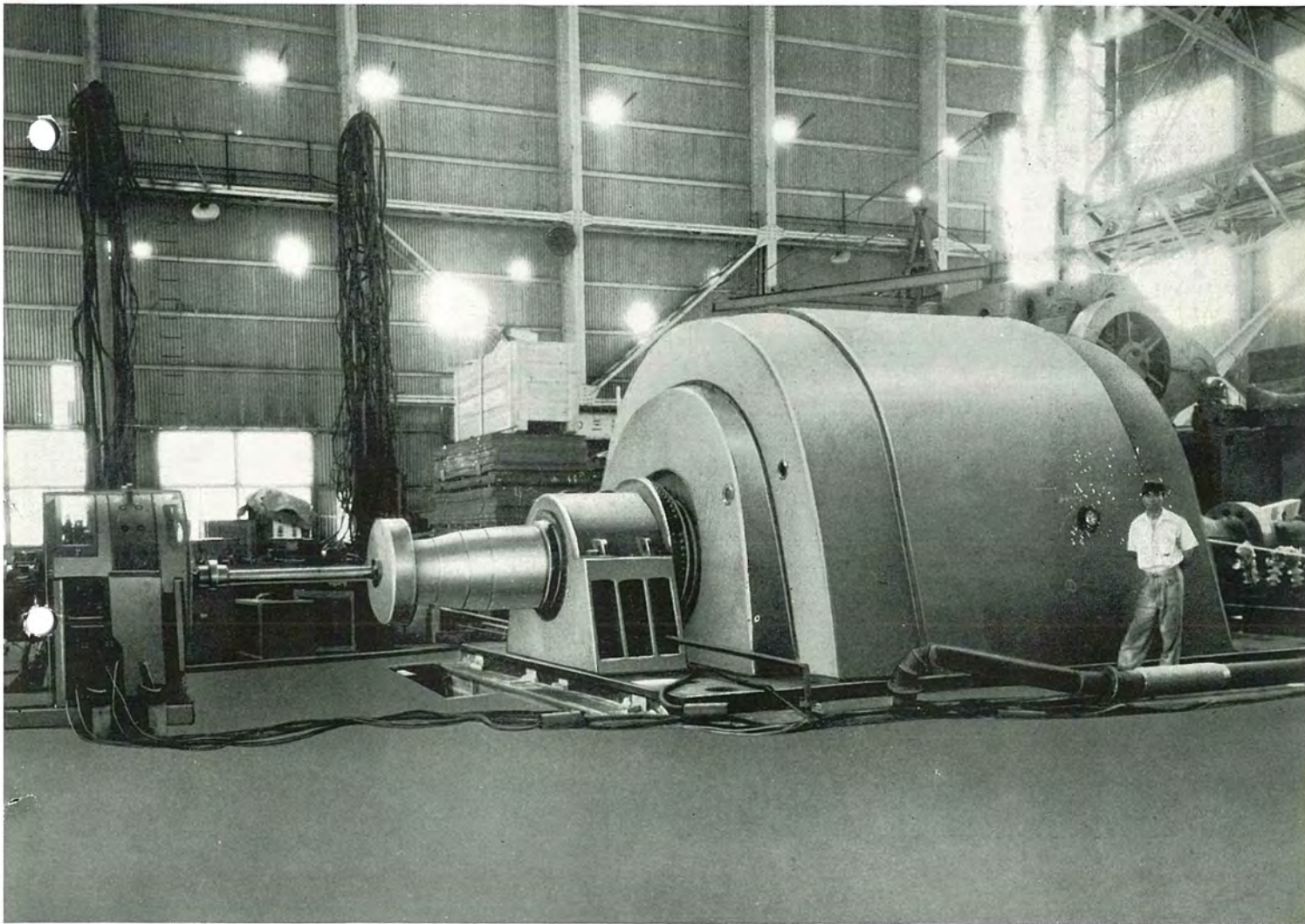


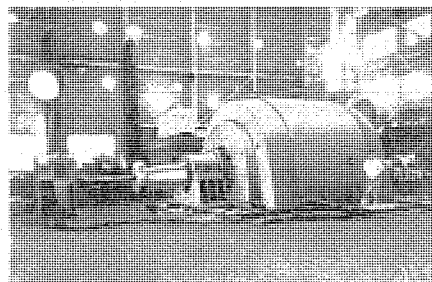
**MITSUBISHI DENKI**

# 三菱電機



台湾電力龍洞発電所納 横軸ベルトン水車発電機

12  
VOL31 1957



# MITSUBISHI DENKI

# 三菱電機

## 表紙説明

台湾電力龍淵発電所向けとして最近完成した東洋最大級の横軸ベルトン水車発電機である。水車はフランスの Neyrpic 社製 68,000HP 横軸ベルトン水車で、発電機軸の両端に水車ランナを直結する構造である。この発電機は大容量機にもかかわらず輸送制限がわずか 15t のため、発電機を軽量化するのに種々構造上工夫された。

### 特長

- (1) 主軸は中空軸で3分割されている。
- (2) 発電機軸受は水冷式油自蔵油環給油式で、とくに軸受の冷却効果をよくするため、通水孔を有する厚銅板をライニングとして使用している。
- (3) 固定子コイル主絶縁にダイヤレジン絶縁を行っている。なお発電機のおもな定格は

出力 62,000/54,000 kVA  
温度上昇 80°C/60°C  
回転数 514 rpm 周波数 60 c/s  
力率 90 % G D<sup>2</sup> 360 t-m<sup>2</sup>  
型式 閉鎖風道循環型空気冷却器付

## 三菱電機株式会社

本社 東京都千代田区丸の内(東京ビル)  
(電) 和田倉(20) 代表 1631・2331  
研究所 兵庫県尼崎市南清水  
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 兵庫県尼崎市南清水  
長崎製作所 長崎市平戸小屋町  
無線機製作所 兵庫県尼崎市南清水  
大船工場 神奈川県鎌倉市大船  
世田谷工場 東京都世田谷区池尻町  
郡山工場 福島県郡山市宇境橋町  
姫路工場 兵庫県姫路市千代田町  
福山工場 福山市沖野上町  
中津川工場 岐阜県中津川市駒場  
和歌山工場 和歌山市岡町  
福岡工場 福岡市今宿青木  
静岡工場 静岡市小島 110  
家庭電器工場 名古屋市東区矢田町  
無線機製作所 東京都世田谷区池尻町  
東京工場 札幌市北二条東 12  
札幌修理工場 札幌市北区堂島北町 8 番地 1  
大阪営業所 (電) 大阪(34) 代表 5251  
名古屋営業所 名古屋市中区広小路通  
(電) 本局(23) 代表 6231  
福岡営業所 福岡市天神町  
(電) 福岡(5) 代表 2431  
札幌営業所 札幌市大通西1丁目(大通ビル)  
(電) 札幌(2) 代表 7236  
仙台営業所 仙台市東一番丁 63  
(電) 仙台(2) 代表 6101  
富山営業所 富山市安住町 23 の 2  
(電) 富山 4692・5273・2550  
広島営業所 広島市袋町 6 (富国生命ビル)  
(電) 中(2) 2211  
高松出張所 高松市南紺屋町 34 番地  
(電) 高松 3178・3250  
小倉出張所 小倉市京町 10 丁目(五十鈴ビル)  
(電) 小倉(5) 8234

昭和 32 年 第 31 卷 第 12 号

## 目次

原子力発電所の発電原価について	木村久男	2
無接点継電方式	横須賀正寿・浜岡文夫・大野栄一	10
電子管式アナログコンピュータ	馬場文夫・大島羽幸太郎・柴谷浩二	20
永久磁石消弧式超高圧オートバルブ避雷器		
	大木正路・森 直次・岡田昌治・岩崎晴光・鎌田隆好	37
トレーラ式移動用変圧器	南角英男・平山広勝	47
HZ 型高速度方向距離継電器用記憶装置	北浦孝一・山内成周	54
近鉄(南大阪線)納電車制御装置	宮内圭次	57
電力系統における回復電圧に関する諸問題(その 1)	潮 恒郎	64
CE-1 型無線写真電信送受信装置機械台		
	香取山之・森川 洋・野本 猛・平島和宣	73
コンデンサ套管モデルの乾燥	白井万次郎・大杉 肇	78
キャビネット型クリネヤ	斎藤 寛・武藤 哲	84
積算電力計の電流磁路の導磁率が軽負荷特性に及ぼす影響	上野 弘	93

## 技術解説

火力発電シリーズ(1): 発電機と励磁機(1) 発電機定格、発電機より見た短絡比 97

## W 社文献抄訳

可逆延伸機のカードプログラム制御、機上用電子機器の冷却、製鉄・製紙の磁気増幅器応用、原子力巡洋潜水艦スケート号 101~102

## ニュースフラッシュ

記録的大容量超高圧 260 MVA 変圧器受注、印度より大形変圧器受注、風防付パラボラアンテナ、内鉄型変圧器の特別分割輸送方式成功、静止励磁式交流発電機 103~104

最近における当社の社外寄稿一覧 100

昭和 32 年(第 31 卷)総目次 105~107

研究所・製作所・工場ならびに製作機種 108

# 品質奉仕の三菱電機

# 原子力発電所の発電原価について

本 社 木 村 久 男\*

## Generating Costs of Nuclear Power Plants

Head Office Hisao KIMURA

It is a problem of next to impossible to estimate the power generating cost in nuclear power plants under the present circumstances. Some figures, however, are required to study the prospect of this new project, for which the writer took pains in making certain computations based on available information. The results are that the PWR is found the most favourable giving a figure of ¥4.20 per kWh. Taking into account the reduced costs in future of materials and work required for the unclear power generation, ¥3.00 per kWh is expected with no exaggeration, provided that all-out efforts are made in Japan to perfect this engineering.

### 1. ま え が き

原子力発電所の発電原価という問題は、随分前から問題になっているが、依然として非常にむずかしい問題として残っているようである。よく経済ベースにのるといことがいわれたのであるが、それは、われわれがこれを実現した場合に、果して本当に経済ベースに乗るかどうかは、疑問であって、もういっぺん発電原価の問題をよく分析して見る必要があると思う。

原価を見積る場合の順序は、これは公知のことであるが、もういっぺん分析して見ると、

- (1) スペシフィケーション(仕様書)が決まるということ。
- (2) これに基づいて設計計算をする。
- (3) 設計ができれば、材料の見積りをする。
- (4) 工作の見積りをする。
- (5) これらを基にして、5番目には見積り価格を決定する。

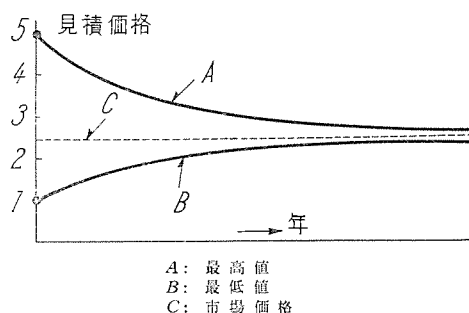
大体こういう順序になっているようである。ところが、原子力発電所の場合には、この(2)(3)(4)あたりの、最も重要な要素が全く不明の状態、厳密な意味において、見積りということは不可能な状態である。これをあえて行ってきたのが、従来のわが国の原子力発電原価の計算であるが、これによって安い高いを論ずることはほとんど無意味に近い状態であるということは、否定できない事実である。製造に関する完全な資料がなければ、厳密な意味では、価格を見積るといようなことはできないものであって、したがって、発電原価を算出するということが不可能な問題なのである。

こういう不可能を承知の上で、従来わが国において、原子力発電所の発電原価なるものが、各方面において、見積られたのであるが、これを紹介して、もう少し発電原価なるものの認識を新たにしたいと考える次第である。

### 2. 原価計算の誤差の原則

原子力発電所は、ご承知のとおり、全然新しいものであって、わが国においては、かつて経験のないものである。こういうものの原価計算は、非常にむずかしいものであるが、従来もこの種の、全然無経験のものの見積りをやった例が、わが国においてもあったので、その例からとって見ると、見積り計算の誤差というもの、非常に幅の広いものである。たとえば、地質調査の未完了な水力のダム土木工事の例をあげて見ると、その地点の固有の大きさのものであって、固有の工事が要るのであるが、或る程度、従来のダム建設の経験というものは、無論役に立つわけである。こういう場合に、資料のなかった昔のことを考えて見ると、初めは資料不十分で最高の見積り価格が5とすると、最低の見積り価格1というような開きができるのである。この5対1という開きはこれは、ダム工事のみに限らず、その他の建築工事においても、経験のないときは、5対1という開きが出るということは、われわれのいままでの経験によって、十分予想されることなのである。

つぎに示す1図は、見積価格と、年々経験を積んでいった場合の見積価格の変化を現わしているものである。

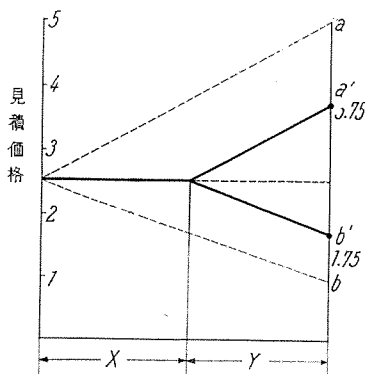


1 図 未経験な工事の見積価格の誤差の減衰曲線  
Fig. 1. Attenuation curve of errors in estimate of inexperienced work.

1 図の  $A$  というカーブは、最高の値段で  $B$  は最低値段、 $C$  は市場価格であるが、何年か後には、 $A$  と  $B$  が段々近付いて、最後には  $C$  という市場価格に安定するというカーブを示したものである。この  $A$  と  $B$  の一番初めの値段というものは、5 対 1 というような開きがあるということは、やむを得ないことと考えられる。これは米国においても、1 対 5 という比は行われているようであって去る 5 月日本に來られたウエスチングハウスの Mr. Witzke もこの原価計算を要求され、大分苦勞しておられたが、Mr. Witzke がいうのに、自分はウエスチングハウスが作る原子炉の、機器の部分については経験があるが、土木工事とか、新らしい立地条件による局部的な価格の開きというものはわからない。そういう範囲の価格については、自分は見積るのは困難である。その困難な程度は、アメリカでの、従来の経験からいっても一番高いのは 5 で、一番安いのは 1 と出すというような例がたくさんあるので、これを平均の 2.5 とかいうような数字に出したところで一般的になるかどうか、疑問であって、この見積価格を出すということは、むづかしいものだということをいっていたが、これはわが国においても全く同感である。

この 1 図の考え方を、わが国の原子力発電原価に応用すると、面白い結果が出てくる。わが国原子力発電の見積計算というものは、あるところまで外国から得られた情報を鵜呑みにして、それから先の土木工事、建設工事等は、わが国の状態に合わせて計算したものである。したがって、あるところまでは外国の数字が、そのまま正しいものとして、それが各方面で計算されたのである。外国の情報はいずれの情報もみな同じ情報で、これまでは共通な数字を使っていたために、2 図のような結果になったものと考えられる。

2 図の説明をすると、 $X$  という範囲は、われわれとして固有の資料を作ることのできない、たとえば前に述べ



$X$ : 資料がないため得られた情報を全く信用した範囲  
 $Y$ : 資料にわが国固有の要素を取入れて算出する範囲  
 $a$ : 1 図の最高値  $A$  の始めの点、見積価格 5  
 $a'$ : わが国固有の要素 50% と見て、 $a$  に並行線を引いた点 3.75  
 $b$ : 最低値  $B$  の始めの点、価格 1  
 $b'$ :  $b$  に並行線を引いた点 1.75

2 図 資料不完全な場合の見積価格の誤差

Fig. 2. Errors in estimate based on incomplete information.

たように設計とか、材料見積りとか、工事の見積りができないために、それは外国から与えられた、大まかな資料をそのまま信用した範囲であって、それからあとの  $Y$  の範囲は、わが国の要素を取り入れて算出した範囲である。これを前の 1 対 5 というような見積価格の開きをここへ応用すると、 $Y$  の範囲だけが、この  $a$  という直線に並行の  $a'$  という点が得られ、これは 3.75 という数字になる。それから  $b$  という最低価格に並行した線を  $b'$  とすると、これが 1.75 という開きになる。つまり途中の 50 パーセントは外国の資料を信用し、残りの 50 パーセントは信用しないで、わが国固有の計算をし直したとすると、最高価格が 3.75 対、最低価格 1.75 という開きになる。現在わが国で得られている原価計算例は、あとにコールダーホール型のものが出ているが、これなども 2 図の 3.75 と 1.75 の比に近いというよりも、むしろ全く一致するようなバラツキを持った原価計算例が発表されているのである。この点非常に興味深いものがあるように考える。

### 3. PWR 134 MW ヤンキー型原子力発電所の発電原価

#### (1)

134 MW 加圧水型原子力発電所の見積計算の結果を表にすると、1 表のとおりである。この 1 表には重油燃焼の加熱器を付けた場合と、付けない場合と 2 つの表が出ている。134 MW の場合は、原子力のみによる発電であり、225 MW の場合は、重油の加熱器付の場合である。これは炉心の燃料を 3 領域に分割して、20,000 時間に耐える燃料を使ったものである。この 3 領域燃料の挿入方法は、あとで詳しく説明する。これらは米国の港渡しという条件で見積ったものである。なおこのほかの損害保険や、第三者に対する保険および土地の価格、関税というような、不確定要素は、見積っていないが、これらはたいして重要な要素になるとは思われないので省略する。

1 表中の 1 は、原子力のみ発電所であり、資本費が 6.28、建設利息が 0.56、運転保守が 0.93、燃料費が 3.85 で、

1 表

1. 134 MW Straight Nuclear Plant. 純原子力	
Capital 資本費	6.28
Construction Interest 建設利息	0.56
Operation & Maintenance 運転保守	0.93
Fuel 核燃料費	3.85
Mills per kW/hr	11.62 = ¥4.20
2. 225 MW with Superheater 過熱器付	
Capital 資本費	4.9
Construction Interest 建設利息	0.4
Operation & Maintenance 運転保守	0.9
Nuclear Fuel 核燃料費	2.3
Oil at 67¢ 重油費	2.1
Mills per kW/hr	10.6 = ¥3.81

<b>Yard Work</b>	土木工事	\$ 500,000
Clearing, grading, fencing	整地および柵垣	
Roads and railroads	道路および鉄道	
Storm and sanitary sewers	防災および衛生関係	
Yard lighting	照 明	
<b>Power Station Buildings</b>	発電所建物	2,500,000
Reactor auxiliary building	原子炉補助建物	
Turbine building with equipment supports	タービン室 建物	
Water treatment and laboratory building	水処理および実験室建物	
Office, machine shop and storeroom building	事務所, 工作場, 貯蔵室用建物	
Fuel handling building	燃料取扱建物	
Foundations for storage tanks	貯蔵タンク基礎	
Fan and filtering house for ventilation	換気用ファンおよびフィルタ室	
Plant control room	プラント制御室	
Guard house	守 衛 室	
Transformer foundations	変圧器基礎	
<b>Vapor Container</b>	蒸気コンテナ	3,000,000
Steel container	鋼製コンテナ	
Foundations	基 礎	
Shielding	遮 蔽	
Cooling system	冷 却 系	
Ventilating system	換 気 系	
Ventilating stack	換 気 煙 突	
<b>Circulating Water System</b>	循環水系	750,000
Circulating water piping	循環水配管	
Circulating water inlet and discharge	循環水入口および出口	
Intake trash rakes and screens	取入口掃除器およびスクリーン	
<b>Fuel Handling System</b>	燃料取扱系	\$ 750,000
New fuel vault	新燃料貯槽	
Spent fuel storage pit	使用済燃料貯蔵ピット	
Fuel handling tank over reactor vessel	炉圧力容器上の燃料取扱タンク	
Fuel chute with valves and manipulators	弁およびマニピュレータ付燃料シュート	
Shielding for fuel chute	燃料シュート用遮蔽	
<b>Waste Disposal System</b>	廃棄物処理系	750,000
Retention basin	貯 溜 池	
Liquid hold up tank	液体貯蔵タンク	
Gas hold up tank	ガス貯溜槽	
Demineralizers	イオン交換樹脂槽	
Pumps, valves, and piping	ポンプ, 弁および配管	
Resin dump tank	イオン交換樹脂廃棄タンク	
Waste disposal stack	廃棄物処理煙突	
Control room	制 御 室	
Enclosures and shielding	容器および遮蔽	
Catalytic recombiner	触媒再結合器	
<b>Miscellaneous Power Plant Equipment</b>	プラント雑装置	250,000
Laboratory equipment	実験所装置	
Machine shop equipment	機械工作室装置	
Furniture and lockers	家具およびロッカ	
Fire protection equipment	消 火 装 置	
Viewing equipment	観 察 装 置	
Communication	通 信 装 置	
Off site radiation monitoring	放射線監視装置	
<b>Substation</b>	屋外開閉所	200,000
Switching equipment and foundations	開閉装置および基礎	
<b>Installation</b>	据付工事	2,000,000
Installation of all equipment within scope of Westinghouse supply	ウエスチングハウス供給品の据付	
<b>Indirect Costs</b>	間 接 費	2,000,000
Purchaser's engineering	購入者負担	
Field office and supervision	現場事務所および監督費	
Inspection and expecting insurance	保 險	
Temporary construction	仮 設 備	
Construction equipment	建 設 機 器	
<b>Total</b>		\$ 12,700,000

注: この数字に対し, わが国で作る部分が多いために比較的安くなると考え, 12,000,000 ドルとした.

