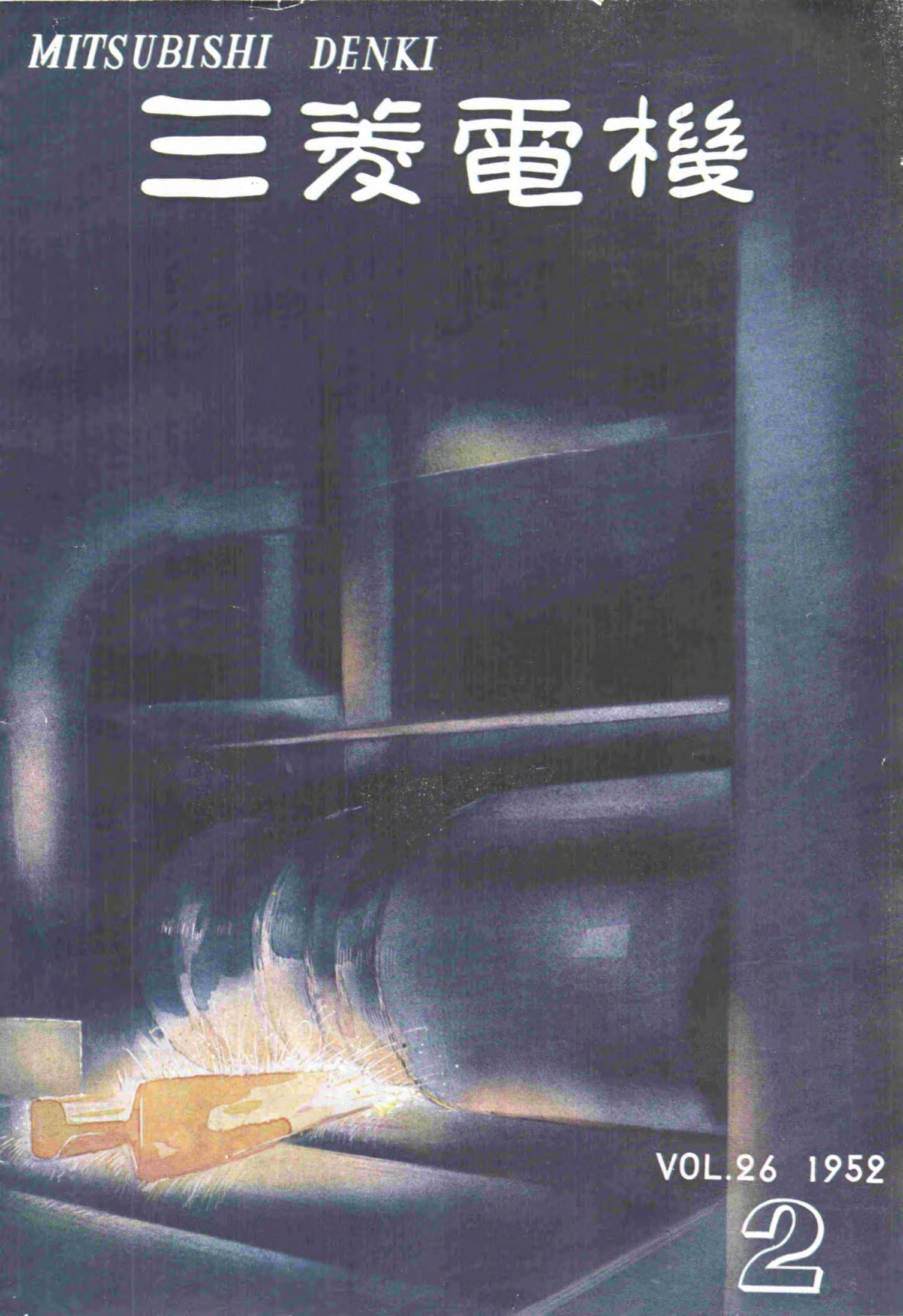


MITSUBISHI DENKI

三菱電機



VOL.26 1952

2



「毛細管式冷凍方式の研究」採擇さる

第8回国際冷凍會議提出論文

Eighth International Congress of Refrigeration



Eighth International Congress of Refrigeration
His Majesty's Government in the United Kingdom of
Great Britain and Northern Ireland
request the honour of the company of

Mr. T. Nagamura

at a Reception at Lancaster House, St. James's
on Wednesday, the 29th August, 1951, from 6.00 p.m. to 8.00 p.m.
Mr. F. T. Willey, M.P.,
Parliamentary Secretary to the Ministry of Food, will receive the guests.

Cars to approach Lancaster House
by way of Cleveland Row.

Please reply to: The Secretary, Government
Hospitality, Treasury Chambers, Whitehall,
S.W.1. Tel.: WHI 1481. Ext. 227 or Ext. 538.



昨年8月28日から9月11日までロンドンで開催された第8回国際冷凍會議には各国より多数の優秀な論文が提出され、審議されましたが、わが国から提出の論文 19 編中当社研究所 長沼技師執筆になる下記の「毛細管式冷凍方式の研究」が他の4編と共にその研究理論の優秀性を認められ、採択の榮譽を受けました。

要 約

現在家庭用冷凍装置の製造者はすべて毛細管を用いている。毛細管のもつとも著るしい利点は簡単なことである。しかしながら設計者が毛細管を応用するときに用いられるべき理論がない。この研究は毛細管の中を乾き飽和蒸気と和飽液体の二相が流れるとき、毛細管の流れに対する特性を数量的に取扱つたものである。

最初は断熱変化の場合で、エンタルピの式より混令流に対する熱力学的状態路を決定した。これを温度—エントロピ線図に画くと、エントロピが極大値をとる臨界点のあることが判る。二相流に対する摩擦係数が判ればエントロピの増加と摩擦仕事との関係を図式積分することによつて毛細管の長さに沿うての

温度分布を求めることができる。この方法によつて蒸発温度および冷凍能力が与えられたとき、これに適する毛細管の直径および長さを求めることができる。最後に流量に対する一般形を導き出している。

つぎは毛細管と吸入管との間に熱交換のある場合である。エネルギーの関係を表わす微分方程式を解いて毛細管および吸入管に沿うてこの温度分布の式を求めている。さらに毛細管内冷媒のエンタルピ式を計算し、熱交換を行うとき冷媒の状態路はほぼ飽和液体線に沿うて変化していることを知る。単位シリンダ容積当りの冷凍力および成績係数をフロン—12とメチルクロライドの場合に比較して熱交換を行うことはフロン—12の場合にはきわめて有効なことを知る。

三菱電機

表紙説明

富士製鉄株式会社釜石製鉄所では、設備の近代化による生産増強の一として、大形圧延機を従来の誘導電動機運転を廃止して、新に当社が製造納入したイルグナー式電気設備によりきわめて高能率の運転を行われております。上図はその圧延直流電動機で、出力5,000HP 連続定格、回転数0-70-160 回転毎分可変速度、型式は閉鎖他力通風型であります。

右図は圧延直流電動機に直流電力を供給し、かつ励磁機、ロートロールおよび管制器類の作動と相俟つて、この種圧延機の要求する変動する負荷の下で迅速な起動、加速、減速、停止の繰り返しを行う誘導電動直流発電機で、出力2,000kW の直流発電機2台、5,000HP 三相誘導電動機、280TM² 蓄勢輪および始動装置より成つております。



三菱電機株式会社

本社

東京都千代田区丸の内(東京ビル)

(電) 和田倉 (20) 代表1631・2331

研究所 兵庫県尼ヶ崎市南清水

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

伊丹製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水

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

世田谷工場 東京都世田谷区池尻町

郡山工場 福島県郡山市宇境橋町

福山工場 福山市沖野上町

姫路工場 兵庫県姫路市千代田町

和歌山工場 和歌山市岡町

中津川工場 岐阜県恵那郡中津町

福岡工場 福岡市今宿青木

札幌修理工場 札幌市北二条東12

大阪営業所 大阪市北区堂島北町8番地1

(電) 福島 (45) 5251-9

名古屋営業所 名古屋市中区広小路通

(電) 本局 (23) 6231

福岡営業所 福岡市天神町(天神ビル内)

(電) 西 (2) 5821-5825

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 2573・8057

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27年 第26巻 第2号

目次

三菱電動揚貨機.....進 藤... 2

風冷式イグナイトロン整流器.....加藤・鯨岡... 9

芦津発電所の遠方制御自動装置.....尾 畑...17

電力系統機器のインピーダンスの分類.....安 藤...25

「三菱電機」編集委員会

委員長	岸 本 久 雄	荒 井 潔	安 藤 三 二	石 橋 英 樹
委員	浅 井 徳 次 郎	岡 屋 精 二	川 田 勝 利	小 林 治 一
	市 吉 惟 浩	岡 澁 谷 進	田 宮 利 彦	松 田 新 治
	進 藤 貞 和	澁 谷 前 幸	松 尾 米 太 郎	松 岡
	毎 熊 秀 雄	森 村 久 男	薄 井 廉 介	
幹 事	宗 村 平 二		(以上 50 音順)	

昭和27年3月25日印刷

昭和27年3月30日発行

『禁無断転載』

定價1部金30円(送料8円)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内2丁目3番地

吾 柳 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

東京都港区麻布竹谷町1番地

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 和田倉 (20) 1 6 3 1

日本出版振興会登録 213013

三 菱 電 動 揚 貨 機

新たに遠隔制御型電動揚貨機を製作したので、これの特長、構造および特性についてのべる。

長崎製作所 進 藤 貞 和

1. ま え が き

最近ジゼル船の建造に伴い、補機の電化が盛んに行われているが、なかんづく甲板補機としての電動揚貨機は貨物船の生命となるものでこれが良否は船の死命を制するといつても過言ではない。

当社は大正 15 年以來すでに 2,000 台以上の直流電動揚貨機を製作したが、このうちの大部分は主幹制御器を電動機の上部に載せた型で、揚貨機のそばで運転する方式であつて、制御方式はもつとも簡単な揚卸とも対称な接続としているため卸の速度が早くて荷役能率がよく、また重量物でとくに徐々に卸す必要のあるときは電磁制動機に取付けた手動釈放把手を操作してきわめて円滑な卸し速度をえておつた。しかし終戦後各船主、造船所でワンマンコントロールの要求が盛んになつてきたため、遠隔制御の必要上電氣的に安定した卸し速度をうる必要となつた。当社は西日本重工長崎造船所建造フィリップ船、中日本重工神戸造船所建造デンマーク船、浦賀船渠会社建造フランス船等の輸出船を初めとして第 5 次船以降の国内船等用として遠隔制御型電動揚貨機を製作しその数は目下製作中のものを合せて約 500 台におよんでおり、わが国で建造中の貨物船の電動揚貨機の大部分を製作していることは如何に当社の技術、経験を信用して頂いているかの証拠であつて、まことに感謝に堪えない処である。以下その概略をのべることにする。

2. 特 長

ア. 機器全体が一個所に纏つていること

電動機および主幹制御器を除く制御装置はすべて機械部分とともに同一台盤の中に順序よく取纏めてあつて艤装がはなはだ簡単にでき、取扱い・点検・手入等が軽便に行われる。もし制御装置が別箱になつていてこれを設置する部屋が必要となりこのために場所を要し船の重量が増し、かつまた揚貨機との間の配線に余分の費用を要するのみならず艤装にも時日を要することになる。

イ. 荷役能率の良好なこと

巻揚速度は $1/2$ 負荷以下では約 2 倍以上の速度を、また全負荷巻卸速度は規定速度の約 2.5 倍出すようにしており荷役能率を著しく増加することができる。巻卸は制動巻卸を行い電氣的に安定した巻卸速度がえられかつ

電力を電源に返還することができる。しかしこの返還電力が大き過ぎると種々不都合があるのでこれを適当な値に制限する方法を講じている。

ウ. 歯車がウォーム式で騒音が少いこと

歯車はウォーム式で歯車の部分に特別の考慮を払つていので音響少く効率も良好である。

エ. 水密円盤型電磁制動機を使用していること

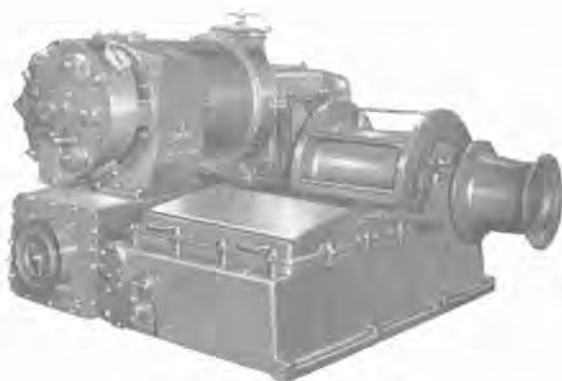
電磁制動機はコンパクトな円盤型とし完全な水密にしてあるから海水浸入等のために電磁コイルが短絡焼損したり、制動ライニングが硬化したり、ヒンジがさびついたりするおそれがない。また制動力が非常に強力であるから停止位置にては発電制動と相まつて電動機は急速に停止する。また電磁制動機には軽く動く手動釈放装置がつけてあるから万一荷重を吊つたままで停電しても手動にて卸すことができる。

オ. 開閉が手軽にできること

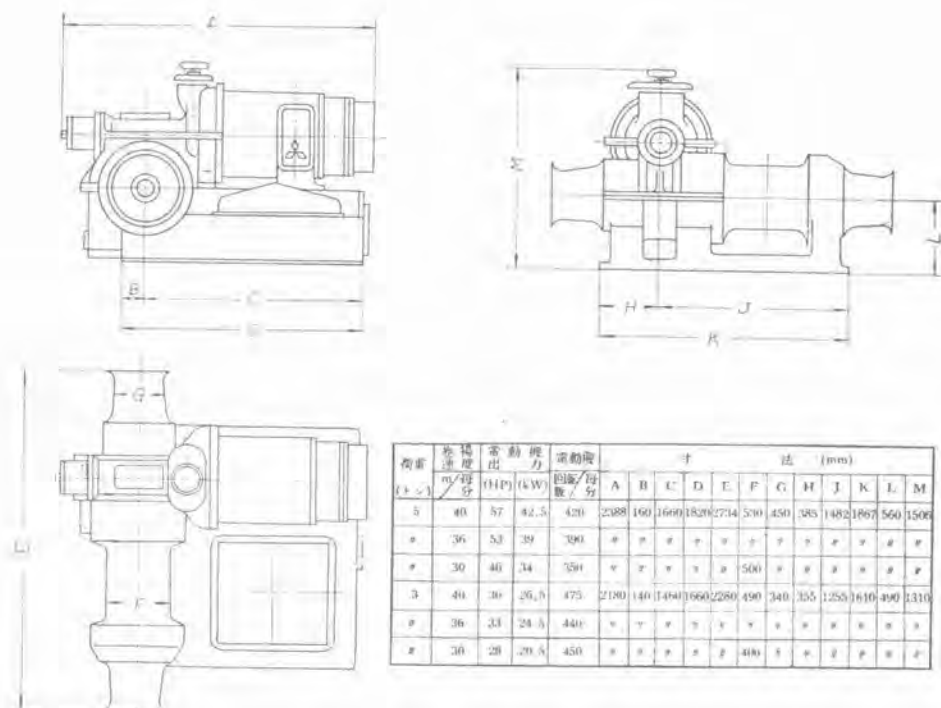
各部は完全な全閉水密型にしてあるが、つねに開閉する箇所は手軽に操作できるように細心の考慮を払つてある。

カ. 不馴れな人が取扱つても危険がないこと

各種の安全装置を施してあるから、不馴れな人が取扱つても破損危険等のおそれがない。とくに主幹制御器の把手を急激に揚より卸、卸より揚にとつてもきわめて円滑な運転をし、電動機の整流子面にてフラッシュオーバーするようなことはない。



1 図 遠隔制御型電動揚貨機



2 図 外 形 寸 法 図

3. 機 械 部 分

1 図のようにウォーム歯車を使用するのを標準としているが、ご要求によつてはスパー歯車式のものも製作している。神戸造船所建造デンマーク船のものは船主のご要求により二段切換スパー歯車式で機械部分は神戸造船所に製作し、当社の電機品と組合せたものである。二段切換スパー歯車式のものたとえば 3 トンで 30 m、1.5 トンで 60 m というように荷重によつてあらかじめ高速、低速のいずれかに切換えておけばよいのであるが、電動揚貨機においては一般に軽負荷にては速度が上昇するような特性を電動機にもたせており、3 トン 30 m のものは 1.5 トンのときは 60 m 位だせるようにしてあるから、わざわざ歯数比を変えて機械的に速度を変化させる必要をあまり認めないので、当社では構造がコンパクトで騒音の少ないウォーム歯車式を標準とし速度は 2 図のものを標準としている。

以下標準型につき各部の構造を説明すれば、歯車はウォーム歯車一段減速でウォームはニッケルクローム鋼を使用し、歯の部分および軸受嵌合部分はケースハードニングして適当な硬度に調質後いずれの部分も精密研磨仕上を施している。ウォームホイールの本体は鋳鉄製で歯の部分は摩擦抵抗および磨耗の少ない良質の磷青銅を用い本体に焼嵌めするとともに嵌合部分はねじ止めして強固な一体としている。歯にはクラウニングを施し嚙合面への潤滑を容易にし歯切後ラッピングマシンで両者の完全摺合せを行つているので、丈夫で動力の伝達はきわめて円滑に行われ音響も少く効率もスパー歯車に劣らない。

歯車箱は鋳鉄製で内面は十分掃除した後耐油塗料が塗布してある。給油は油槽式になつていたので嚙合面への給油はつねに完全に行われ、放熱面積も十分にとつてあるので過熱するようなことはない。

軸受はウォームの逆転駆動も可能なように複列推力玉軸受を使用し、またウォームおよび巻胴軸の軸受には特殊配合の鉛青銅裏金を使用しているのでその耐摩耗性は良好である。大部分の軸受部は歯車箱内の油が歯車の回転によつて自動的に給油され、潤滑を終つた油は再度箱内に集るようにしており、箱内の油で給油できない軸受はべつに油溜を設けて油環式にし油の損失を僅少にして点検、補給の手数を少なくするよう考慮している。

巻胴は 1 個の主巻胴と 2 個の副巻胴をつけたものを標準としているが左右いずれか 1 個にしても差支えない。巻胴は硬質の鋳鉄で作り、巻胴のために摺り減ることを少くし、また乱暴に取扱つても綱が巻胴から外れないような構造にしている。巻胴軸は鍛鋼を使用し安全率を十分大きくとつてある。

台盤は鋳鉄製で盤内には電磁接触器型制御器および抵抗器を納め、これらの点検、取出しが容易にできるようにしている。抵抗器を冷却するために電動機軸とウォームとを連結する接手のボスを利用して扇車が取り付けがあるので、荷役の際はかならず歯車箱上部および台盤にある通風口を開放しなければ運転できないようにしている。

