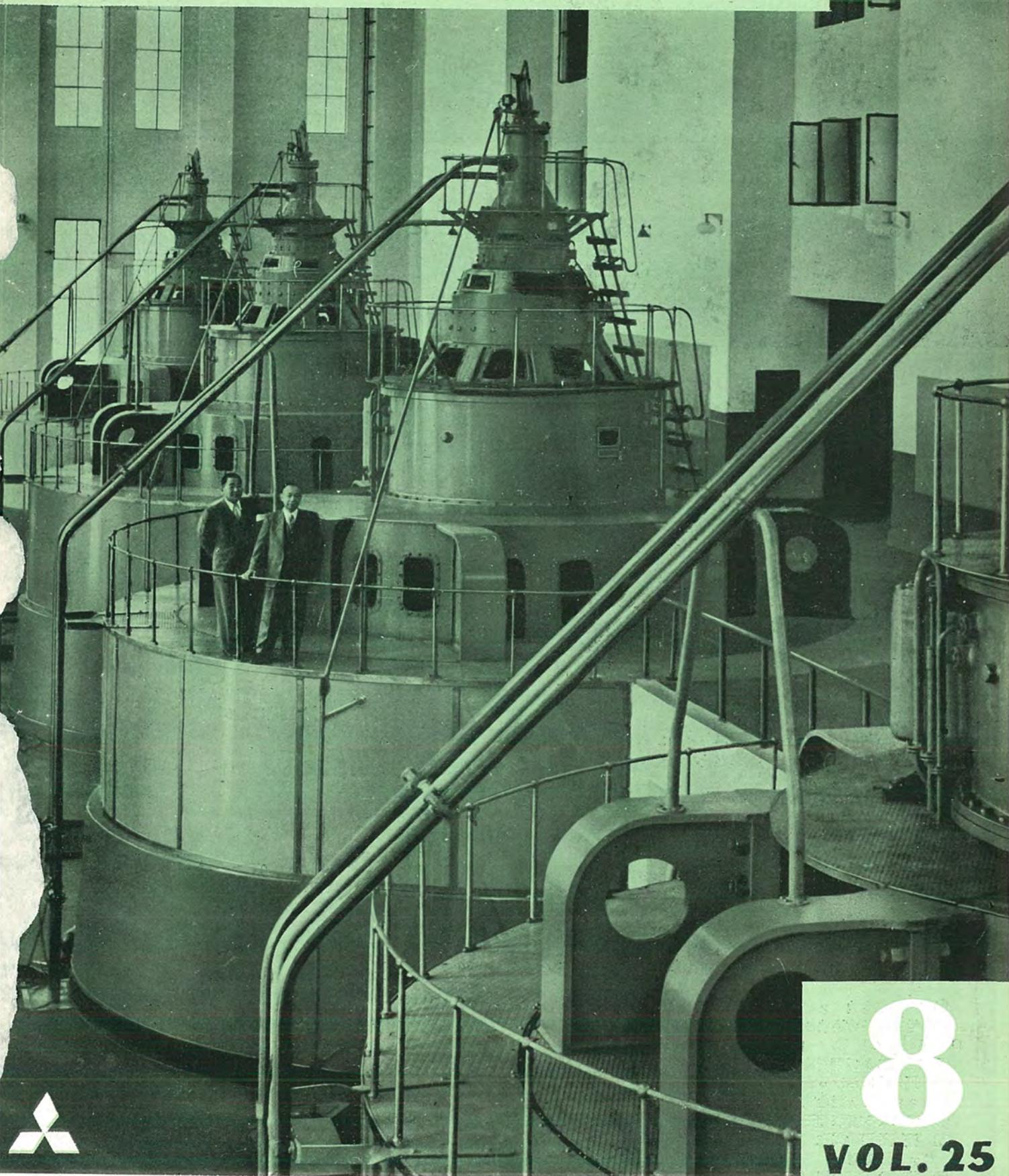


MITSUBISHI - DENKI

三菱電機



8

VOL. 25
1951



三菱電機株式會社

三菱電機

写真解説

東北電力株式会社新郷発電所のカプラン水車発電機で、先に3台納入せるところ本年5月1号機が営業運転に入り以下の電力危機に大いに貢献している。

納入場所 東北電力株式会社新郷発電所
容量 14,000 kVA
電圧 11kV
力率 0.85
周波数 50Hz
回転数 1,875 rpm (32p)
制御 一人制御
原動機 12,500 kW カプラン型水車
(中日本重工業神戸造船所製)
最大有効落差 21.25 m

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・4331

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 福島県郡山市字鏡橋町

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 札幌市北二條東12

大阪営業所 大阪市北區堂島北町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) 5321-5325

札幌営業所 札幌市南一條西5の14

(電) (2) 3378-3911

仙台事務所 仙台市東一番丁63

(電) 仙台 2573-8157

富山事務所 富山市安住町23の2

(電) 富山 4692-5273

廣島事務所 廣島市袋町1(明治生命ビル)

(電) 中 1069-4824

昭和26年 第25卷 第8号

目次

過度現象直視装置の使用限界	2
安藤安二	
共晶黒鉛鉄	15
鈴木一郎・田中敬一	
コークス炉原料炭コンベヤの総括制御	20
蟹江邦雄	
磁気増幅器の特性とその応用	25
浜田文夫	
トラック巡回による発電所開閉所における主要機器損失角の現場試験	34
浅井徳次郎・岩崎晴光・田中修	
火力発電所用電気收塵装置	42
成富公一	
電力用コンデンサ	44
田宮利彦	
水銀整流器	47
力藤又彦	
回転変流機	54
片岡高示	

「三菱電機」編集委員会

委員長	岸本久雄	田宮利彦	安藤三二	石橋英樹
委員	浅井徳次郎	川田勝利	川田新市	小林治一郎
	市吉惟浩	岡屋精一	松田新治	毎熊秀平
	進藤和	澁谷進	松田太郎	宗治
	前田幸夫	米太郎	松井廉介	村
幹事	森義侃	松尾米太郎	薄井廉介	(以上 50 音順)
	吾郷侃二	木村久男	木村久男	

昭和26年12月20日印刷 昭和26年12月25日發行
『禁無断転載』 定価1部金30円(送料8圓)

編集兼發行人 東京都千代田区丸の内2丁目3番地 吾郷侃二
印刷所 東京都港區麻布竹谷町1番地 博文堂印刷所
印刷者 東京都港區麻布竹谷町1番地 大橋佑吉
發行所 三菱電機株式会社内 「三菱電機」編集部
電話和田介(20) 1631-1
日本出版協会会員登録 213013

過渡現象直視装置の使用限界

本論文は過渡現象研究に便利なかつ万能的な測定器として広く用いられている過渡現象直視装置での測定結果がどの程度実際と合うか、あるいはどこまで実際を模擬できるかにつき実験的、理論的に解明したものである。

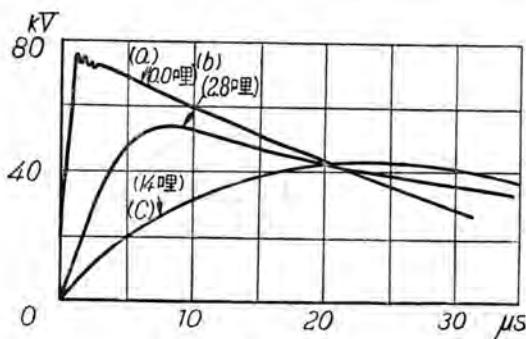
本社 安藤 安二

1. 緒言

過渡現象直視装置は過渡状態の考究のためには、便利なかつ万能的な測定器として広く用いられており、その結果が実際の場合とよく一致するのが認められている。しかし過渡現象直視装置の測定結果がどの程度実際とよく合うか、あるいは放電間隙として用いるサイラトロンが如何なる作用をするかという使用限界についての発表はない。筆者は数年来直視装置を用い種々の測定を繰返し、電力関係の衝撃波に見舞われると思うほとんどすべての機器について現地の使用状態にて実測を繰返し、かつ本装置にて測定できる部分は大概測定を実施したのであるが、ここにそれらの経験と多数得た結果を基として使用限界について考究してみる。誘導の問題は装置の構造およびプラウン管自体の問題となり、同期方式および回路等は今迄多数の方法が発表されているが使用限界には関係ないので、(1) 電圧および電流の問題、(2) 発生衝撃波の繰返し周期の問題、(3) 放電間隙として用いるサイラトロンの問題、の3つにつき検討すれば十分と思考する。

2. 電圧および電流の問題

衝撃波が変圧器等に侵入した場合に非直線的特性を起さす因子としては、①波高値の差異により起るコロナの問題、②侵入電流の大きさにより起る鉄心の飽和の問題



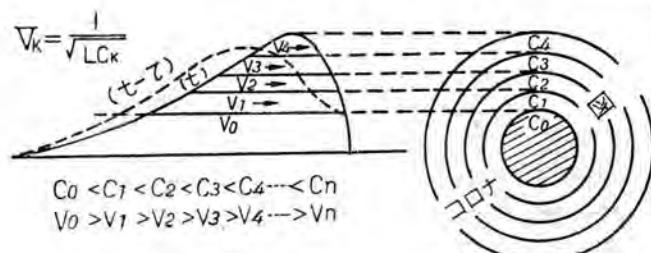
1 図

題、③侵入波の波形に関する問題が考えられる。

まず送電線上の進行波の減衰と変歪につき諸大家が述べておられるところを見ると、コロナによる減衰を含まぬ表皮作用による波形変歪を対象とした論文「送電線の新基礎微分方程式、その解法ならびにこれによる進行波異常現象の解説」⁽¹⁾において京都大学林重憲教授が新しい基礎微分方程式にて理論的に波形変歪を説明しておられ、1図に示す如き代表的実験結果と理論的計算の結果がよく一致することを示している。

一方コロナによる減衰変歪を考えたものに E. W. Boehne 氏等の考えがあり、Boehne 氏は進行波を 2 図の如く電位の高さに応じて幾つかの層に分け、このおのの電圧層はそれに比例する導電的コロナ層によつて大地に対する容量は増大するが、インダクタンスは変化しないとして $V_k = 1/\sqrt{LC_k}$ の如くおのの電圧段階により伝播速度が異り波形が変歪すると説明し、自然雷および人工雷の観測結果とよく一致している理論を立てておられ、また減衰の実験式として Skilling の公式あるいは Foust および Menger の公式があり、⁽²⁾ 減衰が電圧の 2 乗にあるいは 3 乗に比例する実験式および結果が導びかれている。

そこで送電線上の進行波はコロナにより差異が顕著にあらわれてくるのは明かである。しかし当社において実施した 220 kV 50,000 kVA、単相変圧器の衝撃試験⁽³⁾、日発岡山変電所納入の 25,000 kVA 140 kV 中性点絶縁



2 図

低下変圧器の衝撃電圧試験および日発神瀬納入 12,000 kVA 変圧器の衝撃電圧試験の結果によると実際の全波試験を行つた結果と過渡現象直視装置にて測定した結果とがよく合つているという事実により、(またこの場合に)コロナ音測定器によりコロナ発生の有無を確かめてある。コロナ発生により著しく波形に変化を起すことがなく、送電線の場合の如く長い距離にわたりコロナを発生しうる状態のもののコロナ発生時の減衰状態を除き他のすべての器機につき低い電圧にて高電圧印加の場合を推定できることが判る。(しかし送電線においてコロナ発生時にもサージ・インピーダンスはそれ程変らぬものである)

侵入波の波形については直視装置では所望の波形に合わせて試験できるので問題はないと思う。表皮作用を考える時は周波数によりインピーダンスは大きな差異を有するのであるが、実際に衝撃波侵入の場合は送電線は $\sqrt{\frac{L}{C}}$ なる線路常数により一定なるサージ・インピーダンスを有するとしてよいのであり、その他の機器においても進行波として考えうる程度の衝撃波では侵入波形により大きなインピーダンスの差異はないものである。このことに関しては先に「サージ・インピーダンスの簡易測定法」において検討した所である。

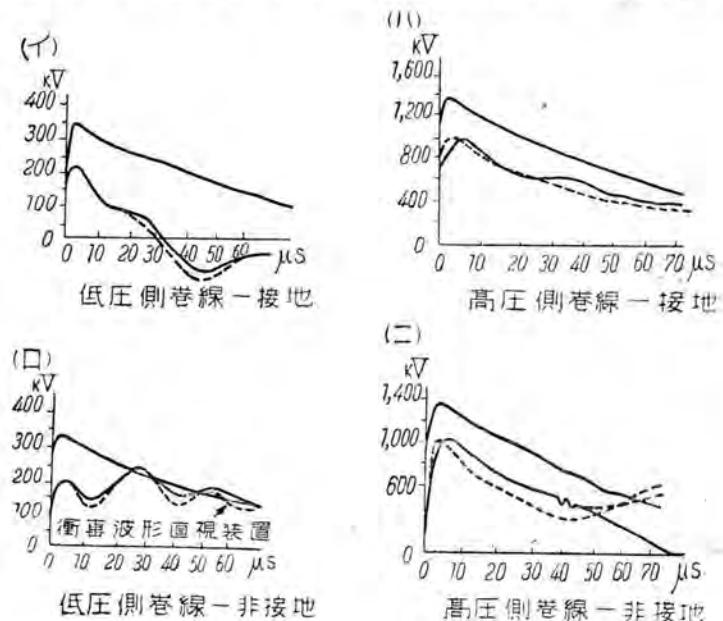
つぎに侵入電流の大きさにより起る鉄心の飽和の問題であるが、これは雷擊等により衝撃波が変圧器あるいは発電機等の鉄心を有する機器に侵入した場合に果して鉄心が飽和するか否かの問題である。これは変圧器等に侵入した電流がどこを流れるかにより相当な差異があるわけであり、大体侵入電流の最高値は侵入衝撃波を巻線のサージ・インピーダンスにて除した値となり、たとえば 140 kV 変圧器において 750 kV の全波試験電圧が侵入した時は変圧器のサージ・インピーダンスを $5 \text{ k}\Omega$ とすると 150 A となる。この電流が全部励磁電流となればもちろん飽和の現象も考えられるのであるが、磁束の立ち上りの遅れおよび巻線間の容量の影響等あり雷擊等の早い現象ではとても鉄心の飽和にまで導くことはできないと考えられる。この例として衝撃試験実施の場合の全波試験の場合と過渡現象直視装置にて測定した値とがよく一致することよりも鉄心の飽和は起きぬものと考えられる。

つぎに実際の衝撃電圧試験における衝撃電圧発生器による測定結果と直視装置による結果との比較を述べる。

ア. 220 kV, 50,000 kVA 單相変圧器の衝撃電圧試験の結果⁽³⁾の借用

この試験において電圧変動率を過渡現象直視装置にて測定しており、かつ実際の全波試験の場合につき両者を過渡現象直視装置の使用限界・安藤

比較してある。その結果を借用すると 3 図に示す如くであり、(イ) および (ロ) は低圧側巻線についての試験で他端の接地および非接地の場合で両者よく一致しており、(ハ)、(ニ) は高圧巻線の試験の場合で他端接地と非接地の場合であり、(ハ) はよく一致しているが (ニ) は両者の開きがかなり大きい。これは直視装置の時間較正に多少の誤差が入つているためと思われる。



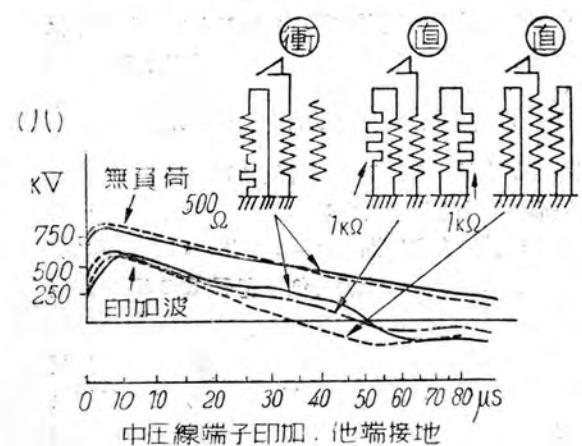
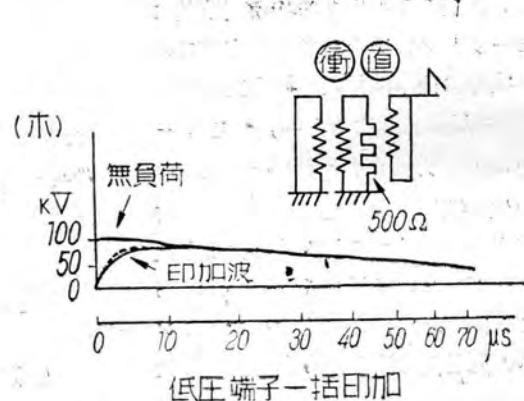
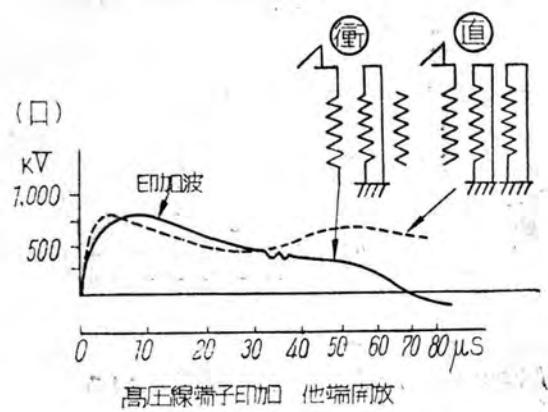
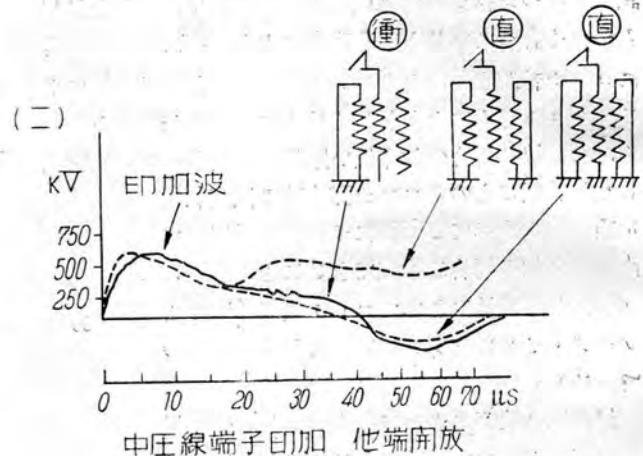
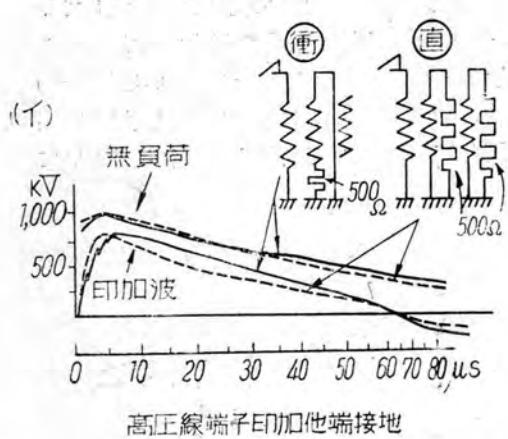
3 図 (注) 実線は陰極線オシログラフ、点線は衝撃波形直視装置による

ある。((ニ) の波尾で両者が異つているのは開放端子における開端のためである。) さらに電圧変動率は直視装置で測定した結果と実際の電圧変動率試験により測定した結果はよく合つている。また上記の試験実施時にはコロナ音記録器が取付けられその同時記録が多くあり 3 図に示した波形の場合も微弱であるが(破壊までに至つておらず)、コロナ音の発生を聞きコロナの出た状態である。

1. 25,000 kVA 中性点絶縁低下変圧器の衝撃電圧試験⁽⁴⁾

この場合の両者の比較を 4 図および 1 表に示す。4 図には測定オシログラムと変圧器結線を示し、この結線に () および () の印を付したのは、衝撃電圧試験および直視装置にて測定したものを示す。また測定時の発生器の内部常数を 4 図 (ハ) に示し、(イ) (ハ) および (ホ) には無負荷発生電圧をも付加した。オシログラム中で実線は衝撃電圧発生器に対するもので、点線および鎖線は直視装置によるものである。

ところで 1 表に示した波形および電圧変動率と 4 図を対比して検討すると、(1 表には回路条件を記入し、かつ備考に電圧変動率および衝撃電圧発生器の欄の意味を記してある。) 直視装置の内部常数は L を含まず、かつ C_s , R_s , R_e 共に若干小であるから衝撃電圧発生器の実験の波形よりも波頭長は短かくかつ波尾長も小である。この差異は別に数値計算を行わなくても首肯できる。



		$I_s(\mu F)$	$I_s(\Omega)$	$L(mH)$	$R_e(\Omega)$
高圧印加	衝撃電圧発生器	0.00925	1,080	0.9	6,000
	直視装置	0.009	1,000	0	5,400
中圧印加	衝撃電圧発生器	0.00925	1,080	0.9	6.00
	直視装置	0.009	1,000	0	5,400
低圧印加	衝撃電圧発生器	0.05	288	0.09	750
	直視装置	0.05	300	0	800

衝撃電圧発生器内部常数

4 図

ものである。

4 図(イ)の高圧端子印加他端接地の場合は(●)と(○)は低圧巻線の状況が違うが、中圧巻線の 500Ω 接地のために低圧の状況が波形に変化をおよぼさぬためにこの結線のものを用いたのである。この場合に電圧変動率はよく合つており波形も上述の回路常数の差異と考えるとよく合つているといふことができる。さらにこの場合はコロナ音試験器により、コロナの発生が記録されているが、実試験と 60% 低電圧で試験した場合に波形の差異が認められず、コロナ発生による静電容量増加が変圧器の内部容量に大きな変化をおよぼすものでないことを示すものである。

4 図(ロ)は高圧線端子印加他端開放の場合であり(●)と(○)が $30\mu s$ 以後で変つているのは中性点側保護問隙が閉絡したためであり、小振動はこの閉絡により発生したものである。両者の低圧巻線の差異は上述とどうよう

に問題にならぬ。電圧変動率で(●)が 20.8 であり幾分小になつてゐるのは実際は(イ)と同一の電圧変動率でなければならぬはずであるから、充電電圧等に差異が生じたものと思う。(イ)と(ロ)は中圧巻線の 500Ω の有無で若干差異はあるはずであるが、この抵抗は中性点側に入れたために約 $20\mu s$ 付近までは両者共に同一と考えてよい。)

4 図(ハ) (●)と(○) $1k\Omega$ 挿入の場合とは波形的によく一致しているが電圧変動率に差異を生じてゐるのは、(●)は 500Ω を中性点側に入れ(○)は $1k\Omega$ を線路端子側に入れたためであり、(巻線のサージ・インピーダンスに比し 500Ω は大した影響はないが $1k\Omega$ となると相当に影響する。) 電圧変動率は(●)の高圧低圧直接接地の場合がよく合つている。電圧変動率で実試験と低電圧で測定した場合に差異があるのは測定上の誤差と考えられる。波頭長が(●)が短いのは発生器内部常数が直視装置が小で

1 表 電圧変動率および波形

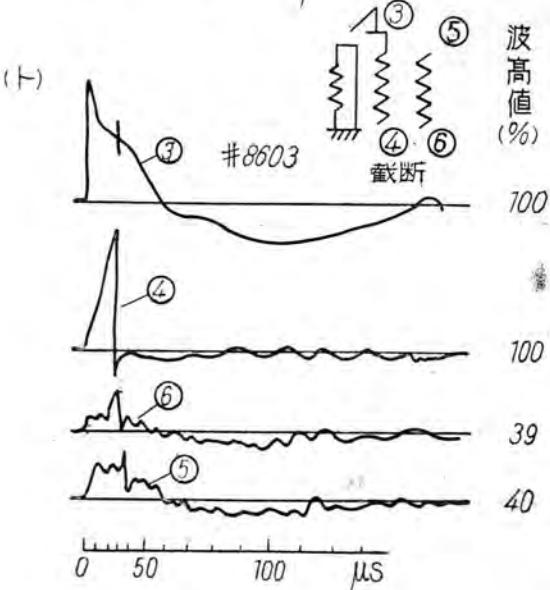
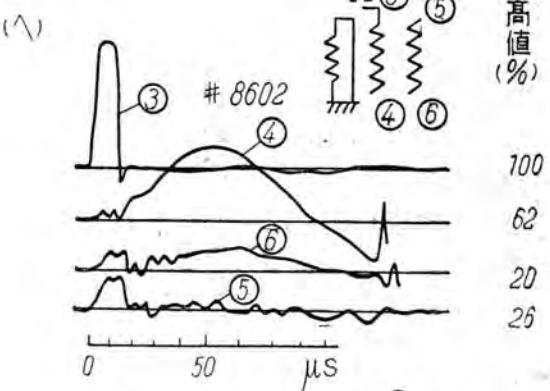
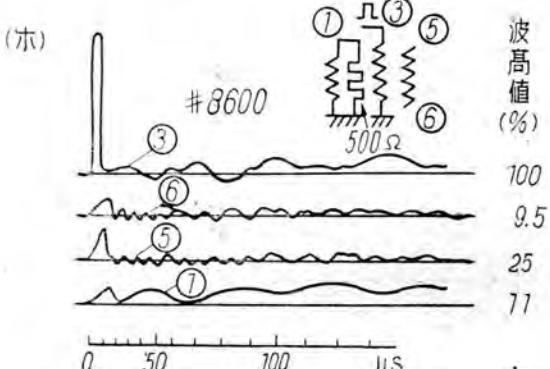
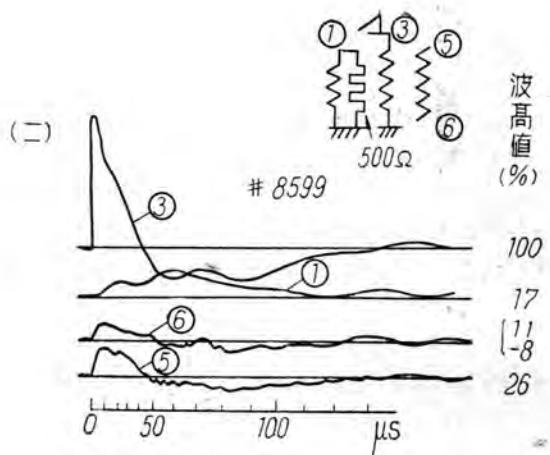
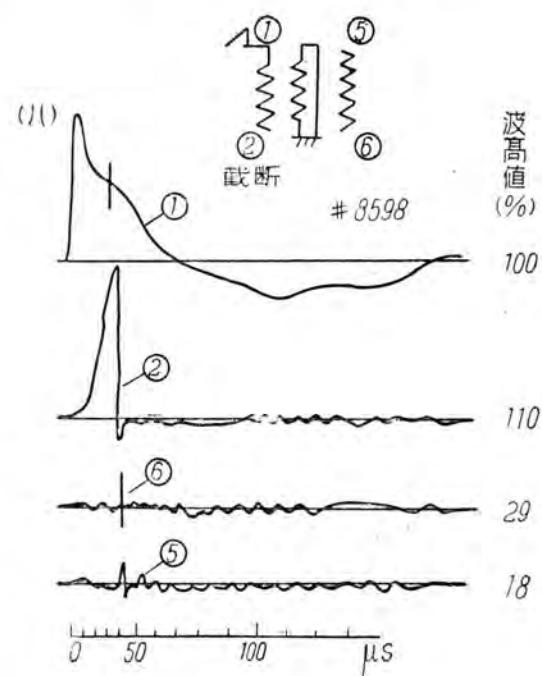
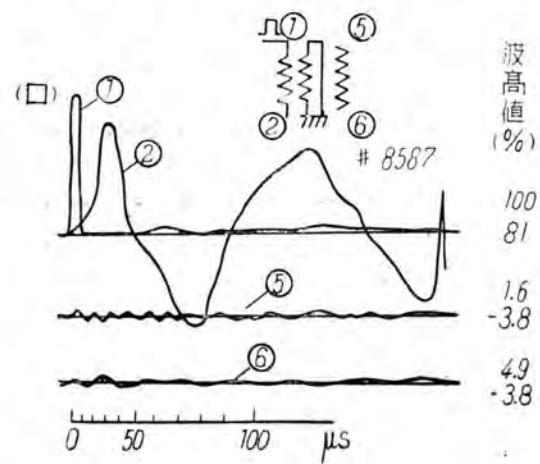
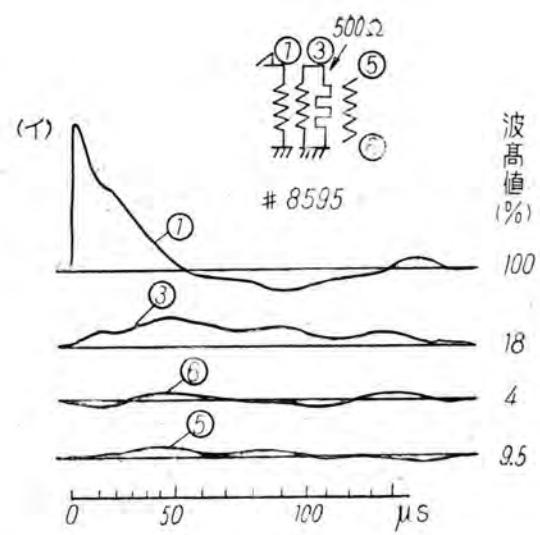
		波形(μs)	電圧変動率(%)	回路条件
高圧線端子印加	他端接地	衝撃電圧発生器	5×28, 4×30	23.9, 26.4 中圧中性点側に 500Ω 挿入
	他端開放	実試験	5×32	24 低圧開放
	他端開放	直視装置	3×25	中圧, 低圧共に 500Ω 挿入
	他端開放	実試験	5×38	中圧一括接地, 低圧開放
中圧線端子印加	他端接地	直視装置	4×1	中圧, 低圧一括接地
	他端開放	衝撃電圧発生器	—	43.7 高圧中性点側に 500Ω 挿入
	他端開放	実試験	6×25	51 低圧開放
	他端開放	直視装置	4×20(4×20)	高圧低圧一括接地(高圧低圧に $1k\Omega$ 挿入)
低圧巻線印加	他端接地	実試験	6×17	51 高圧一括接地, 低圧開放
	他端開放	直視装置	4×1	高圧, 低圧一括接地
低圧巻線印加	一括	実試験	6×53	28.2 高圧一括接地
	一括	直視装置	5×55	29.5 中圧 500Ω 接地

備考 1. 電圧変動率は $\frac{E_0 - E}{E} \times 100\%$ で表わす。 E_0 無負荷電圧, E : 負荷電圧

2. 衝撃電圧発生器の値は 60% 程度の低電圧で測定した値を示す。

2 表 低圧巻線誘起電圧

	低圧(5)		低圧(6)		備考
	クリドノグラフ (%)	直視装置 (%)	クリドノグラフ (%)	直視装置 (%)	
高圧線端子印加, 他端接地, 全波	9 以下	9.5	9 以下	4	5 図(イ)
〃 他端開放, 中性点截断	12.3	8	11	29	〃 (ハ)
〃 〃 截断波	7.5 以下	1.6 -3.8	7.5 以下	4.9 -3.8	〃 (ロ)
中圧線端子印加, 他端接地, 全波	32 以上	26	23.6	11 -8	〃 (=)
〃 〃 截断波	27 以上	25	17.5	11	〃 (ホ)
〃 他端開放, 中性点截断	32	40	22.6	39	〃 (ト)
〃 〃 截断波	27 以上	26	19.0	20	〃 (ヘ)



あるためであり、(a)の高圧低圧直接接地が非常に短いのはつぎの(=)と対比すればよくわかるが当然のことである。(低圧巻線の状態は全般的にほとんど影響しておらぬのは前述のとおりである。)

4図(=)は(ロ)で説明したとどうように中性点側の保護間隙開閉のためにかえつて(ハ)(a)の高圧低圧直接接地の場合によく一致している。4図(ホ)は(ハ)(a)共によく一致している。

要するに両者よく一致し、かつ鉄心の飽和およびコロナの影響は僅少であることを立証するものである。

さらに低圧巻線に発生する電圧をクリドノグラフにて測定したものと直視装置にて測定したものとを比較すると、5図および2表に示す如くなる。この場合クリドノグラフは高圧側、中圧側にも全部挿入したのであるが測定線を長く張つたために非常に多くの誤差が生じ、低圧側にも若干誘導があり、かつ低圧保護間隙の開閉等も伴い直視装置の結果と直接対比はできぬのであるが、(低圧は変圧器の裏側にクリドノグラフを設置したので割合に誘導は少なかつた。)その傾向はよく合つてあり、衝撃電圧により変圧器鉄心が飽和に至らぬという論述の一部を印加波形が類似であるということと共に構成するものと思う。

ウ. 日発神渓納入 12,000 kVA 変圧器の衝撃電圧

試験

この場合の両者の比較は6図および3表に示す。6図にて実線は実試験時の測定オシロであり、点線は直視装置による測定オシロである。高圧側印加の場合は実試験の方が波尾が全般的に長いが、これは3表にも示す如く内部常数の差異によるものであり、無負荷波形がすでに実試験では $1.5 \times 80 \mu\text{s}$ 、直視装置では $1 \times 70 \mu\text{s}$ と差異がある。低圧側印加の場合は内部常数に若干の差異があるが無負荷波形は両者ほとんど差異はなかつた。波頭が全般的に衝撃電圧発生器の方が若干長くなっているのは接続線が長くなるための影響である。つぎにおののにつき検討する。

6図(イ)には印加波と中性点 N の波形を測定し、

直視装置では N 点を截断せぬものと截断したものとの両者を示す。印加波で $30 \mu\text{s}$ 付近より上昇するのは前者であり、 $30 \mu\text{s}$ 付近で振動を伴い下降するのが後者である。それに相当する N 点の波形も示してある。ここで実試験時の印加波に急峻小振動を生じておらぬのは N 点の開閉の仕組みが異なるものでオシロを見たらよくわかると思う。また印加波を 100% とすると N 点の電圧は非截断時 160%，截断時 107%，実試験 105% となりよく一致している。印加波形も前述の如くよく合つているといふ。

6図(ロ)は1相印加の場合の一例を示すが、低電圧で測定した場合、実試験の場合、直視装置の場合若干相違しているが、測定誤差が入つたものと考えられる。波形は上述の如くである。