合計 11.62 ミルである。これを円に直すと、4 円 20 銭になる。

1 表の 2 は、225 MW で、加熱器付きの場合であるが、資本費が 4.9、建設利息が 0.4、運転保守が 0.9、燃料費が 2.3、油が 67 セントとして 2.1。合計 10.6 ミルで、これは 3 円 81 銭に当るものである。

#### (2) 発電所の見積計算

ウエスチングハウスは 1952 年 4 月 26 日付けの仕様書で、売値は、ちょうど 3,000 万ドルと見積っている。これはアメリカの港での FOB の価格であるが、材料および労務費、つまり、製造原価の変更に、この数字は実際の見積りのときには、多少変更されとの条件がついている。この 3,000 万ドルには原子炉の炉心、すなわち燃料費は含まれていない。

#### (3)

2 表は、ウエスチングハウスから供給しないものが表示されている。これらはどのくらいに評価していいか日本の場合と、アメリカの場合と、事情が違うのであるが、一応推定をして見積った値段が、1,200 万ドルとなる。これらには整地費、建物 Vapor Container 機器の建設費、燃料取扱い装置、および廃棄物処理費等が含まれている。

#### (4) 発電所の価格

ウエスチングハウスから購入する機器の値段と、その他の局所的な価格を合計すると 4,200 万ドルになり、これは kW 当り 314 ドルになる。また 80% の負荷率において、わが国のチャージを 14% とすると、資本費として、キロワットアワー当り 6.28 ミルになる。これらの見積りの中には、土地の費用とか、輸送費や、税関の費用は含まれていないが、原価見積りに対して大きな影響を与えるものとは思っていない。

#### (5)

建設中の利息というものは、始めてから 3 年間で運転にはいるということを仮定して、6% ずつの利息で発電所のコストの半分に對して、3 年間支払うということにすると、建設中の利息というものは、発電所価格の 9% になり、これはキロワットアワー当り 0.56 ミルになる。

#### (6) 保安および運転

134 MW の発電所には 57 名の運転員が必要とされ、米国においては、年に 8,000 ドルというのが、平均の保守の費用となっている。この保守費 456,000 ドルが、運転の費用となるのである。それから保守の費用は、発電所の価格の 1% が毎年かかるということになり、これが 420,000 ドルとなっている。したがって保守と運転と合せたものが、毎年 876,000 ドルになる。それは負荷率 80% とした場合、kW/hr 当り 0.93 ミルである。

#### (7) 燃料価格の見積

炉心の費用はつぎのとおりである。

熱出力 482 MW

寿命 20,000 時間

(ただし 7,000 時間宛 3 回に分けて配列を変更する)

平均の Burn up 8,230 MWD/ton

ウラン挿入量 24,400 kg

最初の濃縮度 2.9, 2.5, 2.0

7,000 時間後の濃縮率 2.5, 2.0, 1.5

20,000 時間後のプルトニウム 200 kg

#### (8) ウランの価格

24 トン 400 の中の 3 分の 1 が 2.9% の濃縮率のものが kg 当り 360 ドルであるから、 $8,130 \times 360 = 294$  万ドル、つぎの 1/3 の 2.5% のものは kg 当り 297 ドルだから、 $8,130 \times 297 = 241$  万ドル、それから 2.0% の濃縮度のものが、残りの 1/3 でこれが  $8,130 \times 220 = 179$  万ドル。以上の合計は 714 万ドルで、これが最初の燃料の費用である。これはアメリカの AEC が 1956 年 11 月 18 日に発表した価格を基として計算したものである。

それから 7,000 時間後の濃縮率は 2.5, 2.0, 1.5 ということになるが、その費用を計算すると、それぞれ 241 万ドル、179 万ドル、119 万ドルとなるから、最後の価格は 539 万ドルである。それでウランの価格は、その 2 つの数字の差であるが、これは 175 万ドルが、7,000 時間後の燃料の消費費である。しかし、これは約 20,000 時間使う燃料であって、この 7,000 時間というのは約 1 年分であるが、その 3 倍の 3 年分ということになると、その 3 倍で結局 525 万ドルのウランが燃料費になるわけである。

#### (9) プルトニウムのクレジット

プルトニウムのクレジットは 20,000 時間の後には 200 kg のプルトニウムができるが、これを 1957 年の 6 月 6 日にフェデラルレジスター発表のグラム当り 30 ドル (プルトニウム 240 が含有量 8% 以上のもの) これを基にして計算すると 600 万ドルになるが、処理の費用を 100 万ドル除くとなると、クレジットとしては 500 万ドルということになる。

#### (10) 燃料物質の損失

燃料物質のそれぞれの損失はつぎのように考えたいと思う。ロスとしては 1% を見込むこととした。

714 万ドルの 1% 71,400 ドル

539 万ドルの 1% 53,900 ドル

600 万ドルの 1% 60,000 ドル

以上合計 185,300 ドルを損失とする。

#### (11) ウランの Inventory の Charges

80% の負荷率で 20,000 時間の寿命を考えると、ウランは 20,000/7,000 すなわち 2.86 年炉の中にはいつていることになる。インベントリーとしては、これに 1 年分を加えて置けばいいようである。それでつぎのような順序でこれを計算してみたいと思う。

a.  $UF_6$  から  $UO_2$  に変化。

b. コアの製造。

c. 新しいコアを日本に送る送料。

d. 使用済の燃料を冷却する期間 (4 カ月とする)。

e. 使った燃料をアメリカに送る運賃。

f. 再処理.

これを4%のインベントリーのチャージを払うとすると、一番高濃縮のものを借りるという形を取るために、24,400 トン×360 ドル per kg=880 万ドルで、4 年間借りるということになる。したがって 20,000 時間のライフに対しては 141 万ドルというチャージが計算される。

(12) 酸化物の変換

リヤクターは 60,700 ポンドの酸化ウラニウムを含んでいるが、オキサイドのスクラップができるために、全体としては  $UO_2$  は 72,000 ポンド処理しなければならないので、この処理は 10 ドル per pound ということになり、72,000 ドルが酸化物にするための費用ということになる。

(13) コアの燃料加工費

燃料は制御棒の加工費は、ウラニウムオキサイドを除いたすべてのものであるが、これは約 450 万ドルと見積られている。

(14) コアの資本費

コアの資本費というのは、コア製造費と  $UF_6$  から  $UO_2$  に変換する費用、すなわち 552 万ドルというものが、一応の資本費に計上される。これは毎年 10% の利息を考えて、償却はこの場合には全然考えないでいいわけである。コアは取替えられるものであるから、償却は考えないでいい。したがってコアの資本に対するチャージというものは毎年 522,000 ドル、20,000 時間に対しては 1,533,000 ドルということになる。

(15) 再処理

再処理の順序に従って説明を加えてみると、

a.  $UO_2$  から  $UF_6$  にする方法

5 トンすなわち 11,300 ポンドの  $UO_2$  から  $UF_6$  を作するための費用は 77,000 ドルである。これはウエスチングハウスの評価であって AEC では未だ発表していない。この数字を使うと、毎年 8,130 kg の  $UO_2$  を使うために、 $8,130 \times \frac{77,000}{5,000}$  ということになり 126,000 ドルが毎年このために要することになる。

b. 燃料の再処理の費用

アメリカの AEC では低濃縮の燃料をナイトレートにするための費用を発表しているが、134 MW の発電所の燃料は毎年つぎのとおりとなる。

9 日がレプロセッシング

8 日が準備

合計 17 日かかるわけであるが、これが毎日 15,300 ドル、したがって 260,000 ドルがウラニウムナイトレートおよびプルトニウムナイトレートにするための費用である。

c. プルトニウムナイトレートをメタルのプルトニウムにする費用

グラム当たり 1 ドル 50 セントだから 200 キロに対しては 300,000 ドルになるが、毎年できるのはその 1/3 で

あるから、毎年 100,000 ドル費用ということになる。

d. ウラニウムナイトレートから  $UF_6$  に変更する費用

ウラニウムナイトレートから  $UF_6$  に変更する費用というのは、再処理の費用の約 50% であって、毎年 130,000 ドルずつ要することになる。

したがってこの a, b, c, d を合計して再処理の費用というのは、毎年 616,000 ドル、20,000 時間に対しては 1,848,000 ドルということになる。

(16) 輸 送

輸送の費用は全重量 665 トンで、19 個の鉛の容器に入れて燃料を輸送するのであるが、海上輸送費はトン当たり 250 ドル、これはアメリカと日本の間を往復する費用であるが、この費用で計算すると海上輸送費は 166,000 ドルになる。

それから陸上輸送費はまだ確定した数字はないが、ton mile 当たり 0.10 ドルで、輸送距離を 1,000 マイルとすると、67,000 ドルとなる。したがって陸上および海上輸送費の合計は 233,000 ドルということになる。なお保険料は輸送費に対して 1.3% と考えられている。

(17) 新しいコア

新しいコアは、

ウラニウム 7,140,000 ドル

加 工 費 4,500,000 ドル

$UF_6$  から  $UO_2$  にする費用 720,000 ドル

損 失 71,400 ドル

$UO_2$  から  $UF_6$  にする費用  $126,000 \times 3 = 378,000$  ドル

したがって新しいコアの値段というものは、12,809,400 ドルとなり、保険料は 1.3% とすると、167,000 ドルになる。

(18) 使用済燃料

ウラニウムは  $24,400 \text{ kg} \times 146 \text{ ドル} = 3,560,000$  ドルになり、プルトニウムは前のとおり 5,000,000 ドルで合計 8,560,000 ドルとなる。

つぎに損失を 1% として 86,000 ドル、ナイトレートにする費用を 260,000 ドル×3 倍で 780,000 ドル、プルトニウムメタルにする費用が 100,000 ドル×3 倍で 300,000 ドル、 $UF_6$  にする値段が 130,000 ドル×3 倍で 390,000 ドル、合計、1,556,000 ドルになる。これを前の 8,560,000 ドルから引くと 7,004,000 ドルになる。保険を 1.3% とすると 91,000 ドルになり、全体の保険料は 240,000 ドルである。

(19) 燃料の費用

いままでいろいろ論ぜられた燃料の費用を集計すると 3 表のとおりで、この全額は 10,261,300 ドルで、これを 20,000 時間の燃料で割ると kW/hr 当たり 3.85 ミルとなる。

(20) 重油の過熱器

この場合の見積りも大体与えられているが、これは重油燃焼のために能率がよくなるので、1 表のように資本

3 表 燃 料 費

初期ウラン燃料	7,140,000	
7,000 時間後ウラン燃料	5,390,000	-
	1,750,000×3	
	=5,240,000	
プルトニウムのクレジット	5,000,000	
	240,000	(-)
損 失	185,300	
核 燃 料 費	425,300	(+ ①)
ウランウムのインベントリ	1,410,000	②
UF <sub>6</sub> から UO <sub>2</sub> へ	720,000	③
炉 心 加 工 費	4,500,000	④
炉 心 資 本 費	1,533,000	⑤
再 処 理	1,848,000	⑥
輸 送	233,000	⑦
保 険	240,000	⑧
	10,261,300 弗	
20,000×134,000 または 2,680×10 <sup>6</sup> kW/hrs.		
燃 料 費……3.85 mills per kW/hr.		

費が 4.9 ミル、建設費が 0.4 ミル、運転保守が 0.9 ミル、原子燃料費が 2.3 ミル、重油の費用が 2.1 ミルで、合計 10.6 ミルとなり、燃料の寿命が 20,000 時間とした場合には、発電原価は 10.6 ミルになる。したがってこれを円に直すと 3 円 31 銭ということになる。

3 表の説明をすると、最初のウラン燃料の費用は 7,140,000 ドル、7,000 時間後には 5,390,000 ドル、これが 3 年分で、その差が 1,750,000 ドル、3 年分で 5,240,000 ドル、これが 20,000 時間後の燃料寿命とした場合には、3 領域燃料取替えをやった場合の燃料費である。プルトニウムのクレジットは前に述べたように 5,000,000 ドルで、その差が 240,000 ドル、損失は 185,300 ドル、したがって燃料代としては 425,300 ドルというものが要である。ウランウムのインベントリは 1,410,000 ドル、それから UF<sub>6</sub> から UO<sub>2</sub> にするのが 720,000 ドル、コアの製造費が 4,500,000 ドル、コアの資本費が 1,533,000 ドル、再処理が 1,848,000 ドル、輸送費が 233,000 ドル、保険料が 240,000 ドル、合計 10,261,300 ドルということになる。

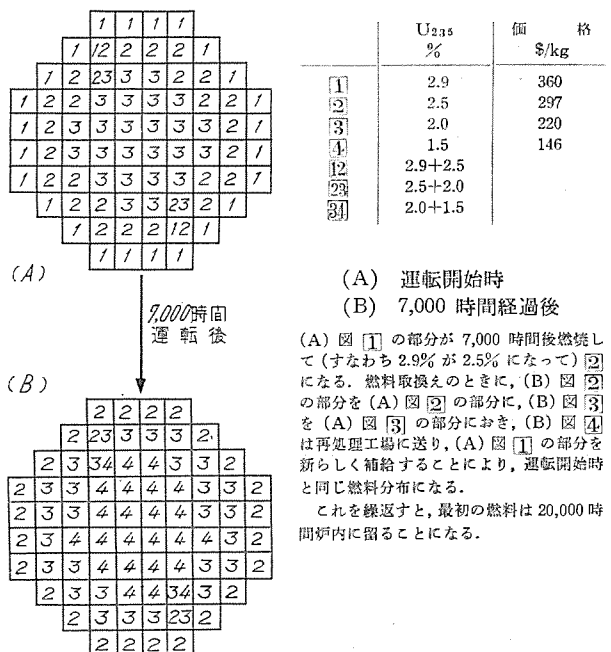
134,000 キロ 20,000 時間運転すると 20,000×134,000 = 2,680×10<sup>6</sup> kW/hr になる。したがって燃料の費用は kW/hr 当り 3.85 ミルということになる。

#### 4. 3 領域燃料取換え方法

前の見積計算において採用した 3 領域燃料取換え方法というもののについて若干説明したいと思う。これは 3 図のように、燃料というものは分布されているが、3 図の (A) を見ると 4 角な燃料棒をグループとして挿入するものであるが、1 番というところに濃縮率 2.9% のものを入れ、2 番というところに 2.5% のものを入れ、3 番と書いたところに 2.0% に濃縮されたものをまず入れる。これで運転を開始し、7,000 時間経つと、ちょうどこれが 3 図の (B) のようになる。すなわち (A) 図の 1 と書

いてあるところに 2.9% に濃縮したウランウムは 7,000 時間燃焼して大体 2.5% になる。それが (B) 図の 2 と書いたところとちょうど同じ % になっている。7,000 時間後には、したがって 2 と書いたところが 2.5% の濃縮、3 と書いたところが 2.0%、4 と書いたところが 1.5% の濃縮率のものに変わったわけである。したがってこれを 7,000 時間後に一応燃料の取換えをやるわけであるが、この場合 3 図 (B) の 4 と書いたところは 1.5% の濃縮率に燃えきってしまったので、これは再処理工場に送ることにする。

それで 3 図 (A) の 3 と書いたところ、つまり真中の位置に 3 と書いたところを送り込み、そのつぎに 2 と書いたところもまた 3 図 (A) の 2 と書いたところに送り込む。1 と書いたところに新しい燃料 2.9% の濃縮率を持ったものを入れる。これがちょうど 1/3 はいるわけになるのであるが、そうすると燃料を 2 と 3 と置き換えて 4 を取り出して 1 を補給すると、そういうやり方によりちょうど (A) の状態に戻るわけである。これを繰返すことによって、毎年 1 回の停電で燃料は 1/3 宛補給することになる。毎年 7,000 時間運転ということは大体 80% 負荷率であって、この一番最初に 1 と書いた位置に入れた燃料は 4 になるまで、濃縮率が段々減少して、3 回使われて最後の 4 になった時に取出される。そのときは 20,000 時間後であって、3 年間運転したあとで再処理工場に回わされることになるのである。したがってこの燃料というものは順々に取換えられるものであるが、一番外から順々に中へは行って行く過程において 3 年間使用ができる。つまり、20,000 時間使用のできる燃料ということになるわけである。これが 3 領域燃料取換えにより 20,000 時間の燃料寿命の使用方法である。



3 図 3 分割燃料取換え方法説明図

Fig. 3. Explanatory drawing of divided change of fuel.

これはウエスチングハウスの Mr. Witzke が昭和 32 年の 5 月に来日して、一応口頭で説明していったものであるが、われわれが検討した結果説明のしやすいように書き直したものであって、この考え方を基にして前の見積計算も全部 Mr. Witzke の計算を計算し直したものである。このような 3 領域、あるいは考えようによっては 4 領域、5 領域といろいろな考え方があると思うが、こういう燃料の取換方法というものの研究は、経済問題という点では非常に重要なことであって、この 3 領域にただけでも中性子束分布が一様になり、前の 2.6% で均一にした場合に比べると、中性子束分布はむしろこの 3 領域で濃縮率を換えた方が一様になるわけであって、しかも寿命が等価的に長くなるということで、燃料費は格段の低下を示しているのである。こういう研究は今後原子力発電の原価を減減させる 1 つの大きな要素のようであって、これは最も経済的なものだとすることはまだ発表されたものはない。これは技術的根拠によるものと思われるが、まだ発表されていないためにいろいろな誤解や問題が起っているように感ぜられるのである。この濃縮率の変化をいろいろやりくりするという問題は原子力発電所の運転上もっとも興味のある経済的な問題ではないかと思っている。

## 5. その他の型の原価計算例

以上のほか、現在問題になっている原子力発電の型としてコールドホール改良型の原子力発電所の原価の計算結果が発表されており、GE の系統である BWR の原価計算も発表されているから、これらについて簡単に

4 表 コールドホール改良型原子力発電所発電原価比較表 (APT-G 委資料 #98 32-9 月)

項 目			公益事業局案	原子力局案	電発案	九電力案
負荷率 年間発電量 kWh 年間燃料取替量 T			70% 921×10 51.3	80% 980 50	60% 788.4 44	80% 1,050 58.7
	資本費	利却稅料	2.83 1.08 1.32 0.14 0.29	2.05	5.08 2.88 1.99 0.21 —	3.12
直接費 修繕維持費 人件費			0.81 0.71 0.10	0.26 0.07 0.19	1.33 0.89 0.44	0.44
	燃料費		1.27 0.35 0.92	1.30 0.28 1.02	1.15 — 1.15	1.24 0.35 0.89
	間接費 本社費 事業稅		0.24 0.16 0.08	0.11 0.05 0.06	— — —	0.11
總 計			5.15	3.72	7.56	4.91

まったく独立に行われた場合は上記のようにその差が大きいようであるが、2 図の考え方を導入すればきわめて自然の成り行きであることがわかる。

$$\begin{aligned} \text{(電発案)} &= 7.56 \\ \text{(原子力局案)} &= 3.72 \end{aligned}$$

$$2 \text{ 図 } \frac{a'}{b'} = \frac{3.75}{1.75} = 2.15$$

大体等しい数字である。このことは悲観的と楽観的との見方の差とその幅を示したもので、わが国の各方面の考え方の広がりやを示すものとして興味深いものである。

参考のための比較をしてみたいと思う。

4 表はコールドホール改良型原子力発電所の発電原価比較表であるが、これは関西電力の原子力発電研究会 APT-G 委員会の資料 #98 として 32 年 9 月に入手したものであるが、それぞれの数字はもっと前に発表されたものと思われるが、一応資料の拠りどころを付け加えておくことにする。これは公益事業局案と原子力局案、電発案、九電力案との 4 つの案が掲げられており、原価総計が 5 円 15 銭、3 円 72 銭、7 円 56 銭、4 円 91 銭となっている。詳しいことは 4 表を参照していただきたい。こういうように発電原価の違うということが多少新聞だねとして問題とされたのであるが、これもある意味においては合理的な結果が出たのではないかと私は思っている。まったく独立に計算が行われた場合には以上の結果のようにその差が大きく出るようであるが、前に述べた 2 図の考え方を導入すると、きわめて自然の成り行きではないかと考えられるのである。4 表の中で一番高い電発案と一番安い原子力局案の比を取ってみると、 $7.56 \div 3.72 = 2.01$  になるし、2 図  $a'$  点と  $b'$  点の点は 3.75 と 1.75 であるから、その比は 2.15 になり、ほとんど一致しているといえるぐらい等しい値になるのである。これは悲観的な見方と楽観的な見方との幅を示したもので、わが国の各方面の考え方の広がりというものを示し、興味深い生きたデータだと私は思っているが、卒直に発表されたこれらの 4 方面の原価計算表に対して敬

5 表 コールドホール改良型原子力発電所発電原価 (32.10.5 原子力局査定)

年度	昭和 37 年度	
項目	千円/kW	千円/kWh
資本額	20.60 18.18	2.95 2.60
建設費	170 千円/kW	
資本費率	12.12%	
金利	6.5%	
償却率	4.65% (寿命 20 年, 残存 7%)	
固定資産税	0.47%	
保険料	0.5%	
燃料費	9.97	1.42
初期装荷費	2.77 千円/kW	
金利	6.5%	
天然ウラン価格	2 千万円/トン	
初期装荷量	250 トン/150 MW	
炉外手持量	約 50 の金利をみる	
初期装荷量の 10% を 20 年間で償却		
取替燃料費	7.2 千円/kW	
年間取替量	54 トン/150 MW	
天然ウラン価格	2,000 万円/トン	
直接費	1.82	0.26
人件費	0.5 千円/kW	
	500 千円×1 人/MW	
間接費	0.86 0.82	0.12 0.12
本社費	0.36 千円/kW	
直接費の 20%		
事業税	0.50 千円/kW	
	0.46 千円/kW	
以上経費の 1.52%		
合計	32.25 30.79	4.75 4.40

注 1. 年間利用率は 80% とする。

2. 上段数値は建設単価の上限、下段数値は下限に対応する。

3. 取替燃料の天然ウラン価格は照射済燃料の買取価格を考えたものである。

4. 送電端で示す。

6 表 Dual サイクル沸騰水型発電原価 (32 年 6 月動力炉部会吉田氏資料)

項 目	年間経費(百万円)	発電原価 (円/kWh)	備 考
資本費	3,370	2.76	12.12%
金 利			6.5%
固定資産税	3,370	2.76	4.65% 20 年残存 7%
保 険 料			0.47% 14% 1/3
			0.5%
燃料費	2,406	1.97	
インベントリ	409	0.33	
U		0.15	購入 (利率 6.5%)
炉心製作費	187	0.18	U (1.3%) 117 \$/kg
取 替	40,733 1,997	1.64	
U <sub>235</sub> 消耗費	1,440 607	0.50	U (0.7%) 40 \$/kg
Pu クレジット	-880 -371	-0.31	Pu 12 \$/g
コアー製作費	3,420 1,441	1.19	Pu Nitrate Pu Metal 1.5 \$/g
再 処 理 費	460 194	0.16	処理日数 52.2+8=51 日
			処理経費 15,300 \$/日
ロ ス	40 17	0.01	U(1.3%), U(0.7%), Puそれぞれ1%
輸 送 費	170 72	0.06	往復 陸 100 \$/t 重量は正味
保 険 費	83 37	0.03	13 海 250 \$/t の 25 倍
直接費	313	0.26	
人 件 費	87	0.07	500 千円/年×174 人
修繕費、諸費	226	0.19	(1,000+300)円/kW
間接費	156	0.13	
本 社 費	63	0.05	直接費の 20%
事 業 税	93	0.08	以上経費の 1,523%
総 計	6,245	5.13	

