された。昭和24年既に GHQ より 33 地点約 118万kW の認証を得て、具体的に建設の一步をふみ出し、まず経費の比較的にかからぬ増設工事に着手した。当社ではその工事の一部として、神野瀬・長沢・相模川・江卸等の発電所用発電機を製作納入した。引續いて新設工事も開始され、有利な貯水池式のもの、短日月に完成し得るもの、工事中止のため放置中のもの等から着手されて、当社では内谷川第一・水ヶ崎・甲佐・戸上等の発電所用の発電機を完成し、引續き夏瀬・旭川等の発電所用の発電機を製作中である。

またわが国の国力の回復の一手段として、輸出の振興を叫ばれているが、当社もその線に沿つて、印度のテライヤ発電所用の発電機を製作した。

終戦後製作せる水車発電機は 1 表に示される。

また水力発電所に使用される水車発電機の当社の製作累計は既に 170 台となり、その総出力は約 90万kVA に達している。当社製作の主要水車発電機は 2 表の通り

である。満洲国鏡泊湖発電所傘型発電機は、東洋においては当社が最初に製作したもので、終戦後もなおも好調に運転を継続している、当社が最も誇りとするものの一つである。また東洋における最大のカブラン水車直結発電機は山郷発電所納入の 17,000kVA 125rpm で、これも特記すべきものの一つである。

以下当社の水車発電機の構造その他に説明を加えたいと思うが、まずこれに最も関係深い水車の型式につき極く簡単に觸れてみよう。

II. 水 車 の 型 式

発電機を直結される水車は、その利用し得る落差および比回転数によりその型式を異にするものであるが、大体の区分は下記の標準によつてゐる。

水車の型式	有効落差(H)	比回転数(ns)	備 考
ペルトン	200m以上	約20	ノズル1本につき
フランシス	20m~300m	50~350	
カブラン	5m~28m	350~700	

$$\text{ただし } n_s = \frac{n \sqrt{N}}{H^{1/4}}$$

n = 毎分回転数
N = 水車出力 (kW)
H = 有効落差 (m)

ペルトン水車は普通は横軸型で製作され、ノズルの数は1本ないし4本であるが、米国では縦軸型とし、ノズルの数を6本迄用いた例がある。わが国でも縦軸型が用いられる日も近いであろう。

フランシス水車は小型および中型は横軸型であるが、大型は殆んどすべて縦軸型である。

1 表 終 戦 後 製 作 せ る 水 車 発 電 機

納 入 先	発 電 所	出 力 (kVA)	電 圧 (kV)	周 波 数 (~)	回 転 数 (rpm)	型	台 数	備 考
神 奈 川 県	相 模 川	16,000	11	50	218	縦	1	完 成
日 本 電 産	新 郷	14,000	11	50	187.5	縦	1	〃
〃	神 野 瀬	12,000	11	50	450	縦	1	〃
〃	江 卸	11,500	11	50	600	縦	1	〃
旭 化 成	水 ヶ 崎	10,000	11	50/60	375/450	縦	2	〃
日 本 窒 素	内 谷 川 第 一	10,000	6.6	50/60	500/600	横	2	〃
大 分 県	戸 上	6,350	6.6	50	300	縦	2	〃
日 本 電 産	長 沢	5,500	12	60	450	縦	1	〃
日 本 電 産	甲 佐	4,500	6.6	60	360	縦	1	〃
印 度	テ ラ イ ヤ	2,500	11	50	250	縦	2	〃
東 北 配 電	首 鬼	1,650	3.3	50	428	縦	1	〃
大 平 鑛 業	小 又 川	1,500	11	50/60	428/514	縦	1	〃
日 本 電 産	夏 瀬	11,000	11	50	167	縦	2	製 作 中 (傘 型)

2 表 当 社 製 主 要 発 電 機

納 入 先	発 電 所	出 力 (kVA)	電 圧 (kV)	周 波 数 ($\sim$)	回 転 数 (rpm)	型	台 数	製作年度	水 車 型 式
東 京 電 灯	小 野 川	14,500	11	50	250	縦	2	1936	フ ラ ン シ ス
日 本 電 力	瀬 戸 第 二	12,500	11	60	514	縦	2	1937	〃
四 国 中 央	分 水 第 一	9,000	6.6	60	514	横	1	1938	ベ ル ト ン
東 信 電 気	新 郷	14,000	11	50	187.5	縦	3	1938	カ プ ラ ン
四 国 中 央	分 水 第 一	10,000	6.6	60	514	横	2	1939	ベ ル ト ン
東 信 電 気	山 郷	17,000	11	50	125	縦	3	1940	カ プ ラ ン
満 州 国	鏡 泊 湖	20,000	11	50	187.5	縦(傘)	2	1941	フ ラ ン シ ス
日 本 電 力	牧 野	16,700	11	60	350	縦	3	1941	〃
〃	江 卸	11,500	11	50	600	縦	1	1941	〃
〃	兼 山	15,500	11	60	171.5	縦	3	1942	カ プ ラ ン
南 鮮 水 力	第 一	16,000	11	60	514	縦	1	1943	フ ラ ン シ ス
日 本 電 力	神 野 瀬	12,000	11	60	450	縦	1	1944	〃
神 奈 川 県	相 模 川	16,000	11	50	214	縦	1	1945	〃

カプラン水車は凡て縦軸型として製作される。

III. 発 電 機 の 型 式

発電機の型式はその直結する水車の型式と同一にするため横軸型および縦軸型の2種類となる。

1. 横軸型 (1図参照)

横軸型は他の電気機械と殆んど同様の構造で、多くはベデスタル型軸受を回転子の両側に1個ずつ持っている。ただ水車の要求する慣性能率が大きいので、回転子の直径を特に大きくするか、あるいは別にはすみ車を直結することがある。また無拘束速度が常規回転数の2倍位になるので、それに十分に耐えるよう回転子各部は頑丈に製作されている。

2. 縦軸型 (2図参照)

縦軸型は広く用いられ、当社製の水車発電機の合計出力の約85%は縦軸型である。

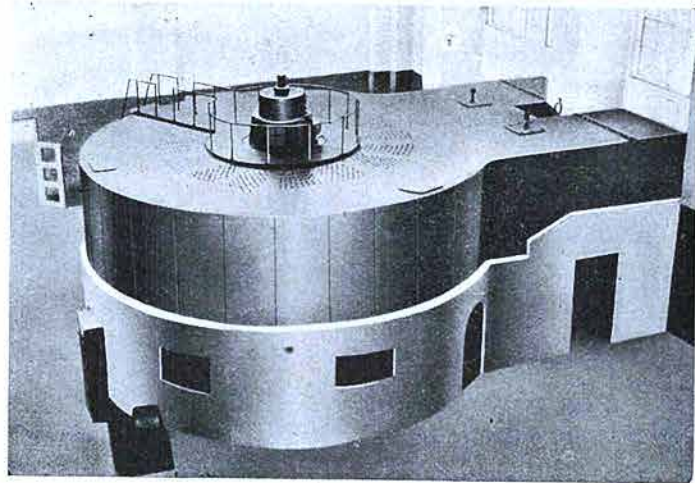
縦軸型は、一般に採用される構造としては、普通型と傘型の2種類がある。

ア. 普通型 (3図参照)

回転部分の重量および水車推力を支える推力軸受を頂部に有し、振止軸受を回転子輻鉄の上部および下部に各1個を有するものを普通型と称する。推力軸受および上



1 図 日本窒素内谷川第一発電所納入 1,000kVA 50/60 $\sim$ 500/600rpm横軸ベルトン水車発電機

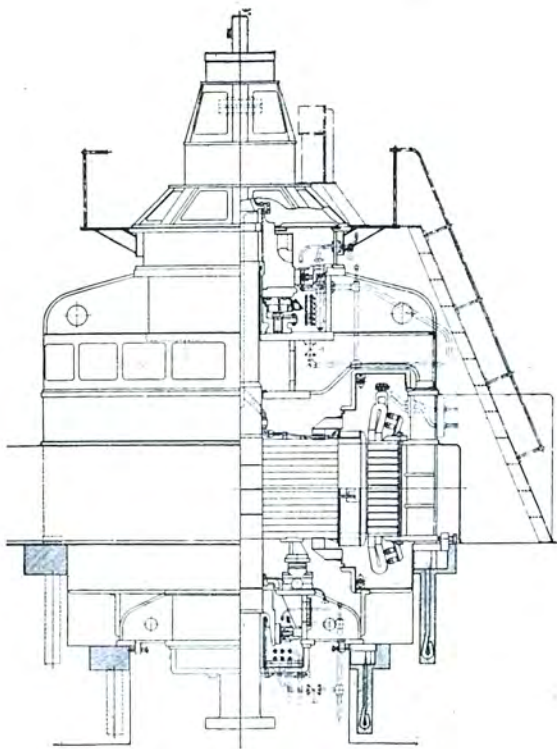


2 図 満洲国鏡泊湖発電所納入 20,000kVA縦軸傘型カプラン水車発電機

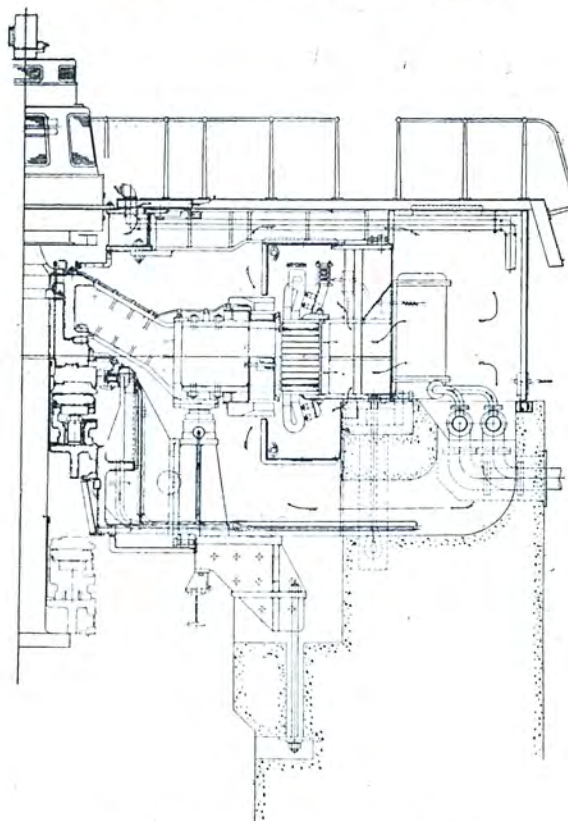
部振止軸受を收容する上部ブラケットおよびこれを支持する固定子枠は、荷重が大きいので非常に堅固に作られる。下部振止軸受を收容する下部ブラケットは上部にくらべて荷重が小さく、径間も短いのでごく小型簡単な構造になっている。従つてこの型は機械の高さが高くなるが、構造が堅固であるので高速度機にも大型機にも適する。世界最大のグランドクーリー発電所のW社製108,000kVA機もこの型を用いている。当社の縦型は殆んど全部この型である。横軸型と比較すると、軸方向に長くなり重量も大きく軸受の給油は複雑となり製作費は高価となるが、据付面積が小さくなり、発電機を洪水位より高い位置に容易に据付け得る点は優れている。

イ. 傘 型 (4図参照)

推力軸受と振止軸受を回転子輻鉄下部におき、上部振止軸受を持たない型である。回転子の安定をよくするために、回転子輻鉄が傘のような形になっている。下部ブラケットは推力軸受と振止軸受を收容するので普通型のものより堅固に作られるが、径間が比較的短いので、普通型の上部ブラケットほどには大型とはならない。上部ブラケットおよび固定子枠は励磁機部分のみの重量を支えるだけで、構造は簡易軽量になっている。



3 図 普通型堅軸水車直結発電機断面図



4 図 傘型堅軸水車直結発電機断面図

低速度機で回転子直径が大きく、軸方向の鉄心積厚さの小さい、いわゆる扁平な機械に適し、米国では水力発電設備容量の約 $\frac{1}{3}$ はこの型で製作され、その最大はW社製フォンタナ・ダム発電所納入の75,000kVA 150rpmである。

当社では満洲国鏡泊湖発電所用20,000kVA機2台を水車発電機について・石橋

製作したが、現在もなお好成績に運転を継続している。第2回目として、日発夏瀬発電所用として、11,000kVA機を目下製作中である。傘型発電機の主なる特長は下記の通りである。

- a. 機械の高さが低く軸の長さが短い。
- b. 建屋の高さを低くできて、その建設費を減少できる。
- c. 回転子を軸から簡単に取外しできるから、起重機の吊上重量は少なくて済む。
- d. 軸受の点検が容易で輪受の調整や軸受片の取替えは簡単にできる。
- e. 組立の際の中心合せや、軸と回転子の結合は簡単である。

IV. 発電機の通風方式

小型発電機は構造が簡単であるので開放型を用いることがあるが、大部分は閉鎖風洞換気型で、すなわち水車室または発電機室から冷却空気を吸込み、発電機内にて熱せられた空気は風洞により室外に放出される方式である。また発電機の風洞内に空気冷却器を自蔵し、発電機を密閉する密閉自冷型も製作される。外気の温度、湿度に影響されず、有害な塵や昆虫等の侵入も防がれるので大型機や、熱帯地帯の機械には特に適する。米国の大型機は全部この方式を採用している。当社製の印度テライヤ発電所向2,500kVA発電機はこの方式であるが、今後の大型機にはすべてこの方式を採用する予定である。

V. 最近の発電機の構造

最近製作される堅型発電機の構造について各部ごとに概要を説明する。

ア. 回転子輻鉄

水車の無拘束速度における各部の応力を安全範囲におさめるため、回転子各部は最も堅固に作られる。中型以下は厚鋼板積重ね式または鍛鋼製厚板構造とし、大型機は鋸製輻鉄の外周に鋼板製拔板を積重ねて輻鉄輪を形成する。輻鉄の寸法が輸送制限を超過する時は、継足としてその制限内に入れる。鋼板製成層輻鉄輪は発電機の据付現場で組立られ、予め加熱して内径を膨脹させて輻鉄との間のキーを打込み結合している。しかし静止時に成層輻鉄輪に生ずる応力が過大にならないように考慮され過速度では成層輻鉄輪は膨脹して、輻鉄との間に多少のゆるみを持たせる。その際キーの側面の案内により、成層輻鉄輪に偏心をおこす恐れはない。

イ. 磁極および制動巻線

小型より大型に至るまですべて薄鋼板積重ね磁極を用いる。磁極はグブテイルによつて回転子輻鉄または輻鉄輪に結合される。磁極頭の制動巻線は運転の安定度を重視する大型機には殆んど凡て取付られるが、小型機には簡単のために省略されることが多い。制動巻線は同期化力の増加よりも、故障時の逆相電圧の抑制を考慮し、適当な抵抗値の銅合金を使用する。制動巻線の効果につい

ては、昨年10月日登江卸発電所において当社製 11,500 kVA 発電機について実測が行われた。不平衡故障時の高周波異常電圧は、送電線が共振条件にある時は制動巻線がなければ、約6倍の値を記録したに反し、制動巻線付では殆んど異常電圧を認め得るほどに抑圧された。また電力動揺に対する制動効果も相当有効なことが認められた。

ウ. 固定子枠および鉄心

固定子枠は鋼板および型鋼を溶接するいわゆる鋼材溶接構造である。輸送可能な重量または寸法を超過するときは、2分割ないし6分割として製作する。普通型では水車の推力および機械全部の重量を支えるので、軸方向にも十分強固に作られる。傘型では励磁機の固定部分および上ブラケットの重量が負荷となるのみであるから、比較的軽量に作られる。鉄心用には鉄損の少ない、厚さ0.35t厚さのT級珪素鋼板を用いる。打抜作業による歪のための鉄損増加を防ぐため打抜後焼鈍し、また鋼板の両面にはワスを焼付けて鋼板の短絡による渦電流を抑制している。

エ. 巻線

界磁線輪は軟銅平線をへり巻し、層間にはワス処理の石綿紙を用い、鉄心との間には雲母および石綿布を高圧高温の下にワスを焼付して完全なB種絶縁を形成している。

固定子コイルは 3.3kV用はA種絶縁であるが 6.6kV以上は凡てB種絶縁を標準としている。すなわち 3.3kV用は綿巻線を用いるが、6.6kW以上にはマイカテープ絶縁を施した軟銅平線を用いる。米国ではガラス繊維被覆の導体を使用しているが、当社でもこれが使用を研究中で近くこれを標準とする予定である。層間絶縁ならびに対地絶縁用には専らマイカテープを施している。溝に入るコイルの直線部分はコイルの外側が直接鉄心に接觸するので最も電位傾度が大きく、注意を要する箇所である。コンパウンドを真空含浸を数回行い内部の空気を追出すと共に加熱加圧して正確なる寸法に仕上られる。外部に対する保護のためガラステープを最も外側に巻き、11kV用の場合は更にこれに黒鉛を主成分とする半導体を塗布してコロナの発生を防止している。絶えざる工作法の進歩により誘電体損失も非常に減少し、当社の11kV用コイルの $\tan \delta$ の値は、常温、常規電圧においては約4%に低下している。また落雷や線路の開閉操作によるサージの襲来に対する巻線の強さが要求される。対地絶縁の絶縁耐力は上昇して、最近の 11kV 用コイルは約 100 kV に耐える。急峻な波頭のサージの侵入の場合は線路端側に接続されるコイルには約40%に近い電圧がかかるので層間絶縁の強度が重要となる。当社の 11kV 用コイルの層間絶縁は試験の結果約 25kV に耐えることが証明されている。固定子巻線は狭いスロット内に入れられるので場所の制限があり、変圧器のような十分な絶縁ができないが、サージアブソーバーを設備して、波高値を低

下させると共に、波頭も平坦化させるので、この値は十分な強度と認められる。

オ. 推力軸受および振止軸受

推力軸受には凡てキングスベリー式を採用し何れも満足な結果を得ている。振止軸受は普通は回転子の上部および下部に各1個宛あつて、上部軸受は推力軸受の直下で上部ブラケットの下部に、また下部軸受は下部ブラケットに取付られる。両者は各別に給油管により給油される。各軸受は何れも分解組立を容易ならしむるため、普通は半円のもの2個を結合する。更に軸受を多数のセクトルに分割したいわゆる区分軸受を用いることがある。これは各セクトルの重量を軽減せしめ得るから、取扱い調整共に容易で、とくに大型機に適するものである。また区分軸受型の上部振止軸受は推力軸受と共に共通の油槽内に設けるので、給油系統の簡略化にも役立つ。満洲国鏡泊湖発電所納入の 20,000kVA、神奈川県相模発電所納入の 16,000kVA および旭化成水ヶ崎発電所納入の 10,000kVA の発電機は区分軸受を持ち、何れも好評を博している。(3図、4図参照)

カ. 励磁方式

速応励磁式を標準とし、主励磁機および副励磁機は共通軸で交流発電機に直結する。励磁機部分には軸受を持たず構造は極めて簡易となる。副励磁機は 110V の定電圧発電機である。主励磁機は差働他励磁式で副励磁機より励磁され、広範囲の可変電圧を安定に発生し、交流発電機の界磁巻線を直接に励磁する。

主励磁機の励磁回路の抵抗を制御するいわゆる抵抗制御型電圧調整器を使用するのを標準とするが、故障時に差働巻線の励磁を急激に消勢し、励磁を急増して系統の安定度を上昇せしめる。また逆に負荷遮断時には差働巻線の励磁を急増し、電圧の急昇を抑制する。主励磁機および副励磁機は共通軸とし、主発電機軸に直結され、励磁機軸には軸受を省略するのを標準とする。この方式は特に高速機用には振動の点で多少危険視されていたが、最近江卸発電所納入の毎分 600 回転のものに使用し好成績を得て自信を深めている。また旭化成納入の 10,000kVA 用励磁機は刷子の点検に便ならしむるため、副励磁機の整流子を主励磁機側におき主励磁機の整流子、集電環、副励磁機の整流子を同一点検窓より点検できる構造として好評を得ている。(3図参照)

キ. 調速器運転方式

調速器の運転を確実ならしむるために、主軸により駆動される交流同期発電機から電力を受けた交流同期電動機により運転されるのを標準としている。交流発電機は水車の上部に取付できるときは水車軸より歯車を介して駆動されるが、多くは重量および寸法の縮小をはかるため副励磁機と共通の電機子とし、いわゆる複流発電機とする。発電機は起動時には蓄電池より励磁して電圧の発生を容易ならしめ、電動機の起動および同期化を確実にしている。

火力発電所とタービン発電機

(附 タービン発電機の調相機運転)

長崎製作所 加 賀 貞 廣

I. 火力発電所

能率のよい経済的な火力発電所の建設ということは総合的工業技術の所産であつて、関連工業の進歩発達により徐々にその方向に向うのであり、この意味において火力発電所は一国の工業技術のパロメータと見ることができる。

わが国では終戦後いち早く電力復興を政策として取り上げ、戦災発電所の復旧を行い続いて電源開発計画を具体化する方向に進み出したのであるが、経済的その他複雑な特殊な制約のために予期通りの華々しい成果を収め難かつたのである。しかしながらこの間経済界、工業界の体制も著しく整備され合理的な進歩への階程に到達し得たのであつた。

最近の火力発電所は長足の発達を遂げてきているのであるが、技術的問題のみに限定して考えても多くの原因があり、その主なるものを挙げてみると、汽罐の自動燃焼制御装置の改善によつて発電所熱効率をあげていること、高温高压蒸汽の使用、再熱サイクルの利用その他熱系統における改善を行い発電所熱効率をあげていること、汽罐の信頼度が増してきたので1台の汽機に1組の汽罐を専属せしめる単位法の採用が非常に多くなつてきていること、経済的な信頼度の高い発電所を設計するために汽罐、タービン、タービン発電機等の主要機械のあらゆる計画値を標準化すること、この場合には使用材料もすべて標準化すること等がある。

しかしながら火力発電所はその使用目的によつても種々の条件が異つてくるし、立地条件によつても種々の問題が挙げられるがすべて省略することにし、以下タービン発電機について述べることにする。

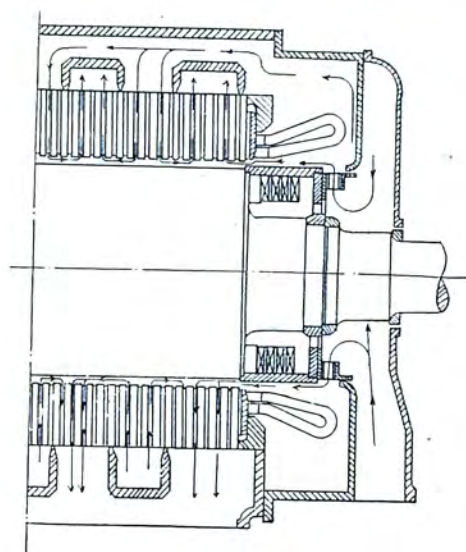
II. タービン発電機

タービンに直結されるタービン発電機はその必然的要求によつて高速度であり、かつ単機容量が非常に大きいので、その結果回転子は軸方向に割合に長い円筒型構造になる。それ故とくに電氣的機械的問題を併せて考慮する必要がある。

1. 有効な通風

使用材料の有効な利用を図るのが機械製作の究極の目的である以上、タービン発電機の通風を有効にする手段が大切になる。これには発電機の熱損失を極力少くするため電氣的機械的磁氣的損失の少い材料を用いるなり、また少くできるような構造を採用すること、冷却媒体として水素を利用することおよび特殊冷却法を採用すること等があげられる。

もちろんタービン発電機は容量回転数が種々雑多であるので、その機械に応じてもつとも適当な通風方式が存在するはずである。この通風方式の主眼は各部分の一樣な冷却をうることであつて、大型中型機で複式放射通風方式を採用しているゆえんである。しかもタービン発電機のように莫大な空気量が必要なものは、たとえ微量な塵埃を含むとしても長年月の間に多量の塵埃の付着が考えられ、このため絶縁劣化、冷却器の冷却効果の低下を来すのですべて密閉路通風方式を採用している。水素冷却機では水素と空気との混合がある割合になると爆発可能な状態になるのでガス冷却器は空気冷却の場合と異り機械内部に適当な方法で設置される。いずれの場合でもガスを循環させるために回転子軸に内部送風機をとりつ



1図 複式放射通風

けてある。なお大容量空気冷却機では基礎内に外部送風機を設置することもある。

複式放射通風と称するのは固定子鉄心中央部の高温になりやすい個所に新鮮な空気を送りこみ、鉄心の全長にわたって温度上昇を均一ならしめるのが特長である。1図に示すように固定子鉄心は多数の放射通風溝を有し、これらの溝は数個宛集って冷却空気の入る群と出る群とに分けられる。したがって固定子枠へも軸方向に多数の仕切壁があつて軸方向に交互に空気の出入口になつている。発電機の両端から進入する空気は空隙と固定子枠と回転子の3方向に進む。まず空隙に入つた空気は固定子端部回転子端部を冷却した後、固定子の両端にある排気区域内の鉄心内の溝を半径方向に外部に進み排気室に出る。固定子枠に進入した空気は機械の中央部に進みここから鉄心内の溝を半径方向に中心に進み空隙に出て軸方向で隣り合っている鉄心群に進みここから鉄心内の溝を再び半径方向に外側に進み排気室に出る。この方式では鉄心内の多数の溝に冷却空気が一様にいきわたるので、固定子コイルの全長にそつて有効に冷却することができる。