6図(ハ)は低圧1相印加の場合であるが(ロ)とどうのことがいわれる。

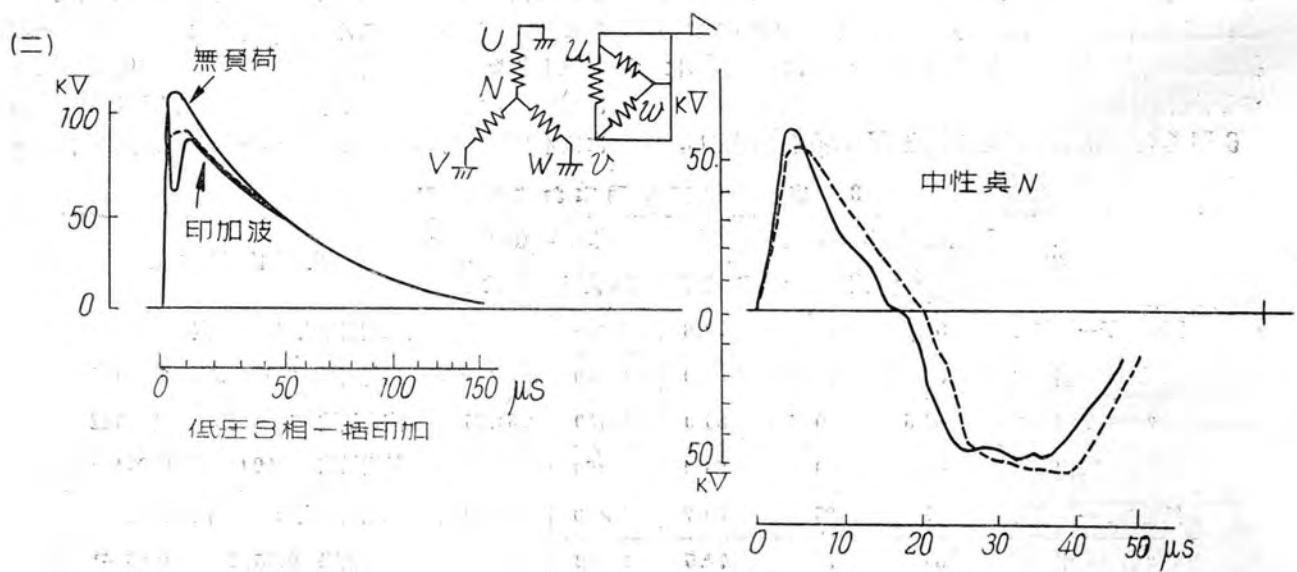
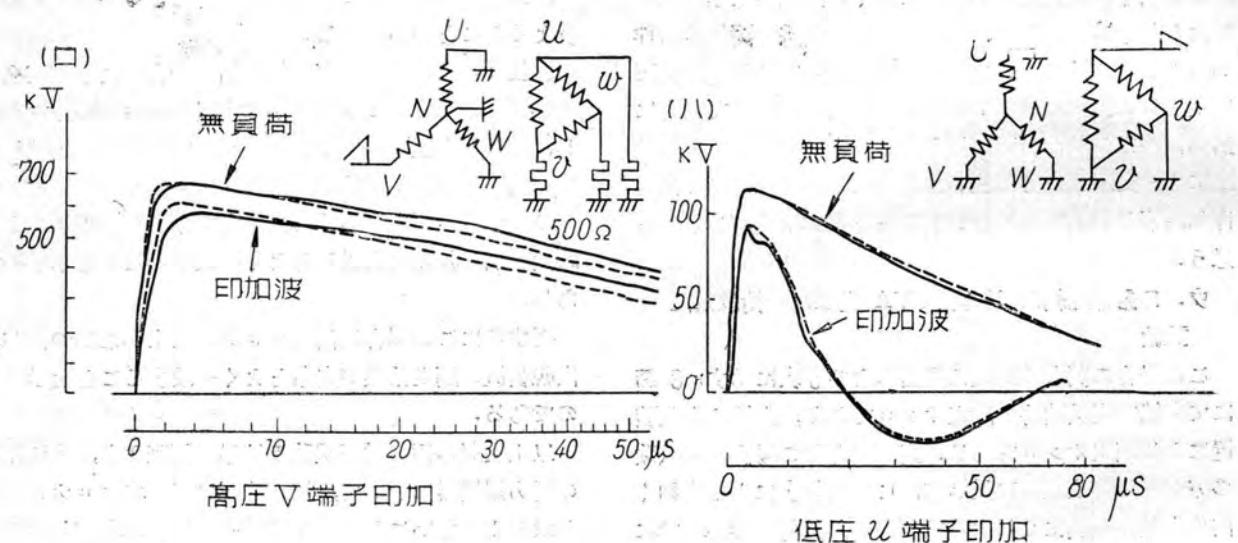
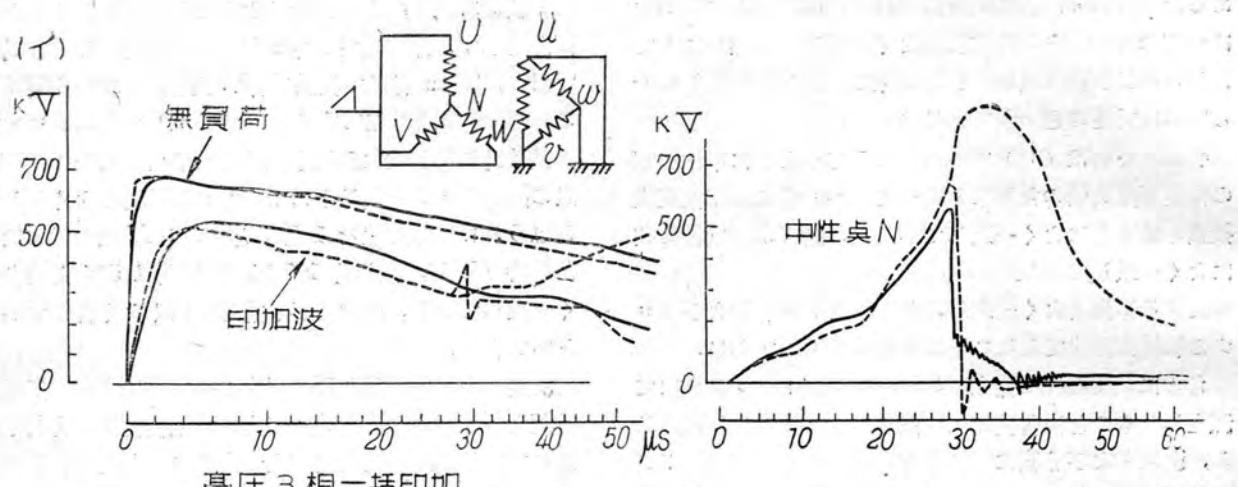
6図(=)の低圧3相一括印加の場合は衝撃電圧発生器実試験の場合はオシロに示す如く波頭に振動が重複し、この最大値で変動率を示したので両者に相当差異ができたがこの振動を除けば両者一致してくるのは明かである。中性点 N の波形では両者若干異なるが零線および時間掃引の誤差を考えるとよく一致することを示すのである。

要するにこの場合の例はコロナが発生しなかつたが、直視装置の測定結果が実際とよく一致することを示すものである。

以上実際の衝撃電圧試験の結果の例証より、変圧器等の電力用機器において、衝撃波形に対してコロナの影響がほとんどないこと、および鉄心の飽和現象が起きぬことを証明したと共に低い電圧にてコロナ発生を作り高電圧の場合を忠実に推定できることがわかつたと思う。(衝撃電流に対しても小なる衝撃電流にて推定できることになる。)もちろん波尾の非常に長い波形で磁束の立ち上がりおよび鉄心の飽和の現象を見たいとか、あるいは高電圧にてコロナ発生時の変化の状態を見る等の目的には本装置は用いられぬ。(もつとも模倣鉄心を作りサ

3表 電圧変動率および波形

	電圧変動率 $E/E_0 \times 100$ (%)		波形 (μs)		発生器内部常数	
	衝撃電圧発生器	直視装置	実試験	直視装置	実試験	
高圧端子一括印加	80.0	76.3	79.8	3×—	4×45	衝撃電圧発生器 直視装置
高圧端子U相印加	88.2	90	83.0	2×50	3.5×—	主蓄電器 $0.009 \mu\text{F}$ $0.009 \mu\text{F}$
U V相 π	87.5	90	86.0	2×50	2.5×65	直列抵抗 $1,080 \Omega$ $1,100 \Omega$
U W相 π	—	90	86.0	2×50	2×60	放電抵抗 $6,000 \Omega$ $5,000 \Omega$
低圧端子一括印加	91	85	89.7	2×40	3×40	衝撃電圧発生器 直視装置
U u相 π	80	75	72.5	2×12	3×11	主蓄電器 $0.05 \mu\text{F}$ $0.05 \mu\text{F}$
U v相 π	—	75	73.8	2×12	2.5×12	直列抵抗 216Ω 300Ω
U w相 π	—	75	66.5	2×12	2.8×11	放電抵抗 793Ω 800Ω



イリトロンの能力内の電流にて磁束関係の測定をするのはできる。)

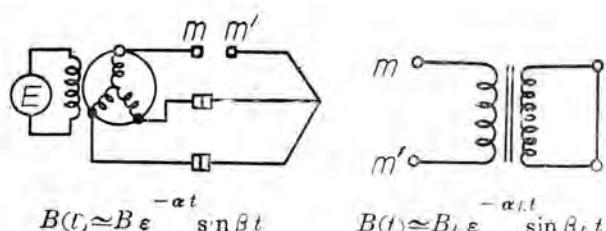
つぎにしかば直視装置の発生電圧を如何程にすればよいかという問題に関しては、現在作られているサイラトロンの定格により電圧電流の最大値はおさえられるわけであり、大型のサイラトロンを用いれば陽極最大電流75 A、最大尖頭逆耐電圧15,000 V程度のものもあるが、⁽⁶⁾ 特殊の目的たとえば機器の劣化検出あるいは絶縁耐力を測る等に用いる⁽⁷⁾⁽⁸⁾ 以外は装置の軽量および操作の簡便および分圧器なしに直接測定を実施するという点より400 V程度の低い電圧がよいと考える。筆者が発生電圧が低くて測定に苦労した例としては運輸省高崎変電所および滋川変電所における実測⁽⁹⁾にて65 kVより1,500 Vにおとしてある水銀整流器用変圧器の電位振動を測定した場合があるが、これ程電圧比の大なる所でも何とか少い誤差で結果の整理ができる、これ以外は一度も測定に困却したことがない。

4 表 交流発電機および単相変圧器のインピーダンス函数
交流発電機

	kVA	kV	f	α
凸極	50,00	6.6	19,000	2.6×10^4
	21,111	11	11,200	$1.1 \times \varphi$
	7,500	12	12,900	$1.2 \times \varphi$
	6,000	6.6	9,500	$0.98 \times \varphi$
	3,000	11	9,000	$1.6 \times \varphi$
	2,800	6.6	11,700	$1.4 \times \varphi$
	2,500	3.3	30,000	$2.4 \times \varphi$
ターン比	50,000	11	30,600	2.8×10^4
	50,000	11	22,200	$2.6 \times \varphi$
	15,000	11	37,000	$3.2 \times \varphi$
	6,250	3.5	60,000	$2.8 \times \varphi$
	1,875	3.5	88,000	$1.2 \times \varphi$
	750	3.5	56,000	$1.8 \times \varphi$

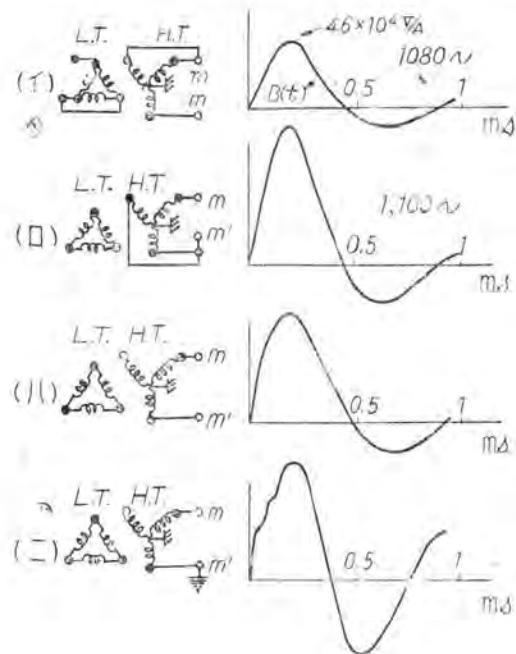
単相変圧器

kVA	kV/kV (HT)/(LT)	f_H	f_L	α_H	α_L
10,000	30/10	29,000	89,000	0.98×10^4	5.4×10^4
7,500	66/11	17,600	150,000	$0.84 \times \varphi$	$3.2 \times \varphi$
6,000	93/38	90,000	100,000	$0.70 \times \varphi$	$3.6 \times \varphi$
5,000	57/11	12,300	64,500	$0.55 \times \varphi$	$3.6 \times \varphi$
2,000	30/6.6	16,700	70,000	$0.92 \times \varphi$	$3.9 \times \varphi$
2,000	35/3.6	23,000	223,000	$0.74 \times \varphi$	$6.3 \times \varphi$
2,000	22/3.5	54,600	222,000	$3.0 \times \varphi$	$12.2 \times \varphi$
1,500	10/3.0	94,000	330,000	$3.7 \times \varphi$	$10.6 \times \varphi$



3. 衝撃波発生の繰返し周期の問題

過渡現象直視装置は繰返し衝撃波を発生する関係上繰返し誤差が入つてくるか否かについて検討する必要がある。この繰返し誤差の問題に関しては「インピーダンス直視装置に関する検討」⁽¹⁰⁾において詳細な発表があつたが、実際の電力用機器は減衰が割合に早くこの繰返し誤差を問題にするのは繰返し周波数をどれまであがうかということに帰する。実際に衝撃試験の際には常に被測定物に並列に被電抵抗が接続されるので機器固有の減衰率よりさらに減衰が早くなるのも当然のことであるが、機器の固有の減衰率より繰返し衝撃波発生回数を如何程に高くなしらるかは、測定速度向上の関係上一考を要する問題と思うので、東大福田教授の発表されている「電路遮断に伴う過渡電圧について」⁽¹¹⁾および「電気機器の固有電気振動の波形」⁽¹²⁾に記載してある所を借用して検討してみる。これによると交流発電機および単相変圧器について固有周波数および減衰率は4表の如くなり、交流発電機は固有周波数10,000-90,000 Hzとなり、減衰率は最小のもので 0.98×10^4 となる。すなわち $400 \mu s$ にて約2%に減ずるものである。変圧器については固有周波数は遙かに高くなり減衰率は最小のもの



7 図

で 0.55×10^4 となり、 $500 \mu s$ にて約6%に減少する。また変圧器と発電機の組合せにつきあるいは変圧器の3相結線の場合も同様であり、誘導電圧調整器はさらに減衰が早い。しかし固有周波数がとくに低くなる例として7図の如く変圧器の開放の場合がある。

故に電力機器の各種結線の場合の固有振動周期および減衰率を全般にわたつて求めるためには繰返し現象発生間隔を4ms程度にとらねばならぬことがわかる。しかし一般に標準波の侵入した場合も推察するには必ず機器には送電線が接続されるものであり、衝撃電圧発生器には必ず放電抵抗が挿入されるものである故に7図に示す如くインピーダンスの非常に高い、振動周波数の低いものは常に非振動的となり、侵入衝撃波の消滅と共に減衰して行くものである。たとえば7図(イ)においてインデシャル・インピーダンスは

$$B(t) = 8.36 \times 10^4 e^{-2.92 \times 10^3 t} \sin 6.78 \times 10^3 t \quad \Omega$$

となり(tの単位は秒)

$$B(p) = 8.36 \times 10^4 \frac{6.78 \times 10^3 p}{(p + 2.92 \times 10^3)^2 + (6.78 \times 10^3)^2} \quad \Omega$$

をうる。

このインピーダンス函数 $B(p)$ に並列に抵抗 R (放電抵抗) を接続して合成のインピーダンス函数 $Z(p)$ が非振動になる抵抗 R の値を求める

$$Z(p) = \frac{R B(p)}{B(p) + R} =$$

$$\frac{56.6 \times 10^7 R p}{R p^2 + (5.84 \times 10^3 R + 56.6 \times 10^7) p + 54.52 \times 10^6 R} \quad \Omega$$

より

$$(5.84 \times 10^3 R + 56.6 \times 10^7)^2 > 4 R \times 54.52 \times 10^6 R$$

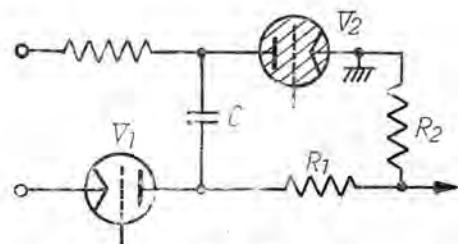
を満足する値になる。すなわち R は常に正の整数であるから、

$$R < 63.4 \times 10^3 \quad \Omega$$

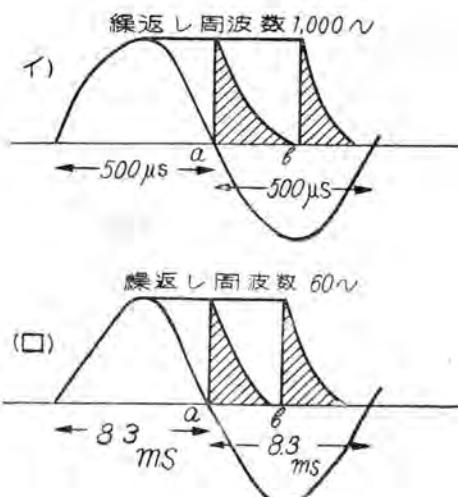
をうる。すなわち約 63 kΩ 以下の放電抵抗を接続すれば常に非振動的となるものである。よつて繰返し衝撃波印加の間隔を 500 μs にとれば十分に全般にわたつて衝撃波侵入時の状態を推察できるのである。筆者の測定した範囲は 110,000 kVA 変圧器および 93,750 kVA タービン発電機までにおよぶが振動周期および減衰の程度も上記の例と大体同程度であつた。

さらに 8 図に示す繰返し衝撃波発生機構につき繰返し周期の検討を進めると、 V_1 にて半周期間充電してつぎの半周期の間に蓄電器 C を V_2 を通して放電させるのであるが、9 図により 1,000 Hz あるいは 60 Hz の繰返しをなす場合主蓄電器の放電を a 点あるいは b 点に選ぶるのであり、(イ)において 1,000 Hz の繰返しをもつて b 点で放電すれば標準波形の侵入時の測定に十分である。 V_2 の電弧が切れてしまふまでに 250 μs の間隔があり、つぎに 750 μs の間隔をもつてあたたび衝撃波を印加することになる。

a 点で印加すれば印加波形を半波尾長 200 μs 程度までもとりうる標準波よりも相当に長い波形についても試験できる。またつぎの衝撃波印加までに 500 μs の間隔がある。故に a 点および b 点に放電開始の時期を選んで繰返し周波数を 1,000 Hz とすれば相当広範囲の目的を達しうることがわかる。また標準波印加の場合の



8 図



9 図

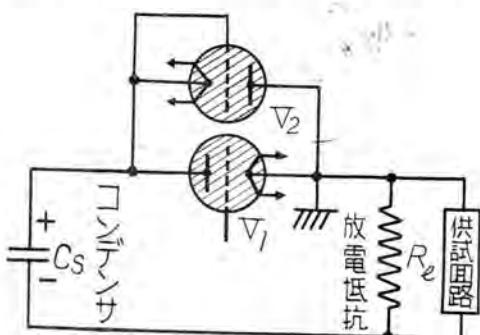
み対称とすれば繰返し周波数は 2,000 Hz にもあがうるのは当然であるが、大体繰返しの最高限度を 1,000 Hz とするのが妥当と思う。しかし繰返しを 1,000 Hz とした場合変圧器の如く静電容量の小なるものの試験は問題ないのであるが大容量の発電機あるいはケーブルの如きものの測定は必然的に主蓄電器 C の容量を増加せねばならぬので充電電源を強力なものにしかつ充電用真空管の容量も大として 250 μs の間に所望の電圧値までに充電する必要がある。これは繰返し周波数をあげた場合の欠点の一つである。以上の説明にて繰返し周波数の最高限度を 1,000 Hz として測定速度を高めると共に波形も種々の場合につき実施できることがわかつたと思う。

つぎに繰返し周波数を 60 Hz とすれば 9 図(ロ)に示す如く 8.3 ms の減衰の期間もあり、印加波形も最高 4 ms 程度の半波尾長を有する波形に対する試験もでき、かつ主蓄電器の充電用電源も簡単に強力のものがえられ、また約 4 ms の間に所望の電圧まで充電すればよいのであるから、主蓄電器の容量は 1 μF のみならず相当に大なる容量にまでとりうるのであり、開閉サージに相当する如き波尾の長いものに対する測定もできるのである。インデシャル・インピーダンスを測定する福田教授の方法を用いる場合も繰返し現象を 60 Hz にとればあらゆる場合につき測定できるのももちろんである。しかしこの場合の欠点としては早い振動周期の高い現象を測定するに写真測定に時間がかかるのである。(現在はラウン管が相当に明るくなつたのであるが) 筆者の経験では全

掃引時間 $50 \mu\text{s}$ 程度の現象を測定するのに 6^{th} N では 20 秒程かかり、 $1,000 \text{ N}$ では 2 秒程度ですむのである。つぎに繰返し衝撃波を印加できない試験には真空管のエミッションの測定がある、かようなものには過渡現象直視装置は使用できないのはもちろんである。

4. 放電間隙として用いるサイラトロンの問題

本問題に関しては「サイラトロン電弧のインピーダンスの一測定法」⁽¹³⁾において詳細に測定し、かつ論議した所であるが要約すると、(i) サイラトロンは常時流れているよりも小なる正性および逆性の衝撃波に対してはインピーダンスは低い、(ii) 常時流れているより大なる逆



10 図

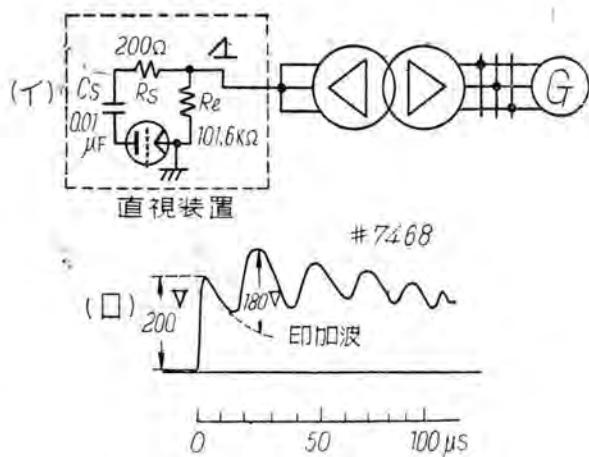
性衝撃波に対しては、その大きさにより異なるが大なるインピーダンスとなる。(iii) TX-920 は陽極電流約 18 mA 以下では不安定となる故に逆性正性の衝撃波の反復する回路ではサイラトロンを流れる電流が不安定部に至らぬように放電抵抗値を選定せねばならぬ。(iv) 逆電流吸收用の V_2 はその効果が認められず、 V_2 の格子を正電位に保つておいても $2 \mu\text{s}$ 程度の不連続はきみがれぬ。かえつて R_e および C_s を適当にし常にサイラトロン短絡の状態で用いるのが得策である。(10 図)(放電抵抗値が適当であつても C_s の容量が小で早く電流が零になる時は、それ以後はサイラトロンは開放状態になるのは当然である)(v) 正負と振動する振動電流を通し常にサイラトロンを短絡状態に保つ事は困難である。(振動は低い電圧より徐々に大となるのであり、過渡現象研究には低い電圧の所でも不連続点なく表わす必要があるためである。)

それで放電抵抗の不適合等で分析に苦しんだ例および逆並列に挿入した V_2 の動作した例を引用説明してみる。

ア. 志津川発電所にて電位振動を測定した場合の例

11 図において(イ)は結線図、(ロ)は印加波を測定したオシロを示す、ここで放電抵抗 $R_e = 101.6 \text{ k}\Omega$ であり印加電圧は約 200 V である故に放電抵抗を流れる電流 i_e は

$$i_e = \frac{200}{101.6 \times 10^3} = 1.97 \times 10^{-3} \text{ A} \\ = 1.97 \text{ mA}$$



11 図

となり、サイラトロン電流として不安定部に属する、一方変圧器の 1 相のサージ・インピーダンスを単に $5,000 \Omega$ と仮定すると、3 線一括では約 $1,667 \Omega$ となり変圧器内で i_e すなわち 120 mA の電流が往復反射する

$$(i_e = \frac{200}{1667} \Omega = 0.12 \text{ A} = 120 \text{ mA})$$

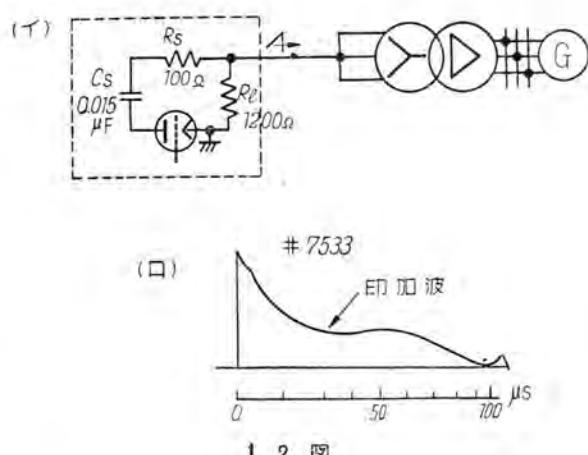
と簡単に考えてよいと思う。すなわち基礎の不安定電流 1.97 mA に対して 120 mA の変動が考えられるから、不安定はまぬがれないのである。

今一応サイラトロンは短絡状態にあると考え、 120 mA の単位電流が C_s すなわち $0.01 \mu\text{F}$ の容量を充電すると考えるとその端子電圧 E_s は

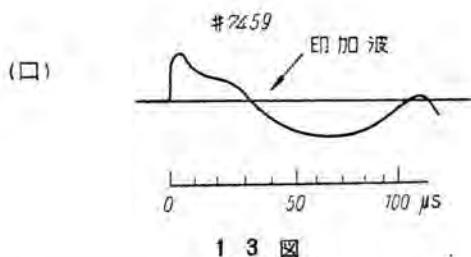
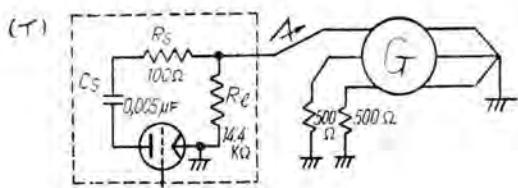
$$E_s = \frac{I}{C_s} t = \frac{0.12 \text{ A}}{0.01 \times 10^{-3}} t = 0.12 \times 10^8 t$$

すなわち $10 \mu\text{s}$ 経ると 120 V の電圧が C_s の両端に出る事になる。しかるに実際は 11 図(ロ)に示す如く 180 V 程度の電圧が出ている。このことはサイラトロンの電弧がすつかり切れてしまつて開放状態になつたことを示すものである。

つぎに 12 図は放電抵抗 R_e が $1,000 \Omega$ の場合で放電抵抗を流れる基礎の電流は安定部分にあることはもちろんで変圧器内の往復反射により、不安定部分を生することなくサイラトロンは常に短絡状態と考えてよいものである。

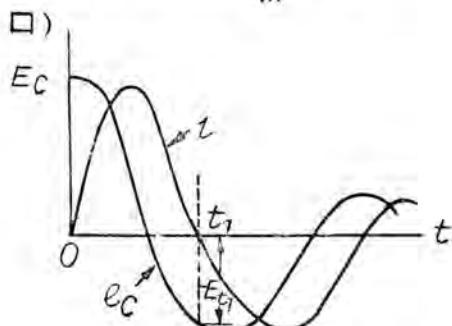
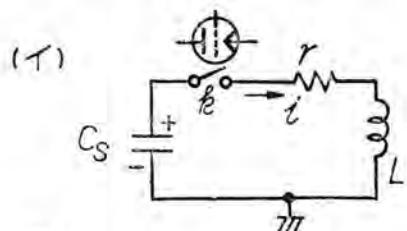


12 図



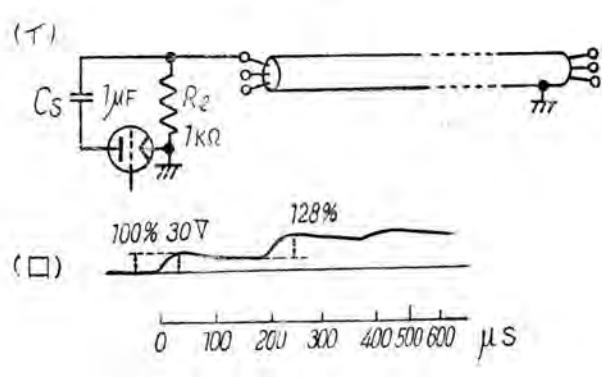
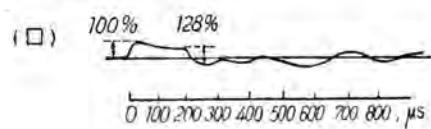
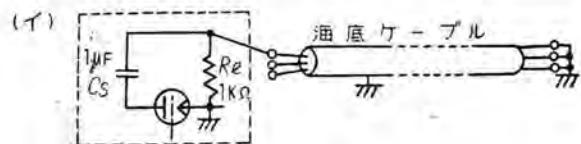
オシロに振動が入っているがこれは C_s の端子電圧で異常なものではない。

つぎに 13 図の如く負の反射が帰つてくる場合は、もつともこの場合は大容量の発電機の試験としては主蓄電器 C_s の容量が少く、負反射が帰つてきた場合電流が零となり、不安定状態を表わしたのであるが、負性の反射が帰つた場合または C_s の容量少くて振動が零線を切つて下方に振れた場合にはつぎの如くいわれる。すなわち 14 図を考えて見ると $L r e$ の直列回路において E_c に充電された蓄電器がスイッチ k を投入することにより放電する場合にて振動状態となる場合には電流 i と C_s の端子電圧 e_c は 14 図 (口) の如き状態を呈する。こ



ここで電流は時間 t_1 にて零線を切るのであり、ここでスイッチ k の代りにサイラトロンを用いるとこの電流零の時に電弧は切れるのであり、そこで C_s には $-E t_1$ なる電圧が残ることになり、これよりさらにサイラトロンの陰極側が低くなればさらに電流が流れる場合もあるが、大体においてこの点より以降はサイラトロンは開

放と考えられる。 t_1 以後サイラトロンの陰極側の電位が $-E t_1$ より高くなれば逆方向の電圧がかかるためにもちろんサイラトロンは開放状態である。ここで逆並列にサイラトロンを接続して格子電位を正にすればこの逆電圧は吸収できるように考えられるが、この辺ではサイラトロンにかかる電圧は低くなり、实际上効果はあらわれておらず、高い電圧が表われて逆並列に接続したサイラトロンが動作したとしても $2 \mu s$ 程度の不連続はさけられぬのである。それよりも C_s の容量を大として放電抵抗を適当に選び振動周期を長くして電流が零を切らぬよう

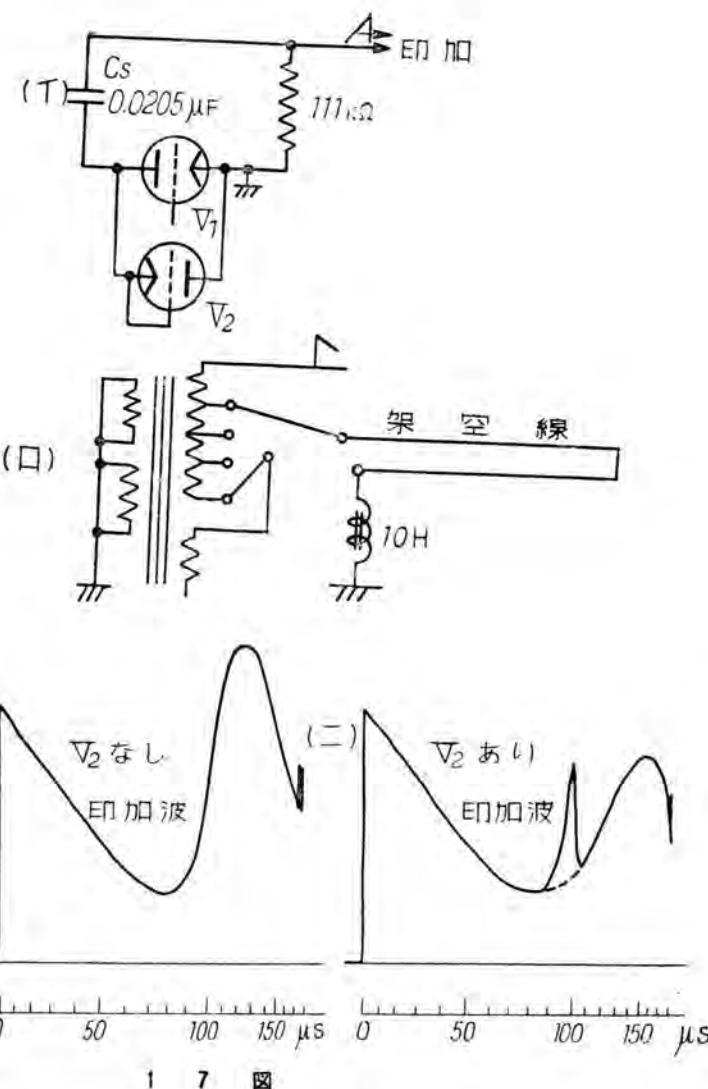


にしてやる必要がある。

火花放電間隙を用いた試験においても主蓄電器 C_s が小であり電流零となり火花が消え以後間隙にかかる電圧が低ければ再び短絡状態になるか否か疑問であり同一の状態が起る可能性がある。たとえば 4 図 (一) および 5 図 (ハ) で負側に振動しているところでは明かに直視装置のみならず衝撃電圧発生器の方も開放状態になつてゐるものである。しかし振動電流を通す必要のある放電間隙としては火花間隙よりサイラトロンは不適当であるのはもちろんである。

イ. 明石海峡海底ケーブルの衝撃試験⁽¹⁵⁾の場合

ケーブルの特性試験の場合に他端を接地あるいは開放の場合の印加波波形をそれぞれ 15 図および 16 図に示したのであるが、負の反射が帰つた場合および正の反射が帰つた場合であるが、印加瞬時の波高値を 100% とすると第 1 反射の波高値が例れも 128% となる。すなわち (i) に種々説明した場合と同一であり、この場合は印加電圧が低く放電抵抗を流れる電流が最初 30 mA 程度で



200 μs 付近の反射が帰る所で約 20 mA で不安定部になつてゐるためである。

ウ. 逆並列に接続したサイラトロンの有無により差異が生じた場合の一例 (1kVA 柱上変圧器を単巻接続となし、架空線と接続した場合の測定の一例)

普通逆並列に V_2 を接続しても、そのために変化が起るということはほとんどないのであるが、その差異の起つた一例を示す。

17 図 (イ) は直視装置内部常数を示し、(ロ) は被測定物の回路であり、(ハ) は V_2 無しの場合の印加波波形であり、(二) は V_2 有りの場合の印加波波形である。これをみると (ハ) はサイラトロン V_1 が開放状態になつた場合であり、(二) はサイラトロンが一端開放状態になりその両端にかかる電圧により V_2 が放電したことを示す波形である。(100 μs 付近での放電がそれを示す。) これは放電抵抗が大で電弧の不安定部分で使用したためであり、実際に放電抵抗を適当にして電弧の安定部分で使用すれば、サイラトロンは短絡状態となり図の点線で示す如き波形となるのはもちろんである。

エ. 衝撃波形直視装置による変圧器電位振動と共振法による変圧器定数との関係⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾ に示された一例の借用

18 図に示す如く (イ) の如き結線の変圧器にて (ロ) の共振曲線をもつて (ハ) (=) (ホ) の波形を分析しているのであるが、①②③の波形において約 30 μs 付近では偶数高調波にて分析できて①点が接地の状態を示している。つぎに 60 μs 以後は奇数高調波をもつて分析できて①点の開放であることを示している。

このことは (イ) に説明したことを証明しているのである。

5. 結 言

以上過渡現象直視装置の使用限界として種々検討を進めたのであるが、要するに

(1) 過渡現象直視装置の如き電圧で測定したものが実際とよく合うこと。

(2) コロナの影響は僅少にして、衝撃波では鉄心の飽和の現象は起きぬこと。(送電線上の進行波は異なる)

(3) 繰返し周波数を 1,000 Hz を限度とするのが妥当なこと。

(4) 60 Hz の繰返しを用うれば開閉サージに相当する如き波形まで測定できること。

(5) 放電抵抗を適当に選べばサイラトロンを火花間隙とどうように考えてよいこと。

(6) サイラトロンは振動電流を流す如き間隙には不適当なこと。

(7) 発生衝撃電圧は分圧器なしに測定できる 400 V 程度が適当なこと。

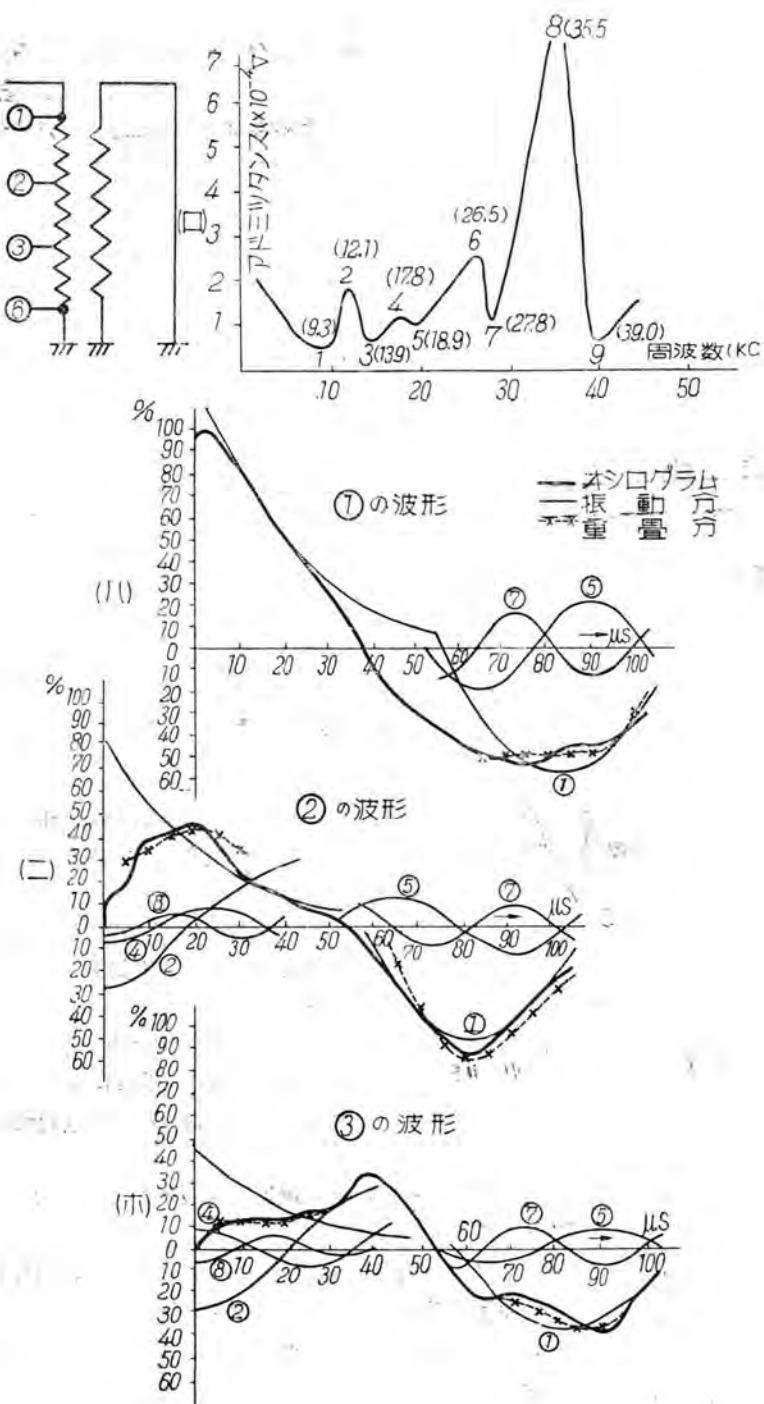
(8) 高電圧でコロナの発生時の影響等を見ることはできぬこと。

(9) 鉄心の飽和現象を測定するには不適当なこと。

(10) 真空管のエミッションは用いられぬこと。

などが判明したと思考する。

擲筆に当り本稿とりまとめて終始ご指導を仰ぎ有益なる意見を頂いた京大林重憲教授および当社木村電力技術課長、横須賀電気課長に深謝すると共に、種々協力を仰いだ同僚諸氏に謝意を表する。