4. 電 気 部 分

ア. 電 動 機

電動機は横型で全閉水密型の複巻直流電動機を使用し、定格は半時間で、温度上昇はロイフ A、B、S、NK

規格に合格する設計である。電機子は外径を小さくして慣性を少くし急激な起動停止逆転を容易ならしめ、機械的強度の十分な釣合のよいものになっている。電機子および界磁コイルには良質の絶縁物を使用し、またその絶縁処理はとくに入念に行い湿気および温度の変化に対して絶縁が害されぬようにしている。整流子片は硬度の高い硬引純銅を使用し良質のマイカを入れて組立て高温中で回転し数回締め直した後表面を正確に機械仕上げしてあるので運転中に弛んだり変形したりするおそれがない。刷子は良質の電気黒鉛を使用している。

界磁は分巻コイルと直巻コイルとを備え、直巻は三分されており、巻揚の場合軽負荷の際その二つを短絡して速度を上昇させ、卸の場合はこの三分したコイルを巧に組合せて良好な卸特性をうるようにしている。すなわち卸の場合分巻コイルのみを使用するものでは電動巻卸の場合の加速がおそく、また制動巻卸の場合荷重が重くなる程速度が著るしく上昇するが、この方法によればあまり上昇せずにすむのみならず高速の場合にはかえって降下させることもできる。

電動機は2図に示すとおり、巻揚速度によつて馬力、回転数は変化するが外形寸法はいずれも同一にしている。

イ. 制御装置

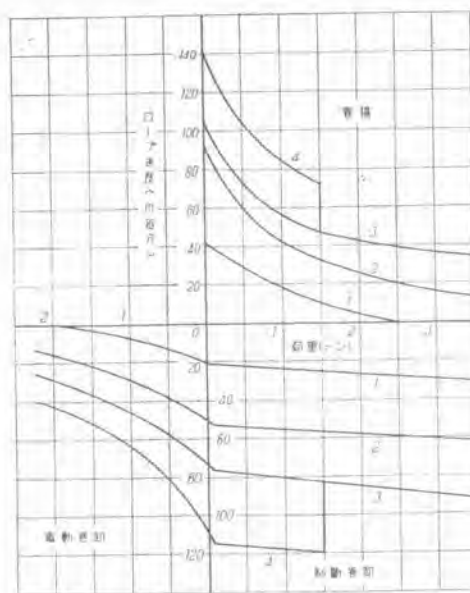
制御装置は主幹制御器、電磁接触器型制御器および抵抗器よりなり、揚貨機本体とは離れた位置に装備された主幹制御器で微弱な電流を取扱つて電磁接触器型制御器の各種接触器、継電器類を作動させ電動機の起動、停止速度の増減、回転方向の切替えを行うようにしている。

(1) 主幹制御器

左右4つのノッチがあり、ワンマンコントロールの場合は右型と左型との2台の主幹制御器は把手を向い合せにして配置し、把手を断の位置より手前に引けば揚、前方に押せば卸となる。1台の揚貨機を前後のハッチ用として使用する場合には2個の主幹制御器を設け、これらを切替開閉器により切替えて使用する。この場合主幹制



3 図 主幹制御器



4 図 速度特性曲線

御器の把手を左右両側に出しいずれからでも使用できるようにしたものもある。また不用意に把手に巻網等が引掛つて不時の起動を防ぐために簡単に抜差しのできるピンを設け使用しないときは断の位置でピンをさしておけば把手が回らないようにしている。したがって運転する際はピンを抜いておけば把手は左右に自由に動き断の位置で一々ひつかかることがないので操作が楽である。

(2) 電磁接触器型制御器

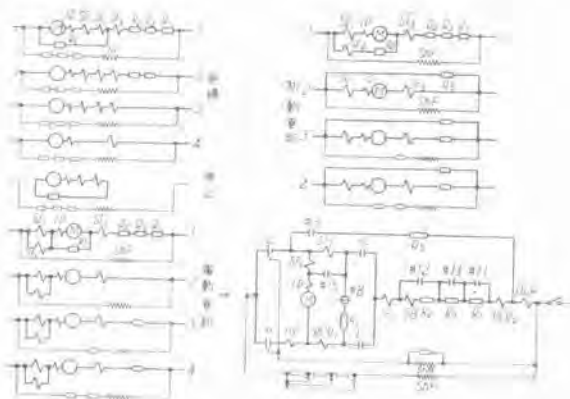
二極および単極電磁接触器・時隔継電器・高速度継電器・過負荷継電器・低電圧継電器・逆流継電器・緩動可逆継電器・過電圧継電器等を配列よく一つの枠に取付け、枠全体が台盤から取出されるようになっており、接触器、継電器等の接点、コイルの取替え等容易にできるように考慮している。とくに電磁接触器は電動揚貨機のもつとも重要な部分の一つでこの接点が万一溶着するようなことがあつては止めようとするときも止まらないことになり、はなはだ危険であるので、主接点の外に炭素を使用したアーキングチップを設け接点が絶対に溶着しないようにしている。

(3) 抵抗器

鋼鉄製の枠に鋸鉄グリッド型抵抗を組立て台盤内に装備し、電動機軸とウオームとを連絡する接手のボスを利用して取付けた扇車により冷却するようにして長時間の運転に支障を来たさないようにしている。

ウ. 制動装置

制動装置としては水密円盤型電磁制動機を用い電動機的一端に取付けてある。主幹制御器の把手を左右にとれば電磁力が働き発条に逆つて回転円盤を釈放し電動機は起動し、把手を断の位置に戻せば6個の発条により制動力がかかり電動機はただちに停止する。制動機は揚貨機の重要な部分であるから制動ライニング、発条等とくに材質を吟味しかつ強力な制動力のあるものを使用してい



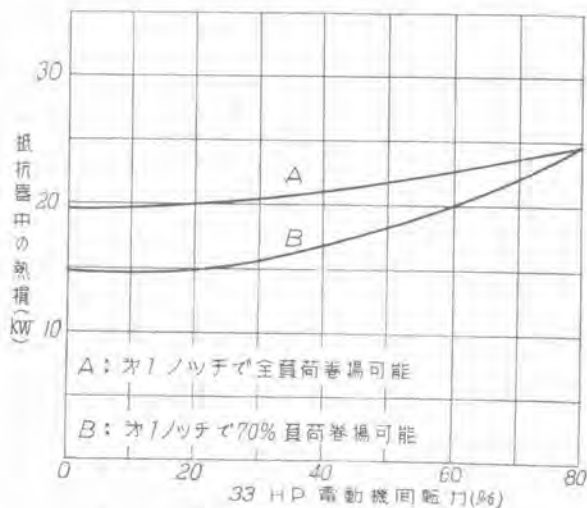
5 図 接 続 図

る。

5. 速 度 特 性

ア. 巻 揚

(1) 4図に示すように巻揚、巻卸ともノッチは4とし、巻揚第1ノッチでは全負荷の約70%の荷重を巻揚することができるようにしている、その第一の理由は第1ノッチは5図のように電機子と並列に抵抗を挿入して電機子の端子電圧を下げて軽負荷の場合の速度を下げるようにするのが普通であるが、今もし第1ノッチで全負荷を巻揚することができるようにするためには直列抵抗 R_L ($R_L = R_1 + R_2 + R_3$) の値は R_0 を接続しないときに起動電流が全負荷電流の150%位になるようにえらばなければならないので R_L は比較的小さな値になる。しかし全負荷では電機子を通れる電流は全負荷電流近くであり、かつ電機子に並列に抵抗 R_0 が入っているから荷重を巻揚するに要する電流の外に余分の電流が R_0 を流れることになるから線電流は過負荷することになり、はなはだしいのになると全負荷電流の140%に達するものがある。もし回路保護にヒューズを使用している場合にはこのことを考慮してヒューズの容量を定めなければならない。



6 図 抵抗器中の熱損比較

い不都合がある。

第二の理由は、ロープ巻取等の場合のように軽負荷で20分位連続運転する場合に抵抗器が過熱することである。6図Aは3トン36m電動揚貨機において第1ノッチで全負荷巻揚可能なもの、Bは全負荷の70%を巻揚可能な場合の抵抗器中の熱損の比較の一例であつて、軽負荷の場合ほど両者の差が大きく回転力10%付近ではその差が5kWにも達するから如何に抵抗器が苦しくなるかがわかる。一般にこのような点の試験を見逃しているが使用者側としては電動揚貨機の購入にあつて注意すべき点と考える。

第三の理由は、普通よく使われる荷役の方法は2台の揚貨機で1個の荷物を取扱ういわゆる喧嘩巻であつて、この場合の荷重は一般に1.5トン位であるので、たとえば3トン揚貨機で70%の荷重をつれるようにしておけば第1ノッチでも十分間に合い、かつまた必要以上に大きな起動電流を流さなくてもすむのである。

以上のような理由により、巻揚第1ノッチでも全負荷を巻揚げるといふことは一見便利のように思われるが、あまり感心したやり方でないばかりか、むしろ電動揚貨機に経験のない設計と言わざるをえない。

(2) 第2ノッチは起動電流を150%におさえ全負荷を巻揚げることができる。したがつて1.5トン以上(3トン揚貨機で)のときは第1ノッチでは巻揚できないから第2ノッチをはじめてから使用することになる。

(3) 第3ノッチは直列抵抗を全部短絡した全速運転である、第2、3ノッチの間では時隔継電器による自動加速をおこない突入電流を防いでいる。

(4) 第4ノッチはフックスピードをうるためのノッチで、たとえば第4ノッチに主幹制御器の把手をとつても重負荷の場合は速度は第3ノッチと同一であるが、軽負荷(標準として3トン揚貨機では1.5トン以下、5トン揚貨機では2トン以下)では高速度継電器が働き直巻界磁コイルの一部を短絡し規定速度の2倍以上を出すことができ、無負荷の場合は4倍近く速度を出すことができる。ただここに注意しなければならないことは、このフックのみを巻揚げるときの速度が早いほど荷役能率は上るのであるが、速度を無暗に上げることは何等効果のないことである。何となれば直巻電動機(分巻界磁はこの場合は一般に非常に弱い)では電機子電流が少なくなにつれ回転力が小さくなり加速に長時間を要するのであつて、たとえばフックスピードが140m毎分以上出るような設計になつていても実際の船においては揚程の関係上この速度に達しない前に上へ到達してしまうことが多い。まして揚程が10m以下の試験設備においてはこの試験は十分できず、いたずらに特性曲線上にて高速を誇るにすぎず実用上何等効果はない。当社も従来は揚程8mの試験設備であつたが昨年4月高さ22mの揚貨機専用の試験塔7図を完成し、揚程22mまでの試験が可能で、喧嘩巻等の実際の船におけるのと同じ試験ができ



地上よりの高さ	22 m
有効最大高さ	20 m
幅	16.6 m
試験種目	単独揚貨試験 喧嘩巻揚貨試験
試験荷重容量	15トン×2
常用荷重容量	10トン×2

7 図 電動揚貨機試験塔

るようになったことは揚貨機製作上大きな強みである。

イ. 巻 卸

卸特性は本揚貨機の特長とする処で分巻界磁コイルのほかに三分された直巻界磁コイルの適当な組合せにより良好な特性を与えている。すなわち電動機として巻卸する場合あるいはまた卸し方向に回して副巻胴で荷重を巻揚するような場合を考慮して、電動機として大きな回転力を出させるために直巻界磁コイル SF_3 を使用している。(5 図参照)。

また直巻界磁コイル SF_1 , SF_2 は電動巻卸の際は電磁接触器 #15 によつて短絡されているのでこれらの界磁は互に打消し合っているが、制動巻卸の際は #15 は開くようになっており、かつまた電機子電流は逆流するので SF_1 は分巻界磁と助け合うようになり、巻卸しの場合分巻界磁のみを使用するものに比べ荷重が増加しても速度の上昇が僅少ですむことになる。

(1) 第1ノッチでは分巻界磁コイルが最強に励磁されているほかに電動機と並列に直巻界磁コイル SF_2 および抵抗 R_c が接続されており、全負荷でも電源に回生電流が流れないので制動巻卸の場合は SF_1 , SF_2 , SF_3 はすべて和働となり速度を落すことができる。

(2) 第2ノッチにては抵抗 R_c が除かれかつ直列抵抗 R_1 , R_2 , R_3 が順次短絡されるので速度は上昇し全負荷を規定速度の約1.8倍の速度で卸すことができる。この際回生電流が多いと種々不都合を来すので抵抗 R_3

を自動的に挿入して回生電流を全負荷電流の約50%に制限している。

(3) 第3ノッチ、第4ノッチは逐次分巻界磁コイルの直列抵抗を増加して速度を上昇させ、第3ノッチでは全負荷巻卸速度は約2.5倍になる。この速度は貨物の種類によつてはぜひ必要で、この速度が1.5倍程度のものでは石炭、穀物等の荷役において敗北を来すことになる。この揚貨機で、こうした速度を出しうるのは直巻界磁コイルを巧みに利用していることと、回生電流を制限する方法を講じているからである。

(4) 第4ノッチは速度も約3.3倍になり回生電流も多くなるので $1/2$ 負荷以上の場合には第3ノッチの速度に自動的に戻るようにしている。

ウ. 停 止

主幹制御器の把手を断の位置にもつていけば、抵抗 R_c が電機子回路に接続され電氣的に制動されると同時に電磁制動機も作動して電動機をただちに停止させる。

6. 安全装置

ア. 過負荷保護

電動機が過負荷しある時間継続すると過負荷継電器が作動して電動機をただちに停止させる。

イ. 低電圧保護

低電圧の際は低電圧継電器がただちに作動して電動機を停止させる。

ウ. 過速度保護

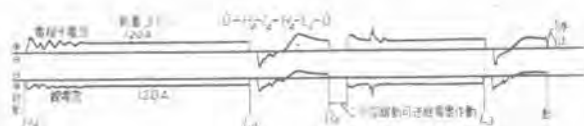
回生制動巻卸を行つている際には電源が切断されても、揚貨機電動機が発電機になつていたので各種電磁接触器ならびに電磁制動機は自己保持され、主幹制御器の把手を断の位置に戻さないかぎり電動機は停止しないので、万一過速することがあつてはならないので、電動機の端子電圧が規定値以上になれば過電圧継電器が作動して電動機は自動的にただちに停止するようにしている。なおア、イ、ウ、いずれの場合にても一旦自動的に停止した後は主幹制御器の把手をかならず断の位置に戻してからでないで電動機を再起動させることはできないようにしている。

エ. 急激操作に対する保護

主幹制御器の把手を急激に操作した場合には時隔継電器および電磁接触器の補助接点を利用し突入電流を防いでおり、さらにまた揚より卸、卸より揚に急激に把手をとつたときにショックを防ぎ円滑に運転できるように緩動可逆継電器を設けてあるので整流子面にてフラッシュオーバーするようなことは絶対になく、本機の大きな特長とするところである。8 図は3トン揚貨機を使用し3トン荷重で、主幹制御器把手を急激に「断→揚第4ノッチ→卸第4ノッチ→揚第4ノッチ→卸第3ノッチ→断」にとつた場合のオシログラムで線電流における突入電流の小さいことと緩動可逆継電器がよく働いていることがわかる。

1 表 遠隔制御型電動揚貨機製作経歴表

船主	建造 造船所	輸出国 内の別	船名	揚貨機		電動機		台数	備考
				荷重 (トン)	揚程 (m)	馬力 (HP)	回転数 (rpm/sec)		
デララマ社	西重長崎	輸出	ドニヤ	3	38	35	470	12	
"	"	"	アリシ	5	40	57	435	6	
デララマ社	西重長崎	輸出	ドニヤ	3	38	35	470	12	
"	"	"	ウロ	5	40	57	435	6	
デララマ社	西重長崎	輸出	ドニヤ	3	38	35	470	12	
"	"	"	ナ	5	40	57	435	6	
ルイ・ドレフ アス社	浦賀船渠	輸出	ヒリツブ号	5	30	40	375	14	ダブル ヘリカルギヤー
イーストエシア チツクコンパニー	中重神戸	輸出	パナマ号	3/1.5	30/60	25	450	8	} スーパーギヤー 2段切換
"	"	"	"	7/3.5	18/36	35	490	6	
日本郵船	西重長崎	5次船	平安丸	3	36	33	440	14	
"	"	"	"	5	40	57	420	4	
新日本汽船	西重長崎	5次船	富士春丸	3	36	33	440	14	
"	"	"	"	5	40	57	420	4	
東邦海運	西重長崎	5次船	東鳳丸	3	36	33	440	10	
"	"	"	"	5	40	57	420	4	
大同海運	西重長崎	6次船	高長丸	3	36	33	440	12	
"	"	"	"	5	40	57	420	6	
日本郵船	西重長崎	6次船	阿蘇丸	3	36	33	440	12	
"	"	"	"	5	40	57	420	6	
日本郵船	東重横浜	6次船	赤城丸	3	36	33	440	12	
"	"	"	"	5	40	57	420	6	
大同海運	東重横浜	6次船	高東丸	3	36	33	440	12	
"	"	"	"	5	40	57	420	6	
東邦海運	東重横浜	6次船	"	3	36	33	440	8	
"	"	"	"	5	40	57	420	4	
山下汽船	日立因島	6次船	山照丸	3	40	36	475	10	
"	"	"	"	5	40	57	420	4	
東京船舶	東重横浜	6,5次船	"	3	36	33	440	10	
"	"	"	"	5	40	57	420	4	
三菱海運	西重長崎	6,5次船	ころんびあ丸	3	36	33	440	12	
"	"	"	"	5	40	57	420	6	
大同海運	西重長崎	7次船	"	3	36	33	440	12	
"	"	"	"	5	40	57	420	6	
日本郵船	西重長崎	7次船	有馬丸	3	36	33	440	12	
"	"	"	"	5	40	57	420	6	
飯野海運	西重長崎	7次船	"	3	36	33	440	12	
"	"	"	"	5	40	57	420	6	
東邦海運	西重広島	7次船	"	3	36	33	440	10	
"	"	"	"	5	40	57	420	4	
日本郵船	東重横浜	7次船	"	3	36	33	440	12	
"	"	"	"	5	40	57	420	6	
大阪商船	中重神戸	7次船	"	3	40	36	475	10	
"	"	"	"	5	40	57	420	10	
大阪商船	中重神戸	7次船	"	3	40	36	475	10	
"	"	"	"	5	40	57	420	10	
三菱海運	中重神戸	7次船	"	3	40	36	475	14	
"	"	"	"	5	40	57	420	4	
飯野海運	日立因島	7次船	"	3	40	36	475	4	
"	"	"	"	5	40	57	420	14	



8 図 急激操作オシログラム

オ. 主幹制御器把手止め装置

不用意に主幹制御器把手が動かないように断の位置でピンを差込むようにしており、使用の際はこのピンを抜けば把手は左右に自由に動く。

カ 通風ロインターロックスイッチ

抵抗器を冷却するために扇車を設けてあるので、通風口が開いておらなければ揚貨機は運転できないようにインターロックスイッチを設けている。

7. 試 験

電動機自身については各規格により試験方法が定まっているが、電動揚貨機としていかなる試験を行えばよいかは定まった規格がどこにもない。これについては日本海事協会あたりで音頭をとって早急に決定すべき問題と考えている。当社では長年の経験により下記のような商用試験を各台ごとに、また4台に1台は特殊試験を行い、とくに要求があれば喧嘩巻試験をも工場で行っている。