回転子の冷却空気は内部送風機によつて両端から送り込まれるほか、歯の内に設けた放射状穴の通風作用によつても移動しうるのである。冷却空気は回転子鉄心端部に取付けた線輪保持環の内側に入り一部は線輪端部を冷却して保持環に設けた通風穴から空隙に出る。他の一部は鉄心部の導体溝の底部または側部に設けた通風溝に進みここでコイルや歯を直接冷却して空隙に出る。空隙に出た空気は他の空気と共に固定子を冷却しながら機外に排出される。回転子表面もまた回転子の冷却に大いに関係があるのであつて、この表面には風の動きをよくするためと冷却面積を増すために溝を切る。しかしこれは摩擦損の原因となるからこの溝を切るかどうかは個々の場合によつて十分検討して決定する必要がある。水素冷却機の場合も空気冷却の場合と大同小異であるが、ただガス冷却器が機内に配置されるので若干は変つてくる。

2. 水 素 冷 却

水素冷却はその最初の着想は 1915年 初めて独逸で現われたのであるがその後米国において着実な進歩発達を遂げ来り、初期では水素冷却機の最小容量は経済的に見て 30,000kW 3,600rpm と考えられたが、運転経験を基にしてガス制御装置、油制御装置の簡略化を行つた結果、現在では最小経済容量は 15,000kW 3,600rpm と考えられている。たとえば AIEE, ASME の共同委員会の標準規程には 60,000kW, 40,000kW, 20,000kW は水素冷却, 11,500kW は空気冷却, 15,000kW は空気冷却水素冷却いずれにでも可と規定されている。

以上述べた容量はすべて水素圧力 0.5PSig の場合であるが最近ではさらにガス圧力を上げて負荷能力すなわち発電機容量を増加するようになってきたので、このため水素冷却は2重定格を持つと考えられる。たとえば水素

圧力 0.5~15PSig のガス圧力で運転した場合は温度上昇限度を同一にとつて $1^{\circ}\text{F}/\text{in}^2$ につき、約 1% 発電機出力が増加する。さらに 15~30PSig のガス圧で運転した場合は同一条件で $1^{\circ}\text{F}/\text{in}^2$ につき、約 2/3% 発電機出力が増加する。すなわち前述したように 0.5PSig の場合の出力を 100% と考えているのであるが、このようにガス圧力を上げることによつて発電機出力が増加するのである。もちろん詳細に考えれば空気冷却の場合のように、周囲温度 40°C 、サーモカップルで測定した固定子コイルの温度上昇 80°C 、抵抗法で測定した回転子コイルの温度上昇 90°C と規定してもガス圧力を変化すればガスの熱伝導率は変らぬが、表面熱伝達率はガス圧力の 0.75 乗に比例して増加するからガス入口温度が当然変化することになる。それで周囲温度を基礎として温度上昇を考えると不合理となり、したがって一定冷却水入口温度に対して巻線の一定全温度を仮定して発電機定格をきめることが必要となる。

水素冷却機は前述したように水素自身は爆発しないが水素と空気との混合で水素が 8~70% 位の間では爆発可能範囲となるので、仮に内部爆発を生じても外枠材料が永久変形を起さぬように設計しなければならない。

そのための保安装置はもちろん十分考慮してあるが、外枠を耐爆構造にすること、およびガス冷却器を固定子枠内に設置すること等により構造部分としてはずつと重くなり、かつ気密構造にする必要があるので製作費が高む。また水素冷却機としてはガス制御装置および油制御装置が必要等のことから付属設備の製作費もまた高むのでこれらの点と水素を用うることによりえられる利得を併せ考えねばならぬ。この2点を勘案した結果発電機の最小経済容量が現在では 15,000 kW と考えられている。

なお水素冷却発電機の利得を簡単に述べれば次のような点であろう。

ア. 水素の密度が小さいので風損・摩擦損・通風損が減少する。

イ. 水素の熱容量・熱伝導率・熱伝達率が大きいので単位有効容積当りの出力が増加する。このため水素冷却機では空気冷却機で可能以上の出力がえられる。

ウ. 湿気塵埃の影響がないから維持費が減少する。

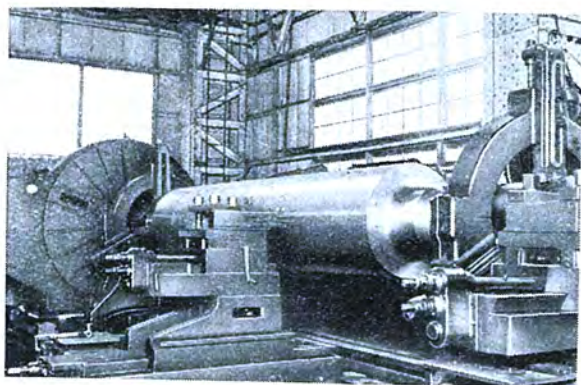
エ. コロナの存在において酸素湿度がないから固定子コイルの絶縁の寿命が増加する。

オ. ガスの密度が低いから回転中の騒音が減少する。

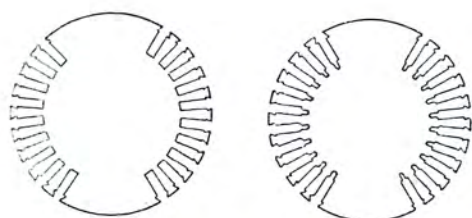
3. 軸材について

タービン発電機は高速度で、遠心力による応力が大きいので、鉄心と軸とを一体とした単一鍛鋼が必要である。しかして単機容量の増大により軸材はますます大型となり応力も大きくなり製作の困難は加速的に増大する。2図は現在製作中の空気冷却 43,750kVA, 3,600rpm 機の機械加工中の写真を示すが、本軸材の重量は約 20 吨に及ぶのである。

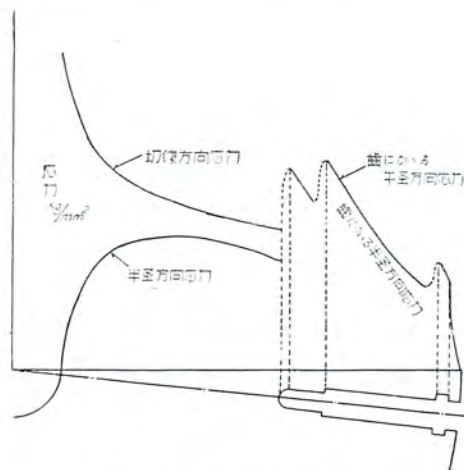
さらにこの軸には3図のように表面へ半径方向の導体溝を切るのであるから、鍛造物としては最も鍛錬の利いている最外部にある繊維をぶつぶつに切つて非常に弱く



2図 機工中の回転子軸
(43,750kVA 3,600rpm)



3図 軸の断面



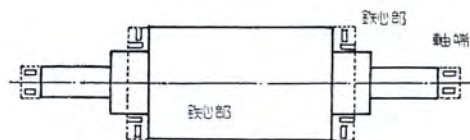
4図 回転子の応力分布

して使用することになる。これが軸材製作の困難な点である。かつ4図の応力分布に示すように半径方向応力は歯の根元で最大となる。その上応力のかかる方向が繊維方向に直角なので鋼にとっては無理が多いし、また応力集中、製作中の加工狂い等のため中心穴の応力よりは小さいが、この応力をもつて軸材使用限度の目安とする。

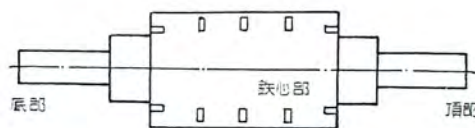
しかも、この部分は製鋼的に見て、白点・ガス穴・偏析等の集りやすい偏析層中にあるか、または接近している。すなわち材質的によい部分は切つて捨て、材質的に悪い部分に最悪の応用をかけるような使用法になっているのが、タービン発電機軸材の製作困難な点である。4極機ではこれらの困難を避けるため組立式構造を採用する。なお大型鍛造物の中心に集りやすい欠陥を除き、その状態を知るために応力を犠牲にして中心穴を開けることにしている。

軸材としては炭素鋼特殊鋼が用いられ、仕様としては引張強さ・降伏点・伸縮率等の物理的性質と化学的成分を与えているが、なお数学的に表わし難いものに、毛割れ・砂きず・ガス穴・白点・偏析・非金属介在等の指定を行つている。しかして大型軸材に用いられる特殊鋼では、軸材の採否決定にあつては全く経験により判断する点があるので苦心がある。

一般に軸材全体が完全に各部均一にできて初めて試験片による試験に信用ができる。逆に不均一であれば試験片の試験は、単なる気休めにすぎないことになる。したがつて如何にして材料の均一性を知るかについては随分苦心してきた。すなわち5図に示すような位置から試験



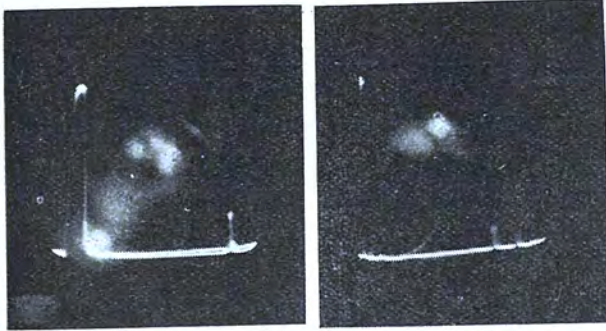
5図 切放試験片の位置



6図 深部管錐試験片の位置

片を採取したのであるが、これとても鉄心部と試験片採取位置との材質の均一性については相当異論があり、この欠点を避けるため、わが社では深部管錐法を採用している。これは管錐 (core drill) でもつて導体溝底に相当する部分、いかえれば半径方向最大応力のかかる部分の試験片を採取する方法で管錐の深さが十分深くないと実際の半径方向最大応力部分の検討ができないからである。(6図参照)このことはある軸材で100深さと20)深さの管錐試験片よりの成績で、降伏点は100深さのときを100%とすれば200深さのときは約85%に減少する事実からも明白である。

したがつて管錐をとる位置を限りなく多くすれば、十分軸材の均一性を試験できる理由である。しかしながら実際にはこの管錐の位置を限りなく増して多数の試験片



7 図 超音波探傷器による
ブラウン管映像 8 図 超音波探傷法による
ブラウン管映像

を作成することは工期・工費の点からあまり芳しくない。そこで均一性を知るために超音波探傷法を併用することにより管維位置を制限しようと同時に試験片の個数を限定しえて確實優秀なる結果をあげている。

たとえば7図、8図は超音波探傷法によりえたブラウン管映像の写真であつて7図は軸材に欠陥がない場合であり表面反射波と中心穴による反射波の2つのみ現われているが、8図はさらに500mm深さにある欠陥（この場合は白点である）によつて反射波が明瞭に出ている。

4. 振 動

大型タービン発電機では機械的釣合調整が問題となる。タービン発電機の回転子は高速度であるので直径が制限されることになり、自然軸長の長いものになつて回転子の長さとの比が大きくなり、回転子を1個の剛体と見なすことができなくなり、また全速回転では低速回転で表われないような種々複雑な振動現象が生ずること、負荷状態と無負荷状態とは振動現象が異なる等のために、従来の低速度において回転子を剛体と見なして釣合をとる種々の釣合試験器では、かならずしも全速回転における好結果を保証しえなくなつた。したがつて発電機自身の軸受台で全速回転で運転しながら釣合をとることが是非必要となり、このため Percil mark 法を採用してきた。しかしながらこの方法は技術員の手加減と判断に影響されるために調整日数の意外にかかることもあり、場合によつては解決困難なときもありうるのである。

この目的のため考案したのが三菱式可搬釣合調整器であつて、現場でしかも自身の軸受台にのせたままで調整できる利点がある。これは発信器と調整発電機とよりなり、発信器は振動測定個所にまた測定方向に取付けられ振動を電気に変換して調整発電機に送る。調整発電機は被測定機の軸端に直結され、界磁は回転することができる。回転することによつて位相を調べ界磁電流の大きさを調べ界磁電流の大きさを変えることによつて振動の大きさを知ることができるものである。

また2極 3,600rpm機では、空隙は一樣であつても磁

束による回転子固定子の吸引力が磁極中心とその中間とでは大きな差を生ずるのでこれが固定子鉄心迄や固定子枠の彎曲性と重なり、固定子が2倍周波数で楕円形になつたり戻つたりするために振動を惹起する。このため固定子全部を発条式支持台により支持する構造を採用することがある。

さらにまた2極機の回転子においては、断面の慣性率率が磁極の中心を軸とする場合とこれに直角の方向を軸とする場合とでは、その値が約30%も違うのである。大型機になるとこの差が振動特性に種々悪影響を及ぼすのでこれを避けるために、軸方向に遊び溝を切りこれに鋼片を埋めて電磁気的特性を等しくして断面の慣性率率を等しくするなり、また横溝を切つてこの目的を達したりしている。しかしながら横溝を切る方法は前の方法に比べて安価であり迅速にできるという長所を持つている。

5. 銀入銅合金線

大容量機になると回転子直径が大となり、長さが長くなるが運転中回転子コイルは回転子コイルと回転子鉄部の温度差に相当して、鉄部が伸びる以上に膨脹して伸びようとする。しかし回転子は直径が大きいので運転中莫大な遠心力を受け、かつまた回転子鉄部の長さも長いので、回転子コイルのある部分は大きい緊着力を受ける。このため回転子コイル端部が変形を起し、層間短絡接地等の故障原因になる。これを避けるため導電材料としては軟銅平線の代りに特殊銀入銅合金線を使用し、さらに回転子コイル端部の構造に特殊の考慮を払つている。

また、類似の現象がやはり固定子コイルにも生ずるのであるがこのため特種の絶縁材料が用いられている。

6. 勵 磁 法

発電機の容量が増加するにしたがい励磁機の容量もまた増加するのであるが、励磁機容量が増加すると電流容量もまた大きくなるので、集電環の作用が不具合となる。

したがつてなるべく電圧を高くして電流を減ずるのがよいが励磁機電圧の日本標準は110V、220Vであり大容量機の励磁電圧は未だ確定していない。

また、電動励磁機の場合は蓄勢輪をつけて電動機容量を大にして置くと、線路に故障が起つても安定度を害せずすむ。励磁機の容量が増せば速応調整がやり難くなるので、電子管励磁機またはロトロールが用いられている。

前者は電子管を用いるものであるから鉄心がなく磁氣的遅れがなくなるので、応動速度が早くなるのであるがこれは交流電圧を補償電源からとる他励法と発電機端子からとる自励法とがある。

後者は普通の直流発電機と同一原理であるが、ただ数個の界磁を持つてこれらの相互作用で機能が決まるロトロールと称する装置を用いて速応調整を行うものでこれにも Single stage, two stage の2種類がある。

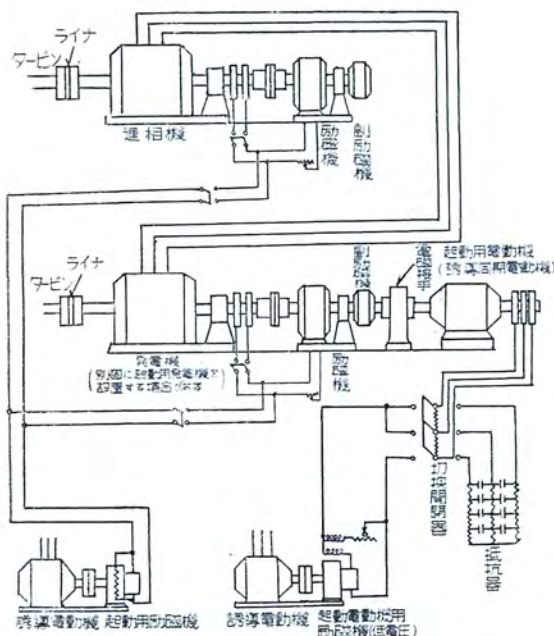
7. 結 び

以上タービン発電機の大体の傾向を述べたが、ある事項はすでに実施済みであり、また現在製作中の空気冷却43,750kVA 35,000kW 3,600rpm機に採用実施中のものもある。

近い将来必ず実現される水素冷却機に対してはすでに製作した11,000kVA 3,600rpm機の経験を基にしその後の進歩改良を採用したものを計画中でいつでも製作しうる状態にある。

III. タービン発電機の調相機運転

水主火従のわが国においては冬期渇水および尖頭負荷に対する火力の補助の意味での火力発電所が相当に多い。しかるにこの種補助発電所は1年間を通じての運転時期が割合に少ない場合が多いし、かつまた、この休転中は調相機を必要とする時期と一致するので、タービン発電機をこの休転中調相機として運転できれば経済的に有利なことは当然である。一般にタービン発電機は自己起動能力が少ないので何等か適当な方法で起動させることが必要であるが、初めから調相機運転可能なるように設計する場合は別として、既設のタービン発電機を改造して調相機運転ができるようにする方法について簡単に述べる。



9 図 タービンコンデンサー起動装置
1 台を進相機、1 台を起動用発電機とする場合の低周波起動

ア. 主発電機をタービンと直結のまま運転する方法

イ. タービンと切離して他のタービン直結の発電機による方法

2台以上の発電機がある場合可能な方法であるが最後の1台は調相機として利用できぬこと、起動に際しては汽罐を点火蒸汽を発生せねばならぬ不便がある。

ウ. タービンと切離して直結の電動機で起動する方法

エ. 主発電機直結の所内発電機を起動に使用する方法

所内発電機に制動巻線あるいはこれに相当する装置を施して主発電機の起動用電動機として利用する方法である。改造が不可能ならば回転子新製の要があるし起動用補償器の新製の要もある。

オ. 特殊起動用電動発電機による方法

2台以上の発電機があつて任意の発電機を調相機として起動せしめようとするとき別個に起動用電動発電機を備える方法で(イ)方法の起動用タービン発電機のタービンの代りに電動機を用いたものである。電動機としては誘導電動機が用いられる場合もあるが誘導同期電動機を用いれば調相機の同期化が容易確実にできる。

この方法の結線図を3図に示すがこの場合の改造法は発電所の方式により異なるが大略つぎのようになる。

(1) タービンと発電機の噛合接手を改造する。なお推力軸受を新製する。

(2) タービンと切離して運転するため潤滑油管系の改造が必要となる。電動式油ポンプの新製

(3) 冷却水管系の改造が必要となる。電動式冷却水ポンプの新製。

(4) 起動時に回転子に高圧給油を行うための軸受メタルの改造と高圧油管系の追加、電動式高圧油ポンプの新製

(5) 起動用発電機(場合によつては2台以上あるタービン発電機中の1台を用いることができる)起動用誘導同期電動機の新製

(6) 起動用低電圧電動励磁機の新製

(7) 起動用電動励磁機の新製

(8) 発電子回路の起動母線の新設

(9) 電磁接手の新製

(10) 上記諸改造新製にともなう種々の制御装置の新製および調相機運転に必要な制御装置の新製

カ. その他特殊な方法

三菱ユングストロムタービン発電機

神戸製作所 鈴木正材

1. 緒言

本発電機は大正8年製作開始以来、多数製作の経歴を有し、それぞれの容量、用途ならびに使用状態に応じその効率、取扱、耐久力、形態および重量等について實際的に十分良好な成績を挙げ得る特殊の構造を有し、なお設計・工作ならびに材料の選定に関しても多年の研鑽に基づき最良のものを製作し安心して連続運転のできる優秀品である。本機は構造上から見て、使用に制限のあるように考えられる向が往々にあるが、背圧・抽汽等用途に適した構造に製作することができ、熱と動力とが同時に要求されるプラントすなわち製紙、人絹、油脂、石鹼、紡績および製糖等において合理的に動力網を以て互に結びつけられた場合、高圧力背圧タービンには最も適当であつて、理想的な発電機と言ひ得るのである。

本機各部は何れも標準化し500/700kW. の小型から10,000/14,000kW. の大型まで、また3,000rpmでは25,000kW. 迄製作完了している。

製品中各出力に対する主なるものは下記の通りである。

納入先	容量 (kVA)	容量 (kW)	電圧 (V)	周波数 (Hz)	回転数 (rpm)
華北電業	31,250	25,000	11,000	50	3,000
満洲電業	17,500	14,000	11,000	50	3,000
同上	"	"	6,600	"	"
大平鑛業(直島)	12,500	10,000	3,300	60	3,600
九洲曹達	9,375	7,500	3,300	50	3,000
日本製鉄(清津)	"	"	"	60	3,600
帝国電力	8,750	7,000	3,300	60	3,600
南満電気	"	"	"	50	3,000
旭硝子(牧山)	7,875	6,300	3,300	50	2,000
王子製紙	6,250	5,000	2,200	60	3,600
日本化成(黒崎)	"	"	3,300	50	3,000
大平鑛業(佐渡)	5,250	4,200	3,500	60	3,600
日本製鉄(大治)	"	"	3,300	50	3,000

以下 4,000kW. 3,500kW. 3,000kW. 2,800kW. 2,000kW. 1,500kW. 1,400kW. 1,200kW. 1,000kW. 700kW. 等各種製作済である。なお戦後の製品としては下記の通りである。

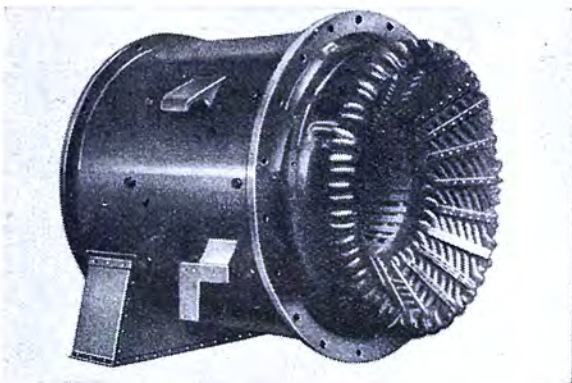
納入先	容量 (kVA)	容量 (kW)	電圧 (V)	周波数 (Hz)	回転数 (rpm)
三菱鑛業(美唄)	8,750	7,000	3,500	50	3,000
パキスタン	3,750	3,000	3,300	50	3,000
タイ納(製作中)	8,750	7,000	3,700	50	3,000

2. 構造の概要

本発電機は、左右に電気的および機械的に全く均齊な発電機を有し、励磁機は1台片側に配置して両発電機を直列に励磁している。

3. 固定子

T級0.35mm厚さの硅素鋼板を用い、その両面に絶縁塗



1 図 固定子

料を施し、かつ適当な間隔に絶縁紙を挿入し鑄鉄製の大きなクラムバーで所要寸法に締め上げて、渦流損失を極力軽減している。固定子線輪はインヴォリュート型の型巻線輪を使用し、大電流となれば、線輪間の繋ぎにおいて並列にある導体を入れ換えて接続を行い、できるだけ渦流損失を防止している。線輪の各導体は裸平角銅線を用い、おのおのマイカテーピングを行い、なお層間とはとくに層間帯絶縁を施し、大地絶縁としては、電圧に応じてマイカ絶縁を施した上、真空充填を完全に行い、絶縁間の空気を抜きとり、絶縁コンパウンドを完全に充填している。線輪を溝内に納めた後は、コイルエンドを丈夫な支持金物で鉄心のクラムバーに取付け、短絡等の故障を生じた時の機械的衝動に対して安全ように設計してある。

4. 回転子

回転子鉄心は炭素鋼あるいは大容量機にはニッケル鋼を使用して、機械的強度に対して一定



2 図 回 転 子

の安全率を与え、鉄心素材に直接平行溝を切り込み励磁巻線を巻くので、コイルエンドを全部回転溝に嵌入できる故、軸受間の距離を短縮することができる。これは、本機の如く臨界速度が正規回転数の上にある場合には重要なことである。鉄心の両側には、とくに非磁性の円環を置き機械的強度の高い非磁性のリーマボルトを用いて鉄心、円環および軸の3者を一体として、殆んど一剛体同様のものとなっている。回転子巻線は、薄い銅帯を用い各層間には、純良なマイカテープを用い、また大地に対しては完全なマイカ絶縁を行い、溝内部には些少の空隙もないよう絶縁物を充填し、各溝の外側にはマンガンブロンズの楔を嵌入して機械的に完全に線輪を押える構造である。

発電機用扇車は鍛鋼製ボスに鋼材製羽根を溶接したプロペラ扇車を使用し、その機械的強度を十分もたせている。発電機の通風孔および排気孔は何れも下側に設け風導管により連絡され、風導管の一部に空気冷却器を設置した密閉式空気冷却方式または空気濾過器を用いた通風方式を採用することもできる。

本発電機にて左右発電機は電気的、機械的に均斉であるが励磁機および附属装置を左右に配置する関係上、タービン両翼盤にかかる回転力を異にし、また両翼盤に与えられる回転力も全く同一でない。従つて無励磁の場合は両側の回転数に多少の差を生ずるが、一旦励磁を与えると、両側発電機は同期化する。その同期回転力を生ずる主なる原因は、回転子楔によつて形成された電気回路により生ずる回転力である。

本発電機にて調相機運転を行うには、タービンで起動して発電機を線路電源に並列に入れ、発電機を同期調相機として運転する。運転中は翼の冷却に必要な程度の蒸気を供給する。