1 8 図

参考文献

- (1) 林:「電学誌」(昭12-5)
- (2) 古賀・岡本訳:「送電系統における進行波」『電学論』
- (3) 小野・木村・八巻・横須賀・内田:「電学論」(昭16-4)
- (4) 木村・村上・堀:「電学論」1, 1 (昭24-6)
- (5) 安藤:「電学誌」(昭26-2)
- (6) 電気工学ポケットブック P.582
- (7) M.C.Halleck, 「G.E.Review」(Oct. 1948)
- (8) 法貴・木谷:「絶縁劣化委員会資料」#32
- (9) 藤高・法貴・木谷:「電氣鐵道」(昭25-5, 7)
- (10) 林・近藤・山根:「電気学会関西支部連合大会」(昭21-11)
- (11) 福井:「電学誌」(昭11-12)
- (12) 福井:「電学誌」(昭11-11)
- (13) 安藤:「電学誌」(昭25-9)「電学論」3, 1
- (14) 木村・安藤・原:「三菱電機」22, 6 電気学会関西支部連合大会(昭-22)
- (15) 木村・安藤・藤山・原:「電評」36, 2
- (16) 木村:「三菱電機」(昭17-8)
- (17) 横須賀・内田:「第18回連合大会予稿」(昭16-4)

共晶黒鉛鋳鉄

鋳鉄の性質を左右する因子としては、基地に関するものと黒鉛の析出状況に関するものに2大別される。1次晶が樹枝状でしかも黒鉛が非常にこまかく出たもの、いわゆる共晶黒鉛鋳鉄につき当所で調査、研究した結果を報告する。

名古屋製作所

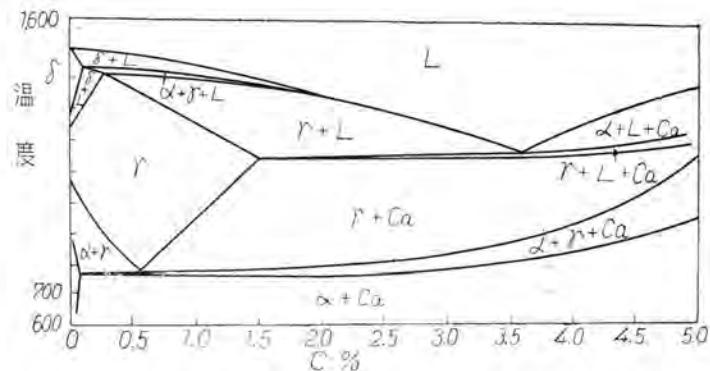
鈴木一郎
田中敬一

1. 緒言

従来より鋳鉄を1,500°C以上の中温で溶解すると、はなはだしく過冷が起り、黒鉛が非常に微細に共晶状に現れてくることは知られていたが、その実用価値についてはほとんどかえりみられなかつた。しかしながら、たまたま外国製ミシンの鋳鉄部品の顕微鏡組織を調査した結果、いわゆる小物部品のほとんどがこの組織の鋳鉄を使用していることより、あらためてその耐磨耗性および切削性の点よりこれを採りあげてみた。

鉄-炭素-硅素の3元素平衡状態図の硅素2%の断面(1図)を見るとおおよそ、炭素3.6%附近に共晶点があり、それ以下の炭素量では1次晶にオーステナイトが、それ以上ではカーバイドが析出する。

この凝固範囲を有するものが、過熱の影響を受けて、普通の凝固範囲より過冷されると、1次晶のオーステナイトが形成され終るまで黒鉛の析出は阻止される。1次晶のオーステナイトが樹枝状に晶出することにより、樹枝状晶間の溶体は、その中の含有炭素量が次第に共晶成分に近づく、そしてオーステナイトとカーバイドすなわちセメンタイトとの共晶として凝固を完了する。もし、何等かの都合により黒鉛化の行わぬときには樹枝状晶間にオーステナイトとセメンタイトとの共晶、すなわち、レーデブライトとして残る。しかして共晶黒鉛の析出は溶体より直接起るものではなく、以上の如くして析出したオーステナイトとセメンタイトの共晶が熱的に分解して黒鉛とフェライトになるのである。この反応は過冷された共晶が不安定であるため黒鉛化が激しく行われ、そのため黒鉛が非常に微細になつて析出する。顕微鏡で見た場合に共晶黒鉛組織の中にしばしば未分解のセメンタイトが発見され、また共晶黒鉛の析出個所がレーデブライトの晶出個所の如く思われることによつても推



1図 Fe-C-Si (Si 2%断面) 平衡状態図

察できる。

すなわち、共晶黒鉛の共晶成分の溶体よりの晶析出はつぎの2つの段階によつて行われるといふことができる。

- 溶体 → オーステナイト + セメンタイト
 - セメンタイト → オーステナイト + 黒鉛
- (i) の反応は冷却速度に関係し、(ii) の反応はセメンタイトの安定度に関係する。

セメンタイトの安定度と黒鉛の関係は非常に微妙であり、セメンタイトの分解しやすいときには黒鉛は非常に微細になり、次第に安定度の増すにしたがい黒鉛も次第に大きくなる。そしてある最高点を経てまた細くなつてくる。

2. 顕微鏡試験

試料は下記の如き電気炉鉄を用いた。

電気炉鉄成分

T.C. 3.20, Si 1.56, Mn 0.30, P 0.15, S 0.01
これを 950kVA~500kVA の高周波誘導電気炉で溶解し、炭素および硅素含有量を変化せしめ、最高加熱温

度を $1,500^{\circ}\text{C}$ とし、この温度に 10 分間保持し、炉中で温度を下げる、10mm, 20mm, 30mm の直径の丸棒に砂型で鋳込んだ。注湯温度は $1,300^{\circ}\text{C}$ である。

これらの試料について顕微鏡組織をみると、全炭素量および硅素量の少い試料は過熱の影響が鋭敏に現われ、1次晶のオーステナイトが樹枝状に現われ、樹枝状晶間に共晶黒鉛とフェライトが現われているが、部分的にセメンタイトの未分解のものがみられ、硬度は相当高くショアで 35 位を示している。

これは硅素含有量が少いため共晶反応によつてできたレーデブライトが完全に黒鉛とフェライトにならずに残存するためと思われる。全炭素量、硅素量の高いものでも金型に鋳造した場合にはこのようなことがいわれる。

全炭素量および硅素量の高くなるにつれてセメンタイトはなくなるが、1次晶として晶出した樹枝状晶はこの冷却速度においてはパーライトである。しかしながらこのパーライトは非常に不安定であり 650°C で 1 時間位

の熱処理で簡単にフェライトに変する。そして硬度は大体ショア 20 位にまで下降する。

2 図、3 図、5 図は各全炭素量、硅素量の変つたものである。4 図は 3 図の熱処理したものである。さらに硅素量を増すと、過冷が行われず、片状黒鉛が析出してくる。6 図および 7 図はこれを示す。

結局、全炭素量および硅素量の低いものでは共晶黒鉛が出やすいが、セメンタイトも現われやすく、高くなると共に出にくくなる。しかしながら一連の写真を見ても判るごとく、大体、炭素 3.50%，硅素 2.50% 附近においては比較的に出やすいのであるが、時によつてはこの成分のものでも隣り合つて共晶黒鉛と片状黒鉛が析出しその境が判然と区別されることがある。これは別の要素、たとえば脱酸の程度に起因することが多いのではないかと思われる。

酸素はもちろん、いわゆる黒鉛化を阻止する元素であるが、種々の実験より、水素ガスの気流中で溶解すると、この組織は全然現われず、水素ガスがこの組織に対してはなほだ不適当であることが結論される。それ故、高溫溶解の場合、溶湯中には相当量のガスが含有されるが酸素と水素とはある平衡関係を有し、酸素が多い場合には水素は少く、酸素の少いときには水素が多く、完全に脱酸しながら溶解した場合には水素ガスの影響を受けやすくなる。しかしながら、脱酸が全然行われない場合にもまたセメンタイトの安定度が増し、未分解セメンタイトが多くなり、したがつて硬度もまた高くなるのではないかと思われる。

冷却速度の影響についてみると、十分早いもの、たとえば十分早いと思われる径 10mm 位のものでは一様にこの組織が現われるが、また遅いと思われる径 30mm 位のものの中心部にも現われる。そしてその中間的なものには片状黒鉛が現われる。

しかし、簡単な形状のものについては、特殊な方法で冷却速度を調節することにより、一様に現わすことができる。

マンガン、クローム、硫黄の如きセメンタイトを安定化せしめる元素が多い場合には片状黒鉛が現われやすく、反対にニッケルのごときものを加えた場合には共晶黒鉛が現われやすい。

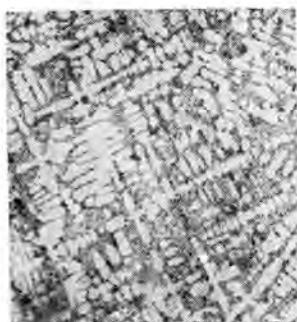
共晶黒鉛の析出に対する条件として以上のことよりつぎのごとき結論をうる。

(i) 炭素、3.5%，硅素 2.5% 附近がもつとも適当である。

(ii) セメンタイトを安定化せしめる元素はこの組織に対してはのぞましくない。

(iii) 冷却速度は早いものもよいが、遅いものも良く、その中間的なものは出にくい。

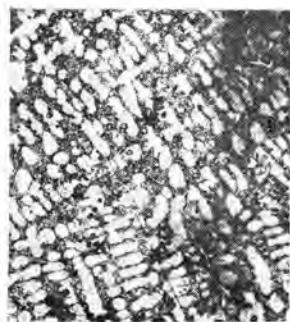
なお、ガスの問題はさらに研究の必要が大いにあるようである。



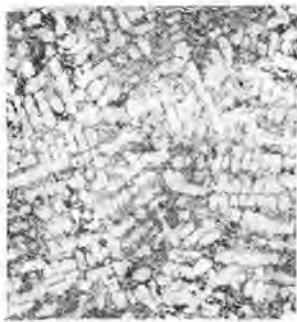
2 図 T.C. 3.36 Si 2.23



3 図 T.C. 3.47 Si 2.58



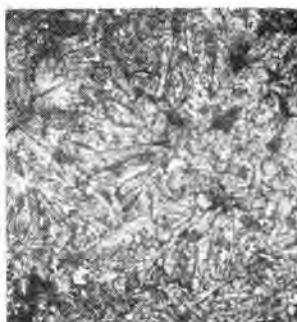
4 図



5 図 T.C. 3.36 Si 2.43



6 図 T.C. 3.46 Si 3.64



7 図 T.C. 3.93 Si 3.73

3. 機械的性質

顕微鏡試験とどうような方法で溶解し、抗張力、抗折力試験片および磨耗試験片に鋳造しあののについて試験を行つた。

ア. 抗張力試験

抗張力試験片は径 30 mm, 長さ 300 mm の丸棒に鋳込み、800°C で 1 時間焼鈍し、これを JES の第 4 号試験片に仕上げて、アムスラ 15 t 試験機を用いて試験を行つた。試験片の 30 mm 径のものは普通の成分のものでは共晶黒鉛組織が出にくないのでその成分は一般的のものと大部差があるが、基質を完全にフェライトにすることによりその差を少くした。結果を示すとつぎのごとくになる。

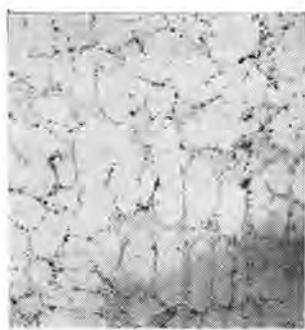
符 号	径 (mm)	荷 重 (kg)	抗 張 力 (kg/mm ²)	伸 び (%)
1	20.00	6300	20.2	1.5
2	19.98	3750	18.2	1.5
3	19.98	6500	20.7	1.5
4	20.00	3700	21.3	2.0

イ. 抗折力試験

抗折力試験片は径 35 mm, 長さ 400 mm の丸棒を抗張力試験と同時に鋳込み、どうような熱処理後、径 30 mm, 長さ 350 mm に仕上げ、これを用いて試験を行つた。

試験結果はつぎのごとくになる。

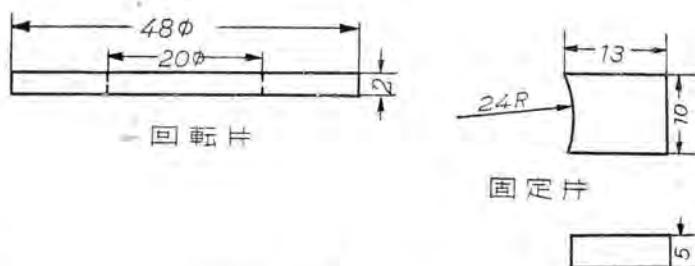
符 号	荷 重 (kg)	撓 み (mm)
1	1700	2.5
2	1600	2.4



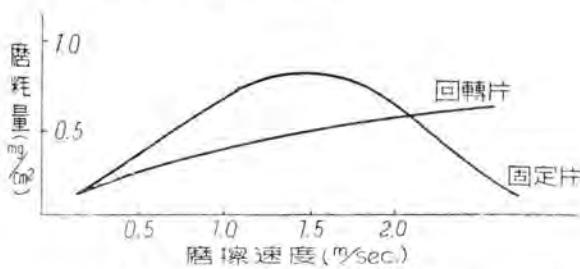
8 図

なお、抗張力および抗折力両試験片の化学成分は、T.C. 2.98, Si 2.05, Mn 0.34, P 0.20, S 0.024 であり、硬度はブリネル 146ないし 149 を示す。顕微鏡組織は 8 図のごときものである。

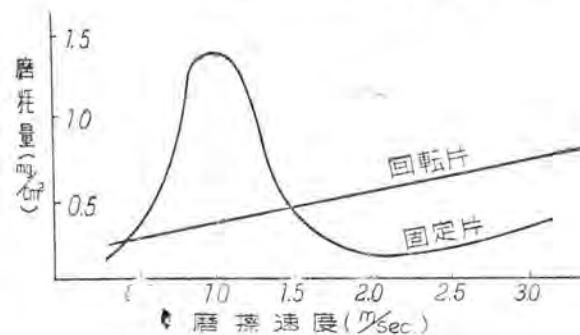
共晶黒鉛鉄・鈴木・田中



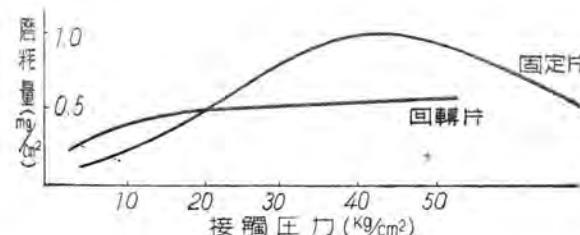
9 図 磨耗試験片



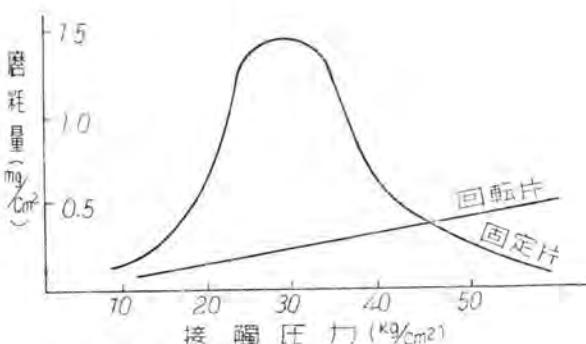
10 図 固定片：共晶黒鉛鉄
回転片：0.5% C 炭素鋼



11 図 固定片：普通鉄
回転片：0.5% C 炭素鋼



12 図 固定片：共晶黒鉛鉄
回転片：0.5% C 炭素鋼



13 図 固定片：普通鉄
回転片：0.5% C 炭素鋼

ウ. 磨耗試験

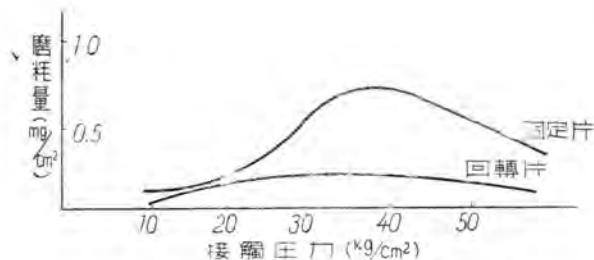
磨耗試験は9図の如き試験片につき、油を用いてすべり磨耗を測定した。試験片の仕上げ程度は表面の粗さ 1μ ないし 2μ である。

化学成分は、

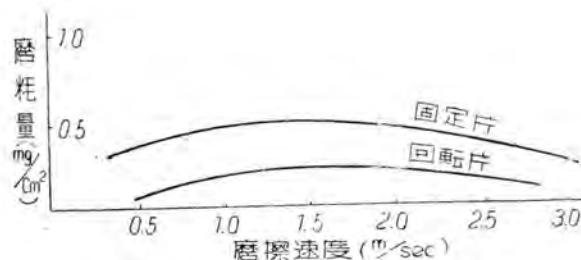
T.C. 3.81, Si 2.80, Mu 0.41, P 0.04,

S 0.008

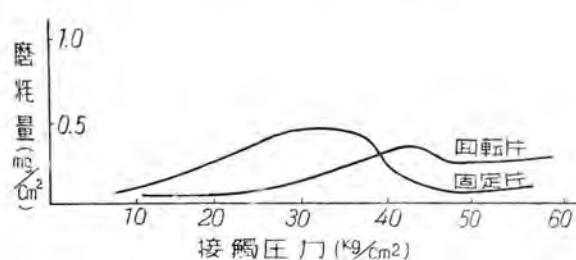
であり、同時に比較のために用いた普通鉄は、
T.C. 3.31, Si 2.27, Mu 0.53, P 0.34, S 0.084
である。



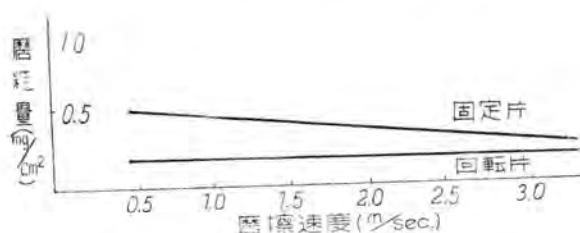
14図 固定片 回転片 共に共晶黒鉛鉄
摩擦速度 3.4m/sec 一定



15図 固定片、回転片、共に共晶黒鉛鉄
接触圧力 5kg/cm² 一定



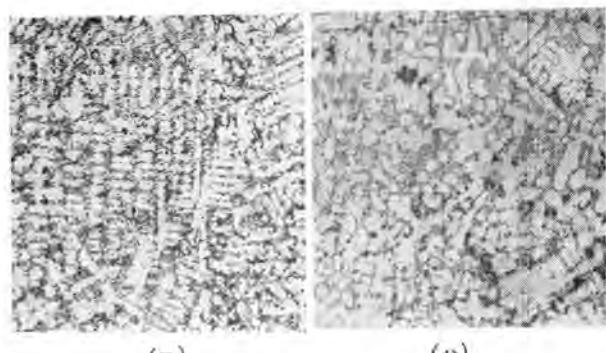
16図 固定片、回転片、共に普通鉄
摩擦速度 3.4m/sec 一定



17図 固定片、回転片、共に普通鉄
接触圧力 5kg/cm² 一定



(イ)



18図 クランクロッド

(1) 鉄鉱を固定片とし、0.5% 炭素の炭素鋼を回転片とした場合、

接觸圧力 5kg/cm² 一定として、油の温度13°C で摩擦速度の変化による磨耗量を測定すると、10図、11図のごとき結果をうる。10図は共晶組織の場合であり、11図は普通の片状黒鉛の場合である。

摩擦速度 3.4m/sec 一定とし、接觸圧力による磨耗量の変化を測定すると 12 図、13 図の如きものになる。

普通鉄鉱の場合は共晶黒鉛鉄に比して、初期磨耗より最大磨耗量に達する変化が急激で、かつ最大磨耗量を示す接觸圧力および摩擦速度はいずれも低い値を示し、また、最大磨耗量は共晶黒鉛鉄の 1.0mg/cm^2 に比して普通鉄鉱は 1.5mg/cm^2 である。

(2) 回転片、固定片に同じ材質の鉄鉱を用いた場合、試験の条件は前項(1)とどうようにして行うと 14 図、15 図、16 図、17 図の如き結果を得た。

普通鉄鉱を組合せたものと共晶黒鉛鉄を組合せたものとを比較すると、軽荷重の場合には共晶黒鉛鉄の方がはるかに耐磨耗性が良いが、20kg/cm² 位より急激に磨耗量が多くなる。また一方、摩擦速度との関係は、摩擦速度が早くなると共晶黒鉛鉄は磨耗量が急激に少くなり、普通鉄鉱の場合は、摩擦速度の遅い間は耐磨耗性は共晶黒鉛鉄より勝っているが、早くなつても共晶黒鉛鉄ほど磨耗量の減少がはなはだしくない。

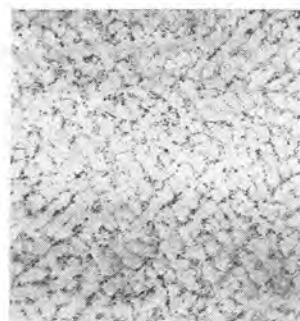
すなわち、軽荷重の摩擦速度の早いものに対する耐磨耗性は共晶黒鉛鉄の方が勝っているということができる。

4. 結 言

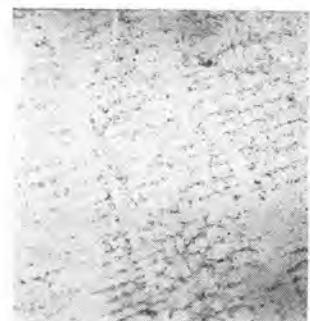
以上、共晶黒鉛鉄につき、その生成条件および機械的性質につき調査の結果を述べてきたが、現在当所で製造中の電気炉再生鉄の成分範囲の地金を用い、高周波電気炉を用いてミシンの小物関係鉄物は十分製品として出



(イ)



(ロ)

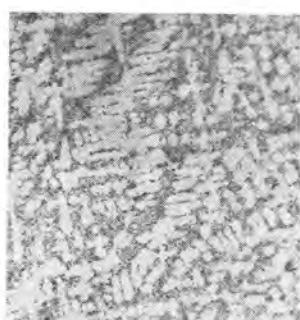


(ハ)

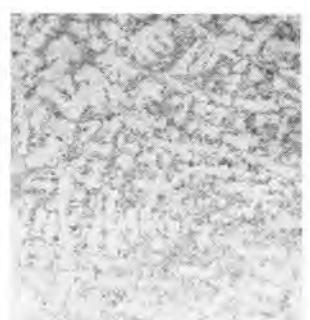
19図 针棒 crank クランクロッド



(イ)

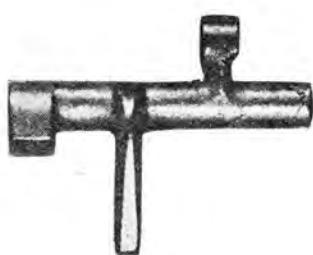


(ロ)

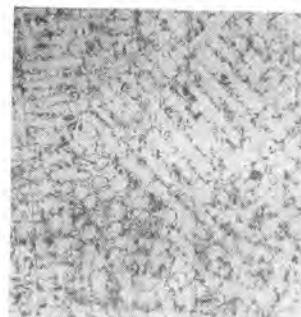


(ハ)

20図 针棒 支え



(イ)



(ロ)

21図 搾子 大

しうる目安をえた。

機械的性質は抗張力、撓みより見ると普通鉄鉄の F. C. 19 に相当し、最初考えていたものよりも相当強度のあることが判つた。

耐磨耗性は大体、軽負荷の高速磨耗のものでは普通鉄鉄に勝り、さらに硬度はブリネル 140 ないし 150 で切削性は良好である。

普通鉄鉄の同程度の硬度のものの磨耗量に比べると、大体共晶黒鉛鉄鉄は $1/3$ である。

HA-1 型 ミシンの大釜部分の磨耗は、接触圧力 0.11 kg/cm^2 摩擦速度は 3.3 m/sec であるから、これらのも

のの磨耗に対しては有効であるということができる。

なお機械的試験の試験片は、全炭素量、硅素量が少なかつたが、特殊な方法によれば径 50 mm のものでも普通成分のもので製作可能である。

終りに数種のミシン部品についてその顕微鏡組織を 18, 19, 20, 21 図に示す。

なおこの実験にあたり、終始ご熱心にご指導下さつた小川喜代一博士に厚く感謝する次第である。とくに磨耗試験については当所において製作した試料を小川博士の研究室で試験して頂いたことを付記する。

コークス炉原料炭コンベヤの総括制御

運転の合理化と自動的制御の経済性によって、コンベヤ集団の総括制御は近年ますます各方面に用いられるようになってきた。本文はその一例として、最近運転を開始した大阪ガス西島工場コークス炉の原料炭コンベヤについて述べたもので、まず系統の概要、つぎに総括制御の計画を述べ、それに必要な制御機器を説明し、つづいて制御回路の骨子を具体的に解説したものである。

名古屋製作所 蟹江邦雄

1. 緒 言

終戦後すでに6年、大都市の復興とともに燃料ガスの需要は著しく増大した。とくに最近は、依然たる電力制限に反して、石炭事情の好転とともに日ごとに激増する消費量に応じるため、コークス炉は不斷の活動を続けている。したがつて、原料炭を供給するコンベヤ系統の安定した運転は一日もゆるがせにできないものであり、大阪ガス西島工場においては、コンベヤ集団の総括制御を実施すべく計画工事中であつたが、最近運転されることになつたので、その大要を紹介する次第である。

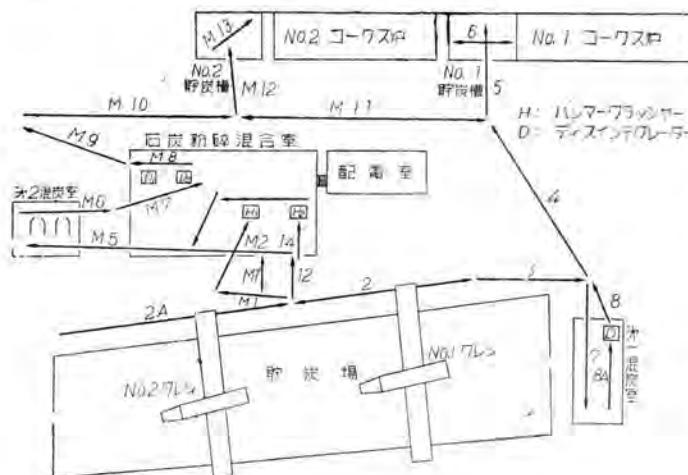
2. 原料炭コンベヤの輸送系統

1図は系統全体を示し、1表は各コンベヤの容量、2表は系統の種類を示すものである。まず海運により送られてきた石炭は、No.1およびNo.2ジブクレンにより陸揚げされ、直接コンベヤに移されるかあるいは一応貯

炭場に貯えられる。それより石炭の種類に応じて選別を受け、まず混炭室または粉碎混合室に送られて、ディスインテグレータ (100 HP) あるいはハンマークラッシャ

1表 電動機一覧表

番号	容量	用	途	備考
2 A	10 HP	コンベヤ		
2	15 HP	〃		可逆
3	7.5 HP	〃		
4	20 HP	〃		
5	10 HP	〃		
6	3 HP	〃		
7	10 HP	〃		
8	20 HP	パンコンベヤ		
8 A	15 HP	コンベヤ		
M1	3 kW	〃		
M1'	3 kW	〃		
M2	3 kW	〃		
12	5 HP	バケットエレベータ		
14	15 HP	スクリーン		
M3	3 kW	コンベヤ		
M4	3 kW	〃		
M5	5 HP	〃		
M6	3 kW	〃		
M7	5 HP	〃		
M8	3 kW	〃		
M9	15 HP	〃		
M10	20 HP	〃		
M11	15 HP	〃		
M12	7.5 HP	〃		
M13	3 kW	〃		可逆



1図 原料炭コンベヤ系統

2 表 石炭送り系統一覧表

系統番号	送り順序
1 A	2 A—2—3—4—5—6
1 B	2 A—2—3—4—M11—M12—M13
1 C	2 A—2—3—7
2 A	8 A—8—4—5—6
2 B	8 A—8—4—M11—M12—M13
3 D	2 A—2—12—14—H ₂ —M3—M4—M5
4 E	2 A—2—M1'—M5
4 F	2 A—2—M2—H ₁ —M3—M4—M5
5 A	M6—M7—M8—M9—M10—M11—5—6
5 B	M6—M7—M8—M9—M10—M12—M13

2 図 貯炭場および粉碎混合室
(大阪ガス西島工場)

(200 HP) の処理を受け、適当に粉碎混合されてから、コークス炉の貯炭槽に送られる。

石炭の送り系統は図示のようにコンベヤ 23 台（中に可逆 2 台を含む）スクリーン 1 台、パケットエレベータ 1 台よりなり、途中の処理機械として、ハンマークラッシャ 2 台、ディスインテグレータ 3 台がある。また系統の種類は 2 表に記載したとおり 10 系統である。

2 図は貯炭場側より見たコンベヤ系統の全景で、中央の建物が石炭粉碎混合室であり、その右上、地上 25m の高さを水平に走るのは可逆コンベヤ M11 である。M11 コンベヤの中央後方に高く見えるのが貯炭槽で、その左右両側がコークス炉になつていて、配電室は石炭粉碎混合室に統い

コークス炉原料炭コンベヤの総括制御・蟹江

ているのであるが、図においては隠れている。

3. 総括制御の概要

運転室を石炭粉碎混合室の一隅に設けて、上記 10 系統を総括的に制御する。すなわち、各系統ごとにインターロックして、順序起動および順序停止を可能とし、かつ相互に無関係な系統は、同時に運転することもできるようとする。したがつて、可逆コンベヤ M11 および 2 に対して互に反対方向の運転を要求する系統以外は、いずれの系統でも並列運転が可能になつていて。

制御方式としては、各個押鉤による起動、停止式を用いて、装置の複雑になるのを避け、なるべく結線が簡単になるようにした。

各系統の選択切換については、できるだけ切換開閉器の操作を利用することによつて繼電器の数を極力減少

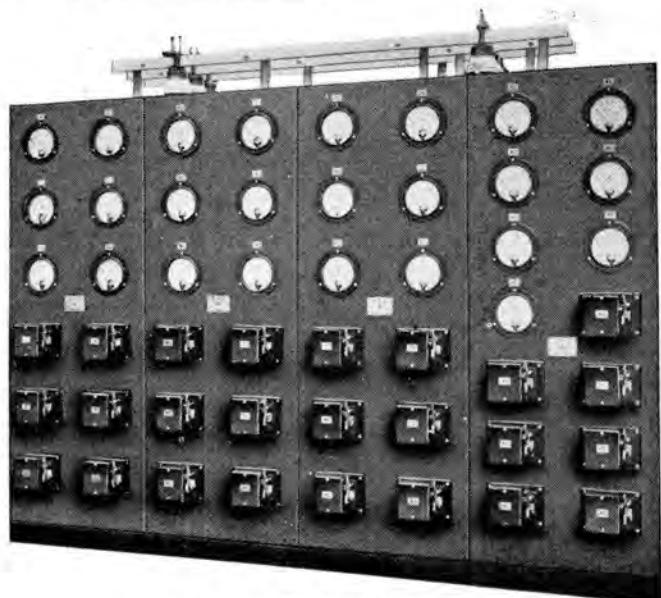
し、それにより運転の確実性を増し、保安点検の便宜を計るようにした。

4. 主なる制御機器

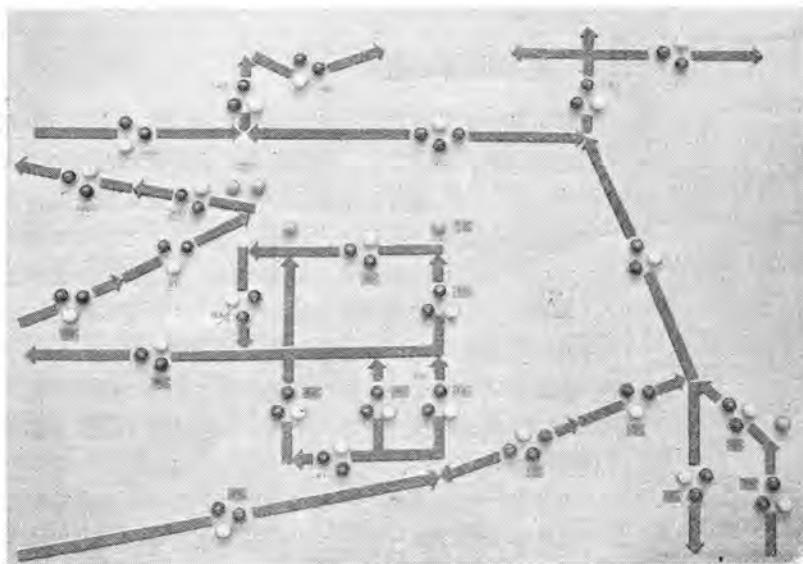
各機器ならびにその取付品はつぎのとおりである。

ア. 配電盤

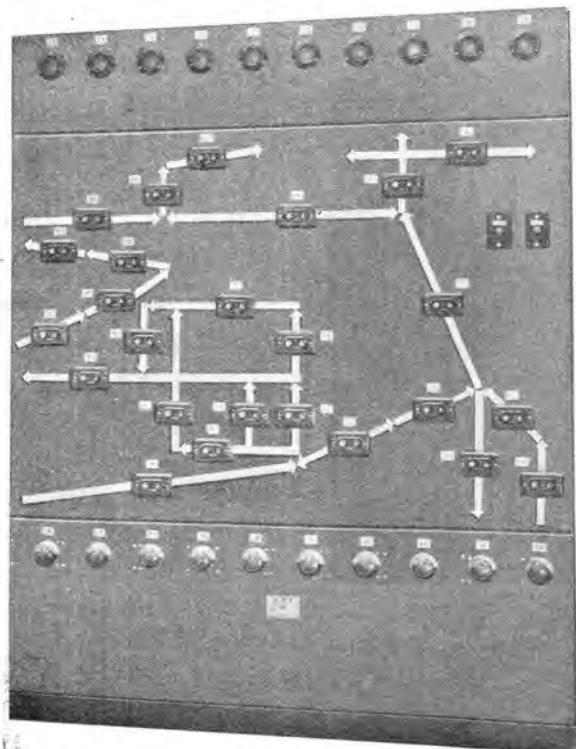
3 図に示すように 4 面よりなつており、自立壁支持型である。表面には、各コンベヤの電動機の電流計および熱効過電流繼電器を取付け、裏面フレームに固定したベーカライト板には、各電磁接触器、補助接点、端子が取付けてある。



3 図 配電盤 (正面)



4 図 現 示 盤 (正面)



5 図 制 御 盤 (正面)