商用試験としては

(1) 電動機のための試験

機械部分に取付ける前に電動機のみについて下記試験を行う。

a. 温度試験

適用規格により 30 分定格直流電動機としての試験を行う。

b. 特性試験

各電動機毎に全速、高速（直巻昇磁コイル一部短絡）の速度特性をとる。

c. 絶縁抵抗測定、耐圧試験

(2) 機械部分との組合せ試験

a. 摺合せ運転

荷重 1 トンから全荷重まで逐次負荷し合計 5 時間運転して歯車の摺合せ、継電器の調整その他各部の点検を行う。

b. 温度試験

摺合せ運転終了後下記要領により温度試験を行い各部の温度を測定する。

揚程 10 m で、3 トン揚貨機では、1 分に 1 回 1.5 トンの荷重を揚げ卸し 1 時間運転後引続き 1.5 分に 1 回 3 トン荷重を 2 時間揚げ卸し、5 トン揚貨機では 1 分に 1 回 2 トン荷重を揚げ卸し 1 時間運転後引続き 1.5 分に 1 回 5 トン荷重を 2 時間揚げ卸しする。

c. 特性試験

0.1, 0.5 トン、以下 0.5 トンおきに荷重を変化して

各ノッチの速度特性をとる。

d. 過負荷試験

3 トン揚貨機では 4 トン、5 トン揚貨機には 6.5 トンかけ数回揚げ卸して各部に異常がないかを調べる。

e. 絶縁抵抗測定、耐圧試験

温度試験後適用規格により絶縁抵抗測定後耐圧試験を行う。

f. 水防試験

各部に水圧 3 kg で注水し内部に水の浸入しないことをたしかめる。

以上は商用試験であるが、特殊試験としては

a. 温度試験

前記摺合せ運転終了後、揚程 10 m で 1.5 分に 1 回の割合にて全負荷をかけ各部の温度が一定となるまで揚げ卸しする。

b. 低速運転試験

揚程 10 m で 0.5 トンあるいは 1 トン荷重にて揚げ卸とも第 1 ノッチで 20 分間連続運転し抵抗器の温度を測定する。

c. 喧嘩巻試験

とくに要求のある場合には 2 台の揚貨機を使用し、3 トン、5 トン揚貨機とも荷重 1.5 トン、揚程 10 m で 1 分に 1 回の割合で一方より揚げ他方へ卸し各部の温度が一定となるまで試験する。

8. 製 作 経 歴

遠隔制御型電動揚貨機としてすでに昨年輸出船を初め、第 5 次第 6 次船用として 1 表の如く 262 台を納入しさらに第 7 次船以降の分として目下受注製作中のもの約 200 台ある。

9. む す び

電動揚貨機を製作するうえにおいて注意しなければならない点は、全然機械的ならびに電気的知識のない人が取扱うということで、そのためにはいわゆるフルグループにしておかなければならない。また保守手入等はもちろん船の技術者が行うとはいえ、荷役中に万一故障が起きたような場合には速かに故障箇所を発見し、容易に修理できることが第一条件である。このためにはもちろん絶対故障の起らない製品を作ることに努力しなければならないが、故障の起りやすい部品を沢山つけないということも必要条件である。いたずらに特性曲線にとらわれて複雑な回路を用いることは避けなければならない、いくら船足を早くしても万一揚貨機の故障で荷役日数が延びれば重大問題である。

当社の電動揚貨機の目標は構造をできるだけ簡単にし重量を軽減し、電気部品を一つでもへらして特性をどの点で折合せるかにある。この点船舶用品は陸上用品とは異つた苦心があるわけで、今後とも不断的努力をほらつて改善して行きたいと考えている。

風 冷 式 イ グ ナ イ ト ロ ン 整 流 器

今回新に試作した風冷式イグナイトロン整流器の試験研究が一応完了したため、ここに本器の構造と試験結果と、これに対する考察とを残留イオンおよび電弧降下波形を主体として実施し、放電現象に対して一説明を行ったものである。

加 藤 又 彦
鯨 岡 春 次
伊丹製作所

1. ま え が き

既納の水冷式イグナイトロン整流器の運転時の冷却水温度（入口）が 45°C にも達している。この実績は水冷式イグナイトロン整流器と同一構造のままで風冷式イグナイトロンの製作が可能であることを証明したものであつた。今般試作した風冷式イグナイトロンは、電鉄用ならびに特殊用として試験研究のために製作したもので、各タンクとも独立せしめた特殊な形態を呈している。

本文は3タンクの試作品を使用して 600V級、1,500V級の過負荷試験を実施した結果、および内部蒸気圧変化に関する概要を簡単に考察、記述した。

2. 本 体 関 係

風冷式水銀整流器の一般構造としては従来製作されている水冷式鉄製水銀整流器およびガラス製水銀整流器の両者の影響を受けたものが多い。風冷式水銀整流器を外観上より大別すれば陽極部をタンク（凝縮筒内）に収納した構造と陽極腕をタンク外に突出せしめた構造との2種類がある。風冷式イグナイトロンは前者の構造を採用したもので点弧子により毎サイクル点弧せしめる新点弧方式とカゴ型格子と特殊型バツフル構造ならびにタンク冷却面とが理論、研究、経済性の三面から考察して最良と思われる一種独特の形態を採用した。このイグナイトロンは三菱で製作したポンプ付イグナイトロン中最小内径のタンクである。しかしタンク外に冷却片および通風洞を設けたためタンク外周は若干太くなっているが風冷式となるため万やむを得ない実状である。

バツキン個所は陽極板—タンク間、陽極板—格子フランジ間、格子—陽極各フランジ間、その他点弧子口および補助板各フランジ間である。陰極部にバツキンがないことはイグナイトロンの特長であり一大利点である。ここに使用したゴムバツキンは特殊耐熱性のバツキンで 130°C の高温試験に十分堪えうることが実証されたも

ので信頼度の点では保証付である。このバツキンの温度は通風状況下にあるため通風冷却されて水冷式イグナイトロンのものよりは低温に保たれるが停電した場合に高温になるため上記のような基礎研究を事前に入念に実施した。

ア. 冷 却 装 置

イグナイトロン各タンクに一つずつ下記仕様の送風機をつけた。それがため風圧を均等化しかつ独立性を賦与することができた。

大 き……16インチ、3相、 220V 、50/60 \sim 、350W

回転数……1400/1700 rpm (50/60 \sim)

水柱圧……23/28 mm (50/60 \sim)

風 量……56/68 m^3 (50/60 \sim)

送風機とタンク陰極間の距離は陰極部温度が最低となるような間隔を実験的に決定した。その場合通路は一般に設けないことにした。

イ. 排 気 装 置

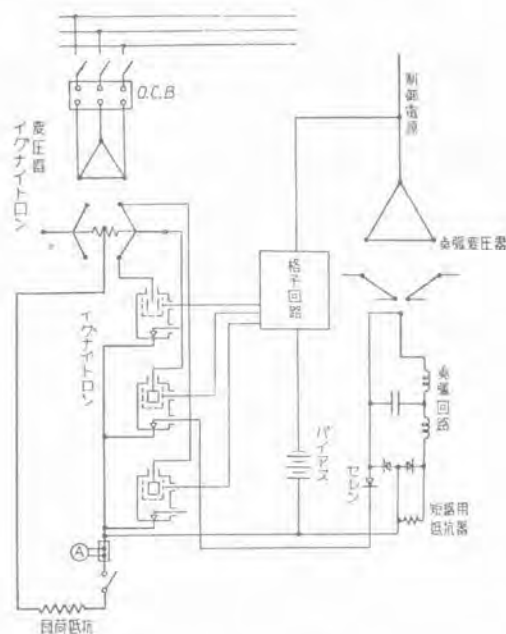
回転油ポンプ、水銀蒸気ポンプ、真空測定装置からなり、水冷式イグナイトロンの排気装置と同一であるが水銀蒸気ポンプの冷却方式のみが異なっている。これには2種類あつて風冷式再冷却付の自然循環水冷式のものと純風冷式のものとである。前者はその寿命および性能試験が完了している。後者の純風冷式水銀蒸気ポンプは性能試験が一応完了しさらに長期間の水銀量変化の問題その他細部の研究が着々と実施され近き将来完成品として出現する予定である。1図は試作した風冷式イグナイトロン整流器の外観写真である。

3. 試 験 装 置

本試験は2図に示す回路で実施した。供試変圧器は1,500V、2,000kW 重負荷公称定格の1次三角結線、2次二重星型結線で 600V タップを有するものである。試



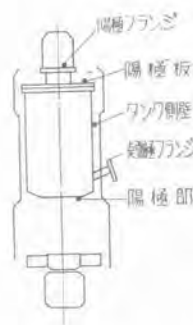
1 図 風冷式イグナイトロン整流器外観図



2 図

作した3本のイグナイトロン整流器を上記変圧器2次側星型結線の一方の3相に接続し他方の星型3相は開放状態にしてある。点弧回路は電鉄用の $L-C$ 共振回路を使用し6相中変圧器結線の開放状況にある3相は等価抵抗をもつて短絡した。負荷としては水抵抗器を使い負荷電流値の変化は浸漬鉄板の深さをかえることにより行つた。タンク各部の温度はあらかじめ調整補正した丸形温度計を3図に示すような位置に取付け、また出、入口風温度は寒暖計を取付けて測定した。

格子電流の変化状況、電弧降下の波形の負荷電流による変化をブラウン管と電磁オシログラフで測定しタンク各部の温度上昇等と相関連せしめ、イグナイトロンタンクの熱時常数、内部蒸気圧の変化を推定した。また風量を変化せしめて一定負荷に対する負荷時間耐量をも測定した。



3 図

4. 実験結果

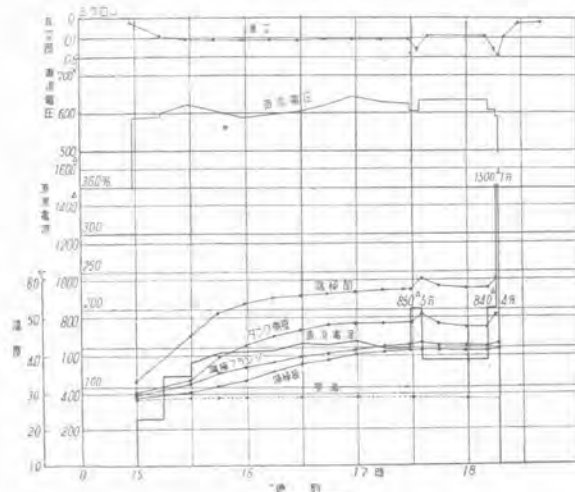
実負荷試験にさきだつて3タンク同時に化成を実施したが化成は800A電流値まで連続実施しその後は1,500Aの尖頭負荷を断続的に印加した。その際の真空低下度の最低を1ミクロンに限定した。

ア. 実負荷試験結果

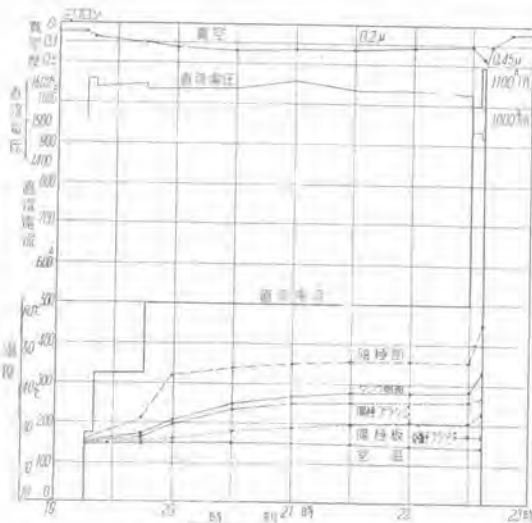
600V 級の負荷試験の結果は4図に示してあるように150% 負荷2時間負荷後引続き 200% (840A) 負荷5分間、さらに 550A、35 分間負荷し続いて 200% 負荷4分間後、1,500A (360%) 1分間負荷して異常なきことを確認している。これを6タンクの場合に換算すれば500kW、600V 重負荷公称定格の実負荷試験に相当している。

1,500V 級の負荷試験の結果は5図に示してあるように500A (150%) 負荷2時間45分負荷しその後1,000A (300%) 5分間負荷しさらに1,100A (330%) 1分間負荷している。これにより6タンク使用すれば1,000 kW 1,500V 重負荷公称定格に使用することが確認された。

以上の2試験とも過負荷試験時に真空度は0.5ミクロンより低下していない。陰極板の温度上昇は600V 級過



4 図 風冷式イグナイトロン
600 V 500 kW 等価負荷試験
(3タンク 600V 250kW)



5 図 風冷式イグナイトロン 1,500 V 1,000 kW
等価負荷試験 (3 タンク 1,500 V 500 kW)

負荷 840A, 5 分間後 32° 上昇となっており, 陽極板および放熱器フランジ等の温度上昇は 20° 以下である。(室温 28°C)

過負荷時の温度上昇中最高の上昇率を示した個所は陰極部であり, タンク側面より若干高い。陽極電流の不均衡はほとんど存在しない状況であった。

1,500V 級の試験には変圧器のタップと受電電圧の関係で 1,600V 程度で負荷試験を実施することになった。さらに直流避雷器の統流遮断試験の電源として本器を使用した。そのときの直流電圧は 2,010V, 負荷電流は 500A, 室温 28°C であった。この試験によりこの風冷式イグナイトロンは 2,000V 1,000kW 連続負荷耐量を有することが確認されるにいたった。以上は送風機容量一定の場合であるが送風機容量を変化させて 1,500V 級の負荷限度試験を一部実施し、一応の負荷限度域を確認し得た。そのときの負荷制限条件は逆弧であり, タンク壁温度と一定関係にあることが判明した。これは内部蒸気圧上昇による陽極-陰極間の短絡発生と思考される。

1. 電弧降下の測定

電弧降下の測定法には各種あるが今回は電磁オシログラフ法を使用してアメリカの標準規程に指示された方法に準拠して実施した。測定条件は下記のとおりである。

(1) タンク内部状況が一定となるまで通電すること。測定に当つては一定負荷電流を 30 分間通電した。この 30 分間という時間はつぎに記載する実験結果から確認した数値である。しかし軽負荷のときは 30 分以内でもよい。

(2) 同一相の陽極電流と電弧降下とを 2 タンクずつ同時に測定し、陰極電流、直流電圧も同時に測定し電弧降下の平均値をもつてそのときの陰極電流の電弧降下とする。冷却条件もちろん測定する。

(3) 陽極電流波形の脈動は平均値の $\pm 5\%$ 以下であること。

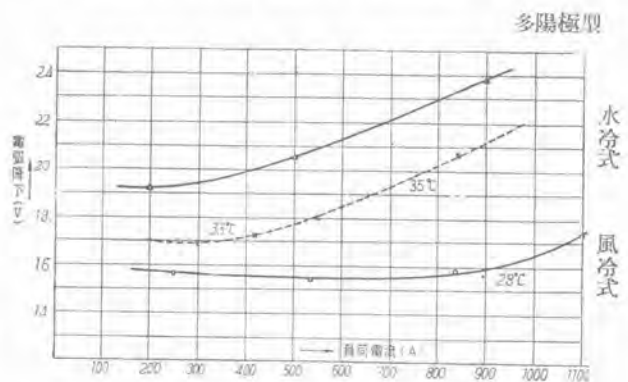
(4) 重畳角は 30° 以下であること。

以上の条件によつて電弧降下を測定し、負荷電流値と電弧降下値との関係を冷却条件一定のもとに記入したものが 6 図である。比較参考のために多陽極型および水冷式イグナイトロンの同一定格容量の電弧降下を記入してある。

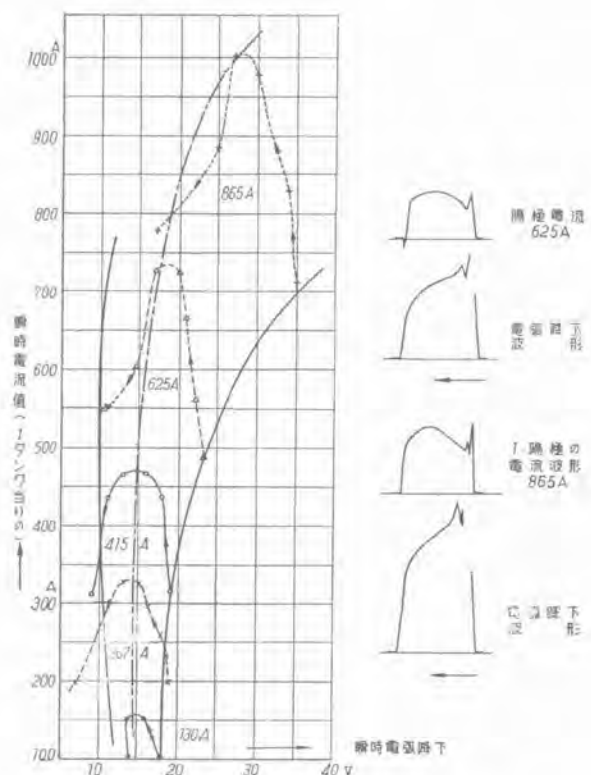
また電弧降下と陽極電流の両者の瞬時値の関係を示したものが 7 図であり、これにより内部蒸気変化と負荷電流値の関係ならびに 3 相運転時の陽極電流波形と電弧降下波形の特異性を知ることができる。

ウ. 遮断試験

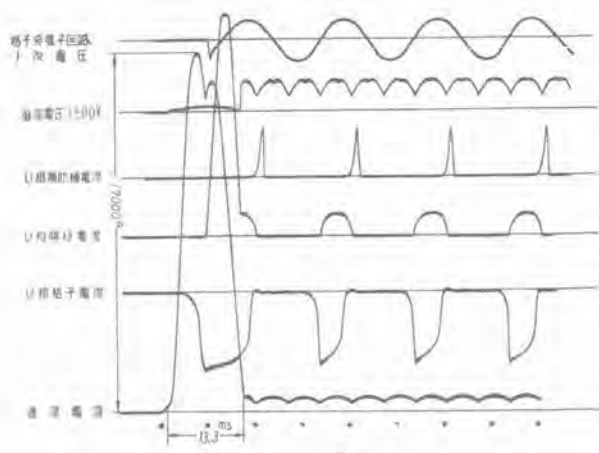
3 相による遮断試験は 3 相運転を実施したときに有意義となる。短絡波形は 8 図に示すように 6 相とはチョット趣を異にしている。設計としては内部蒸気圧の関係で