5. 特 長

ア. 効率の優秀

発電機軸に取付けられた左右2組の翼盤は、互に導翼または動翼となつて反対の方向に回転する故タービン翼の関係速度は2倍となり高い効率を得ることができる。

イ. 振動の僅少

回転部分は凡て機械仕上を施し、厳密な平衡試験を施行する故振動は非常に僅少である。

ウ. 始動準備の迅速

肉厚の材料を使用しないため、数分ないし十数分でウォーミングを終り規定回転数に上昇することができるのは他機の追従し得ない所である。

エ. 機関室の縮小

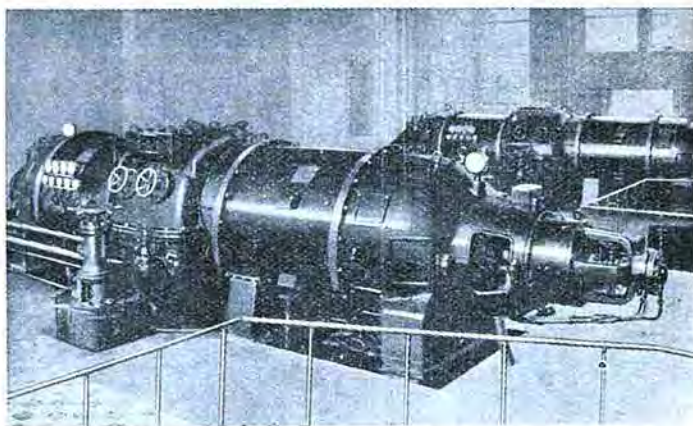
他種タービンに比し形体小さく、かつ軽量なため機関室の建設費を大いに低減することができる。

オ. タービン床の省略および基礎工事の簡単

本機は復水器上にタービンおよび発電機を装備するため、上床を省略し得、かつ基礎工事はとくに簡単である。

カ. 高圧高温蒸気使用に対する適合

本機の構造と、使用材料とは他の型のタービンに比しとくに高圧、高温蒸気の使用にも適し、それによりますますタービン効率を良好ならしめる。



3 図 7,000kW 三菱ユングストロムタービン発電機

文 献

- (1) ユングストロム蒸気タービンによる製紙工場用火
力発電所 三菱電機 昭6.4 古丸藤太
- (2) 大型ユングストロムターボ発電機について
三菱電機 昭11.4 古丸藤太
- (3) 三菱ユングストロム蒸気タービンの発達を顧みて
三菱電機 昭13.3 丹羽周夫

ジ ー ゼ ル 発 電 機

神戸製作所 松 村 敏 三

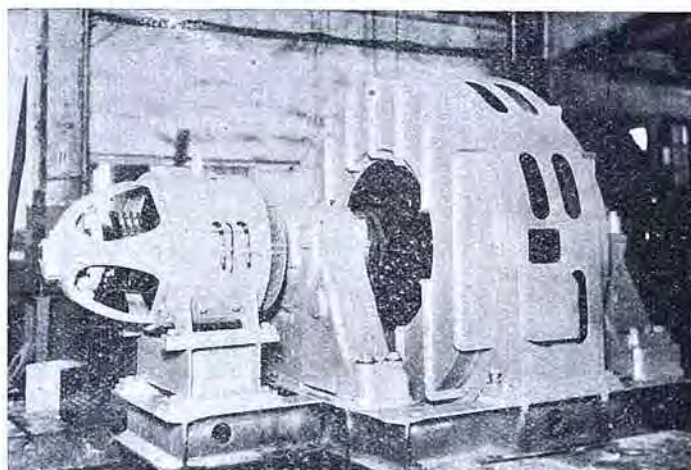
ジーゼル機関により駆動される同期発電機は、補助発電・工場動力用の発電、独立小部落の電灯電力用および非常用発電等に広く使用されている。とくに最近では離島の電灯電力用および工場・ビルディング等の非常用電源としての需要が極めて多い傾向がある。

ジーゼル発電機の構造は小容量、高速度の機械を除いては、通常両ベダスタル型とし鋼材溶接構造を採用して軽量頑丈を特長としている。小容量機にはブラケット型鑄鉄製固定子枠を採用している。1図、ないし3図は鋼材溶接構造による標準型のジーゼル発電機の外観を示す。最近では2図に示す如き平鋼溶接の強めを廃して、3図に示す如く押出しによる強めを有する端部を採用して、外観の美しさにも注意を払っている。

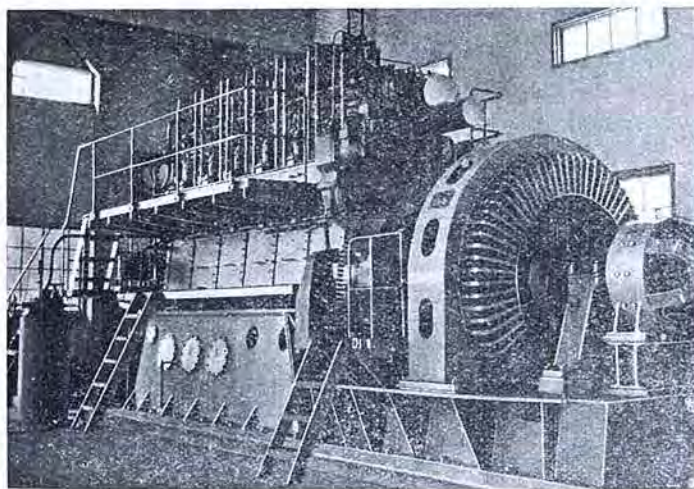
水力・火力による発電に比して、建設は簡単容易でかつ低廉であり、取扱いも容易で短時間に起動し得る等の長所がある。これらの理由により最近、とくに、工場・ビル等の非常用電源として大いに利用される所以でもある。去る昭和25年9月ジェーン台風が阪神地方を襲った際、停電にも拘らず非常用電源としてジーゼル発電機を有していたため、排水その他災害時の

諸活動に支障を来すことなく、被害を最小限に食い止めた工場があつたことは新聞紙上に報ぜられ読者諸賢の御記憶に新たなことと思う。

非常用電源として使用される場合、配電線による受電が停電した後、短時間にかつ自動的にジーゼル発電機が完全に運転状態になるように自動起動が行われている。極めて短時間の停電をも自動的にかつ確実に避けたい場



2 図 日本放送協会 (JOBK) 納入 500kVA 3,000V
3相 6極 514rpm ジーゼル発電機

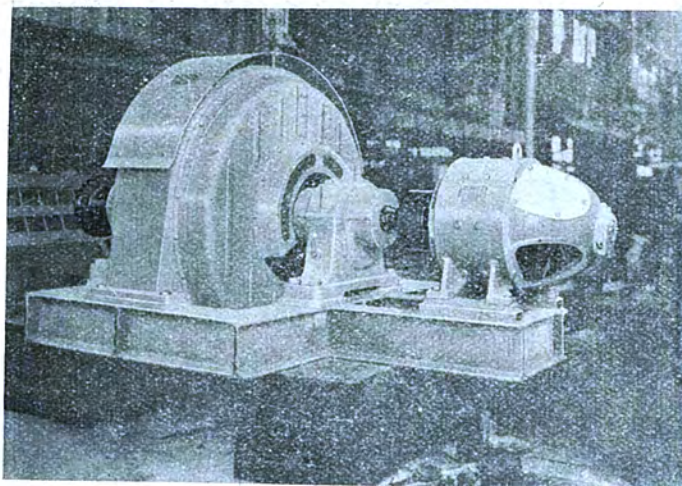


1 図 九州配電福江島発電所納入 660HP 500kVA 400kV
3相 3,300V 50/60~1300/360rpm ジーゼル発電機

合、たとえば放送局用などはこの方法が採用され、大阪を初め松江・数濁・鹿児島放送局向に製作した。最近はこの外に東京ビル・日本無盡ビル等ビル向の発電機にも採用されている。

当社が嚚に製作したジーゼル発電機は、その台数は700台に達し、合計出力は90,000kVAを突破している状態で、そのうち代表的なものをあげれば、1表の通りである。また終戦後製作したものうち、主なものを挙げれば2表の通りである。

現在も各方面より多数のジーゼル発電機を受注製作中であつて、しかもその殆んど大部分が非常用電源である点からまたジーゼル発電機に



3 図 北海道利尻島電気協組納入
250kVA 3,300V 3相 50~ 375rpmジーゼル発電機

自動起動装置を組合せて、非常用電源としての機能を最高度に発揮せしめ得ることからも、非常用電源としてのジーゼル発電機の将来性に大いなる期待を有している次第である。

参 考 文 献

- (1) 楠瀬康雄 ジーゼル機関直結交流機に関する2・3の問題 三菱電機 昭6年7月

1表 当社で製作せる代表的ジーゼル発電機 (750kVA以上)

納 入 先	出 力 (kVA)	電 圧 (V)	回 転 数 (rpm)	周 波 数 (~)	製 作 年	台 数	備 考
旧 海 軍	1,700	6,600	333	50	昭18	3	
三菱鉱業(佐渡)	1,475	3,500	300	"	昭12	2	
" (細倉)	1,250	3,300	375	"	昭14	1	
帝国石油(新潟)	930	"	250	"	昭17	1	

2表 戦後製作せる主なジーゼル発電機 (300kVA以上)

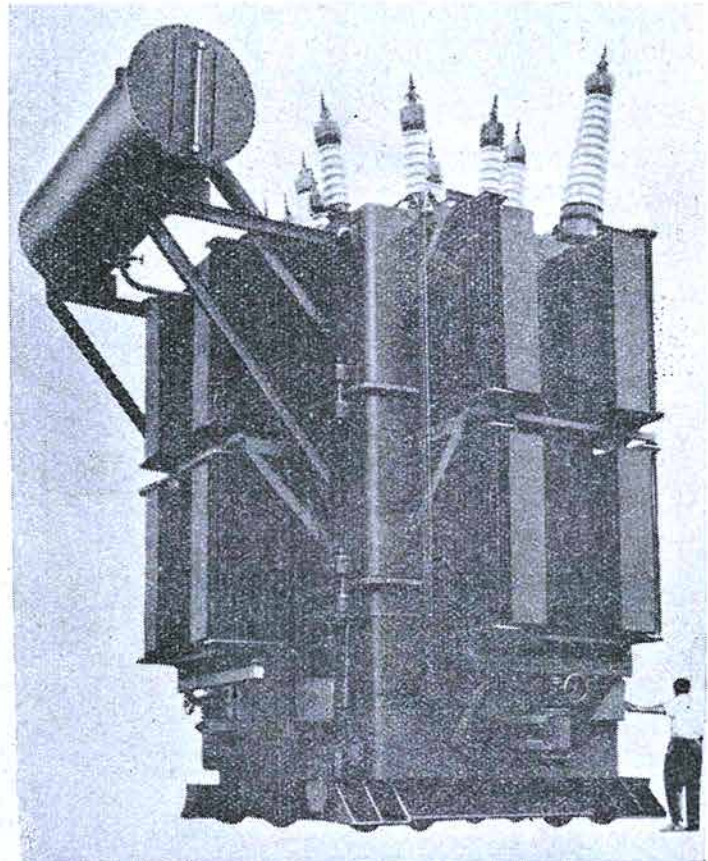
納 入 先	出 力 (kVA)	電 圧 (V)	回 転 数 (rpm)	周 波 数 (~)	製 作 年	台 数	備 考
住友電工(大阪)	500	3,300	600	60	昭24	1	非常用電源
電 通 省	420	"	"	50	"	2	"
日本放送協会 (JOBK)	500	"	514	60	昭25	2	" 自動起動装置付
九州配電(福江)	500	3,450	300/360	50/60	"	1	離島電源
" (芦辺)	500	"	360	60	製 作 中	1	"
新扶桑金属(大阪)	500	3,300	"	60	"	2	非常用電源
旭ガラス(尼ヶ崎)	313	"	400	60	"	1	"
" (鶴見)	313	"	375	50	"	1	"

大 型 変 圧 器

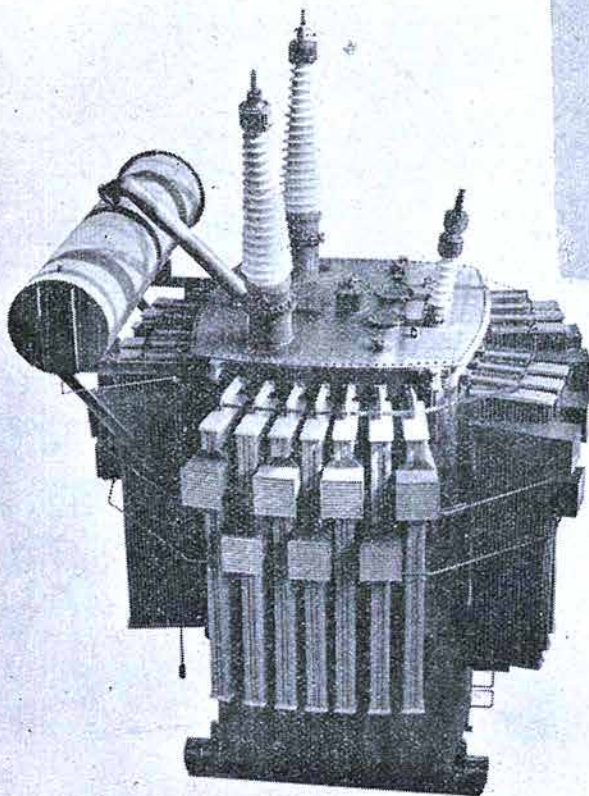
伊丹製作所 田 宮 利 彦

I. 緒 言

電力用の大型変圧器としては他社と同様の内鉄型（コア型）と三菱独得の外鉄型（シェル型）とを古くから製作している。大正12年米国ウェスチングハウス社と提携以来、各品種にわたり設計・工作・ならびに材料に対する一切の資料を得て新規の製作に着手して既に20有7年に及び、絶縁力・機械力共に優秀にしてかつ安全率の大なることは過去の実績と事故率の最も少ないことによつて実証せられ、ますます好評を博している次第である。特に外鉄型の大型変圧器においては昭和10年以来W社独得のサージブルーフ式設計を施し、雷害や線路の事故に対しても電氣的ならびに機械



2 図 78,000kVA 161kV 3相 送油送風式
外鉄型サージブルーフ式（昭和電工納入 終戦後の記録品）



1 図 50,000kVA 220kV 単相 油入風冷式
外鉄型サージブルーフ式（満洲電業納入 わが国記録品）

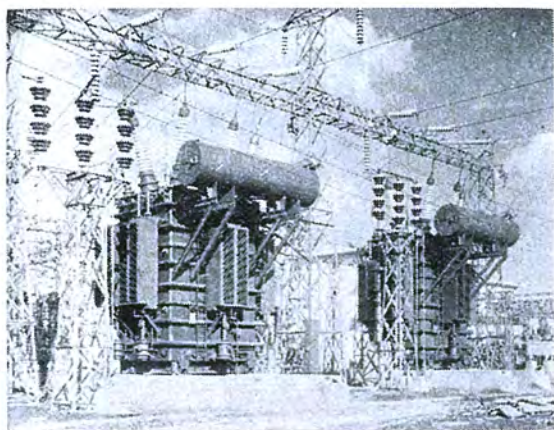
的に頑丈な構造となつており、従来からの並形のシェルタイプ変圧器に比べて格段と耐雷性を増し、絶対故障の起らない変圧器を標榜している次第である。

しかして昭和16年には朝鮮の江界水力より世界記録である出力 141,500kVA 3相 220kV 変圧器を受注し設計を完了したるも時局の都合により中止となり、続いて朝鮮電業より 100,000kVA 3相 220kV 変圧器を受注し、ほぼ完成したが実用に至らずして終戦となつたが、本器は送油送風式の第1号品である。

また、満洲の撫順および鞍山に単相 50,000kVA 220kV の変圧器を7台納入し、昭和15年より無事故に運搬され満洲における最初の 220万V 級変圧器

で、バンク容量 150,000kVA として世界最大品であつた。また漢江水電に 67,500kVA 3相 154kV 自冷式（一部風冷）が納入せられ何れもサージブルーフ型の記録品である。

下つて、終戦後は昭和電工川崎工場に 78,000kVA 3相 154kV 送油送風式を納入しわが国における記録を樹立した。本器は三菱式Uフィン管放熱器を使用した送油送風式の記録品であつた。（2図参照）続いて本方式のものが日発岡山発電所納め 25,000kVA 7台その他に採用せられて好成績をあげている。



3 図 39,000kVA 161kV 3相 送油送風式
三菱Uフィン放熱器付 外鉄型サージブルーフ式
中性点絶縁低下

3図は日発仙台変電所へ納入した39,000kVA 3相 147kV 級の変圧器で下に記す各種の特長を有する代表的製品である。すなわち三菱サージブルーフ式で147kV側線輪の中性点側の絶縁を $1/\sqrt{3}$ 級に低下したもので、Uフィン式送油送風機を本体に取付け床面積と油量を著しく軽減し得た一例である。

（注）現在の世界記録は単相33,333kVA 3相 145,000kVA 138kVでWH社製品である。

II. 電力用変圧器の型式

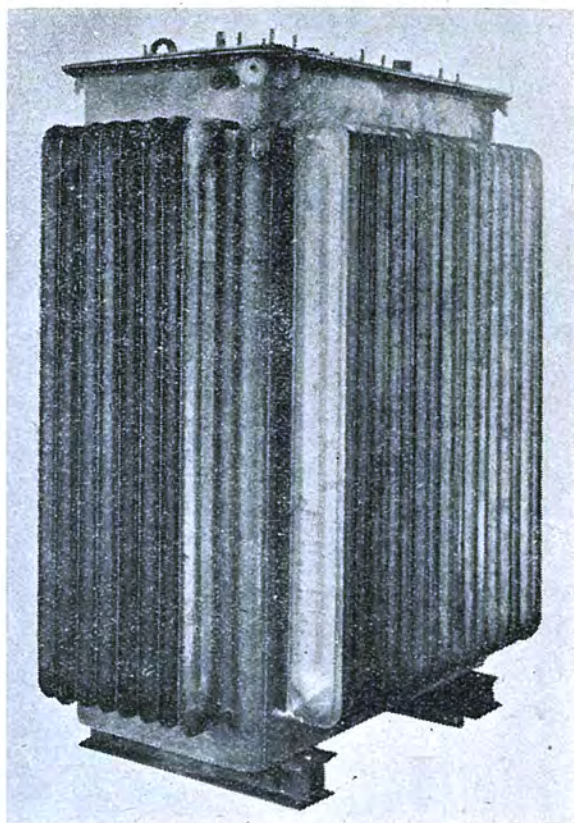
1. 冷却方式

大型変圧器としては油入自冷式、油入風冷式、送油風冷式等あらゆる種類を製作しているが、一般標準としては設備が簡単で運転が容易であり、信頼度・耐久度、および能率の高い点で油入自冷式変圧器が最近最も普通に採用せられ、その容量も 50,000kVA に及ぶものがある。

しかしながら、大容量器になると放熱器所要数が多くなり、油量・価格・床面積が増大するので、強制冷却方式によつた方が経済的であり、また負荷変化に応じて冷却効果を加減できるので現在では送油送風式を第一に推奨している。

2. 油入自冷式変圧器および油入風冷式変圧器

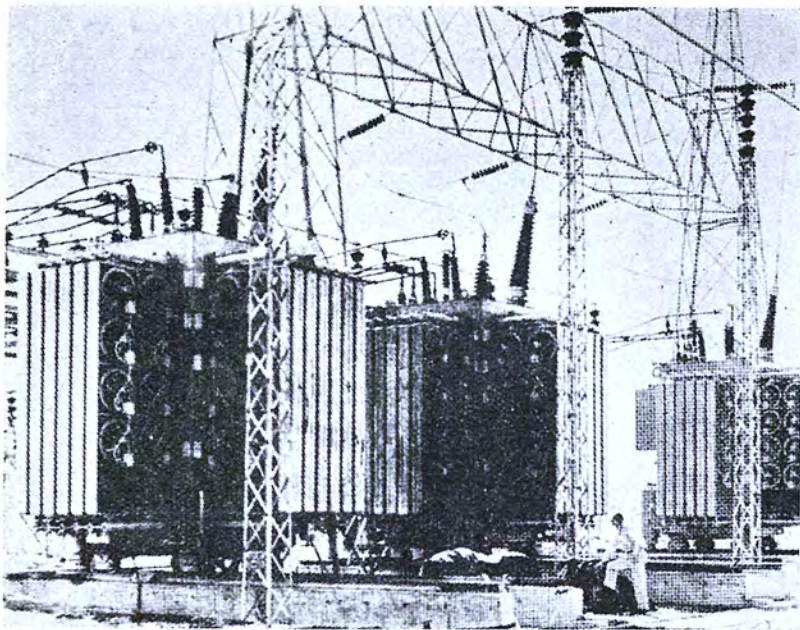
自冷式変圧器用放熱器は標準として厚さ 1.2 耗の楕円形管に補強溝を入れた放熱管を47本 または 59本上下



4 図 CT型変圧器用外箱 (500kVA以下)
シーム溶接式放熱管使用

のヘッダーに溶接しており、温度の変化に対して該ヘッダーの弾力で屈伸して無理のかからぬようになっている。本放熱器は丸形管に比べて同一放熱面積に対して放熱器油量を極力減少する利点がある。なお本放熱器を損失に応じてその長さおよび本数を適当に選んで主油槽に放熱器弁を介して取付ける。輸送または取替えには油を抜かずに放熱器を取はずることができるので便利である。大体 500kVA 以上の変圧器に使用せられる。

また小容量のものには油槽に直接上記の放熱管を取付けられることがあるが、この放熱管には最近シーム溶接法を採用し、その工作法の進歩に成功した。4図はシーム溶接による放熱管を付けた油入自冷式変圧器タンクの写真である。またこの放熱器は送風機を取付けることによつていわゆる油入風冷式とすることも容易にでき、これによつてその放熱効果を 50%ないし 150% 増加せしめ、出力において 25%~50 %増大することができる。この方法に2種類あつてその（1）は従来の方式で各放熱器に1個または2個の 1/10HP 位の排気扇を設けるもので本式は排気扇の数が多くなつて保守点検に不便である。1図はその一例である。その（2）は最近採用される方式で5図の如く一列の放熱器群の側面より1/2HP 位の強い送風機で冷却するもので、送風機も8図に示すような丈夫な構造であり、数も少く点検に便利な位置にあつて保守に大変手数が省け耐久力も遙かに大きい。



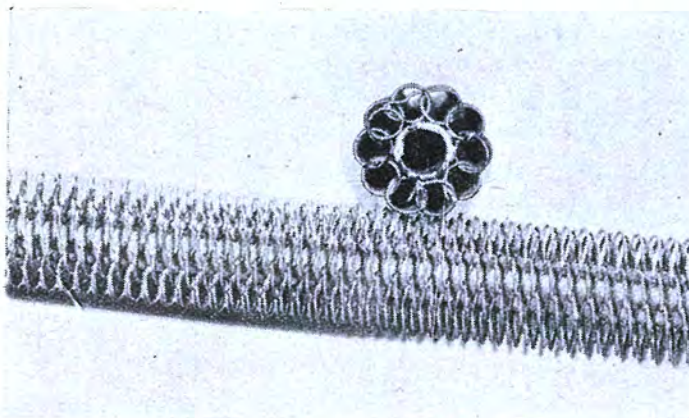
5 図 83,333/65,000/50,000kVA
230kV 単相 3重巻格自冷送油風冷式

これらの送風機は負荷に応じて自動式に運転を制御して不用の損失を除去することができる。

3. 送油風冷式変圧器

三菱送油風冷式変圧器はUフィン管放熱器を使用して変圧器油を特殊の密閉型電動ポンプによつて強制循環せしめ、一方空気を多数の小型送風機で吹付けて冷却せしめるものである。

Uフィン管放熱器というのは6図に示す如き引抜鋼管の周囲に銅線または鉄線を緊密に鎖状にして巻つけた上、鋼管と共に溶融亜鉛鍋に浸して鍍金して一体としたもので、相互を熱的に密着せしめた上防錆効果もかねた放熱管でこれを従来の放熱管の代りに上下のヘッダーに多数取付けたもので、放熱面積が著しく増加する上に針金の錯雑した配列によつて、流れる空気を

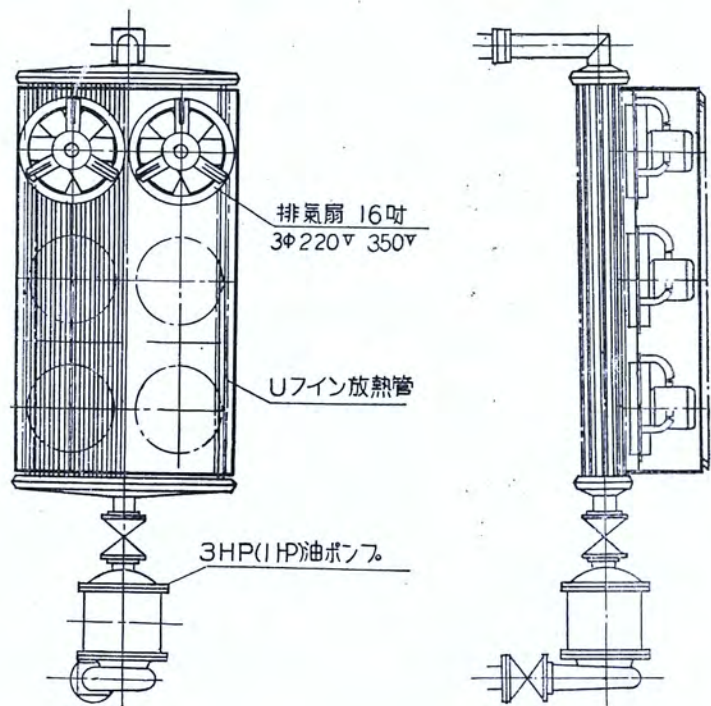


6 図 三菱Uフィン式放熱管

掻き乱していわゆる乱流を起させるので、熱気の停滞層や渦流部を全然除去して冷却効果が甚だしく大きくなるのである。

7図がUフィン管放熱装置1ユニットを示す図であるが、放熱器の長さは6尺および8尺を標準ユニットとし容量に応じて必要数装置すれば10万kVA程度の大容量器でも至つて簡便に据付寸法も狭少に取付けることができる。(2図および3図参照)