6 図 操 作 盤

イ 現 示 盤

4 図に示すように、淡緑色の美装盤上に模擬コンベヤを配置し、各コンベヤに對してそれぞれ赤・白・緑色の信号灯を取付け、それによりコンベヤ系統全体の状況を一目瞭然となるようにしてある。各信号灯の指示は後述のごとく、赤は運転表示、白は用意完了の表示、緑は停止の表示である。

なお、ハンマークラッシャおよびディスインテグレーターの運転を表わすために、各対応する位置に橙色の信号灯が取付けである。

ウ. 制 御 盤

配電盤とどうように自立壁支持型の構造で、5 図に示すとおり、中央に模擬コンベヤを配置しておののに起動、停止用押鉗を取付け、上段には各系統の表示灯、下段には各系統別運転用の切換開閉器が並べてある。そのほか起動用意報知用および非常停止用の押鉗を各 1 個づつ取付け、継電器類は裏面に取付けである。切換開閉器は各系統に 1 個づつあり、入一切の 2 ノッチで入ノッチの時に系統表示灯がつくようになつていて。

エ. 操 作 盤

各コンベヤ現場に 1 台づつ置かれるもので、6 図に示すように、切換開閉器・起動用意報知用ブザーならびに用意完了報知用押鉗を取付けている。切換開閉器は單独一停止一綜合の 3 ノッチであるが、可逆コンベヤ M11 および 2 用のものは、正一停止一綜合一停止一逆の 5 ノッチになつていて。

オ. 端 子 盤

各現場操作盤よりの配線を中継接続して、配電盤・現示盤・制御盤への結線を容易にするため設けられたもので、7 図に示すように各操作盤に対応する 8 点ターミナルブロックが取付けである。

5. 制御回路の接続要領および動作説明

8 図の接続要領は、動作説明に必要な部分のみを抜出したもので、略号はそれぞれつぎのとおりである。

- L_n : 各系統表示灯
- B_o : 運転室ブザー
- B_n : 各コンベヤ現場ブザー
- W_n : 白信号灯
- G_n : 緑信号灯
- R_n : 赤信号灯
- LS : ホッパ制限開閉器
- TR_n : 热動過電流継電器
- $m-RA$: 起動信号用継電器 ($m = n+30$)
- $n-MC$: 各コンベヤ用電磁接触器

動作の概略はつきのとくである。
最初は全コンベヤが停止ノッチにあり、すべて緑信号灯がついているものとする。

ア. 順序起動

(1) 運転しようとする系統の切換開閉器を入ノッチにおく、するとその系統の表示灯 L_n がつく、また切換

開閉器の各接点により、ブザー回路およびインターロック回路で所要の接続が作られる。

(2) 起動用意の鉤を押す、継電器 $30RA$ が励磁されて接点 30 を閉じ、自己保持すると同時にブザー回路を閉じる。したがつて運転系統に入れられたコンベヤの各ブザー B_n が鳴り起動用意を報知する。

(3) ブザーの鳴つた各現場では、操作盤の切換開閉器を総合ノッチに入れると運転室現示盤の緑信号灯 G_n が消える、つぎにコンベヤを点検し運転に差支えがないことを確認してから用意完了の鉤を押す、それにより対応する継電器 $m-RA$ が動作するので、逆接点 $m-b$ が開いてブザーを止め、正接点 $m-a$ によつて自己保持とともに、現示盤の白信号灯 W_n をつける、また運転室のブザー B_n の回路もできて、その系統の白信号灯 W_n が全部つくと同時に鳴り始め、その系統の全部が用意完了したことを報知する。

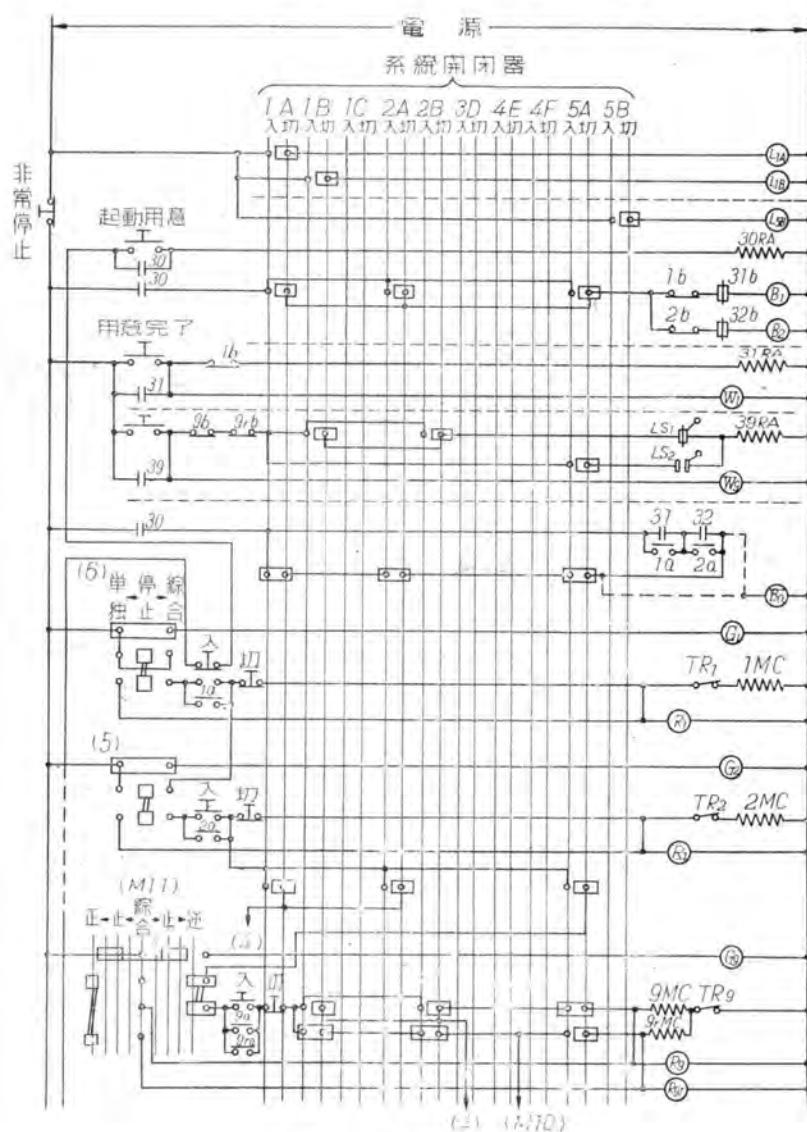
(4) ブザー B_n が鳴つたならばまず、その系統の一番先 (6, 7, M5, M13 コンベヤのどれかになる) の起動鉤を押す。すると継電器 $30RA$ の回路が開くので接点 30 が開きブザー B_n が鳴り止む。同時にその系統の一番始めのコンベヤの $n-MC$ が励磁されるので、電動機が起動し、赤信号灯 R_n がつく。また継電器 $m-RA$ のコイル回路が逆接点 $n-b$ により開くので正接点 $m-a$ が開いて白信号灯 W_n が消える。

(5) 適当な時間(5~10秒)後そのつぎの起動鉤を押すと、上記とどうようにしてその電動機が起動し、赤信号灯がついて白信号灯が消える。

(6) 以下系統の順序にしたがつて逐次起動しその系統の全部の運転を完了する。この場合、先のコンベヤが起動することにより、初めて次の



7 図 端子盤



8 図 接続要領図

コンベヤが起動可能になるよう系統ごとにインターロックされているから、誤つて別の起動鉗を押しても、コンベヤが運転することはない。

イ. 順序停止

一系統中の一番下（送り込み側すなわち 8A, M6, 2A, 2 のどれかになる。）の停止鉗から順次適当な間隔をもつて押せば、順次電動機は停止し、現示盤の赤信号灯が消える。もし順序を間違つて、上記以外のコンベヤの停止鉗を押すときは、それより送り込み側にあるコンベヤは一齊に停止し、石炭の異常堆積などの不都合を生じないようにインターロックされている。

ウ. 一齊停止

運転中の一系統を一齊に停止する場合には、その系統の一番先（送られる側）の停止鉗を押せば、その系統のコンベヤはほとんど一齊に停止して現示盤の赤信号灯が消える。また全系統を一齊に停止する場合には、制御盤に付いた非常停止用鉗を押すと、すべての制御回路が切れるので、全系統のコンベヤが一齊に停止し、現示盤の赤信号灯が全部消える。

エ. 現場非常停止

現場において、何らかの理由によりコンベヤの非常停止をする場合には、そのコンベヤ現場操作盤の切換開閉器を停止ノッチに回す。するとそのコンベヤおよびそれより送り込み側にあるコンベヤがほとんど一齊に停止するので、現示盤の赤信号灯もほとんど一齊に消える。また非常停止を行つたコンベヤは、現示盤の緑信号灯がつく。

オ. 故障停止

(1) コンベヤが何かの故障によつて過負荷になると、熱過電流遮断器 TR_n が働いてその接点を開く。したがつてそのコンベヤおよびそれより送り込み側にあるコンベヤがほとんど一齊に停止し、現示盤の赤信号灯が消える。

(2) 故障の現場では、操作盤の切換開閉器を停止ノッチにしてから、故障の原因を点検する。運転室現示盤では、そのコンベヤの緑信号灯がつく。

カ. 再起動

(1) 現場で故障の原因を取除いてから再起動する場合には、現場操作盤の切換開閉器を総合ノッチに戻す。すると現示盤の緑信号灯が消える。

(2) 運転室制御盤の起動用意鉗を押せば、先に一齊停止した各コンベヤのブザーが鳴る。

(3) ブザーの鳴つた各現場では、運転に差支えないことを確認してから用意完了の押鉗を押す。するとブザーが止り、運転室現示盤の白信号灯がつく。その系統が全部用意を完了して白信号灯がつくと、運転室のブザー B_0 が鳴る。

(4) よつて、停止した電動機から順次適当な間隔をもつて起動鉗を押すと、各コンベヤが順次起動し、現示盤の白信号灯が消えて赤信号灯がつく。

キ. 系統の同時運転

すでにある系統が運転しているときに、同時運転の可能な別の系統をさらに起動する場合にも、ア. の順序起動とほとんどどうような操作ができる。ただしア. (2) で制御盤の起動用意鉗を押した場合、すでに他の系統にも属して運転中のコンベヤは現場操作盤のブザーが鳴らない。したがつて用意完了の押鉗を操作する必要もない。

ク. 単独運転

試運転あるいは点検、手入れのため、あるコンベヤを単独運転したい場合には、現場操作盤の切換開閉器を単独側に入れるとその電動機が起動する。運転室の現示盤ではやはり運転表示の赤信号灯がつくが、それ1個だけであり、総合運転の時は系統に沿つて一連の赤信号灯がつくので区別は容易である。またあるコンベヤが単独運転中は原則としてその系統の総合運転はできず、つきの起動順位にあるコンベヤの起動鉗を押しても起動しない。

6. 結言

以上コークス炉原料炭コンベヤ総括制御の一例として、最近運転を開始した大阪ガス西島工場のものの概要を述べた。このように切換の多い複雑な系統では、系統の選択切換が重要な問題で、今回は系統全体の実情になるべく適当した方式を採用し、確実簡単を目標としたものではあるが、さらに検討すべき点も多くあることと思われる。幸にして大方諸賢の御批判を得て、今後の参考に致したいと念願するものである。

終りに、関係各位のご努力によつてこの工事が完了し、よいよ実現の運びに至つたことに対して、深甚なる謝意を表する次第である。

磁気増幅器の特性とその応用

一般的な磁気増幅器の特性を理論的に解析し、直流増幅器として使用した磁気増幅器の性能の優秀性を述べ、つぎに各方面に広範囲に使用されている磁気増幅器の応用について数種の例をあげて概説した。

研究所 濱岡文夫

I. 緒言

有心リアクタの非直線性はその利用法によつてはきわめて興味あることは古くから知られていた。1915年頃にはすでに電圧調整器として用いられ、1916年 E. F. W. Alexanderson によつて高周波発生に利用され、またその後電灯照明の制御・電気抵抗炉の温度制御および水銀整流器の格子制御等各方面の実用に供されるようになつた。しかし当時はまだこのリアクタが真空管増幅器に代りうるとは考えられていなかつた。

ところが最近 15 年余りの間に、直流可飽和リアクタは磁気増幅器 (Magnetic Amplifier) またはトランスタクタの名称で各種の調整器および高感度増幅器として広く応用されるようになつた。とくに 1939 年から 45 年の第 2 次世界大戦中、ドイツにおいて、金属整流器および磁気材料の発達に助けられて長足の進歩をとげた。

増幅器といえば真空管増幅器を意味するほど、磁気増幅器は真空管の発達のためにほとんど顧みられなくて今日に至つたのであるが、電力増幅器、とくに直流増幅器として、真空管増幅器に比し数等優れていることが明らかにされた。すなわち、 $10^{-4}W$ の直流入力を 1 段で 10^4 倍以上にきわめて安定に増幅し得、しかも装置は可動部やフィラメント等を有せず、構造は変圧器と同じく丈夫で取り扱いが簡単で、かつ大きな衝撃抵抗を有している。

磁気増幅器は優れた磁気材料の発達によつて、利用価値もきわめて増大し、発電機・電動機の調整器・測定用変圧器・無接点繼電器および光電管・抵抗温度計用高感度増幅器等に応用されている。

本稿においては、磁気増幅器の特性を解析的に略述し、その実験結果をも示し、かつ数種の応用例を説明して、参考に供したい。

II. 構造

磁気増幅器は周知の如く一般に 4 要素から成つてゐる、すなわち (1) 磁気鉄心、(2) 交流回路、(3) 直流回路、および (4) 餌還回路であつて、その配例を 1 図に示

す。1 図 (A) はもつとも一般的な 3 脚型である。外側脚に巻かれた交流巻線は、交流磁束が外側鉄心通路を通るが、直流巻線を有する中央脚を通らないように並列または直列に接続する。3 脚鉄心の漏洩磁束は磁気増幅器の特性を害するから、1 図 (B) の 4 脚型の方が優れた特性を有する。(C) は 2 個の別々の鉄心を用いたもので、(B) と同じ磁気特性を有するが製作はより簡単である。(D) は付加励磁還巻線を有するもので、交流出力を整流し磁気増幅器の励磁に用いて、直流励磁を減少している。この配列では交流および付加巻線中の全アンペアターンは、各瞬間に整流素子に直列に接続されたただ 1 個の巻線によつて得られると考えうるから、(E) の如くにならうる、この配列は自己励磁法と呼ばれている。この接続を用いると巻線容積は単巻変圧器とどうように節約しうるが、饋還系数は一定で変化させることができない不便がある。

III. 動作原理

鉄心内の交流磁束は一交流周期中に一方向の飽和点から、反対方向のほとんど飽和点まで変化するから、導磁率は各周期間に変化する。しかし直流励磁リアクタの導磁率の変化のために交流回路のリアクタンスが変化するとする考え方には、実際の作用を十分説明することは困難である。鉄心内の平均磁束は直流励磁だけで定まるものではなく、交流電圧によつても影響されるから、導磁率の変化を考える代りに磁束の変化を考察した方が、実際の作用をよく説明しうる。

直流巻線の直流電流を増加せしめると、鉄心の磁気偏倚が増加するから、交流磁束は高い飽和区域へ移動し、リアクタのインクリメンタル導磁率が減少するから、交流巻線インピーダンスは減少する。すなわち小さな直流入力の変化で、交流出力を変化せしめうるから増幅器として作用する。

1. 簡単な(無饋還)磁気増幅器の基本的作用

2 図に示す磁気増幅器回路で、同じ鉄心 I および II

はそれぞれ交流巻線 N_a 、直流巻線 N_d を有する。交流巻線は直列で、交流電源の基本周波数電圧が直流巻線に現われないよう、たがいに反対極性に接続する。

各鉄心の正規磁化曲線を $\phi = f(Z Ni)$ で現わすと、2 図に示す如く、直流励磁をした場合の鉄心上および

II の磁化曲線は $\phi_1 = f(N_a i_a + N_d I_d)$, $\phi_{II} = f(N_a i_a - N_d I_d)$ となる。 $N_d I_d$ は一定であるから、各磁化曲線は同じ形を有し、図のようにアンペアターン軸にそつて、左および右に移動する。

いま負荷抵抗 $R=0$ として、交流端子に $e = \sqrt{2} E \cos \omega t$ なる電圧を加えると、

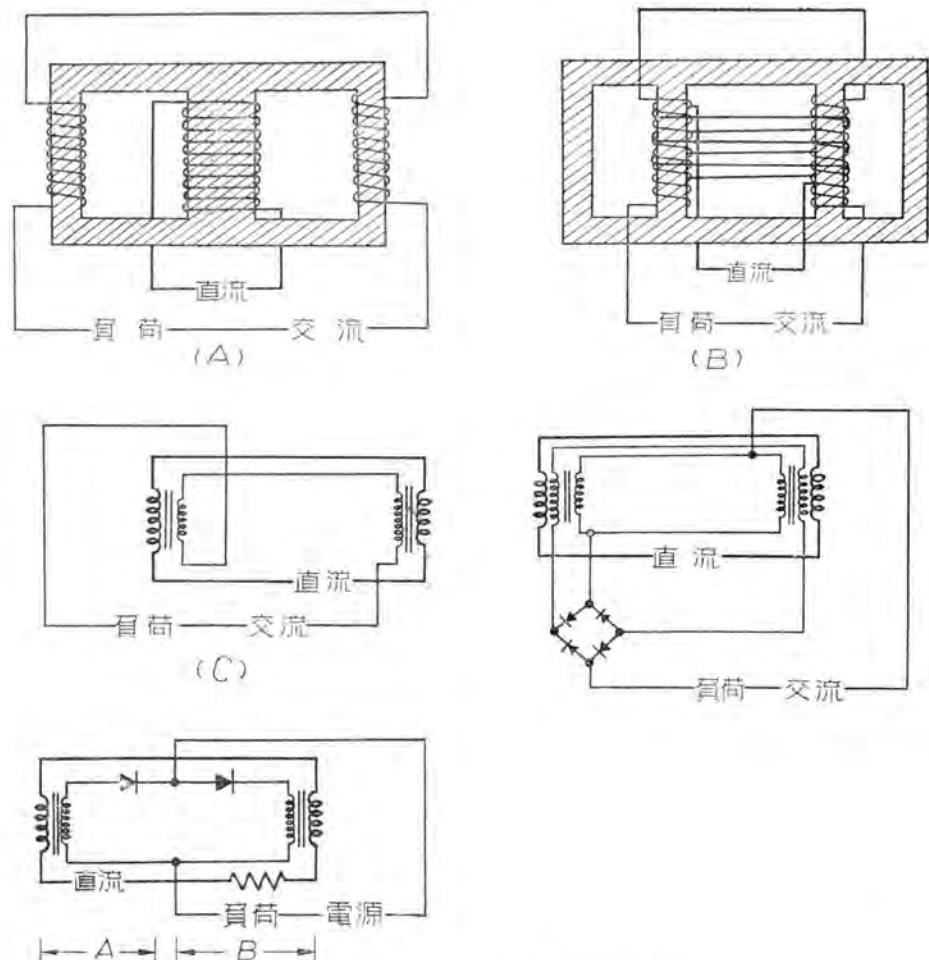
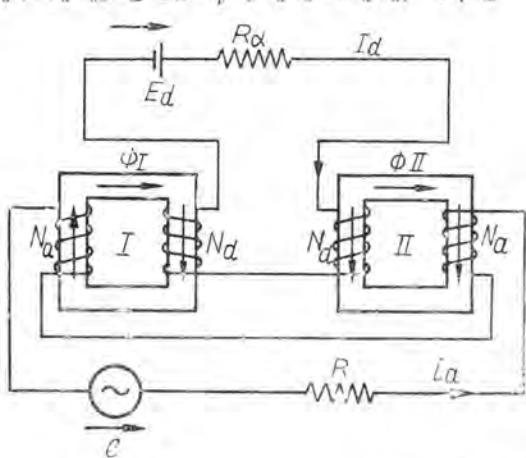
$$\begin{aligned} \sqrt{2} E \cos \omega t &= \\ &\frac{N_a}{10^8} \left(\frac{d\phi_1}{dt} + \frac{d\phi_{II}}{dt} \right) \\ &= \frac{N_a}{10^8} \frac{d}{dt} \left[f(N_a i_a + N_d I_d) + f(N_a i_a - N_d I_d) \right] \end{aligned}$$

上式を計算して、

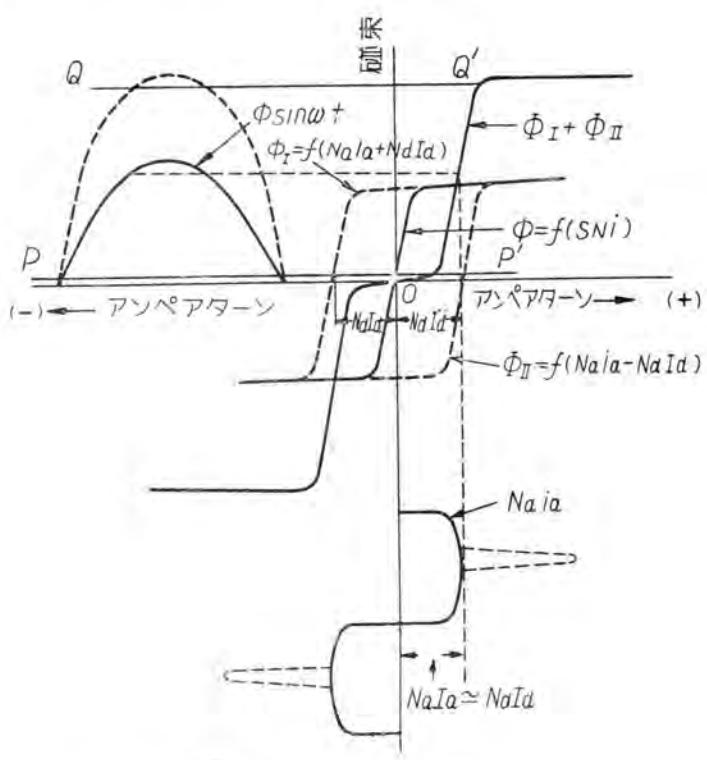
$$\begin{aligned} \phi \sin \omega t &= f(N_a i_a + N_d I_d) \\ &+ f(N_a i_a - N_d I_d) \quad \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

ここに $\phi = \frac{10^8}{N_a} \frac{\sqrt{2}}{\omega} E$ である。

(1) 式より、交流端子に加えられた電圧 $e = \sqrt{2} E \cos \omega t$ は各鉄心の磁化曲線 $\phi_1 = f(N_a i_a + N_d I_d)$ と $\phi_{II} = f(N_a i_a - N_d I_d)$ の和を

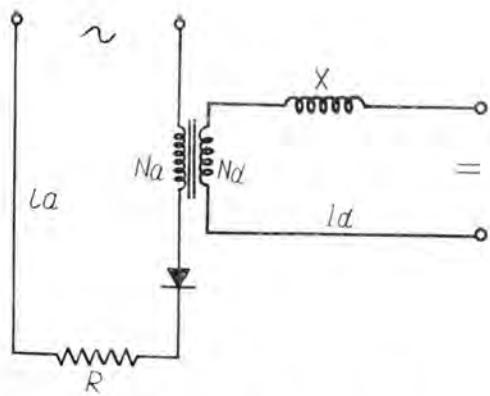


1 図 磁気増幅器の基本的結線図

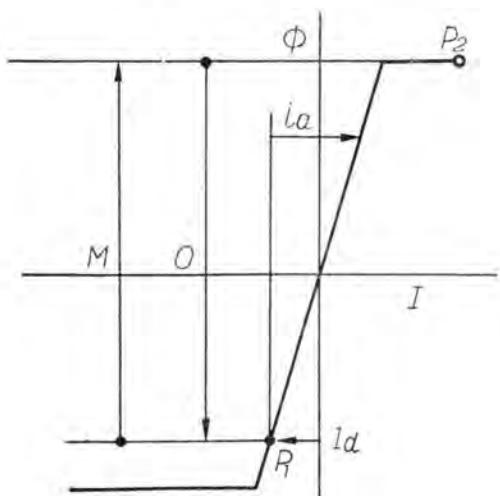


2 図 直流磁気増幅器回路および動作状態

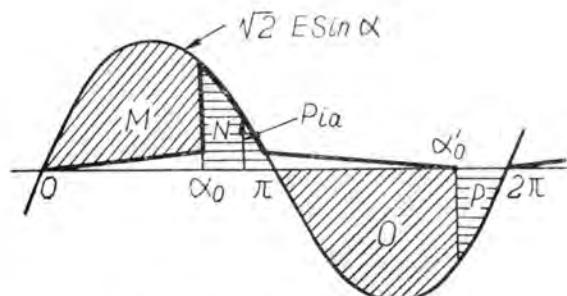
(B)



3 図 (A) 回 路

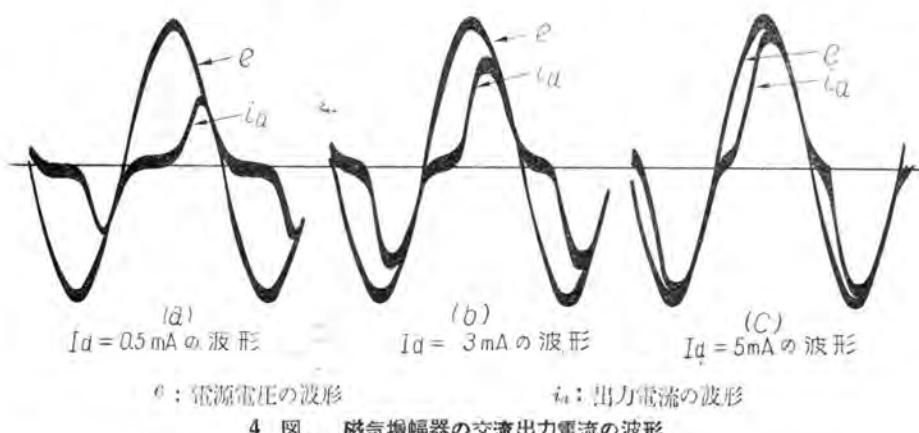


3 図 (B) 理想的磁化曲線



3 図 (C) 電圧および電流

3 図 理想的 B-H 特性を有する慣還付磁気増幅器の作用



磁気増幅器の特性とその応用・浜田

磁化曲線として、正弦波磁束を生ずることを示す。

図からわかるように、交流回路の電流波形はほぼ矩形波となり、その平均値 I_a は直線 PP' と QQ' 間では、磁束 ϕ すなわち印加電圧にほとんど無関係である。 PP' 以下では ϕ が変化する時、電流は急激に変化する。 QQ' 以上に ϕ が増加する時、電流波形の各中央においてピークが生じ電流は急激に増加する。

以上で磁気増幅器のきわめて基本的な作用を説明したが、実際の磁気増幅器は金属整流器を回路に入れて饋還し、その増幅度を増加せしめているのが普通であるから、饋還付基本回路についてさらにその作用を考察してみる。

2. 饋還付磁気増幅器の基本的作用

3 図 (A) の如く、増幅器はリアクタ素子、整流器および負荷抵抗 R の簡単な直列回路より成つているものとする。交流回路に印加される電圧は正弦波で、リアクタ素子は大きなインダクタンス X で平滑された制御電流 I_a で予偏励磁されている。鉄心は理想的な磁化曲線、すなわち上部分岐は水平で、折れ目は鋭く不飽和区間の傾斜が有限な3図 (B) の曲線を有すると仮定する。

いま増幅器端子に電圧 $e = \sqrt{2} E \sin \alpha$ を加えた場合、鉄心中の磁束変化は下記のように表わされる。

$$e = N_a \frac{d\phi}{dt}$$

$$\int e dt = \phi_2 - \phi_1 \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに ϕ は鉄心中的交流磁束、 N_a は交流巻線数、 ϕ_1 および ϕ_2 は交換磁束数を示す。上式はリアクタが吸収する電圧-時間面積はその磁束変化に比例することを示す。

リアクタ素子の電圧経過は3図 (C) に示すようになる。図で正弦波は印加交流電圧 $\sqrt{2} E \sin \alpha$ をあらわし、太い実線は負荷 R に現われる電圧を示す。 O 点の前では電圧は負であるから整流子の逆電圧として吸収されるが、電流は零である。制御電流 I_a は磁束偏差すなわち図 (B) の直流偏倚 P_1 点を与える。 $O - \alpha_0$ 点間でリアクタ素子は電圧を吸収し磁束偏差は減少していく。その間小さな增加正磁化電流が流れれるが、この電流による負荷 R 中の電圧降下は無視できる程度である。

この間の電圧降下は無視できる程度である。磁束偏差は α_0 点において零となり、リアクタは飽和点に達する。そこでリアクタ素子は電圧の吸収を中止し、残部の電圧は抵抗 R に移される。負荷電流 i_a は $i_a R = \sqrt{2} E \sin \alpha$ で面積 N を画く。電圧が $\alpha = \pi$ で負になつた瞬

4 図 磁気増幅器の交流出力電流の波形

間磁束偏差は増加し、リアクタ素子はまたたび電圧（面積 D ）を吸収する。当然回路電流はなお正に保たれ、 α' 点にて電流は零となり残りの電圧は 2π まで整流器の逆電圧として整流器に吸収される。 2π 以後どうにして同じ過程がくりかえされる。

図において2つの電圧—時間面積 M と D はリアクタ素子が吸収する部分が相等しいから、面積 N と P もまた相等しくなる。このように負荷 R における出力電圧は角 α の位相したがつて制御電流 I_d によつて変化させうる。

3図の回路は直流巻線に交流電源電圧が誘起されて实用性はない故、直流巻線に電源電圧が現われないようにならう。図(E)の如く2個組合わせて使用する。4図はこのような回路で撮つた磁気増幅器の電圧および電流状態を示すオシログラムである。図において、 e は電源電圧、 i_d は負荷電流の波形を示す。

以上の考察は理想的な磁化曲線において成立するので、実際の磁化曲線ではオシログラムでもわかるように当然ある程度の差異を生ずることは明らかであるが、その作用状態は根本的にどうようである。

前述の如く磁気増幅器の増幅率を増加さすためには、高性能の整流器が必須のものである。整流器はその作用上、前方抵抗が小さく、逆漏洩電流の少ないことが必要である。前方抵抗は回路の電力損と電圧降下を生じ、逆漏洩電流はヒステリシスループを増大せしめ、交流回路のイングクタンスを減少せしめる。

整流器は出力回路に挿入され比較的大きな電流を通すから、整流器に生ずる僅か数%の漏洩電流も制御回路の起磁力に比して、きわめて大きな逆起磁力として作用する。この漏洩起磁力を補償するために一般に漏洩電流の数十倍の制御電流を必要とするから電流利得は極端に減少する。とくに高導率磁気増幅器においては逆漏洩電流の影響は大きくあらわれる。

普通用いられる整流器は金属型で、セレン整流器は酸化銅整流器に比して定格が大きい故広く使用されている。

IV. 作用の解析

磁気増幅器を解析するには、まず鉄心の磁化曲線を現わす適当な方法を決定しなければならぬ。Hauffe⁽⁴⁾によると、ヒステリシスを無視した鉄心の磁化曲線は次式によつてあらわされる。

$$H = aB + bB^3 + cB^5 \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここに H は磁化力、 B は磁束密度、 a 、 b 、 c は磁化曲線によつて定まる常数である。なお μ スタルやバーマロイ等の如く容易に飽和する磁気材料に対しては B の高次の項（第9または第11次）まで用いねばならぬ。

もし電源電圧が正弦波で、鉄心のヒステリシスや交流巻線の抵抗および漏洩リアクタンスを無視し、かつ波形は負荷抵抗によつて影響されないものと仮定するなら

ば、鉄心中の磁束変化は正弦波となる。したがつて、鉄心中の磁化方程式をううことができる。以下鉄心中の起磁力・饋還作用・増幅率および時間遅れについて考察する。

1. 鉄心中の起磁力

A. 鉄心中の磁束波形

2図の直列磁気増幅器に交流電圧 $e = \sqrt{2} E \sin \omega t$ を印加すると各鉄心ⅠおよびⅡに生ずる磁束密度の波形は次式の如くあらわされる。

$$B_1 = B_{ac} \sin \omega t + B_{dc} \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$B_{II} = B_{ac} \sin \omega t - B_{dc}$$

ここに B_1 、 B_{II} は各鉄心の磁束密度、 B_{ac} は印加交流電圧による磁束密度で、 B_{dc} は主に直流励磁で定まる磁束密度の定常分を示す。

いま鉄心Ⅰに前述の磁束密度 B_1 をうるためには必要な磁化力 H_1 を求めるために、(3)式へ(4)式を代入すると、

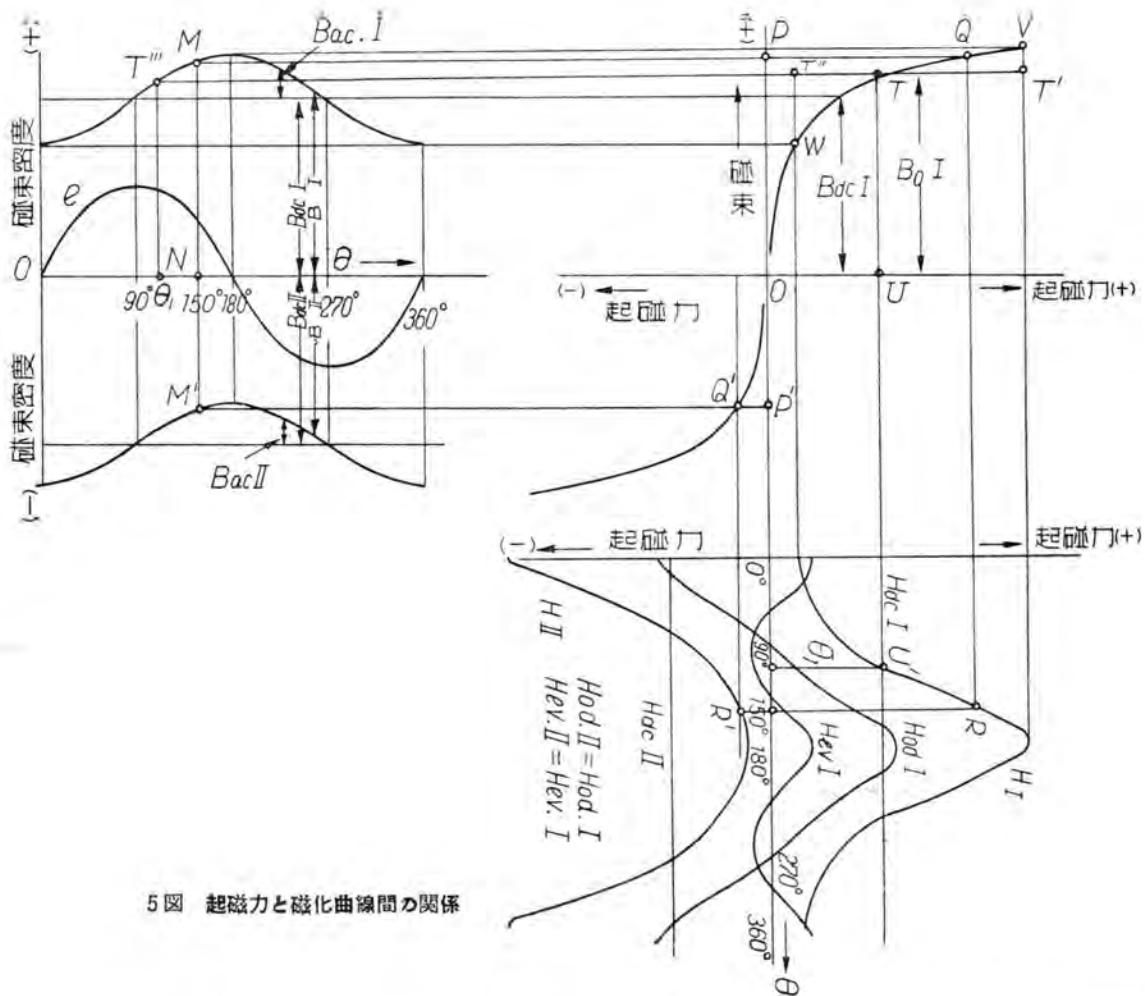
$$H_1 = aB_{ac} + bB^3_{ac} + cB^5_{ac} + \frac{3}{2}bB^2_{ac}B_{dc} + \frac{15}{8}cB^4_{ac}B_{dc} + 5cB^2_{ac}B^3_{dc} + (aB_{dc} + \frac{3}{4}bB^3_{ac} + \frac{5}{8}cB^3_{ac}B^2_{dc} + 3bB_{ac}B^2_{dc} + \frac{15}{2}cB^3_{ac}B^2_{dc} + 5cB_{ac}B^4_{dc}) \sin \omega t - (\frac{3}{2}bB^2_{ac}B_{dc} + \frac{5}{2}cB^4_{ac}B_{dc}) \cos 2\omega t - (\frac{1}{4}bB^3_{ac} + \frac{5}{16}cB^5_{ac} + \frac{5}{2}cB^3_{ac}B^2_{dc}) \sin 3\omega t + \frac{5}{8}cB^4_{ac}B_{dc} \cos 4\omega t + \frac{1}{16}cB^5_{ac} \sin 5\omega t \dots \dots \dots (5)$$