6 図 電弧降下-負荷電流曲線



7 図 電弧降下-陽極電流瞬時値関係曲線



8 図 短絡電流遮断試験 (1,500V 0.025 Ω 挿入)
室温 30°C

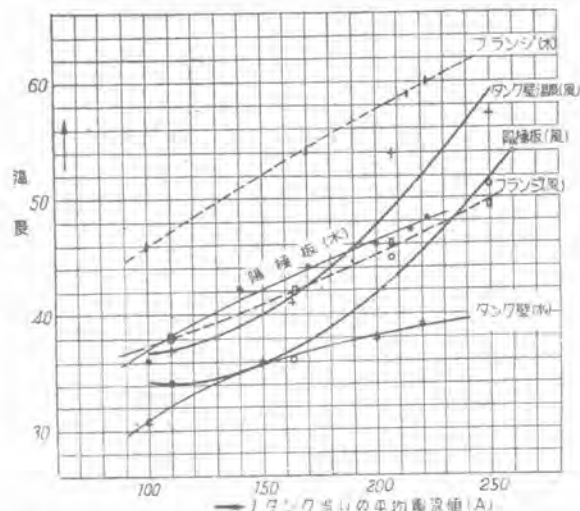
遮断性能と過負荷耐量の両者が満足せしめうるように格子に遮断特性を賦与しさらに点弧子回路を短絡と同時に開放する方式を採用している。風冷式の場合の遮断特性は水冷式のイグナイトロンとあまり異なる处はないがただ内部蒸気圧の急変に対して冷媒の熱吸収作用が緩慢であるためタンク内部蒸気圧制御が遅延して通弧する可能性がないでもない。そのため格子には遮断特性を賦与することが必要である。

エ. 温度上昇

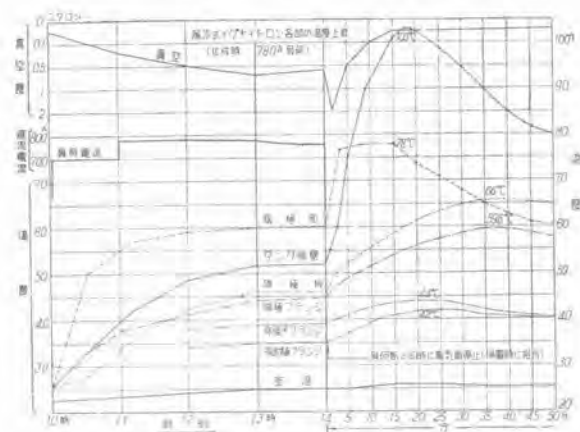
冷却面の温度は送風機の風量、風圧、送風機とタンク陰極との距離、タンク外形等の外的制限条件を受けてかなりの差異を生ずる。温度上昇許容限度は逆弧発生温度により制限されるが他方パッキンの劣化度により左右される。水冷式イグナイトロンでは陽極フランジ下部のパッキンが最高温度に達し、パッキン材料許容点を越えんとする状況にあつたが風冷式の場合は通風作用があるため冷却作用があり、水冷式のものより著しく低い。

600V 級のテストでは 150% 負荷 2 時間後で陽極フランジパッキンは 45°C である、室温が 28°C なるため 17°C 温度上昇であり室温を 35°C と仮定しても 52°C に達し水冷式イグナイトロンのものよりむしろ低い、これは強制通風のためである。温度上昇中水冷式イグナイトロンと比較して差の著しい点は陰極の温度である。9 図は水冷式イグナイトロンと比較した各部温度電流曲線の一例である。

運転中急に停電したような場合送風機の停止によりタンク各部の温度がいかほどまで上昇するかを示したものが 10 図である。これは 780A の負荷を急遮断して自然冷却の状態にまかしたときのものでタンク側壁は 20 分後最高値に達し 103°C になり、陰極部は 10 分間後に 78°C に達している。この際問題となるのは陰極水銀の蒸発逸散である。それを確認するため点弧回路を時々作動させて点弧子の点弧状況を検査した。50 分間にわたって点弧状態は何等異常なく水銀蒸発による水銀面低下は予想より少ないことを確認した。



9 図 水冷式イグナイトロンと風冷式イグナイトロンの比較 室温 30°C に換算した値

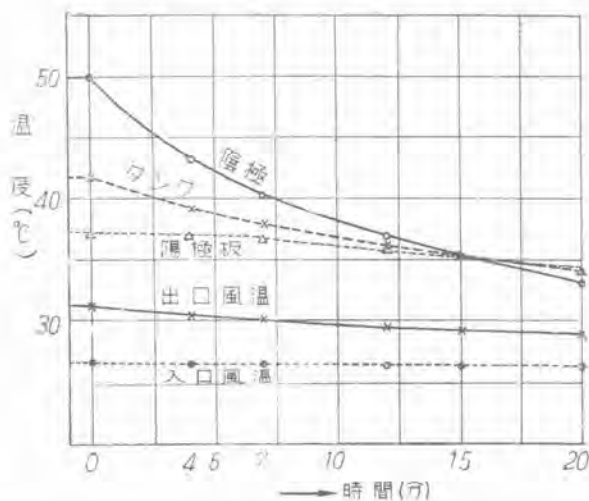


10 図 風冷式イグナイトロン各部の温度上昇
(化成時 780 A 負荷)

またイグナイトロンを休止するにあつて負荷遮断後何分間送風機を運転すればよいかを知るために負荷遮断後送風機を運転したままで各部の温度低下状況を測定した、それをまとめたものが 11 図である。この図よりして 15 分間送風機を運転し続ければ各部の主要個所は同一温度になることが確認された。10 図と 11 図とを合せ考察すれば 20 分間送風機を運転すればよいという結論になる。

オ. 格子残留イオンの測定

内部蒸気圧はタンクに通電開始後何分すれば大休一定値に達するかの問題はなお検討の余地があるが今回は格子イオン電流の消長により判別することにした。すなわち陽極電流消滅後格子に残留イオンが吸収される。その消イオン時間、すなわち陽極電流消滅時から残留イオン消滅までの期間が一定となる時間を測定し、一定値に達したときには内部蒸気圧が一定となつたとみなしたものである。格子イオン電流の消長が一定となる時間は 12 図に示すように 600V, 500kW イグナイトロンにおいて 1/2 定格電流では 5 分以内、100% 定格電流では 15



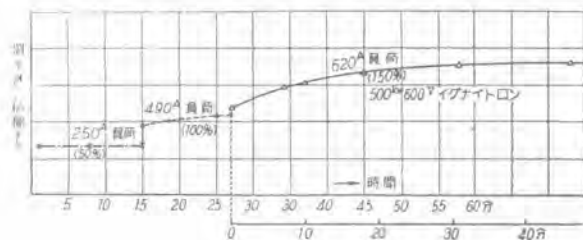
11 図

分間、150% 負荷では 30 分間を要した。この時間はタンク壁の温度上昇が一定値に達するまでの時間であることは 13 図の温度—格子消イオン時間の曲線から明らかである。

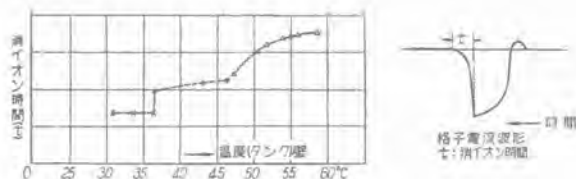
また送風機の容量を変えて 1,500V 級 500A 負荷時の残留イオン量の時間的变化を示したものが 14 図である。小型送風機にした場合（陰極—送風機間距離を大型送風機のとくと同一にした）は残留イオン量が時間経過とともに直線的に増加し 30 分間後逆弧するにいたっている。一方大型送風機を使用したときは 1 時間半経過するもまだ定常値に達せず、また逆弧も発生していない。よって格子残留イオン量から見た逆弧限界域の一端を確認することができた。

5. 考 察

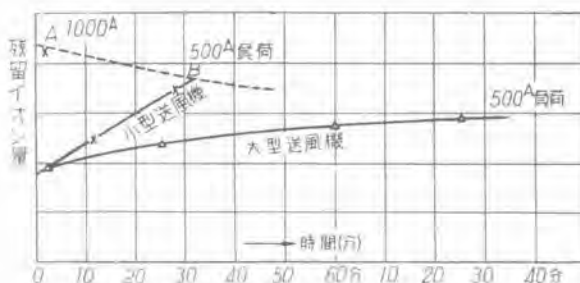
風冷式ガラス整流器の冷却に関してはガラス壁から熱の発散が行われることはもちろん放電電弧からの熱輻射により相当量の熱量が放散されるが鉄製整流器ではこうした熱輻射が期待できない。鉄製水銀整流器タンク内に発生した熱損失の放散にはタンク壁と冷却空気との間の中間気層の熱伝導に関係されることが大きい。またタンク壁温度は水銀の凝縮、したがってその内部蒸気圧、ひいては運転信頼度に至大の影響を有するため内部構造と関連して一定限度以上にタンク壁を高温にすることはでき得ない。この点から考察すれば陽極腕をタンク（水銀蒸気凝縮筒）外に突出した構造は優秀なことになるが形



12 図



13 図



14 図

AB 線は逆弧発生限界域

状が複雑化するとともに腕からの輻射熱による室温の上昇、冷寒時の起動に予備加熱が必要である点等、かなり問題がある。これに対して陽極腕をタンク内に挿入した構造では理論的にいつてタンク壁の限界温度が低いことになるがイグナイトロン方式であること、電弧降下が低いこと、内部消イオン面の強化、また 1 タンク当りの電流値に対する冷却面の増大、空気速度の向上等により放電の安全性を補償することができる。構造的見地からすれば簡単であり内部点検が任意にできうるからこの構造の優位性は相当高く評価される。

イグナイトロンの冷却に関しては各タンク毎に送風機を 1 個ずつ取付けた方式と一群のタンクに共通の送風機を 1 台取付けた方式との比較検討が必要である。この問題は冷却効果に関係する風圧、風量の平衡と運転信頼度に帰着せしめることができるがいかなる要素を重要視するかにより左右されることになる。各タンクに送風機をとりつけた方式は数が多いだけに点検箇所は増すが 5 タンク運転の便法があり、かつ風圧、風量の平衡が容易である点は本方式が優れている。イグナイトロンの運転信頼度すなわち利用率を主眼として比較した場合は 1 タンク—1 送風機方式がたしかに有利である。

イグナイトロンの冷却は実用的に見れば送風機の不用のものが理想である。こうした整流器は高温にて使用可能ということになるが 12, 13, 14 図および 7 図からわかるように高温になればなる程電弧降下は低く過負荷耐量の点で有利な条件となるが内部水銀蒸気圧の増加に伴い残留イオンが増加し、ついには陽極—陰極間の短絡すなわち逆弧の発生となり、容量はその温度で制限を受けることとなる。風冷式イグナイトロンは水冷式に比してタンク壁温度がかなり高いため内部水銀蒸気圧は高いとみるべきである。したがって残留イオンも多い。たとえ内部の消イオン面を強化して残留イオンの吸収策を樹立しても水銀蒸気圧の増大とともにイオンの拡散は遅くな

り、回路結線方式、直流電圧、負荷電流、回路リアクタンス、位相制御率により制限されることになる。よつて風冷式整流器は形状寸法と冷却条件よりして一定の容量限度が存在し、大容量のものとするにはタンク数を増すのが賢明である。

風冷式イグナイトロンの容量制限条件の二、三のものに関して記述すればつぎのとおりである。

平均電流は一般に整流器の電流容量を表わすのに使用されているが電流尖頭値や実効値のように整流器の物理現象とか物理的制限への一定関係を示したものでなくただ負荷電流と単一な関係にあるに過ぎない。

(1) 尖頭電流値

尖頭電流値はタンク内の損失に関連し整流器の容量を制限する一つの要素であり、通電終期の水銀蒸気密度、残留イオン量は尖頭電流値の函数である。したがつて逆弧の発生は尖頭電流値に関係することが多い。各部の温度上昇は尖頭電流値よりもむしろ電流実効値に関係するとみなす方が至当である。それは温度上昇が確認し得ないで逆弧の発生がしばしば経験されることがあるからである。

(2) 飛躍逆電圧と終期転流率 (Final Commutation Rate)

残留イオン量は負荷電流値の大小、ことに通電終末期の電流の変化率に影響される。陽極電流の消滅時の電流変化率が終期転流率と呼ばれ整流器責務の一要素と考えられる。飛躍逆電圧は残留イオン量と直流電圧と位相制御の度合により陽極-陰極間の短絡発生の誘因となるためこれまた制限条件の一要素である。飛躍逆電圧と終期転流率との関係を数式的に取扱えば下記のとおりである

$$\text{飛躍逆電圧: } e_r = E_o \cdot \frac{2\pi}{P} \sin(u + \alpha) \quad \dots\dots(1)$$

$$\begin{aligned} \text{終期転流率} &= \frac{di}{dt} = \left[\frac{\omega}{\sqrt{2}} \cdot \frac{P}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{P} \right] \cdot \\ &\quad \frac{E}{X} \cdot \frac{e_r}{E_o} = \sqrt{2} \cdot P \cdot f \cdot \sin \frac{\pi}{P} \cdot \\ &\quad \frac{E}{X} \cdot \frac{e_r}{E_o} \quad \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

$$\text{平均直流電圧} = E_o = \frac{\sqrt{2} E}{P} \cdot \sin \frac{\pi}{P} \quad \dots\dots\dots(3)$$

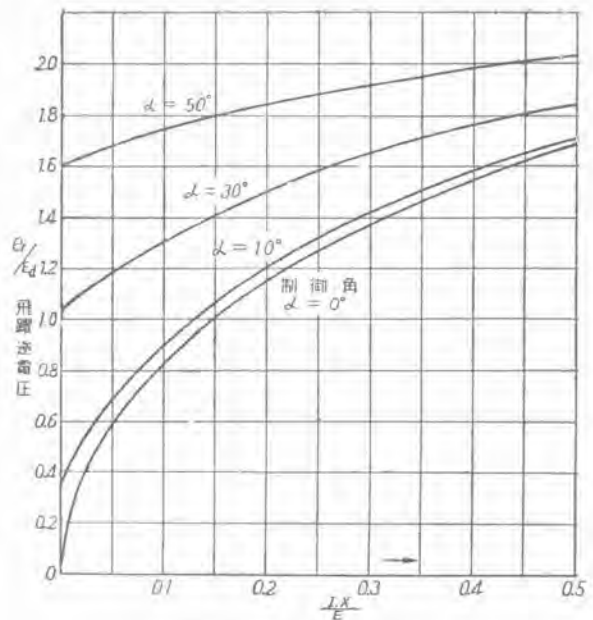
$$\text{逆電圧最高値} = e_m = k \cdot \frac{\pi}{P \sin \frac{\pi}{P}} \cdot E_o \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\begin{cases} P=3 \text{ なるとき } k=\sqrt{3} \\ P=2, 4, 6, 12 \text{ のとき } k=2 \end{cases}$$

$$\text{順電圧尖頭値} = e_f = \frac{2\pi}{P} \cdot E_o \sin \alpha \quad \dots\dots\dots(5)$$

上式中

- P : 相数, u : 重畳角; α : 位相制御角,
- E : 変圧器 2 次相電圧実効値
- X : 1 相の転流リアクタンス
- $\omega = 2\pi f$, f : 交流電源周波数



15 図 飛躍逆電圧曲線

(1) 式の関係は 3 相および二重星形結線方式について計算したものが 15 図である。

(4) 式は逆電圧の最高値を示すもので残留イオンの多寡如何によつては短絡を発生せしめる条件となる、(5) 式は位相制御時の通弧発生の制限条件であり残留イオン量、点弧位相と密接な関係にある。

以上の諸要素と逆弧とはたしかにある種の関連性をもっていることは実験的に示されるが、これらの諸要素中何をもつとも重要視すべきかという点で研究問題となりうる。風冷式イグナイトロンでは冷却の問題すなわち残留イオン量からして飛躍逆電圧、終期転流率を一考する必要がある。

風冷式イグナイトロンの電弧降下は水冷式整流器に比較して一般に低く曲線の上昇傾度が小さいことは内部水銀蒸気圧が高いことに帰着するが安定性の見地から論じると風冷式の方が不安定ということになる。それは尖頭負荷電流による損失の吸収度が低く残留イオンの増大による短絡が予想されるからである。しかし具体的負荷条件を勘案しないかぎり良否を決定することはできないし、4 図の実験結果からみて過負荷耐量が水冷式に劣るとはいえない。瞬時電弧降下は瞬時電流値の函数であることが従来の整流器で認められている。風冷式イグナイトロンの電流-電弧降下波形を各瞬時値について検討すると通電終期になるほど電弧降下は低下している。しかも負荷電流値が大となるほどその傾向が大きい。この点は内部構造と、最適運転時の内部蒸気温度とイグナイトロン点弧方式との関連性を示したものであるといえる。換言すれば熱吸収率の時間的变化を表わしたものであるといえることができる。

6. む す び

以上は今回試作した風冷式イグナイトロン3タンクの負荷試験と内部残留イオン、電弧降下の測定結果を記述したものである。これにより風冷式イグナイトロンの性格、性能の概要を把握することができると思う。なお研究、改良、解析すべき事項は多々あるが上記の試験結果を総括すればつぎのとおりである。

ア 今回の風冷式イグナイトロンはその構造に特長があり、陽極部をタンク内に内蔵した特有のイグナイトロン構造である。二重星形結線方式の一方の3相を使用し、3タンクで1,500V、1,000kW；600V 500kW それに重負荷公称定格に相当する負荷試験を完了することができた。これにより6タンクが一組となつての装置で3タンク故障した場合でもなおかつ $1/2 \times$ (定格負荷) $\times 150\%$ 、2時間； $1/2$ (定格負荷) $\times 300\%$ 、1分間の負荷耐量を有することが実証された。3タンクによる等価試験法は6タンクの場合に比べて陽極電流尖頭値が大きく、なり整流器責務からみれば苛酷である。

イ 整流器タンク各部の温度上昇は陰極部が最高であるがパッキンの寿命には関係がない。陽極部フランジは水冷式イグナイトロンのものよりむしろ低い状況である。これがパッキンの寿命は停電時の最高到達温度上昇に堪えるようにすればよく、10図の試験によりパッキンの安全性が高いことが立証された。また休止するにあたり負荷遮断後15分間送風機を運転すれば各部の温度は一樣になる。

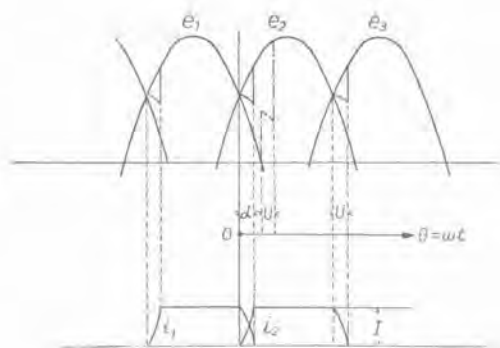
ウ、冷却条件は室温 32°C の場合にもなおかつ上記と同一の負荷耐量を有することを公開試験により実証した。送風機の容量を軽減して1,500V 負荷試験を実施し冷却条件と負荷耐量の限界域を知ることができた。

エ、電弧降下は他種の整流器に比べて一般に低く、電流—電弧降下曲線の上昇傾度は小さく、電弧降下波形の陽極電流に対する関係は通電時間の経過とともに電弧降下瞬時値は低下する特長がある。室温 28°C で800A 負荷時の電弧降下は15.5V である。それ以上の負荷電流になるとわずかながら増大する。

オ、遮断特性は風冷式イグナイトロンの場合でもなんらかわることがなく、17,000A を13.3ms であざやかに遮断している。

当社の風冷式イグナイトロンはその形状構造において特長があり水冷式の外観に似ている。これは当社技術陣のタンク内放電現象に対する理論的仮定と基礎研究の結果が正しかつたことを如実に立証したものであり、同慶至極である。今回の新製品が動機となつて理論ならびに実用的の新分野が展開せられんことを切望する次第である。