意を表する次第である。

つぎに 5 表は 32 年 10 月 5 日に原子力局が発表したコールドホール改良型原子力発電所の発電原価であって、これは前の原子力局の 3 円 72 銭に対して、今度は 4 円 40 銭および 4 円 75 銭という数字を出している。これも一応最近権威あるところから発表された資料として参考にされたいと思う。

6 表は 32 年 6 月に原子力委員会動力炉部会で東京電力の吉田委員から発表された Dual サイクルの沸騰水型発電原価の表であるが、これで見ると一応 5 円 13 銭ということになっている。この表も非常に興味ある原価見積計算表ではないかと思っている。

## 6. む す び

原子力発電所はすでに述べたように非常に未知な資料を含んだ未経験な工事であって、それに対する見積りはきわめて困難で、不正確であるということはやむを得ないのであるが、与えられた外国の情報を信用して、一応今までに得られた発電原価を比較してみると

PWR 4.20 円/kWh

Calder Hall 4.40 "

BWR 5.13 "

となり、PWR が最も低い値を示している。しかしこれも

先程の 2 図の概念を入れると、無論この中にはこの 3 つ共はいるわけである。したがって 2 図の概念からいけば、かかる数字が出た場合には全く値が一致したと見るべきものかも知れないが、しかし一応機械的に算出した数字では PWR が最も安いということに、私の場合はなったわけである。これは現在直ちに製作に取り掛り 3~4 年後に発電を開始するものとしての発電原価であるが、将来の原料工作の値下りを見込めばこれらの型はキロワットアワー当り 3 円前後の数字が予想されるのである。したがって原子力発電の将来というものは非常に見込みがあるものであって、今からできるだけ勉強して国産化の % を殖やすようにしなければならないということはいうまでもないことである。また原価を下げるためには、外国の力を待たずに、われわれも原価

逡減のために一臂の力を貸すためには、まずそれらの原子力発電所が、わが国で或る程度できるという状態に達することが第一条件であって、そのためには試験的なりあるいは実験的な輸入が希望されているわけである。それからそれに伴って技術の導入ということがその点からも大きく要請されることであって、原価を正確に算出する目的と同時に、その発電原価をわれわれの手によって逡減させるためには、どうしてもまず技術導入をやって、われわれがそれを消化した上で、それをさらに原価逡減に努力する足掛りにするというのが、現在原子力発電所として一番大きな問題ではないかと思う。発電原価というものの重要性和同時に困難性、しかも現状においてはそれが非常に広い大きな誤差を持っているとかいうようなことについて説明を試みたつもりであるが、それと同時に燃料の費用というものが発電原価に非常に大きな影響を与えるものであるという点から、いま初めて説明した 3 領域燃料取換えなどという方法が、これはその一例ではあるが、これ以外にもっとよい方法を考えるということが、発電原価を非常に下げる要素らしいのであるが、こういう点においても、今後の研究と経験とが一番大きく役立つものではないかと考えている。原子力発電原価というものについて、今までに得られた資料を基にして、私の個人的な考え方を述べてご参考に供したいと思う次第である。

# 無 接 点 継 電 方 式

研 究 所 横 須 賀 正 寿\*・浜 岡 文 夫\*\*・大 野 栄 一\*\*

## Static Switching System

Engineering Laboratory

Masatoshi YOKOSUKA

Fumio HAMAOKA・Eiichi ÔNO

In the automatic control of power systems, the most indispensable is the relay. But as the system enlarges and becomes complicated, the number of relays increases and chances of faults increase together. The defects of the relay are mostly due to troubles with its contacts. Therefore, to obviate the possible faults none is so effective as to eliminate the contacts. The static switching system is a system to make logical computation in response to relay sequence by means of control elements having no moving contacts. It employs electron tubes, semi-conductors or magnetic materials and avoids unnecessary power consumption by lowering a power level of handling.

### 1. ま え が き

一般に自動制御系の要素はその役割によって、外部状態をその系にとって有効な信号に変換する入力要素、入力要素からの信号に基づいて制御系の動作を決定する計算要素、および計算要素からの出力を実際に必要なエネルギーに変換する出力要素とに分類される。また動作方式から制御系を分類すると、アナログ型とスイッチング型\*とに分けられる。アナログ型では入力量および出力量は連続的に変化するが、スイッチング系では入力および出力はいずれも不連続な量となる。スイッチング系ではただ2つの状態のみが許される2値系(Binary system)を用いているものがほとんどであり、このような2値系に対してはただ2つの安定な状態を持つ要素を使用する。すなわち工業一般に広く用いられているリレー制御系がこの種の制御系の代表的なものである。

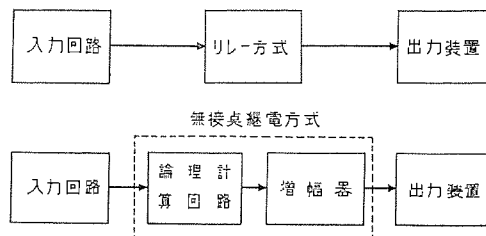
しかし、リレー制御系では系が大きくなるにつれて複雑化し、多数のリレーを使用しなければならないために制御系の故障率が増大してくる。このため制御技術が発達して系自体が高級複雑化するにつれ高い信頼度をもつ制御要素が必要とされるようになった。リレーの最大の欠点は可動接点を持っていることであり、事故の大半は接点の磨耗、腐食あるいは異物の介在などによる電気的接触の不良および可動部の機械的損傷によるものである。したがって信頼度向上のためにはこの接点および可動部をもたないことが第一である。この要求を満足させたリレー系に代るべき方式が無接点継電方式である。

無接点継電方式は可動接点をもたない制御要素によって、リレーシーケンスに対応した論理計算を行う方式で、やはりスイッチング型の制御系に属する。これらのもの

には電子管、半導体または磁気材料などを用いたものがあり、取り扱う電力レベルを低くして不必要な電力消費を避けている。このため出力増幅器を必要とするものが多い。これらの関係を示すと1図のようになる。

### 2. 論理函数と論理要素<sup>(9)(14)(15)</sup>

リレーも無接点継電方式の制御要素も共に2値系のスイッチング動作を行う点では同じであるが、実際の回路構成はかなり異なったものになる。それはリレー方式はコイルと接点の組み合わせで動作するのに対して、無接点継電方式では入力と出力が一定の論理函数(logic function)によって示される関係を満足するような論理要素(logic element)で構成されるからである。2値スイッチング系はブール代数によってその動作を記述することができ、リレーや無接点継電方式における制御要素の動作はブール代数の基本論理函数であるAND, ORおよびNOTによって表現される。AND函数は1個以上の入力の論理積を出力とするような関係である。すなわち2値系の2つの状態をon(1)およびoff(0)で表わすと、すべての入力がonになった時のみ出力がonになるのがANDである。ORは1個以上の入力の論理和を出力とするような函数関係であり、いずれか1個の入力がonになれば出力はonとなる。NOTにおいては入力と出



1 図 リレー方式と無接点継電方式の対比

Fig. 1. Comparison between relay system and static switching system.

\* デジタル型(digital type)であるが、いわゆる数値計算機(digital computer)の意味でのデジタルとは多少趣きを異にするのでとくにスイッチング型(Switching type)と称した。

力は共軌関係になっている。すなわち入力 on のとき出力は off, 入力 off のとき出力は on となる。

実際のシーケンス制御を行うにはこのほかに記憶要素としての FLIP FLOP (FF) および時間遅れ要素としての TIME DELAY (TD) が必要である。

FF はその出力を on にする入力および off にする入力の2つの入力をもち、そのうちもっとも新しく到来したいずれかの入力によって規定される出力の状態を保持する。TD は入力が on になってから一定時間経過後に出力が on になるものである。

これらの函数関係を表示するには論理数学の手法を用いることができる。いま  $y, x_1, x_2, \dots, x_n$  はいずれも 0 または 1 のどちらかの値をとる変数とすると、著者によって種々の記号が用いられているが、普通各函数はつぎのような形で表わされる。すなわち、

(1) OR

$$y=f(x_i, x_j)=\max(x_i, x_j) \\ =x_i \parallel x_j = x_i \vee x_j = x_i + x_j \dots\dots\dots (1)$$

(2) AND

$$y=f(x_i, x_j)=\min(x_i, x_j) \\ =x_i \cdot x_j = x_i \wedge x_j \dots\dots\dots (2)$$

(3) NOT

$$y=f(x_i)=1-x_i \\ =\bar{x}_i = \sim x_i = x_i' \dots\dots\dots (3)$$

(4) FF

$$y=f(x_1, x_2)=(x_1 \parallel y) \cdot \bar{x}_2 \\ =FF(x_1, x_2) \dots\dots\dots (4)$$

(5) TD

$$y=f(x) \\ =D^n \cdot x \dots\dots\dots (5)$$

(ただし  $D$  は単位遅れを表わす演算子である。)

(1)~(3)の函数関係についてはブール代数によって各種の関係式が導かれるが、詳しいことは他書<sup>(9)</sup>にゆづって、スイッチング系でもっとも利用価値の高い De Morgan の定理をあげるにとどめる。この定理によれば、

$$y=x_1 \parallel x_2 \parallel \dots \parallel x_n \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{ならば } \bar{y}=\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 \cdot \dots \cdot \bar{x}_n \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{また } y=x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{ならば } \bar{y}=\bar{x}_1 \parallel \bar{x}_2 \parallel \dots \parallel \bar{x}_n \dots\dots\dots (9)$$

となる。この関係をさらに一般化すれば、

$$y=f(x_1, x_2, \dots, x_n, \parallel, \cdot) \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{ならば } \bar{y}=f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n, \cdot, \parallel) \dots\dots\dots (11)$$

となる。この関係を使えば論理回路は AND と NOT のみでも、あるいは OR と NOT のみでも構成できるといふ興味ある結果が導かれる。後述するトランジスタ NOR 回路はこの原理に基づいている。

### 3. 無接点継電方式の種類

「まえがき」で触れたように無接点論理要素として各種のものが考えられるが、つぎにそれらのうちで代表的

無接点継電方式・横須賀・浜岡・大野

なものについて簡単に述べる。

(1) 電子管

電子管およびゲルマニウムダイオードなどを用いて論理回路を構成すると動作速度はきわめて速いが、特別の電源を要し、電源投入後瞬時起動ができず、またヒータのような消耗部をもつため寿命および信頼度に問題がある。

(2) 放電管<sup>(17)</sup>

最近とくにリレーに代って使用する目的でリレー放電管が現われている。これは冷陰極放電管であるが、直流電源を要しまた比較的長い制御回復時間を要する欠点がある。

(3) トランジスタ

電子管および放電管に対抗して、小形堅牢で消費電力の少ない特長をもっているが、まだ使用実績が不足である。しかし論理要素として将来性の多いものであろう。

(4) 磁気増幅器

矩形ヒステレシス特性の磁気鉄心を用いた磁気増幅器が現在もっともこの種の応用に適しているようである。磁気増幅器は完全な静止器で、すでに一般制御用増幅器としてすぐれた実績をもっている。

(5) その他

鉄共振による2安定性回路、フェライトコアを用いた回路などがあげられるが、まだ一般工業制御用としての実用性には欠けるようである。

一般に無接点論理要素が具備していなければならない必要な特性としてつぎのようなものがあげられる。

(1) 信頼度と寿命

高度の信頼度と長寿命が何よりも第一に必要な条件である。

(2) 両立性

論理要素のあるものは論理関係以外の電気回路からの制約によって任意の数の任意の種類の論理要素と結合することができない。理想的にはこのような制約が全然ないことが望まれる。

(3) 電力消費

論理回路では実際の仕事をするのではなく、与えられた論理関係に従った計算を行うだけであるから電力レベルはできるだけ低いことが望ましい。このため入力および出力回路との間に減衰器や増幅器が必要となる。

(4) 回路構成

簡単な論理回路で、できるだけ少ない種類の要素を用いることが望ましい。またそれらを組み合わせてどのような問題をも解決できる論理関係をもった要素が最低限必要である。

(5) 応答速度

制御回路が複雑になれば次第に応答速度の速いものが望まれる。

(6) 外圍の影響

気温および湿度の変化に影響されず、また振動、衝撃

1 表 各種スイッチング系の比較

種 類	信頼度と寿命	両 立 性	電力需要	回路の複雑さ	外 気 の 影 響	外形の大きさ・重量	応答速度	保 守	入力装置	出力増幅器	価格および実用性
リレー	厳しい機械的並びに外気条件では信頼度低く、寿命は動作回数で制限される。	接点数以内では任意に相互結合できる。	かなり大(主として直 流)	普 通	腐食外気中では使用できない。	中 程 度	比較的遅い	高度の保守が必要。	各種入力装置に直接結合できる。	大部分のものは直接駆動できるので不要。	多種のものが実用化され価格も適当。
真 空 管	厳しい機械的条件では信頼度低く、寿命はフィラメントの焼損に制約される。	電位、極性により直結は困難。	中(フィラメントおよび直 流電源必要)	同 上		やや小形化	速 い	同 上	一部整合用装置必要。	必 要	同 上
放 電 管	真空管と同じ。(冷陰極ではフィラメントなし。)	同 上	同 上	同 上		同 上	電子管より遅い(制御回復時間数 ms)	同 上	同 上	同 上	電子管よりは実用性低い。
速 応 性 磁気増幅器	信頼度高く、寿命は動作回数と無関係。	位相関係の制約あり、負荷数に制限。	小(交流電源のみ)	回路表示はより簡単になる。	広汎な変化にも影響小。	同 上	電源の $\frac{1}{2}$ c/s	最小限の保守でよい。	大部分整合用要素必要。	同 上	回路の複雑さと出力増幅器数に左右される。しかし保守や事故のない点で十分補償される。
自己飽和型磁気増幅器	同 上	負荷数に制限。	小(交流電源のみ)	最良状態にすれば簡単化。	同 上	同 上	電源の数 c/s	同 上	同 上	同 上	同 上
パルス型磁気増幅器	同 上	同 上	小(パルス電源必要)	速応性と同程度。	同 上	同 上	電源の $\frac{1}{2}$ c/s	同 上	同 上	同 上	同 上
ト ラ ン ジ ス ト	同上。但し実績は磁気増幅器より少い。	同 上	極 小	同 上	温度変化に限界あり。	小 形 軽 量	かなり速い	同 上	同 上	同 上	高価で実用性低い。

および外気中のガスや塵埃にわずらわされないことが必要である。

#### (7) 外 形

もちろん小形化が望まれるが、同時に組立が容易なこと。

#### (8) 保守および価格

保守点検を要しないことが望ましい。とくに複雑な回路においてはなおさらである。また多数の要素を必要とするから価格が実用性を満足するものであること。

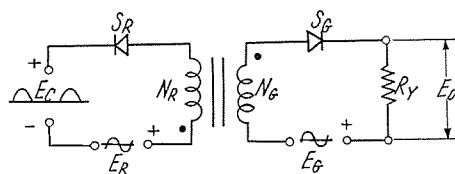
以上のような点から現在使用されているおもなスイッチング制御系の比較を1表に示す。

### 4. 磁気論理回路

現在工業一般制御の無接点継電化に対してもっとも有望として注目されているのは磁気増幅器を応用した磁気論理回路である。中でも従来の磁気増幅器の欠点であった時間遅れを短縮した Ramey の速応性磁気増幅器<sup>(10)</sup><sup>(11)</sup><sup>(12)</sup>がこの目的にきわめてよく適合している。その外、自己飽和型やパルス型磁気増幅器も同様に用いられるが、以下この3種の磁気論理回路について簡単に説明する。

#### A. 速応性磁気増幅器を用いた論理回路<sup>(3)</sup><sup>(4)</sup><sup>(13)</sup>

これは  $1/2$  サイクル応答の Ramey 回路を応用したものでゲート巻線およびリセット巻線の2つの巻線により



2 図 速応性磁気増幅器回路

Fig. 2. Fast response magnetic amplifier circuit.

各種の論理計算をなし、また特別な電源を必要としない。W 社の Cypak System はこれを応用したものである。

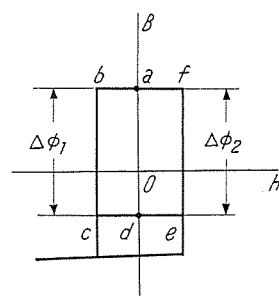
#### (1) 基本回路

2 図は Ramey の速応性回路で図において  $E_g$  および  $E_r$  はそれぞれ出力電圧およびリセット電圧を、また  $E_o$  は入力電圧を示す。  $N_g$  および  $N_r$  はゲートおよびリセット巻線数、また  $S_g$  および  $S_r$  は整流器である。正弦波電圧  $E_g$  および  $E_r$  の極性が図に示すようなときはゲート巻線に電圧はかからないが、リセット回路では  $S_r$  が導通し  $(E_r - E_o)$  の大きさの電圧が  $N_r$  によって鉄心に加えられ鉄心の磁束を飽和から引き下げる。この際の磁束変化量を  $\Delta\phi_1$  とすれば、これはリセット・サイクル中の電圧積分値で示され、励磁電流を無視すれば、

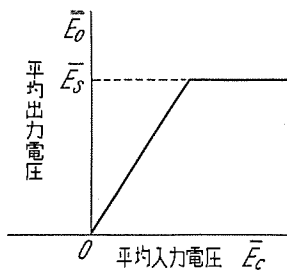
$$\Delta\phi_1 = -10^8 / N_r \cdot \int_0^{\pi/\omega} (E_r - E_o) dt \dots\dots (12)$$

となる。

この磁束によって最初3図のa点にあった磁束はb点を通りc点まで下げられる。リセット・サイクルが終ると直ちにゲート・サイクルが始まる。この期間中は逆に

3 図 磁気鉄心の B-H 特性  
Fig. 3. B-H characteristic of magnetic core.

ゲート回路の  $S_g$  が導通し磁束増加方向に電圧が加えられる。すなわち3図でゲート・サイクルが始まると動作点はすぐe点に移るが、ここでの鉄心のインダクタンスは非常に大きいので、ゲート電圧はほとんど鉄心だけに印加されて磁束を上昇させる。このときの磁束変化量  $\Delta\phi_2$  は



4 図 速応性回路の出力特性  
Fig. 4. Output characteristic of fast response circuit.

$$\Delta\phi_2 = 10^8 / N_G \cdot \int_{\pi/\omega}^t E_G \cdot dt \quad \dots\dots\dots (13)$$

ただし、 $\pi/\omega \leq t \leq 2\pi/\omega$

と表わされる。 $\Delta\phi_2 = -\Delta\phi_1$  になったとき、鉄心の磁束は  $f$  点に達し鉄心は飽和してそのインダクタンスは 0 となるから残りのゲート電圧は負荷抵抗  $R_Y$  に印加される。 $t_f$  で鉄心が飽和に達したとすれば、平均出力電圧  $\bar{E}_0$  は

$$\bar{E}_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{R_Y}{r_Y + R_Y} \cdot \int_{t_f}^{2\pi/\omega} E_G \cdot dt \quad \dots\dots\dots (14)$$

となる。ここで  $r_Y$  はゲート巻線抵抗と整流器正方向抵抗の和である。 $E_G$  および  $E_R$  を正弦波、 $E_C$  を半波整流正弦波として計算すると、

$$\bar{E}_0 = \frac{R_Y}{r_Y + R_Y} \cdot \frac{N_G}{N_R} \cdot \bar{E}_C \quad \dots\dots\dots (15)$$

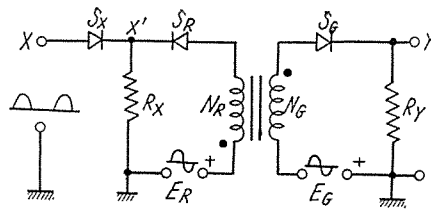
ただし、 $N_G/N_R = E_G/E_R$

となり、出力電圧の平均値は入力電圧の平均値に比例する。この特性を図示すれば 4 図のようになる。

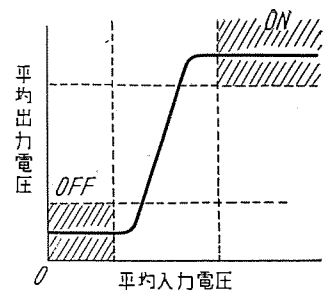
この特性をもったものをそのまま論理要素に使用すると、実際には鉄心の励磁電流のため  $\bar{E}_C = 0$  でも  $\bar{E}_0$  にわずかながら残留電圧があるため、多段接続によってこの残留電圧が次第に増幅され、ついには  $\bar{E}_C = 0$  の場合にも終段の出力は最大となるような不都合を生じる可能性がある。そこで 5 図のように抵抗  $R_X$  でリセット回路を閉じて完全にリセットを行わせ、 $X'$  点に整流器  $S_X$  を通じて入力を加えると共にリセット電流の入力電源への流入を阻止する。この回路で  $R_X$  と  $E_R$  を適当に選べば 6 図のような特性が得られる。すなわち入力の小さい範囲では入力が増加しても出力は一定であるが、ある点から出力が増加し飽和値に達する。したがって残留電圧が増幅されるようなことは生じない。他の方法は 7 図のように負荷抵抗に並列に整流器  $S_B$  を接続し、この整流器を通じてわずかに直流バイアスをかけると出力特性は 8 図のように  $E_C = 0$  のときの出力をわずかに負にすることができるから多段接続における残留電圧による不都合は生じない。したがって 6 図および 8 図で斜線を入れたように on および off の範囲を決めれば 5 図および 7 図の回路は磁気論理要素として使用でき、その出力  $Y$  と入力  $X$  は、

$$Y = D \cdot X \quad \dots\dots\dots (16)$$

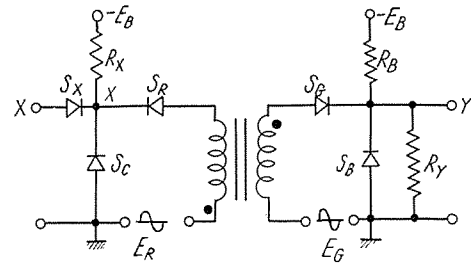
で表わされる。ここで  $D$  は 1/2 サイクルの時間遅れを表わす。この基本回路から以下に述べる各論理要素を得る



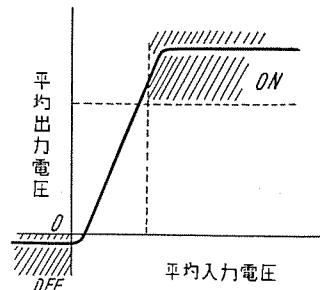
5 図 速応性磁気増幅器による基本回路 A  
Fig. 5. Fundamental circuit A through fast response magnetic circuit.