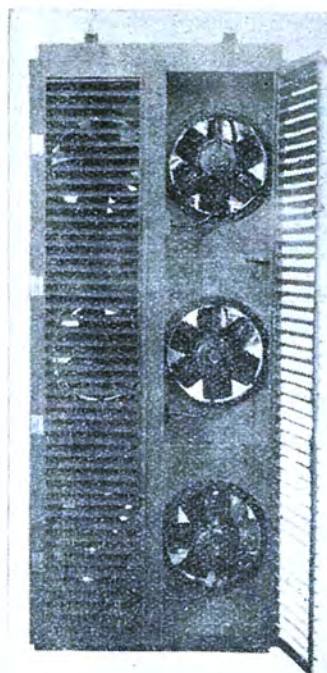
送油ポンプは1HPおよび3HPを標準とし、油量は500立/分ないし1,500立/分循環せしめるが、変圧器外箱に直接取付けられてあるので流通のヘッドは少なくてよく、かつ速度が低い



7 図 Uフィン式送油送風放熱器

ので空気分離器は全然不要である。送油ポンプは電動機とポンプとが一体となつて同一ケーシング内に納められ、完全に全閉型となつてゐる特殊のものを使用している。従つて軸の部分から油の洩れる心配がなく、取付けも変圧器外箱に直結できて床面積が節減できる。

送風器は8図に示す如く1/2HP位の小型送風機を数個放熱器前面に直接取付け放熱管の油流と直角に送風するようになっており、風洞がなくて直接に送風するから圧力僅少、風量大で高能率と



8 図 1/2HP 3相 200V
放熱器用排気扇

なる。1個か2個のファンがたとえ停止しても全冷却効果には大した影響はなく、安全率が高い。停電による油ポンプおよび送風機全停の場合にも油の自然対流はポンプを経て自由にできるから本器は自冷として使用できるが、冷却効果は激減するから連続運転能力はないが、全負荷で30分、75%負荷1時間位ならば差支えなく、その間に電源が恢復または不良の個所の修理や取替えもできるから負荷を制限する必要はない。

4. 水冷式変圧器および送油水冷式変圧器

据付場所の特に狭い時または室内で通風が悪く室温が高く換気の困難な場所、例えば地下室や工場内部に据付け、かつその容量が大きい場合（例えば5,000kVA以上）で前記の他の冷却方式では不便な場合に限り採用される。

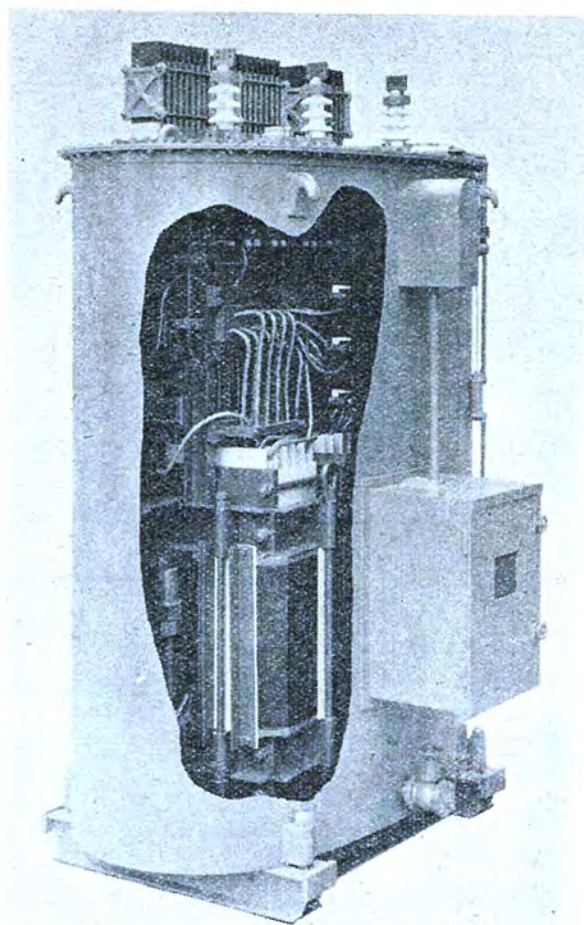
油入水冷式は9図の如く変圧器油槽内面の上部に銅製水冷蛇管を設置し、これに冷却水を通して直接冷却するもので、外箱はそれだけ大きくする必要があり、油量は自冷式と大差ないこととなる。また水質が悪いと銅管内面に水垢がついて冷却効果を激減し、また腐蝕して水洩れが生ずると絶縁破壊の事故を起すこととなる。

しかし単位面積当りの水冷管の冷却効果は大きいから損失の多い特殊変圧器（例えば強電流用、電気炉用、超高压用等）や昔の能率の悪い時代の変圧器には多く使用せられた。9図は12,000kVA 30,000Aの電気炉用変圧器である。現在では能率のよい中身と安価な放熱器ができたから保守に不便な水冷式は殆んど採用せられない。

更に容量が大きくなり場所に制限される時には送油水冷式を使用されることがある。これは変圧器の油を外部の別置の再冷器に油ポンプで循環し、再冷器には別に冷却水を流すもので、冷却水の圧力より油の圧力を高くして万一洩れた時にも油中に水が入らぬようにすべきである。本変圧器は油量を最も少なくすることができる。

また冷却水に海水や不良水を使用できるように冷却管は耐蝕性の黄銅管（アルブラック管）を使用し、内部点検や掃除も容易にできるようになっている。本方式は油圧ポンプは上記のものより強力なものが必要で、空気分

大型変圧器・田宮



9 図 12,000kVA 3相 33,000A 電気炉用変圧器
(水冷式外鉄型電動式タップ切替器付)

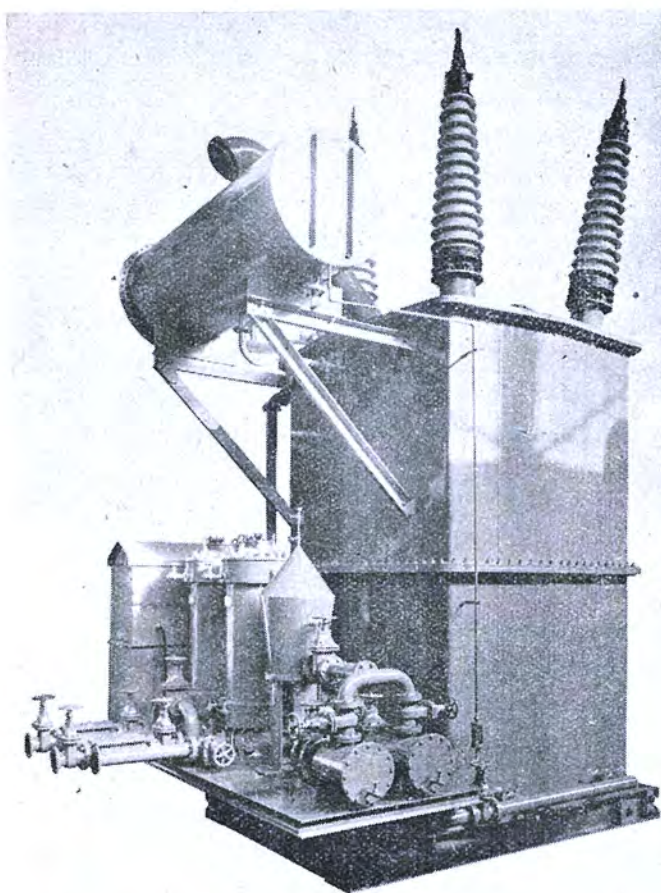
離器や油清浄器（ストレーナー）等を完備している。本器は数万kVA以上のものに使用して有効で、以前は欧州で盛んに使用せられた方式である。10図はその一方式である。

III. 大型変圧器の中身構造

電力用変圧器の中身構造は3相、単相共に外鉄型あるいは内鉄型を採用しているが、現在では標準として単相5,000kVA 3相15,000kVA 電圧110kV以上のものは外鉄型で製作することとし、内鉄型はこれ以下で設計上の都合で適宜決定している。

1. 外鉄型変圧器（サージブーフ型）

外鉄型変圧器は一般に絶縁物の設計工作が複雑で高価となるので、低電圧大電流用に適すというように昔の教科書は教えており、現在でもそう信じている所もあるが電気炉用等の低電圧大電流用にはもちろん有利に製作できるが、一方高電圧送電線用の大電力変圧器にも最も適切な構造であることが十数年以前から雷撃の研究や衝撃電圧に対する絶縁強度の実験が進むにつれて判明してきた。すなわち雷害によつて変圧器の破壊されるのは主として線路端における巻線の層間ならびにコイル間の絶縁で、これは衝撃電圧が進入して来てもコイルと大地間の



10 図 17 000kVA 3相 161kV 送油水冷式変圧器 (堅型冷却器付)

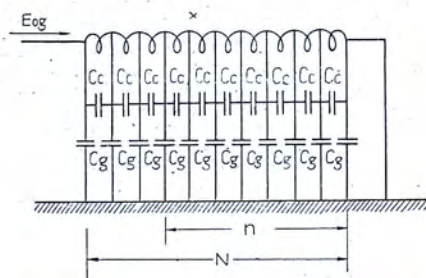
分布容量のためにその初期電圧分布が線端に集中するため、この初期電圧分布を改善することが遮蔽型変圧器の目的である。外鉄型変圧器は設計上コイルは扁平で大きく、かつその数 (N) が少く普通は数個で最大十数個であるから線輪相互間の静電容量 C_c は大きくその全直列容量 C_s は C_c / N で大きい。一方各線輪と大地間の静電容量 C_g はこれに比べて割合に少く、全並列容量 C_p は $C_g \times N$ で少い値である。(11図参照)

E_{og} なるサージが一端に進入した時 E_n を n 番目のコイルと大地間の電圧とすると

$$E_n = E_o \sinh a \cdot n / N \sinh a \text{ となり}$$

$$a = \sqrt{C_p / C_s} \text{ である}$$

$$\text{また } C_p = C_g \times N \quad C_s = C_c \times \frac{1}{N}$$



11 図 初期電圧分布に対する等価回路

すなわち a の値が小さい程初期電圧分布は直線的となり各コイルの電位傾向が一様になる。これは大地容量 C_p に比し線輪間容量 C_s の大きい程いわけ三菱のサージブーフ式シェル型変圧器ではこの a の値は 0.5 ないし 1.5 で旧式のシェル型でも 3~5 位であるが、一方小さいコイルを数十個も高く積み重ねた内鉄型変圧器ではこの a の値が 10 ないし 30 となりそれだけ電位振動値が高くなるわけである。

したがって線輪端に静電遮蔽板を入れてもシェル型のように大きな容量を与えることが困難でそれだけ絶縁力に心配をせねばならぬ。最近 G.E 社ではこれにかんがみ円筒形多層式のコイルを高電圧用に採用し、コイル間の容量 C_c の増大に努めているようであるが、元来円筒形多層線輪は 11kV 以下の低圧用に用いられて好都合で、高圧用には円盤状が主であつた点にかんがみ冷却効果を減殺せぬように絶縁を強化することが困難な問題で、今後の研究と実績に俟たねばならぬことだがシェルの利点に接近



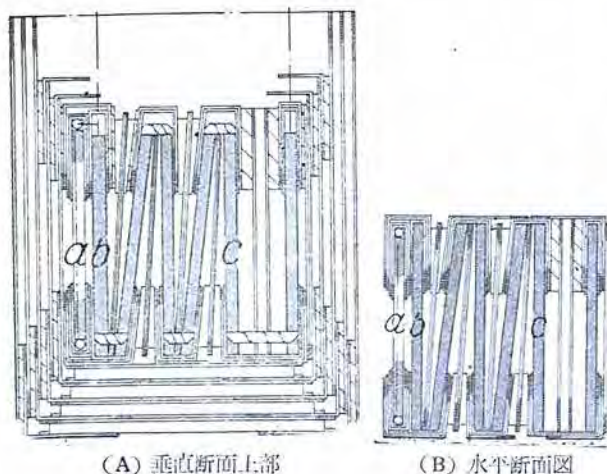
12 図 161kV シェル型コイル断面

してきたことはうなずかれる。

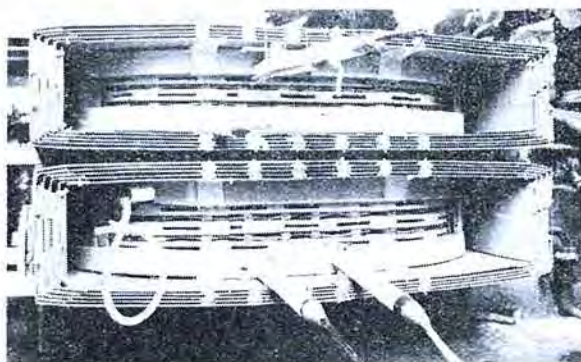
耐雷型の次の主点は高電位の部分を絶縁物で完全に包むようにし、従来の隔壁式のようにその沿面距離に頼らないことである。衝撃電圧に対しては沿面絶縁耐力は商用周波電圧に比べて著しく低いので、ある程度以上はいくら沿面距離を延ばしても役に立たない。

従つて破壊は絶縁物の貫通によるように設計して絶縁物は高電位部を包むかまたは等電位面に沿うように配置してある。先ず銅線は12図の如く2本の角帯に分け各単帯を2枚のマ=ラ紙で絶縁の上処々転位して過流損失を少くしてあるものを使用電圧に応じて数枚ないし数十枚の良質な絶縁紙をまいて十分な層間耐力を与えたものを所定の型にて線輪に仕上げ数回のワ=ス処理を施して強固なものにする。

かかる線輪は13図の如く純良なフラーボードと言う絶縁板を挟んで十分な絶縁耐力と通油間隙を保つ上に電圧分布に応じてコイル間の間隔を広くするように傾斜を設けて組立てられ、またコイルの内面外面の全周は同様絶



13 図 サージブーフ型変圧器絶縁断面図



14 図 サージブーフ型線輪組立品の一部

縁で形成した溝形、および山形の平板や同じく彎曲板で囲み全然露出部のない完全なものとなる。14図はその一部を上方から見たもので通油溝のみが見られる。

かくの如くして内部電位振動を抑え電位傾度を低くした上に十分かつ合理的な層間絶縁方法を施し比較的僅少な材料を以て十分な絶縁力を持たしめたものが三菱サージブーフ型変圧器で、常に線路碍子または変圧器套管の保護間隙より高い絶縁強度を有し、完全な協調が保たれる。

本方式の変圧器が昭和10年より60kV級以上に実施して既に15年になり従来のシェル型に比べて一段と丈夫になり、未だ電害による絶縁破損事故を見ない好成績である。

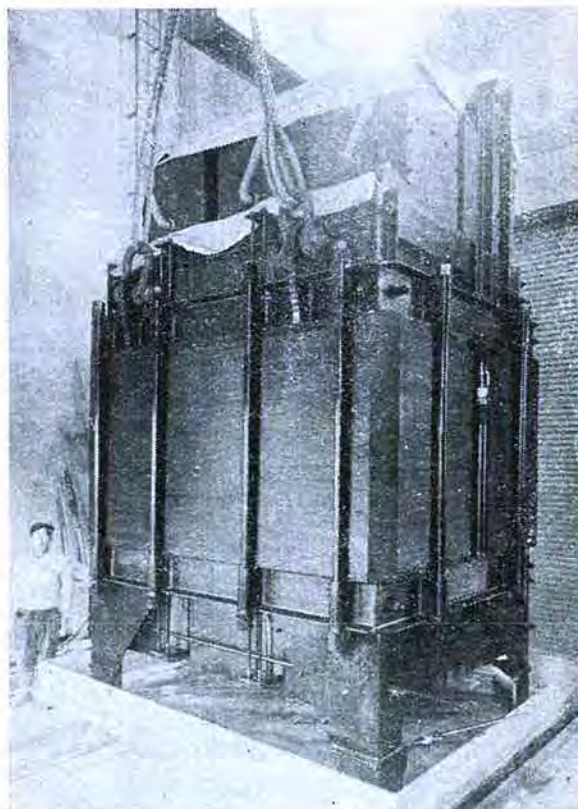
更に三菱シェル型変圧器の特長は上記の如く完全に絶縁物で包んだものを四周から鉄心で取り囲んでおるから外傷に対して完全に保護せられ、その絶縁力の強い点と相俟つて鋼鋳装型 (Steel cast type) とも考えられ横倒しとして汽車輸送も安心してできるわけである。

また短絡による機械力に対しても強いことは言うまでもなく、更に鉄心より上下に延びている線輪部分には15図に示す如く広い丈夫な縮付銅板で一様に縮付けられているから単位面積に対する力が低くて変形破損の虞がない。

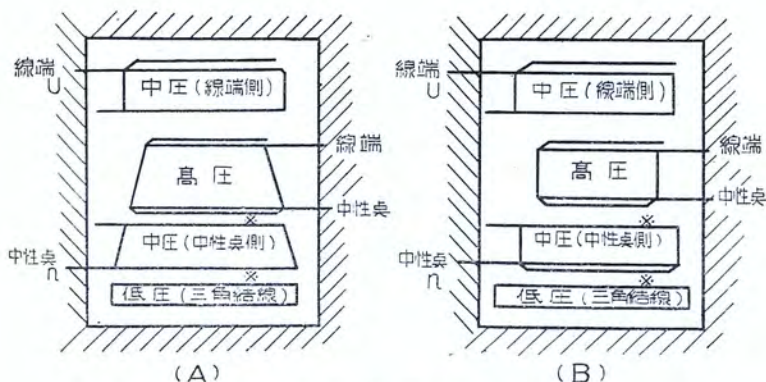
一部にシェル型変圧器はコイルが短形だからコア型変圧器の丸形コイルより弱いと悪宣伝する声をきくがこれは全然支持のないコイル単独の場合の話で上記のようにコイルの内外周共完全に縮付けられて変形の余地のない場合には問題にならず、特にコイル個々に働く力は僅少であつてこれは銅帯自身の力で十分耐えられ、むしろ高圧線輪群と低圧線輪群相互に作用する力は莫大で、これがために破壊されるのが普通である。しかるにコア型は普通一群のアンペアターンが大きくコイルの工作やタップ使用等のため少しの不均衡によつて生ずる上下方向の力は莫大でかつこれを支えるコイルの上下方向の面積が少いために変形破損を起し易く大電力用としては問題が多い。

またシェル型のコイルは垂直に油隙があつて、かつその断面積が大きいので油の対流が自然でかつ促進されるから水平の狭い油隙を多くもつコア型に比べて冷却効果はよく油とコイルとの温度差は少く垂直のコイル面には油のスラッジ等の生成付着する欠点もない。

次に特筆すべきことは、従来製作されて来た高電圧変圧器は星形結線であつてその中性点の絶縁は線路端と同一絶縁すなわち Full Insulation であるが、最近当社において採用した中性点側の絶縁を $1/\sqrt{3}$ 程度に低下せしめる中性点絶縁低下方式である。16図(B)は外鉄型変圧器の線輪配置を示す略図であるが、図中※印を附した中性点側の絶縁を低下し、絶縁低下した中性点には同



15 図 39,000kVA 3相 161kV 外鉄型変圧器



※印箇所絶縁減少
16 図 段絶縁方式(A)と中性点絶縁低下方式(B)

じく $1/\sqrt{3}$ に制限電圧を落した避雷器を接続し衝撃電圧による高電圧を放電して保護し、異常電圧による中性点の電圧上昇には耐える程度になっている。また中性点側套管も $1/\sqrt{3}$ のものを使用して保護間隙をつけてある。かく中性点を絶縁低下することにより、資材の節減・全重量の減少・インピーダンスの低下等極めて有利な点多く、高電圧変圧器に対する標準方式と考えている。最近製作の 100kV 以上の変圧器はすべて本方式を採用し、昭和24年前記 25,000kVA 161kV 変圧器以来凡て良好な運転を続けているのである。

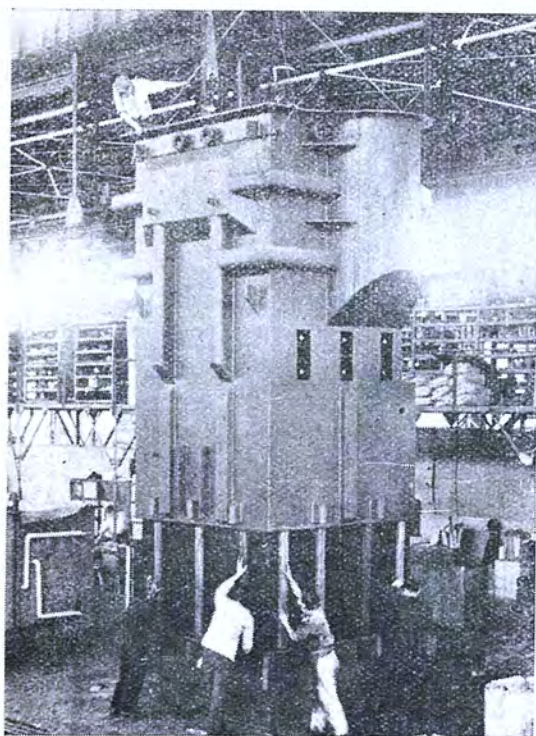
近く実現の具体化をみる新北陸幹線 275kV 用超高電圧変圧器は、わが国において初めての直接に接地方式を採用することになったから、更に一步を進めた段絶縁変圧器の実現が期待される次第である。16図(A)に段絶縁方

式の略図を示してあるが、これは線輪内部にも順次その絶縁を少くしたもので同上牧方変電所用の 117,000kVA は本方式を採用した最初のもので目下当社でこれが製作を急いでいる。

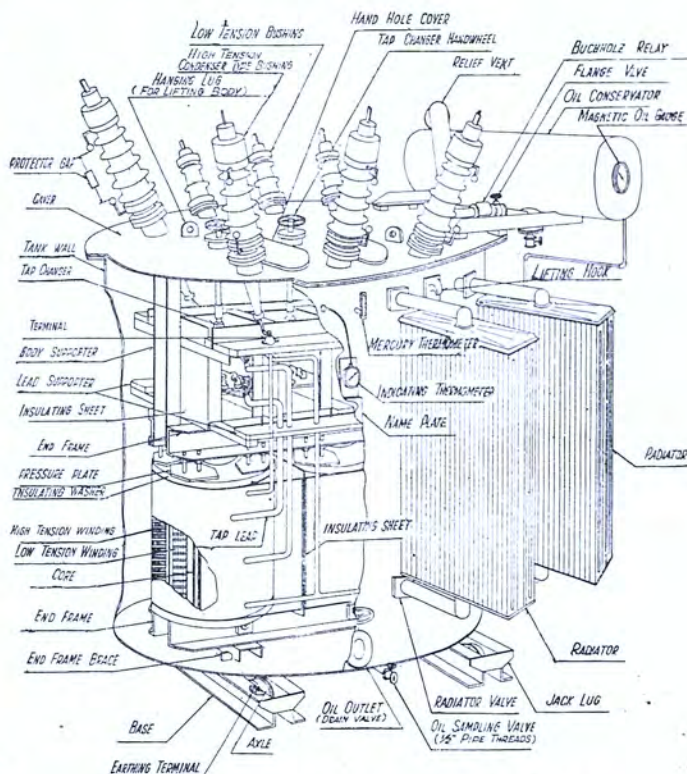
中性点絶縁低下方式にしる段絶縁方式にしる、いずれも外鉄型構造において極めて容易に実施可能であり、その利益も大きいのである。

第二の大きな変革は米国ウェスチングハウス社で今大戦以来盛んに使用されている Form-fit Tank の実現である。これはタンクを変圧器中身にびつたり適合する如く

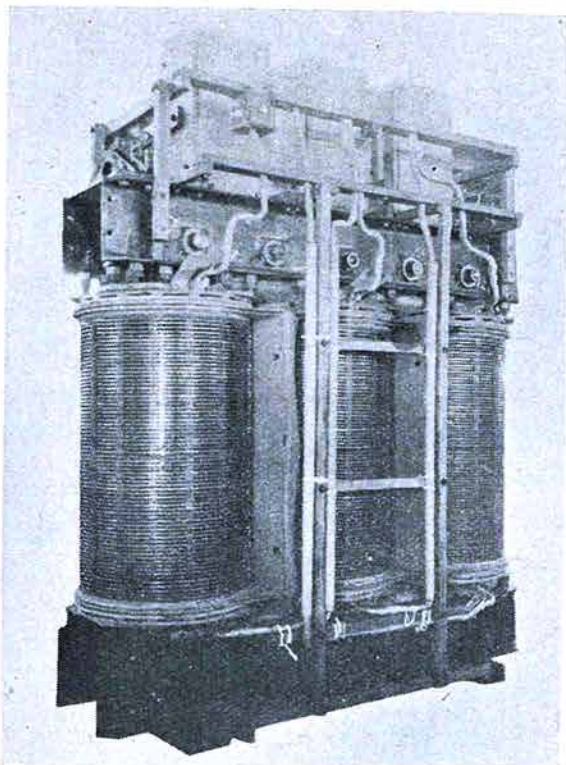
製作組立てるもので、すなわち下部鉄心枠および脚が下部タンクで代用され、鉄心とタンクとの間隙は極度に減少して上部タンクを摺り降すようにして接合するもので絶縁に必要な油を努めて節減してある。(17図参照)従つて、油量は30%程度少くなり、鋼板も10%以上節約できる。また変圧器をそのまま横倒しにして組立輸送を行うこともできまた現場組立にも中身を吊上げるための長大な起重機が不要となり極めて有利である。この方式は外鉄型変圧器のみが実施し得る特長であり、これにUフィン管放熱器を使用する送油送風式冷却法を講ずれば、その資材の節約・価格の減少・形態の縮小に如何に効果を發揮するか想像に難くない処であろう。本方式は最初に当社の高圧大電力試験設備単相 20,000kVA 150