このイグナイトロンの試作研究にあたりご協力、ご鞭撻を賜つた関係各位に謝辞に際し厚く御礼申上げる次第である。



16 図

§ 計算式

16図において相差 $\frac{2\pi}{P}$ を有する電圧 e_1, e_2 の交点に相当する時刻を原点にとれば e_1, e_2 は次式で示される。

$$e_1 = \sqrt{2} E \cos\left(\theta + \frac{\pi}{P}\right) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$e_2 = \sqrt{2} E \cos\left(\theta - \frac{\pi}{P}\right) \quad \dots\dots\dots (7)$$

直流平均電圧 E_0 は

$$\begin{aligned} E_0 &= \frac{P}{2\pi} \int_0^{2\pi/P} \sqrt{2} E \cos\left(\theta - \frac{\pi}{P}\right) d\theta \\ &= \sqrt{2} \frac{E}{P} \sin \frac{\pi}{P} \quad \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{逆電圧} = e_2 - e_1 &= \sqrt{2} E \left\{ \cos\left(\theta + \frac{\pi}{P}\right) - \cos\left(\theta - \frac{\pi}{P}\right) \right\} \\ &= 2\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{P} \sin \theta \end{aligned}$$

上式に(8)を代入すれば

$$= 2 \times \frac{\pi}{P} \cdot E_0 \sin \theta$$

飛躍逆電圧 e_r は $\theta = (\alpha + u)$ の時の逆電圧なるゆゑ

$$e_r = 2 \frac{\pi}{P} E_0 \sin(\alpha + u) \quad \dots\dots\dots (9)$$

かくて(1)式を得た。

変圧器の2次側が二重星型結線の場合は次式が成立する

$$e_1 - X \frac{di_1}{dt} + X \frac{di_2}{dt} - e_2 = 0 \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$i_1 + i_2 = I \quad \dots\dots\dots (11)$$

X : 変圧器リアクタンス I : 直流電流 i_1, i_2 各陽極電流 リアクタンス降下 e_c を考えると、

(6)(7)式より

$$\frac{1}{2}(e_2 - e_1) = e_c = \sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{P} \sin \theta$$

$$\text{また } e_c = -X \frac{di_1}{dt}$$

$$e_c = -X \frac{di_2}{dt}$$

上式を代入して方程式をとけば

$$i_1 = I - \frac{\sqrt{2} \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{P}}{X} (1 - \cos \theta) \quad \dots (12)$$

$$i_2 = \frac{\sqrt{2} \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{P}}{X} (1 - \cos \theta) \quad \dots (13)$$

$\theta = \omega t$ であり、終期転流率は $\omega t = (\alpha + u)$ の角度であるゆえ次式をうる。

$$\begin{aligned} \frac{di_1}{dt} &= \omega \frac{\sqrt{2} \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{P}}{X} \sin \omega t \\ &= \frac{\sqrt{2} \cdot \omega \cdot E}{X} \sin \frac{\pi}{P} \sin(u + \alpha) \quad \dots (14) \end{aligned}$$

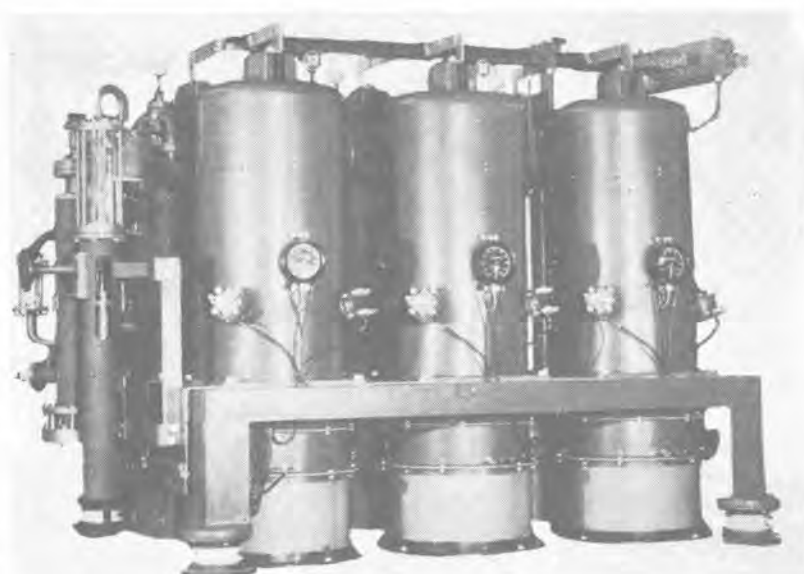
(14)式に(9)式を代入して

$$\begin{aligned} \text{終期転流率} \left(\frac{di_1}{dt} \right) &= \left[\frac{\omega}{\sqrt{2}} \cdot \frac{P}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{P} \right] \\ &\quad \frac{E}{X} \cdot \frac{e_r}{E_o} \end{aligned}$$

参考文献

- (1) 電鉄用鉄製イグナイトロン整流器……加藤
三菱電機 23 卷, 第7号 (12月)
- (2) 水銀整流器講習録 昭和 18 年 電気協会関東支部
- (3) "A 40)-Ampere Sealed Ignitron" H. C. Steiner
A. I. E. E. Vol. 65. 1946. Oct. p. 680
- (4) "Non linear commutating reactors for rectifier"
A. Shmidt. A. I. E. E. Trans. 1946. p. 654
- (5) "Pumpenclose Kleinessemstromrichter" F. Geyer
E. U. M. 1941 s. 117~112.
- (6) "Analysis of Rectifier Circuits" E. F. Christensen
A. I. E. E. Trans, Vol. 63. 1944 p. 1048
- (7) "Operation of Rectifiers under Unbalanced Condition" E. F. Christensen, M. M. Morack.
G. E. Review. Oct. 1944 p. 32.

近畿日本鉄道上市変電所納入 風冷式イグナイトロン整流器



1,500kW 1,500V 重負荷公称定格 6 タンク

(試験の結果 2,000kW 1,500V 重負荷公称定格であることが確認されました)

芦津発電所の遠方制御自動装置

旧日本発送電（現中国電力）芦津発電所は昭和11年に当社が納入した一人制御発電所であるが、昭和25年末下流約3kmの大呂発電所を親発電所とする遠方監視制御発電所とすると共に、水車発電機の制御装置もこれに適するように改造した。発電所内部は極力自動化して発電所自体に自主性を与え、大呂発電所において制御監視するものは電力回路および水路の運営上ぜひとも必要なものととどめて、極力遠方監視制御装置の簡易化を計った。遠方監視・制御装置には整流式を、また遠方計測装置には電流平衡式を用い必要な連絡線は12本である。送電線は親発電所を経由しているから、電力的計測は大呂発電所受電端で行うこととした。発電所の自動制御としては電子管式自動揃速同期装置を用いたこと、振動型自動電圧調整器を無人発電所に対しても実用できるように改良し、かつ力率限定式自動電圧調整方式を採用したことなどが主な特長である。

神戸製作所 尾 畑 喜 行

1. 発電所の概要

芦津発電所は千代川水原北股川最上流の発電所で、下流には大呂（2,870kW, 230.4m, 1.67m³/s）、大内（1,450kW, 50m, 3.9m³/s）の二発電所がある。中国山脈の分水嶺に近く日本海側に位し、人跡稀な山中で付近には民家もなく耕地にも恵まれない僻地であり、ことに冬期は晴天の日が少く加うるに積雪によつて外部との交通連絡は杜絶する状態にある。旧日本発送電中国支店においては発電所勤務員および家族の方々の生活のうえに深く思をいたされる一方、この発電所が割合小容量である関係上これを無人化して人件費の節約運営の合理化を計られることになり、終戦後いち早く遠方制御化を計画されたものである。

主要発電設備は水車発電機1台で

発電機 3,300kVA, 11.5kV, 80% PF, 60~,
450rpm, 横軸, 直結励磁機, 40kW, 125V

水 車 4,000HP, 187.7m, 1.67m³/s, 450rpm,
ベルトシ型

圧油ポンプ 15HP, 主軸駆動式1台(常用)
15HP, 電動駆動式1台(予備)

调速機 ホイト型, 調帯駆動式

入口弁 スルース型, 油圧式

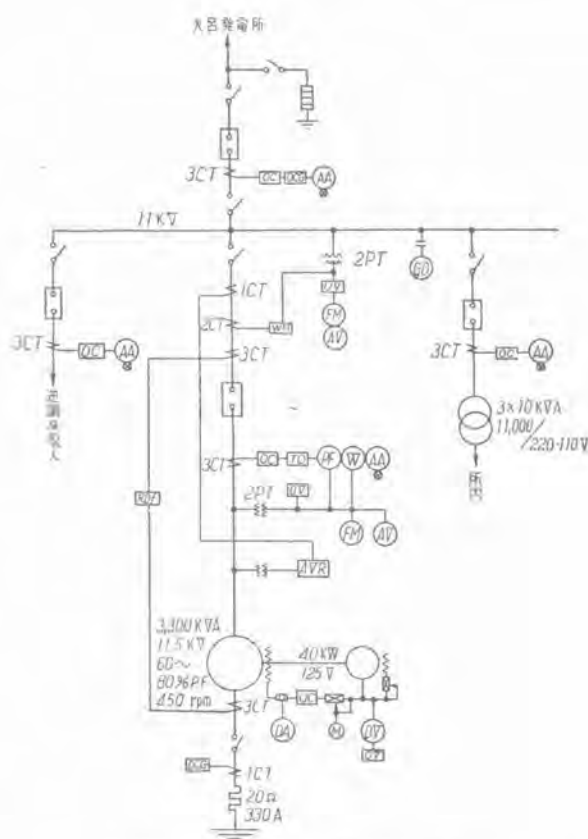
三菱重工業（現中日本重工）製

である。

高圧回路は1図のとおり発電機は直接11kV送電線に接続せられ下流の大呂発電所母線に連絡されている。

芦津発電所の放水はただちに逆調整池に入り大呂発電所に取水されている。なお逆調整池においては灌漑用水

供給用の門扉があり季節的に放流量を調節する必要があるから、門扉開度の制御、門扉開度および逆調整池水位の測定が遠方監視制御装置の一環として含まれている。



1 図 芦津発電所単線結線 (改造前)

2. 遠方監視制御方式および連絡線

遠方監視制御方式を連絡線の数から一般的に従来の方式を分類すると、選択式と直接式の2種になる。前者は2本あるいは4本の線をもつて多種多様の制御・監視を行うもので、連絡線数は少なくて済むが両端設備が複雑高価になり、かつ多数の制御監視を同時に行うことのできない欠点を有する。直接式は必要な連絡線をことごとく設けるもので、制御監視用の両端設備はきわめて簡単となり、かつ同時制御監視も可能であるが、連絡線が高価になる欠点を有する。したがって方式の決定には制御所被制御所間の距離、制御、監視の内容を検討してもつとも経済的で必要性を満しうる方式を採用することが望ましい。

整流式は選択式と直接式の中間の連絡線を用いる方法で、制御電源に交流を用い金属整流器の補助により1本の連絡線を2種の目的に用いるものである。必要な連絡線数 N は制御・監視の総数を M とすると、

$$N = M/2 + 1 \quad (M = \text{偶数})$$

$$\text{または } N = (M+1)/2 + 1 \quad (M = \text{奇数})$$

となり、両端設備も簡単で、かつ同時制御・監視を行うこともできる。すなわち連絡線数・両端設備とも前二者の中間に位するものである。

芦津発電所に対しても各種方式を検討した結果、制・被制御所間は3 km 弱で割合近いから連絡線を若干多くしても建設費には大して影響しないこと、選択式は両端の設備が割高になること、発電所内部の自動化によつて制御監視の項目を減少しうることなどを勘案して整流式を採用願った。(ただし遠方計測装置には後述のとおり直流電流平衡式を採用したため整流式にはしなかつた。)

連絡線は旧日本発送電にて設置されたもので、中国支店岡山支社電力課の資料によれば、

総互長 2,449m, 丸型, 油紙絶縁鉛被ケーブル
 芯線 1.0 mm 14本, 導体被鉛間絶縁厚さ 0.95 mm
 芯線相互間絶縁体厚さ 1.1 mm, 重量 740kg/km
 被鉛厚さ 1.3 mm, ケーブル外径 13 mm
 導体抵抗 55.6—57.0Ω 於 24°C, 試験電圧 1,500V
 絶縁抵抗 95—100MΩ (1,000V メガー)

であつて、芯線 14 本の使用内訳は監視制御用 7 本、計測用 5 本、電話用 2 本である。連絡線の使用状態は2図をご参照されたい。

3. 遠方監視制御の概要

芦津発電所は遠方監視制御を建前とするが、場合によつてはもちろん所内において一人制御を行うこともできる。このため制御盤には所内一遠方制御切換閉閉器が設

けてあり、これによつて制御の切換ができる。

ア. 遠方制御できるもの

1. 送電線用遮断器 (52 A)
2. 取入口および逆調整池用饋電線遮断器 (52 B)
3. 水車発電機の起動および停止 (4 Z)
4. 負荷調整 (910 RZ, 910 LZ)
5. 逆調整池放水門の開閉 (GO, GC)

イ. 遠方監視できるもの

1. 送電線用遮断器 (52 A)
2. 取入口および逆調整池用饋電線用遮断器 (52 B)
3. 発電機用遮断器 (52)
4. 重故障 (12, 87, 63b)
5. 故障停止 (86)

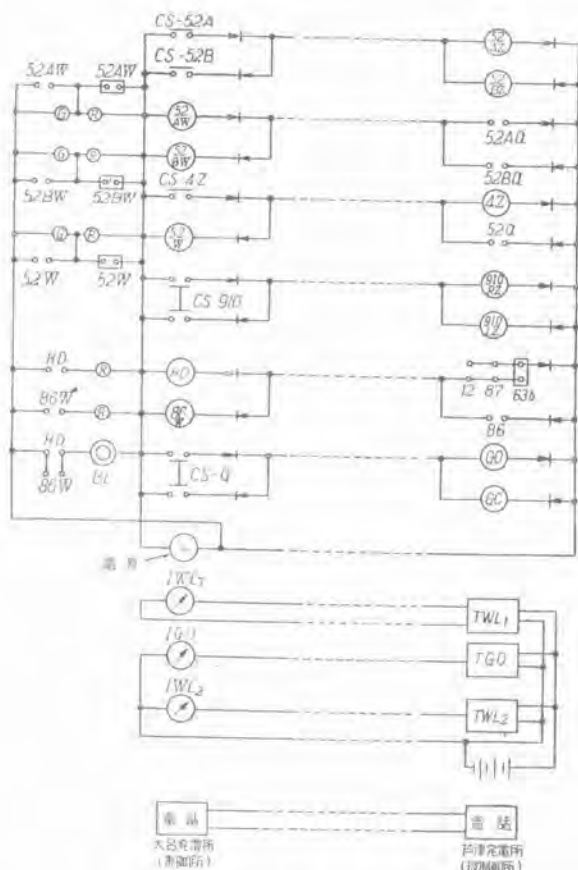
ウ. 遠方計測できるもの

1. 水槽水位 (サージタンク水位)
2. 逆調整池水位
3. 逆調整池放水門扉開度

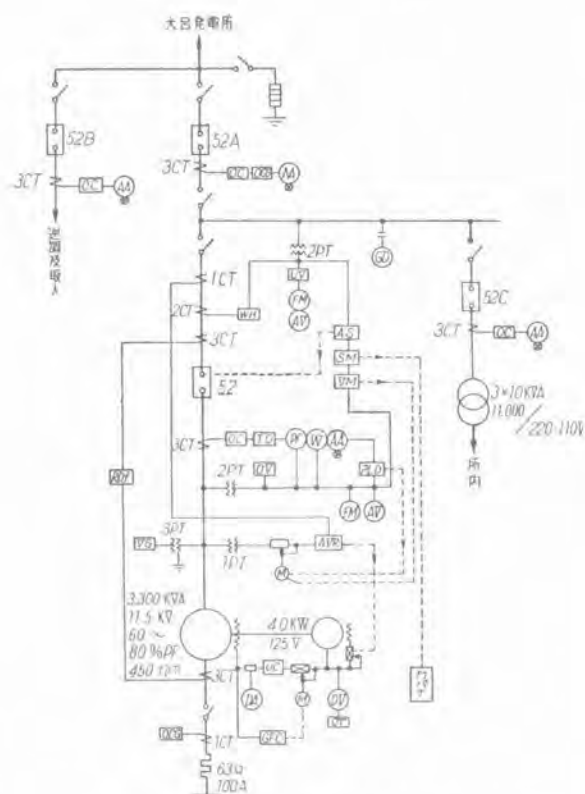
で、2図および3図をご参照されたい。

また芦津発電所の電力的監視は送電線が親発電所を経由するから、大呂発電所変電側で電圧、電流、電力、力率を測定することとした。

遠方制御による起動・停止操作と発電所内部の自動制御の状態は、



2 図 芦津発電所遠方制御監視計測回路



3 図 芦津発電所単線結線図 (改造後)

芦津発電所遠方制御監視方式略符号一覧表

52AZ	遮断器 52A の制御継電器 (芦)
CS-52A	同上用制御開閉器 (大)
52-BZ	遮断器 52B の制御継電器 (芦)
CS-52BZ	同上用制御開閉器 (大)
52Aa	52A の a 接点 (芦)
52Ba	52B の a 接点 (芦)
52AW	52A の監視継電器 (大)
52BW	52B の監視継電器 (大)
4Z	起動停止用継電器 (芦)
CS-4Z	同上用制御開閉器 (大)
52a	遮断器 52 の a 接点 (芦)
52W	52 の監視継電器 (大)
910RZ	負荷制限装置制御継電器 (増加用) (芦)
910LZ	同上 (減少用) (芦)
CS-910	負荷制限装置制御開閉器 (大)
12	加速度継電器 (芦)
87	差動継電器 (芦)
63b	油圧低下継電器 (芦)
HD	電故障監視用継電器 (大)
86	故障停止継電器 (芦)
86W	同上用監視継電器 (大)
GO	逆調整池門扉制御用継電器 (開用) (芦)
GO	同上 (閉用) (芦)
CS-G	逆調整池門扉制御用開閉器 (大)
TWL ₁	水槽水位送量器 (芦)
IWL ₁	同上用指示器 (大)
TGO	逆調門扉開度送量器 (芦)
IGO	同上用指示器 (大)
TWL ₂	逆調水位送量器 (芦)
IWL ₂	同上用指示器 (大)
RG	監視灯 (大)
BL	監視用ベル (大)

芦津発電所単線結線図略符号一覧表 (改造後)