(5)式中の $+B_{dc}$ を $-B_{dc}$ とすれば、同一時間における鉄心Ⅱの磁化力 H_{II} をうる。したがつて回路電流によつて作られる全励磁は両鉄心に対して同じ故 $H_1 + H_{II}$ である。また各鉄心に必要な残りの励磁は当然制御回路から与えられたもので、それは $\pm \frac{H_1 - H_{II}}{2}$ である。(5)式より明らかに如く、磁化力 H_1 は一定項 H_{dc1} 、奇数高調波項 H_{dc1} および偶数高調波項 H_{ev1} の3成分よりなつてゐる。

磁束密度 B_1 または B_{II} を作るに必要な磁化力と磁束密度間の関係を5図に示す。それらは当然磁化曲線に關係する。図において、たとえば $\theta = 150^\circ$ における鉄心Ⅰの磁束密度 B_1 は MN であり、それに必要な磁化力 H_1 は PQ である。磁化力 H_1 を角 θ の函数として示せば、 PQ は RS で現わしうる。他の点もどうようにして求めれば曲線 H_1 をうる。 H_1 は各成分 H_{dc1} 、 H_{dc1} および H_{ev1} に分解される。

2. 制御回路の起磁力

制御回路の励磁は前述の如く $\pm \frac{H_1 - H_{II}}{2}$ で、定常分 H_{dc1} および偶数高調波分 H_{ev1} から成つてゐる。定常分は明らかに直流電源から加えられた電流 I_d によつて作



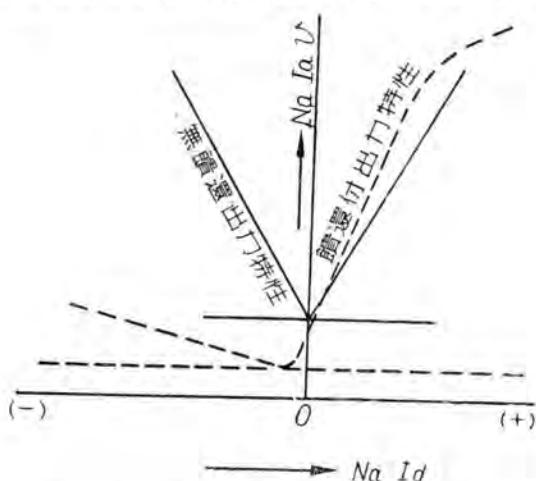
5図 起磁力と磁化曲線間の関係

られたものであるから、

$$H_{ac1} = I_a N_a = a B_{dc} + b B^3_{dc} + c B^5_{dc} + \frac{3}{2} b B^2_{dc} B_{dc} + \frac{15}{8} c B^4_{dc} B_{dc} + 5 c B^2_{dc} B^3_{dc} \dots (6)$$

である。これは鉄心中の励磁波の式(5)の0から 2π までの平均値に相当する。(6)式からわかる如く、制御巻線中の起磁力は直接加えられた直流励磁によるばかりでなく、印加交流電圧にもまた関係している。

H_{ac1} によつて作られる磁束密度は磁化曲線と H_{ac1} の



6図 頻還付有しない場合と有する場合の出力と入力の関係

交点 $TU = B_{o1}$ である。この B_{o1} は加えた直流励磁による磁束密度 B_{dc1} (鉄心 I の B_{dc}) と異なる。図に示すように、 B_1 は H_1 で作られ、 H_1 は一定項 H_{ac1} と $H_1 - H_{ac1}$ からなつてゐる。 H_{ac1} は一定磁束密度 B_{o1} を作り、交流部は磁束を VT' から $T''W$ まで変化せしめる。しかるに回路の非直線性のため、図に示す如く B_{o1} は B_{dc1} より大きくなる。

すなわちある直流励磁を加えても交流分が同時に誘起される時は、直流磁束密度は増加する。この平均磁束の差は増幅器の過渡時におけるレスポンスに大きな影響を有している。

つぎに制御回路に誘起される偶数高調波 H_{eVI} は、

$$H_{eVI} = i_{dh} N_a = -\left(\frac{3}{2} b B^2_{dc} B_{dc} + \frac{5}{2} c B^4_{dc} B_{dc} + 5 c B^2_{dc} B^3_{dc}\right) \cos 2\omega t + \frac{5}{8} c B^4_{dc} B_{dc} \cos 4\omega t \quad (7)$$

上式の i_{dh} は制御回路中に誘起される高調波電流である。この高調波電流の循環が阻止されると、鉄心中の磁束波形は歪んで正弦波でなくなる。この電流の大きさは直流励磁はもちろん、交流電圧にも関係する。(7)式より明らかに如く、直流励磁の符号を反対にすると B_{dc} の符号は反対になり、電流 i_{dh} の極性がかわる。

ウ. 交流回路の起磁力

交流回路の起磁力 H_{out} は前述の如く $\frac{H_1 + H_{eVI}}{2}$ とし

てあらわされるから、

$$\begin{aligned}
 H_{odd} = & i_a N_a = (a B_{ac} + \frac{3}{4} b B_{ac}^3 + \frac{5}{8} c B_{ac}^5 \\
 & + 3 b B_{ac} B_{dc}^2 + \frac{15}{2} c B_{ac}^3 B_{dc}^2 + 5 c B_{ac} B_{dc}^4) \sin \omega t \\
 & - (\frac{1}{4} b B_{ac}^3 + \frac{5}{16} c B_{ac}^5 + \frac{5}{2} c B_{ac}^3 B_{dc}^2) \sin 3 \omega t \\
 & + \frac{1}{16} c B_{ac}^5 \sin 5 \omega t \quad \dots \dots \dots (8)
 \end{aligned}$$

ここに i_a は交流回路電流, N_a は交流巻線の巻数である。なお平均出力電流 I_{av} はつぎのようになる。

$$I_{ab} = \frac{2}{T} \int_0^T i_a dt = \frac{2}{\pi} \frac{1}{N_a} \left[B_{aa} a + 3b b^2_{ac} + 5c B^4_{ac} + B^3_{ac} \left(\frac{2}{3}b + \frac{2}{3}c B^2_{ac} \right) + \frac{8}{15}c B^5_{ac} \right] \quad (9)$$

もし磁化方程式の常数 a , b および c が既知ならば、前述の (6) および (9) 式から一定の印加電圧、すなわちある B_{ac} の値における B_{dc} に対して、 $I_{da} N_d$ と $I_{av} N_a$ の値を決定することができる。

2. 饋還

1図(D)に述べた如く、出力電流を整流して制御回路のアンペアターンを助ける方向に加えると、磁気增幅器の増幅度を増加することができる。

償還を有しない増幅器の出力アンペアターンと制御アンペアターン間の関係は図6の実線に示す如く、零制御電流付近で対称になり、その傾斜角は $\tan^{-1} \frac{N_a I_{av}}{N_d I_a}$ によつて定まる。帰還を有する場合の出力特性は点線で示し、その傾斜は $\tan^{-1} 1/(1 - N_f/N_a)$ であらわされる。 N_f は償還巻線数である。

交流回路のアンペアターンと直流回路のアンペアターンは常に平衡が保たれている故、償還によつて与えられたアンペアターンを $I_f N_f$ とすれば残りの励磁は直流回路から供給されねばならぬから、

$$I_{av} N_a = I_a N_a + I_f N_f$$

したるに饋還電流 I_f は交流回路電流であるから、

$$I_{av} = I_a \frac{N_a}{N_a + N_f} + I_f \frac{N_f}{N_a + N_f} \quad \dots \dots \dots (10)$$

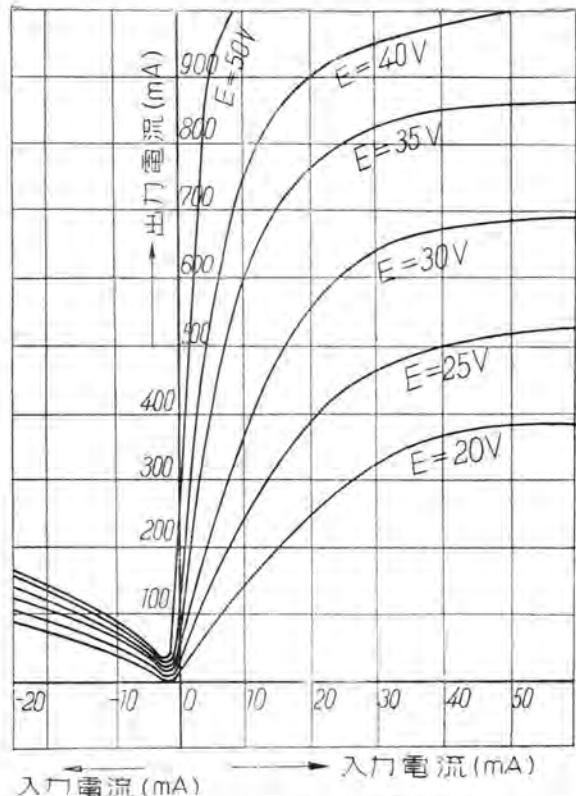
220

$$F = \frac{1}{1 - \frac{N_f}{N_a}}$$

F を償還率と称し、電流利得は F によって増加する。もし I_a の方向が償還電流の方向に逆ならば償還アンペアターンは直流アンペアターンに反対になる。したがつ

すなわち電流利得は F の値によつて減少する。前者を正饋還、後者を負饋還と称する。

上述のように饋還は相当広範囲に増幅率を調整することができる。正饋還では時定数は若干大きくなるが、増



7 図 磁気増幅器の出力特性曲線

幅率を相当増加し、負饋還では増幅率は大きくならないが、時定数をきわめて減少しうる特長を有している。

3. 增幅率

磁氣增幅器の增幅率 A は出力 $I_{av}^2 R$ と入力 $I_d R$ の比としてあらわされる。 R_d は制御回路の抵抗である。

$$A = \frac{I_{av}^2 R}{I_d^2 R_d} \quad \dots \dots \dots (12)$$

(12)式に(10)式を代入すると、饋還を有する場合の増幅率が得られる：すなわち、

$$A = F^2 \frac{R}{N_{\text{ext}}^2} \frac{N_{\text{ext}}^2}{R_{\text{ext}}} \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

(13) 式から、増幅率を増加せしめるには、正饋還率 $F, R/N^2_a$ および N^2_a/R_a を大きくすることである。しかし R/N^2_a を大きくすることは一定磁束密度の下で作用する磁気増幅器に取つては、その出力変化分が減少することになる。また N^2_a/R_a を大きくすると磁気増幅器の時定数が増加しレスポンスが悪くなる。したがつて設計には以上のことを考慮しなければならない。

7 図は磁気増幅器の出力電流 i_n と入力電流 I_d との関係を、印加電圧をパラメータとして、10 図の実際に使用した回路について実測したものである。印加電圧を増して行くと、増幅率は増加して行くが、60 V 以上になると零電流が急激に増加し、また整流器の逆漏洩電流が増加するため曲線は上方に移動し、増幅率はむしろ減少する。

4. 時間遅れ

磁気増幅器において直流電流の印加と、出力電流の変化との間に、ある時刻遅れがある。増幅器では一般にこ

の時間遅れが使用上の隘路となるが、適当に設計された装置においては最小時間遅れを大体電源周波数で、1~3 μ 余りにならう。

直流電流の変化に対して出力電圧は追従的に変化するから、5 図から判るように平均磁束の変化を生ぜしめる、この現象は交流巻線と直流巻線が相互に誘導結合しているから、制御電流の変化を遅延せしめようとする電圧を巻線中に誘起する。

したがつて、時間遅れは直流コイルのインダクタンス L 1-1 これは不飽和範囲における鉄心の磁化曲線の傾斜に関係している。1-1 と直流制御回路の抵抗 R_d から時間遅れ T はつぎのようにあらわされる。

$$T = \frac{L}{R_d} = \frac{\Delta \phi_a N_a}{\Delta I_a R_d} \quad \dots \dots \dots (14)$$

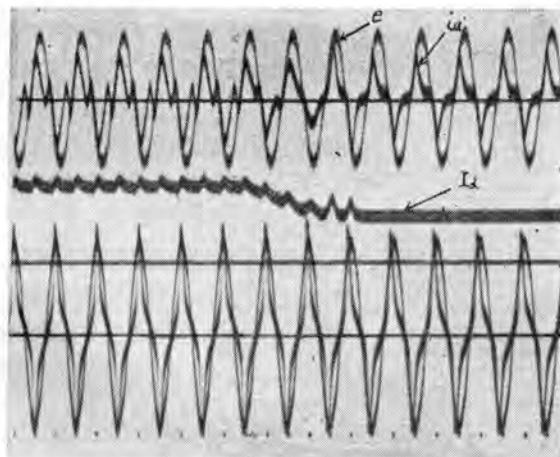
ここに $\Delta \phi_a$ は制御巻線を通る全磁束の変化分、 ΔI_a は直流電流の変化分である。(14)式は磁気増幅器の時間遅れをあらわす一般式であるが、10 図に示す自己饋還型磁気増幅器の時間遅れはつぎのようにあらわされる⁽⁶⁾。

出力電圧の変化分 ΔE (平均値) は磁束変化 $\Delta \phi_a$ に比例するから、その関係はつぎのようになる。

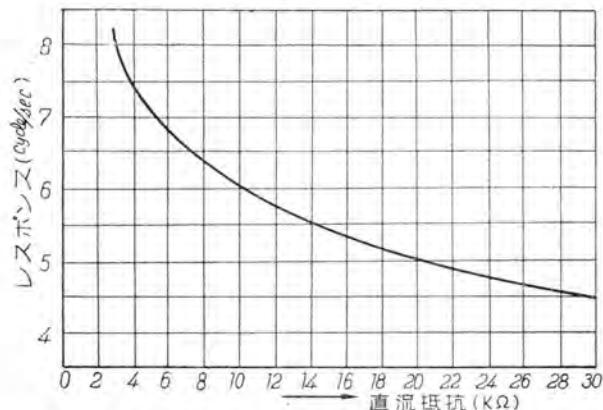
$$\Delta \phi_a = \frac{\Delta E}{4f N_a} \quad \dots \dots \dots (15)$$

(15)式を(14)式に代入すると、

$$T = \frac{\Delta E}{\Delta I_a R_d} \frac{N_a}{N_a} \frac{1}{4f} \quad \dots \dots \dots (16)$$



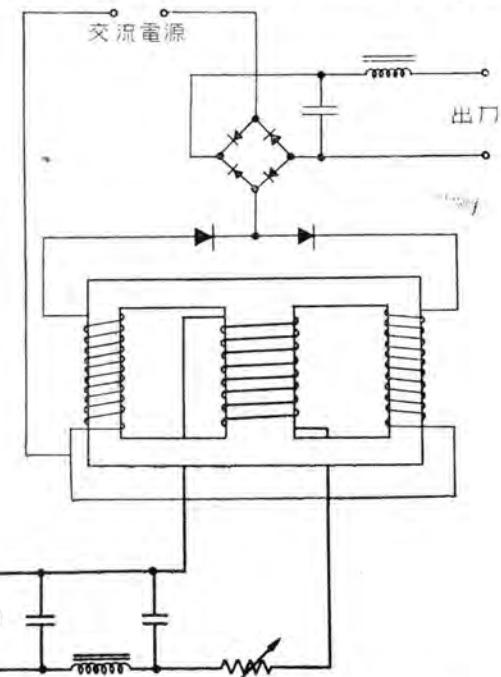
8 図 磁気増幅器の過渡現象



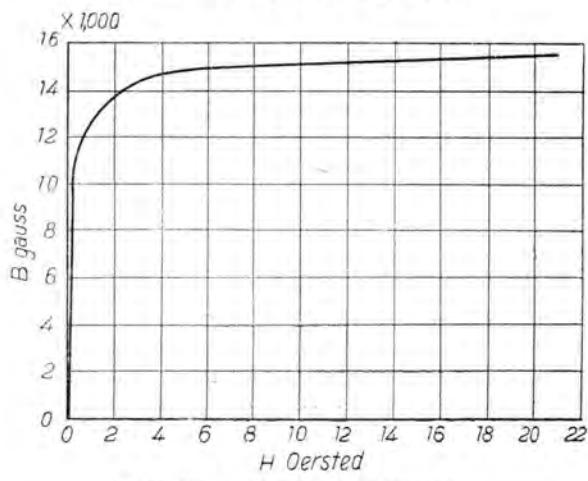
9 図 磁気増幅器のレスポンスと制御回路抵抗との関係

磁気増幅器の特性とその応用・浜田

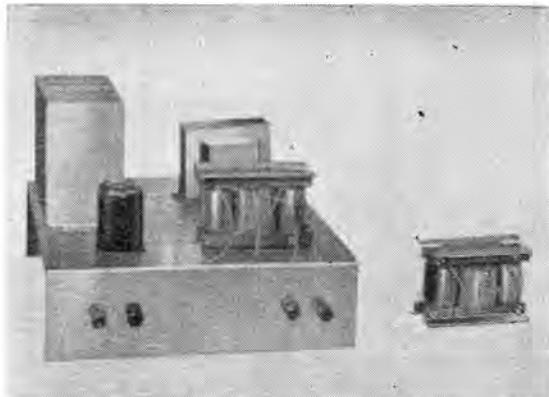
一般に磁気増幅器の時間遅れと増幅率は一次的に関連している故、増幅率を増すと時間遅れは必然的に増大していく。多段増幅を用いた場合、装置の全増幅率は各段の増幅率の積であり、全時間遅れは各段の時間遅れの和となる。したがつて多段式にすると増幅率と時間遅れの



10 図 (A) 自己饋還型磁気増幅器回路

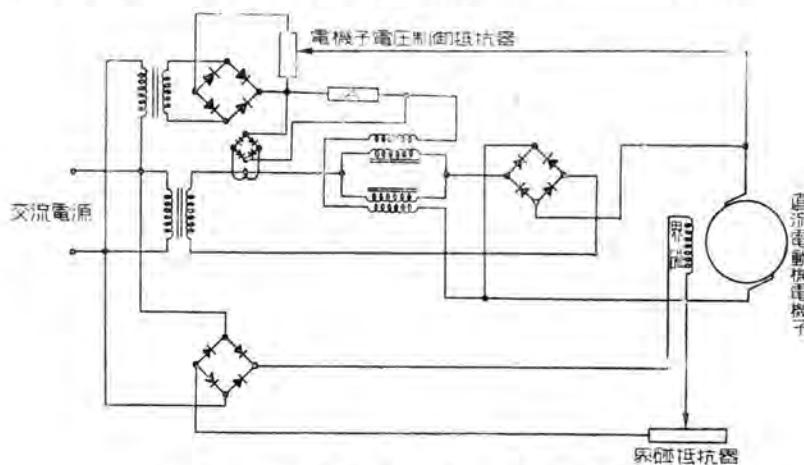


10 図 (B) 使用鉄心の B/H 曲線

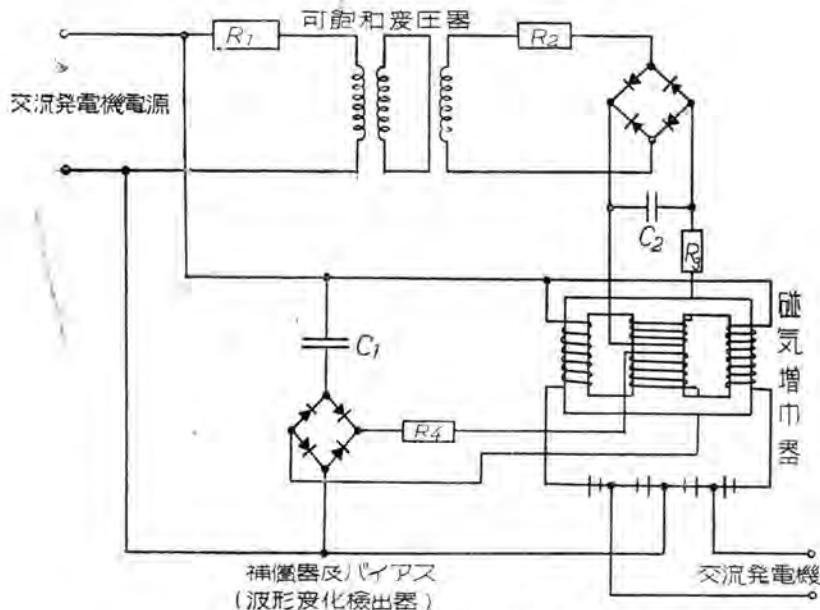


10 図 (C) 自己饋還型磁気増幅器装置

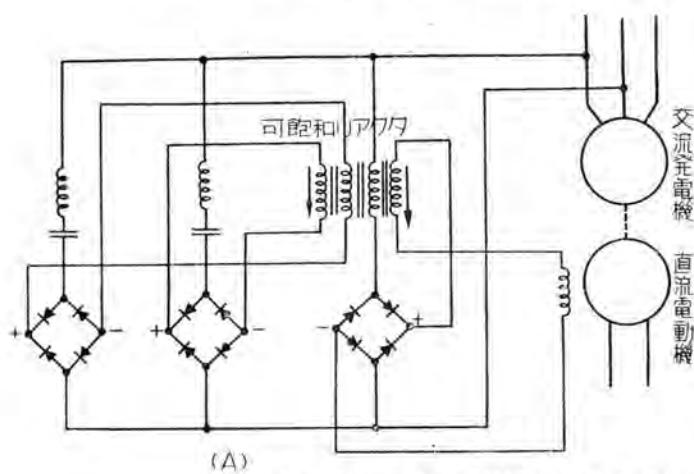
比は増大するから、増幅器は多段式を用うると時間遅れを同一増幅率に対して減少させることができる。故に実際には1段当り10ないし1,000の増幅率を用い、低増幅率で多段式のものが使用される傾向にある。



11図 直流電動機の速度制御回路



12図 交流発電機の自動電圧調整回路



13図 磁気増幅器による交流発電機の自動周波数制御回路

8図は直流 I_d を加えた場合の過渡現象を示すオシログラムである。図に見る如く、定常状態になるまでに約3秒を要し、前述の如く、直流分に偶数高調波が現われている。

9図は10図の回路の時間遅れを電源周波数を単位として、制御回路の抵抗との関係を示した。

以上の解析を基に10図の磁気増幅器を製作し、水力発電機に取り付けた回転計の直流を増幅するに使用して好結果を得た。

V. 応用

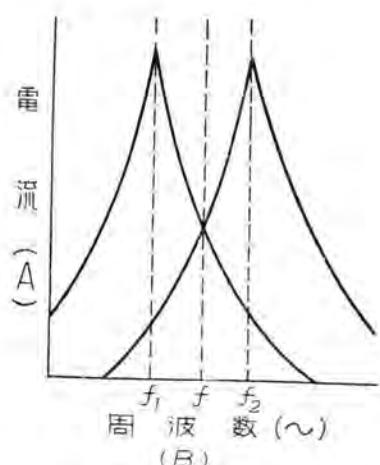
磁気増幅器は前述の如き特長によつて、増幅器または自動制御用要素として実用上各方面にわたつて多種多様に利用されていて、その全体について述べることはできないが、ここでその代表的な2,3の例について概説する。

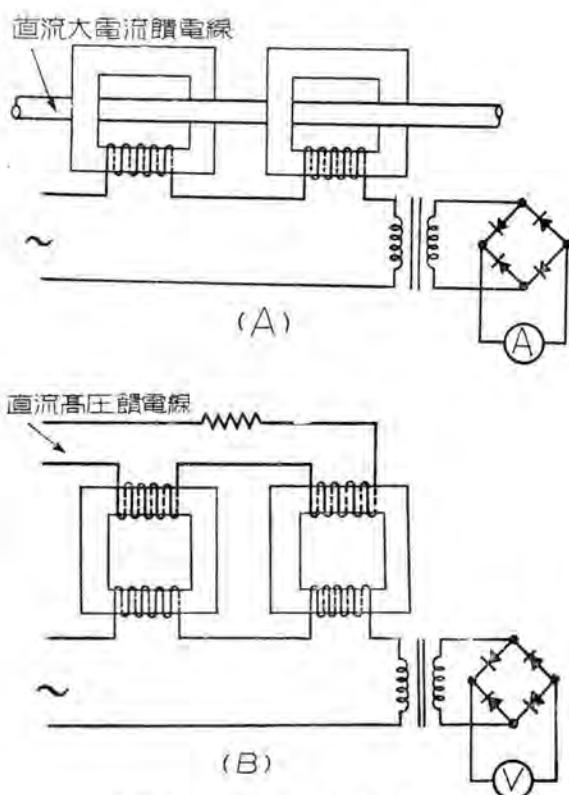
ア. 直流電動機の速度制御

磁気増幅器を用いて、直流電動機の速度を広範囲に制御することができる。その例を11図に示す。

増幅器の交流巻線を並列に接続し、これを整流器を通して電動機の電機子に直列に接続する。電機子の端子電圧は増幅器の直流制御巻線を通じて電機子電圧制御抵抗器の電圧と反対に接続して、規準電圧を取り出して置く。

したがつて装置は電動機の逆起電力を規定に保ち、電機子電圧制御抵抗器で与えられた速度を一定に保つようしている。電動機の規準速度は界磁抵抗で調整する。





14図 直流変圧器

イ. 交流発電機の自動電圧調整

交流発電機の自動電圧調整に用いた磁気増幅器回路を12図に示す。回路は電圧調整用可飽和変圧器、補償用移相回路および磁気増幅器回路より成っている。

出力電圧の制御は飽和変圧器の出力の位相変化と、 C_1 と R_1 の移相回路によって行われる。この回路では力率100%の負荷で、1.5% また力率89%の負荷において1.7%の電圧制御能力を有することが報告されている。

ウ. 交流発電機の周波数調整

13図は磁気増幅器を交流発電機の周波数制御に用いた回路例である。

図において、 $C_1 L_1$ および $C_2 L_2$ の共振回路の特性

曲線の交点に発電機の周波数 f を合せておけば、周波数の変動によつて磁気増幅器の入力が変化するから直流電動機の入力が変化し、したがつて速度が変つて周波数を制御することができる。

(1) 直流変圧器

磁気増幅器による直流大電流および直流高圧の測定は周知のことであるが、その回路を14図に示す。

直流饋電線の電流または電圧の変化を他の交流電源から供給されている處の交流出力の変化によつて測定するものである。適当に設計された磁気増幅器においてはその誤差を大体2%以内になしうる。

エ. 自動制御蓄電池充電器

蓄電池充電器に磁気増幅器を用いて、充電比を自動的に変化せしめて蓄電池の充電を行うことができる。15図で示すように、蓄電池の端子から取つた電圧制御抵抗器の電圧の一部を検出用整流器の規準電圧に反対に接続して置くと、両者の電圧の差は増幅器の制御巻線に流れる電流を変化して充電電圧を制御するものである。

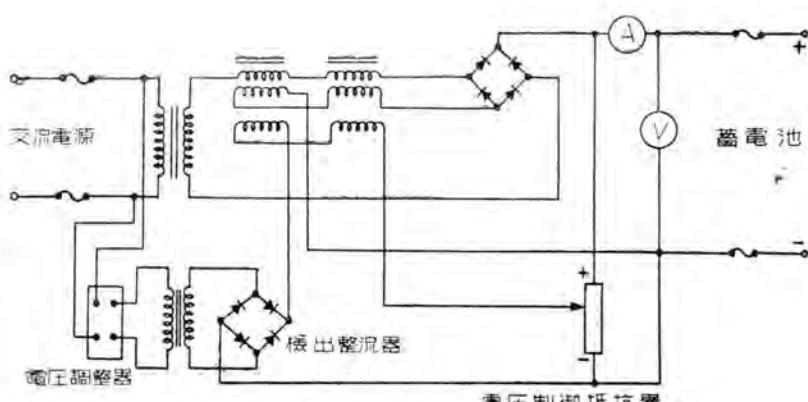
VI. 結 言

磁気増幅器は各部門に広範囲に利用されているが現在まだ過渡期にあるため、その決定的な応用部門は存在しないようである。しかしアメリカおよび西欧においてはすでに実用期に入り、種々の分野に使用されている。

当社においても終戦後この研究を進め、直流増幅器、電気抵抗炉の制御およびイグナイトロン格子制御としては実験の結果その性能の優秀性を確認することができた。

各種の応用における磁気増幅器の性能は明らかであるが、実用上なお種々研究すべき点 1-1 とくに微小直流の増幅、レスポンスおよび磁気材料 1-1 があると考えられる。

最後に本研究は電気課長横須賀正寿技師のご指導をうけ、今出和彦技手に実験の協力をうけたことを付記する。



15図 磁気増幅器による自動制御充電器

トラック巡回による発電所開閉所における主要機器損失角の現場試験

当社では可搬式誘電体力率ブリッジ（劣化検出器）をトラックに積載して日発静岡支社地区内、大井川発電所・氣田発電所・静岡開閉所と所内主要機器の損失角を実測したが、その結果と、絶縁劣化判定に対する資料をのせ、いわゆる $\tan \delta$ の現場試験の実際的運用例を示した。

本 社 浅 井 德 次 郎
伊丹製作所 岩 崎 晴 光
田 口 修

1. 緒 言

日本発送電株式会社東海支店静岡支社大井川発電所に当社が昭和10年に納入した3台の3相23,000 kVA変圧器は、当時新しい3相サージブルーフ型であつた。その後14年間、異常に運転されていたが、頭初の計画どおりに70 kV送電を150 kVに昇圧、從来開放端となっていた154 kVの套管が使用される運びとなり、この際万全を期して内部点検が行われた。筆者らは昭和25年4月23日より5月6日にわたり、これら変圧器の巻線および套管の損失角を測定し絶縁劣化の状態を知ることをえた。さらにこの機会を利用して同静岡開閉所および氣田発電所にも赴いた。これら実測の測定器はいわゆる可搬式誘電体力率ブリッジ (Partalite power factor Bridge) を用い、巡回は主としてトラック運搬によつて、主要機器たる発電機巻線・変圧器・油入遮断器・套管・所内ケーブル等の損失角を測定した。本文は前述の測定結果を報告するとともに、近年に至り、機器保守上ますます重要視されつつある損失角 ($\tan \delta$) の現場試験 (Field Test) の実際を明らかにしたものである。

2. 測 定 器

使用した測定器は可搬式誘電体力率ブリッジで1図に示すような逆ブリッジである。工場あるいは研究所にあるシェーリングブリッジは標準コンデンサおよび電源部を別個としている正シェーリングブリッジであつて、一方の電極が接地された現場機器の $\tan \delta$ の測定をすることはできないが、可搬式誘電体力率ブリッジはこれらの要求を十分に満足し、さらに測定範囲も各種機器の静電容量を考慮して、可測範囲は $20 \mu\mu\text{F} \sim 2 \mu\text{F}$ 、 $\tan \delta$ は0%～31.11%となつていて、自藏電源の容量600 VA、測

定電圧0～13,800 Vの能力を有している。別の電源を臨時接続をすれば13,800 Vにて約 $2 \mu\text{F}$ まで測定は可能である。アメリカおよびわが国における現場試験 (Field Test) の測定電圧は、定格10 kV以下の機器は定格電圧で、定格10 kV以上のものはすべて10 kVとしている。現状において可搬式の限度としては測定電圧と可測範囲は十分に満足すべきものである。また本器は別の標準コンデンサおよび電源部を使用すれば、正シェーリングブリッジとして使用できる利点を有している。ブリッジの平衡検出は商用周波に同調をとつた、增幅器とミリアンペータである。測定器より試料への接続は二重シールドケーブル (Double shield Cable) で約15mの長さを有し、この半径範囲内の被測定物は測定器を移動する必要はない。標準コンデンサは静電遮へいをかねた接地された外箱と、ブリッジ部分を内蔵した高圧の内箱間の空隙の静電容量を利用して、ブリッジの調整は絶縁ノップ (Knob) で行い、外側の手の触れる部分はすべて接地され危険のないようにしてある。ケーブルおよび内箱の支持物等の静電容量と漏洩電流は二重平衡回路により誤差の入らぬようにしてある。ブリッジが平衡した場合は次式により $\tan \delta$ は直読できる。電容量は計算尺を用いることによりただちに算出される。

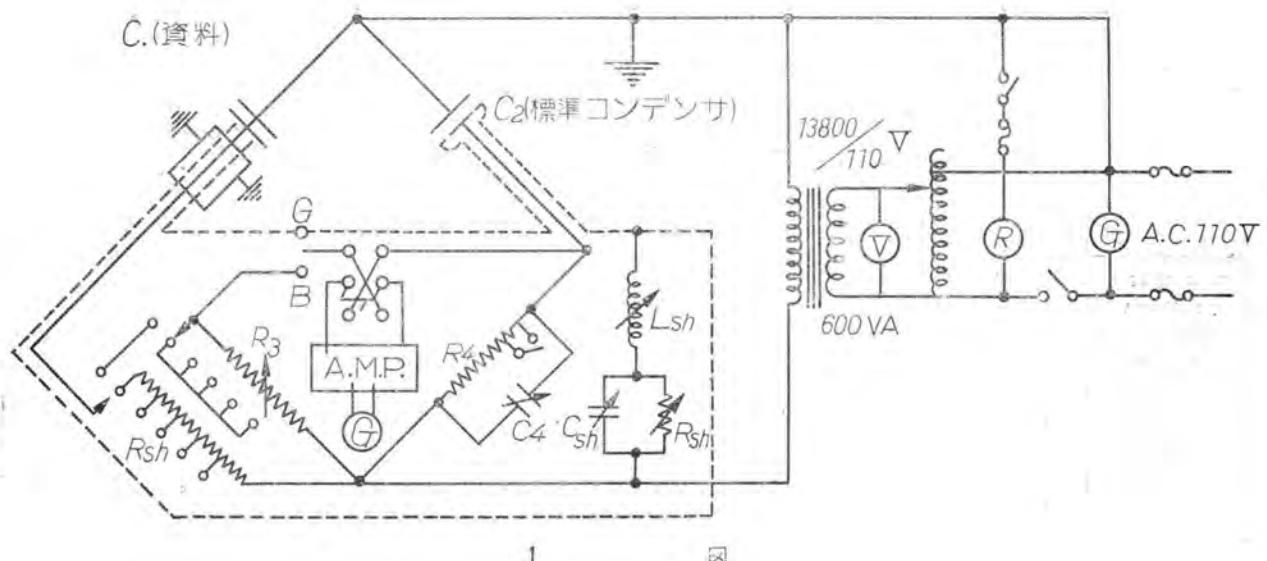
60 V のとき、 $R_4 = 265.5 \Omega$ 50 V のとき、 $R_4 =$

318.5 Ω $C_4 = 0 \sim 3.11 \mu\text{F}$

$\tan \delta = m \cdot C_4 \cdot R_4 = 10 \cdot C_4 \cdot \% \quad (C_4 : \mu\text{F})$

静電容量

(分流器を使用しないとき) $C_1 = \frac{R_4}{R_3} \times C_2$



1 図



大井川発電所にて主変圧器測定中

$$(分流器を使用したとき) C_1 = C_2 \cdot R_4 \times \frac{100 + R_3}{R_{sh} \cdot R_3}$$

R_{sh}分流器抵抗値 (Ω) 0.1 0.3 1 3
10 30

3. 損失角実測日程

ア. 第1回 昭和25年4月23日午前10時伊丹製作所よりトラックで測定器を積載して出発

同4月24日 午前8時大井川発電所到着、3号主変圧器 ($\tan \delta$) 測定。

同4月25日 水車室内に置れてある予備套管(油入遮断器用油入套管コンパウンド套管) 3号主変圧器高圧中圧側套管。

同4月26~27日 大井川発電所より静岡開閉所に測定器運搬、同開閉所にてO.C.B. 套管、同予備套管、計器用変成器、所内変圧器、測定器は大井川発電所に返送。

イ. 第2回 同年5月2日 大井川発電所にて3号O.C.B. 套管および3号発電機固定子巻線

同5月3日 同発電所にて2号主変圧器、2号O.C.B. 套管、2号発電機固定子巻線、1号主変圧器、

トラック巡回による発電所開閉所における主要機器損失角の現場試験・浅井・岩崎・川口

1号 O.C.B. 套管、1号発電機固定子巻線。

同5月4日 予備套管(蓄電器型、油入型)