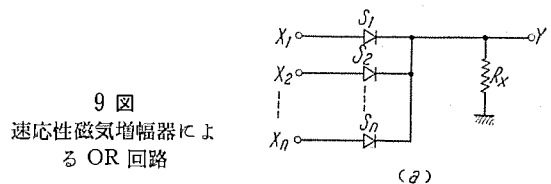
6 図 基本回路 A の出力特性  
Fig. 6. Output characteristic of fundamental circuit A.



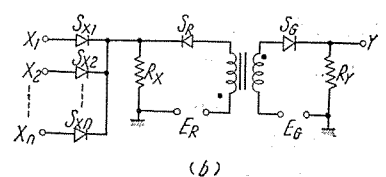
7 図 速応性磁気増幅器による基本回路 B  
Fig. 7. Fundamental circuit B through fast response magnetic circuit.



8 図  
基本回路 B の出力特性  
Fig. 8.  
Output characteristic of fundamental circuit B.



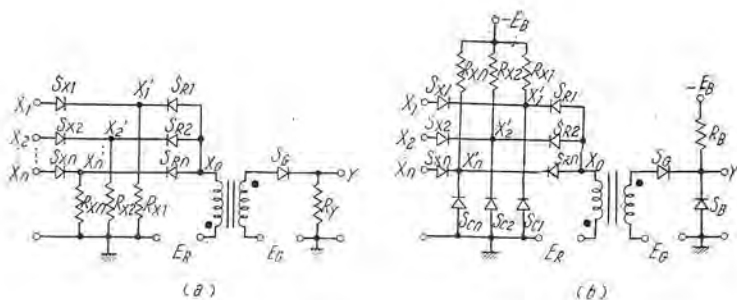
9 図  
速応性磁気増幅器による OR 回路  
Fig. 9.  
OR circuit through fast magnetic amplifier.



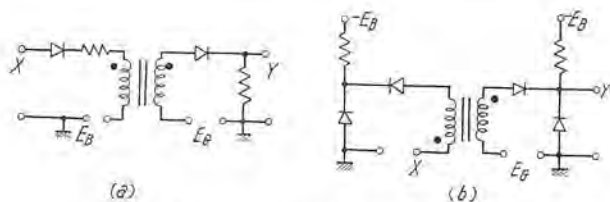
ことができる。また基本回路自体も 1 個の入力をもった AND 回路であり、位相反転要素としても使用される。これは基本回路の出力が半波整流型であるために相互結合に際して入力出力の位相を合せる必要が生じたときに使われる。

## (2) OR 回路

OR は 9 図 (a) のように抵抗と整流器のみで構成できる。この要素は磁気増幅器を使用しないから時間遅れはなく、入力も交直いずれでもよい。しかし整流器の電圧降下のためにこの回路のみの多段接続には限度がある。



10 図 (a), (b) 速応性磁気増幅器による AND 回路  
Fig. 10. AND circuit through fast response magnetic amplifier.



11 図 (a), (b) 速応性磁気増幅器による NOT 回路  
Fig. 11. NOT circuit through fast response magnetic amplifier.

これをさけるためには9図(b)のように基本回路と組み合せて増幅すればよい。その場合の出力  $Y$  は、

$$Y = D \cdot (X_1 \parallel X_2 \parallel \dots \parallel X_n) \quad (17)$$

となる。

### (3) AND 回路

AND は論理積を行うもので10図(a), (b)にこの回路を示す。この回路の動作は基本回路で述べたと同様で、 $X_i=0$  のときには  $R_{X_i}$  を通るリセット回路が形成されるが、 $X_i=1$  のときには  $X'_i$  点の電位が上り、リセット回路は絶たれる。 $X_1=X_2=\dots=X_n=1$  となり、すべてのリセット回路が絶たれたときのみ出力を生じ  $Y=1$  となる。 $X_0$  点に整流器と抵抗からなる入力回路を接続して行けば多数の入力を持ったAND回路ができる。したがってその出力は、

$$Y = D \cdot (X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_n) \quad (18)$$

で表わされる。

### (4) NOT 回路

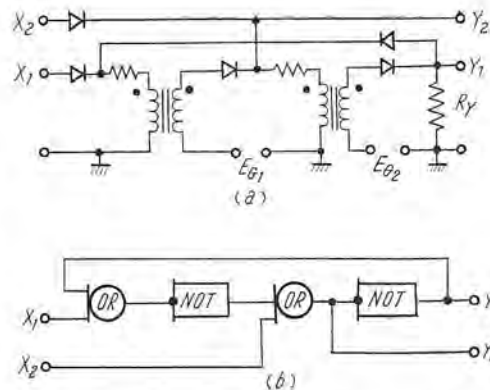
11図(a), (b)に示すようにNOT回路の入力電圧が基本回路のリセット電圧の役をしている。したがって入力電圧のないとき、すなわち  $X=0$  ではリセットが生じないから出力は飽和値にあり  $Y=1$  で、 $X=1$  のときはリセットを行うから  $Y=0$  となる。(a)の回路で  $E_B$  は交流バイアス電圧で  $X=0$  の際の残留電圧による出力低下を打ち消している。この回路も同様1/2サイクル遅れで、

$$Y = D \cdot \bar{X} \quad (19)$$

と表わされる。

### (5) FF 回路

記憶要素としてのFF回路を12図(a)に示す。ここで入力  $X_1$  を印加すれば出力  $Y_1$  は1となり  $Y_2$  は0となる。 $X_1$  を0にしてもこの状態を保つが、つぎに  $X_2$  が



12 図 速応性磁気増幅器による FF 回路  
Fig. 12. FF circuit through fast response magnetic circuit.

印加されると  $Y_1$  は0に  $Y_2$  は1になる。入力  $X_1, X_2$  共に0のときには最後に加えられた  $X_1$  または  $X_2$  の規定する状態を保持している。FFを記号的に書けば12図(b)のように表わされ、したがってその出力は

$$Y_2 = X_2 \parallel D(\bar{X}_1 \parallel \bar{Y}_1) = X_2 \parallel D(\bar{X}_1 \cdot \bar{Y}_1) \quad (20)$$

$$Y_1 = D\{X_2 \parallel D(X_1 \parallel Y_1)\} = D\{X_2 \parallel D(\bar{X}_1 \cdot \bar{Y}_1)\} = D\bar{X}_2 \cdot D^2(X_1 \parallel Y_1) \quad (21)$$

となる。すなわち  $Y_1$  は1/2サイクル前に  $X_2=0$  で、しかも1サイクル前に  $X_1$  または  $Y_1$  が1であったときに1となる。また  $Y_2$  は  $X_2$  が1かまたは1/2サイクル前に  $X_1$  も  $Y_1$  も共に0であったとき1になる。

### (6) TD 回路

TD回路は入力が増えられてから所定の時間が経った後出力を生じるもので、その時間の長短により各種のものが考えられる。

#### a. 1/2サイクルTD回路

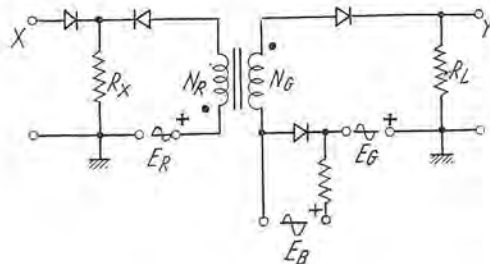
基本回路をそのまま使用すれば1/2サイクル遅れが得られる。したがってこれを  $m$  個従属接続すればその出力は

$$Y = D^m \cdot X \quad (22)$$

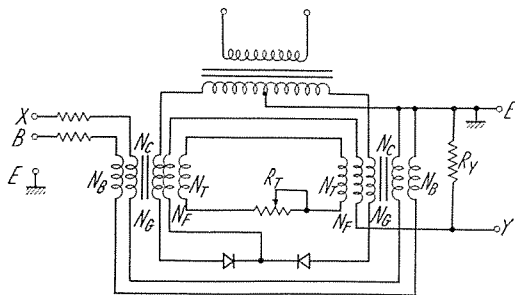
となり、 $m \times 1/2$  サイクルの遅れが得られる。

#### b. 比較的長いTD回路

13図の回路で十数サイクルから数十サイクルまでの遅れ時間が得られる。この場合の遅れ時間も(22)式で



13 図 速応性磁気増幅器による TD 回路  
Fig. 13. TD circuit through fast response magnetic amplifier.



14 図 センタータップ自己飽和型  
磁気増幅器による TD 回路

Fig. 14. TD circuit through center tap self saturation type magnetic amplifier.

表わされ、 $m$  は

$$m = 2 \frac{N_G/N_R}{E_G/E_R} \quad (23)$$

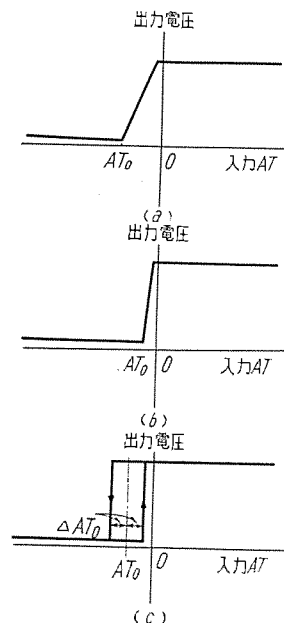
となる。

以上のものよりさらに長い時間遅れを必要とする場合には多数の素子を多段接続しなければならない。このような場合には 14 図のように自己飽和型回路に帰還巻線  $N_F$  および短絡巻線  $N_T$  を設けたものを使用し、短絡抵抗  $R_T$  を変えることによって遅れ時間を数秒から数十秒の間に任意に選ぶことができる。

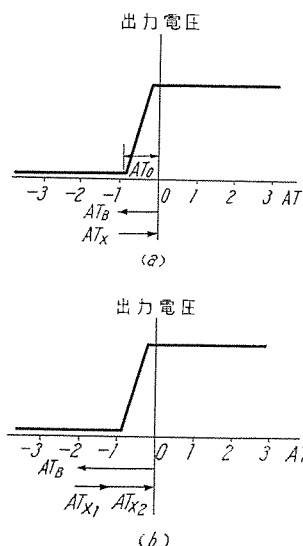
#### 1. 自己飽和型磁気増幅器による論理回路<sup>(8)(10)</sup>

自己飽和型、すなわちセンタータップ、ダブルまたはブリッジ回路などはいずれも磁気論理要素として用いることができる。これらを論理要素として用いる際には普通の増幅器として用いる場合と異なり比例増幅部よりも広い範囲に着目する必要がある。このような見方をすれば、これら自己飽和型磁気増幅器の出力特性は 15 図 (a)

のように最低出力と飽和出力の 2 つの値を取るものと考えられる。また実



15 図 (a), (b), (c)  
自己飽和型磁気増幅器の特性  
の正帰還による変化  
Fig. 15. Changes of char-  
acteristic of self saturation  
type magnetic amplifier due  
to positive feedback.



16 図 (a), (b) 自己飽和型磁気  
増幅器による AND 回路の構成  
Fig. 16. Constitution of AND  
circuit through self saturation  
type magnetic amplifier.

際に比例部分を無くするためには若干量の正帰還をかければよい。この特性が 15 図 (b) であるが、さらに正帰還の量を増すと 15 図 (c) のようにヒステリシス特性と跳躍特性を現わすようになる。これらの基本特性から論理要素を構成するには、すべてアンペーターン (AT) の関係を用いている点で速応性磁気増幅器の場合とはかなり異なっている。

#### (1) AND 回路

入力 1 個の AND 要素 (または入力 1 個の OR 要素) は 16 図 (a) のようにすれば実現できる。すなわち出力を最小にするに必要な  $AT$  を  $AT_0$  とし、バイアス  $AT$  を  $AT_B$  とすれば、

$$|AT_B| \geq |AT_0| \quad (24)$$

となる。 $AT_B$  によって出力を off とし、これに入力  $AT$   $AT_X$  を  $AT_B$  と逆向きに加える。このときも、

$$|AT_X| \geq |AT_B| \quad (25)$$

となるように  $AT_X$  を定める。入力 2 個の場合には、

$$|AT_B| \geq 2|AT_0| \quad (26)$$

$$|AT_B| - |AT_0| > |AT_X| \geq 1/2|AT_B|$$

$$i=1, 2, \dots \quad (27)$$

とすれば 16 図 (b) の場合となり 2 入力 AND 要素となる。一般に  $n$  入力 AND の場合には同様に、

$$|AT_B| \geq n|AT_0| \quad (28)$$

$$\frac{|AT_B| - |AT_0|}{n-1} > |AT_X| \geq \frac{1}{n}|AT_B|$$

$$i=1, 2, \dots, n \quad (29)$$

とすればよい。しかし実際には入力 off のときでも  $AT_X$  は完全に 0 にならない。このときの残留  $AT$  を  $AT_{X_0}$  とすると、(28) 式の代りに、

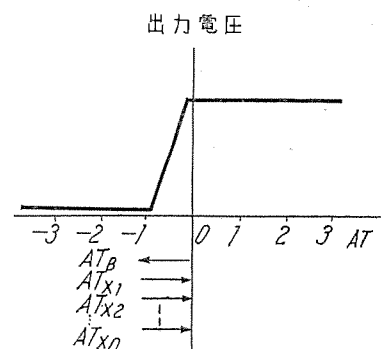
$$|AT_B| \geq n[|AT_0| + |AT_{X_0}|] \quad (30)$$

とする必要がある。

#### (2) OR 回路

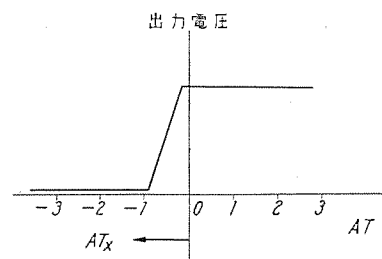
#### 17 図 自己飽和型磁気増幅器による OR 回路の構成

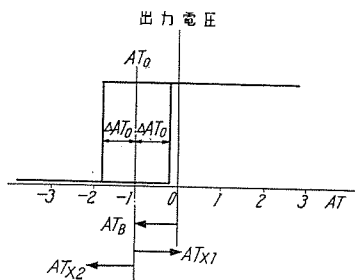
Fig. 17.  
Constitution of OR  
circuit through self  
saturation type  
magnetic amplifier.



#### 18 図 自己飽和型磁気増幅器による NOT 回路の構成

Fig. 18.  
Constitution of NOT  
circuit through self  
saturation type  
magnetic amplifier.





19 図 自己飽和型磁気増幅器による FF 回路の構成  
Fig. 19. Constitution of FF circuit through self saturation type magnetic amplifier.

これは 17 図に示すように、

$$|AT_B| > |AT_0| \quad \dots\dots\dots(31)$$

$$|AT_{x_i}| \geq |AT_B| \quad i=1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots(32)$$

とすれば、いずれか 1 個の  $AT_{x_i}$  によって  $AT_B$  が打ち消され出力を生じ、OR 要素となる。

#### (3) NOT 回路

NOT では AND, OR と異なり 18 図のように入力  $AT$  を負の方向に加えるだけでよい。このとき入力  $AT_x$  は、

$$|AT_x| \geq |AT_0| \quad \dots\dots\dots(33)$$

を満足する大きさにする必要がある。

#### (4) FF 回路

FF には 15 図 (c) に示したヒステリシス特性を利用する。すなわちヒステリシス特性の中央の  $AT_0$  に相当するまで  $AT_B$  を与えておき、これを中心に正および負の入力  $AT_{x_1}$  および  $AT_{x_2}$  を加える。すなわち 19 図のように、

$$|AT_B| = |AT_0| \quad \dots\dots\dots(34)$$

$$|AT_{x_1}| = |AT_{x_2}| \geq |\Delta AT_0| \quad \dots\dots\dots(35)$$

とする。これにより  $AT_{x_1}$  が on 入力、 $AT_{x_2}$  が off 入力である FF の動作を行う。速応性回路の場合と異なって、 $AT_{x_1}$  と  $AT_{x_2}$  が同時に加えられると  $AT_x$  は 0 となり出力の変化を生じない。

#### (5) 複合論理回路

自己飽和型回路ではバイアスおよび入力  $AT$  の大きさと極性を適当に選定することによって、1 個の論理要素で基本論理要素数個分の論理機能を果たすることができる。たとえば 16 図 (b) で -3 単位の  $AT_B$  をバイアスに与え、 $X_1, X_2$  および  $X_3$  の 3 つの入力でそれぞれ +1 単位ずつの  $AT_x$  を加えると、3 入力の AND 回路になる。もし同じ構成で 20 図 (a) のように  $AT_B$  だけを -2 単位にすればこの要素は任意の 2 つの入力が on になったとき出力を生じるから、

$$X_1 \cdot X_2 \parallel X_2 \cdot X_3 \parallel X_3 \cdot X_1 \quad \dots\dots\dots(36)$$

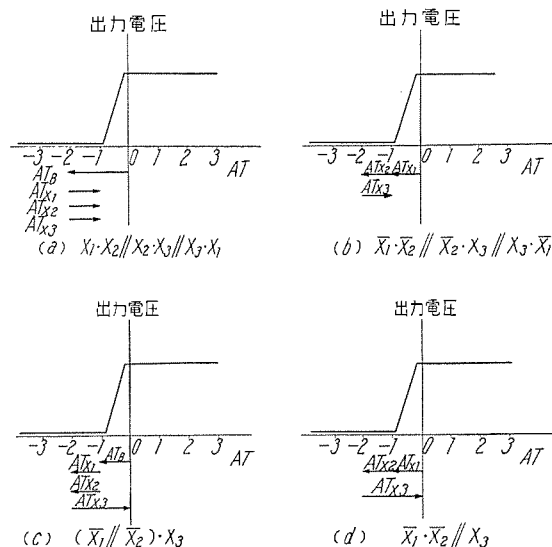
なる論理関数関係を満足することがわかる。またここで入力  $AT_x$  はすべて正である必要はなく、 $X_1$  および  $X_2$  の代りに  $\bar{X}_1$  および  $\bar{X}_2$  を使った、

$$\bar{X}_1 \cdot \bar{X}_2 \parallel \bar{X}_2 \cdot X_3 \parallel X_3 \cdot \bar{X}_1 \quad \dots\dots\dots(37)$$

の動作回路を 20 図 (b) に示す。論理記号の否定部は要素への負の入力となる。以上の例では、入力  $AT_x$  の大きさはすべて同じで対等であった。ところがたとえば、

$$(\bar{X}_1 \parallel \bar{X}_2) \cdot X_3 \quad \dots\dots\dots(38)$$

のような場合には  $X_1$  と  $X_2$  は対等であるが  $X_3$  はこれら



20 図 (a), (b), (c), (d) 自己飽和型磁気増幅器による複合論理要素の構成  
Fig. 20. Constitution of complex logic element through self saturation type magnetic amplifier.

に対して優位に立つことが想像される。実際に、この関係を満足する回路は 20 図 (c) に示すように、バイアスと  $X_1$  および  $X_2$  はそれぞれ -1 単位であり、 $X_3$  は +2 単位である。またここでバイアスを 0 にすると論理関係は (38) 式の AND と OR を逆にしたものとなり、20 図 (d) のように、

$$\bar{X}_1 \cdot \bar{X}_2 \parallel X_3 \quad \dots\dots\dots(39)$$

となる。このようにバイアスを変えただけで、異なった論理関係になることは注意を要する。

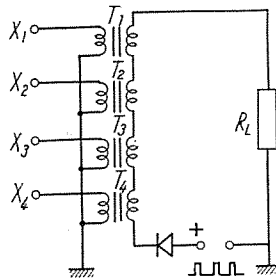
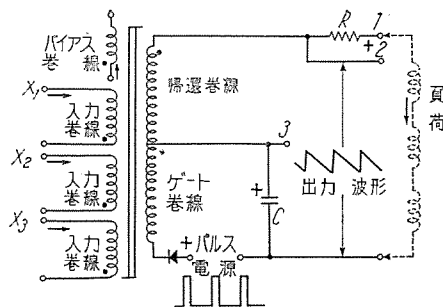
以上のような原理を十分活用すれば少数の要素で複雑な論理関数を解くことができる。

#### ウ. パルス型磁気増幅器による論理回路<sup>(8)(18)(19)</sup>

パルス型論理要素は GE 社においてとくに論理装置用として開発されたもので、ゲート巻線は 60 サイクルまたは 120 サイクルの繰り返しパルスで励磁される。パルス駆動を用いた場合の利点は小さな電圧・時間積分値で動作させることができるから小形鉄心で巻数の比較的少ないものを使用できることである。またパルス波高値が高くなるので、整流器の特性の良好な部分を使用できる利点もある。21 図はその基本回路で、電源から供給されるパルスは整流器およびゲート巻線を通してコンデンサ C を充電し、パルス休止期間に C より帰還巻線および出力抵抗を経て放電する。バイアスおよび制御巻線の動作は前項の自己飽和型磁気増幅器の場合と大体同様である。

AND 回路として磁束加算を用いたものを示すと 22 図のようになる。この回路では直列につながれた  $T_1, T_2, T_3$  および  $T_4$  の全部の鉄心が飽和した時のみ出力を生じる。したがって 4 つの入力でそれぞれの鉄心を制御すれば 4 入力 AND が得られる。この回路では入力 on のときに  $AT_{x_i}$  が規定値より増加しても出力に影響を生じない利点がある。

21 図 パルス型  
磁気増幅器によ  
る基本回路  
Fig. 21.  
Fundamental  
circuit through  
pulse type  
magnetic  
amplifier.