52A	送電線用遮断器
52B	配電線用遮断器
52C	所内電源用遮断器
52	発電機用遮断器 (並列)
AVR	自動電圧調整器
PLD	力率限定装置
GFC	発電機界磁抵抗器調整装置
AS	自動同期装置
SM	自動揃速装置
VM	自動均圧装置
RDf	比率差動継電器
OC	過電流継電器
OCG	接地過電流継電器
TO	熱動過負荷継電器
OV	過電圧継電器
uV	低電圧継電器
VG	接地電圧継電器
UC	界磁不足電流継電器
AA	交流電流計
AV	交流電圧計
DA	直流電流計
DV	直流電圧計
GD	静電型検漏計
PF	力率計
W	電力計
WH	積算電力計

ア. 水車発電機の起動

1. 大呂から送電線用遮断器 (52A) を投入する。(この遮断器は特別の場合以外閉じてある。)
2. 所内電源用遮断器はつねに閉じてあるから、圧油ポンプ電動機は起動し油圧を確立する。
3. 大呂で起動停止用継電器を動作させる。
4. 芦津の主幹継電器 (4) 動作
5. 主弁用電磁弁動作 (機械的保持) し主弁開く。
6. 调速機用電磁弁動作 (機械的保持) し水車は起動する。速度が上昇すれば励磁機は電圧を発生する。
7. 界磁遮断器が閉路する。
発電機電圧が 80% になれば発電機電圧継電器が作動し、自動電圧調整器は動作を始める。また一方自動均圧装置、自動揃速装置が作動して発電機電圧および周波数は線路側と平衡される。この場合の電圧平衡は自動電圧調整器の調整する電圧を、自動均圧装置により変化して行う。
8. 発電機並列用遮断器 (52) 閉路。(自動同期装置による)
ガバナモータは自動的に最大速度位置に移行する。また圧油ポンプ電動機は停止し、主軸駆動圧油ポンプによつて圧油供給が行われる。(ただし電動ポンプは油圧 13kg 以下で再起動し、15kg になれば停止する)
9. 大呂から負荷制限装置を制御して発電機負荷を調節する。
10. 発電機電流が 45% 以上になれば力率限定装置が

動作して、発電機力率を 85~95% とするよう自動電圧調整器の調整電圧を制御する。

イ. 水車発電機の停止

1. 大呂で負荷制限装置を制御して水車発電機の負荷を減少する。
 2. 大呂より起動停止用継電器 (4Z) を消勢する。
 3. 芦津の停止用継電器が動作して、調速機用電磁弁主弁用電磁弁を復帰させる。導水弁は全閉するとともに主弁も閉鎖する。
 4. 導水弁全閉位置で発電機用遮断器 (52) 開く。電動圧油ポンプは再起動する。
 5. 発電機用遮断器が開放すれば界磁遮断器も続いて解放される。自動電圧調整器は停止する。
 6. 必要があれば大呂より送電線用遮断器 (52A) を開く。このときは電動圧油ポンプも停止する。
- なお制動は入口弁の閉鎖を条件として自動的に行われる。

遠方制御による起動、停止時間は実測により下記のような結果を得た。なお起動は油圧完備の状態において大呂から起動操作を行つたもので、実測時の系統周波は 59~ 位であつた。

大呂にて起動操作	0 分 0 秒
側路弁全開まで	0 分 53 秒
主弁全開まで	2 " 1 "
水車が起動を始めるまで	2 " 5 "
規定回転上昇まで	2 " 44 "
界磁遮断器閉合まで	2 " 44 "
自動電圧調整器作動まで	2 " 47 "
自動揃速均圧装置始動まで	2 " 47 "
発電機並列完了まで	3 " 48 "

下記停止操作は水車発電機を無負荷とした後行つたものである。

大呂にて停止操作	0 分 0 秒
発電機並列解除まで	約 0.8 "
界磁遮断器開放まで	約 1 "
自動電圧調整器停止まで	約 1 "
主弁全閉まで	1 " 45 "
側路弁全閉まで	2 " 10 "
制動開始まで	1 " 52 "
水車発電機停止まで	2 " 45 "

なお大呂から水車発電機の負荷調整を行つた場合の所要時間は一例として下記を掲げる。これはもちろん系統の状況によつて緩急の差があり単なる参考に過ぎない。

無負荷から全負荷まで	3 分 25 秒
全負荷から無負荷まで	5 分 39 秒

所内制御の場合には所内遠方制御切換開閉器を所内側に閉じれば、遠方制御回路は遮断され通常の一人制御ができる。

4. 保護装置

所内制御の場合は所内機器の状況点検ができた事故の種類によつては人爲的に対策を講ずることも可能であるが、遠方制御の場合にはこれができないから安全側の処置をとることが望ましい。したがつて事故対策は所内制御・遠方制御によつて相違するものである。

遠方制御の場合の保護装置は事故の発展防止の建前から、軽微な故障に対しても原因が発電所内部に関するかぎり水車発電機の運転を停止することとした。また送電系統の事故に対しては一旦並列を解除するが一定時間後に異常がなければ、自動的に再並列するようにしてある。したがつてたとえば過電圧のように単独運転中においても並列運転中においても起りうる事故が並列運転中において発生した場合には、一旦並列を解除して単独運転とし、自後もその事故が消滅しない場合には、その原因が発電所内部にありとして運転を停止するようにしてある。

遠方制御中の保護装置は自動停止と並列一旦解除 (再並列) の 2 種でその内訳はつぎのとおりである。

ア. 自動停止

1. 発電機相間短絡 (87)
2. 発電機内部接地 (87G)
3. 励磁機過電圧 (45)
4. 発電機界磁喪失 (40)
5. 接地電流継続 (64)

並列中に 64 が動作すればまず並列を解く。

6. 接地電圧継続 (64V)

並列運転、単独運転を問わない。

7. 過電圧継続 (59)

並列中 59 動作すればまず並列を解く。

8. 発電機巻線過熱 (49)
9. 圧油電動機回路逆相・欠相 (47)
10. 蓄電池電圧降下 (80)
11. 油圧降下大 (63b)
12. 過速度 (12)
13. 調速機調帯切断 (914g)
14. 軸動圧油ポンプ調帯切断 (914a)
15. 推力軸受冷却水断 (69H)
16. 軸受過熱 (38)
17. 軸受潤滑油ポンプ停止 (69Q)
18. 起動遅延 (62)

イ. 並列一旦解除後再並列

1. 接地電流 (64)
2. 過電流 (51)
3. 過電圧 (59)
4. 低電圧 (27)
5. 送電線遮断器 (52A) の自動遮断

なお所内制御の場合の保護装置は通常の発電所と大同

小異である。

遠方制御・所内制御の別を問わず事故停止の自動装置は大略つぎのとおりである。

1. 導水弁用電磁弁 (65a), 主弁用電磁弁 (f5) を不動作とし, 導水弁・主弁を閉じる。
2. 導水弁全閉にて並列 (52) を解く。
3. 界磁遮断器 (51) を開放する。
4. 主弁が全閉すれば制動する。

もちろん 87 および 87G 動作の場合には 52 および 41 もただちに開放する。

なお遠方・所内制御を問わず停止事故の場合は水車発電機を停止し再起動しないように閉塞する。したがって遠方制御の場合には親発電所から人員を派遣して事故の原因を調査し, 故障箇所を復旧した後閉塞を解くこととなつている。

また送電系統の事故に対して発電所を閉塞せず一定時間後再並列するようにした理由は, 系統をも含めた発電所の事故は過半数が送電系統に原因し, かつこれらは通常一度停電すれば復旧しうるものであり, また復旧に要する時間・労力も大したものではないからである。もちろん線路の故障遮断後は試送電の必要もあるから, ただちに再閉路動作は行わず若干の時間的余裕を与える意味で再閉路用時限継電器を設けた。この時限継電器は 20 分まで調整することができ実際は 10 分間に整定してある。なお系統の故障が永久的に逆送の復活が遅延する場合には上記時間後起動遅滞継電器が動作して水車発電機の運転は自動的に停止されるが, 一方かようなことが予測される場合は親発電所からの停止操作により水車発電機の運転を停止することもできる。

5. その他の特長

既述のとおり芦津発電所は遠方制御発電所であり, かつまた発電所自体に自主性を与える意味で新規な設備をしたものがある。なお本発電所がベルトン水車で床面も



4 図 XE-B 型自動揃速装置

芦津発電所の遠方制御自動装置・尾畑



5 図 XT-B 型自動同期装置

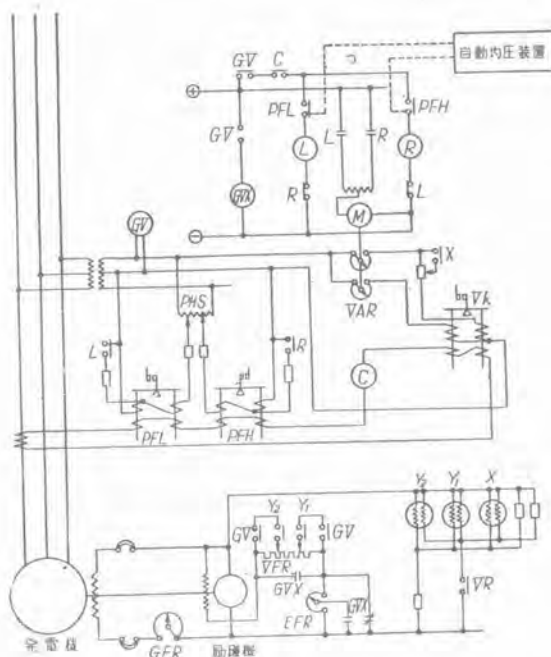
高く洪水の心配が絶無であることは発電所の無人化に寄与した自然的恩恵である。

ア. 電子管式自動揃速同期装置

本品は当社が昭和 15 年に開発し, それまではとかく有害無益, 無用の長物視された自動揃速装置界に大改革を与えたもので, 以来各発電所に納入し好評を博している。本発電所も既納品は同期電動機型であつたが, このたび遠方制御式とするに当つて電子管式に改めた。4 図 5 図はそれぞれ電子管式自動揃速装置および同期装置を示す。

イ. 力率限定式自動電圧調整方式および自動電圧調整器の運用

送電線電圧を確立し安定度を保持する目的から同期機に定電圧調整器を設置することは定石として通常行われていることであるが, 今日のように送電線路が拡張され送電々力も大きくなるとある一点の送電線電圧を一定に

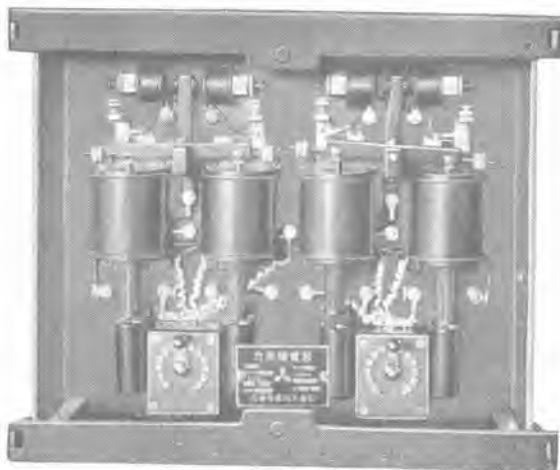


6 図 力率限定式自動電圧調整回路

保持するためにはそれ相当の調相容量を必要とするものである。しかるに系統容量に比べれば発電所容量はきわめて小さい場合が多く、かつまた系統中には手動電圧調整発電所もあつて、到底小容量発電機に十分な調相容量を期待することはできない、したがつて有人発電所では過電流運転を防止するため系統電圧および負荷の状態によつて自動電圧調整器の調整電圧を時折人為的に変更する必要があるものである。

芦津発電所においても同様な必要があるが、遠方制御発電所であり、かつまた電圧的にも自主性を与える目的から、力率限定式自動電圧調整方式を採用した、これは発電機電流がある値（芦津の場合 45%）以上となれば、発電機力率をある範囲（芦津では 85~95%）に制限するよう、電圧調整器の調整電圧を自動的に変化させるものである。なお本発電所の自動電圧調整器は既納の振動型で、これに力率限定装置を追加して一部の改造を行つた。

6 図はその概要を示すもので、発電機電圧が 80% に達すれば電圧継電器 GV が動作（補助継電器 GVX は消勢される）して振動型電圧調整器 VR （補助継電器 X , Y_1 , Y_2 を制御する）の作用が現われ、発電機電圧は一定に保たれる。しかして発電機電流が 45% 以上に増加すれば電流継電器 C が動作し力率制限要素 PFL および PFH の動作が可能になる。 PFL , PFH はそれぞれ遅相の低力率（85%）以下および高力率（95%以上）に



7 図 PJ-Z 型力率継電器

て接点を作り、それぞれ補助継電器 L と R を付勢する。 L と R はそれぞれ VR に直列の電圧調整抵抗器（ VAR ）の操作電動機（ M ）を制御して VAR の抵抗値を減少または増加するための継電器である。（ VAR の抵抗値が減少すれば VR に加わる電圧が大きくなり、また逆に増加すれば VR に加わる電圧は小さくなる。このため VR の調整電圧したがつて発電機の誘起電圧に前者の場合減少し後者の場合増加する。）したがつて電圧調整器の調整電圧は、力率が 85% 以下に低下すれば低

下し、逆に 95% 以上となれば増加するから、発電機力率はつねに 85~95% に制限されることとなる。7 図は $PJ-2$ 型力率調整主要素である。

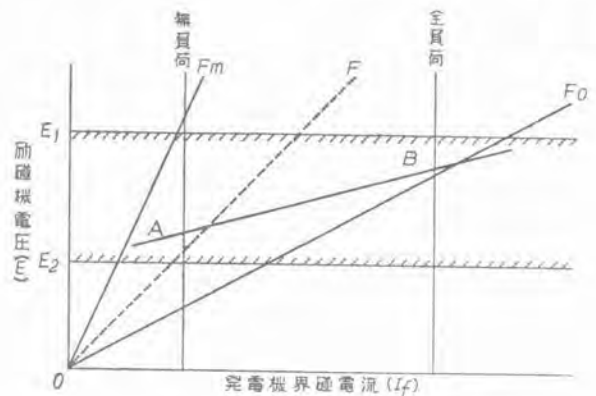
PFL と PFH の動作力率は移相器（ PHS ）の調整によつて遅相 78~100% に整定できるから、力率限定範囲を変更することもでき、また力率の上限、下限を接近させれば力率調整器としての特性を発揮させることもできる。しかしてこの構想に基づく力率調整器は無負荷時においては電圧調整器として作動するから、負荷遮断時の過電圧防止にきわめて有効適切である。

また 6 図より明かなように電圧調整器は発電機電圧継電器によつて作動の指令を受けるから、発電機が電圧を発生するかぎり動作を継続する。これは発電機の過電圧保護の建前からまことに有効な方法で、これによつて無人発電所の電圧問題に対する懸念を解消することができる。なお並列の際の電圧平衡も点線のように自動均圧装置を接続することにより、電圧調整器を休止することなく行うことができる。

つぎに振動型電圧調整器自動始動の方法を示す。元来振動型調整器は回路の過渡現象を利用したものであるから、始動作に不手際をすると時折擾乱を与えることなどがあつて自動始動を行わぬものであつたが、今回これを自動始動した。6 図において発電機界磁の接続前には発電機電圧はなく、したがつて GVX は付勢された状態にある。このとき自動電圧調整用界磁抵抗 VFR は短絡状態にあり、また励磁機界磁抵抗 EFR は無負荷規定電圧を発生するような状態で接続してある。水車を起動した後上記の接続状態にて界磁遮断器を投入すれば、発電機は電圧を発生し電圧調整器主要素 VR は補助継電器 X との関連において電圧値に応じた無効の振動を始めている。界磁回路の時間特性はその後に発電機電圧継電器 GV を作動させるから、 GV が動作すれば（このとき GVX は消勢されて VFR は解放され EFR は短絡される）電圧調整器を円滑に始動することができるのである。

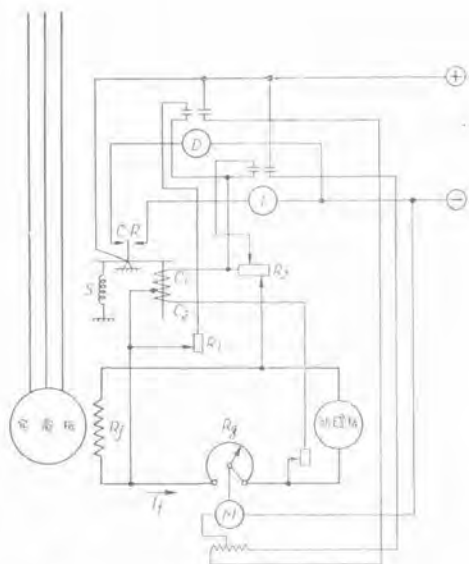
ウ、発電機界磁抵抗器の自動制御

振動型電圧調整器を使用する場合の励磁機は分巻自動式で副励磁機は設けず、かつ電圧上昇率を大きくするた



8 図 界磁電流—励磁機電圧特性

め界磁の飽和点を高くとつてある。このゆゑに発電機の電圧を手動調整する場合は励磁機界磁抵抗器によることが困難であるから、励磁機は定格電圧を発生させたままとして発電機界磁電流を調整するために発電機界磁抵抗器を必要とするものである。(なお振動型電圧調整器を設けない場合でも発電機誘起電圧を広範囲に調整する必要から、副励磁機無しの場合はこの抵抗器を設けるのが通例であつて、振動型電圧調整器を設ける場合はその必要性がとくに大きい) また一方振動型電圧調整器が安定に動作するためには励磁機電圧が定格値の 70~120% である必要があり、このためには負荷時に界磁回路の抵抗値が不足するからやはり発電機界磁抵抗器を必要とするものである。ここにおいてかような意味で設けられた界磁抵抗器は界磁電流と関連的に調整することから、自動電圧調整器の安定動作のためにも、また他面界磁損失を軽減するためにも必要なことである。従来この調整は人爲的になされこれが振動型調整器の煩とされていたものであるが、今回は人に依存することができずこれを自動的に制御することとした。



9 図 界磁抵抗器自動制御方式

8 図は界磁抵抗器の位置と界磁電流対励磁機電圧との関係を示すもので、 OF_0 は界磁抵抗 0 のときの特性、 OF_m は界磁抵抗最大のときの特性、 OF は他の値のときの特性である。 E_1 、 E_2 は電圧調整器の安定動作限界で励磁機電圧をこの範囲内に留める必要がある。この方法としては種々の考え方があるが、必要な特性を満足するべき