17 図 わが国最初のフォームフィット(Form-Fit)型変圧器
20,000kVA 単相 150/300kV
(当社伊丹製作所高圧高電力試験所用)



18図 内鉄型変圧器説明図 3相 CR型油入自冷式

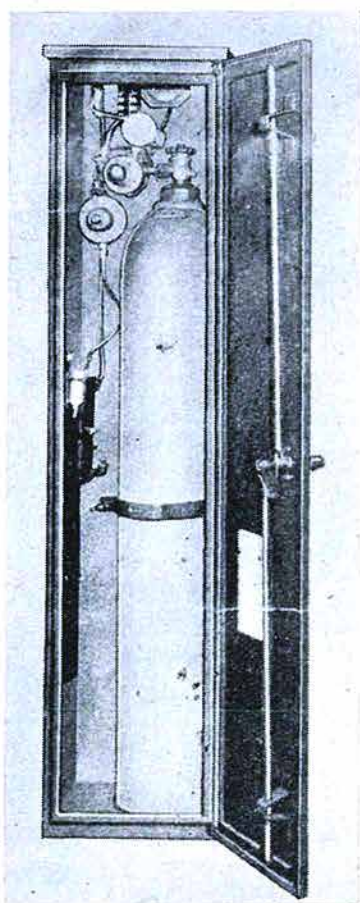


19 図 12,000kVA 110kV 3相 内鉄型変圧器
(日発 神の瀬発電所納入)

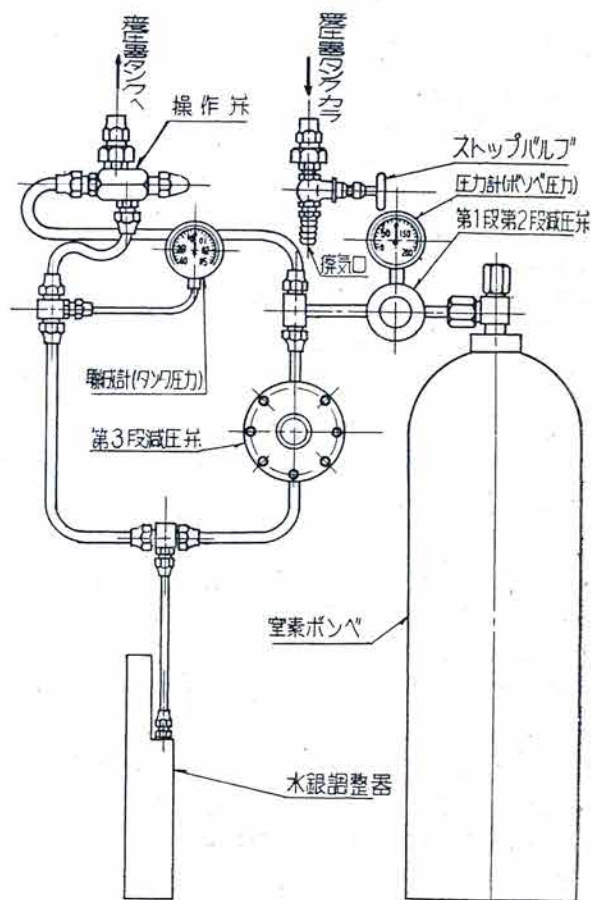
kV 用変圧器に実施し続いて上記牧方変電所の 117,000 kVA を初め大型変圧器に続々と採用され、本方式の真価が斯界に認めらるる日も遠くはないと信ずる。本変圧器のタンクの接合部は全部溶接して完全油密になつており、中身を出すには該溶接部を焼切つて外すようになっているが、絶対に故障を起す心配のない三菱サージブレーフ型変圧器においてはじめて自信を以て採用できるものである。

2. 内鉄型変圧器

中小容量電力用変圧器の場合に採用せられる内鉄型変圧器は単相器には2脚、3相器には3脚鉄心を使用することを標準としている。鉄心は円形線輪内側の有効空間を最大限活用するために数段の段付断面形状となし、継鉄角部で重ね継ぎし、脚部は適当ピッチの多数の絶縁した締付ボルトにより、また継鉄部は溝型鋼を通して強固に締付けてある。これらのボルト絶縁は当社独得のベークライトマイカルタ管を使用し、高温高力に耐える。線輪は低電圧、小電流のものにて多層円筒巻を採用することもあるが、11kV 以上または相電流 1,000A 以上のものは必ず連続円盤巻あるいは螺線巻を採用して線輪間にジョイントを設けることを極力避けると共に各銅帯を交



20 図 イナーテヤー装置組立図



21 図 イナーテヤー装置配管図

撚して過流損失の少いようにしている。線輪は特殊鋼板製線輪押えにより上下端棒の間に強固に固定せられて、線輪の機械的強度を強靱なものにしている。線間絶縁は外鉄型と同様マニラ紙を用い端線輪は特に強化すると共に2: kV以上の線輪には静電遮蔽板を挿入して、内鉄型特有の電位振動を抑制し、十分乾燥して特殊なワニス処理をしている。絶縁円筒はマイカルタ管を使用して機械的ならびに電気的に頑丈にし更に高圧のものには山形リング状フラボード絶縁環を用いて衝撃電圧に対する絶縁の強化を計っている。18および19図は代表的な3相内鉄型変圧器の組立図ならびに中身を示す。本コア型変圧器はかくして11 kV, 5,000kVA以下の中型変圧器に採用して経済的に設計できるが、特に電流の大きいものやタップの数とその範囲が広いものは上述のシェル型が有利で信頼度が高い。

IV. 変圧器附属品

1. 窒素封入装置

変圧器の絶縁の劣化は、殆んどが外気からの酸素や水分により、油入変圧器の保守の大部分は油の保守と言つて過言ではない。油の劣化防止法としては通常コンサベータを取付け熱い油と空気との接觸をできるだけ少くし油の膨脹収縮による呼吸作用に対しては吸湿用のアドソーブ・塩化カルシューム・またはシリカゲルを封入した呼吸弁を通じて行われる。一方コンサベータの上部または変圧器油槽の上部に油の膨脹収縮のための空間を残し、そこに窒素ガスを封入密閉し呼吸作用は別の窒素ポンペより減圧弁を経て自動的に補給して油が外気と接觸しないようにしたより完全な窒素封入方法がある。これはイナートヤ装置と称しわが国でもW社が20年以上の実績を有し大変有効であつた。本装置は20図に示すように150気圧位の市販の純良窒素ポンペより3個の特殊減圧弁によつて3段で150気圧より0.05kg/cm²に減圧して、変圧器油槽またはコンサベータに連結せられる。しかして油槽内気圧が0.05kg/cm²すなわち0.7封度以下に低下した時に自動的に窒素が供給せられて常に一定圧力すなわち0.7封度まで上る。

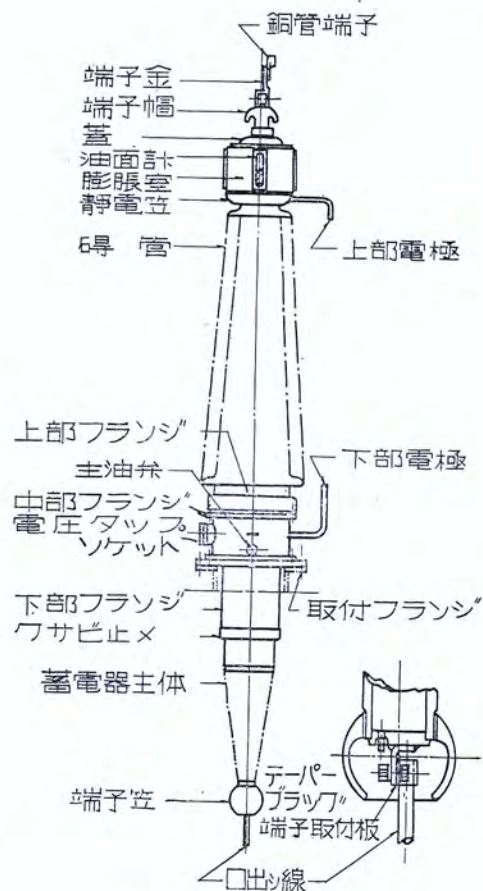
一方圧力が上昇した時は、21図に示すU字形水銀管による圧力調整器によつて0.31kg/cm²すなわち5.5封度まで保持し、それ以上の圧力は外気に放出される。従つて変圧器油槽内圧は0.05ないし0.31kg/cm²の範囲で窒素ガスの出入なく密閉された状態である。構成の大意は21図のように減圧弁・水銀調節器・高圧ゲージ・低圧正負圧力計(連成計)窒素ポンペ・外箱・および配管よりなつていて各減圧弁には保護用安全弁が附加せられ、油槽の圧力が0.4kg以上になつた時また負圧が一0.10kg以下になると警報を発するようになつている。

負圧が一0.17kg以下に下つた場合は前記水銀調整器から外気を吸入し、パッキング等の破損と湿気の浸入を防止している。またポンペの圧力が150気圧から15気圧

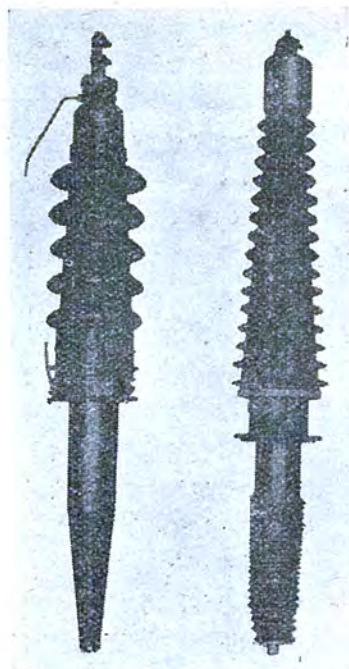
に低下した時に取替え準備の警報を出すから予備のポンペを準備する時間を十分与える、ポンペの取替期間は負荷の変動と温度の変化によつて左右されるが大休1/2~2年間位の実績である。

これは窒素室の容積を適当にして温度差30°C以内では上記圧力の範囲内に納まるようにしてあるから、窒素の出入はなく晝夜の温度差位では油の熱容量が大きいため30°C以内になりこれに四季の変化が加算されて初めて窒素の出入が生ずることとなる。とくに温度変化の激しい処では上記窒素室の容積を増せば窒素の消耗は更に少くする事もできた変圧器数台を一緒に連結して同一圧力に保つ時は各器の温度変化を調整して一層消耗を少くすることができるから予備変圧器を含めて1バンク毎に1組の大きい窒素タンクとイナートヤ装置をつければよい。ただ配管その他のバックング部よりの洩漏が大きい影響を及ぼすからできるだけ銅管を用いて各接合部は溶接することが肝要である。

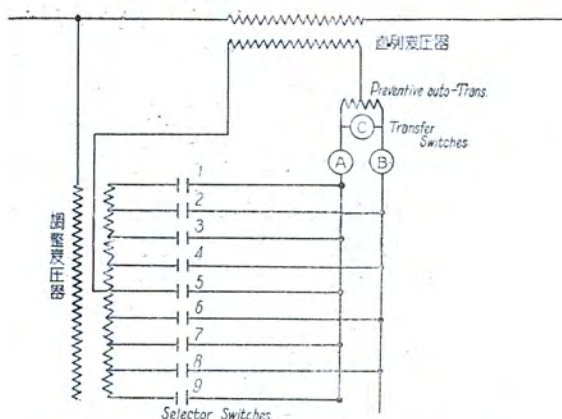
かくの如く窒素封入装置付変圧器では、タンク内には水分も酸素も入っていないから、油は濁つたりスラッジを生じたりしないので、油の濾過補給の手間が省け、かつ窒素は不活性ガスであるから、普通の構造の変圧器のように万一の場合爆発・発火の危険も少ない。更に窒素封入の利点として油の冷却効果が長年経つても減じないので、線輪や鉄心の温度上昇は油が新しい時と同じであ



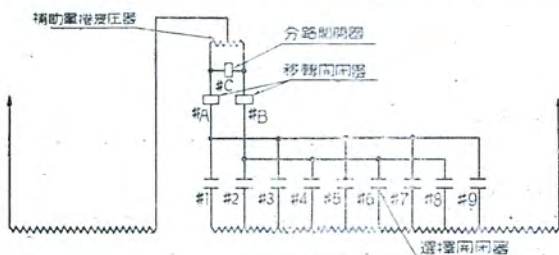
22 図 油入蓄電器型套管



23 図 (A)－S型(従来品) (B)－O型(油入密閉型) 蓄電器型套管



24 図 UT型負荷時電圧調整器を独立して使用の例



タップ位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9
開閉器 #1	○	○							
・ #2	○	○	○						
・ #3			○	○					
・ #4				○	○				
・ #5					○	○			
・ #6						○	○		
・ #7							○	○	
・ #8								○	○
・ #9									○
・ #A	○	○	○	○	○	○	○	○	○
・ #B	○	○	○	○	○	○	○	○	○
・ #C	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○-開閉器が閉、状態はアラホス

25 図 UT型負荷時電圧調整装置接続図

るから変圧器に大きな負荷を安心してかけられる。

2. 油入蓄電器型套管

当社の特長の一つに油入コンデンサーブッシングがある。これは周知の如く適当な銅または黄銅の心棒の上に直接に絶縁紙と錫または鉛の金属箔とを交互に巻いて等しい静電容量を有する多数の円管形蓄電器を形成せしめて、中心から最外周端フランジの接地点まで均一な電位分布を持たした套管であり、他の油入型またはコンパウンド充填型の如く中心に近い部分に著しい電位傾度を有するものに比して、著しく大きな絶縁耐力を比較的細い套管で持たせ得る独自のものである。昔の高圧蓄電器型套管にはコンパウンドを充填してあつたが約 10 年以前から変圧器用套管としては全部油入蓄電器型套管を採用している。

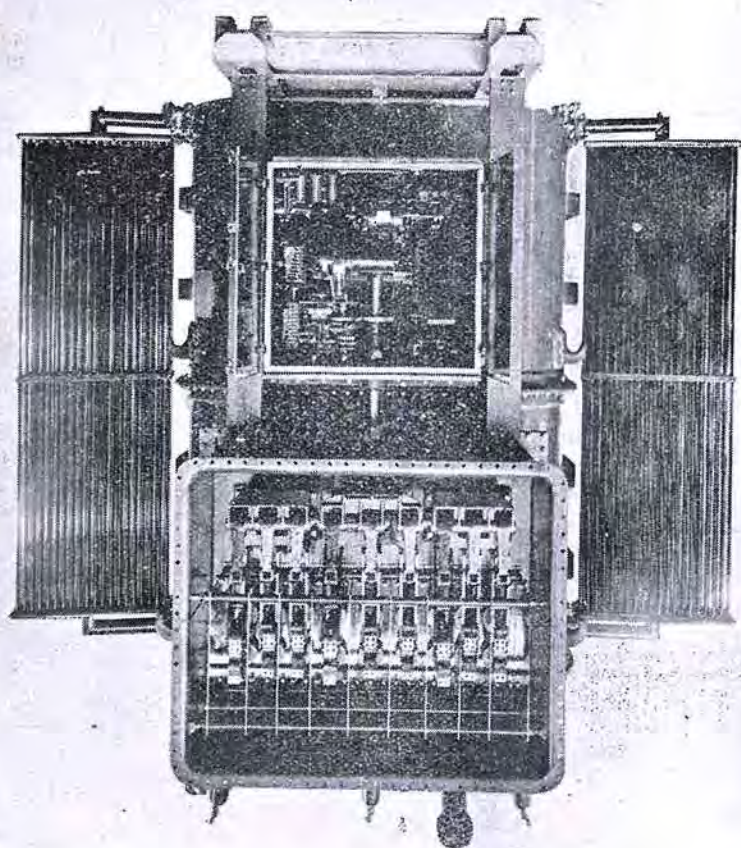
三菱蓄電器型套管の主体は絶縁紙を特殊の絶縁ワースで処理したマイカルタ紙を熱を加えて巻き固めたものであるから強靱な絶縁耐力と機械的強度を保持するものであつて油は単に本体と磁器外套管に少量充したのみで絶縁の主体ではなく、かつ全体が密閉されておるから油の劣化は少しもなくまた湿気の浸入を完全に防止している。従つて絶縁耐力は一段以上に上級とり機器外套もそれだけ長いので変圧器中身と絶縁の協調を保たしめるために放電間隙球を取付けられるのが普通である。(22図参照)

普通の油入型に比べて軽量で油も少いから取扱いに便利で寒冷や高温に対しても影響されず万一の事故でも消火し易く災害が少くてすむ利点がある。22図は変圧器用油入蓄電器型套管の外部構造を示す。なお最近では下部蓄電器部分にも碍管をかぶせて油入完全密封構造のものと地付寸法も統一したものが製作されている。第23図O型がそれである。

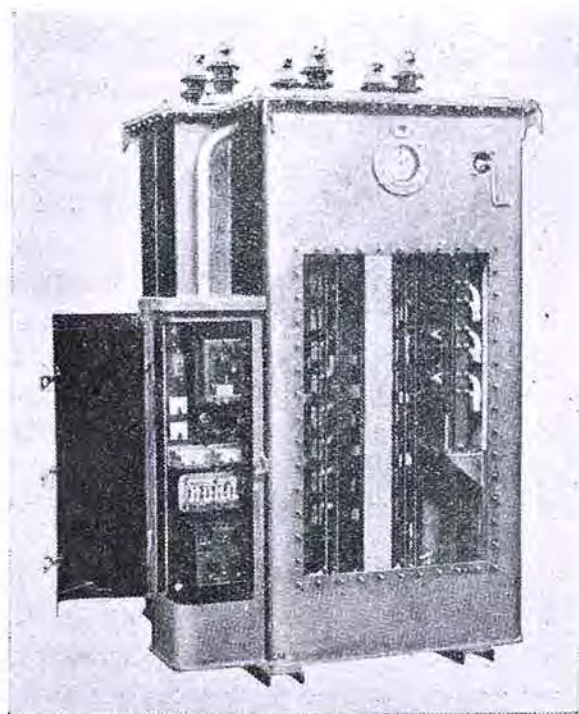
3. 負荷時電圧調整器

最近では系統の電圧調整がやかましく言われるようになり、特別高圧の電圧調整のために電力用変圧器に対して負荷時電圧調整器を附属した変圧器を要求されることが多い。すなわち負荷しながら電圧および位相を調整するためには大電力用として UT型負荷時タップ切換器を製作している。UT 型負荷時タップ切換器は単相ならびに 3 相式で電圧 33kV、電流 500A 以下でタップ数 9 点を標準としているが、これを 33 kV 変圧器巻線に直接つける時は、最大容量 3 相 50,000kVA となる。更に大容量、高電圧のものに対しては 24図 の如く直列および調整変圧器を使用することによつて、系統の電圧あるいは位相制御を自動的に行ない得るのである。

すなわち本器を主変圧器とは別に独立した調整器として使用する時は 24図 の結線のようになり電圧調整範囲を $\pm 10\%$ とすれば最大電路容量は約 25 万 kVA 迄に使用できる程大きいものである。本器は 2 種の開閉器区分と操作箱よりなり選択・移転・分路の 3 つの開閉器に分たれ、選択開閉器は本体外箱内に、移転および分路開閉



26 図 3相 UT型負荷時電圧調整変圧器
(移転および分路開閉器ならびに操作箱を示す)



27 図 UR型負荷時電圧調整装置
6,600V 250kVA 3相 自動制御式

器は本体と隔壁された附属油槽内に納められ、操作機構により互に運動するようになっている。タップ移転時における短絡主流は25図の結線図に示す如く補助リアクトルによつて平常電流値に制限される。各開閉器の動作は25図に示す順序に動き、選択開閉器は開閉時電流を通じないから、変圧器本体内の油を汚濁することはない。26図は移転分路開閉器および操作機構を示した写真で甚だ堅牢確実な機構になっているのが特長である。

次に小型配電用としてUR型負荷時電圧調整器がある。本器は27図に示し11,000V以下の配電線の電圧調整に使用せられ電流最大100Aでタップ数が17点で上昇下降各9段にかえられるから上下10%の電圧調整の場合は1/25%ステップとなり誘導電圧調整器と同程度の精微調整ができる上にRI型自動電圧継電器によつて円滑な自動調整もできる。最大容量3相11,000V 3,000kVA迄使用できるがこれに直列変圧器を利用すれば11kV以上にも使用できて電圧調整を10%とすれば線路容量最大30,000kVA迄の回路に使用できかつ誘導電圧調整器と比べて絶縁力が遙かに丈夫で衝撃電圧耐力も

変圧器同様に勝っている。従つて将来は100kVA以上の誘導電圧調整器は本UR型電圧調整器に替わる傾向がある。27図は自動調整式の各種のリレーを附属した一例である。

V. 結 言

変圧器はその設計上工作上幾多の開発改良が行われていることはもちろんであるが、最近の問題として、衝撃電圧試験の規定が確立し、記録試験は商用周波数の耐圧試験のみならず、規定による衝撃電圧試験が施行せられている。このために当社も360万Vおよび200万Vの衝撃電圧試験装置を活用して絶縁の完璧を期している。また絶縁劣化を誘電体力率によつて判定する方法が近時普及し、これによつても絶縁力の判定と絶縁設計の改良に寄与している。

最近に変圧器の特性の向上の要求が叫ばれ、特に能率の良い変圧器は大容量変圧器から配電用変圧器に至る迄重要な問題となり、この点に関しても材料の研究と相俟つて、設計の根本的検討が蔭ながら常に加えられていることを附言したい。

161kV 三菱碍子型遮断器 (VCB) の遮断試験結果について

昭和25年11月日発姫路変電所において、同社 161kV 送電線を利用して碍子型遮断器の遮断試験が実施せられた。当社は標準器140-V-200型 VCB をもつて参加、全試験を優秀な成績を以て終了した。以下にその概略を紹介し該品の特長につき若干の説明を行つた。本項には短絡電流遮断および充電々流遮断兩試験について記述したが、前者は本邦最初の大容量実負荷遮断試験で、幾多の貴重な資料が得られた。実施についての日発局当の英断に深く敬意を表する次第である。

伊丹製作所 荒 井 潔

1. 緒 言

当社碍子型遮断器はその小容量のもの (34.5kV 500 MVA) については工場において試験を実施しその結果も既に発表した処であるが、大型遮断器については未だこの試験の機会なく、単に上記試験を一種のモデルテストとし、その他工場内において部分的に行つた基礎試験を以て性能の推定を行つていた次第であるが、今回日発において同社姫路変電所の現用設備を以て 180MVA, 360MVA, 730MVA, および 1,000MVA の実負荷遮断試験ならびに参考試験として無負荷充電々流遮断試験を実施せられ、明確にその性能を認知することができ、幾多の貴重な資料の提供をうけた。以下にその結果を報告し本試験に当つての日発当局の御厚志ならびに関係諸彦の御指導に深く感謝の意を表する次第である。

2. 構造ならびに特長

供試遮断器の仕様は次の通りである。

型式 140-V-200 型

定格電圧 161,000V

定格電流 800A

定格遮断容量 2,000MVA

投入、および引外自由電磁弁電圧 100V (D.C)

定格短時間電流 30,000A

定格操作圧力 4.5kg/cm²

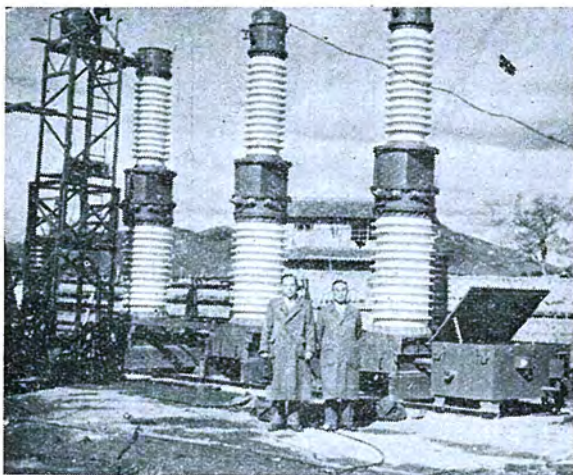
開路電磁石電圧 100V (D.C)

本器の構造の概略を述べれば、先ず遮断部はその最上部にあるがこれの上方には強力な発条があり、それに続いて消弧室2個を直列に用い、油中断路器がその下に配置されている。これ等は1本の碍管、および防圧用絶縁管の内に包蔵される。操作機構は中間機構室中にあつてこれは下部の変流器室を通り絶縁操作桿によつて下方に出て圧縮空気式操作装置に連結される。変流器室は大地絶縁を兼ねており巻線型変流器を内蔵している。