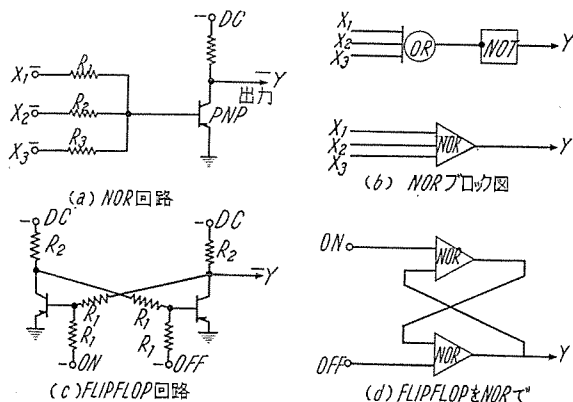


22 図 パルス型磁気増幅器  
による磁束加算型 AND 回路  
Fig. 22. Magnetic flux  
adding type AND circuit  
through pulse type  
magnetic amplifier.

## 5. トランジスタによる論理回路 (8)(10)

無接点論理要素の中でもトランジスタはその消費電力の小さいこと、小形軽量であること、また応答が比較的速いことなどスイッチング要素としてすぐれた性能をもっているが、現在のところでは、まだ磁気増幅器型に比べて実績が少ない点で信頼度に難がある。しかし将来は有望なものと考えられる。

トランジスタも磁気回路と同様に各種の用法があるが 23 図 (a) にその基本回路を示す。この回路は NOT と OR を結合した NOR の動作をする。すなわち入力  $X_1$ ,  $X_2$  または  $X_3$  のいずれかに負の入力が加えられると、トランジスタは導通し出力端子は 0 電位となるが、入力がすべて 0 のときには出力を生じる。また FF は 23 図 (c) に示すように 2 個の NOR によって実現される。左のトランジスタに入力信号が加えられると、このトランジスタ・ベースが負になり導通する。これにより右のトランジスタ・ベースは 0 電位となり不導通となるため出力を生じ、これが左のトランジスタに帰還されるので入力信号が 0 になってもこの状態を保持する。右のトランジスタ



23 図 (a), (b), (c), (d) トランジスタ論理回路  
Fig. 23. (a), (b), (c), (d) Transistor logic circuits.

無接点継電方式・横須賀・浜岡・大野

タに入力信号を加えると状態は逆転する。AND 回路は De Morgan の定理 (8), (9) 式に示したように OR と NOT, すなわち NOR 回路に置換される。したがって NOR と TD のみで論理構成ができるという興味ある事実を有効に利用できる。

## 6. 入力および出力装置

無接点論理要素を使用した場合は、リレーの場合のように入力または出力装置との結合は簡単に行かなくなる。したがって特定な入力および出力装置が必要になってくる。

### ア. 入力電圧整合装置

普通一般に使用されているリミットスイッチや押しボタンスイッチなどの入力要素は開閉接点をもつため、動作電圧をある程度高くしないと接点の皮膜破壊ができず誤動作の原因となる。したがって 10 V 以下の低電圧で動作するような無接点論理要素の入力を与えるには、電圧整合用の変圧器を用いて十分高い電圧の 1 次側に接点を設け、低圧の 2 次側を論理要素の入力とする。

### イ. 無接点入力装置

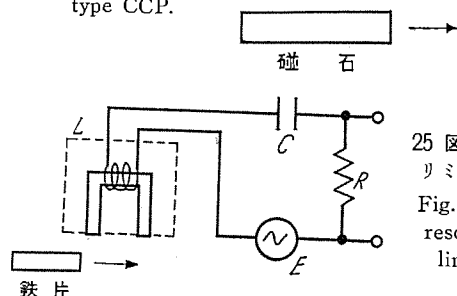
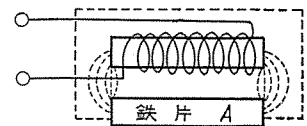
入力要素をも無接点化し、系全体を完全な無接点化に近づけることは寿命や信頼度の点からも望ましいことである。Westinghouse 電機会社においては CCP 型および CPL 型など鉄心入りコイルと永久磁石を用いた無接点リミットスイッチを開発している。CCP 型は 24 図のように永久磁石を平行移動させて鉄心 A を飽和させ、コイルのインピーダンスを下げて入力信号を発生させるようにしている。また CPL 型は永久磁石を回転によって移動させる型で原理は前と同じである。

また速応性磁気論理要素は入力電圧と共に、入力位相に対しても鋭敏であるから 25 図のように LC の直列共振回路を構成し鉄片 A の移動によって、L を変化させて共振または非共振として論理要素を動作させるリミットスイッチも使用されている。

### ウ. 出力増幅器

低レベルの論理要素を使用して論理計算を行い、最終的に出力部を駆動するためには論理回路と出力部との間に出力増幅器が必要である。これには磁気増幅器または

24 図 CCP 型  
リミットスイッチ  
Fig. 24. Limit switch  
type CCP.



25 図 直列共振型  
リミットスイッチ  
Fig. 25. Series  
resonance type  
limit switch.

2 表 リレーと論理要素の対照

リレー回路	論理函数表示	ブロック線図
1	$Y_1 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$ (A) $Y_2 = \overline{Y_1} = \overline{X_1 \cdot X_2 \cdot X_3} = \overline{X_1} \vee \overline{X_2} \vee \overline{X_3}$ (C)	
2	$Y_1 = X_1 \vee X_2 \vee X_3$ (A) $Y_2 = \overline{Y_1} = \overline{X_1 \vee X_2 \vee X_3} = \overline{X_1} \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_3}$ (C)	
3	$Y_1 = (X_1 \vee X_2) \cdot (X_3 \vee X_4)$ (A) $Y_2 = \overline{Y_1} = \overline{(X_1 \vee X_2) \cdot (X_3 \vee X_4)} = (\overline{X_1} \cdot \overline{X_2}) \vee (\overline{X_3} \cdot \overline{X_4})$ (C)	
4	$Y_1 = (X_1 \vee X_2) \cdot \overline{X_3}$ $Y_2 = \overline{Y_1}$	
5	$Y = D^n \cdot X$ ( $\frac{n}{2}$ サイクル遅れ)	

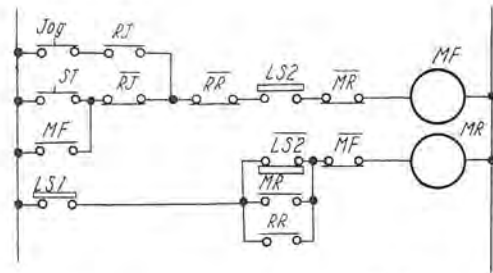
バウテンジスタ等が使用される。

## 7. 磁気論理要素によるスイッチング回路<sup>(3)</sup>

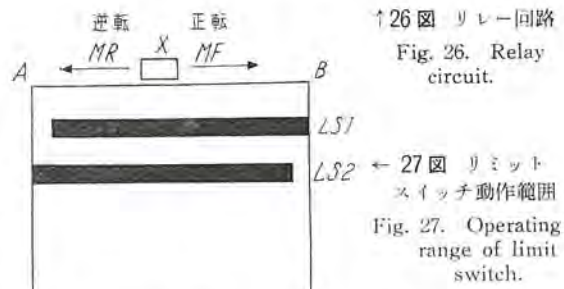
この節では磁気論理要素を用いて論理回路を構成する場合、どのようにして取扱うべきかという一般の問題について簡単に考察を加えてみよう。

代表的なリレー回路の論理函数表示およびブロックダイアグラム表示を2表に示す。この表と論理数学の助けを借りることによって、リレー回路を磁気論理回路に移し変えることができる。しかしこの際基礎になったリレー回路自体が最良の回路構成になっているかどうかという点、およびリレー回路と磁気論理回路の両立性の差による回路細部の差異が問題になる。したがってリレー回路から出発した場合も、下記の順序に従って基礎的考察を加えることが必要である。すなわち、

- (1) 制御系に要求される入力と出力の間の関係の完全な記述と経済的および信頼度の面からの検討
- (2) (1) の入力と出力間の関係を満足する最少限の論理回路の設計
- (3) (2) の回路についてその他の条件や両立性の検討
- (4) 計算またはシミュレータによる系の検討



↑ 26 図 リレー回路  
Fig. 26. Relay circuit.



← 27 図 リミット  
スイッチ動作範囲  
Fig. 27. Operating  
range of limit  
switch.

つぎに例として、26 図に示すような簡単な往復運動を行うリレー制御系を磁気論理回路を用いて制御する場合について説明しよう。

まず(1)の制御系に対する要求を記述する。この制御は27図で対象物Xを区間AB間で往復させるもので、起動入力によってAより前進し、Bに達したら直ちに後退してAに戻る。また前進は手動によって微動運転もできることが必要である。いずれも緊急時には前進中といえども直ちに後退してAに戻る必要がある。

(2)の論理回路の設計はもちろん(1)の記述により行ってもよいが、ここではすでにリレー回路が与えられているので、これを利用することにしよう。26図でMFおよびMRはそれぞれXの前進および後退に対応した駆動電動機の前転および逆転の操作を司るリレーで、この系の出力となる。起動入力STで与えられ、リミットスイッチLS<sub>1</sub>およびLS<sub>2</sub>は27図に示されたような動作をする。手動時はRJが生きてJog接点で微動運転を行う。また緊急時にはRRが動作して逆転を行う。

このような比較的簡単な系ではリレーによる制約も少なく論理関係も明白であるから、これから直ちにMFおよびMRの動作条件を表わす論理方程式を書くことができる。以下の各式でたとえばMFはリレーのa接点を、 $\overline{MF}$ はb接点を表わし、MFはリレーMFのコイルを示す。まずMFの回路条件を示すと、

$$MF = [Jog \cdot RJ \cdot (ST \vee MF) \cdot \overline{RJ}] \cdot \overline{RR} \cdot LS_2 \cdot \overline{MR} \quad (40)$$

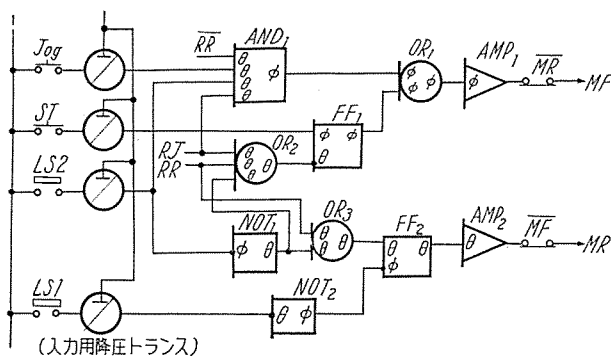
$$= [Jog \cdot RJ \cdot \overline{RR} \cdot LS_2 \cdot (ST \vee MF) \cdot \overline{RJ} \cdot \overline{RR} \cdot LS_2] \cdot \overline{MR} \quad (41)$$

$$= [Jog \cdot RJ \cdot \overline{RR} \cdot LS_2 \cdot (ST \vee MF) \cdot \overline{RJ} \cdot \overline{RR} \cdot \overline{LS_2}] \cdot \overline{MR} \quad (42)$$

$$\text{ここで、} Jog \cdot RJ \cdot \overline{RR} \cdot LS_2 = AND_1(Jog, RJ, \overline{RR}, LS_2) \quad (43)$$

$$\overline{LS_2} = NOT_1(LS_2) \quad (44)$$

$$RJ \cdot \overline{RR} \cdot \overline{LS_2} = OR_2(RJ, \overline{RR}, NOT_1) \quad (45)$$



28 図 26 図に対応する磁気論理回路

Fig. 28. Magnetic logic circuit corresponding to Fig. 26.

$$(ST \parallel MF)RJ \parallel RR \parallel \overline{LS}_2 = (ST \parallel MF) \cdot \overline{OR}_2 \\ = FF_1(ST, OR_2) \quad (46)$$

$$\text{とおくと, } MF = AND_1 \parallel FF_1 \\ = OR_1(AND_1, FF_1) \quad (47)$$

とすることができる。

つぎに  $MR$  については,

$$MR = LS_1 \cdot (\overline{LS}_2 \parallel MR \parallel RR) \cdot \overline{MF} \quad (48)$$

$$\text{ここで, } \overline{LS}_2 \parallel RR = OR_3(NOT_1, RR) \quad (49)$$

$$\overline{LS}_1 = NOT_2(LS_1) \quad (50)$$

$$\text{とすれば, } MR = LS_1 \cdot (MR \parallel OR_3) \cdot \overline{MF} \\ = FF_2(OR_3, \overline{LS}_1) \cdot \overline{MF} \\ = FF_2(OR_3, NOT_2) \cdot \overline{MF} \quad (51)$$

$$\text{ただし, } FF_2(OR_3, \overline{LS}_1) = (MR \parallel OR_3) \cdot LS_1 \quad (52)$$

となる。したがって、これらの関係式をブロックダイアグラムに表示すれば 28 図のようになり、26 図のリレー回路に対応した論理回路が構成される。

つぎの段階ではこれを実現すべき方式の種類を決定し、その両立性等に対する検討を行う。たとえば速応性磁気増幅器型論理回路を用いるときには、入力と出力の位相関係または各要素の最大負荷数などに注目して検討を行う。互に 180 度異なった位相を  $\theta$  および  $\phi$  で表わし、これを 28 図に例記してある。したがって、この図のような位相の速応性磁気論理要素を用いれば実現できる。もっと複雑な例では入力と出力の結合用に位相反転要素を入れる必要を生じてくる場合があるが、この例では全然必要がない。

シミュレータがあればこの系を直ちに構成して動作を確認することができる。

## 8. 応 用

無接点継電方式はその高い信頼度と長寿命およびその他すぐれた特性のために工作機械・化学・鉄鋼・製紙・パルプ・印刷および炭坑など各種の分野の制御系への応用が考えられる。

実用化の面では W 社がもっとも進んでおり、自動ブスダクト溶接機<sup>(5)</sup>、ミールンおよびドリルなどの工作機械<sup>(6)</sup>、自動選別送り装置<sup>(7)</sup>、全自動 60 階エレベータ、電力系統の中央指令、インゴットの計数および送り装置、

無接点継電方式・横須賀・浜岡・大野

および炉のプログラム制御など各種のものが報告されている。

これらはすべて速応性磁気論理要素を用いたもので、“CYPACK”<sup>(1)(2)</sup>の名称で市場に出ている。また、新しく自己飽和型磁気増幅器を用いたものも“Universal Switching Amplifier”の名称で開発されている。これは要素自体の電力レベルが高く、かなりの装置も直接駆動できるので出力部の比較的多い系に有利である。また複合論理要素の有効な利用によって、もっとも経済的な設計ができる。

GE 社でも最近自己飽和型磁気増幅器を用いた“Industrial Control Static System”およびパルス型磁気増幅器を用いた“General Purpose Control Static System”を実用化している。

当研究所においても、速応性磁気増幅器および自己飽和型磁気増幅器による論理要素の研究開発を進めている。

## 9. む す び

以上磁気論理要素を応用したものを主とした無接点継電方式の概要について述べたが、これらはその高い信頼度と動作回数に関係せず長寿命で、小形軽量かつ速い応答速度を有している点から自動制御の各分野において、今後広汎な応用が期待される。

## 考 参 文 献

- (1) “Cypack System” Westinghouse Engineer, July 1955, p. 114.
- (2) “Cypack System—An Application of Logic Functions” J.P. Baker: Westinghouse Engineer, July 1956, p. 107.
- (3) “Magnetic Logic Circuit Control System Design Considerations” R.I. Van Nice: AIEE Trans. Paper 56-727.
- (4) “Magnetic Logic Circuit for Industrial Control Systems” W.G. Evans, W.G. Hall, R.I. Van Nice: Westinghouse Engineer, July 1956.
- (5) “Application of Magnetic Logic Elements to the Control of an Automatic Bus Duct Welder” J.P. Conner: AIEE Conf. Paper 56-955.
- (6) “Static Digital Control of a 6-Way Milling and Drilling Machine Tool.” H.D. Stuart, T.J. Becker: AIEE Conf. Paper 57-188.
- (7) “Static Control in Automatic Warehousing” L.L. Bosch, A.J. Fauthrop, J.W. Stuart: AIEE Conf. Paper 57-189.
- (8) “Static Switching Device” R.A. Mathias: Control Engineer May 1957.
- (9) “論理数学における主な関係とそれに対応する基本回路” 菅野正雄 三菱電機 Apr. 1957.
- (10) “On the Control of Magnetic Amplifiers” R.A. Ramey: AIEE Vol. 70. pt. II. 1957, p. 2124.
- (11) “On the Mechanism of Magnetic Amplifiers” R.A. Ramey: AIEE Vol. 70. pt. II. 1951, p. 1214.
- (12) “Fast Response Magnetic Amplifiers” G.H. Hughes, H.A. Miller: AIEE Vol. 73. pt. I. 1954, p. 69.
- (13) “The Single-Core Magnetic Amplifier as a Computer Element” R.A. Ramey: AIEE Vol. 72. pt. II. 1953.
- (14) “The Design of Switching Circuit” Keister, Ritchie Washburn Bell Lab. Series.
- (15) “Arithmetic Operation in Digital Computers” R.K. Richards, D. Van Nostrand Co. 1955.
- (16) “Transistor NOR Circuit” W.D. Rowe: AIEE Conf. Paper 57-195.
- (17) “通信の分野から見た最近の放電管” 高津清一 電学誌 Feb. 1957, p. 210.
- (18) “A New Static Magnetic Switching Circuit Using Combined “AND” and “OR” Function” R.E. Morgan: AIEE Conf. Paper 57-101.
- (19) “Static Control with Magnetic Amplifier Logic Elements” J. Sheets: AIEE Conf. Paper 57-102.

# 電子管式アナログコンピュータ

無線機製作所

馬場文夫\*・大鳥羽幸太郎\*\*・柴谷浩二\*\*

## The Electronic Analog Computer

Electronics Works

Fumio BABA・Kotaro OTOBA・Koji SHIBATANI

In the modern scientific and engineering world the analog computer plays a vital part. The slide rule has been, so to speak, the simplest form of the kind, but very tangled calculation called for with the development of complicated problems has come to demand an analog computer of higher degree. Coping with the situation varied types were devised one after another each with its specific feature. Of them the electronic type is regarded as culminating today. The present device, however, needs further improvement to be simple in construction and stable and precise in operation before it finds much wider application.

### 1. ま え が き

わが国において電子管式アナログ計算機がうんぬんされ始めたのは近々2年程のことであって、現在はなお揺籃時代であるともいえるのであるが、その母体は古く第2次大戦中から研究されていた。といってもそれは主として米国においての話である。

もともと計算問題を相似な数量で置換し理解しやすい形になおして計算する方法は古くから用いられた手法であって、このような相似計算に用いる計算機械全般をアナログ計算機と総称している。したがってこの意味で計算尺は最も簡単なアナログ計算機であるといえることができる。その後取扱う問題が複雑多岐にわたるに従い、相似計算法も進歩し、各分野においてアナログ計算機も進歩してきたのであるが、とくに1945年前後より、主として米国において軍事目的とも関連して、自動制御の問題がしばしば取扱われるようになってから、電子管式アナログ計算機（以下アナコンと略称する）は急速な発展を遂げ航空力学、音響学、電気工学、機械工学、熱伝導など多くの工学的な問題に広く用いられるようになった。近年さらにプロセス制御や、線型計画などの経済学上の問題も、電子管式アナコンで取扱われるようになってきている。

さて、ひるがえって相似計算法について考えると、これにはいわゆる直接相似型と演算函数型とがある。前者は実物をそのまま小さな模型回路に組立てて計算するので物理量を電氣量に置換して取扱う種類のアナコンでは、問題を  $L, C, R$  からなる電氣的等価回路になおして演算を行う。これに対し、後者では加減乗除および微分積分の数学的演算を行う電子管回路を用いこれを組合せて演算を行う。前者の代表的な例は交流計算盤であり、

後者の代表的な例が、ここに述べる電子管式アナコンである。交流計算盤においては良質な  $L$  が必要となるが、電子管式アナコンでは  $L$  を使用せず、 $C, R$  および高利得の演算増幅器などで構成されている。

電子管式アナコンは、演算時間によって高速度型と低速度型とに分類される。高速度型は繰返し型とも称せられ、演算を電気機械式または電子管式のスイッチによって数十分の1秒の一定周期で繰返して行い、これと同期したブラウン管オシロの螢光面上に解を描かせるもので通常の交流増幅器を使用できるので演算増幅器は簡単ではあるが、演算精度は低いのに比べ、低速度型は演算に数秒ないし数分を要し、解記録装置としてペン書オシロ、演算増幅器として高利得の直流増幅器を必要とし、構成が厄介であるなどの問題もあるが、演算精度は高く、広く賞用されている。しかし高速度型は、初期条件やパラメータが変化した場合に解が変る状態を観察するなどの用途には低速度型より一段とすぐれているので、このような目的には時間の経済上有用である。

アナコンで問題を解く手順を示すために、質量  $m$ 、ばね常数  $k$ 、制動常数  $\delta$  なる機械的振動系に外力  $f(t)$  が作用する場合を考えると、質量  $m$  の変位  $x$  に対して

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \delta \frac{dx}{dt} + kx = f(t) \dots\dots\dots (1)$$

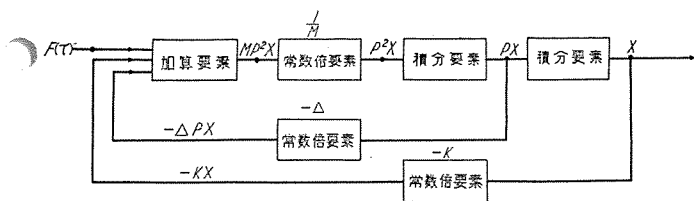
なる2階の線型常微分方程式が成立つ。(1)式は演算子

$$p = \frac{d}{dt} \dots\dots\dots (2)$$

を用いれば

$$mp^2x + \delta px + kx = f(t) \dots\dots\dots (3)$$

とも書くことができる。電子管式アナコンでは従属変数はすべて電圧で表わされ、独立変数はすべて時間で表わされるから、変数の変換を行うことが必要で結局、(1)



1 図 2 階線型常微分方程式をアナコンで解くためのブロック図  
Fig. 1. Block diagram to solve 2nd order linear ordinary differential equation by analog computer.