1. 励磁損失は極力少くする。
2. 発電機端子電圧は一定でないから多少の変動に対しても運転上の支障をなくする。

の二点を考え、界磁電流に対し AB な特性をうるように考慮した。これは励磁機電圧 E を界磁電流 I_f に対

して

$$E = a + b I_f$$

とすることで、その方法は概略つぎのとおりである。

9 図において R_f は発電機界磁線輪、 R_g は界磁抵抗器で電動機 M にて制御されるものとする。 CR は二つの直列巻線 C_1 、 C_2 に流れる電流の上向電磁力が発条 S と平衡する一種の平衡継電器で、平衡が破れればいずれかの接点を作るものとする。いま R_f 、 R_g をそれぞれ抵抗値とし K_1 、 K_2 を常数とすれば C_1 、 C_2 による合成の起磁力 M_f は

$$M_f = K_1 R_f I_f + K_2 R_g I_f$$

である。いま CR が平衡状態にありこのときの発条力を S_0 とすれば、

$$S = M_f = K_1 R_f I_f + K_2 R_g I_f$$

である。また一方

$$E = (R_f + R_g) I_f$$

であるから、 R_g を消去すれば

$$E = \frac{S}{K_2} + \left(1 - \frac{K_1}{K_2}\right) R_f I_f$$

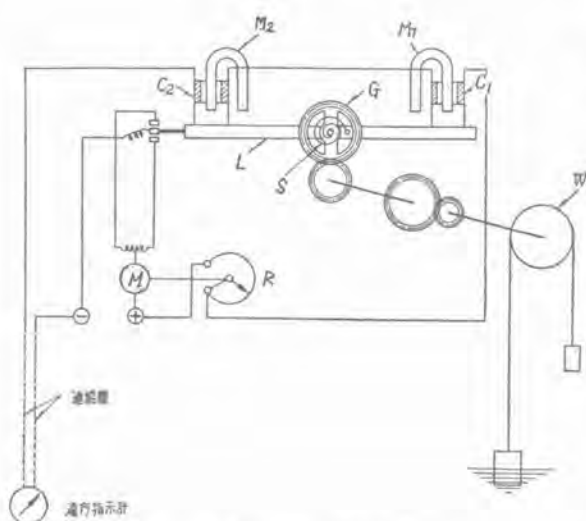
となる。すなわち $K_1 < K_2$ ならしむるように構成し CR がつねに平衡するように制御すれば 8 図 AB の特性をうることができるのである。

いま R_g の値が過大なりとすれば C_1 、 C_2 による上向電磁力は発条力より大となるから、補助継電器 D が付勢され M は抵抗値を減小するように回転する。逆に R_g の値が不足すれば I が動作し抵抗値は増加することになる。なお R_1 、 R_2 は乱調防止抵抗である。

10 図は $RI-E$ 型電圧調整継電器で 9 図の継電器 CR



10 図 $RI-E$ 型電圧調整継電器



11 図 S 型遠方計測装置接続図

に該当するものである。

エ. 水位・門扉開度遠方計測装置

水位・門扉開度とも位置の遠方測定に属する。遠方測定方法にも色々あるが、当社 S 型電流平衡式を採用した S 型を用いる場合には制御方式と同様整流式とすることもできるが、このたびは芦津の蓄電池による直流電流平衡式とした。その概要は 11 図のように同一の回転軸の周りに別個に自由に動きうる歯車 G と衡桿 L とがあり、この両者は渦巻発条 S で連絡されている。 L には両端にコイル C_1, C_2 が固定され、その内部にはべつに固定された永久磁石 M_1, M_2 の磁極が挿入されている。したがって C_1, C_2 に電流を通すれば電磁力が作用するが、その方向は S の発条力に反対する方向である。 C_1, C_2 は図示のように可変抵抗 R および連絡線を経て遠方指示計（適当な目盛を施した直流電流計である）および電源に直列に接続されている。 W は位置の変化によつて回転する調車で、その運動は適当な歯車機構を通じて前記歯車 G に連絡されているから、位置の

変化に伴つて S の発条力は変化する訳である。発条力と C_1, C_2 の電磁力とに不平衡があれば L の一端にある電気接点ができ、可変抵抗の操作電動機 M は発条力と電磁力とが平衡する電流を C_1, C_2 に流すよう R を制御する。したがつてこの電流と測定しようとする位置との間には函数関係が成立することは明らかであるから、この電流値を適当な尺度で表示する直流計器によつて測定しようとする位置量を知ることができる。

この測定器は構造が簡単で電源電圧の変化による誤差を生じない特長がある。たゞ連絡線の漏洩電流の変化によつて誤差を生ずるが、ケーブルのような天候に左右されない連絡線が望ましい。

6. む す び

以上芦津発電所の遠方監視制御装置・水車発電機自動制御装置の概要を述べ、若干の部分についてはやや詳細に触れた。その他にも述べることは多々あるが冗長にわたるから割愛する。

重ねていえば芦津発電所の場合、発電所の内部は極力自動化して自主性を与え、遠方からの制御・監視・計測はぜひ必要なものに留めて簡易な方法をとつた。しかし一般的には水車発電機の台数、単基容量、水車の型式、立軸横軸の別、送電系統上の条件、地理的条件、水路および放水路の状況、運営方針、制・被制御所間の距離等の点から、自動化しうる部分、遠方制御監視計測を要するものの内容およびその方式を決定すべきである。ただし遠方制御化の傾向としては、小容量、近距離で設備内容も簡単なものが多いようであるから、芦津のような方法が適当しているものと考ええる。

最後に終始ご指導を賜つた旧日本発送電、中国支店、岡山支社の方々、ならびに改造工事に当つて並々ならぬご援助ご盡力を賜つた発電所現場の方々に深い感謝を捧げるものである。

電力系統機器のインピーダンスの分類



工 学 博 士 安 藤 安 二

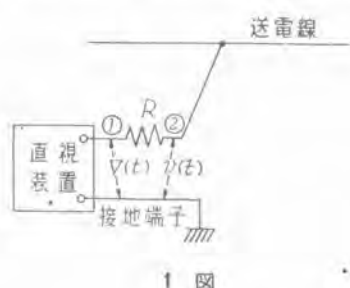
1. 緒言および分類

筆者は文献(1)サージ・インピーダンスの簡易測定法を發表し、諸賢のご批判を仰いだ所であるが、この測定法により得た電力系統全般にわたるインピーダンスを分類集計して報告する次第である。

筆者の企図する所は分類型式により、機器の特性を察知しうることであり、この分類法につきご批判を願うとともに、まだ実測し足りぬ所の追加を願う次第である。

実測結果の集計は筆者がこれまで各所において実測させて頂いたもののみに関し、他所で測定されたものは割愛することとした。

まず分類型式の説明より述べるが、下記のオシログラムの $V(t)$, $v(t)$ は1図に示す点の電位を示す。



1 図

L_1 型, L_2 型

L_1 型は送電線のサージ・インピーダンス(他端の反射が邪魔しない部分)および純抵抗等の測定の場合に相当し、電圧電流の関係が直線的の場合であり、波高値に相当する所の瞬時値の比よりサージ・インピーダンスを求める。(2図)

L_2 型は街灯線および電車線電線の如く非常に複雑な反射をなす場合で、印加瞬時の波高部分より求めた値をサージ・インピーダンスとし、それ以降の往復反射をなす部分よりは平均値を求め、これを実効抵抗とす。(3図)

C_1 型, C_2 型

C_1 型は蓄電器単独の如き場合に相当し、 $v(t)$ が容量充電の如き平滑な変化をなす場合で、 $V(t)$ の電圧より高くなることなく、 $V(t)$ に近づく場合である。この時は等価静電容量を示す。(4図)

C_2 型は送電線の印加端に並列容量がある場合、あるいは変圧器巻線他端開放等の如き場合で、 $v(t)$ の上昇途

中に往復反射が表われる場合であり、かつ $v(t)$ が $V(t)$ 以上の電圧にならず近づく場合である。最初の段の所より、サージ・インピーダンスを求める。(5図)

E_1 型, E_2 型

接地抵抗、レール等の如き誘導的成分の入る場合に得られるもので、 $v(t)$ が零線以上にとどまる場合を E_1 型とし、印加瞬時の値をサージ・インピーダンスとし、一定の正の値に落ち着く場合は最終値としこれを示す。(6図)

$v(t)$ が零線より下に振動する場合を E_2 型とし、印加瞬時の値をサージ・インピーダンスとす。(7図)

GE 型

交流発電機の中性点接地の如き場合に生ずるもので、容量性の影響を受けず、印加瞬時の波形上平らな部分より、サージ・インピーダンスを求め、次の $v(t)$ の波高値より求めた値は実効抵抗とする。ただしこの実効抵抗には抵抗 R の値を付加する。(その意味は文献(1)に述べたものである)

またこの型は $v(t)$ の波尾が零線以下に振動するものを指す。(8図)

GO 型

交流発電機の中性点および他端子開放の場合に相当するもので、 $v(t)$ の波尾部分が $V(t)$ に近づくものであり、 C_2 型との差異は $v(t)$ が $V(t)$ に近づくまでの内に実効抵抗に相当する部分を生ずることである。(9図)

GR 型

交流発電機の中性点あるいは他端子を抵抗にて接地した如き場合に相当するもので、 $v(t)$ の波尾部分が零線以下に下る事なく一定の値に落ち着くものであり、その他のことは GE 型に準ずる。(10図)

TE_1 型, TE_2 型

変圧器の巻線他端接地の如き場合に相当するもので、 $v(t)$ 波形が容量充電の如き型をたどつて最高値になり、波高値に相当する部分より降下して、零線以下にも振動する如き場合であり、波高値の所の $v(t)$ の波形上平らな部分より、サージ・インピーダンスを求め、波高値付近に波形上平らな部分が得られぬ場合はこの点の値を実効抵抗として示し抵抗 R の値を付加する。

TE_1 型は少振動が認められぬ場合であり、(11図)

TE_2 型は少振動が顕著に入るものを示す。(12 図)
 TO_1 型, TO_2 型

変圧器巻線の他端開放の如き場合に相当するもので、容量の充電の如きものに相当するものであるが C_1 型および C_2 型と相違する所は $v(t)$ が $V(t)$ よりも波尾部分で高くなるものである。 TO_1 型は $v(t)$ に顕著な振動を含みぬものであり(13図), TO_2 型は $v(t)$ に顕著な振動を含み往復振動がはつきり表われるものである。(14図)

いずれの場合も $v(t)$ 波形の最初の段の所をもつて求めたものをサージ・インピーダンスとする。

TG_1 型, TG_2 型

これも主に変圧器の場合に生ずるものであり、大体 G E 型に相当するのであるが、 $v(t)$ の最初に容量性の影響を受ける所が相違し、最初の段の所で、サージ・インピーダンスを示し、 $v(t)$ 波形の次の波高値の所で求めたものを実効抵抗として、 R の値を付加する。 TG_1 型(15図)と TG_2 型(16図)との差異は振動重量の無し有りの区分である。

LC_1 型, LC_2 型

これは前述の型式に含まれるのであるが、とくに初期のサージ・インピーダンスのみを求める事を主眼として測定する時に得られるもので、 $v(t)$ 波形の並列容量を

充電し終つた後のサージ・インピーダンスを求める部分に振動のないものを LC_1 型(17図)とし、振動が重畳するものを LC_2 型(18図)とし、 LC_2 型はその振動の平均値よりサージ・インピーダンスを求める。

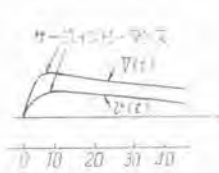
I 型

これは短い線路を通つてケーブルに入る如き場合の合成のインピーダンスを求める時に生ずるもので、測定線による誤差が入つた時もこの型式となる。(19 図)ただしこの型式は印加瞬時のみに関するものでそれ以後は前述の各型式に相当する。

(すなわち印加線および接地線も当然この型式の誤差を生ずるものである故に、理想的の測定には抵抗 R を被測定機器の直前に接続して、 $V(t)$, $v(t)$ の基準零電位を測定器の接地と別に選定しなければならぬ、しかし左様な理想的測定を実施し得ない場合もこの誤差の部分を除外すれば相当に実用的数値を求めうるのである)。

つぎに送電線、ケーブル、街灯線、饋電線電車線路、レール負饋電線、電車、変圧器、発電機、それらの結合した発電所関係、回転変流機、水銀整流器および接地関係等の順に示す。

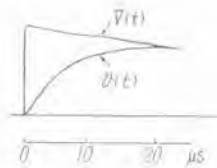
なおこの分類および測定結果はあくまでも電撃時の数十 μS の間を対象としているので機器の固有振動および



2 図 I_1 型



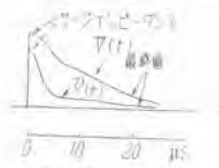
3 図 I_2 型



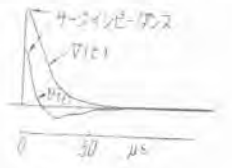
4 図 C_1 型



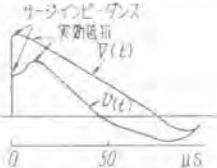
5 図 C_2 型



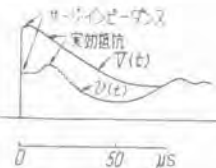
6 図 E_1 型



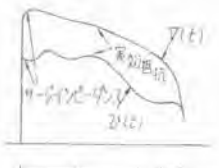
7 図 E_2 型



8 図 GE 型



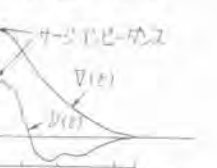
9 図 GO 型



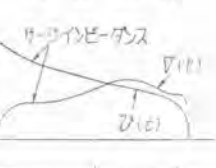
10 図 GR 型



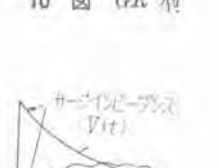
11 図 TE_1 型



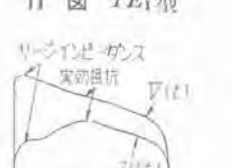
12 図 TE_2 型



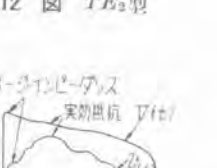
13 図 TO_1 型



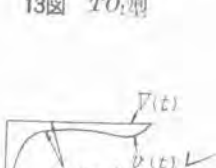
14 図 TO_2 型



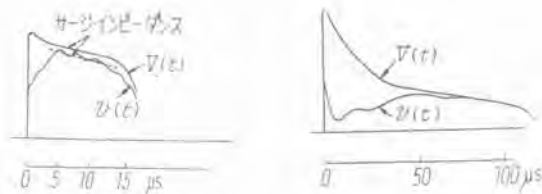
15 図 TG_1 型



16 図 LG_2 型



17 図 LC_1 型



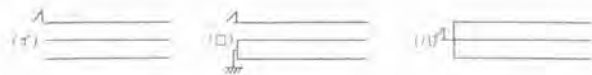
18 図 LC₂型

19 図 I 型

減衰率等は考慮してないことを付言する。

また測定結果は測定機器の詳細な常数を示すよりも、測定を実施させて頂いた所に謝意を表する意味でどこか何という如くし、深甚な謝意を示すとともに、測定に協力を仰いだ同僚諸氏に感謝する次第である。

2. 送電線関係



	(イ)Ω	(ロ)Ω	(ハ)Ω	伝播速度 (m/μs)	型式
10kV送電線 関西配電、阪本一山科	470	380	216	268.5	I_1
20kV送電線 関西配電、明石一林崎	400	375	250	250	I_1
30kV送電線 近畿日鉄、美旗一東青山	450	380	210	241	I_1
同上 近畿日鉄、美旗一内膳	476	433	215	254	I_1
10kV送電線 日笠近支、志津川一大峰	450		250	283	I_1

とくに関西配電、阪本一山科間 10kV 送電線の測定では、減衰率、他線誘導等も測定し、大地の特性がサージ・インピーダンスに変化を及ぼすことも確かめてある。

3. ケーブル関係

種 類	状 態	サージ・インピーダンス (Ω)	伝播速度 (m/μs)	型式
3,300V 3 芯 導体公称断面 100mm ²	A線のインピーダンス BC開放	22.15	163.7	I_1
	A線のインピーダンス B接地、C開放	13.85		I_1
明石海峡1号ケーブル 33,000V 100mm ² 3 芯 鉄線铠装 SL	1線シース間 (他線開放)	30	141	I_1
	1線大地間	80 (最終値30)		I_1
明石海峡2号ケーブル 22,000V 60mm ² 3 芯 鉄線铠装 SL 電話線入	電話線 1 線	100		I_1
	" 2 線一括	50		I_1

4. 街灯線関係

線路状況は文献(2)参照。

電力系統機器のインピーダンスの分類・安藤

測定条件	サージ・インピーダンス (Ω)	型式	伝播速度 (m/μs)
線 径 2.5mmφ	他線接地 電球有	I_2	289.7
	" 無	I_1	336
	" 有	I_2	410.3
	他線非接地 " 無	I_1	445.3
	2 線一括	I_1	287
	他線接地		458
線 径 2mmφ	他線非接地		508

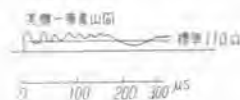
電柱、地上高約 6m

注：線径 2mmφ の所は他端に接続した抵抗を変化して求めた。

5. 饋電線および電車線路関係

場 所	測定条件	サージ・インピーダンス (Ω)	実効抵抗 (Ω)	型式	伝播速度 (m/μs)
高安車庫	大阪方(饋電線)接地レール上り 2 本ノル	115	70	I_2	反射多き 爲に不明
	" " " 水道	100	60	I_2	
	大阪方面 上り下り一括 {饋電線}	50	30	I_2	
	山田方面 上り下り 接地レール				
東青山変電所	饋電線(2本) 接地 負饋電線	220	180	I_2	
	" " " 建物	180	175	I_2	
彌刀変電所	布施上り(饋電線1本) 接地負饋電線	290	180	I_2	
	布施上り下り(饋電線 2本) 接地負	180	120	I_2	
	高安方面上り(饋電線 2本) 饋電線	220	120	I_2	
美旗変電所	美旗 東青山間(饋電線 2本)	175			160
	美旗 伊賀上野間(饋電 線1本)	570			190

注：美旗変電所の測定は第二京大法にて実施したものである。一例を示しておく。



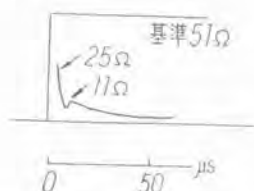
6. レールおよび負饋電線関係

測定場所	測定条件	サージ・インピーダンス (Ω)	型式
高安車庫	レール1本の中間に印加 (2本分)接地水道	60	E_1
	レール2本一括印加 (4本分)接地水道	30	E_1
東青山変電所	負饋電線に印加、接地は 建物	75	F_2
彌刀	" " "	55	E_1
美旗	レール(6本分)接地は建 物	11	

注：○美旗変電所の測定結果と高安車庫の結果はレール1本分に直すとそれぞれ 66Ω および 120Ω になるが、この誤差は、接地に関係するか、大地導通に関

係するか、また測定誤差によるか判断に苦しむ。(I型による誤差が入った)

○美旗変は京大法にて実施したので、一例を示す。



(25Ωの所は測定線の誘導と解釈したがこの部分で対比すれば両結果はよく合う)

7. 電車関係

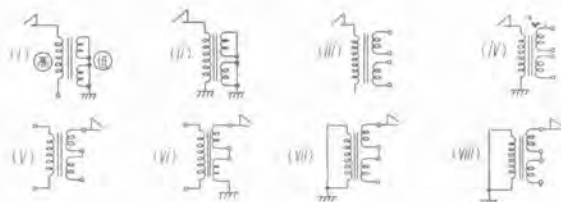
測定回路	サージ・インピーダンス (Ω)	実効抵抗 (Ω)	型式
主回路直列	103	360 ($R=120\Omega$)	TG_1
並列	58.6	440 ($R=60\Omega$)	TG_1
電動発電機	2,900		TE_1
空気圧縮電動機	9,30		TE_1

ノッチ off 時の電車の侵入容量 $5,350 \mu F$.