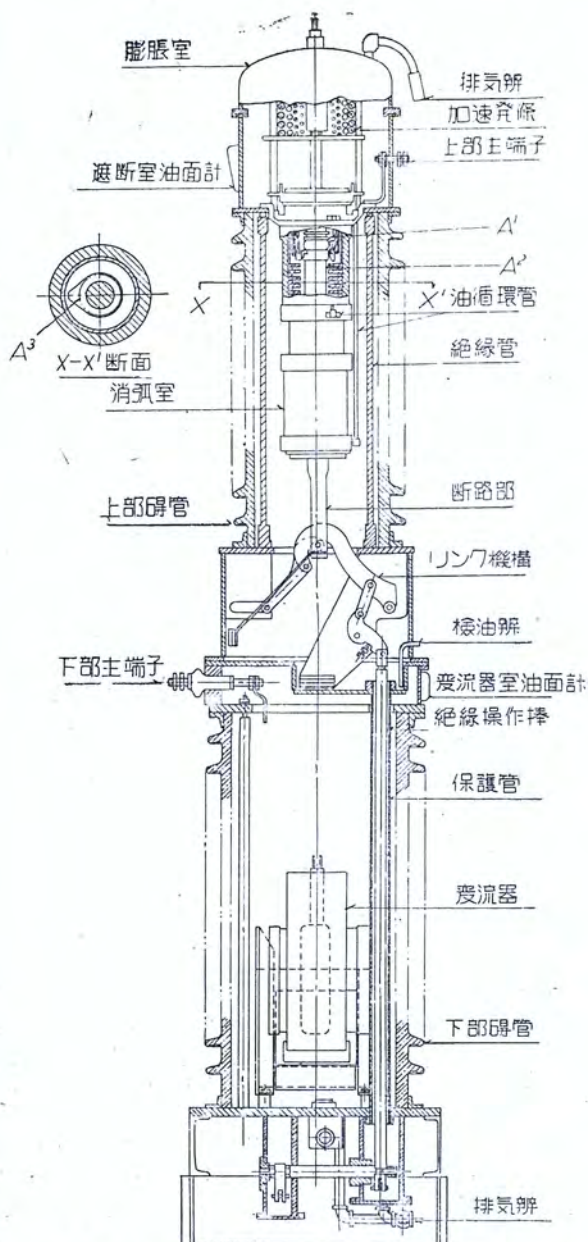
本遮断器は他力消弧方式によるもので、遮断の際電弧に向つて高速の油流を送つて消弧する。この機構の概略を説明すると2図において A_1 および A_2 は消弧室内の可動部を示しているが、 A_1 は波形の絶縁部 A_2 は上部下部両消弧室を連絡するプランジャーであつて、遮断の際は上部加速発条によつてこれ等は下降し、その際の動作は恰も押上唧筒のピストンの如き作用をする。すなわち A_1 および A_2 の断面積差によつて消弧室内部の絶縁油は急速に上方に向つて噴出することとなる。

この時電極は開離し、電弧は断面図 (X-X') の A_3 なる電弧通路中に発生するが、直に上記の唧筒作用によつて自己と同軸の方向に強力な油流をうける。

しかる時は、この油流による拡散作用は電流零値附近において熱の伝導、およびイオンの拡散を迅速に行い、このため電弧は急速に消滅する。本器の Vertical Flow 型 (VCB) と呼ばれる理由は上述の通り絶縁油を上方に向つて電弧と同軸に吹付けることによるもので、かく



1 図 供試三菱碍子型遮断器
(161kV 800A 遮断容量 2,000MVA)



2 图 140—V—20型 碍子型遮断器 断面图(1相)

の如き方式によれば電弧電圧の急激な上昇をおさえ、かつ必要以上に電弧を延伸せぬので電弧勢力や発生瓦斯量を低く保つことができ、油の劣化を極力防止し、内圧を低く止め、少油量を以て安全かつ容易に消弧を行うことができる。この特長は今回の試験においても十分に看知り得た所で、連続かつ反覆の遮断試験後も遮断が急速完全に行われたため油は清澄で耐圧高く、内部の導電部および絶縁部共何れも衝撃をうけた形跡なく、コンタクトの荒れも発弧極に痕跡を見た程度であつた。

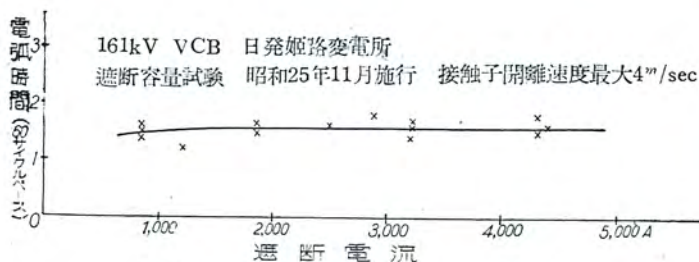
1 表 161kV 回路短絡試験成績一覽表

試験番号	オシロ番号	遮断電流 実効値(A)			60 サ イ ク ル ベ ー ス						零 相 電 流 波 高 値(A)	対地電圧最大倍数			油 圧 kg/cm ²
					故障電流継続時間			電 弧 時 間				BO(MO)	BO(MO)	BO(MO)	
		A相	B相	C相	A相	B相	C相	A相	B相	C相		A 相	B 相	C 相	
CB-I-V-1	10	700	850	700	4.7	4.8	4.9	1.4	1.6	1.6	267	1.78(2.7)	1.67(2.3)	— (2.7)	1.1
-2	11	670	840	730	4.5	4.8	4.6	1.1	1.4	1.3	250	1.27 (2)	1.23 (2)	1.13 (2)	0.7
-3	12	700	850	690	4.0	4.6	4.5	1.25	1.5	1.4	234	1.30 (2)	1.20(1.7)	1.64(2.3)	0.8
CB-II-V-1	24	1400	1850	1430	3.87	4.0	4.06	1.45	1.65	1.65	212	1.40(2.5)	1.00(2.8)	1.20(3.3)	1.6
-2	25	1400	1840	1450	4.45	4.4	4.0	1.6	1.55	1.4	214	1.12(2.0)	1.33(2.0)	1.20(3.6)	2.5
-3	26	1400	1840	1450	4.5	4.5	4.2	1.6	1.56	1.33	214	1.40(2.0)	1.65(2.0)	1.75(3.1)	2.2
R-II-V-1	27	1400	1850	1400	3.5	3.5	3.6	1.1	1.46	1.5	—	1.40(2.8)	1.2 (2.0)	1.3 (3.4)	—
R-II-V-3	31	1210	—	1180	3.2	—	3.0	1.23	—	1.23	—	1.2 (1.9)	AC 1.5(1.45)	— (2.8)	—
CB-III-V-1	36	3180	2720	2950	4.8	4.7	4.6	1.4	1.4	1.2	320	1.17(1.4)	1.00(0.6)	1.70(2.2)	3.2
-2	37	3220	2720	2870	4.1	4.1	4.4	1.7	1.6	1.7	320	1.43(1.2)	1.70(1.0)	1.00(1.5)	3.5
-3	38	3210	2740	2950	4.0	4.5	4.5	1.4	1.6	1.6	265	1.54(1.7)	1.02(1.2)	1.00(1.8)	3.4
R-III-V-3	44	2500	—	2280	4.0	—	4.0	1.6	—	1.6	—	1.0 (1.0)	AC 1.5 (1.2)	1.2 (1.8)	—
R-III-V-2	45	2880	2380	2640	4.6	4.9	4.5	1.6	1.8	1.8	234	1.4 (2.0)	1.7 (1.7)	1.0 (1.6)	—
CB-IV-V-1	52	—	4410	—	3.8	3.8	3.6	1.5	1.6	1.6	328	1.70(2.8)	1.00(1.3)	1.30(1.55)	—
-2	53	—	4320	—	4.7	4.5	4.6	1.7	1.8	1.8	378	1.70(1.8)	1.15(1.5)	1.28(1.8)	—
-3	54	—	4430	—	3.5	3.5	3.7	1.3	1.5	1.5	353	2.00(2.2)	1.30 —	— —	—

1 表は本試験結果の一覽表である。同表において最も問題となるのは電弧持続時間であるが、これは予め引外電流通流瞬時から電極の開離する迄の時間を求めて置きオシロ上この時間を引去つて電弧時間としてある。供試 VCB ではこの開極時間は5〜であつた。

本表に見る如く (I) の系統すなわち 180MVA 遮断では 1.1〜 ないし 1.6〜 平均 1.4〜、(II) の系統すなわち 360MVA 遮断では 1.33〜 ないし 1.65〜 平均 1.53〜、(III) の系統すなわち 730MVA 遮断では 1.2〜 ないし 1.7〜 平均 1.5〜 および (IV) の系統すなわち 1,000MVA 遮断では 1.3〜 ないし 1.8〜 平均 1.59〜 であつた。これらをカーブにプロットすると 5 図の如くなる。

本図で明かな如く、電弧時間は遮断電流の大小に関係なく大体一定であつて、これは他力式消弧の特長とする

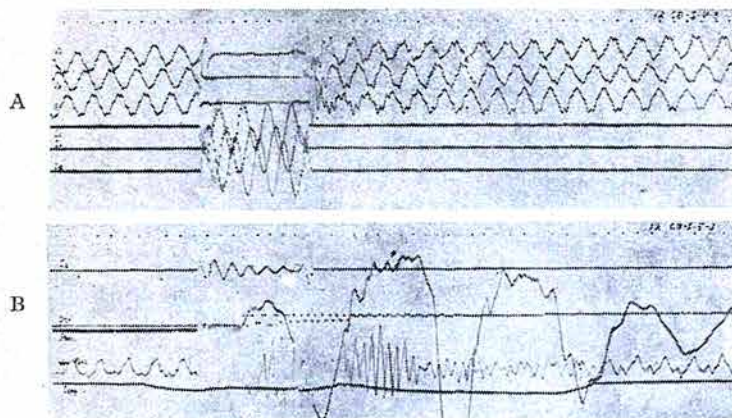


5 図 遮断特性曲線 (電弧時間遮断電流)

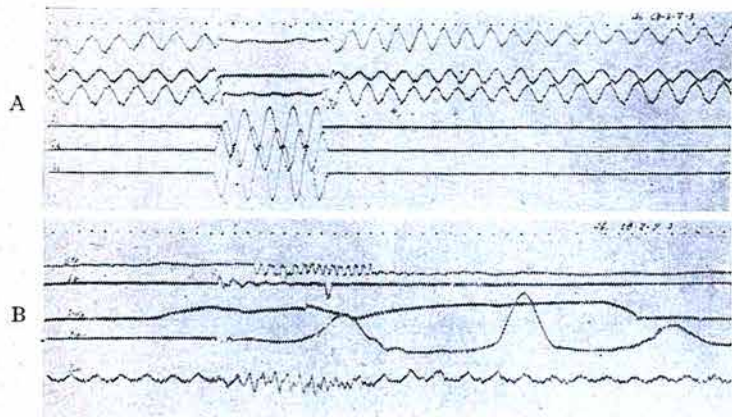
161kV 三菱碍子型遮断器 (VCB) の遮断試験結果について・荒井

処で、本 VCB がよくその特性を発揮した証左と見ることが出来る。また電弧時間が非常に短かく大体 1.5〜 (60〜ベース) 程度であることは安定度の問題からも望ましい結果でこれといゆる 3 サイクル遮断器の可能性もこの点からは確認できたと言ひ得る。次に、遮断時の油槽圧力であるが、これは遮断器下部の排油弁に測定器を結び測定されたが、その値は極めて低く遮断電流の増加と共に漸増したが何れの場合も値はあく迄低いものであつた。これは Vertical Flow すなわち絶縁油同軸吹付の消弧原理による効果であつて油流が電弧に向つて同軸に吹付けられる関係上電弧勢力を強めることなく、したがつて内部の油圧を上昇せしめず消弧を完了することによるものと考えられる。

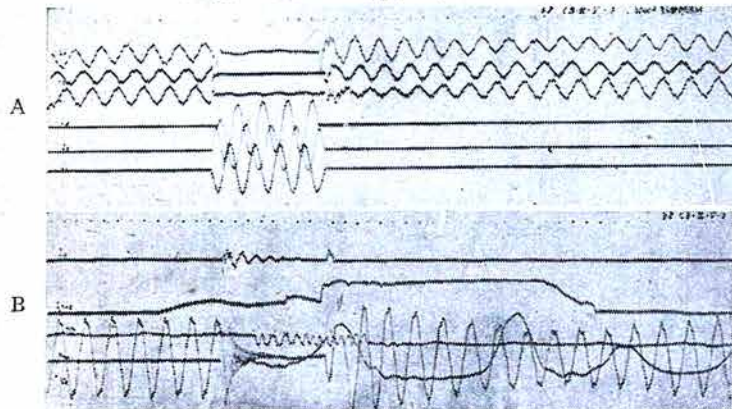
対地電圧最大値すなわち再起電圧値は表においてはその倍数で示してあるがブラウン管オシロによつて得られたものに見る如く高い値は出ていない。このことは遮断時の「切れ味」のよかつたことによるもので 6 図から 9 図のオシログラムからも想像できる。なお試験中投入遮断動作共極めて軽快で衝撃を感ずることもなかつた。また 180MVA ないし 1,000MVA 遮断の全試験を通じ発煙、噴油の現象は全然無かつた。これは内部の瓦斯発生少なく瓦斯圧、および油圧が低いための当然の結果と見ることが出来る。絶縁油の劣化状況は I〜IV



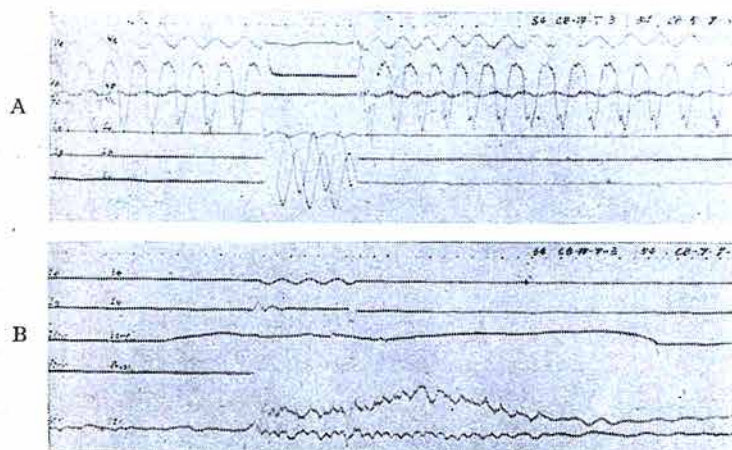
6 図 180MVA遮断のオッシログラム



7 図 360MVA遮断のオッシログラム

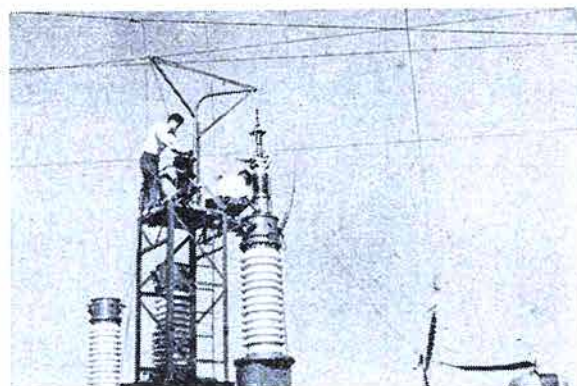


8 図 730MVA遮断のオッシログラム

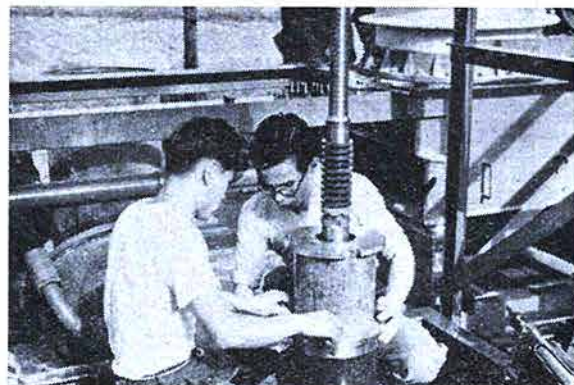


9 図 1,000MVA遮断のオッシログラム

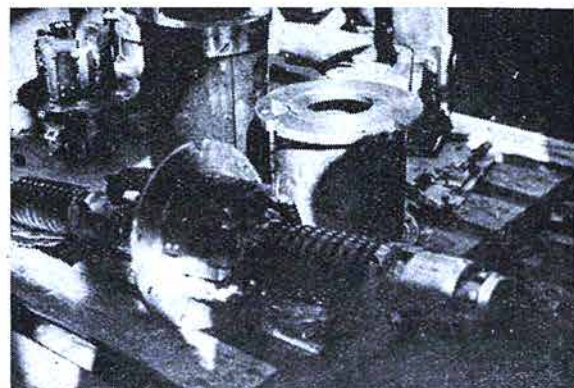
各系統3回試験直後検油弁から油を取りその都度耐圧試験が行われた。何れの場合も油の黒化無く清澄で耐圧も730kV以上であつた。この詳細は後述する。



10 図 消弧室吊上の実況



11 図 消弧室分解中の実況



12 図 消弧室分解内部点検

4. 遮断試験後の点検

(III) の系統 (73 MVA) 試験後、および (IV) 系統 (1,000MVA) 試験後内部点検が行われた。

当社の点検方法は 10図に見る如く SL-14型 消弧室吊上装置を利用して行うのであるが、これは台車を目標の位置に移動した後中間台枠を巻上げ、これに設備された吊上フックに消弧室頭部を掛け別の巻上げ装置により中身を吊出す。その間所要時間は僅か15分程度で作業員も2名で済む。点検は日発当局の他参加諸賢立会の下に行われたが、1回目、2回目共内部の損傷異常は全く無く油の黒化による汚損の跡も殆んど見られなかつた。

接觸部については主接觸片の損耗変色等はもちろん無く発弧極(補助接觸片)において僅か発弧の痕跡が認められた程度であった。7,000MVA 遮断後の1回目と1,000MVA 遮断後の2回目の点検の結果を比較すると発弧極の部分で若干発弧痕跡が増加したかに見られた。絶縁部においても損傷異常は認められず、僅かに電弧通路に相当する部分でその跡が見られるがその状況から想像して電弧は余り伸長することなく消滅した如くであった。

以上点検結果から次の事が言えると思う。

- (1) 消弧室内部の状況 何等損傷異常は認められなかった。
- (2) 主接觸片 損耗変色その他異常はなかった。
- (3) 発弧極(補助接觸片) 耐弧メタルに僅かに発弧痕跡が見られた。
- (4) 絶縁部分 損傷異常は無かつたが通弧部分で電弧の短かい通過の跡が見られた。
- (5) 手入、淨油 1回目の後、油を注入したがその儘の状態でも何等手入、淨油を行うことなくお相当回数の遮断を行つて不安のない事が推定できた。
- (6) 2,000MVAの遮断 1,000MVA 遮断では相当余裕を残しており公称定格 2,000MVA 遮断も容易であると断定できた。

2 表 絶縁油の变化状況

	180MVA 遮断後	360MVA 遮断後	730MVA 遮断後	1000MVA 遮断後
色	新品同様	新品同様	清澄(微かに着色)	清澄(微かに着色)
耐 圧	30kV以上	30kV以上	30kV以上	30kV以上

なお絶縁油については前述の如く毎回検油されたが、その結果を一覧表にすると2表の通りである。上表に見る通り油の劣化は実用上全く無かつたが1,000MVA遮断後日発側で分析検査せられた結果は次の通りである。

比重(15°C) 0.891(0.891)

粘度(5°C) 43.2(43.1)

全酸価 0.04(0.04)

色度(ロビンソン色度計) 11¹/₄(12³/₈)

透明度 10(25)

引火点 136°C(136°)

析出物 (140°C 8hr加熱) 痕跡(同左)

安定度 0.03(0.03), 炭素量 少量(ナシ)

金属量 痕跡(銅)(ナシ) 痕跡(鉄)(ナシ)

() 内の数字は新油

5 充電々流遮断試験

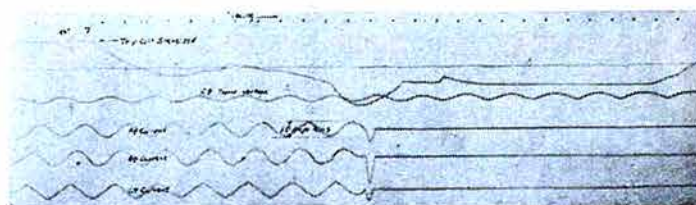
161kV送電線の無負荷充電々流遮断試験は上記遮断容量試験に先立ち10月15日同じく姫路変電所において実施せられた。本試験は富士電機 ECBの試験と同時に施行せられたものでオッシロ撮影その他富士電機の御厚意によつて行われた。

試験は系統の切換えによつて 60A, 40A, および12Aの3種につきそれぞれ遮断2回投入1回の予定で行われたが、40A, および12A 遮断ではその回数を倍加して線路電圧と変圧器電圧とを計り結果の確認につとめた。

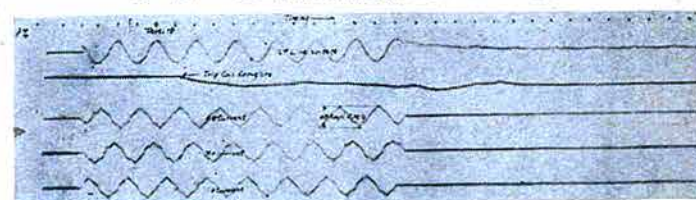
本試験の代表的オッシログラムを示せば13図から16図の通りである。13図は60A遮断、14図は40A遮断、15図、および16図は12Aの遮断および投入のオッシロである。

充電々流遮断の場合問題となるのはもちろん再点弧の有無の点であるがその理由は17図に示す如く線路に充電された電圧が再点弧によつて基本の線路電圧に累加されて行くためである。すなわち図においてA点で最初の遮断が行われた後1/2〜を経過した電圧波高点Bにおいて再点弧したとすれば、線路には既に基本値の+1倍に相当する充電があり、それに加わる線路電圧は-1に相当するので、もしこの回路のインダクタンスが小で抑制をうけぬものとすれば振動によつて最高3倍に相当する電圧となる。

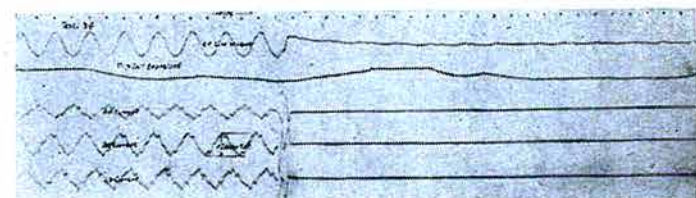
しかして更にこれが1/2〜を経過後3度点弧すれば同様の現象により5倍の Surgeとなり漸次 1.3.5.7……となつて行く訳である。実際の送電線においてはこの関係は極めて複雑であるが普通線路互長の長い場合あるいはイン



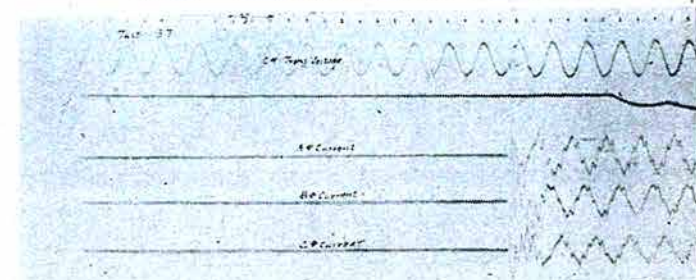
13 図 60A充電々流遮断のオッシログラム



14 図 40A充電々流遮断のオッシログラム

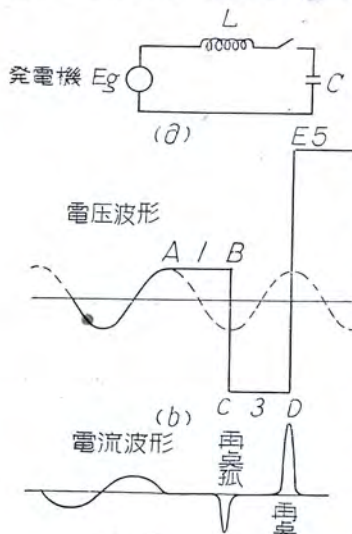


15 図 12A充電々流遮断のオッシログラム



16 図 12A充電々流投入のオッシログラム

ダクタンスの大きい場合は抑制せられて異常電圧は余り大とはならぬ⁽⁴⁾。しかし再点弧の好しからぬ事はもちろんである。ただし17図に見る如く最初の電流零の点から $1/4$ ～以内において再点弧が生じたとしても再起電圧の異常な上昇は無いからこの範囲の点弧(米国の例ではこれを Re-ignition と称している)については寧ろ電弧時間の長短に注意すべきであろう。遮断瞬時の状況をオッシロから検討すると13図では電流波形からA相、およびC相は再点弧零、B相は $1/4$ ～の範囲において1回再点弧と言ふことになる。B相は位相の関係で大体開極の瞬時に