または (3) 式に対応して

$$\left. \begin{aligned} Mp^2X + \Delta \frac{dX}{d\tau} + KX &= F(\tau) \\ Mp^2X + \Delta pX + KX &= F(\tau) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

が得られる。この式を解くには  $X$  を表わす電圧を演算要素に入れ適当な常数倍を施しこれらを上式を満足するように加算要素で結合しループを作ってやればよい。この際使用する演算要素としては、積分要素、微分要素のいずれもが使用できるはずであるが、微分要素は高周波に対する高利得が必要で実際の演算増幅器の動作特性にそぐわず誤差の点で不利であるから、積分要素を用いる。そこで (4) 式を  $p$  の最高次数の項について解けば

$$Mp^2X = -\{\Delta pX + KX - F(\tau)\} \dots\dots\dots (5)$$

を得る。これを解くには、最初  $pX$ ,  $X$  が既知であると考えて加算要素を用いて右边を作り、これを積分要素を用いて積分すれば左辺が 2 次の導函数であるから結果として  $pX$  が得られこれをさらに積分すると  $X$  が得られるから、こうして得られる  $pX$ ,  $X$  を最初既知と考えた入力端子に結合すれば (4) 式を満足する解  $X$  のオシログラムが得られる。この場合の演算要素の組合せのブロック図は 1 図のとおりである。

このような方法で問題を解くことのできる電子管式アナコンは最近急速にその使用分野を広め、現在米国で、問題とされている用途は 1 表に示すようにあらゆる分野にわたっている。わが国においても近時オートメーションなどの字句と共に、アナコンも一躍時代の寵児となった感があり、各方面の認識が深まると共に、その応用分野も急速に拡大されるものと期待される。

本稿においては電子管式アナコン全般にわたる諸問題について考察すると共に最近当社で製作した低速度型の実際の装置の概要についても述べることにする。

## 2. 基本的演算回路

2 図は電子管式アナコンに用いられる基本的演算回路で 1 図に示した各演算要素はすべてこの回路を用いて実現できる。これは一種の電圧饋還増幅器であって増幅器の利得は実で負の大きな値をもち、通常演算増幅器と呼ばれる。増幅器の入力インピーダンス  $Z_i$  と饋還インピーダンス  $Z_f$  に流れる電流は同じく  $i$  である。重畳の理により

$$e_0 = \frac{Z_f}{Z_i + Z_f} e_i + \frac{Z_i}{Z_i + Z_f} e_0 \dots\dots\dots (6)$$

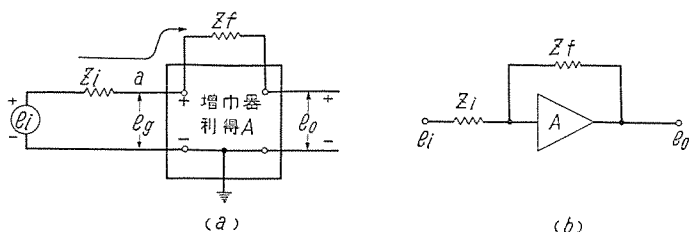
1 表 アナコンの応用分野

部 門	項 目
航 空 工 学	航空機の制御および自動操縦問題 無線誘導および離着陸装置 ターボジェットおよび弁圧器制御装置 ヘリコプタの振動と制御の問題 機体の振動および非定常的擾乱—突風に対する機体の問題 着陸時のショックの解析 ロケットの燃焼と飛翔の問題 軌道または弾道の計算 空洞実験装置の設計 航空機の再燃焼装置の気体力学的安定度 超音速流の問題 飛翔の模倣と部分的試験設備
	自動制御系の設計と部分的試験設備 船舶および潜水艦の制御機構 構造物の振動 ばね系および振動吸収装置 クランク軸のねじれ振動 機構部分の力学 (カム, 弁, 制動器, 結合器など) 流体輸送 有蓋貨車の連結
	線型および非線型回路の解析 変調方式の研究 通信および制御系統における雑音の影響の研究 電子幾何光学 順増幅器 回転機の解析 拡声装置と消音装置の設計 継電器の設計 送電線の解析 送配電問題
	化学工場におけるプロセス制御 化学反応速度と拡散の問題 油送管内の流れおよび振動の問題
そ の 他	地球物理学 経済問題の研究 ダム建設位置の選定における水堀作用の問題 弾道学と射撃制御 原子核物理学 Schrödinger の方程式の解析 熱流—土壌の凍結と溶融 非線型機械の研究 操作員を含めての部分試験設備 生産状態の検査

が成立つから、これを用いて 2 図を書き換えれば通常の電圧饋還回路と同じように 3 図が得られる。ただし外部入力  $e_i$  は  $\alpha \equiv Z_f / (Z_i + Z_f)$  の比によって減衰されてのち増幅器に印加される点に注意せねばならない。饋還係数は  $\beta \equiv Z_i / (Z_i + Z_f)$  であるから実効増幅度は

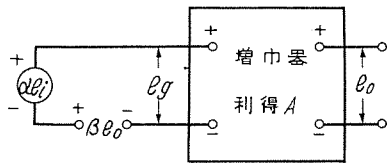
$$\begin{aligned} A_f &= \frac{e_0}{e_i} = \frac{\alpha A}{1 - \beta A} = \frac{Z_f}{Z_i + Z_f} \frac{A}{1 - \frac{AZ_i}{Z_i + Z_f}} \\ &= -\frac{Z_f}{Z_i} \frac{1}{1 - \frac{1}{A} \left(1 + \frac{Z_f}{Z_i}\right)} \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

で与えられる。(7) 式において  $A$  がきわめて大きい場



2 図 演算増幅器の 2 種類の表わし方

Fig. 2. Two representations of an operational amplifier.



3 図 演算増幅器等価回路

Fig. 3. Equivalent circuit of an operational amplifier.

合には

$$A_f = -\frac{Z_f}{Z_i} \quad \text{.....(8)}$$

となり実効増幅度は増幅器の増幅度には関係せず使用するインピーダンスの比だけで定まることになる。

一方2図における増幅器の入力端子  $a$  におけるインピーダンスを求めるに  $Z_f$  の端子電圧は

$$e_o - e_o = e_o - A e_o = e_o(1 - A)$$

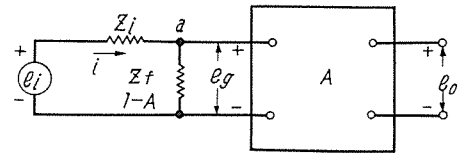
であり、2図にて

$$i = e_o(1 - A)/Z_f$$

であるから  $a$  点におけるインピーダンスは

$$Z = \frac{e_o}{i} = \frac{e_o}{e_o(1 - A)/Z_f} = \frac{Z_f}{1 - A} \quad \text{.....(9)}$$

したがって外部入力電源  $e_i$  より2図と同じ電流  $i$  をとり、同じ増幅器入力電圧  $e_o$ 、同じ出力電圧  $e_o$  を与える等価回路は4図のようになる。ここで  $A$  がきわめて大きいと考えれば入力端子  $a$  におけるインピーダンス  $Z$  は零となり、外部電源は  $i = e_i/Z_i$  なる電流を供給することとなる。一方2図よりこのとき  $e_o = 0$  であるから



4 図 演算増幅器の第2の等価回路

Fig. 4. Another equivalent circuit of the operational amplifier.

出力電圧は

$$e_o = -i Z_f = -\frac{Z_f}{Z_i} e_i \quad \text{.....(10)}$$

となり、(8) 式と同じ結果が得られる。ここに重要なことは、このような演算増幅器ではかように入力端子における電圧  $e_o$  は饋還によって零に保たれるが、実際にはこの点においてなんらの短絡電流もないことであって、これを演算増幅器における仮想短絡ないし仮想接地という。

演算増幅器のこの性質により第2の入力  $e_2$  がインピーダンス  $Z_2$  を通じて2図の入力端子  $a$  に加えられると、 $a$  点には  $i_2 = e_2/Z_2$  なる余分の電流が流れ、この電流は  $Z_f$  をも流れることとなり、新しく余分の出力電圧  $-(e_2/Z_2)Z_f$  が生じるから出力電圧は

$$e_o = -\left(\frac{Z_f}{Z_i} e_1 + \frac{Z_f}{Z_2} e_2\right) \quad \text{.....(11)}$$

となって加算を行うことができる。同様にして一般に

$$e_o = -Z_f \sum_i e_i/Z_i \quad \text{.....(12)}$$

2 表 演算回路と出力波形

	演算回路	演算関係式	入 力	出 力		演算回路	演算関係式	入 力	出 力
1 符号 変換		$e_o = -e_i$			11		$e_o = -\frac{R_f}{R_i} \frac{1 + PC_f R_i}{1 + PC_f R_f} e_i$		
2 常数倍		$e_o = \frac{R_f}{R_i} e_i$			12		$e_o = \frac{C_i}{C_f} (1 + PC_f R_f) e_i$		
3 加 算		$e_o = -R_f \left( \frac{e_1}{R_1} + \frac{e_2}{R_2} \right)$			13		$e_o = -\frac{1 + PC_f R_i}{PC_f R_i} e_i$		
4 積 分		$e_o = -\frac{1}{PC_f R_i} e_i$			14		$e_o = -\frac{C_i}{C_f} \frac{e_i}{1 + PC_f R_i}$		
5 微 分		$e_o = -PC_f R_f e_i$			15		$e_o = -\frac{PC_f R_f}{1 + PC_f R_f} e_i$		
6 不完全 積分 (lag)		$e_o = -\frac{R_f}{R_i} \frac{e_i}{1 + PC_f R_f}$			16		$e_o = -\frac{PC_f R_f e_i}{(1 + PC_f R_i)(1 + PC_f R_f)}$		
7 不完全 微分 (lead)		$e_o = -\frac{R_f}{R_i} \frac{PC_f R_f}{1 + PC_f R_i} e_i$			17		$e_o = -\frac{(1 + PC_f R_i)(1 + PC_f R_f)}{PC_f R_i} e_i$		
8		$e_o = -\frac{1 + PC_f R_f}{PC_f R_i} e_i$			18		$e_o = -\frac{R_f}{R_i} \frac{1}{\omega \omega_0} \frac{e_i}{1 + 2 \frac{\omega}{\omega_0} P + 1}$ $\omega_0 = \sqrt{\frac{C_i R_i}{C_f R_f}} = 2\pi f$ $\xi = \frac{\sqrt{R_i R_f}}{2} \sqrt{\frac{C_f}{C_i}} \times \left( \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_f} \right)$		
9		$e_o = -\frac{R_f}{R_i} (1 + PC_f R_i) e_i$							
10		$e_o = -\frac{C_i}{C_f} \frac{1 + PC_f R_f}{1 + PC_f R_i} e_i$							

である。(10), (12) 式は演算増幅器における演算回路の基本式であって  $Z_i$ ,  $Z_f$  に適当なインピーダンスを用いると、積分、微分、加算、常数倍等の演算要素を作ることができる。2 表に基本的な場合の演算関係式とこれらの入力電圧波形および出力電圧波形を示した。

### 3. 演算増幅器の誤差の解析

#### ア. 基本的演算式を用いる場合に含まれる誤差

(7) 式はまたつぎのように書くことができる。

$$\left. \begin{aligned} e_0 &= -\frac{Z_f}{Z_i} \left( 1 - \frac{1}{1 - \beta A} \right) e_i \\ \beta &= \left( 1 + \frac{Z_f}{Z_i} \right)^{-1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

同様にして多数の入力電圧がある場合には

$$\left. \begin{aligned} e_0 &= -\left( 1 - \frac{1}{1 - \beta A} \right) Z_f \left( \frac{e_1}{Z_1} + \frac{e_2}{Z_2} \dots \right) \\ \beta &= \left( 1 + \frac{Z_f}{Z_1} + \frac{Z_f}{Z_2} \dots \right)^{-1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

これらの式に含まれる増幅器利得  $A$  は理想的には負の実数値であるが、周波数の無限領域で負の実数値を保つことは不可能であってある周波数特性を有する。すなわち  $p$  の関数である。 $\beta$  はもちろん  $p$  の関数であって、増幅器が零インピーダンスの電源に接続されている場合は饋還率と呼ぶことができ、したがって  $\beta A$  はループ利得である。

(13), (14) 式の代りに通常用いられる基本式 (10), (12) を用いる場合には

$$\varepsilon(\tau) = \frac{1}{1 - A(p)\beta(p)} Z_f(p) \left[ \frac{e_1}{Z_1(p)} + \frac{e_2}{Z_2(p)} + \dots \right] \dots\dots\dots (15)$$

なる誤差が含まれることとなり、したがって微分方程式の解の誤差は入力電圧  $e_1, e_2, \dots$  によって変ることになる。

すべての入力電圧  $e_1, e_2, \dots$  は Fourier 級数で表われるから、増幅器利得の周波数特性  $A(p)$  と関連して、純正弦波入力電圧に対する誤差について検討しておけば演算に際し簡便式 (10), (12) を利用しうる周波数範囲を求めるのに便利である。いま

$$e_1 = E_1 \varepsilon^{j\omega\tau}, \quad e_2 = E_2 \varepsilon^{j\omega\tau}, \quad \dots, \quad e_0 = E_0 \varepsilon^{j\omega\tau}$$

とすれば、上記の誤差は

$$\varepsilon(\tau) = \frac{1}{1 - A(j\omega)\beta(j\omega)} Z_f(j\omega) \left[ \frac{E_1}{Z_1(j\omega)} + \frac{E_2}{Z_2(j\omega)} + \dots \right] \dots\dots\dots (16)$$

したがって (12) 式を用いる場合の百分率振幅誤差は

$$|\varepsilon_\omega| = \frac{100}{|A(j\omega)\beta(j\omega)|} \quad (\%)$$

である。

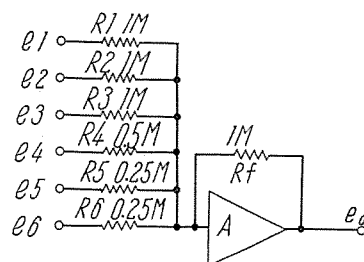
たとえば 5 図のような加算増幅器においては

$$e_0 = -(e_1 + e_2 + e_3 + 2e_4 + 4e_5 + 4e_6)$$

を用いたとき

$$\beta(j\omega) = \left( 1 + \sum_{i=1}^6 \frac{R_f}{R_i} \right)^{-1} = \frac{1}{14}$$

5 図 加算増幅器の例  
Fig. 5. An example of the summing amplifier.



であるから、0.1% の精度を得ようと思えば増幅器の利得  $A$  は動作周波数の全領域に対し最小、14,000 はなければならないこととなる。

#### イ. 負荷効果、利得変動の影響、歪

演算増幅器は一種の電圧負饋還回路であるから、出力インピーダンスは  $1:|1 - A(j\omega)\beta(j\omega)|$  に低減され通常  $|A(j\omega)\beta(j\omega)| \gg 1$  であるから、きわめて小さい値となる。したがって負荷の影響は省略することができる。

利得の変動に対する安定度についても同様に

$$\left| \frac{dA_f(j\omega)}{A_f(j\omega)} \right| = \frac{1}{|1 - A(j\omega)\beta(j\omega)|} \left| \frac{dA(j\omega)}{A(j\omega)} \right| \dots\dots\dots (18)$$

が成立し、歪も  $1:|1 - A(j\omega)\beta(j\omega)|$  に低減される。

なお演算増幅器は前述の仮想接地の理により、任意の入力電源  $e_i$  より見た入力インピーダンスは  $Z_i$  そのものに等しい。

### 4. 積分増幅器

2 表 4 項に示した積分増幅器はアナコンで微分方程式を解く場合にもっとも重要な役割を務めるので、ここでは積分増幅器についてさらに詳しく検討を行うこととする。

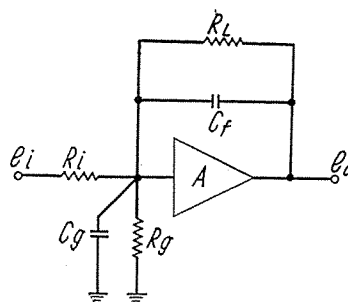
#### ア. 積分増幅器の誤差の解析

2 表 4 項の積分増幅器はいわば理想的なものであって実際の回路では饋還蓄電器は漏洩抵抗  $R_l$  を有し、また厳密には入力端子にも漏洩抵抗  $R_o$  および浮遊容量  $C_o$  を有するので、6 図の回路について考慮する必要がある。このとき

$$\begin{aligned} e_0 &= \frac{A}{1 + R_i \left\{ \frac{1}{R_l} (1 - A) + \frac{1}{R_o} \right\} + R_i \{ C_f (1 - A) + C_o \} p} e_i \\ &= \frac{A}{1 + R_i \left\{ \frac{1}{R_l} (1 - A) + \frac{1}{R_o} \right\}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_i \{ C_f (1 - A) + C_o \}}{1 + R_i \left\{ \frac{1}{R_l} (1 - A) + \frac{1}{R_o} \right\}} p} \end{aligned} \dots\dots\dots (19)$$

6 図 実際の積分増幅器

Fig. 6. The integrating amplifier in a practical case.



$$\equiv \frac{K}{1+bp} e_i \dots\dots\dots(20)$$

$$\left. \begin{aligned} b &\equiv \frac{R_i\{C_f(1-A)+C_g\}}{1+R_i\left\{\frac{1}{R_l}(1-A)+\frac{1}{R_g}\right\}} \\ K &\equiv \frac{A}{1+R_i\left\{\frac{1}{R_l}(1-A)+\frac{1}{R_g}\right\}} \\ \frac{K}{b} &= \frac{A}{R_i\{C_f(1-A)+C_g\}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(21)$$

(19) 式においてもし

$$1+R_i\left\{\frac{1}{R_l}(1-A)+\frac{1}{R_g}\right\} \ll R_i\{C_f(1-A)+C_g\}p \dots\dots(22)$$

が成立するならば (19) 式は

$$e_0 = \frac{1}{R_i\left\{C_f\left(\frac{1}{A}-1\right)+\frac{C_g}{A}\right\}p} e_i \dots\dots\dots(23)$$

$$\cong -\frac{1}{R_i C_f p} e_i \dots\dots\dots(24)$$

となり、完全な積分演算ができる。(21) 式において、 $b$  は積分器の時定数と呼ばれるものであって

$$b = \frac{R_i\left\{C_f\left(\frac{1}{A}-1\right)+\frac{C_g}{A}\right\}}{\frac{1}{A}+R_i\left\{\frac{1}{R_l}\left(\frac{1}{A}-1\right)+\frac{1}{AR_g}\right\}} \cong \frac{R_i C_f}{R_l - R_i} \dots\dots(25)$$

であるから、正しい積分を行うためには、 $R_l, R_g$  (とくに  $R_l$ ) を  $R_i$  に比して大とする必要があることがわかる。

なお  $K/b$  は積分器の利得と呼ばれる。

(20) 式の形の伝達函数によって表わされる積分器に単位函数電圧  $Cu(\tau)$  を印加したときの応答は

$$e_0 = KC(1-\varepsilon^{-\tau/b}) = KC\left(\frac{\tau}{b} - \frac{\tau^2}{2b^2} + \dots\right) \cong KC\frac{\tau}{b} - KC\frac{\tau^2}{2b^2}$$

$$\text{ただし} \quad 1 > \frac{\tau}{b} \geq 0 \dots\dots\dots(26)$$

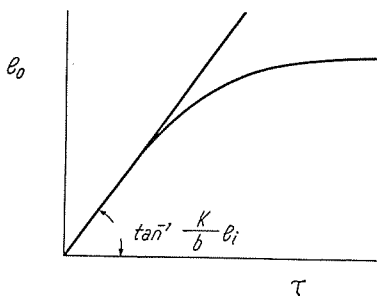
第1項が正確な積分に対応するもので第2項が誤差であって、計算時間と共に7図に示すように誤差が大きくなる。この誤差は

$$|e| \leq KC\frac{\tau^2}{2b^2} \dots\dots\dots(27)$$

したがって百分率誤差は

$$\varepsilon = \frac{KC\frac{\tau^2}{2b^2}}{KC\frac{\tau}{b}} \times 100 = 50\frac{\tau}{b} \quad (\%) \dots\dots\dots(28)$$

またこれより逆に出力電圧が真の積分値  $KC\tau/b$  より誤



7 図 単位函数電圧に対する積分

Fig. 7. Integration of a step function.