8. 変圧器関係

ア. 柱上変圧器

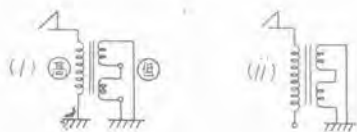
1 kVA 1φ 60~ 3450—3300—3150—3000V/210—105V 全タップ使用



	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	(vi)	(vii)	(viii)
サージ・インピーダンス (kΩ)	32.1	27.9	83.2	85.6	1.29	0.94	1.28	0.88
型式	LC_1	LC_1	LC_1	LC_1	C_2	TE_2	C_2	TE_2
侵入容量 (μF)	422	368	281	310				

イ. 柱上変圧器

W社製 100kVA 1φ 50~ 4800—2400V/240—120V



	(i)	(ii)
サージ・インピーダンス (Ω)	4940	4940
型式	TE_1	TO_1

ウ. 関西配電, 明石変電所予備変圧器

5,000kVA 1φ 70kV/22kV



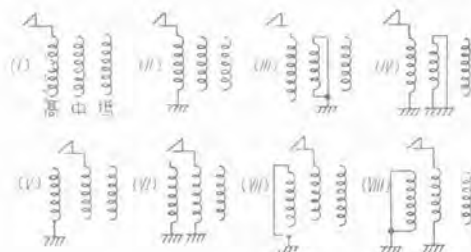
	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)
サージ・インピーダンス (kΩ)	4	4	4	2	2
型式	C_2	TE_2	TE_2	C_2	C_2

エ. サージ・ブルーフ変圧器 (組立中, 空心)

141,500kVA 3φ 60~

1次 210kV Δ / 2次 161—154—147kV Δ / 3次

11 kVA Δ の単相に関する測定



	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	(vi)	(vii)	(viii)
サージ・インピーダンス (kΩ)	47	15	26	14.3	11	7	11	7
型式	LC_2	LC_2	LC_2	LC_2	LC_2	LC_2	LC_2	LC_2
侵入容量 (μF)	1060	2150	990	3860	8580	10,020	10,110	10,460

注: この侵入容量は波頭部の重畳振動をも考慮に入れ機械的に求めた値である。

9. 交流発電機関係

ア. 遮断試験用 2,000kVA 交流発電機

3,300V 350A 900rpm 3φ 60~ 凸極 極数 8

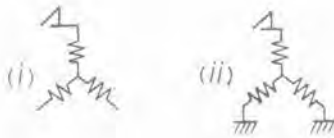
制動巻線 有



	二重星型結線			一重星型結線		一重三角結線	
	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	(vi)	
サージ・インピーダンス (Ω)	86.4	90.6	204	181	82.6	90.6	
型式	GO	GE	GO	GE	GO	GE	
伝播速度 m/μs	30						

イ. 日発岡山変電所 15,000kVA 同期調相機

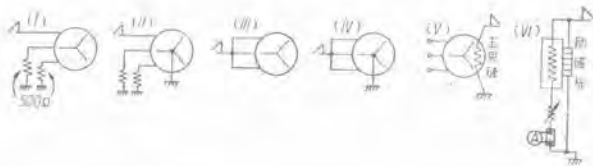
11,000V 778A 3φ 60~ (日立製)



	サージ・インピーダンス (Ω)	実効抵抗 (Ω)	型式
(i)	220	450 ($R=100$)	GR
(ii)	220	450 ($R=100$)	GE

ウ. 日発志津川発電所水車発電機

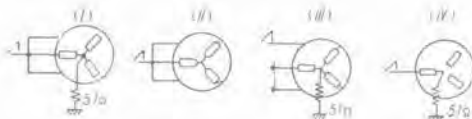
14,000kVA 11,000V $p.f. 83\%$ 180rpm 60~40極
結線 Y 立軸界磁同期



	サージ・インピーダンス (Ω)	実効抵抗 (Ω)	型式
(i)	180	330 $R=250$	GE
(ii)	180	200 $R=200$	GE
(iii)	50		GO
(iv)	50	60 ($R=100$)	GE
(v)	25		TE ₂
(vi)	130		TE ₂

エ. 日発尼崎第二発電所タービン発電機

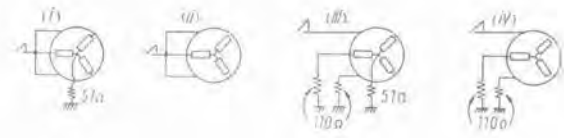
93,750kVA 13,200V 4,100A 3φ 60~ 1,800rpm
 $p.f. 8\%$ 二重星型結線



	サージ・インピーダンス (Ω)	実効抵抗 (Ω)	型式
(i)	13	70 ($R=51$)	GR
(ii)	13		C ₂
(iii)	50	60 ($R=51$)	GR
(iv)	50	60 ($R=51$)	GR

オ. 日発尼崎第一発電所タービン発電機

62,500kVA 13,200V 3φ 60~ $p.f. 80\%$
二重星型結線



	サージ・インピーダンス (Ω)	実効抵抗 (Ω)	型式
(i)	10	50 ($R=51$)	GR
(ii)	10		C ₂
(iii)	47	65 ($R=51$)	GR
(iv)	47	75 ($R=51$)	GR

所内発電機

4,290kVA 3,500V 3φ 60~ 一重星型結線 (試験結線同上)

	サージ・インピーダンス (Ω)	実効抵抗 (Ω)	型式
(i)	30	51 ($R=51$)	GR
(ii)	30		C ₂
(iii)	110	170 ($R=110$)	GR
(iv)	110	230 ($R=110$)	GR

10. 変圧器、発電機、母線およびケーブル等が一体となった場合

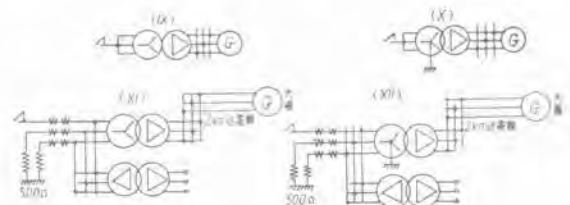
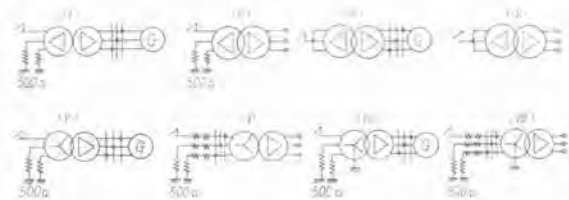
ア. 日発志津川発電所における総合特性

発電機：定格および特性は 9.ウ.

△-△変圧器：外鉄型 3φ 60~ 30,000kVA
11,500—11,000—10,500/80,500—77,000—73,500

λ-△変圧器：外鉄型 3φ 60~ 20,000kVA
11,000/84,000—80,500—77,000—73,500

大峰発電機：10,000kVA 11 5kV 60~ 150rpm
 $p.f. 80\%$ 48 極 結線 Y



(Xiii)

(Xiv)

(Xi) 図で 3 相一括

(Xii) 図で 3 相一括印加

	サージ・インピーダンス (Ω)	実効抵抗 (kΩ)	型式
(i)	4000	15.5 (R=3)	CL ₁ TG ₂
(ii)	4000		TO ₂
(iii)	1500		TO ₂
(iv)	1500		TO ₂
(v)	4000	12.5 (R=10)	TG ₁
(vi)	4000		TO ₁
(vii)	4500		TE ₁
(viii)	4000	7 (R=6)	TE ₁
(ix)	1200		TO ₁
(X)	1200	1.8 (R=1)	TE ₁
(Xi)	2000	18 (R=10)	TG ₁
(Xii)	2000	3 (R=3)	TG ₁
(Xiii)	700		TO ₁
(Xiv)	600	1 (R=1)	TE ₁

10kV 母線容量 1φ 5,117μF (他相開放)
3φ 10,807 μ

10kV 母線リンク用ケーブル 1φ (他相開放)
13,575μF

10kV 母線リンク用ケーブル 3φ (他相開放)
31,400μF

低圧側の等価インピーダンス

10kV 母線と発電機 1 台に関して平均約 60Ω をうる。

イ. 日笠尼崎第一発電所および尼崎第二発電所における発電機とケーブルの組合せ試験

(1) 尼崎第一

発電機は 9 オ. と同一



測定条件	サージ・インピーダンス (Ω)	実効抵抗 (Ω)	型式
(I) U印加.VW 110Ω 接地 中性点用	15	80 (R=51)	GE
(II) UVW 3相一括印加 中性点用	5	—	C ₂

定圧側実効抵抗 21.7Ω

(2) 尼崎第二

発電機は 9. エ. と同一



測定条件	サージ・インピーダンス (Ω)	実効抵抗 (Ω)	型式備考
(i) u印加vw 110Ω 接地中性点 接	15	50 (R=10)	GR 測定導線の影
(ii) " " 開	15	58 (R=10)	GR 響の爲に全般的にI型の如き波形になつたものを補正したの多少の誤差あり
(iii) uvw 3相一括印加 中性点 接	7	77 (R=51)	GR
(iv) " " 開	7	—	C ₂
(v) U印加VW 110Ω 接地中性点 開	15	50 (R=51)	GR
(vi) " " 接	15	59 (R=20)	GR
(vii) UVW 3相一括印加 中性点 開	5	—	C ₂
(viii) " " 接	5	180 (R=20)	GR

11. 回転変流機関係 (近畿日本鉄道彌刀変電所)

回転変流機

1,000kW 750V 1,333A (D.C.) 900rpm 分巻
8極 6φ 60~ W社製

変圧器

2,100kVA 630A (2次電流) 3φ 60~
22,000—21,000—20,000—19,000V/555—444V

測定はつぎの三場合、すなわち

- (1) 回転変流機 1 台単独の場合につき、刷子を引上げて変圧器と切り離した場合 (L, M に関して)
- (2) 回転変流機 1 台と変圧器が接続された場合 (L, M に関して)
- (3) 回転変流機 2 台と変圧器が接続された場合

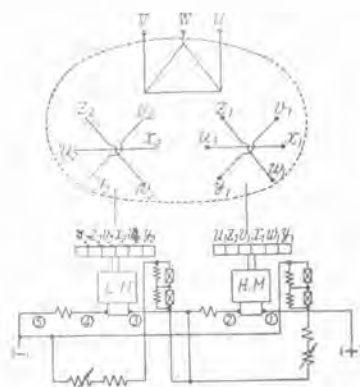
なお回転変流機はその回転子の位置により異なるのであるから 1/4 回転 (2 極ピッチ) を 4 等分してそれぞれ M₁, I₁, M₂, I₂ の場合につき実施した。

M₁ : 滑動環 No. 1 への接続導体が主極の中心にあり、その電機子コイルは (+) 刷子に接触

I₁ : 滑動環 No. 1 への接続導体が補極の中心

M₂ : 滑動環 No. 1 への接続導体が次の主極の中心にありその電機子コイルは (-) 刷子に接触

I₂ : 滑動環 No. 1 への接続導体が次の補極の中心



(1) について

測定条件	回転子位置	サージ・インピーダンス (Ω)	型式
w印加, ⑤接地 その他全部開放	M ₁	48	TE ₂
	I ₁	50	E ₂
	M ₂	35	E ₂
	I ₂	50	E ₂
w印加, ⑤接地 ③ 100Ω 接地 その他開放	M	45	TE ₂
	I ₁	45	E ₂
	M ₂	35	E ₂
	I ₂	45	E ₂
w ₂ ~w ₃ 6相一括印加 ⑤接地 ③開放	位置に 係なし	24	E ₂
③印加, ⑤接地, その他開放	同上	60	TE ₂
③印加, 全部開放	同上	90	C ₂

(2) について

測定条件	サージ・インピーダンス (Ω)	実効抵抗 (Ω)	型式	備考
U印加, VW, 500Ω 接地 ③開放, ⑤接地	4170	13,700 (R=5000)	TE ₂	L, M の回 転子 位置 は全 部M ₁
UVW一括印加 ③開放, ⑤接地	1170		C ₂	
UVW一括印加 ⑤接地, ③100Ω 接地	1150		C ₂	
③印加, ⑤接地 UVW500Ω接地	30		TE ₂	
③印加, ⑤接地 UVW開放	30		TE ₂	

(3) について

測定条件	回転子位置		サージ・インピーダンス (Ω)	型式
	H, M	L, M		
①印加, ⑤接地 UVW500Ω接地	M ₁	M ₁	55	TE ₂
	M ₁	M ₂	30	TE ₂
	M ₁	I ₁	40	TE ₂
	M ₁	I ₂	40	TE ₂

12. 水銀整流器関係 (近畿日鉄東青山変電所)

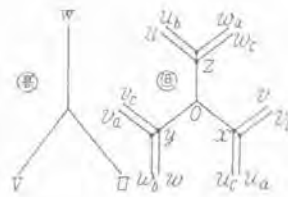
水銀整流器: 2,000kW 1,500V 1,333A 6φ 12極

変圧器: 3/6φ 33kV/1.5kV

1次星形, 2次ホーク結線

1 表

場所	項目	サージ・インピーダンス (Ω)	最終値は実効抵抗 (Ω)	型式	接地抵抗測定器による値 (Ω)	備考
日 発 志 津 川 発 電 所	主接地—電話接地間	232		E ₂	2~4	測定線長
	電話接地—避雷器接地間	243		E ₂		主 接 地—63.5m
	予備接地—避雷針接地間	312		E ₂		電 話 " —57.6m
	予備接地—主接地	207		E ₂		避雷器 " —94.5m 避雷針 " —94.5m 予備 " —22.4m



ア. 交流側より見た場合

測定条件	サージ・インピーダンス (kΩ)	型式
W印加, UV500接地, 低圧側全部開放	15	IC ₂
" " w _a , w _b 陰極励弧極一括500Ω接地, 0は100Ω接地	15	IC ₂
UVW3相一括印加, 低圧側全部開放	3	C ₂
" " w _a , w _b 陰極励弧極一括500Ω接地, 0は100Ω接地	3	C ₂

イ. 直流側よりの場合

測定条件	サージ・インピーダンス (Ω)	実効抵抗 (Ω)	型式	備考
uub一括印加 陰極を接地	70	50 (R=60)	GE	高圧側 UVW は 500 Ω にて 接地
w _a w _c " "	70	60 (")	"	
w _a w _c " uubを接地	65	100 (")	"	
uub " "	61	90 (")	"	
w _a w _c " "	46	55 (")	"	
w _b " "	47	42 (")	"	
w _a w _c " "				

13. 接 地 関 係

接地は大地表面に沿う導線, 地中に埋設された導線あるいは接地銅板等の組合わせであり, 発電所等々により区々であり, 大地の導電特性も土地により異なり率に行かぬのであるが, 一般的特性を示すために数例を示す。

大電流に対しては低減効果を考えねばならぬのであるが, 一般的特性は重要な意味を有するので1表では低減効果のない場合につき示す。また表には測定線を含めたものも示したが, これは大地表面を這う導線の一部として考えた。また衝撃波に対しては三点法により分離することが困難であるから合成したものを示したのものもある。

関西配電坂本変電所	所内接地	18	3	E_1	5.2	
	電柱支線	100	100	LC_1	72	棒接地
	補助接地	120	120	LC_1	146	〃 30mmφ 長さ1m
	避雷器接地	49	45	LC_1	41	〃
国鉄淀川変電所	避雷針接地—直流機器接地間	35	10.6	E_1	13.9	測定線長は 避雷針接地—15m 直流機器接地—10m 軌条—10m 直列リアクタ—10m 3kV避雷器—30m 直流〃—30m
	軌条—〃	41	9.4	E_1	7.2	
	直列リアクタを通して軌条—〃	43	74	GE		
	軌条—避雷針接地間	60	15	E_1	13.2	
	3kV避雷器接地—〃	96	22	E_1	30	
	直流避雷器接地	96	10	E_1	16.2	
日登尼崎第一発電所	負荷時電圧調整器接地—避雷器及びPT接地	47		E_1		測定線の長さ 負荷時電圧調整器接地—3m 避雷器及びPT接地—10m 3号主変圧器の接地—30m 調甲OCBの接地—15m
	〃—調甲OCB接地	47		E_2		
	避雷器及びPT接地—3号主変圧器接地	57		E_2		
	〃—調甲OCB接地	64		E_2		
	3号主変圧器接地—〃	43		E_2		
日登尼崎第二発電所	主変圧器接地—PT及鉄骨の接地	20	非常に低い	E_1		測定線は含めない
	PT及び鉄骨の接地—所内用変圧器中性点の接地	25.6		E_1		
	所内用変圧器接地—主変圧器接地	26		E_1		
近畿日登美変電所	所内接地	3.1	0.32	E_1	0.5	
	鉄構	1.88	0.63	TE_1	1.75	

参考文献

- (1) サージ・インピーダンスの簡易測定法 安藤 電学誌 昭25年2月
- (2) 過渡現象直視装置による線路の波動抵抗の測定 安藤 三菱電機 第21巻第2号 昭22年3月

本文の著者安藤安二氏はかねて京大に提出中の論文「電力系統における過渡現象の研究」により昭和26年12月、工学博士の学位を授与せられた。本論文は発電所および電鉄関係にも及び、

(1) 過渡現象直視装置の使用限界を求め (2) サイラトロン電弧のインピーダンスの測定法を提案し、(3) サージインピーダンスの簡易測定法を創始して多数の資料を集積し(4) 衝撃波に見舞われるほとんどすべての分野における衝撃電圧特性を実測した。

同博士はこれらの研究課程において部分的に発表を行っているが、本論文に含まれた公表論文を列挙すればつぎの如くである。(編集部記)

☆サイラトロン電弧のインピーダンスに関する一測定法

安藤

電学誌 昭25-9

電学論 第3巻第1号 昭26-5

三菱電機 第25巻第6号, 1951

☆サージ・インピーダンスの簡易測定法

安藤

電学誌 昭26-2

三菱電機 第25巻 第7号, 1951

☆過渡現象直視装置の使用限界

安藤

電学誌 昭26-4

電学論 第3巻 第2号 昭26-7

三菱電機 第25巻 第8号, 1951

☆明石海峡海底ケーブル衝撃波特性試験

木村, 安藤, 蔭山, 原

電評 第36巻 第2号

☆志津川発電所にて実施した衝撃波侵入時の電位振動

に関する報告(過渡現象直視装置による) 木村, 安藤, 原

三菱電機 第22巻 第6号 1948

関西支部連合大会 (昭22年)

☆過渡現象直視装置による線路の波動抵抗測定

安藤

三菱電機 第21巻 第2号 昭22-3

☆電車の衝撃電位分布の測定

安藤

電評 昭22-7.8月

☆210kV 110,000kVA 3相変圧器内部電位振動

安藤

三菱電機 第21巻第5号

☆210kV 110,000kVA 3相変圧器内部電位振動(続)

安藤

三菱電機 第21巻 第6号

☆MT-30型電車電動機の衝撃電圧特性

安藤

関西支部連合大会 昭21-11

☆連接接地試験

三菱電機 第24巻 第3号 1950

横須賀, 安藤