17 図 模範回路の無負荷充電々流遮断

すべきでは無いと考えられる。

以上の説明の如くオッシロを厳密に分析判定しいわゆる Re-ignition と見るべきものもこれを点弧回数に計上しその結果を一覧表とすれば3表の如くなる。すなわち該表に明かな如く、大部分の遮断(遮断33点の内31点)

3 表 161kV回路無負荷充電々流遮断試験結果

試験項目	V60-0-1	V60-0-2	V60-C-1	V60-0-3	V40-0-1	V40-0-2	V40-C-1	V40-0-0	V40-C-1	V40-0-2
遮断及び投入	遮断	遮断	投入	遮断	遮断	遮断	投入	遮断	投入	遮断
電流(A)	60					40				
再点弧回数	A相	0	0	—	1	1	0	—	0	—
	B相	1	0	—	0	0	0	—	1	—
	C相	0	1	—	0	0	0	—	2	—

試験項目	V12-0-1	V12-0-2	V12-C-1	V12-0-1	V12-0-2	V12-C-1	V12-0-2
遮断及び投入	遮断	遮断	投入	遮断	投入	遮断	遮断
電流(A)	12						
再点弧回数	A相	1	1	—	0	—	2
	B相	0	0	—	0	—	1
	C相	0	0	—	1	—	1

において再点弧は皆無いしは Re-ignition 1 回と言ふ結果になつている。

本充電々流試験は電磁オッシログラフ1台で行われたので各相の電圧波形・再起電圧波高値等を十分には明かにし得なかつたが、主たる目的に対してはよく知見できると思う。なお161kV回路の充電々流遮断試験は曩に昭和4年8月古川橋変電所においても実施され、その結果と今回のものと概略同程度であるので信頼できるものと言ふことができる。

6. 結 言

以上姫路変電所における2種の遮断試験結果について報告し、若干の説明を加えたが、結果は何れも満足すべきものであつて、従来の納品に対しても将来の製品に対しても十分な自信と確固たる指針を把握し得た次第である。

当社の碍子型遮断器 VCB の特長は既述の如く、絶縁油を電弧と同軸に吹付け、電弧勢力および発生瓦斯量を低値に保ちつつ迅速に消弧を行う点にあつて、簡単な構造でよく他力消弧の有する利点を完全に發揮し得る事実にあるが、従来特に研究の対照として改良につとめて来た点は以下の通りである。

- (1) 同軸吹付 (Vertical Flow) を完全に行うためには消弧室構造の機械的精度を高度のものとする。
- (2) 遮断速度、およびその動作特性を適當のものとする。およびそのために加速発条の材質・構造・不変性能等に特に留意し検査を厳重にしたこと。
- (3) 消弧終期の洗極淨油装置の動作を完全に行わせること。
- (4) 動作時の衝撃を緩和するために、緩衝装置を有効に作用せしめること。
- (5) 耐弧絶縁材料として極めて多種の材料を基礎的に研究し、モデル試験にかけて最優秀のものを得るに努めたこと。
- (6) 使用中、保守点検の必要を極限するため、過熱損耗の予想さるる個所には、材質の吟味と余裕ある安全率を与えてあること。

- (7) 機械的強度には衝撃に対しても十分な余裕を有せしめること。

この他据付の容易、内部点検の簡易等にも努めているが、今後一層、特性機構共完壁のものとするに努力する覚悟である。

本稿を終るに当り再度、日發御当局、委員各位ならびに、関係諸彦に深甚の謝意を表すると共に、本器の育成に絶えず御指導と御援助を賜つた需要家各位に厚く御礼申上る次第である。

文 献

- (1) 三菱電機 Vol.24 No. 1, 1950. 30kV V型碍子型遮断器 (五十嵐)
- (2) 三菱電機 Vol.22 No. 5, 1948 161kV用V型碍子型遮断器 (五十嵐)
- (3) Electrical Transmission and Distribution Reference Book Chapter 15. by R.L. Witzke
- (4) Westinghouse Engineer Nov. 1949. P138 Switching of High-Voltage Lines and Cables.
- (5) Ditto. P182.

新 型 線 路 開 閉 器

従来断路器ないし線路開閉器はとかく閉却輕視された憾があつたが、送・配電容量の増大と高電圧電力網の複雑化の結果これ等開閉器の重要度は切実なものとなつた。本文ではかかる情勢に適合する当社の新型線路開閉器につき、その主要理論と構造・動作、および試験成績の一例を紹介し、あわせて米国における一端をも附記した。

伊丹製作所 荒 井 潔

1. 緒 言

送電、および配電の技術においてまたは送・変電所の Switch gear として線路開閉器ないし断路器に要求せられる性能は凡そ次の如きものである。

- a) 操作が円滑容易であること
- b) 通電容量が十分で接觸部の温度上昇が低いこと
- c) 変圧器の励磁電流等の微小電流は安全に遮断できること
- d) 絶縁著級に応じそれぞれの衝撃電圧に十分耐えること
- e) 氷結によつて操作不能にならぬこと
- f) 塵埃・異物等によつて接觸不良にならぬこと

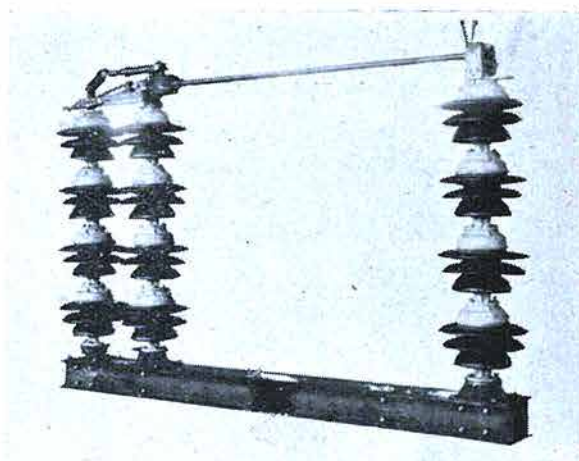
最近送・変電所の機器は次第にその容量が大となり、その母線容量は著しく増大した。かつまた送・配電線の系統も龐大なものとなつて、高電圧回路の開閉は頻繁で複雑なものとなつて来た。したがつてそこに使用される断路器・線路開閉器は従来の双型機構の如き簡単な構造では上記の要求を十分に満すことが困難となつた。

当社の新型構造は、さしたる複雑高価な機構を加えることなく克く以上の目的に適合し需要家の十分な御満足を得ている。以下にその概略を御紹介する。

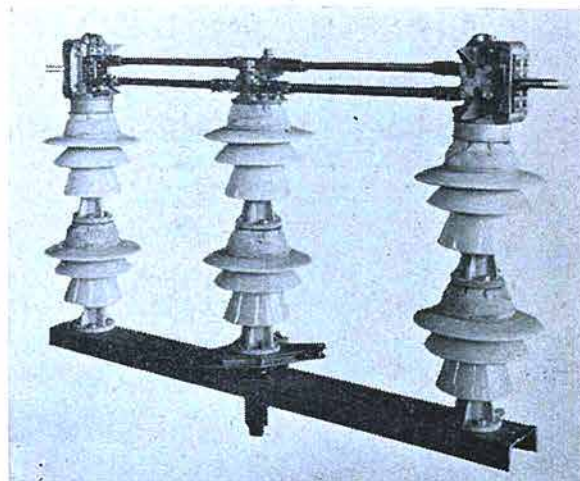
2. 特別高圧用線路開閉器

特別高圧回路用の遠隔操作線路開閉器として、当社は VL 型および HL 型の 2 機種を製作している。前者は開閉方向がベースに対して垂直であつて、いわゆる、垂直切断路器と呼ばれるもので、後者は水平切断路器すなわち開閉が水平方向となつてゐるものである。1 図は VL 型 161kV 600A のものの 1 相分を示す外形写真、2 図は HL 型 69kV 1,200A の写真である。

VL 型は後部碍子(写真左方)を回転し、また HL 型は中央の碍子を回転して開閉を行う、この場合 3 相は連結操作桿で結ばれ、適當の位置に設けられた操作ハンドル

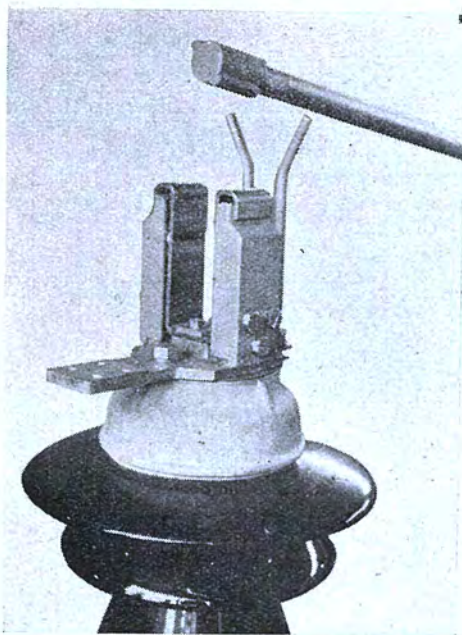


1 図 VL 型 161kV 600A 線路開閉器

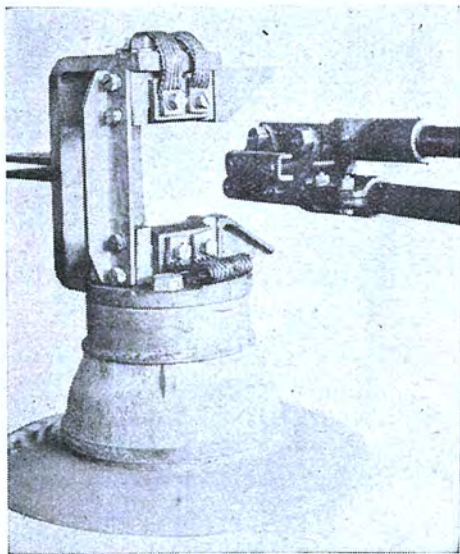


2 図 HL 型 69kV 1,200A 線路開閉器

によつて同時に開閉が行われる。これ等の動作については後に詳述するが、何れの型においても、開閉時接觸部に摩擦抵抗をうけぬ構造となつてゐる。これはこれ等型式の特長であつて、接觸部の詳細は 3 および 4 図に見る如く開・閉何れの場合もこの部分の摩擦は無い、しかして接觸子は可動部が定位置にある時、開閉動作と別にシウ動作



3 図 VL型線路開閉器接触部



4 図 HL型線路開閉器接触部

用によつて接触または離脱する。すなわちVL型の場合は導双尖端の接觸子が固定子の空間内を回転しつつその突起部が固定子面をシウ動して接触をつくる。またHL型の場合は可動接觸子は開閉の中途においては疊込みの状態にあるが、接触の場合にはリンク機構が動作して疊込みを上下に押拡して固定子と強い接触をつくるのである。これ等の機構を設けたことは、主として高電圧大型線路開閉器の動作を軽快ならしめると共に接触部の温度上昇を常に低値に保つ目的である。

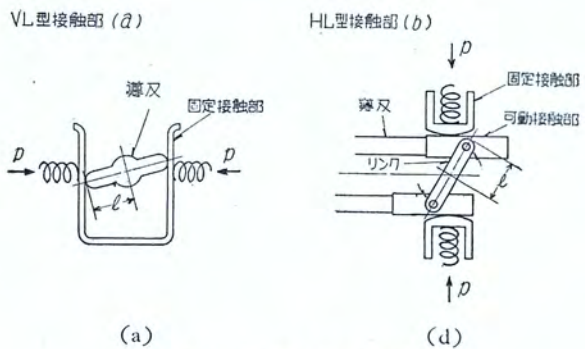
一般に操作力を大きく必要とする処は開路終期または開路初期において、可動接觸部が固定接觸部に着脱する瞬間であつて、この操作に要するモーメントMは次の式で表される。

$$\text{モーメント, } M = f_c \cdot L \times P / \eta \quad (\text{kg-m}) \dots (1)$$

ここに f_c = 導双および受双間の摩擦系数
 L = 導双支持点から受双部迄の長さ(m)
 P = 全接觸圧力(kg)
 η = 機構の効率(%)

上式において導双の長さ⁽¹⁾は回路電圧に応じて大となる。例えば 60kV 用では 760mm, 161kV 用では 2,150mm と言う程度である。すなわち操作に要するモーメントは回路電圧が大となれば逐次大となることは明かで、このため操作はいよいよ過重となることがわかる。

これを新型開閉器について見るに、開閉には接觸部による摩擦抵抗を伴ふのでこの動作は当然軽快であることは自明であるが、接觸部着脱時もまた極めて容易に操作することができるのである。



5 図 接触部構造略図

5図a, bはVL型およびHL型の接觸部構造の略図であるが、可動接觸の動作を前掲(1)式に当てはめれば、VL型の場合

$$\text{モーメント } m_1 = 2f_c \cdot l \times p / \eta \quad (\text{kg-m}) \dots (2)$$

HL型の場合

$$\text{モーメント } m_2 = 2 \times 2 \cdot f_c \cdot l \times p / \eta \quad (\text{kg-m}) \dots (5)$$

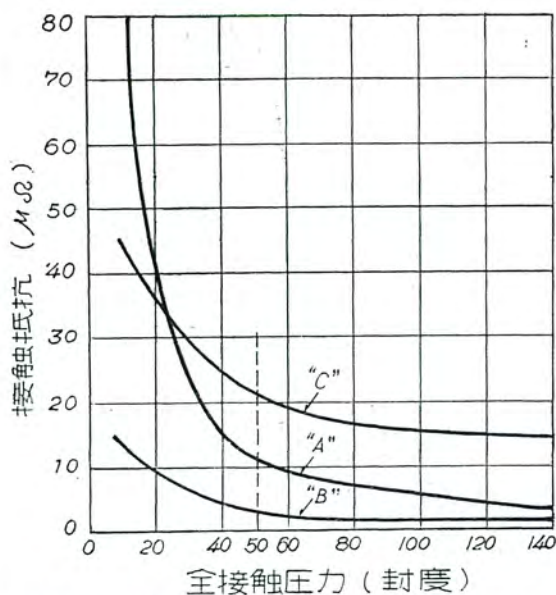
となり、 $l \ll L$ であるから所要モーメントが著しく小であることは極めて明瞭である。

この場合接觸圧力Pを十分高くつても操作には一向に困難は無いのであつて、したがつて接觸抵抗の増大による過熱の問題は容易に防止できるのである。

ただし接觸圧力を過大に取ることは注意すべきで、とくに銀接觸を用いた場合の如きにはコンタクトのシウ動のために急速に銀表面を損耗することとなるのである。

1, 2図に見られるように本線路開閉器の接觸部は線接觸となつている。接觸部の機構は一般に面接觸、線接觸および点接觸の3つに分類して考えることができる。しかしこれ等接觸⁽³⁾について、接觸圧力と接觸抵抗の関係を求めると6図の如くなる。図においてB曲線すなわち線接觸の場合は如何なる接觸圧力においても接觸抵抗は最低である。

線接觸が同じ接觸圧に対して接觸抵抗を低く取り得ること、例えば長さ1吋の線接觸は1吋平方の面接觸に比して接觸抵抗は約 $1/2$ ないし $1/3$ である事実に関して既に



6 図 接触状態の相違による接触圧力と接触抵抗の関係
A…1"×1" 面接触 (機械仕上, 乾燥状態)
B…半径1" 長さ1" 線接触 (ターニング仕上, 乾燥状態)
C…半径1" 点接触 (乾燥状態)

1927年に B.W. Jones 氏も報告している⁽³⁾ 処であるが、この点 6 図を見れば他の接触方法に比して著しい開きのあることがわかる。

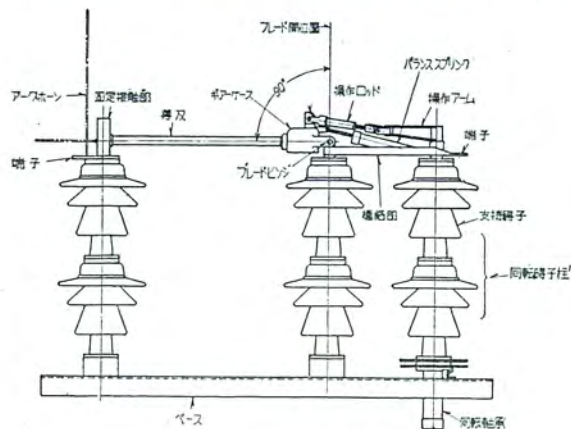
3. VL型線路開閉器の構造

7 図に見る如く溝形鋼上に 3 基の碍子柱を建て内 2 基の固定碍子柱にそれぞれ固定接触部ならびに導双ヒンジ部を、残りの 1 基回転碍子柱に操作部分を取付けてある。

固定接触部は硬平銅を U 字に形成して接触片とし、その背後から巻ばねによつて圧力を加える構造となつている。巻ばねは風雨に露出することなくかつ電流を分流することも無いように仕組れてあり劣化の心配は無い。

導双 (ブレード) は補強された硬銅管を主体として、その先端には接触突起を供え、他端は歯車箱内で傘歯車によつて操作回転軸につながれている。

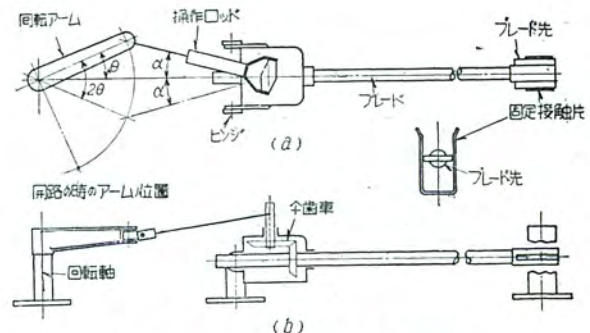
導双が固定接触と接觸する際は双先が回転し、接触突



7 図 VL型線路開閉器外形図

起は固定接觸子面を払拭しながら定着する。接觸圧は固定子の巻ばねによつて十分に保たれるのである。

いま動作を説明すると、先ず断路器が閉路の状態にあるものとし、この状態において回転アームは角度 θ を採り導双の先端は全圧力を以て接觸している。これを開路せしめるには回転碍子を時計方向に回す。



8 図 VL型線路開閉器の動作説明図

8 図において回転碍子が 2θ だけ回転すると碍子上部に固定されたアームおよびそれに関連する操作ロッドが回転し、同時に傘歯車を介して導双が回り接觸圧力から全く解放される。続いてさらに回転碍子を回転すれば操作ロッドは角度 α を増しながら回転軸寄りに引きよせられる結果、導双は自身回転し、かつヒンジ点を中心にして直立し完全に開路の位置をとることとなる。

閉路の場合は、回転碍子を反時計方向に回転し上記開路の場合と丁度反対の動作をたどつて開路する。すなわち回転アームが反時計に回転すると操作ロッドはヒンジ寄りに押しやられる結果、導双は回転しつつ固定接觸片に倒れ込む。さらに碍子を 2θ だけ回転すれば導双は固定接觸片内において先端突起部が水平の状態となる迄回転して最大接觸圧状態となつて閉路を完了するのである。

上述の如く導双倒入動作の終つた後において接觸が行われまた接觸が解かれて後に導双を起すために開閉操作は極めて軽快確実となるのである。

なお、この動作において導双が操作の全行程を通じ円滑に運動するためには平衡発条 (7 図参照) の設計が重要となつて来る。すなわち平衡発条は導双荷重と良く釣合はれており、導双の如何なる位置においても操作を過重ならしめることなく、また全然操作の手を離しても導双の自重により倒れ込むことのない構造となつておらねばならぬのである。

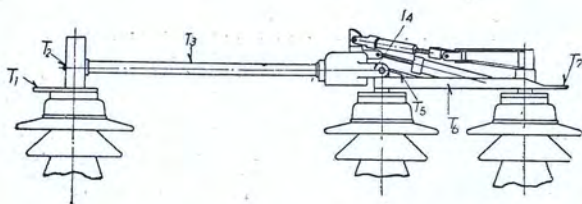
4. VL型線路開閉器の試験

線路開閉器について行う試験は絶縁耐力試験・衝撃耐圧試験・温度上昇試験・寿命試験・短時間電流試験・および変圧器励磁電流遮断試験等であるが、興味ある試験としてさきに印度ダモール峡谷協会に納入した 132kV 600A VL 型線路開閉器に行つた下記試験につき御紹介する。

ア) 温度上昇試験

施行日 昭和25年8月11日

場所 伊丹製作所試験場



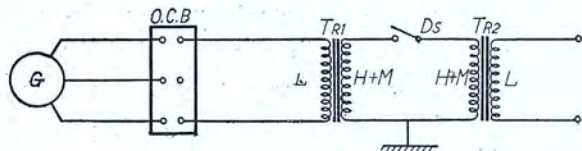
9 図 VL型温度上昇試験の温度測定箇所

1 表 温度上昇試験結果

供試器 132kV 600A VL型 断路器

時 間	電 流	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	周囲 温度
AM 11時-0分	750	29	29	29	29	29	29	29	29
-30	750/600	38.6	35.3	43	37	35	34.5	42	29.8
12-0	600	39	36.5	44	38	36.5	35	43	30
PM -30	"	39.5	37.5	44.5	39	37.5	36	44	30.5
1-0	"	40.5	38.5	45	40	38	37	44.5	30.8
-30	"	41	39.3	"	40.2	38.4	"	45	"
2-0	"	42	39.8	45.6	40.8	39	37.2	45.2	31
-30	"	42.3	40.4	46.2	41.2	39.5	37.7	45.8	31.5
3-0	"	"	"	46.9	42	40	38.4	46.3	32
-30	"	"	"	"	"	"	38.8	"	"
4-0	"	"	"	"	"	"	"	"	"
-30	"	"	"	"	"	"	"	"	"
5-0	"	"	"	"	"	"	"	"	"
最高温度上昇		10.3	8.4	14.9	10	8	6.8	14.3	

イ. 変圧器励磁電流遮断試験



10 図 変圧器励磁電流遮断試験結線図

G...10,000kVA 3φ 60~ Alterrator

Tr1, Tr2...10,000kVA H=80,800V

M=44,500V L=11,000V

試験回路は 10 図 の通りであつて発電機は 11,000V: 10,000kVA. 同期発電機で 10,000kVA. 80.800V (H) /44,500V (M)/11,000V (L) の変圧器 2 台を使用して試験を行つた。

試験の結果は 2 表および 11 図 a, b, c, d のオッシュロの示す通りであつて、励磁電流 3.4A を全開角 80° に対して十分余裕を以て遮断することができた。

2 表 励磁電流遮断試験結果

オッシュロ 番 号	試験 項目	電圧 (kV)	電流 (A)	開断角度(全開80°)				電弧 角(°)	遮断 速度 (m/s)
				0° (~)	24.3° (~)	60° (~)	80° (~)		
1	遮断	120	3.38	53	27	31	21	58	2.45
2	"	"	3.4	52	34	24	24	53	2.07
3	"	"	3.39	—	25.5	31.5	—	60	2.43
4	"	"	3.40	—	31	25	—	53	2.20

• 24.3°.....括弧角開離位置

気象状況.....気圧 760mm Hg

温度 乾球 23.0°C, 濕球 21.5°C

相対湿度 84%

風 速 2~3m/s, 風向 西

ウ. 短時間大電流試験

上記の断路器の両端の間に 50~, 10,000A を 5 秒間通電し各部の温度上昇および異常の有無をしらべたが、各部共異状は認められなかつた。

	通 電 前 (°C)	通 電 後 (°C)	温度上昇 (°C)
端 子	23	26	13
主 接 触 子	23	53	30
導 双	23	55	32

エ. 寿 命 試 験

3 相を組立てた上 2,000 回 反覆操作試験を行つたが、分解点検結果各部共損傷磨耗その他異状は認められなかつた。

5. 接地用開閉器付線路開閉器

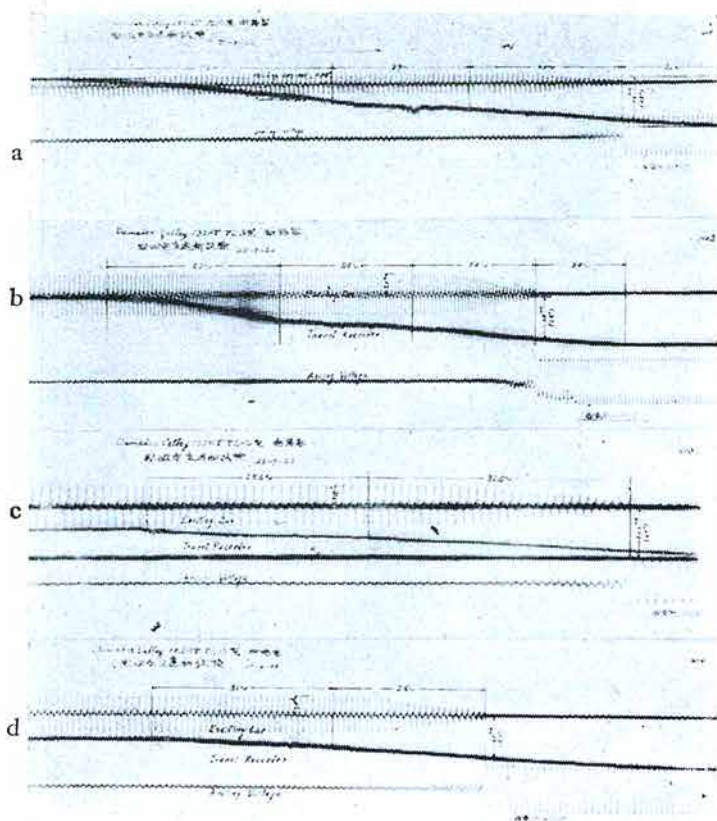
受送電端の線路開閉器には接地用開閉器 (Earthing Blade) 附を使用することが便利である。