同5月5日 1号主変圧器高圧側中圧測定套管、測定後軽便鉄道およびトラックにより気田発電所へ運搬。

同5月6日 気田発電所にて発電機固定子巻線、(2号A 2号B の2台) 予備套管。

ウ. 第3回 同年7月2日 大井川発電所にて1号、2号主変圧器。

同7月3日 所内 10kV 3kV ケーブル所内変圧器。

第3回測定時も第1、2回とどうようすに往復共トラックにて測定器を運搬した。

4. 測定結果

ア. 大井川発電所(第1回と第2回)

1表は測定結果成績を示し 3号 23,000kVA 主変圧器において1号は従来使用のままの状態で負荷遮断直後測定し、2号と3号は内部点検後、内身を上げ表面に積つているスラッジを除き、絶縁油を濾過した後に測定した値であり、なお2号は内部点検後負荷により温度上昇したときの値である。3号低圧巻線の $\tan \delta$ の大きいのはタップチェンジヤコンタクト(tap chenger Contact)面の荒れに起因するものである。

套管の測定は作業の都合により2号主変圧器のものは割愛したが、1号、3号変圧器の高圧および中圧側套管の $\tan \delta$ は、絶対値としてはいずれも良好な値を示している。しかし中圧側の套管はいずれも高圧側に比べてやや大である。これは昭和7年頃からコンパウンド洩れがあるためで、すなわちバッキンの劣化により比較的軟化点の低い(65°C~70°C)コンパウンド(絶縁耐圧良好)が夏季変圧器外部温度が70°Cとなるため洩れたもので早急にバッキンの修理を行わねばならない。そのまま使

1 表 (大井川第1,2回)

機器名	機番	測定箇所	測定温度 (°C)	測定電圧 (kV)	静電容量 (μF)	損失角 (%)	摘要	機器名	機番	測定箇所	測定温度 (°C)	測定電圧 (kV)	静電容量 (μF)	損失角 (%)	摘要
3相変圧器 23,000kVA 161/80.5/10.5kV	1	H-E M-E L-E	油温 43 # #	10 # #	0.01(μF) 0.03 0.04	1.1 1.1 1.0	他の2巻線 は開放のま ま以下同じ	油入型套管 昭和10年E社製	3 4 5 6	18.2 # # #	10 # # #	172(μF) 177 172 177	2.9 1.8 3.5 2.0		
油入自冷式 外鉄型 昭和10年三菱製	2	H-E M-E L-E	47.5 # #	# # #	0.0099 0.028 0.037	1.1 1.1 1.0			2 3 4 5 6	17.0 # # # #	10 # # # #	171 168 168 168 166	2.9 1.8 2.2 2.5 2.0		
H: 高圧 M: 中圧 L: 低圧	3	H-E M-E L-E	17.0 # #	# # #	0.0098 0.031 0.041	1.5 1.6 2.9			1 2 3 4 5 6	19.0 # # # # #	10 # # # # #	166 (248) 171 (620) 169 (252)	1.5 (1.2) 2.2 (0.8) 2.5 (2.2)	ピン碍子笠列 (4連1列) (6連7列) (4連1列)	
上変圧器に使用せる 套管 154kV, 200A(H) 8kV, 200A(M)	1	U(H) V W O	21 # # #	10 # # #	377(μF) 365 394 377	0.8 0.6 0.5 0.5		葉正器用予備套管 154kV, 200A コンデンサ型 (コンパウンド充填) 昭和10年D社製	13486 13493 13490 13494	21 # # #	10 # # #	365 358 358 360	2.5 2.0 2.3 3.0		
コンデンサ型 昭和10年三菱製	2	U(M) V W O	# # # #	# # # #	305 285 305 301	0.9 1.1 0.8 1.0		同上, 80kV, 200A	13508 13502	# #	# #	290 270	4.9 2.6		保存場所水 車室にして 温氣多し
3	U(H) V W O	19.5 # # #	10 # # #	373 377 365 365	0.5 0.72 0.6 0.5		より行なう	予備套管(旧品) 110kV, 1W社 コンデンサ型 (コンパウンド充填) DWG-41989 SO, 35P-207	1 2 3 4 5 6	21.5 # # # # #	10 # # # # #	259 278 283 287 275 281	4.7 4.3 3.8 4.5 4.2 3.8		中性点O. C.B.に使 用する予定
水車発電機 23,100kVA 30° 11,000V, 1,212A	1	U巻 V W	線端温度 30 # #	4 # #	0.138(μF) 5.0 5.0	5.0	運転停止 後即日測 定	変圧器用予備套管 80kV, 200A コンデンサ型 (コンパウンド充填) 昭和24年12月 三菱修理済	54727 54725 54914 54726	# # # #	# # # #	270 272 266 299	0.8 0.8 0.6 1.3	(0.58) (0.78) (0.59) (0.58)	
昭和11年E社製	2	U V W	# # #	# # #	0.15 5.0 5.0	5.0	運転停止 後即日測 定	D.C. B用予備套管 80.5kV, 300A 油入US-3型 昭和24年C社製	70705 70705 70705 -1 -2 -3	21 # # #	10 # # #	102 121 130	3.8 5.9 6.9		新品 旧品
	3	U V W	19 # #	# # #	0.18 14.3 14.3	14.3	約10日間 停止中後 測定	同 80kV, 油入型 昭和10年E社製	1 2	21 #	10 #	128 128	5.0 7.7		
油入遮断器套管 80.5kV, 800A	1	1 2	18.2 #	10 #	173(μF) 176	2.9 2.0		コンデンサ型 電圧との他不詳			19.5	10	160	10.5	

用するとすれば年々 $\tan \delta$ の測定を行い監視する必要がある。

なお昭和10年製作当時から主変圧器用予備品として保存されている套管(下部はリノテープでテープィングしてコンパウンド塗布で被つてある)は保存場所の狭隘に

より水車室におかれしておりそのため吸湿していることを示している。昭和24年12月修理済の中圧套管は保護タンクがついており工場出荷時の値を示している(下部テープィングで包んだままで測定したのでやや値が多く出ている 110kV), コンデンサ型套管は使用予定が中性点用

O.C.B. であるので、やや値が多いものでも差支えないという考え方も妥当であろう。また油入型套管は碍子表面の漏洩電流を防止するためよく清拭しガードリング(Guard Ring)をつけて測定した。

水車発電機の固定子巻線は静電容量が大きくて測定器自藏の変圧器では4kVまでしか電圧が上げられなかつた。運転停止即日測定した1号および2号機と約10日間停止している3号機と比較すると $\tan \delta$ の値に約9%の差がある。

油入遮断器套管(油入型)は $\tan \delta$ 1.5~3.0%で35%以上が1本あるのみで良好であつた。

イ. 静岡開閉所

2表はその結果成績を示す。O.C.B. 套管30本、予備套管6本を測定した。予備品中コンパウンド洩れにて取外したもの内 $\tan \delta$ の少いものもあつた。これはコンパウンド洩れと、劣化との間の時間的遅れがあるためではなかろうか。使用中のもので6.0%をこえるものが2本あつた。またグランド用P.T.の $\tan \delta$ が高かつた。この場合套管が2本並列に入り、コイルの静電容量も少いから、コイル自体の $\tan \delta$ か套管の $\tan \delta$ のいずれかが悪いと考えられる。

ウ. 気田発電所

3表はその結果成績を示す。昭和2年に製作されその後雷害にて修理された。発電機巻線の $\tan \delta$ を3kVにて測定したが $\tan \delta$ の値は低かつた。この場合測定器検流計回路にコロナ(Corona)の誘導が認められた。この状態は絶縁物が「枯れ」空隙が多い場合であると思う。また電圧特性は3kVでは増加の傾向が見られた。このような特性のものは吸湿が早いと考えられる。

2号のケーブルはケーブルヘッドの所でコンパウンドが洩れていた。いずれも使用中ケーブル外被の温度は約40°Cの程度まで昇るのではないかとの話であつた。

エ. 大井川発電所(第3回)

4表はその結果成績を示す。2図はケーブルの配置を示す略図である。

従来の経験により高溫時の $\tan \delta$ が劣化判定に正確を期しえられるので、できれば変圧器にインピーダンス電圧を高圧側より入れ油温を上げたかつたが、電力の都合でできなかつた。前回(1表)の1号主変圧器測定値と比較すると絶対値は低下している。所内ケーブルは実測の経験も少くいたずらに破壊することを恐れ1kVにて測定した。今その測定値を一覧すると $\tan \delta$ 0.35~0.5%という範囲のものが全数の約6割をしめている。ところがそれ以上の値を示すものは欠陥を暗示すると考

機器名	機番	測定箇所	測定温度(°C)	測定電圧(kV)	静電容量(μμF)	損失角(%)
油入遮断器套管 88kV 400A 油入型 ZB-40005-C 昭和13年 A社製	780	1	225	10	164	2.4
		2	✓	✓	164	2.2
		3	✓	✓	165	2.4
		4	✓	✓	166	2.3
		5	✓	✓	163	2.6
		6	✓	✓	162	2.4
油入遮断器套管 88kV 600A コンパウンド型 昭和10年 E社製	762	1	✓	✓	230	3.5
		2	✓	✓	235	2.3
		3	✓	✓	240	2.6
		4	✓	✓	300	10.2
		5	✓	✓	235	2.5
		6	✓	✓	247	6.4
	764	1	✓	✓	207	2.6
		2	✓	✓	203	2.5
		3	✓	✓	209	2.3
		4	✓	✓	209	2.7
		5	✓	✓	206	2.3
		6	✓	✓	212	3.1
	766	1	✓	✓	238	2.0
		2	✓	✓	250	4.2
		3	✓	✓	225	3.3
		4	✓	✓	236	2.2
		5	✓	✓	230	3.8
		6	✓	✓	234	2.8
計器用変圧器 20VA 70kV/100V KBO-74 昭和24年 A社製	768	1	✓	✓	207	2.7
		2	✓	✓	210	3.4
		3	✓	✓	207	2.5
		4	✓	✓	207	2.8
		5	✓	✓	222	4.3
		6	✓	✓	231	3.5
グランド用計器変圧器 200VA 77kV/4.45kV/110V VR型 Q-7 昭和10年 E社製	764	高圧線端	22.5	10	725	7.3
	768	✓	✓	✓	712	6.0
所内変圧器 10kVA 77kV/110V 昭和10年 E社製	赤	高圧線端	22.5	10	595	8.3
	黒	✓	✓	✓	592	8.3
	白	✓	✓	✓	592	8.5
予備套管 O.C.B.用 80kV SB-8 コンパウンド型 E社製	所内	高圧線端	22.5	10	710	3.9
	1		19	10	144	5.0
	2		✓	✓	154	8.1
同上 所内 10kVA 変圧器 用 70kV SB-18 コンパウンド型 E社製	3		✓	✓	183	11.3
	4		✓	✓	145	2.3
	5		✓	✓	146	2.4
	6		19	10	105	4.0



大井川発電所にて発電機測定中



大井川発電所にて予備套管測定中

3 表 氣田 發電 所

機器名	機番	測定箇所	測定湿度	測定電圧	蓄電容量	損失%
			(°C)	(kV)		
水車発電機 1,650 kVA 3,300V 288A 1927年B社製	1	A相-E	Core			
			43	1	0.04	3.6
			9	2	9	3.8
		B相-E	9	3	9	3.9
			9	1	9	3.8
			9	2	9	3.8
	2	C相-E	9	3	9	3.9
			9	1	9	3.6
			9	2	9	3.8
		A相-E	9	3	9	3.9
			47	1	9	4.0
			9	2	9	4.0
			9	3	9	4.1
電 覧 3φ 3.3kV	1	B相-E	9	1	9	3.6
			9	2	9	3.6
			9	3	9	3.8
		C相-E	9	1	9	3.6
			9	2	9	3.8
			9	3	9	4.0
	2	A相-E	表面		(μF)	
			25	3	0.0-5	4.2
			9	9	9	4.2
		B相-E	9	9	9	4.1
			9	9	9	3.7
			9	9	9	3.8
		C相-E	9	9	9	3.7

えられる、31% 以上を示すもので大部分がケーブルヘッドの不良であろう、測定電圧 1 kV で 0.7% を示すもののうち一例だけ電圧を 2 kV に上げて測定したが、第 1 回目は 2%，2 回目に測定すると 1% というような不安定な値を示した、これは局部的な損傷ではないかと思う、所内変圧器は良好であつた。

5. 劣化判定の基準

損失角を測定して劣化判定を行う場合つぎの3つの方法が用いられる。

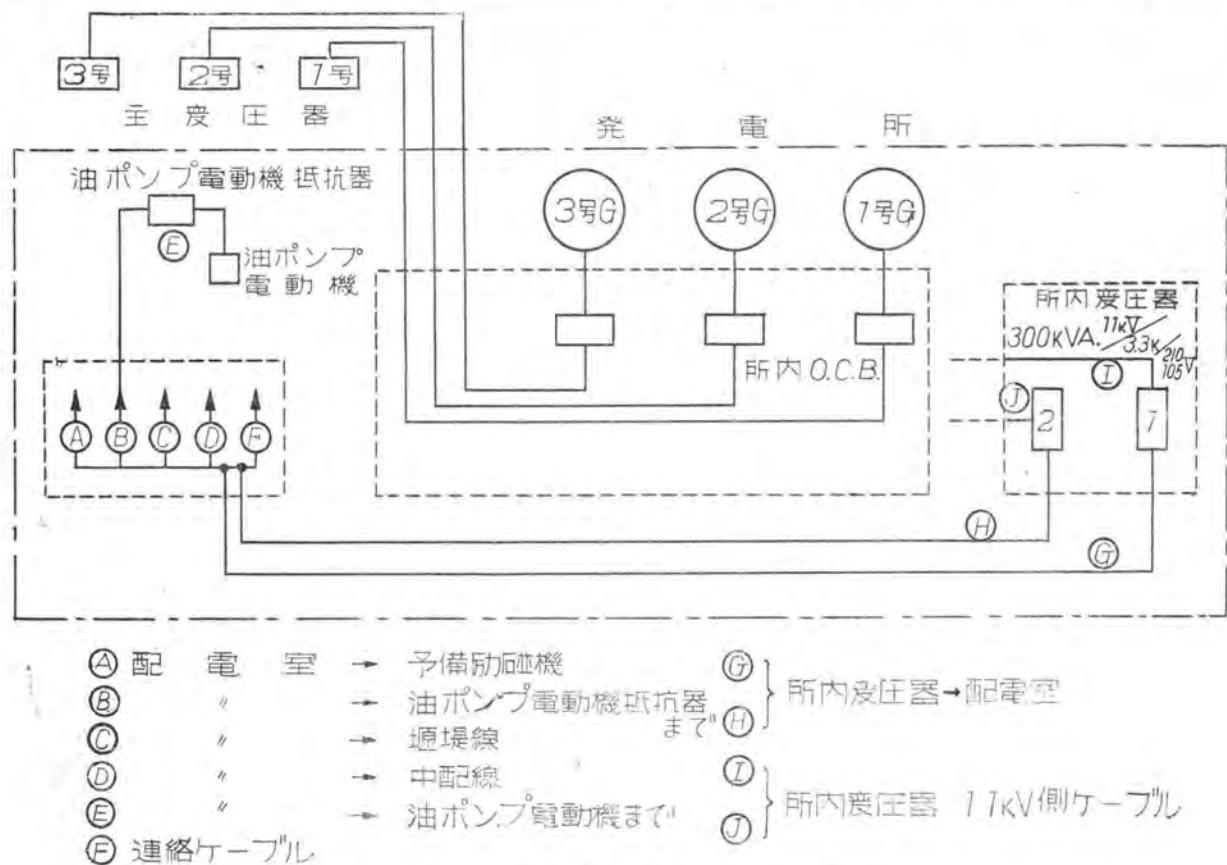
- (1) 損失角—溫度特性
 - (2) 損失角—電壓特性
 - (3) 損失角—長期間特性

実際、発変電所にて実測を行うと短時間に多くの機器測定を要求される場合が多い、こういつた場合筆者らは実状に則してつぎの方法を行つてゐる。

(a) 損失角温度特性. 劣化判定基準曲線上に測定値をプロットする. この場合はとくに高温時の値を望み時間的余裕があれば温度特性を求める.

(b) 測定電圧は定格電圧 10 kV 以下の機器に対しては定格電圧、定格電圧それ以上のものは 10 kV、とくに劣化の原因を検討する場合は電圧特性を測定する。

わが国の現状では損失角の現場試験が行われ初めてから1,2年余りしか経過していないが関係者の努力によりアメリカのように各電力会社が多年の経験と経済的根拠から劣化基準を立てる方向に進みつつある。ここに一例



2 図 大井川発電所内ケーブル配置図

4 表 大 井 川 (第 3 回)

機器名	機番	測定箇所	測定温度 (°C)	測定電圧 (kV)	静電容量 (μF)	損失角 (%)	摘要	機器名	機番	測定箇所	測定温度 (°C)	測定電圧 (kV)	静電容量 (μF)	損失角 (%)	摘要	
3相変圧器 2,300kVA 160/70.5/1.05kV 昭和10年三菱製	1	H-E	34	10	0.0093	0.6	絶縁抵抗 1000MΩ	3	R ₁	22	1	0.014	0.35			
		M-E	9	9	0.028	0.65	300		R ₂	9	9	0.0148	0.4			
		L-E	9	9	0.088	0.6	200		S ₁	9	9	0.0139	0.5			
		H-ME	9	9	0.0093	0.6	600		S ₂	9	9	0.0139	0.8			
		H-LE	9	9	0.0104	0.6	400		T ₁	9	9	0.0133	0.7	第1回目		
		M-LE	9	9	0.0283	0.6	600		T ₂	9	1	9	0.7	第2回目		
	2	H-E	35	10	0.0092	0.8	絶縁油從来の値		9	9	2	≈ 0.013	≈ 2.0			
		M-E	9	9	0.028	0.8	161kV H'相		9	9	2	≈ 0.013	≈ 1.0			
		L-E	9	9	0.038	0.7	素管支承								共に不安定	
		H-ME	9	9	0.0092	0.8										
		H-LE	9	9	0.0107	0.8										
		M-LE	9	9	0.028	0.8										
所内変圧器 300kVA 1φ 11kV/3.3kV/105V 210	1	H-E	22.5	10	0.00195	0.85		所内 3kV ケーブル	A	1	22	1	0.00438	0.8	①A,B,C,D 2回測定 ②測定箇所 1,2,4,12回つ て右よりの相 を示す時号以 下同じ	
		M-E	9	9	0.00265	1.1			2	9	9	0.00142	1.9	Discon導子 銅列入		
	2	H-E	23	10	0.00202	0.8			3	9	9	0.00442	0.5			
		M-E	9	9	0.00265	1.0			B	1	9	9	0.0126	0.4		
所内10kV ケーブル 主要変圧器より 所内 D.C.B. まで	1号用	R	19.5	1	0.123	0.4		所内 10kV ケーブル	2	9	9	0.0128	0.5	O.C.B. 銅 管片測定列 入		
		S	9	9	0.123	0.5			3	9	9	0.0126	0.5			
		T	9	9	0.115	0.5			C	1	9	9	0.031	0.4		
	2	R	9	9	0.134	0.5	調定温度は主変圧器に近 きケーブルダクト内の値 を示す		2	9	9	0.036	0.4			
		S	9	9	0.138	0.5	各相2本並列にて測定		3	9	9	0.036	0.5			
		T	9	9	0.138	0.5			D	1	9	9	0.048	0.5		
	3	R	9	9	0.167	0.5			2	9	9	0.048	0.5	O.C.B. 接 地らしい		
		S	9	9	0.151	0.4			3	9	9	0.048	0.5			
		T	9	9	0.148	0.5			E	1	9	9	調定不能			
	所内10kV ケーブル 発電機より 所内 O.C.B. まで	R ₁	22	1	0.015	0.4			2	9	1	0.033	31以上	O.C.B. Fuse Box 銅列入		
		R ₂	9	9	0.0156	0.4			3	9	9	0.024	31以上			
		S ₁	9	9	0.0171	0.5			F	1	9	9	0.00565	0.8		
		S ₂	9	9	0.0172	0.4			2	9	9	0.00565	0.8			
		T ₁	9	9	0.0175	0.4			3	9	9	0.00565	0.8			
		T ₂	9	9	0.0181	0.35			G	R	9	9	0.0128	0.5		
		R ₁	9	9	0.0096	0.4			S	9	9	0.0115	0.8			
	2	R ₂	9	9	0.0096	0.45			T	9	9	0.0114	0.8			
		S ₁	9	9	0.0102	0.8			H	R	9	9	0.0111	0.8		
		S ₂	9	9	0.0110	0.35			S	9	9	0.0111	0.8			
		T ₁	9	9	0.0112	0.4			T	9	9	0.0111	0.8			
		T ₂	9	9	0.0116	0.4			I	R	9	9	0.0033	1.8		
		R ₂	9	9	0.0096	0.45			S	9	9	0.0063	31以上			
		S ₁	9	9	0.0102	0.8			T	9	9	0.006	3.3			
		S ₂	9	9	0.0110	0.35			J	R	9	9	0.00371	0.6		
		T ₁	9	9	0.0112	0.4			S	9	9	0.00371	0.5			
		T ₂	9	9	0.0116	0.4			T	9	9	0.00371	0.8			
		R ₁	9	9	0.0096	0.4										
		R ₂	9	9	0.0096	0.45										
		S ₁	9	9	0.0102	0.8										
		S ₂	9	9	0.0110	0.35										
		T ₁	9	9	0.0112	0.4										
		T ₂	9	9	0.0116	0.4										

としてアメリカとわが国の資料を参照して $\tan \delta$ の基準値として比較的使用されるものを上げて見るとつぎのとおりである。

- ## 1. 電力用变压器 I. W. Gross 氏 (3図)

2. 变压器油 アメリカ

American gas, & Elec. Co. (5表)

- ### 3 套管 一般套管 アメリカ

Philadelphia Elec. Co

コンデンサ型套管

- Westinghouse Elec. Co (5図)

以上の値はそれぞれ多くの測定結果より統計的に出された値であつて、上記の値を参考として保守上有効に利

トラック巡回による発電所開閉所における主要機器損失角の現場試験・浅井・岩崎・田口

用するとよい。すなわち絶対値のみならず毎年測定して経歴を記録し急激に変化するものは警戒を要するわけである。

6. 考察

ア. 変 壓 器

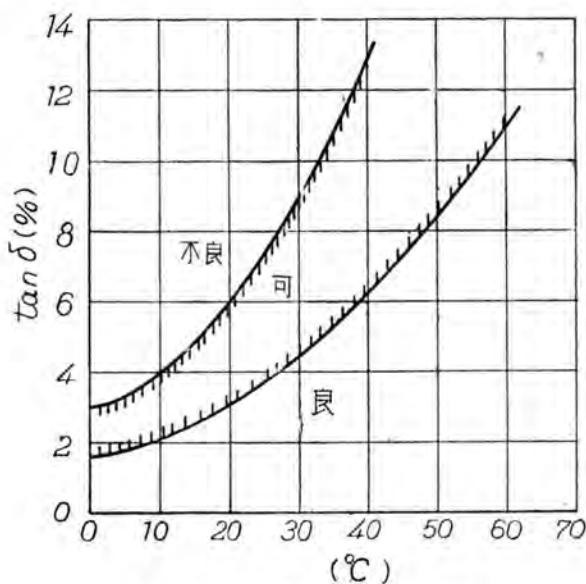
大井川発電所主変圧器 1.2.3 号の測定値（第 1.2.3 回共）3 図上にプロットして 6 図にすればいずれも良好な値を示している。井 2 号は同一状態で温度が異なるから、温度特性と考えてよい。静電容量も 3 台共ほぼ一致しており（吸湿により誘電率が大きくなることを考慮せねばならぬ）設計・工作・処理等に均一性が保たれていること

5 表 変圧器油 (米国 Americanas & Elec Co)

	$\tan \delta$
非常によい油	0.2% 程度
良い油	1%以下 (0.4~0.7%程度)
不良の油	1%以上

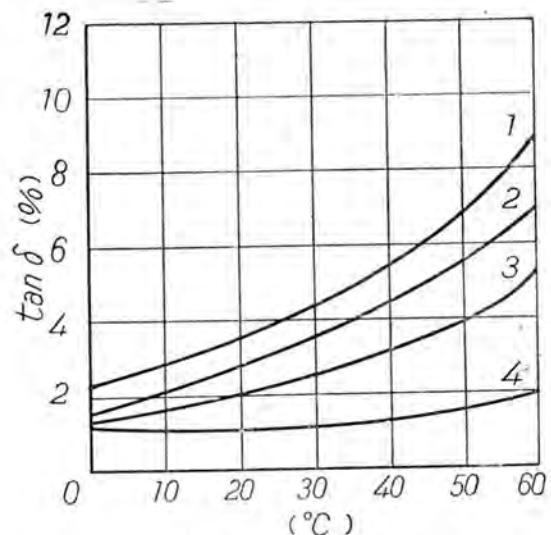
6 表 套管 (アメリカ Philad elphia Elec Co)

	電圧階級 (kV)	蓄電器型	油入型	コンパウンド型
良	15~73	3%以下	3.5%以下	3.5%以下
	73~30	2%以下	2.0%以下	2.5%以下
劣化	15~73	3.5~5%	3.5~5%	3.5~5%
	73~230	2~3%	2~3%	2.5~4%
不良	15~73	5%以上	5%以上	5%以上
	73~230	3%以上	3%以上	4%以上



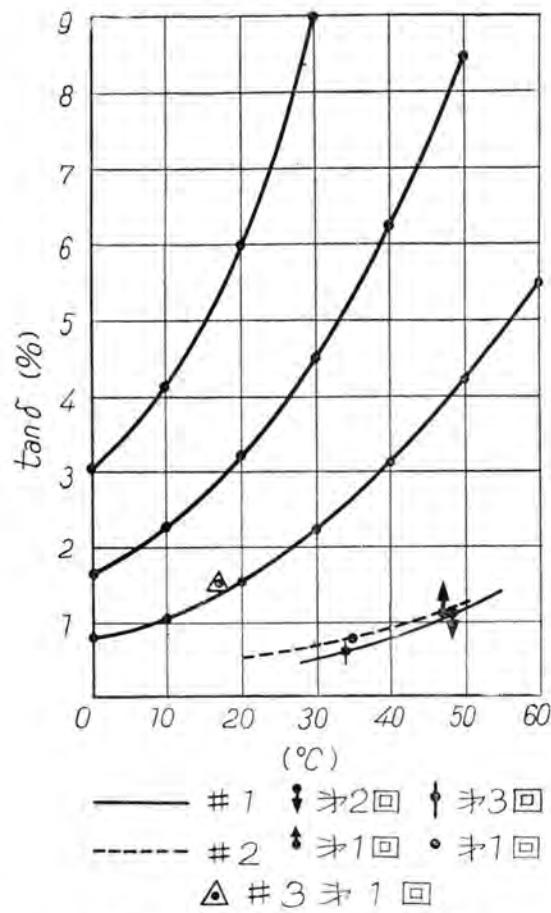
3 図 電力用変圧器 (I. wgaoss)

を示している。非3号変圧器は第1回の内部点検の際 ($L-E$) がやや大であつたので1表に示すとおり測定ケースをいろいろ変えて行つた。この意味は3巻線変圧器の絶縁等価回路、7図より明らかになるとおり厳密に考えれば測定結果を分析して、おののおの単独にして、おののにつき考察するのであるが、実際の場合非常に繁雑であるので測定値が大きくその原因を探究するときに用いる。よつて非3号変圧器について計算を行うと7表のような結果になる。これを見ると $\tan \delta L$ の値が他の巻線より大である。このような場合は套管があるいはタイプチェンジャーの欠陥が多く、この変圧器はタイプチェンジャーに起因した。



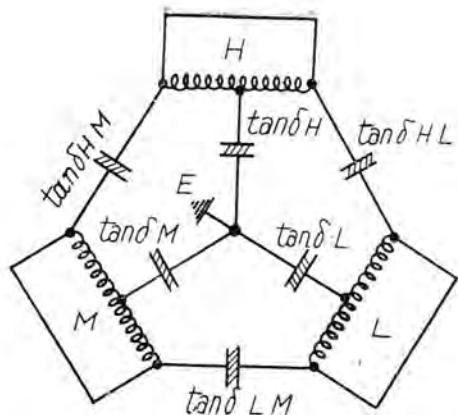
4 図 コンデンサ型套管 (W社)

1. 69 kV 以下 O.C.B. Tr 用
2. 99~161 kV O.C.B. Tr 用
3. O型を除く 161~288 kV
4. O型

5 図 大井川主変圧器 $\tan \delta$ 測定値

1. 套 管

大井川発電所主変圧器に現用されている套管はいずれも「良」の範囲に入るが、コンパウンド洩れは今後注意



6 図 3巻線変圧器絶縁等価回路

7 表
大井川3号主変圧器損失角
分析値

測定箇所	$\tan \delta (\%)$
$\tan \delta_H$	2.2
$\tan \delta_M$	2.0
$\tan \delta_L$	3.5
$\tan \delta_{HM}$	2.8
$\tan \delta_{ML}$	1.8
$\tan \delta_{HL}$	2.2

を要する。予備品中劣化しているものについては、保存場所の選定、保存下部タンクの必要が感ぜられた。1表3号O.B.C.套管で、碍子が並列に入つた場合を比較しているが套管のみの方が0.2~0.3%悪くなる。これは碍子の $\tan \delta$ が套管より良好なことを示している。全套管の測定結果を分類してみると8表のようになる。

7. 可搬式測定器としての機動性

今回の測定は測定器が各所にわたつた。そのうえ日発のご好意により当社伊丹製作所→大井川発電所(崎平→新金谷まではトラック不通につき鉄道利用)→静岡開閉所→大井川発電所→気田発電所→当社伊丹製作所→大井川発電所(往復)をトラックにて巡回測定を行つた。こ

8 表

判定	電圧階級	コンデンサ型	油入型	コンパウンド型
良	73~23kV	2%以下	2%以下	2.5%以下
		21本(65.6%)	7本(23.3%)	10本(33.3%)
劣化	%	2~3%	2~3%	2.5~4%
		4本(12.5%)	16本(53.4%)	13本(43.3%)
不良	%	3%以上	3%以上	4%以上
		7本(21.9%)	7本(23.3%)	7本(23.7%)

のような長途の移動は初めてであつた。測定器としては、いわば耐振試験をかねたわけで、1回の故障もなく満足すべき結果をえた。この経験により実測はつぎのように計画することができる。

ア. 測定器の重量と大きさ

	大きさ	重量
ブリッジ体	0.45×0.49×0.75 m	76.1 kg
電源部	0.8×0.49×0.75 m	93.8 kg
付属部分品一箱	0.4×0.5×0.6 m	50.0 kg

以上総重量29.9 kgとなり長途はトラックがよいがオート三輪車でも運搬可能である。各部品は2人で積み卸しできる。運搬時は雨の用意としてシートを被せることが必要である。鉄道便として送るときは木製の箱に入れる必要がある。

イ. 所要時間および測定に必要な事項

運搬時はトラックで山道、平坦の差もあるが大体25 km/hとして計算してよい。卸し後測定準備完了までの時間は約30分~1時間、測定に際しすべての機器は系統より切離す必要がある。この時間を入れて従来の経験よりして油入遮断器套管1台分約30分、変圧器巻線1台分約30分、回転機巻線約1時間、予備套管は測定準備を入れて約1本10分の割でよい。測定現場においてはA.C.110 Vの用意さえあればよい。測定器と被試験物の距離は約15 m以内、それ以上は最少2人で運搬する。適当に運搬場所を選定し、15 mのケーブルの長さを有効に利用するとよい。もつとも有効に動いた場合油入遮断器套管一日(約6時間)72本測定したことがある。

9. 結 言

損失角の実測も可搬式誘電体率ブリッジのような測定器により発変電所内各機器にわたり迅速に行えることが立証できた。わが国では套管の実測値は比較的少い、とくにこの点参考になれば幸いである。

測定器としては重量の点で改良中であるが実測用として耐振性・可測範囲・測定速度としては十分と思う。この機会に絶縁劣化の問題を啓蒙された日本発送電株式会社絶縁劣化早期検出調査委員会の各位に敬意を表すとともに実測に際しご便宜を与えられた日発東海支店畠中発電課長、静岡支社飯野課長、河内係長、勝間田大井川発電所長、当社名古屋営業所八木沼氏、水口氏、測定器の輸送に際し細心のご配慮を賜つた中村検査課長、本器製作ならびに実測に協力された瀬戸、藤井両君に感謝する次第である。

火 力 發 電 所 用 電 气 收 塵 装 置

神戸製作所 成富公一

1. 一 般

発電所用ボイラーに対し微粉炭燃焼装置が設備せられ、したがつて、灰分の多い石炭が使用されることは、今日では常識となつてゐる。この場合相当の煙塵が煙突から吐き出されることは止むをえないことであるが、これは都市の美観の上からも、また衛生上から言つても好ましいことではない。これを防ぐものとして電気收塵装置が有効であることはすでに十分認められており、今後負荷の中心地である都市に建設される火力発電所に対しては、電気收塵装置は欠くことのできないものになると考へられる。電気收塵装置は燃焼装置から排出された、廢ガスを收塵室中に導き、ガスが收塵室中を通過する間に、煙塵を電気的方針により取去るもので、清浄になつたガスは煙道から排出される。

電気收塵装置は大別してつぎの二部分からなつてゐる。

1. 收塵部分
2. 電気部分

2. 收塵部分

收塵部分は廢ガスを処理するのに適當な大きさの收塵室で、室中は垂直方向に、等間隔に取付けられた鉄板またはコンクリート製の收塵板と、この收塵板によつて区分された、多数の狭い縦室の中央に、一定間隔に、垂直に吊下げた多数の針金よりなり、これを放電線とする。收塵板は收塵室に直接取付けられ、直流高圧の正極側が接続されて接地されているが、放電線は收塵室外で收塵室から絶縁された柱組によつて支えられ、直流高圧の負極側が接続されている。廢ガスは上に述べた收塵板によつて作られた等間隔の縦室を通過する間に、その中の煙塵は放電線と收塵板との間に加えられた、直流高圧により作られた電場を通過して負極に帶電せしめられ、電気力にしたがつて收塵板の方向に押しやられて、收塵板に

付着して電荷を失い自重または外部よりの槌打作用によつて落し收集される。なお、收塵作用の進行中ガス中の煙塵の一部は放電線に付着する、これが進行すると、放電線が太くなり收塵作用をするので、放電線を支持する柱組に外部より、手動または自動的に槌打作用を与える槌打装置を備え、定期的に放電線に付着した煙塵を落す。

当社の電気收塵部分は下表の単位のものを標準とし、取扱ガス量および要求される收塵率によつて、この標準単位のものを、1個または数個を直列あるいは並列に使用する。

単位型式 型名	定格ガス量 m ³ /sec	收塵率 (%)
CP-21	17.5	95
CP-31	26.3	95

ガスの温度は160°Cを標準としている。

3. 電気部分

標準電気品1基の容量は15 k.V.A.とし、必要に応じて、1基あるいは数基を並列に使用する。1基はつぎの各機器により構成される。

1. 機械的整流器
2. 3相反動電動機
3. 単巻変圧器
4. 単相遮界変圧器
5. 配電盤および付属器具

電気品は1図に示す如く配置される。すなわち3相反動電動機により機械的整流器を運転し、この機械的整流器によつて、単相遮界変圧器によつて昇圧された高圧を整流せしめて、前述の放電線に加える直流高圧をうるものである。単巻変圧器はタップ付変圧器であつて、遮界

変圧器の1次側に接続され、簡単なタップ切替器を使用して、遮界変圧器1次側の電圧を調整し、整流電圧を運転状態に応じて調整するものである。配電盤は、黒塗大理石直立型を標準とし、これに運転に必要な計器、電源開閉器類を取付け安全な運転の監視を行わせる。なお、

附属器具として、高圧回路用塞流線輪および抵抗器がある。前者は遮界変圧器の高圧側両端子および整流器と收塵器との間に接続し、高周波振動を吸收せしめ、後者は遮界変圧器の高圧側両端子に接続して変圧器の過電流に対する保護を行うものである。