差  $\varepsilon\%$  内にあるため演算時間  $\tau_\varepsilon$  は

$$\tau_\varepsilon = \frac{b\varepsilon}{50} \dots\dots\dots(29)$$

である。(21) 式の  $b$  を代入すれば

$$\varepsilon = \frac{50\tau\left[1+R_i\left\{\frac{1}{R_l}(1-A)+\frac{1}{R_g}\right\}\right]}{R_i\{C_f(1-A)+C_g\}} \dots\dots\dots(30)$$

$$\tau_\varepsilon = \frac{1}{50} \frac{\varepsilon R_i\{C_f(1-A)+C_g\}}{1+R_i\left\{\frac{1}{R_l}(1-A)+\frac{1}{R_g}\right\}} \dots\dots\dots(31)$$

実際には  $A \gg 10^3$ ,  $C_g < 3pF$ ,  $R_l > 10^9 \Omega$  であるから、(25) 式より

$$b \cong R_i C_f$$

したがって (30), (31) 式はそれぞれ

$$\varepsilon = \frac{50\tau}{R_l C_f} \dots\dots\dots(33)$$

$$\tau_\varepsilon = \frac{R_l C_f}{50} \varepsilon \dots\dots\dots(34)$$

である。たとえば  $C_f = 1 \mu F$ ,  $R_l = 10^{10} \Omega$  であるとすれば、 $\varepsilon = 0.1\%$  に保つべき演算時間は

$$\tau_\varepsilon = \frac{10^{10} \times 10^{-6}}{50} \times 0.1 = \frac{1,000}{50} = 20 \text{ (秒)}$$

である。

#### イ. ドリフトによる誤差

以上は、直流増幅器の利得の不足と饋還蓄電器の漏洩および入力端子の漏洩だけに誤差の原因があるものとしての解析であって実際の場合にはこの外に増幅器内の歪やドリフトに基づく誤差が問題となるのでつぎにドリフトの影響について考察する。

ドリフトは演算増幅器の各増幅段ごとにはいつてくるわけであるが初段にはいったものは各段で増幅されるからこれによる影響がもっとも大きい。したがってドリフト電圧  $e_d$  は初段にだけはいれるものと考えてよい。演算増幅器は当初入力零のとき出力も零となるよう調整するわけであるが、ヒータ電圧、陽極電圧等の変動、温度上昇による抵抗値の変化などによってドリフトが生ずる。いま2図の基本演算回路にドリフト電圧  $e_d$  が生じたものとすれば

$$e_0 = A(e_g + e_d) \dots\dots\dots(35)$$

増幅器に電流が流れないものとする

$$\frac{e_i - e_g}{Z_i} = \frac{e_g - e_0}{Z_f} \dots\dots\dots(36)$$

この両式より次式が得られる。

$$e_0 = -\frac{Z_f}{Z_i} \frac{e_i + \left(1 + \frac{Z_i}{Z_f}\right)e_d}{1 - \frac{1}{A}\left(1 + \frac{Z_f}{Z_i}\right)} \dots\dots\dots(37)$$

$A \gg \frac{Z_f}{Z_i}$  であれば

$$e_0 \cong -\frac{Z_f}{Z_i} e_i - \left(1 + \frac{Z_f}{Z_i}\right)e_d \dots\dots\dots(38)$$

右辺第1項は正しい演算に対応するものであり、第2項

がドリフトに基く出力誤差である。これを  $\varepsilon_d$  とすれば

$$\varepsilon_d = -\left(1 + \frac{Z_f}{Z_i}\right) e_d \quad \text{ただし} \quad A \gg \frac{Z_f}{Z_i} \dots\dots (39)$$

したがって理想的積分器について考えれば

$$Z_i = R_i \quad Z_f = \frac{1}{C_f p}$$

であるから

$$\varepsilon_d = -\left(1 + \frac{1}{R_i C_f p}\right) e_d \dots\dots\dots (40)$$

となり、ドリフト出力は時間と共に増大する。

(39) 式より  $Z_f/Z_i$  が大きいほど、ドリフトによる誤差出力電圧が大きいことがわかる。この性質は実際の装置においては、逆に演算開始前の演算増幅器の零調整の際に利用されている。(14 章エ節 (1) 項参照)

#### ウ. 正弦波入力に対する演算誤差

正弦波入力の場合には演算関係式 (20) は

$$\begin{aligned} E_o &= \frac{K}{1 + b_{jw}} E_i \\ &= \frac{K}{b_{jw}} E_i - \frac{1}{b_{jw}} \frac{K}{1 + b_{jw}} E_i \dots\dots\dots (41) \end{aligned}$$

となる。右辺第 1 項が真の積分に対応し、第 2 項が角周波数  $\omega$  の正弦波入力に対する積分誤差  $\varepsilon_\omega$  となる。

$$|\varepsilon_\omega| = \left| \frac{E_i}{b\omega} \frac{K}{\sqrt{1 + (b\omega)^2}} \right| \leq \left| \frac{KE_i}{b^2\omega^2} \right| \dots\dots (42)$$

またこのとき位相誤差は

$$\delta_\omega = \tan^{-1} \left( \frac{1}{b\omega} \right) \dots\dots\dots (43)$$

(42), (43) 式よりみれば入力電圧の高周波成分の方が低周波成分より正確に積分されることがわかる。

#### エ. 入力格子電流の影響

演算増幅器の入力端子は 2 図の基本回路に見るように必ずある入力インピーダンスを通じて入力電圧が加えられることとなるので、もし入力段の真空管に格子電流  $i_g$  が流れれば、 $Z_i i_g$  なる電圧降下を生じ誤差の原因となる。したがって格子電流が流れると、入力信号が零の状態でも出力に不平衡を生ずることとなり、通常この不平衡はバランス調節を行うことによって打消すことができるが、時間的に変動する場合にはドリフトの原因となる。たとえば  $0.1 \mu F$  の饋還蓄電器と  $1 M\Omega$  の入力抵抗を用いて積分を行う場合、入力零でも  $10^{-8} A$  の格子電流があるとすれば、これに基く誤差入力  $0.01 V$  であるから 1 秒後には

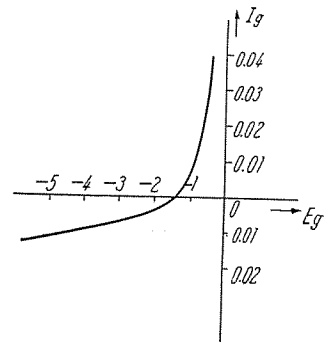
$$e_o = -\frac{1}{Rcp} e_i = -\frac{1}{0.1} \int_0^{10} (0.01) dt = -0.1 V$$

なる誤差出力を生ずる。

かく格子電流の影響はそれが増幅され、積分されることを思えばまことに重大であって、できる限り格子電流は減らす必要がある。このため多くの回路では初段真空管は陽極電圧が低い所で、しかもヒータ電圧も低くして使用し正イオンを減らすことによって格子電流の減少をはかっている。なお格子電流は陽極電流を一定とすると 8 図のようにある格子電圧に対して零となるところが

8 図 3 極管における格子電流特性 (陽極電流一定の場合)

Fig. 8. Grid current vs grid voltage for constant plate current in a triode.



あるから、格子電圧を調節して等価的に格子電流をなくす回路も用いられている。

#### オ. 積分増幅器の演算誤差に対する考察結果

以上の検討より積分器の誤差を少なくするためには演算時間を短くし、増幅器利得を大きくし饋還蓄電器は漏洩抵抗のできるだけ大きいものを使用し積分器の時定数はできるだけ長くとればよいことがわかる。また増幅器はできるだけ格子電流の少いことも必要である。

なお饋還蓄電器の吸収現象も積分演算の誤差の原因となるから吸収現象のできるだけ少ないものを用いる必要があり、この意味からポリスチレンコンデンサが用いられる。

### 5. 演算増幅器

演算増幅器は演算要素を構成する中でもっとも重要な部分であり、低速度型アナコン用としては高利得の直流増幅器が用いられる。ただし実用上つぎの諸性能が要求される。

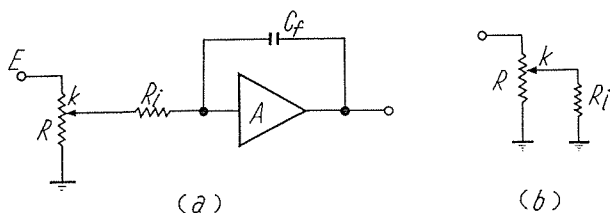
- (1) 演算速度および精度から要求される十分な増幅器利得と周波数特性を有すること。
- (2) 時間的なドリフトがきわめて小さいこと。
- (3) 入力インピーダンスが十分大なること。
- (4) 多段に連続しても動作点に変化を来さないこと。
- (5) 出力はペン書オシロを駆動するなど適当な電力を供給するのに十分であること。
- (6) 電源電圧の変動に対して十分安定であること。
- (7) 初段真空管の動作点は格子電流が極小になるように動作を考慮すること。

実際には下記の種々の点においてすぐれた性能を有する差動増幅器が使用されている。

- (1) 供給電源電圧の変動に対する影響を受けない。
- (2) 真空管の陰極電子放射の変動に対する影響を受けない。
- (3) 入力信号と同符号または異符号の出力のいずれかまたは両者を適宜取り出すことができる。
- (4) 同量異符号の陽極電流が共通の陰極抵抗を流れるから負饋還により利得を低下させることがない。

### 6. 係数設置用ポテンショメータ

これは 9 図 (a) のように演算に際して次段演算増幅器



9 図 ポテンショメータを用いる例  
Fig. 9. Method to use a potentiometer.

への入力を分圧して機械変数  $E$  に定数係数  $k$  ( $0 \leq k \leq 1$ ) を掛けるのに用いる。全抵抗値は演算増幅器で供給する電力および後述の負荷効果によって制限されるが実用的には  $10 \sim 100 \text{ K}\Omega$  が用いられる。計算の精度を上げる点からはつぎの諸点が問題となる。

- (1) 振動、衝撃等に対する機械的安定性
- (2) マイクロフォニック雑音その他の電氣的雑音
- (3) 直線性
- (4) 分解度
- (5) 温度変化、耐用年数等による抵抗値変化

直線性には種々の定義の仕方があるが通常は次式が用いられる。

$$\text{直線性} = \frac{(\text{回転角に対する理論値}) - (\text{実測値})}{(\text{両端子間印加電圧})} \times 100(\%)$$

分解度は巻数に反比例するもので、通常隣同志の巻線間の電圧変化の割合で表わされる。

普通は多回転式のものが用いられ、読取り誤差を減少し、直線性を高めている。

9 図 (a) において演算増幅器の入力格子電圧は前述のようにほとんど零であるから等価的には同図 (b) のようになり、次段演算増幅器の入力抵抗  $R_i$  が負荷となり誤差を生じる。すなわち

$$(\text{誤差 } \varepsilon_k) = (\text{無負荷分圧比 } k) - (\text{分圧比})$$

より

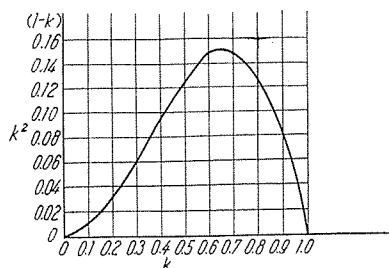
$$\varepsilon_k = \frac{k^2(1-k) \frac{R}{R_i}}{1 + k(1-k) \frac{R}{R_i}} \quad \dots\dots\dots (44)$$

または

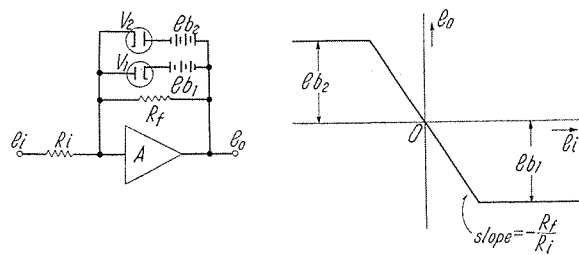
$$\varepsilon_k \cong k^2(1-k) \frac{R}{R_i} \quad (R_i \gg R) \quad \dots\dots\dots (45)$$

したがって係数設定の場合にはこの負荷効果を考慮して、(44) または (45) によってこれだけ  $k$  を補正しなければならない。

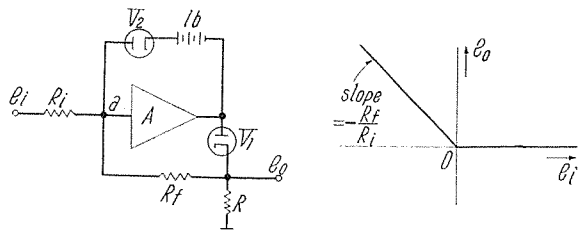
$k$  と  $k^2(1-k)$  の関係は 10 図に示した。



10 図 ポテンショメータの負荷効果校正用チャート  
Fig. 10. Potentiometer-loading correction chart.



11 図 (a) リミッタ  
Fig. 11 (a). Limiter.



11 図 (b) リミッタの変形  
Fig. 11 (b). Another type of limiter.

## 7. リミッタ

実用問題としてアナコンによって解かんとする計算には、弾性体衝撃壁によって可動範囲を制限された質量ばね系や、静摩擦を有する質量ばね系あるいはきしみを有する歯車による軸の結合系などのように振幅制限、飽和、不感帯、バックラッシュなどを含んだ非線型のはいた問題が多く、むしろこのような非線型の演算をも簡単に模擬できることがアナコンの主なる妙味ともいえる。

リミッタはこのような場合に非線型の函数特性を模擬するもので、後述の乗算器、函数発生器などと共に非線型要素の1つであり、バイアスを掛けた2極管部分と大地から隔離されたバイアス電源より構成されている。

### ア. 制限器

11 図 (a) に示したもので、出力を一定値以上にならないように制限する回路である。真空管  $V_1$  の陰極には正電圧  $e_{b1}$  が与えられているから陽極電圧が陰極に対して正電圧となるまでは  $V_1$  に導通がないので、出力電圧  $e_o$  は基本式にしたがい

$$e_o = -\frac{R_f}{R_i} e_i \quad (V_1 \text{ 導通前})$$

であるが  $V_1$  が導通状態となると、 $R_f$  と並列に  $V_1$  の内部抵抗  $r_p$  と陰極回路抵抗  $r_c$  がはいるので、これらの和を  $r$  とすれば

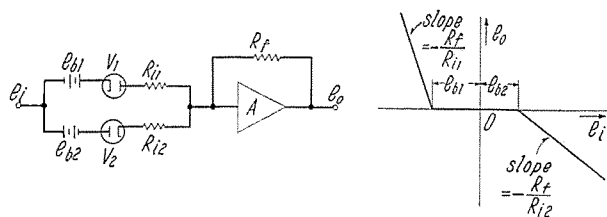
$$e_o = -\frac{\frac{e_i + e_{b1}}{R_i} \frac{r}{r}}{\frac{1}{R_f} + \frac{1}{r} - \frac{1}{A} \left( \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_f} + \frac{1}{r} \right)} \cong -\frac{\frac{r}{R_i} e_i + e_{b1}}{1 + \frac{r}{R_f}} \quad \dots\dots\dots (46)$$

通常は  $R_f \gg r$ ,  $R_i \gg r$  であるから、上式は

$$e_o \cong -e_{b1} \quad (V_1 \text{ 導通時}) \quad \dots\dots\dots (47)$$

となる。  $V_2$  についても同様に図示のような特性が得られる。

なお同図 (b) に示す回路を用いると、正の入力電圧の範囲に対して出力を零に保つことができる。すなわち  $e_i$



12 図 不感帯域模擬回路

Fig. 12. Inert-zone circuit (Dead-space circuit)

が負の範囲では増幅器の出力は正であるから  $V_1$  は導通して出力電圧は

$$e_o = -\frac{R_f}{R_i} e_i$$

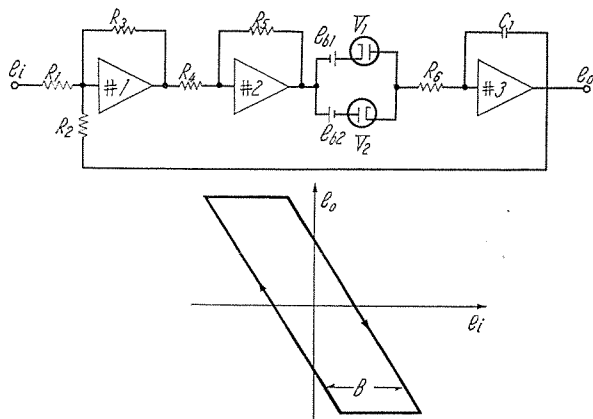
で与えられるが  $e_i$  が正となると  $V_1$  は不導通となり、かつ演算増幅器によって  $a$  点は零電位に保たれるから出力電圧も零に保たれる。  $V_2$  は正の大きな入力電圧に対して演算増幅器が過負荷となることを防止するとともに、  $a$  点電位を確実に零に保つのに役立つ。 バイアス  $e_b$  は演算増幅器の直線動作範囲の最大出力電圧の約 1/2 程度に選ばれる。  $V_1, V_2$  および  $e_o$  の極性を反転すれば  $e_i < 0$  において  $e_o = 0$  に制限する回路が得られる。

#### イ. 不感帯域模擬回路

12 図に示すような回路であって、前節と同様の原理によって入力電圧が  $e_{b1}, e_{b2}$  になるまでは出力電圧を生じないものである。

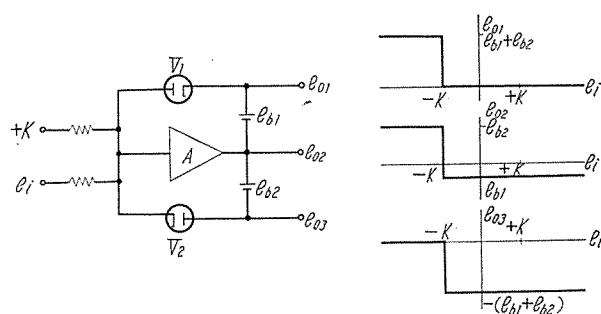
#### ウ. 背隙特性模擬回路

歯車のがたあるいはヒステリシス特性を平行四辺形で近似する際に用いられる回路であって、バイアスを掛けた 2 極管を 13 図のように演算増幅器と組合せて用いる。図において  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5$  とし時定数  $C_1 R_0$  が大変小さいとする。  $C_1$  の初期充電電圧が零のとき、入力電圧  $e_i$  を零から逐次正方向に増加させてゆくと、出力電圧  $e_o$  は  $V_1, V_2$  のリミッタ作用により、  $e_i$  が  $e_{b2}$  に達するまでは零に保たれる。  $e_i$  が  $e_{b2}$  になると  $V_2$  は導通し、演算増幅器 #3 は出力電圧  $e_o$  がちょうど  $V_2$  を遮断する大きさに達するまで積分動作を行う。  $e_i$  をさらに増大すると  $e_o$  は減少する。したがって  $e_o$  は  $e_i$  に正比例して減少する。  $e_i$  を増加させることをやめ、これを



13 図 背隙特性模擬回路

Fig. 13. Circuit representing back lash or hysteresis.



14 図 比較回路

Fig. 14. Comparator circuit.

減少させても出力電圧  $e_o$  は  $e_i$  が  $V_1$  を導通させるに至るまで十分小さくならない範囲では一定に保たれ  $V_1$  が導通状態になると出力電圧  $e_o$  は再び入力電圧  $e_i$  に比例して変化する。したがってこの回路によって図示のようなループが得られる。ループの幅  $B$  はバイアス  $e_{b1}, e_{b2}$  によって、また傾斜は  $R_1, R_2, R_3$  によって変化させることができる。

#### エ. 比較回路

必ずしも非線型要素ともいえないが、14 図のように演算増幅器と逆接続の 1 組の 2 極管で組立てられた回路であって、入力電圧  $e_i$  を基準電圧  $K$  と比較し、その大小に応じて特定端子に特定の出力を生じるようにしたものである。

#### オ. 絶対値発生回路

これも非線型要素とはいえないが 7 章ア節 11 図 (b) のリミッタ回路を用いて 15 図のように実現することができる。これは入力電圧  $e_i$  に対して

$$e_o = |e_i|$$

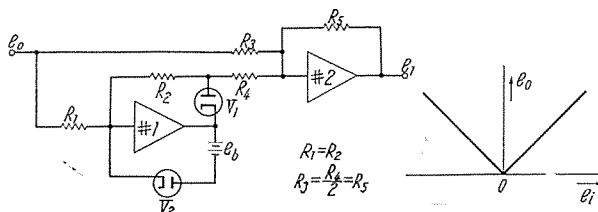
を発生する回路であるが  $V_1, V_2$  およびバイアス電圧の極性を反転することにより

$$e_o = -|e_i|$$

を発生することもできる。

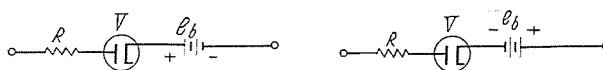
#### カ. 折線による函数の近似

16 図のような基本素子を演算増幅器と組合せることにより、入力電圧がそれぞれの各バイアス電圧に対応した値となるごとに 2 極管が導通、不導通となり常数倍回



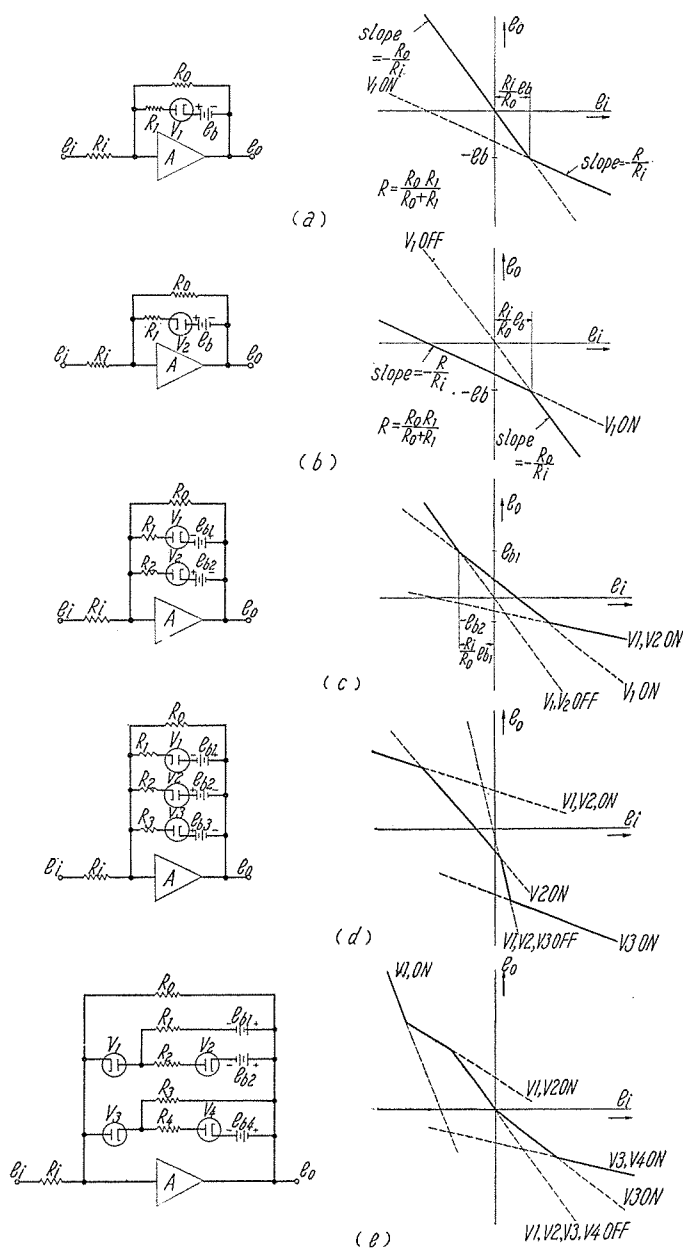
15 図 絶対値発生回路

Fig. 15. Precision absolute-value device.