12 図は該開閉器付 161kV 線路開閉器の外観を示すものである。この型式において重要なことは主開閉器と接地用開閉器が互に完全なインターロックを有することである。すなわち相手開閉器が開の位置に非ざる限り自己の投入ができないようになっていることで、本器では最も確実な方法として機械的インターロックを採用して満足な結果を得ている。

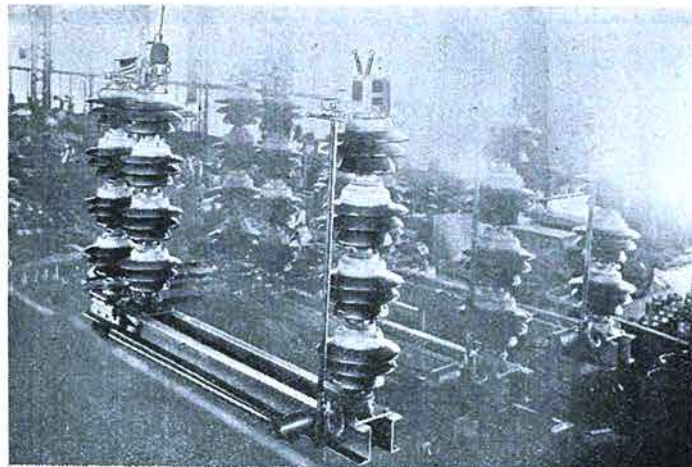
6. HL型線路開閉器の構造

12 図に見る如く、溝形鋼ベースの上に 3 基の碍子柱を建て、その両端の 2 基柱に固定接觸部を、中央の回転碍子柱に導双が取付けてある。

導双 (Blade) は 4 本の補強された硬銅管によつて菱形状に構成され、その両端はそれぞれブレードリンクによつて連結されている。この尖端には銅合金の接觸部が設けてあり、開路の状態ではブレードリンクが横傾し上下



11図 a.b.c.d 変圧器励磁電流遮断試験結果



12図 接地用開閉器附線路開閉器

の接触部は畳み込んだ如き形状にあるが、導双が投入されて固定接触のストッパーに当たると、リング・クラッチの鎖錠が解放されて、リンクは横傾の位置から直立し更に死点を越えた位置となり、本接触部はこのリンクの動作によつて上下に押し拡げられて固定接触片との接触を完了するようになっている。

固定接触部の主体は青銅鑄物製であつて、これに接触片を取付けシャントリードで結び、接触片の背後には発条を設けて圧力を加える構造となつている。

接触片は、とくにその形状にダイス引をした硬銅を使用し導双接触子と線接触をなすように造られている。

本接触子表面は開閉の際、常に可動接触子が面上をシ
新型線路開閉器・荒井

ウ動するため、塵芥・異物は払拭せられかつまた酸化皮膜の若干成生している場合でも、清浄な状態において接触をつくることができるようになっている。

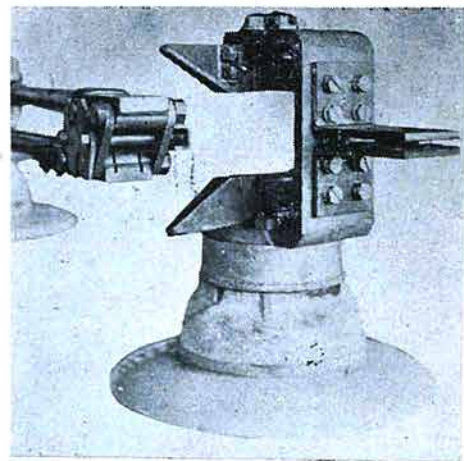
なお、接触部開口には双止めを附し、開路中に短絡電流あるいは振動等のために導双が脱出することを防止している。

開閉動作につき説明すると、投入動作の場合、先ず回転碍子を回し導双を閉の位置に近寄せるのであるが、その時の導双先端部は13図に見る如く上下の接触子が相寄つて固定接触部の開口の巾より十分狭く疊まれている。したがつて閉路は摩擦抵抗を伴うことなく行われる。

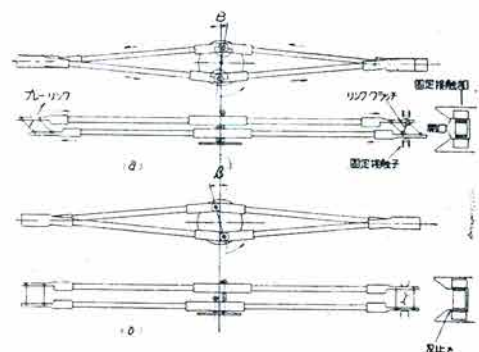
回転碍子の回転は導双が固定接触のストッパーに当たつた後更に若干角度(14図中 θ°)続けられ得る。この場合導双はもはや進行することはできず、上述のリンク機構が動作を開始し接触子を上下に押し拡げ固定接触との圧接を完了する。

以上の作動を図解すれば14図a.bの通りである。また閉路完了の接触部の外観は15図の通りである。

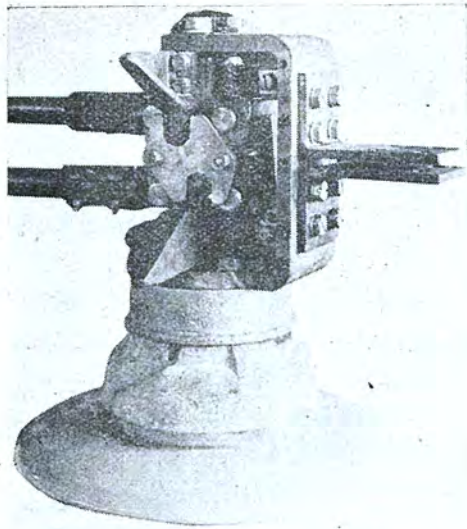
開路動作は閉路時の反対の順序によつて行われることは説明を要しない処で、すなわち先ずリン



13図 HL型線路開閉器接触部(投入直前)



14図 HL型線路開閉器の動作説明図

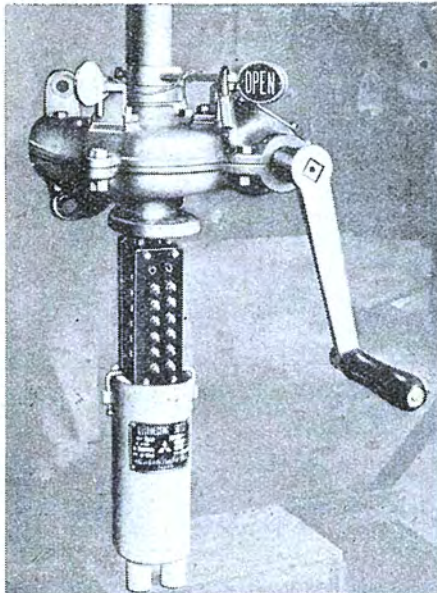


15図 HL型線路開閉器接触部（閉路状態）

クによつて接觸子圧接動作が解放せられ続いて開路の回転動作に移るのである。

上述のVL型における構造の場合でも同様であるが、これ等の機構においては操作は閉路（または開路）動作および接圧動作の2段に分れる。この2動作の行程は自ずと相違がある訳で、これを急速な1動作を以て完了せんとすれば、時に接圧動作を完結せぬ内に導双が固定接觸部から躍出して投入不能となる場合がある。

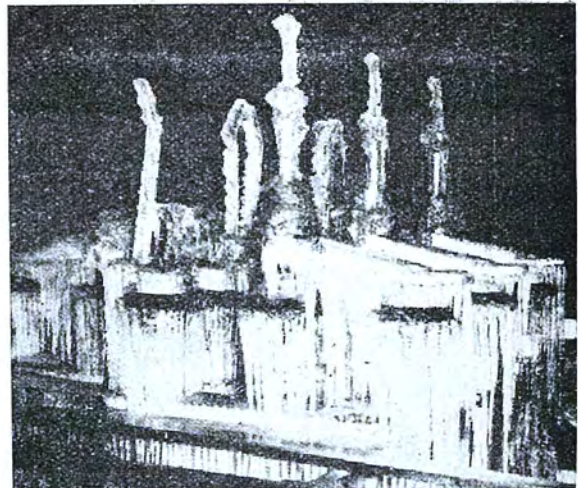
これを防止するには完全な緩衝装置を附するかまたは16図に示すように操作をレバーモーションによらず歯車によつて伝導する構造とすれば容易に解決できる。



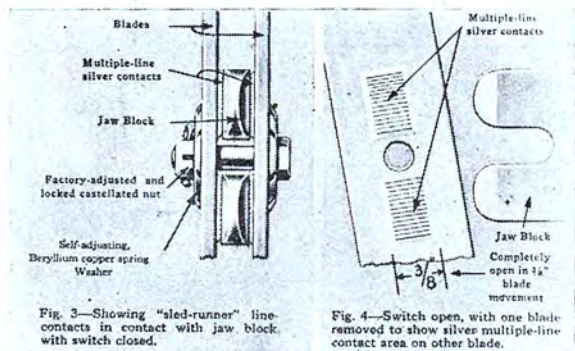
16図 回転式操作ハンドル機構

7. 結 び

新型線路開閉器が氷結に対しても操作の確実であることはその構造から言つて容易に想像つくのであるが、米国においてウェスチングハウスが行つた実験では17図の写真に見る如く、華氏15度以下の冷凍室において完全な



17図 氷結状態における断路試験状況



18図 マルテプル・ライン・コンタクトの接触面

氷結を行わしめた上開閉操作を行い確実な開閉が得られたことが報告されている。

これは尖端の氷結破碎作用と接觸部の払拭動作によつて得られるものである。

また線接觸が接觸抵抗を減ずる上において最も良好であることは前述したが、双型開閉器では18図に見る如き接觸部構造のものが製作されている。これはマルテプル・ライン・コンタクト (multiple-Line Contact) 構造と称せられるもので大電流断路器として接觸圧力を大とするを要せず、したがつて操作軽快な大容量断路器が得られるのである。

従来、断路器はとかく閑却軽視された観があり、実際の使用現場ではあるいは過熱を来し、あるいは操作不円滑となり甚しい場合には摩擦抵抗のために碍子・金具等の破壊を惹起した例もあつた実情である。

幸い当社の新型開閉器が真価を発揮しこれらの問題を解決改善し得れば欣快の至りと考える次第である。

文 献

- (1) 日本電機工業会 "断路器の同相端子間絶縁強度" 案に準拠
- (2) A.H.Powell よび H.R.Harrison; A I E E Miscellaneous Paper, 43-107 (1948)
- (3) B.W.Jones, G.E. Rev. Vol. 30 1927
- (4) J.B.Owens. A I E E Technical Paper 50-239 (1950)
- (5) Westinghouse Descriptive Data 36-116

同期調相機

神戸製作所 井 關 巖

1. 同期調相機の機能

電力系統の発達に伴い、これら全設備を最高の能率において運転することは経済的に最も望ましいことはもちろんであるが、同時に系統全体の安定度を増大せしめて、たとえ過渡擾乱の際にも同期を乱さない設備が要求されるようになった。以前には同期調相機は進相機の名で呼ばれた如く、その機能は系統に接続せられた遅相電流を相殺する進相電流を取らしめて力率を改善することが主として考えられた。すなわち電力系統には種々複雑な負荷が接続されているが中でも系統の力率を低下せしめる主なるものは誘導電動機の使用である。誘導電動機は全負荷運転の場合においても力率が悪く、ことに軽負荷および無負荷の場合に力率の低下が甚しい。かくして、力率が低下すれば電力系統に含まれる凡ての設備すなわち発電機、変圧器、あるいは送電および配電線の能力を低下せしめるばかりでなく、それぞれの中で発生する銅損を増加せしめて更に一層能率を低下せしめることとなる。いま系統中に調相機を並列に接続し、これに進相電流をとらしめるときは負荷の遅相電流と打消し合うことによつて発電機は無効電力を出す必要がなく、したがつて系統はその設備出力を増大したのと同じ結果が得られる。

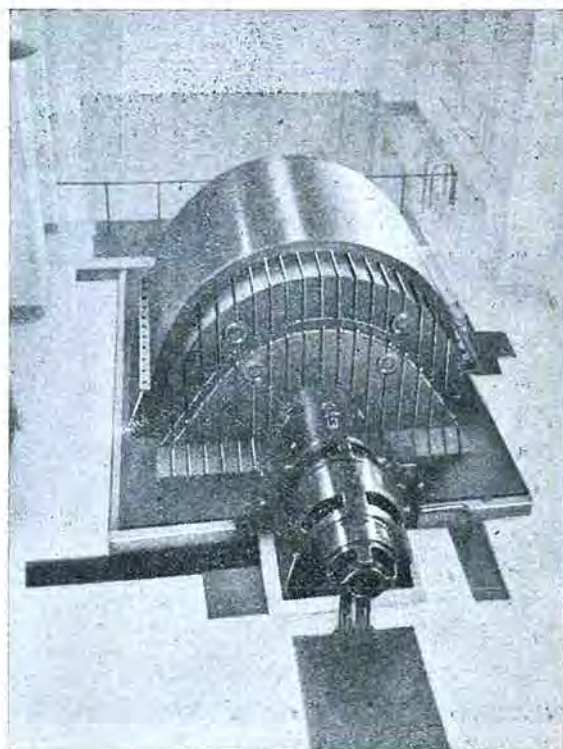
同期調相機の今一つの機能は、近來電力系統が伸長するに従つて超高压、長距離送電線が発達して送電線の安定度が盛んに論議されるようになった。すなわち系統中には多数の同期機が接続されていて、これ等は定常負荷状態で同期機間の同期を維持することが必要であるばかりでなく、また過渡擾乱の際にも同期を維持することが必要である。

この過渡擾乱の原因としては負荷の変動開閉操作および短絡接地等の事故によつて起ることが最も多くまた励磁の欠損によつても起り得る。この過渡擾乱は種々の保護装置によつて減少することができるが根絶することは困難である。それがために事故その他の場合には、その発生によつてリレーが働きそれを系統から除去するまでの期間を調相機あるいはその他のもので支持できれば、系統全体を脱調から保護することができる。この過渡擾乱後の同期あるいは平衡の回復に対しては同期調相機は自身の持つ大きな貯蓄勢力常数およびロート・トロール励磁等の超高速連応励磁方式の併用と相俟つて他の調相機にみられぬ特性を持っている。

2. 同期調相機の現状

当社において製作した同期調相機は多種多様にわたつてゐるが主なものを列記すれば下記の通りである。

納 入 先	進 容 (kVA)	相 量 (kVA)	遅 容 (kVA)	相 量 (kVA)	サイ クル (～)	回 転 数 (rpm)	起 動	型
鳩ヶ谷変電所	30,00	15,000	50	600	電 動 機	屋 内		
武蔵境 "	30,000 25,000	20,000	50	600	電 動 機	屋 内		
岩 倉 "	25,000	22,500	60	720	電 動 機	屋 内		
印度(製作中)	20,000	10,000	50	750	電 動 機	屋 内		
大 邱 (朝鮮)	20,000	15,000	60	900	電 動 機	屋 外		
神 戸 変 電 所	15,000	7,500	60	900	自己起動	屋 外		
武 雄 "	15,000	7,500	60	900	自己起動	屋 内		
徳 山 "	12,000	7,200	60	900	電 動 機	屋 内		
上津役 "	10,000	7,500	50	750	電 動 機	屋 内		
長曾根 "	10,000	6,500	60	900	自己起動	屋 外		
三 軒 "	10,000	6,000	60	900	電 動 機	屋 外		



1 図 日 産 鳩ヶ谷変電所納入
30,000kVA 11,000V 50~600rpm 10速 電動起動機

3. 同期調相機と動力用蓄電器の比較

同期調相機と蓄電器の優劣を簡単に断定することは困難であろう。事実最近の10年間に同期調相機が新製されなかつたことだけで同期調相機を無用と断定することは無稽も甚しく、今や再認識すべき時期に到達している。

長期にわたる戦争の影響によつて金属資源として銅材が重要資源としてその使用が極度に制限されたため調相機自体の特性と言うよりは資材の面から蓄電器に王座をゆずる結果となつた。しかるに終戦後わが国を襲つた電力不足から電力系統を酷使した結果系統が極度に安定を失ひ不慮の事故が続出した。この事故の頻度と系統中の蓄電器の設備の多小との関連については今後なお検討の余地ありとはいえ、電力系統の安定度に関しては大きな貯蓄勢力常数と過負荷耐力を持つ同期調相機の意義が重大となり、かつまた米国においては引続き同期調相機を使用して安定した系統を維持している事実を鑑み同期調相機が再認識されなければならない。

同期調相機の蓄電器に比較して特性上の利点を列挙すれば下記の如くである。

ア. 蓄電器はコンデンサーとして使用できるだけであるが同期調相機はコンデンサーとしてもリアクターとしても利用できる。

イ. 同期調相機はその速応励磁方式の併用によつて自動的にしかも連続的に負荷の調整を行ひ得る。

ウ. 起動電動機を直結した同期調相機は線路充電試送電に利用できる。

エ. 同期調相機は過負荷に耐える。ことに過渡擾乱の際には自身の持つ大きな貯蓄勢力常数と相俟つて送電系統の安定を確保する。

オ. 同期調相機は他の同期機と同様に比較的寿命が長い。蓄電器は比較的劣化が早く寿命を長くするため全負荷で使用しない現状である。

カ. 能率に関しては回転部分を持つため蓄電器に劣る。しかし水素冷却方式の採用によつてその損失は2%以下のものも可能である。

次に製作費の問題であるがこれは簡単に比較することができない。概算によれば小容量のものは蓄電器が安く、大容量になればかえつて同期調相機が安価である。その理由は蓄電器は1個のユニットで製作し得るkVAには制限があつて大容量になれば単位ユニットのものを集合して所要のkVAを構成している。しかるに同期調相機は1機で数万kVAまで製作出来るためkVA当りの製作費は大容量になる程減少する。しかるに蓄電器は容量の大小にかかわらずほぼkVA当りの製作量は一定となるからである。

その境界点は材料費の高低によつて変動するが実用点範囲内において同期調相機が安くなることは米国の例にみられる所である。なお同期調相機を単に蓄電器と同じ役目に使用するものとして製作すれば更に製作費を節減することができる。総合的にみて同期調相機は大容量のものを1個所にまとめて使用し、負荷の変動の激しい送電幹線系統全体の力率改善に適し、電力用蓄電器は負荷の変動の少い所であつて負荷に近接して設備できる利点を有しているので電力消費を主として配電系統の力率改善に適していると言うことができる。

4. 屋外用同期調相機

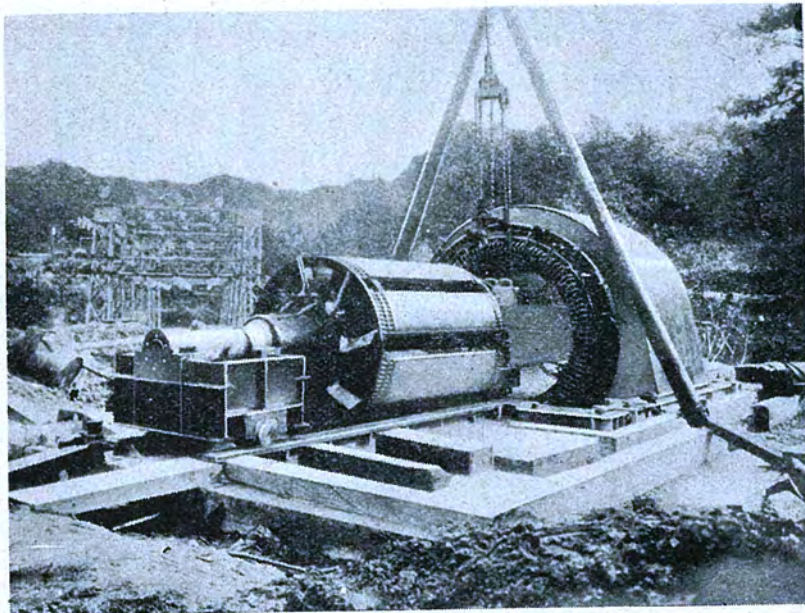
同期調相機はその使命上送電幹線の中継地あるいは受電端に単独に設置されることが多く、したがつて自身のためにだけ建造物を作らねばならない場合には屋外型を採用することが経済的に望ましくなる。屋外用機械の特殊性としてはケーシングはもとより防水性パッキングを使用して耐水その他の湿気が絶対に混入しない設計であると同時に、地形上冷却用水の入手の困難をとらぬ場合が多く、したがつて水冷軸受の使用が困難となり軸受用潤滑油の冷却に特別の注意を払わねばならない。ことに変電設備を民家に近接して設置する場合には調相機の騒音に注意しなければならない。騒音の主な原因はエン



2 図 日 発 神 戸 変 電 所 納 入 屋 外 用 同 期 調 相 機
15,000kVA 11,000V 60~900rpm 8極 自己起動

ドベルの振動と冷却空気の渦流によることが多い。2図に示す型式のものは殊に防響効果が大い。すなわちケーシング内の通風は自然通風であつて単に励磁機の冷却空気を供給するだけで、内部に湿気のためることのない程度に自然通風を行つている。調相機冷却用空気はケーシングとは全々別個に左右2個の風洞を備え調相機下方から入り、下方に出て機械の冷却に当り、強靱なエンド

ベルと特殊軽合金製の羽根によつて冷却気の渦流を防ぎかつ風洞、およびデフレクター等の特殊設計によつて気圧の急激な変動を防止し、したがつて強力な調相機冷却用空気がケーシング内に入ることなく音響が極めて低くなつてゐる。なお屋外型には全然クレーンの使用が期待できないため3図に示すように特殊なトラックとローラー、および軸支えビームから成る回転子送込装置を使用する。



3 図 日 発 神 戸 変 電 所 納 入 15,000kVA 屋 外 用 同 期 相 機
回 転 子 移 動 用 ロ ー ラ ー キ ャ リ ッ ジ

5. 水素冷却同期調相機

電気機械の冷却媒体として空気の代りに水素ガスを利用することの利点はタービン発電機の場合と同様であつてここに詳述することを省く。米国における水素冷却方式の発達過程をみるまでもなく、タービン発電機の場合よりも一層実施することが容易でありかつその効果が顕著である。その理由は水素冷却機は構造上水素ガスの万一の爆発に備えて強固な耐爆ケーシングで蔽われているが、調相機は単独機であるためタービンその他の原動機と直結する必要が無く、したがつて軸端を耐爆ケーシングを貫いて外部に出す必要がなく、したがつて構造が簡単でかつガスの漏洩が少い。殊に米国においては 60,000 kVA の大型調相機においても自己起動で起動電動機が直結しないために構造は極めて簡単である。わが国の実状として大型調相機は殆んど起動電動機を直結しているため構造上次の2方式が考えられる。

ア. 全 密 閉 構 造

励磁機のみ別置として起動電動機は調相機に直結したまま同一の耐爆ケーシングに封入する構造である。この構造の利点は回転部分がケーシングを貫く個所が無いため水素ガスの漏洩が極めて少く、したがつて封入する水

素ガス圧力を高くして能率を高くし、出力を増加することが可能でかつ潤滑油の純化处理が簡単となる。欠点として耐爆ケーシングが大きく、したがつて資材重量が増し初充填ガス量が増加すること、および軸受が耐爆ケーシング中に入るため、修理、点検の際に水素ガスの気密を破らねばならないことと集電環室を本体と別個に設置してブラシの取替えに際しては全体ガスを破壊することを防がねばならない。

イ. 密封器を使用する構造

タービン発電機と同様に同期調相機の本体のみ耐爆ケーシング中に置き、両軸受および起動電動機は空気中に出す構造でこの場合には軸受およびブラシは修理点検に便利であり、耐爆ケーシングは半減すると共にガス量も減少する。なお起動電動機はケーシング外部にあるため電磁接手を利用して起動時以外は休止せしめることができる。しかしこの場合にはもちろん軸がケーシングを貫通するためその部分には密封器を必要とする。しかしタービン発電機に比べて回転数が低いだけ製作は容易であるが、ガス洩れの点で全密封構造に劣りかつ潤滑油処理（純化）がやや複雑となる。

何れの構造にも調相機内に発生する熱（損失）は水素ガスを媒介として機内に自蔵するガス冷却器を通して放散する。

ガス冷却器に使用する冷却用水は小容量では井戸水あるいは水道水を利用できるが大容量のものでは用水の入手困難となり冷却水用冷却池あるいは冷却塔を設備して、冷却水の循環使用を考慮しなければならない。

文 献

- (1) Electrical Transmission and Distribution Reference Book Power System Stability (Chapter 8) by Central Station Engineers of the Westinghouse Electric & Manufacturing Company.
- (2) Design and Test on electronic exciter supplied from common shaft driven generator.
AIEE Technical Paper 50-50 December 1949.
- (3) Hydrogen cooling of rotating machines. by C. M. Laffon Electrical Engineering Vol.55 1936.
- (4) Hydrogen cooling for turbine generators, Westinghouse Engineer 1947
- (5) 11,000 kVA 水素冷却タービン発電機 井上八郎 右衛門, 岩橋 一, 電気学会雑誌第62巻, 第9冊, 第550号 (昭和17年9月)