2

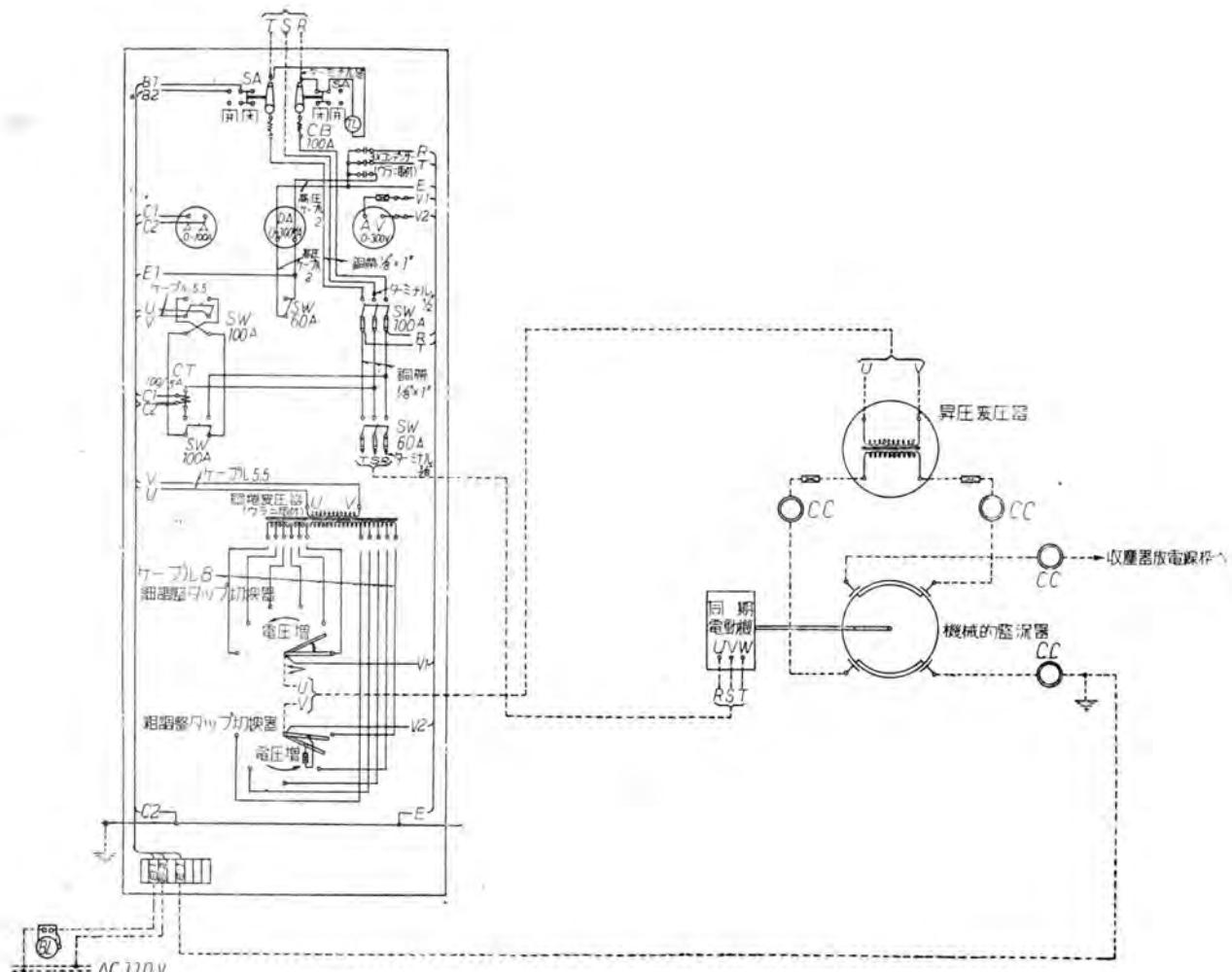


図 電気收塵器制御盤結線図

電力用コンデンサ

伊丹製作所 田宮利彦

1. 緒言

電力系統において負荷の力率が低いと、有効電力に比し大なる容量の電機設備を必要とし、また送配電線の電流が増してそれだけ銅損失を多くし、また電圧降下や電圧変動率が増大する欠点がある。普通負荷の大部分が低力率であるために電力供給業者は余分な設備を要し、電力需要者は電力費用の負担が大きくなっているわけで、適当な方法で力率を改善することは電力供給需要両者を利する道であり、電力需要が電力設備を上回つてゐる今日の急務でもある。

力率改善の方法には進相用コンデンサのほかに同期調相機があるが、静電コンデンサは同期調相機と異り静止器であつて、電力損失の極めて僅少なこと、据付の簡単なこと、維持費をほとんど要しないこと、騒音を発しないこと等、数々の利点をもち、また kVA あたりの価格が大体一定であることから、小容量のものを負荷に近接して分散設置し配電末端から力率改善を行いうる上に、必要に応じて増減することも容易で経済的にできる。一方同期調相機は 1 次変電所等に設置し大容量 (10,000 kVA 以上) で時には遅れ力率も取る必要がある場合に使用し、自らその使途を異にしているわけである。

当社では多年この目的に副う電力用コンデンサの製作に従事してきたが、この間研究と経験の蓄積により銳意改良に努め、従来の市販品では価格の安さを主眼としてその耐久力においては遙かに他の電機器に劣つてゐるのにかんがみ、耐久力の增强を第一として改善を加え、一段と設備を拡充し需要家各位のご要望に応えているが、ここに現況の一端を紹介する。

当社では高圧進相用コンデンサに主力をそそいでいるが、標準として 2,200 V 級・3,300 V 級・6,600 V 級、11,000 V 級・22,000 V 級、各 3 相、50・100・200・300・500 kVA を製作している。これ以上の電圧容量の場合には単相の単位油槽を直並列接続とし、必要に応じて絶縁台等も付属し、その他特殊の注文にも応じることになつてゐる。また回転機等に対する衝撃電圧の保護に避雷器と並用して用いられる保護コンデンサ (サージアブソーバ) も製作しており、その標準は 3 相 3,300 V・6,600 V 級 $0.5 \mu\text{F} \times 3$ 相、また 1,100 V 級 $0.3 \mu\text{F} \times 3$ 相となつてゐる。また特殊のコンデンサとしては衝撃電圧電流発生器用直流高圧コンデンサ・各種炉波装置用コ

ンデンサ・高周波および低周波電気炉用コンデンサ・結合コンデンサ (Coupling Condenser) 等が作られる。



1 図 三菱電力用コンデンサ 外観
3 φ 3,300 V 300 kVA 60Hz



2 図 電力用コンデンサ 内部
3 φ 3,300 V 300 kVA 60Hz

2. 三菱コンデンサの特長

当社の電力用コンデンサは油入紙コンデンサであり、集合型を採用しているのが特長である。集合型とは小容量の密封式コンデンサを複数個組み合わせた構造（ユニットコンデンサ）を標準として製作しておきこれを電圧容量に応じて直並列に接続し、それら全体を一つの外箱に収納する方式で、単位コンデンサの容量は12.5 kVA または 16.7 kVA で最大 25 kVA 以下であり、この単位コンデンサはそれ自体で完全に密封された完成品のコン



3 図 3φ 3,300V 100kVA 60Hz (柱上型)
(本方式は 30kVA 以上 100kVA 以下に採用)



4 図 三菱保蔵コンデンサ
3φ 11,000V 0.8μF×3

デンサであつて、本方式はつきのような利点をもつてゐる。

ア. 単位コンデンサの製造は全く同一工程で紙巻から真空処理・密封までできるので、製造上の便多く、品質が均一で確実な性能を保証することができる。

イ. 単位コンデンサは可撓ブリキ罐で完全にハンダ上げ密封され、套管も金属性釉薬で直接ブリキ罐に鑄付されており、パッキング等を全然用いてないから油漏れ湿気の浸入ではなく、したがつて長年使用しても劣化は考えられずまた油の温度変化には矩形の可撓ブリキ箱壁の僅少な変形により応じることができて、特別な油量調整装置を用いる必要がないから故障の原因はそれだけすくない。

ウ. この単位箱を適当な冷却用油隙を置いて、組にしそれを普通の油槽内に納めてあつてよく分割されているから冷却効果はよく温度分布は良好で局部的な過熱は生じないから絶縁の劣化が起らずそれだけ寿命が長い。

エ. 万一事故発生の場合にも単位コンデンサ 1, 2 個に止り、また不良品のみを入換ればよいので取換は簡単に現場でできてその予備も単位コンデンサ 2, 3 個あればよい。

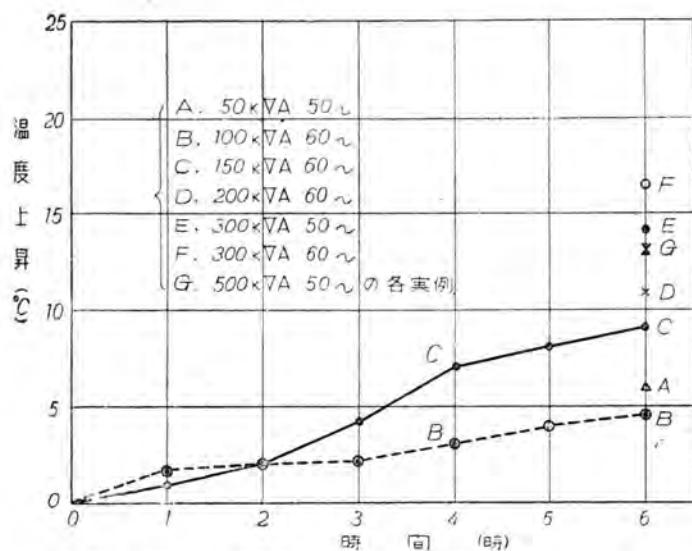
オ. コンデンサ全体は普通の変圧器のような外箱油中に収納され、その中に密封した単位コンデンサが組立てられ二重壁であるから、外界よりの傷害から完全に保護されている。したがつて運搬中外箱や套管の破壊や油もれ等は内部コンデンサに何等の影響を与える簡単な取換修理ができる便があり、タンク型のように 1 個所の微少な欠陥や事故が全体を駄目にするものに比べて遙かに故障率が少く保守維持費が激減できる利点がある。

上述の如く当社コンデンサ製作の要點は単位コンデンサの品質にかかっているが、本コンデンサの誘電体であるコンデンサ紙は、特定の購買規格により厳選し、アルミ箔と共に清潔な特別室で巻上げ単位コンデンサ箱に収納して箱ごと真空乾燥炉に入れて、予備乾燥に引続き加熱高真空処理を長時間行つて、絶縁紙中の水分およびガスを完全にのぞき、引続き真空中で別に特殊処理を施した高級絶縁油を注入、絶縁紙に十分含浸せしめて後ただちにハンダにて完全に密封にするのである。また検査は各単位コンデンサごとに厳重に実施、合格したもののみでコンデンサを構成、さらに完成後も厳格な検査を行い加熱試験、耐圧試験に合格するもののみを出荷している。最近の当社コンデンサの特性は下記のとおりである。

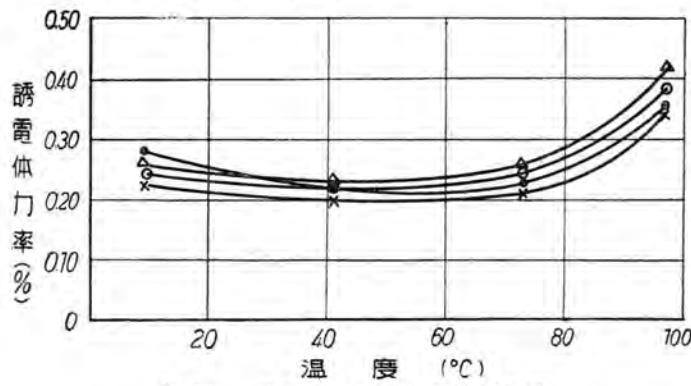
3. 付 属 品

ア. 放電コイル

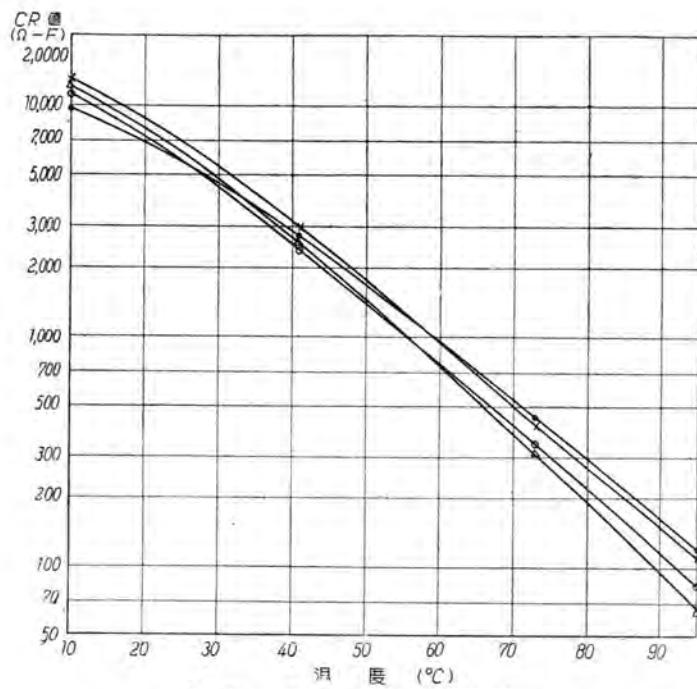
電力用コンデンサの付属品としては開路時に残留電荷を放電させるための放電リアクトルは必要なもので、当社では 2 図に示す如く各コンデンサごとにその外箱内に、また後述する直列リアクトルが付属される場合は直



5 図 JEC による電力用コンデンサ温度上昇記録の一例
3 φ 3,000 V 回路用集合型コンデンサ
3,960 V (3,300 V × 120 %) 6 時間課電後外箱壁における温度上昇記録の一例を示す



6 図 ユニットの誘電体力率温度特性
3,300 V 3 φ 16.7 kVA (4.07 μF)



7 図 ユニットの CR 値
3 φ 3,300 V 16.7 kVA (4.07 μF)

列リアクトルの外箱内に取付けている。これはコンデンサ容量の約 0.5%以下の小型変圧器で単相 2 個をもつて 1 組とし 2 次コイルのない電圧変圧器とどうようの構造で、とくに耐油性のニスで処理してある。

イ. 直列リアクトル

回路にコンデンサを挿入すると高調波、とくに第 5 高調波電流が多量に流れ込み、したがつて回路電圧形が著しく歪められて種々の障害を惹きおこすので、波形の改善のためにコンデンサに直列にリアクトルを挿入する。このリアクトルの容量は第 5 高調波に対し短絡値あるいは誘導値を与えるような値であればよく、基本波に関して計算すれば 4% 以上あればよいが、容量誤差・周波数の変化等を見越して当社ではコンデンサ容量の 5%ないし 6%としている。本器は 3 相油入型の鉄心空隙入りリアクトルで外観は変圧器とどうようである。騒音を少くするために特別の考慮が払われており、温度上昇に対しても 125%負荷に連続使用できるような十分な放熱面積をもつように注意されている。8 図はその写真である。

ウ. 開閉器および保護装置

コンデンサ回路を開閉する油入遮断器はコンデンサ充電電流の過大なため特別な構造が必要で、とくに 11,000 V 級以上のものや、3,300 V 級でも大容量のものには抑制抵抗を入れた特殊設計のものが必要である。また保護継電器としても力率を一定にする方式等あるが詳細は別稿に譲る。



8 図 直列リアクトル 3 φ 18 kVA 3,300 V
(300 kVA コンデンサ用)

水銀整流器

伊丹製作所 加藤又彦

1. 緒言

水銀整流器にはガラス製と鉄製との2種があり、共に電鉄用、一般工業用に広く用いられているが、中でも鉄製は大容量のものに使用されている実状である。従来の整流器は多陽極型といつて陽極を6本または12本を一つの鉄槽に挿入した1タンク方式であつたが、1933年アメリカでイグナイトロンが発明されてからウエスチングハウス社で多数製作され、1939年頃よりは多陽極型はほとんど製作されずイグナイトロンのみがW社およびG.E.社で製作され、その用途は化学工業部門を筆頭に電気鉄道用、一般工業用に供され好成績をあげている。

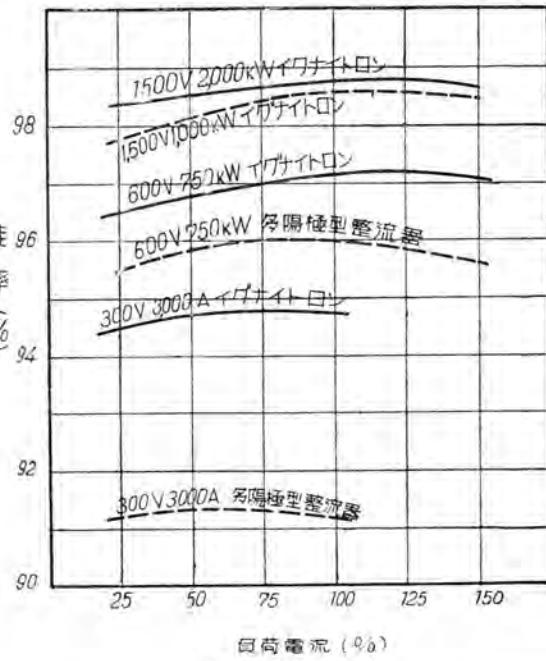
アリスチャルマーでは多陽極型整流器の各陽極をおのの1タンク内に挿入したエキサイトロンと称する単極型水銀整流器を作り、イグナイトロンと競争の立場にある。イグナイトロンには密封型で排気ポンプを用いないものと常時排気しているポンプ付の2種類がある。前者は小容量のものに使用される。当社は密封式イグナイトロンの完成に鋭意努力中である。ポンプ付イグナイトロンは溶接機用電流制御電源として戦前より製作しており、戦後いちはやく試験用大容量イグナイトロンを試作し、研究試験を完了すると共に受注、製作し、電鉄用第1号器として500kW、1,000kWを昭和24年8月に納入し実負荷運転に入れた。その後2,000kW・1,500V・3,000kW・2,000V、化学工業用として300V、12,000Aイグナイトロンを引続いて製作し、1カ年有余にして総計約28,550kW(タンク数で231)を製作している。これはイグナイトロンの信頼性と特長が従来の多陽極型のものより優れている証左である。ポンプ付イグナイトロンの特長を列記すればつぎのとおりである。

2. 特長

ア. 能率のよいこと

電弧降下、制御回路の損失が少いために、大電流用イグナイトロンの能率は多陽極型のものに比して一般に改善された。また能率曲線の傾度は1図に示すように軽、重負荷全範囲にわたつて曲線の低下度が少い特長がある。

イ. 維持費は低廉である



1 図

高能率でかつ本体の手入、補修作業は簡単であるため保守人員は少くてよく、維持費は全般的にみて安く結果は良好である。

ウ. 運転が安定である

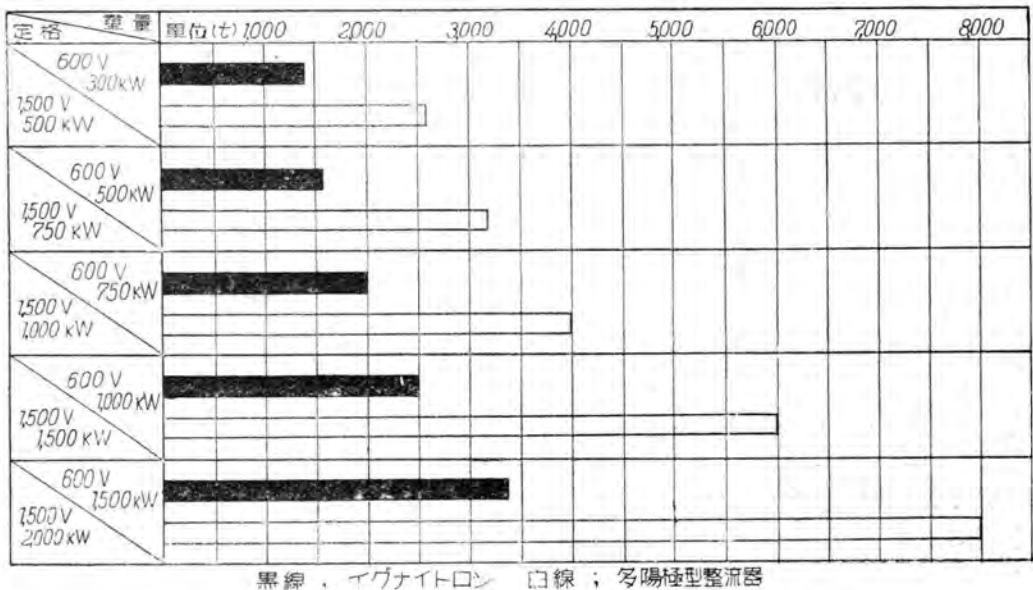
整流器は電源変動に対して安定性強く、電圧調整は容易かつ円滑にできる特性がある。また起動、停止は容易迅速に実施され操作間違は少い。

エ. 正極性の遮断器をおく必要がない

イグナイトロン自体が一つの開閉器で毎c/s点弧消滅を反復している。したがつて点弧回路を開放すれば電弧は確立しない。よつて故障電流は1c/s以内で開放することができる。

オ. 変電所建設費は僅少ですみ、所内は清潔でかつ快適である

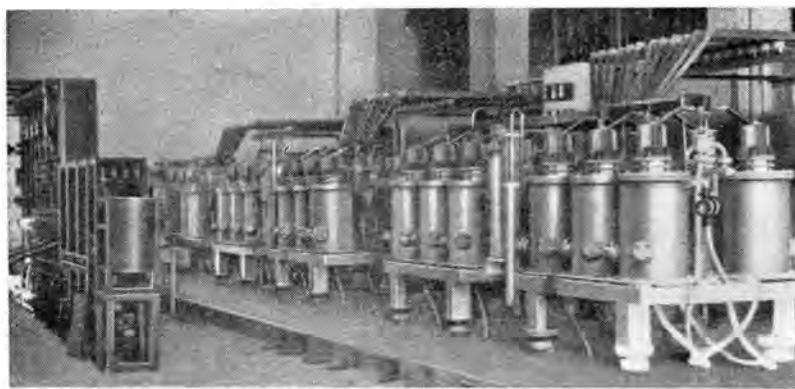
イグナイトロン本体製品所要資材量が少い、静止器であり、また小型軽量であるため変電所建屋は基礎その他全般的に小経費ですむ。2図は多陽極型整流器の製品重量とイグナイトロンとの比較表である。



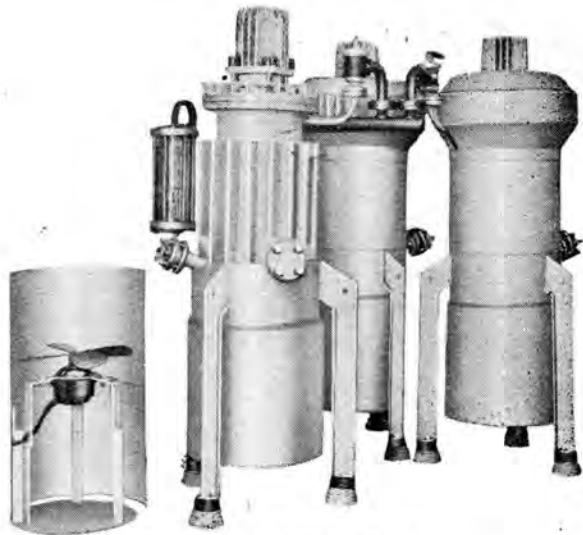
2 図 イグナイトロンと多陽極型整流器の重量比較表

3. イグナイトロンおよび付属装置

イグナイトロンはアメリカで他種の電力変換装置に比してその信頼性と障害の少い点で顕著な記録を作つた。このことは最近使用者側より発表された数々の論文中に報告し盡されている。3図はイグナイトロン本体の外観写真で 300 V, 9,000 A, 36 タンク、化学工業用に作つたもので位相制御率 80% を保証している。6 タンク 2 つをそれぞれ同一床板にのせ、中央部に排気装置と真空計を備えている。排気装置としては油入回転真空ポンプ・水銀蒸気ポンプと真空栓・中間ガス溜となりたつてある。冷却水装置は電流容量により様相を異にし、放流式・循環式等種々ある。大容量整流器はほとんどすべてが冷媒として水を使用し、循環冷却方式を採用している。整流器タンクと水套が鉄製の場合、未処理の水が使用されれば電触によつて装置の寿命が脅かされる惧がある。その対策としては本体に銅製パイプをまきつけるかまたは循環水を化学的処理したものとすれば問題はない。イグナイトロンは電弧降下は少くしたがつて損失は小さい。タンクが分割されているため放熱面も大きい。



3 図 300 V 9,000 A 電気化学用イグナイトロン及び電源の一例

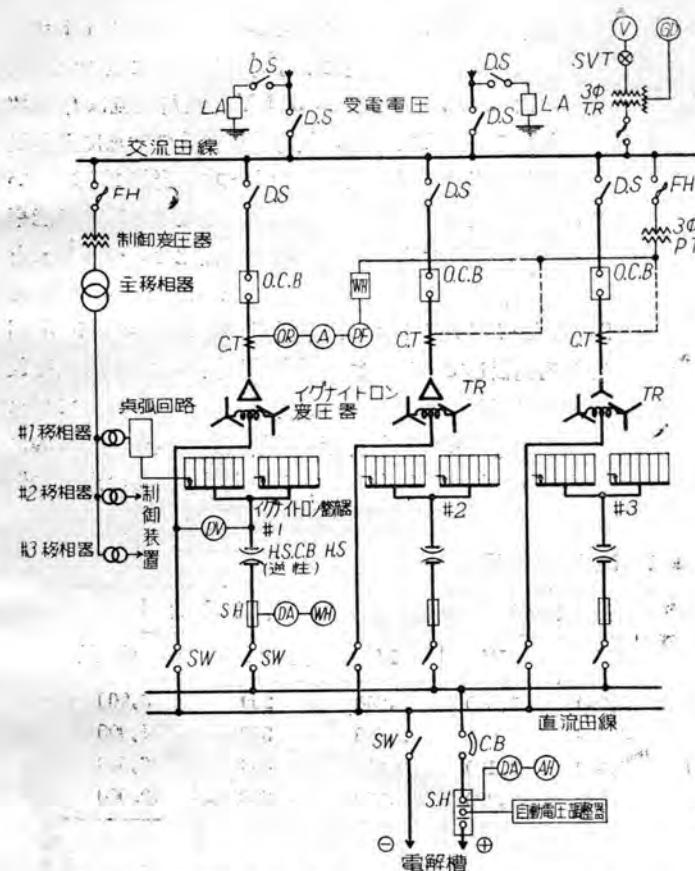


4 図 風冷式イグナイトロン

い。したがつて冷却水装置は小さくなる。また一般に運転時の冷却水温が高く 45°C でも異常なく運転できるため一層冷却水装置は小さくなる。

風冷式イグナイトロンでは水による電触とスケールの堆積という問題は除去できうるが雑音、部屋内の温度上昇、停電時対策等別種の問題が誘発される。

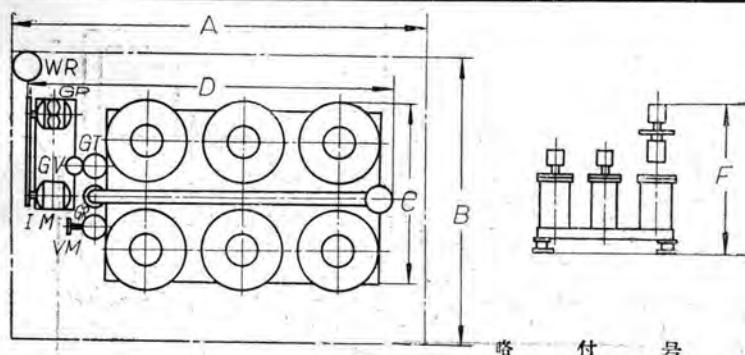
当社における風冷式イグナイトロンは現在のところ 1,000 kW, 1,500 V, 重負荷公称定格 500 kW, 600 V 重負荷公称定格のものが完成している。4図に示すものは試作品としての 3 タンクである。本装置は 6 タンク 1 グループよりなり、各タンクに冷却用送風機を 1 台づつ付属せしめ、排気装置としては風冷式再冷器付水銀蒸気ポンプがつく。その他は水冷式イグナ



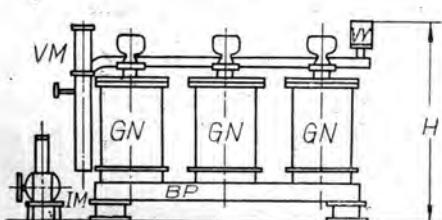
5 図 化学用イグナイトロン整流器变電所單線結線図

1 表 化學用イグナイトロン整流器外形寸法表
その 1 6タンクの場合

連続定格	極数	外 形 尺 法 (mm)						製品重量 (kg)	
		A	B	C	D	H	F	単位 タンク	総重量
250V~800V									
1,500A	6	3,300	2,800	1,040	2,130	1,800	2,000	170	1,600
2,000	6	3,800	3,000	1,210	2,370	1,800	2,000	200	2,000
3,000	6	3,800	3,000	1,310	2,460	1,930	2,400	320	2,500
4,000	6	3,800	3,100	1,370	2,700	2,100	2,600	400	3,300



G	N	イグナイトロン整流器
G	R	水銀蒸気ポンプ
G	P	油入回転真空ポンプ
V	M	マクレオット真空計
G	T	中間圧空気計
G	V	真空抵抗
V	Y	3相誘導電機
I	M	水抵抗
W	B	電動機器板
B	P	



トロンと同一である。

風冷式イグナイトロンの構造上の特長としては下記の点が挙げられる。

- (1) 陽極部はタンク内に内蔵した構造でタンクの開蓋、点検が容易である。この特長のために陽極部からの輻射熱により部屋内温度の上昇することがない。
- (2) 電弧降下が低い。
- (3) パッキングはすべて耐熱性特殊パッキンである。

イグナイトロンの運転信頼度を左右するものといえば逆弧と点弧子の寿命である。逆弧は保護装置の発達と逆弧原因の解明により実用上克服しうる状態になつたのである。点弧子の劣化および寿命の問題であるが、当社製のイグナイトはボロンカーバイト製で水銀に対して極めて安定であることが実証されており、寿命は3カ年保証付である。失弧は連続発生するものではない。また点弧子の浸漬度も自由に変えられる。よつて失弧は実用上問題にするに足りない。

他種変流器に比しては運転信頼度の高いことといえば、たとえ故障が起つてもタンクの交換によりただちに運転に入り責務の完遂ができる点である。故障で交換したタンクは作業の暇をみて開蓋、修理すればよく、開蓋タンク数が少いだけ手入時間および化成時間が縮少されたがつて補修費は少い結果となる。

4. 回路関係

整流器变電所の回路関係を区分すると主回路と制御回路とに分けられる。主回路を構成する要素としては受電電圧の開閉をつかさどる油入遮断器・3相交流を6相に変流する整流器用変压器・整流器本体・直流回路開閉用の高速度遮断器である。5図は化学用イグナイトロン整流器变電所の一例である。制御回路は主回路の電圧位相と一定関係を保つて別個独立の変压器で降圧する。制御回路は格子回路・点弧回路からなり整流器の放電を制御するものである。イグナイトロンには励弧回路が全くなく、また電圧制御は点弧子の点弧位相をかえることにより行う点が多陽極型と異つていて。制御回路の開閉は主回路の起動、停止を迅速確実に行うもので自動化を実施するに好都合の要素をそなえている。故障電流の遮断は格子の遮断作用と点弧回路を高速度リ

レーで開放する両作用を併用して実施し 10,000 A 以上の故障電流をも 1 c/s 以内で遮断することができる。点弧子の点弧位相を制御電源の移相器により変化せしめれば、自由に直流電圧を変化することができる。移相器の位相変化の速度を任意に変えれば即応性をもたせることができる。

5. 整流器の応用

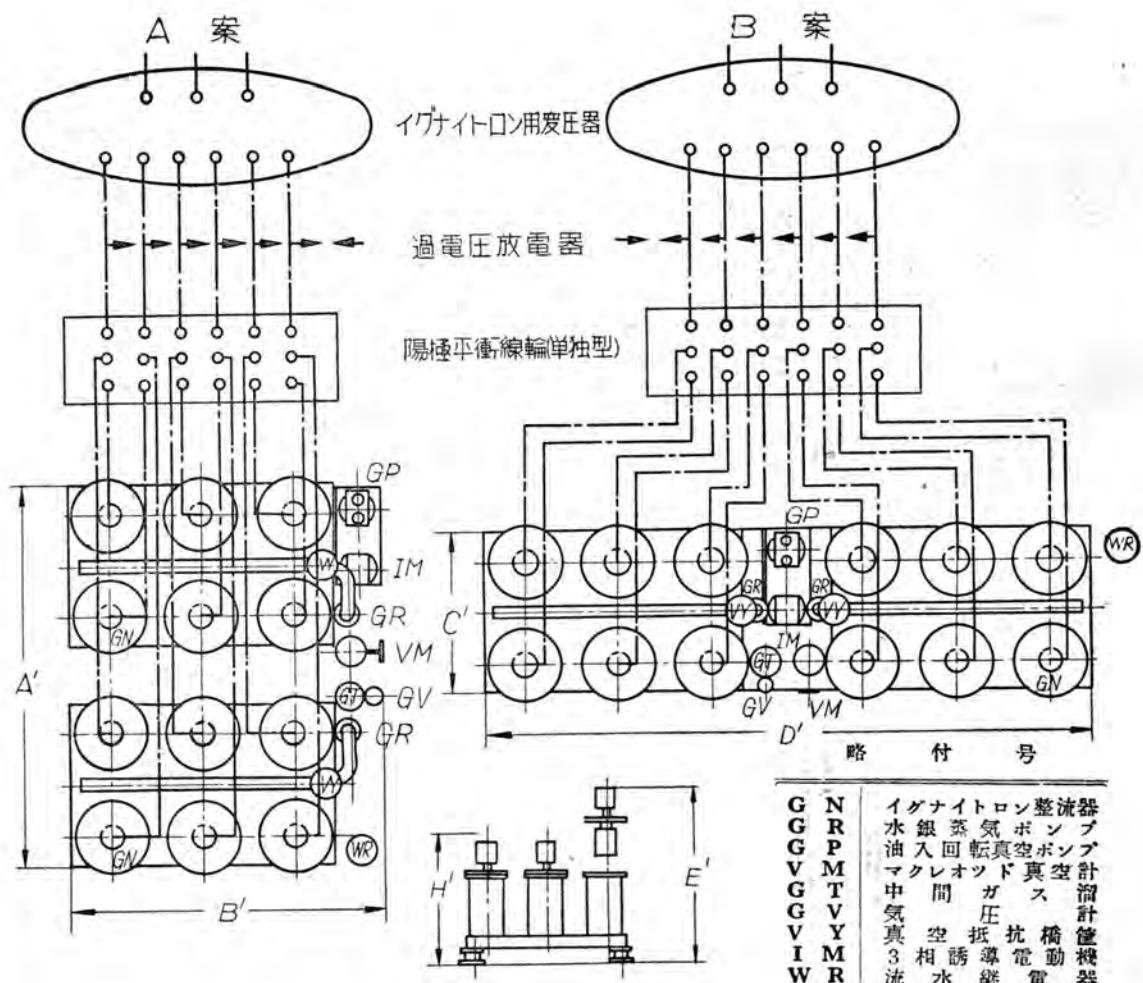
ア. 電気化学工業

水銀整流器が大電流電気化学工業に広く使用されるることはアメリカの実状からも明かである。そのうち一部のものは電解槽の性格上直流電圧が 300 V 以下であることが多い。そのため従来は水銀整流器は回転変流機に比

して能率が低く不経済とされていたが、イグナイトロンの出現により回転変流機に十分対抗しうるに至つた。使用電圧は 200 V 程度から 800 V、負荷電流は単器数 1,000 A のものまである。負荷電流容量の増加により組数を増して各組間の並列運転を行つて要望に答えている。こうした方式の採用は電弧降下を低下せしめて能率を向上せしめること、運転信頼度を強化せしめうことの 2 つの利点があるためである。三井化学へ納入した 9,000 A イグナイトロンは単器 3,000 A ユニット 3 組を並列運転している。この場合電解槽へは一定電流を負荷する必要から直流電圧を負荷電流の変動に応じてすなわち電源電圧または負荷側の電解槽数が変つた場合等に随時制御を行うため各ユニットの点弧子回路の点弧位相

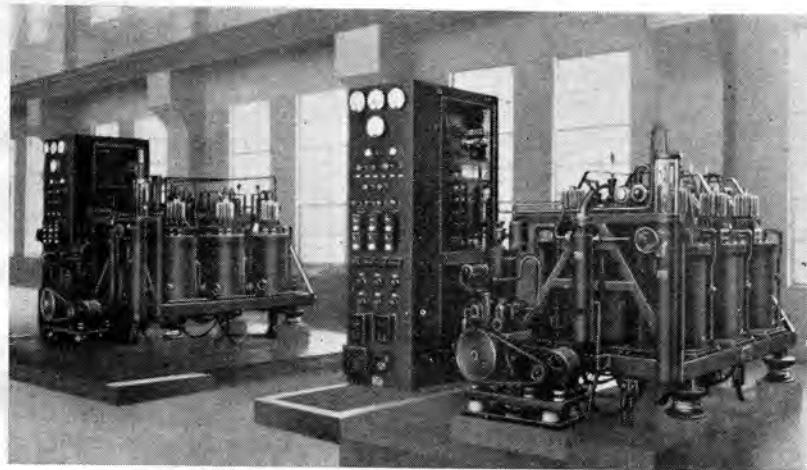
1 表 その 2 12 タンクの場合

連続定格 250V~800V	極 数	外 形 尺 法 (mm)						製品重量 (kg)	
		A'	E'	C'	D'	H'	E'	単位タンク	総重量
3,000 A~4,000 A	12	3,300	2,370	1,210	4,250	1,800	2,000	200	3,900
5,000 ~6,000	12	3,500	2,460	1,310	4,600	1,930	2,400	320	4,900
7,000 ~8,000	12	3,800	2,700	1,370	5,000	2,100	2,600	400	6,500
9,000 ~10,000	12	4,000	2,970	1,570	5,600	2,200	2,650	600	10,000



2 表 電鉄用イグナイトロン整流器外形寸法表

公称定格	極数	外形寸法 (mm)						製品重量 (kg)		
		A	B	C	D	H	F	単位タンク	総重量	
600V	1,500V									
300kW	500kW	6	3,300	2,800	990	2,130	1,800	2,000	150	1,400
500	750	6	3,300	2,800	1,040	2,130	1,800	2,000	170	1,600
750	1,000	6	3,800	3,000	1,210	2,370	1,800	2,000	200	2,000
1,000	1,500	6	3,800	3,000	1,310	2,460	1,930	2,400	320	2,500
1,500	2,000	6	3,800	3,100	1,370	2,700	2,100	2,600	400	3,300



6 図 500 kW 600V イグナイトロン整流器 (京都市交通局西の京電所)

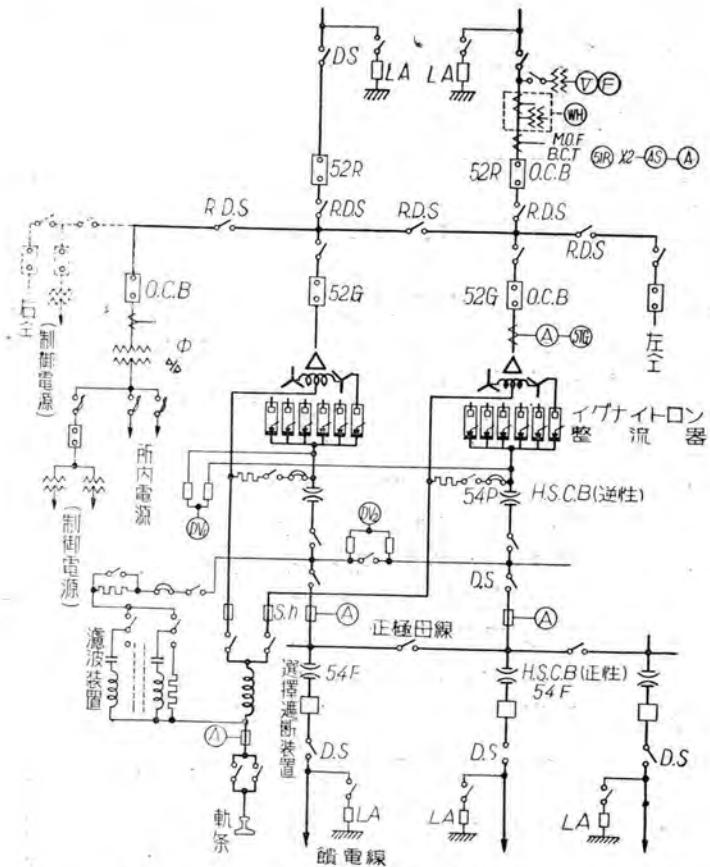
イグナイトロンの一大特長である。したがつて制御法は円滑かつ容易で信頼性が高く、損失を作わない点は他種機器にみられない特色である。イグナイトロンの最大電流容量のものとしては徳山曹達殿納入の 300 V, 12,000 A 変流装置がある。これも 6,000 A ユニット 2 組を並列運転している。6,000 A ユニットは従来の多陽極型整流器では 18 陽極のものが普通であるがイグナイトロンでは 12 陽極すなわち 12 タンクで電流容量をもたしうる点もイグナイトロンの構造より帰結できる特長である。



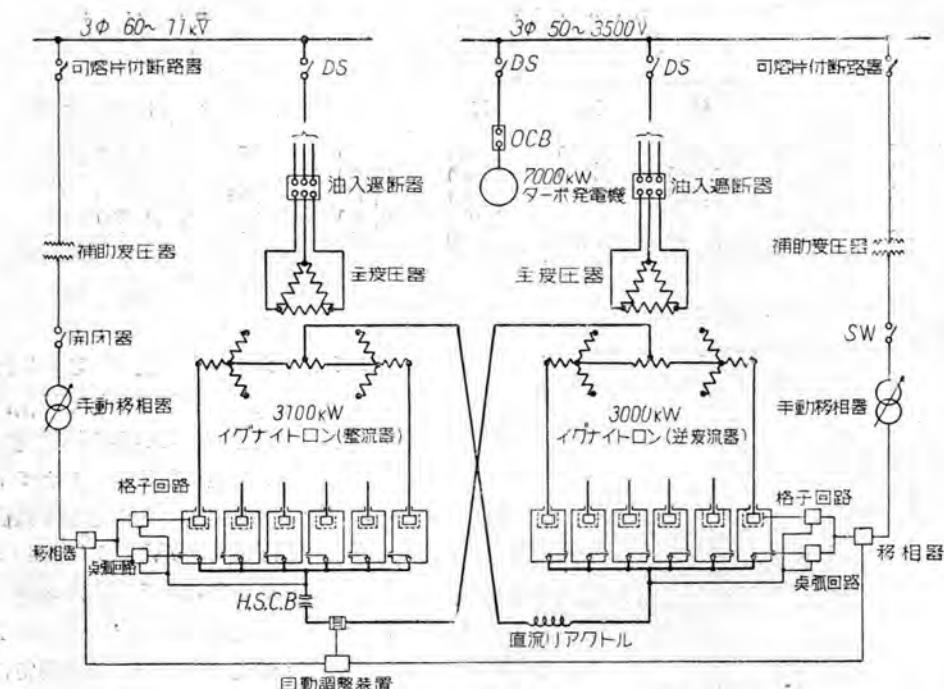
7 図 1000 kW 600V イグナイトロン用制御器具盤外観

を主移相器 (6 図参照) により一括移相せしめれば負荷分配率はそのままの状況で電圧制御することができる。

この時の電圧制御は点弧子の点弧位相をかえることにより実施し格子に依存していないことはイ



8 図 イグナイトロン整流器変電所單線結線図
(註) 電源電圧 (1) 77 kV または 66 kV のときは一段変圧方式の変電所 (2) 22 kV 以下のときは標準結線方式を示せる
もの制御電圧の変圧方式には種類あり



9 図 イグナイトロンを使用した周波数変換の一例

2 表はこれらイグナイトロン外形寸法表である。6 図は電気鉄道用変電所内イグナイトロンならびに制御盤の配置を示した写真である。7 図は最近納入した制御器具盤の外観写真である。8 図は代表的電気鉄道変電所の単線結線図である。この変電所の特異点は無負荷時の電圧上昇防止対策として無負荷時電圧上昇防止抵抗器があること、饋電母線回数が多く各饋電線共故障電流選択遮断装置をついていること、渋波装置を有すること等である。渋波装置は整流器の直流出力電圧の脈動を軽減して弱電

3 表

	整流器側	インバータ側		整流器側	インバータ側
イグナイトロン容量(kW)	3,100	3,000	イグナイトロン変圧器容量(kVA)	3,600/5,100	3,850/5,450
直流電圧(V)	2,000	2,000	電圧(kV)	1.1/D.C.2	3.3/D.C.2
タンク数(タンク)	6	12	周波数(Hz)	60	50
冷却方法	循環水冷方式(再冷器付)		結線方式	1次2次3角相間リアクトル付二重星型	左同
全重量(kg)	4,000	8,000	全重量(油なし)(kg)	12,600	14,300

多数の並列器の起動、停止法は原則として主移相器により行うが点弧子により各ユニット同時に起動せしめて並列運転に入れるという特殊起動法もある。

電解工場は使用電力が大きいため6相結線方式では交流側電流が変歪し、電源や近くの電気設備または通信線へ障害をあおぼすことがあるので、整流器変圧器1次側の位相を星型および3角に相互に変えて組合せて12相、24相となるようにして波形の歪むのを防止する方式がある。

当社で製作した実績のある化学用イグナイトロンの6タンク方式、12タンク方式の外形寸法、重量の一例を示したもののが1表である。6タンク方式か12タンク方式かの採用の決定は電圧、能率、経済条件により判決されるものである。

1. 電 気 鉄 道

鉄道輸送の重責を担つてゐるだけにこの方面的責務は重い。現用の主要直流電圧は600V、1,500Vで容量は300kW、500kW、750kW、1,000kW、2,000kWの公称ならびに重負荷公称定格のものが主体となつてゐる。

線への通信障害を防止するためのものである。

ウ. 周波数変換器および直流送電

イグナイトロンを位相制御することにより送変流器(インバータ)として使用できる。よつて2組のイグナイトロン整流器をいわゆる交叉接続として一方を直流電力変換器に他方を逆変流器に使用して異周波数の交流電力系を連結する。9図は製作完了せる3,000kW、60Hz系電圧を50Hz系電力に周波数変換を行う変電所の結線図の一例である。電力は必要に応じていずれの系統からも送電できうる特長をもつてゐる。

この方式は両系統の周波数変動範囲が一定値を越えて回転機の使用不適当の時および両周波数系が十分無効電力を供給しうる時には経済的にみて回転機より有利である。この方式は静止器であるため建設費の点では回転機より優れており、能率もよい。三菱鉱業(高島)へ納入せる3,000kWの周波数変換器のイグナイトロンの仕様は3表のとおりである。

直流送電も周波数変換器と同一原理であつて、送電端変電所で交流電力を経済的な直流電力に変換し多くはケ

ケーブルで送電する。直流電圧が高い時はイグナイトロン数タンクを直列に接続して耐圧を保証している。受電端変電所ではイグナイトロンを逆変流器として使用し、所望の交流電力に変換するものでやはり無効電力は必要である。直流送電は長距離送電に有利であり安定度・力率等の諸問題が簡易化される。さらに交流送電に比して直流送電が優れている点は主として経済的問題にある。とくに離島への海底ケーブルによる送電に直流送電を採用すれば海底ケーブル布設回数は少い。また同一太さのケーブルを使用した時は送電容量は交流送電の時より顕著な増加を示すことが判っている。ドイツでは 400 kV, 60,000 kW の地下ケーブルによる直流送電に成功している。こうした事実は交直流変換装置である高圧水銀整流器の発達進歩に基いたもので、イグナイトロン整流器は高電圧用整流器に有利な電気的特長をもつていると共にその信頼度は保証されている。またイグナイトロンを使用した直流送電方式は経済的にも技術的にも有利であると共に海底ケーブルによる送電には直流送電方式を採用すべきであるという結論を得ている。

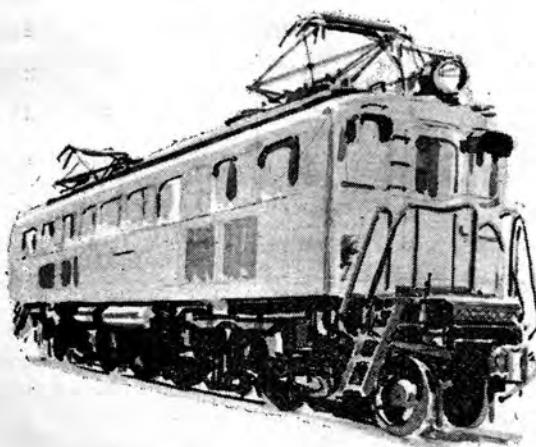
エ. 一般工業用

水銀整流器は一般工業用直流電源として広く使用されているが、そのうちの代表例は製鋼用ミルモータ・巻上機・起重機の直流電動機用電源等である。こうした用途はすべて水銀整流器の位相制御の特性に依存するもので速度制御が簡単にかつ能率よく実施され、また逆変流器として動作せしめて回生制動が行われているためである。溶接機の電流制御には広く使用され、その信頼度と利用率のよい点は旧くから定評がある。

オ. 特殊用途

発電機等の励磁機として回転機型のものに代つて使用される。これは位相制御による出力電圧の急変ができる特長を利用したもので、油入遮断器の遮断容量試験機の励磁機として 600 kW, 600 V イグナイトロンを製作中である。アメリカでは火力発電機の励磁機として密封式イグナイトロン装置が実用化されている現状である。

その他新しい応用分野が着々と研究され日進月歩の有様である。以上記述した各種応用の実用普及はあまり遠くないと考える次第である。



回転変流機

神戸製作所 片岡高示

1. 製作経歴

交流より直流への電力の交換装置として近時回転変流機は、水銀整流器あるいはイグナイトロンにその席をゆずりつつある状態にあることは一般的な傾向である。しかし戦前はもちろんのこと戦後においてもなお多数の回転変流機の大修理および新製の工事を続けていることは主としてつぎの理由によることと考える。

- (1) 回転変流機の方が信頼性の大なること。
- (2) 逆弧に比して閃絡を起しても復旧の早いこと。
- (3) 既設の回転変流機変電所にて増設の場合並列運転に便なること。
- (4) 250V 以下の低電圧においては水銀整流器より能率のよいこと。

上記の理由より戦後多数の修理新製を行つたが、その大略の数は、

電鉄用	新製	1,000 kW 程度	15台
		500 kW 程度	16台
修理		約	80台
化学用	新製	4,640 kW	3台
		1,500 kW	3台
		400 kW	2台
修理		約	35台

つぎに戦前戦後を通じての主な記録を1表、2表に示す。

2. 三菱回転変流機の特長

ア. 起動方式

電気鉄道用は変圧器に $1/3$ 電圧の起動タップを設け、 $1/3$ 電圧にて起動し、起動 kVA は変圧器 1 次側において定格出力以下で起動時間は 20 秒～30 秒である。化学用においては変圧器 1 次側の Y, △接続の切換による。すなわちまず Y 接続にして約 $58\% (1/\sqrt{3})$ の電圧にて起動し、同期速度に達すれば △ 接続に切換えて全電圧を印加する。

イ. 均圧コイル

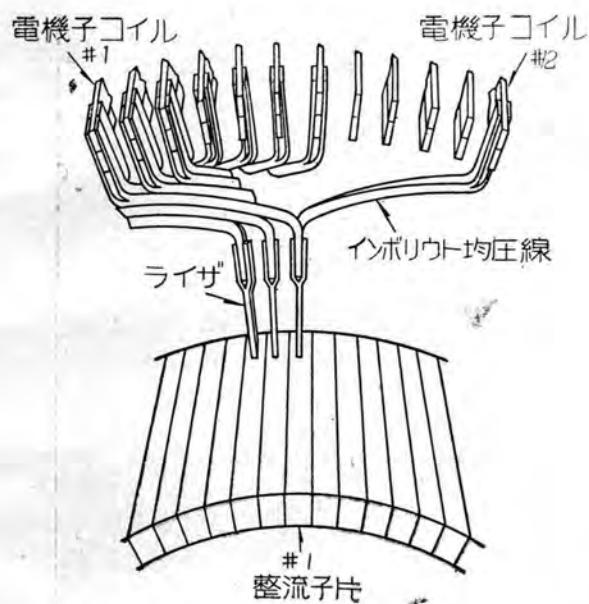
均圧コイルはすべて集電環側において電機子コイルに接続している。整流上の観点よりは整流子側に接続する方がよいが、点検および修理には集電環側の方が便である。なお最近設計した電鉄用には全導体に均圧コイルを

1 表 電鉄用 (1,000 kW 以上)

容量 (kW)	電圧 (V)	回転数 (rpm)	周波数 (Hz)	製作台数
1,000	600	500	25	1
1,000	600	750	50	2
1,000	600	900	60	12
1,000	750	900	60	21
1,000	1,500	1,000	50	1
2×1,000	1,500	750	50	10
2×1,000	1,500	900	60	11
1,200	600	720	60	1
1,500	600	720	60	6
2,000	600	514.3	60	1
2,000	600	600	60	2

2 表 化学用 (1,500 kW 以上)

容量 (kW)	電圧 (V)	電流 (A)	回転数 (r.m)	周波数 (Hz)	製作台数
1,500	250/200	6,000	600	60	1
1,500	300/150	5,000	600	60	1
1,500	250/200	6,000	500	50	1
1,500	375/335	4,000	500	50	3
1,500	230/160	6,500	600	60	1
1,650	240/140	6,600	600	60	1
1,650	275/250	6,000/6,600	600	60	2
1,650	250/140	6,600	500	50	5
2,000	250/200	8,000	450	60	1
2,000	250/200	8,000	375/450	50/60	1
2,550	300	8,500	300	50	9
2,500	250/200	10,000	300	60	1
2,500	250/200	10,000	250	50	1
3,780/3,150	420/350	9,000	300	60	2
3,710	530	7,000	300	600	3
4,640	530/490	8,000	300	60	2



1 図 インボルト・ライザ

付して整流の完璧を期している。

つぎに電鉄用においては 1,500kW 以上に、また化学用低電圧機にはインボリュートライザを使用している。(1図)これは整流子ライザの作用と同時に均圧コイルの作用をするもので、しかも整流子側において全導体に均圧コイルを付したと同等の効果がありもつとも完全な均圧コイルである。

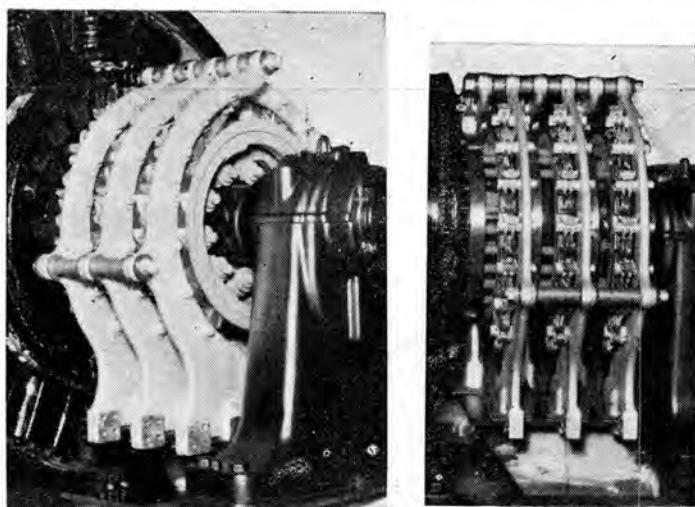
既納日産化学納 3,710kW 530 V 300 rpm を例にとれば、古い設計のインボリュートライザのつけてないものと、その後の設計のインボリュートライザをつけたものと比較すれば整流状態は後者の方が格段によい。

ウ. 電機子導体と整流子ライザとの接続

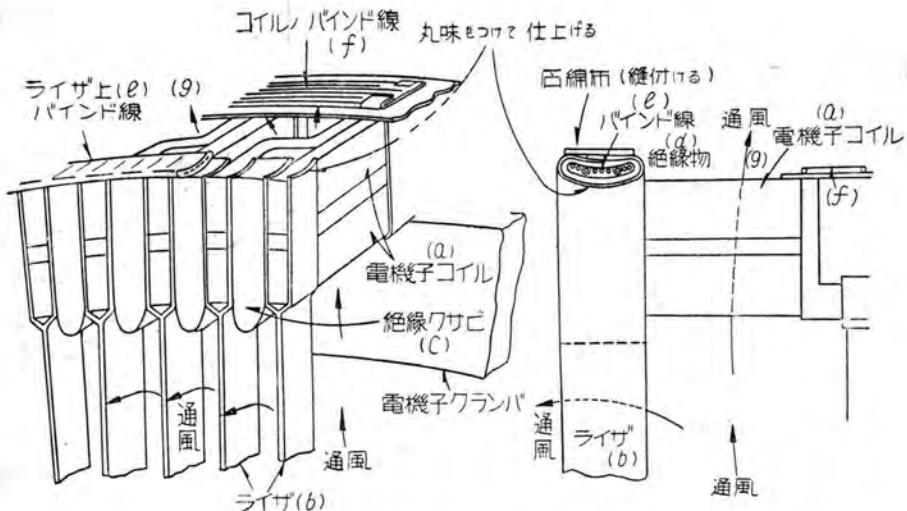
電機子導体と整流子ライザとの接続部分は回転変流機の構造中もつとも弱点でありしたがつて注意を要する点である。

導体相互間の電気的絶縁性はもちろんのこと、速い周速において機械的強度も十分でなければならない。当社では2図に示す如き構造にしている。すなわちライザ間に絶縁性楔を強く打込みたる後その外周とライザと共に削り、その上に絶縁を施してバインド線を巻く、したがつてライザ自体の遠心力はそれ自身のバインド線で十分うけられる故にライザの遠心力によつて整流子片が変形することはない。

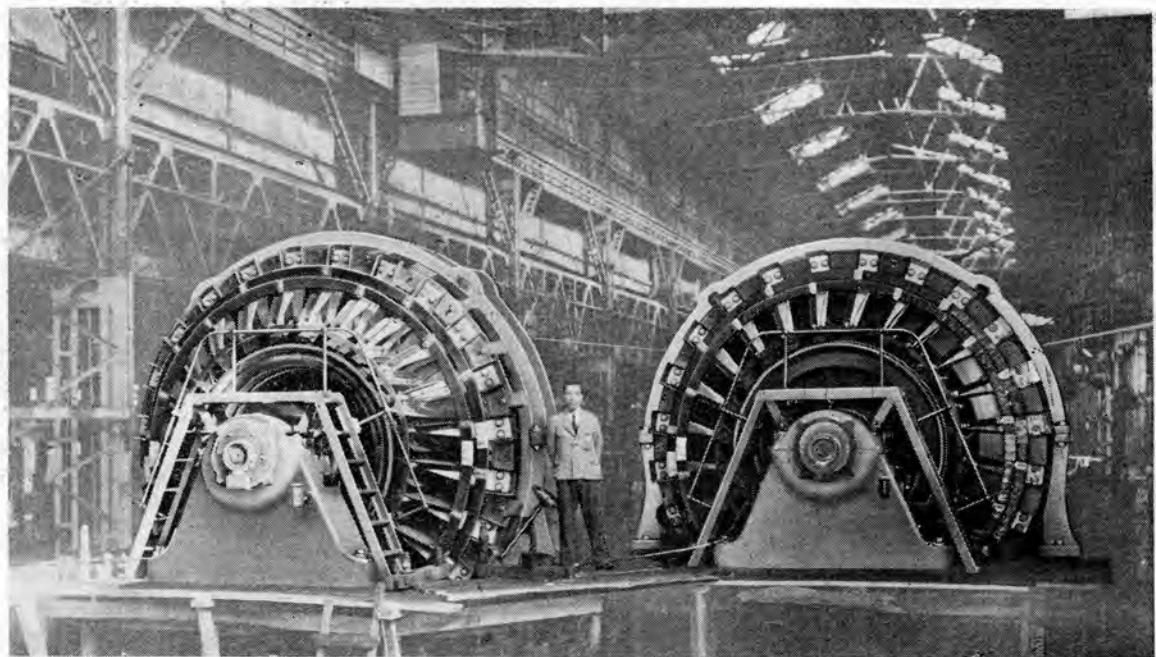
つぎに電機子コイルバインド線(f)とライザとの間にすき間(g)をおいて通風と同時に掃除に便にしてある。



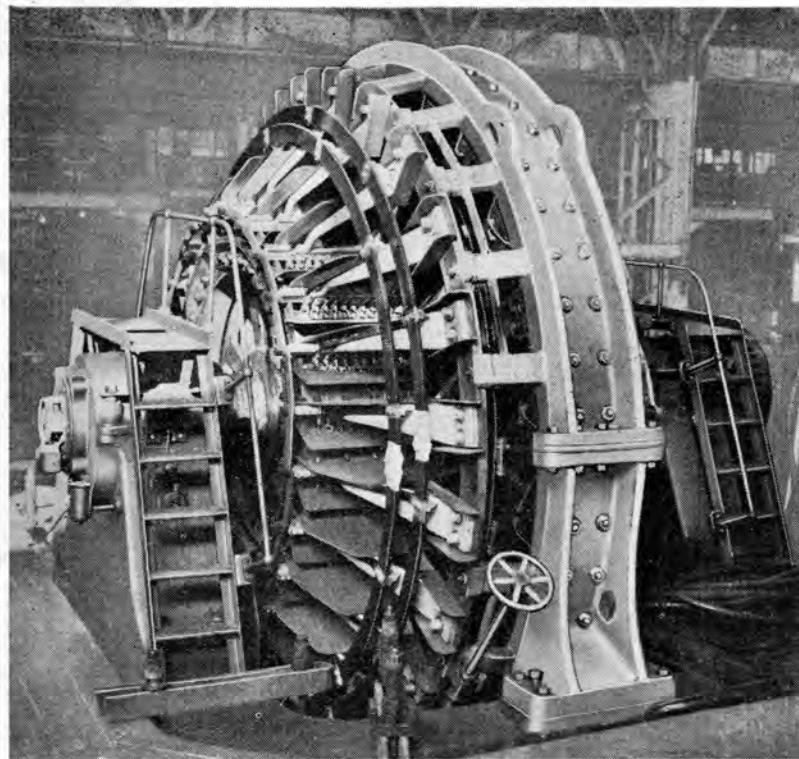
3 図 集電環および交流刷子スタンド



2 図 電機子導体接続



4 図 (1) 日産化学納入 4,640 kW 変流機



4 1・図 (ロ)

エ. 集電環および交流側刷子スタンド (3図)

化学用大電流変流機の集電環は各環それぞれ独立した数個のアームでボスに結合されているので冷却が非常によいのが特長である。したがつて大電流の集電にも過熱することは全然ない。旭化成殿、および日本空素殿よりの特別のご要求によつて他社製の変流機の集電環のみ三菱式に取替工事を行つたことは当社の集電環がとくに化学用として優秀なることを示す一例である。

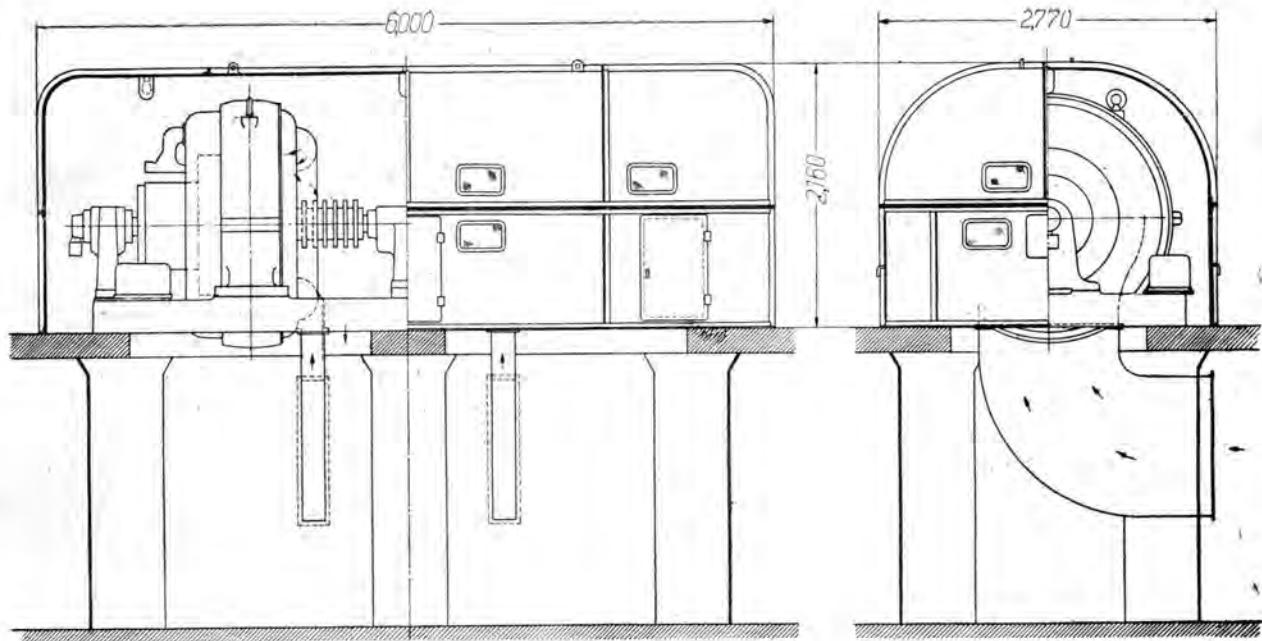
交流刷子スタンドは電鉄用も化学用もほぼどうよう構造であつて (3図) 刷子は環の半円周上のみにありし者があつて隣接相との距離が大きい、またスタンドと環との距離も大きくできるのでこの部分における短絡等の事故は全然ない。

2. 最近の特殊機

ア. 日本化成四日市工場納 400 kW
定格 400 kW 160/118, 93/69 V
2,500 A 900 rpm

出力は大きくないが電圧の調整範囲の広いことが本機の特色である。工場建設の都合上建設当初は低圧 (93/69 V) にて使用し、その後高圧 (160/118 V) に切換えて使用するのであるが最高電圧と最低電圧との比は 50% 以下である。高圧、低圧それぞれ $\pm 15\%$ の調整は誘導電圧調整器によつて行うこととは普通の通りであるが、全体の調整範囲がこのように広い(最低は最高の 50

%以下) 例は従来にない。回転変流機の電圧調整可能の範囲は——運転の安定性より——大体 60% 程度までと考えられていた。それ以下に電圧を下げるは主極磁束の減少によつていわゆる安定度 (Stability) が減少し運転は不安定になるものである。本機は上記の如く低圧範囲においては 50% にも電圧を下げるは主極鉄心に特殊の加工を施して主磁束を多くし安定度をもた



せ、高圧範囲で使用するときは簡単にその加工に埋金して普通の形状にて使用するようにした。その結果最低電圧 (69V) においても全負荷電流 2,500A にて運転は高圧におけるとどうように安定であつた。

イ. 日産化学富山工場納 4,640 kW (4図)

定格 4,640kW, 580/490V, 8,000A, 300rpm, 24極
出力の点において当所の記録機である。同工場には 10 台の回転変流機が既設されているがそのうち 3 台は当社製で 10 台のうち当所製が最も成績がよいのでそれらと同等の成績のものというご要求によつて設計したものである。たとえば温度上昇は EC 規格より 10°C 低く設計してある。(AIEE 規格も化学用回転変流機は JEC より 10°C 低く、絶縁したコイル、鉄心: 40°C, 裸コイル: 50°C, 整流子 55°C となつてゐる)。

起動は変圧器 1 次側にて Y△ の切換えによつて行うが、誘導電圧調整器最低にて起動 kVA は約 130% である。なお起動を容易にするために、油圧による軸引上装置 (oil Lift) を併用して起動時間を短くするようにしている。工場試験において負荷返環法によつて全負荷流整試験を行つたが整流は十分良好であつた。

ウ. 北鉄富山工場納 2,000 kW (5図)

定格 2×1,000kW 2×750V 1,333V/750 rpm

全閉他力通風型

米国ウェスティングハウス製機の修理機であるがその修理は簡単な修理ではなく、電化協会主催にて、国鉄・私鉄および電機メーカーによつて構成された「改修委員会」にて決定された方針にしたがつて修理したもので絶縁物は全部取替える等新品と同等にまで更新されたのみならず下記に示すような新しい方式を採用している。

(1) 5 図に示すように 2,000 kW 一セット毎に機械をカバーにて被い、電動送風機にて強制通風を行う。通風路は、縦鉄の集電環側に設けたエンドベルにて下方より風を入れ、その風は整流子方向と集電環方向に分れ機械を冷却した後地下室より送風機にて引出される。したがつて刷子の消耗による炭素粉は機械本体内に入ることがなく炭素粉の堆積によるメグの低下は防止できる。機械全体が被われるので防音、防塵になることはもちろんである。

(2) 起動方式

リアクタによる全電圧起動方式である。したがつてタップの切換えを行う必要なくリアクタを短絡するのみでよい。起動電圧は約 150V (集電環にて) 起動 kVA は 200~250% である。

三菱電機 昭和26年総目次

第 1 号

- 人間と機械：……………取締役社長 高杉…2
 拡張強度の計算：……………齋藤…3
 変圧器の衝撃電圧試験(3)：……………木村・堀…8
 青写真焼付用石英水銀灯：……………小椋…12
 最近のNF型デアイオン気中遮断器：……………篠崎・高見…14

第 2 号

- ウ社を視察して感あり：……………取締役副社長 關…32
 電源の電圧および周波数の変動が誘導電動機に及ぼす影響：……………大野・臼田…34
 記録式分光光度計による螢光灯の測光法：……………八島・弘田…40
 変圧器の衝撃電圧試験(4)：……………木村・堀…43
 メチルクロライド式アイス・スケート装置：……………高橋…52

第 3 号 (発電機器特集号 前篇)

- 電気界の前途：……………浅井…58
 水車発電機について：……………石橋…59
 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)：……………加賀…63
 三菱エンジンストロムタービン発電機：……………鈴木…68
 ジーゼル発電機：……………松村…70
 大型変圧器：……………田宮…72
 161 kV 三菱碍子型遮断器(VCB)の遮断試験
 結果について：……………荒井…83
 新型線路開閉器：……………荒井…89
 同期調相機：……………井関…95

第 4 号 (発電機器特集号 後篇)

- 水力発電所自動制御装置：……………尾畠…100
 自動電圧調整器：……………尾畠…107
 火力発電所用補機電動機および制御装置：……………片山・武田…111
 三菱配電盤の現況：……………五十嵐…117
 ジーゼル発電機の自動起動装置：……………五十嵐…121
 配電用変圧器：……………田宮…126
 計器用変成器：……………田宮…127
 最近の電力用避雷器：……………大木…130
 送電線高速度保護遮電方式：……………藤井…137
 搬送式テレメータ：……………津村・杉多…142
 遠方監視制御装置：……………尾畠…145
 同期調相機制御装置：……………尾畠…148
 誘導電圧調整器：……………村上…151
 誘導電圧調整器制御装置：……………尾畠…154
 周波数変換機：……………松村…155
 ニットサブステーション(簡易自動変電所)：……………五十嵐…157
 パルス式線路障害探知器：……………津村・樺本…164
 DS型遠隔水位計：……………津村・洲崎…166

第 5 号

- 操車場用超短波無線電話機：大阪鉄道管理局…
 寺井・芥川・佐藤・岡谷…168
 三菱の受信真空管：……………山島…172
 自動溶接法の応用について：……………
 中日本重工神戸造船所 川勝・高木・鈴木…176
 化学工業用鉄製イグナイトロン整流器：……………
 加藤・坂上…180
 ジーゼル機関用大型電装品：……………宮崎・大村…189
 整流子片の圧縮特性：……………福家…194
 可搬誘電体力率プリッジ(劣化検出器)：……………
 岩崎・永田…199

第 6 号

- 日発小曾根変電所 10,000 kVA 変圧器の内部
 電位振動(過渡現象直視装置による)：……………
 安藤・南角・川根…206
 日発小曾根変電所 10,000 kVA 単相変圧器層間
 絶縁試験：……………堀・川島…218
 検流計による故障検出：……………山田…220
 日発小曾根変電所 10,000 kVA 単相変圧器用
 140 kV, 70 kV コンデンサ型套管の衝撃電
 圧破壊試験：……………堀・池上・龜山・陰山…222
 日発小曾根変電所 10,000 kVA 変圧器の絶縁油
 濾過：……………原・高木…223
 日発小曾根変電所 10,000 kVA 変圧器および
 套管損失角測定報告：……………岩崎・田口…224
 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…229
 非定常状態法による熱伝導率測定：……………
 尾島・長沼・明石…241
 三菱自動溶接機：……………南日・廣田…247

第 7 号

- 有機珪素化合物の研究：……………馬波・小山…252
 BT 31型蓄電池式電動率引車：……………竹内・齋藤…255
 真空ゲージについて：……………藤永・後藤…261
 格子付二重星型水銀整流器の3相失弧現象…
 濱田・阿部…270
 東京歌舞伎座の回り舞台装置：……………木村…280
 自動記録 G-M 計数管 X線分光器：……………今村・弘田…289
 サージ・インピーダンスの簡易測定法：……………安藤…293

第 8 号

- 過渡現象直視装置の使用限界：……………安藤…302
 共晶黒鉛鉄：……………鈴木・田中…315
 コークス炉原料炭コンベヤの総括制御：……………蟹江…320
 磁気増幅器の特性とその応用：……………濱岡…325
 トランク巡回による発電所開閉所における主要
 機器損失角の現場試験：……………浅井・岩崎・田口…334
 火力発電所用電気收塵装置：……………成富…342
 電力用コンデンサ：……………田宮…344
 水銀整流器：……………加藤…347
 回転変流器：……………片岡…354