16 図 折線による函数表示の基本素子

Fig. 16. Fundamental elements for representing a function by segments.



17 図 折線による函数の近似  
Fig. 17. Segmental approximation of a function.

路としての  $R_f/R_i$  の値が変化し、出力対入力傾度に変化するから、各バイアス電圧の値および  $R_i$ ,  $R_f$  の値を適当に選ぶことによって種々の函数型を近似することができる。

17 図 (a) についてこの関係を考察するに  $V_1$  が不導通の状態では、既述のように  $A \gg \frac{R_0}{R_i}$  に対し

$$e_0 = -\frac{R_0}{R_i} e_i \quad (48)$$

が成立する。  $V_1$  が導通したときには a 点に対する節方程式は

$$\left(e_i - \frac{e_0}{A}\right) \frac{1}{R_i} + \left(e_0 - \frac{e_0}{A}\right) \frac{1}{R_0} + \left(e_0 + e_0 - \frac{e_0}{A}\right) \frac{1}{R_1} = 0$$

したがって

$$e_0 = \frac{e_i + e_0}{\frac{R_i}{R_1} + \frac{R_1}{R_0} + 1} \quad (49)$$

$A \gg 0$  に対しては

$$e_0 \approx -\frac{1}{\frac{R_i}{R_0} + 1} e_i - \frac{R_0}{R_0 + R_1} e_0 \quad (50)$$

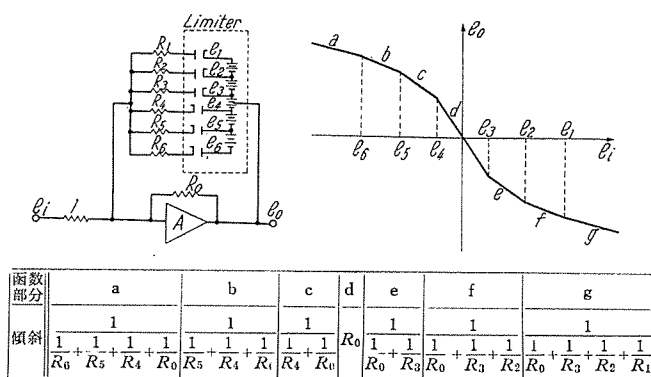
$$= -\frac{R}{R_i} e_i - \frac{R_0}{R_0 + R_1} e_0 \quad \text{ただし } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1} \quad (51)$$

すなわち  $V_1$  の不導通時には入力対出力の傾度は  $\frac{R_0}{R_i}$  で定まるが  $V_1$  の導通時には  $R_0$  の代りに  $R_0$  と  $R_1$  との並列抵抗値が関係することとなる。

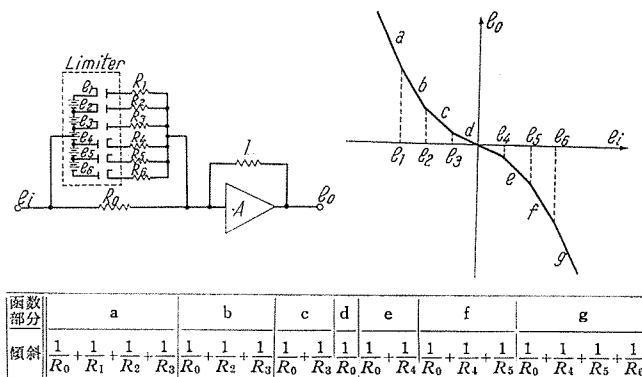
17 図 (a) では  $e_i \geq \frac{R_i}{R_1} e_0$  に対して  $V_1$  は導通であり、(b) では  $e_i \leq \frac{R_i}{R_0} e_0$  に対して  $V_1$  は導通である。同図 (c), (d), (e) にはこれらの組合せによる種類の形を示してある。

### キ. 飽和特性と逆飽和特性

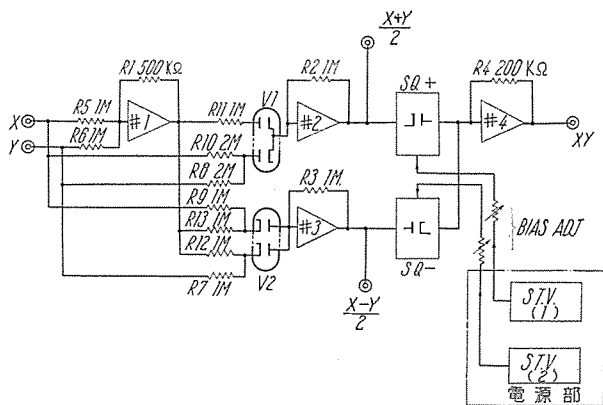
上記各節の特殊な場合であって、18 図および 19 図に示した。各折線部分に対応する入力対出力の傾度は図中の表のようである。なお逆飽和特性回路において各種抵抗とバイアス値を適当に選ぶと 2 次の拋物線特性を近似することができる。これは後述の函数乗算器に応用されている。



18 図 飽和特性回路とその傾斜  
Fig. 18. Saturation circuit and its slopes.

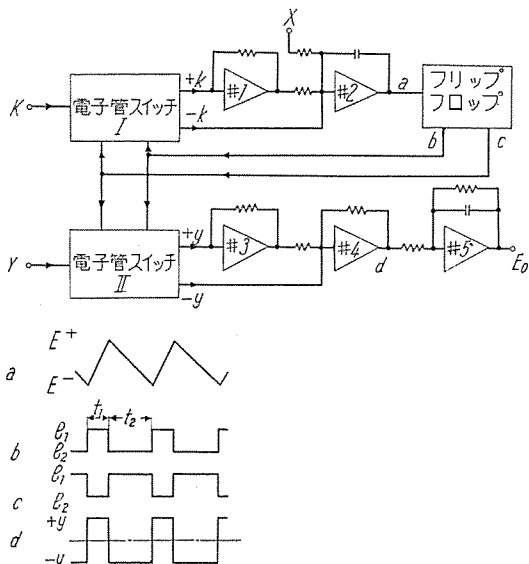


19 図 逆飽和特性回路とその傾斜  
Fig. 19. Inverse saturation circuit and its slopes.



#1~#4: 補助演算増幅器  
SQ+, SQ-: 折線型2乗特性回路

20 図 1/4 自乗函数乗算器ブロック図  
Fig. 20. Quarter-square multipliers.



21 図 時分割乗算器  
Fig. 21. Electronic time-division multiplier.

## 8. 電子管式函数乗算器

アナコンで各種の計算を行う場合、微分方程式が非線型となるときには変数の掛算操作を必要とすることがしばしばある。函数乗算器はこのような場合に2つの函数電圧の積の電圧を発生するものであって、種々の方式のものがあるが、代表的なものについて記述する。

### ア. 1/4 自乗法

$$\left(\frac{X+Y}{2}\right)^2 - \left(\frac{X-Y}{2}\right)^2 = XY \dots (52)$$

なる恒等式に示される動作原理に基くもので、回路構成は20図に示す。乗算しようとする量  $X, Y$  を  $-\left|\frac{X+Y}{2}\right|$ ,  $\left|\frac{X-Y}{2}\right|$  なる形に導き、上記19図の原理に基づいて作られた2次拋物線特性回路によって自乗する。折線数10本を用いた場合、2乗特性回路のバイアス電圧を十分安定にすれば、0.5~1%の精度が得られる。

### イ. 時分割法

連続した矩形パルスのパルス幅と周期の比を1つの入力電圧に比例させ、その振幅を他の入力電圧に比例させ

れば、この矩形波列を平均して得られる直流電圧は2つの入力電圧の積に比例するという原理に基づいて掛算操作を行うものであって、ブロック図は21図に示すとおりである。図において電子管スイッチはフリップフロップ回路からの入力電圧によって入力  $K$  または  $Y$  に対してこれに比例した  $+k$  か  $-k$  または  $+y$  か  $-y$  のいずれかを出力側にとり出す回路であって、電子管スイッチ  $I$ , 演算増幅器 #1, #2 およびフリップフロップ回路によつて

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= \frac{1}{k-X}, \quad t_2 = \frac{1}{k+X} \\ t_1 - t_2 &= \frac{X}{k} \\ t_1 + t_2 &= \frac{1}{k} \end{aligned} \right\} \dots (53)$$

なる関係を作り、電子管スイッチ  $II$  によりこのパルス幅に対応して  $+Y, -Y$  の電圧を取り出すようになっている。したがって #5 の低域濾波回路の出力の平均値  $E_0$  は

$$E_0 = \frac{Yt_1 - Yt_2}{t_1 + t_2} = Y \cdot \frac{t_1 - t_2}{t_1 + t_2} = \frac{XY}{k} \dots (54)$$

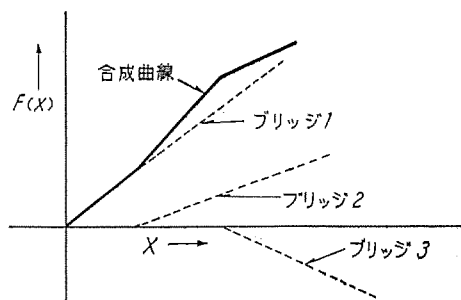
となって掛算ができる。

この方式による掛算器は電子管スイッチ、フリップフロップ回路に適当なものを用いれば切替周波数10kc程度までで0.02%の精度を得られることがRCA研究所から報告されている。

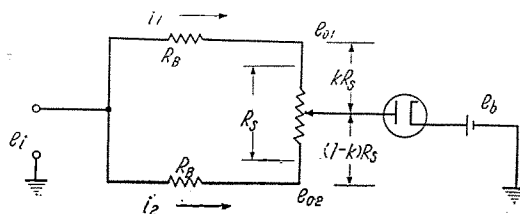
## 9. 電子管式函数発生器

7章カ、キ節にバイアスを掛けた2極管を基本要素としてこれを組合せることによって折線により任意函数を発生できることを述べたが、ここでは、折線の傾斜および折点の位置を設定するのに便利な回路の一例を述べる。

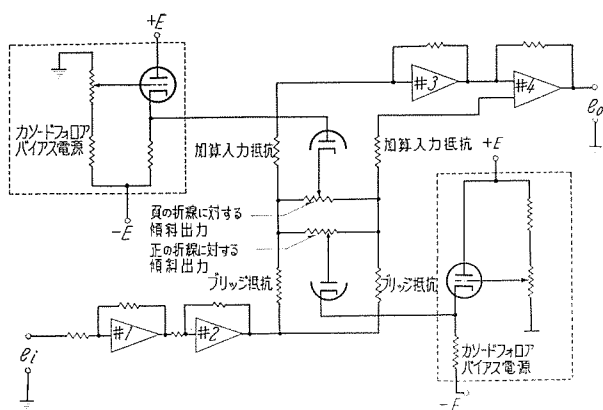
22図に示すようにこの回路は近似しようとする函数の傾斜を2極管が導通状態にある各基本要素の示す傾斜の和として表わされることを利用するもので、任意の傾斜を有する直線の発生には23図のような不平衡ホイー



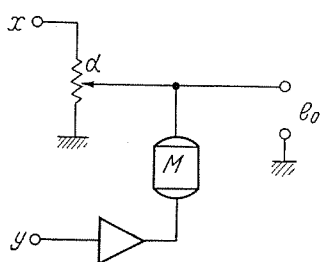
22 図 函数発生器の原理  
Fig. 22. Principle of a function generator.



23 図 函数発生器の基本要素  
Fig. 23. Basic element of a function generator.



24 図 函数発生器ブロック図  
Fig. 24. Block diagram of a function generator.



25 図 サーボ乗算器原理図  
Fig. 25. Principle of a servo-multiplier.

トストーンブリッジを用いる。図より

$$e_0 = e_{01} - e_{02} \quad (55)$$

とすれば

$$\left. \begin{aligned} e_{01} &= i_1 k R_s, & e_{02} &= i_2 (1-k) R_s \\ i_1 &= \frac{e_i - e_b}{R_B + k R_s}, & i_2 &= \frac{e_i - e_b}{R_B + (1-k) R_s} \end{aligned} \right\} \quad (56)$$

したがって

$$e_0 = (e_i - e_b) \left\{ \frac{1}{\frac{R_B}{k R_s} + 1} - \frac{1}{\frac{R_B}{(1-k) R_s} + 1} \right\} \quad (57)$$

よって

$$k' = \frac{1}{\frac{R_B}{k R_s} + 1} - \frac{1}{\frac{R_B}{(1-k) R_s} + 1} \quad (58)$$

とおけば

$$e_0 = k' (e_i - e_b) \quad (59)$$

ここに

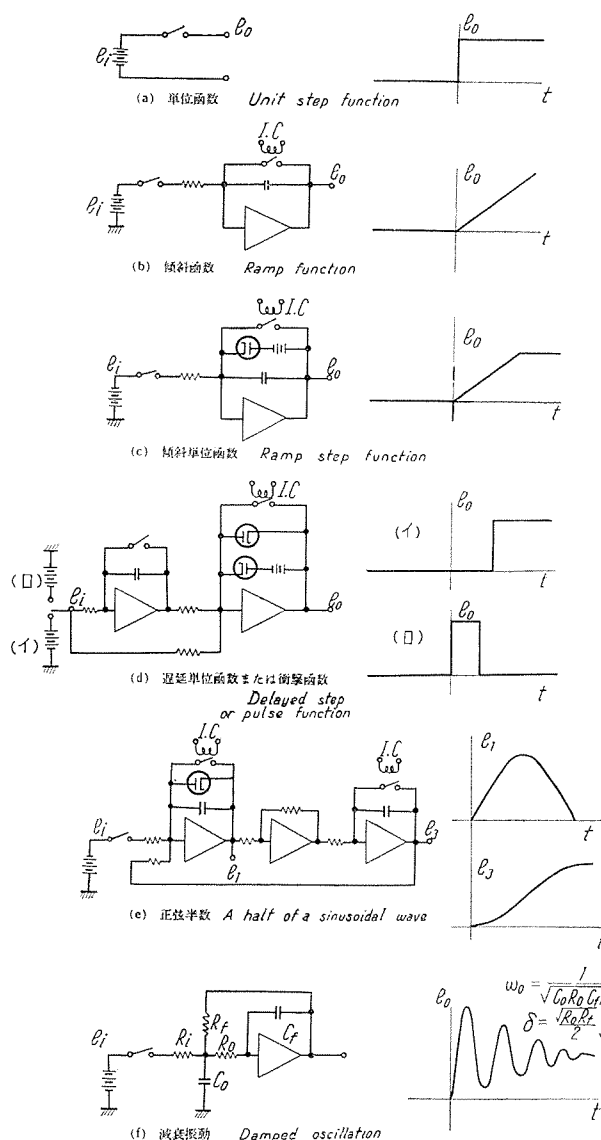
$$\left. \begin{aligned} k' > 0: & \quad k > 0.5 \\ k' = 0: & \quad k = 0.5 \\ k' < 0: & \quad k < 0.5 \end{aligned} \right\} \quad (60)$$

以上より出力電圧  $e_0$  の傾斜は抵抗  $R_s$  を可変とすることにより正負いずれにも調節でき、かつ  $e_0$  の基点は、バイアス電圧  $e_b$  によって一義的に決定できる。

実用の回路は 24 図に示すように、ブリッジ回路の負荷効果を無くするため  $e_i$  は 2 台の演算増幅器 (#1, #2) を通して加えられ (55) 式の演算にも #3, #4 の 2 台の演算増幅器を用いる。また  $e_b$  としてはグリッド電圧可変のカソードフォロアを用いる。図では  $e_b$  の正負に対し各 1 個ずつのブリッジ回路を示しているが、実際には各 7 セクション程度が用いられる。

## 10. サーボ乗算器

演算増幅器、サーボモータおよびそれと連結された摺



26 図 駆動函数発生回路  
Fig. 26. Circuits generating some driving function.

動片を有するポテンシオメータを 25 図のように構成したものである。入力  $X$  をポテンシオメータに印加すると摺動片の出力は  $X \cdot \alpha$  で示される ( $\alpha$ : 分圧比)。いまもしサーボモータ  $M$  によって他の入力電圧  $Y$  で摺動片が動くとすればこの比例常数を  $k$  として

$$e_0 = \alpha \cdot X = kXY \quad (61)$$

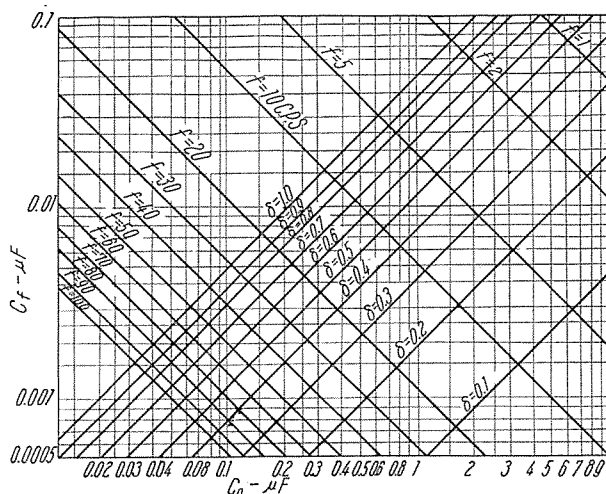
となって乗算が行われる。

サーボモータによる追尾機構は応答速度は遅いが、精度は高く、低速度型アナコンには広く用いられる。

## 11. 駆動函数の発生

諸種の系に対する過渡現象をアナコンで解く場合、微分方程式の右辺に現われる過渡的入力を電圧で模擬するには種々の方法があるが、大抵特別な装置を用いず、電池演算増幅器、2 極管、蓄電器などをアナコンの内部で組合せることによって実現することができる。

26 図に各種の駆動函数の発生回路を示した。なお 27 図には同図 (f) の回路を用いて 2 次の減衰振動波を発生



27 図 単一増幅器による共振系模擬のための蓄電器の値のノモグラフ ( $R_i=R_0=0.05\text{ M}\Omega$ ,  $R_f=1\text{ M}\Omega$ ) (共振周波数  $f$  と Damping ratio  $\delta$  が与えられた系を模擬する場合の  $C_f$  と  $C_0$  の算出に用いる)  
Fig. 27. Capacitance nomograph to simulate a damped oscillation system by a single amplifier.

する場合に回路常数の計算を簡単にするノモグラフを示してある。

## 12. 変数の変換および時間の変換

アナコンを使用して演算を行うに際しては解の必要な部分が演算増幅器の直線動作範囲内にはいり正しく記録紙の上に描かれるようあらかじめ与えられた方程式と計算機内のポテンショメータその他のパラメータを与える演算用方程式との間に適当な変換を施す必要がある。この際必要となる係数には変数変換係数と時間変換係数とがある。

### A. 変数変換係数

実際の物理量たとえば変位  $x$ , 速度  $v$ , 回転角  $\delta$  などはアナコンではすべて電圧として取扱われるから、これを大文字で表わすことにすれば

$$X=a_x \cdot x, \quad V=a_v \cdot v, \quad \Delta=a_\delta \cdot \delta \quad \cdots (62)$$

の関係がある。この  $a_x, a_v, a_\delta$  などを変数変換係数という。いま変数  $|x|$  が取りうる最大値を、 $|x|_{\max}$  とすれば、この値に対応する  $|X|$  は演算増幅器の直線動作範囲を越えてはならないから演算増幅器の許容最大電圧値を  $E_{\max}$  とすれば

$$a_x \leq \frac{E_{\max}}{|x|_{\max}} \quad \cdots (63)$$

に選ぶ必要がある。演算に際し変数変換係数をあまり小さく選ぶと、ドリフト、雑音などの影響から生ずる相対誤差が増加する上、ペン書オシロの記録結果の読取り誤差も増大するから、変数変換係数はできるだけ大きくとった方がよい。またこの点から見れば演算増幅器の直線動作範囲はできるだけ大きく、ドリフト、雑音などは極力小さいことが望ましい。

### 1. 時間変換係数

アナコンでは独立変数はすべて時間で表わされる。一

方与えられた問題の方程式の独立変数  $t$  は時間であることもあり、また他の量であることもあるが、解を正確に求めるためには演算増幅器の周波数特性、積分増幅器の演算誤差 (4 章参照) やペン書オシロの追尾動作などを考慮して適当に演算時間を定めなければならない。このためにつぎの変換が必要となる。

$$\tau = \alpha_t \cdot t \quad \cdots (64)$$

したがって演算用方程式の微分演算子  $P$  と原方程式の微分演算子  $p$  との間には

$$p = \frac{d}{dt} = \alpha_t \frac{d}{d\tau} = \alpha_t P \quad \cdots (65)$$

の関係が成立する。(64), (65) 式における  $\alpha_t$  を時間変換係数という。

実際問題としては (65) 式の変換は演算回路の組立に際して積分増幅器の饋還用蓄電器の容量を  $\alpha_t$  に比例して大きくすることであって、これにより演算速度は  $1/\alpha_t$  になるから、 $\alpha_t$  の値をあまり大にすると積分器の誤差が現われ、また  $\alpha_t$  をあまり小にすると演算増幅器の周波数特性の影響やペン書オシロの追尾動作不良によって誤差が増すから適当な  $\alpha_t$  の値を用いる必要がある。

## 13. 演算の実例

演算の実例としてばね、質量、制動器からなる 28 図の連成振動系について考える。

この系についてつぎの連立微分方程式が成立つ。

$$\left. \begin{aligned} m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} + D \frac{dx_1}{dt} - D \frac{dx_2}{dt} + (k_1 + k_2)x_1 - k_2 x_2 &= 0 \\ m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} + D \frac{dx_2}{dt} - D \frac{dx_1}{dt} + k_2 x_2 - k_2 x_1 &= f(t) \end{aligned} \right\} \quad (66)$$

これは直接アナコンで解ける典型的な形であるが、変数のとり方が悪いと誤差が大きくなることは注意すべきことであって、この例でも第 2 の質量ばね系は共振周波数ダンピング共第 1 のものよりはるかに高いことが予想されるから過渡状態の初期を過ぎるとこの高い方の周波数はほとんど減衰し 2 つの質量はほとんど同じ位相と振幅で振動することが考えられ、したがって (66) 式は  $D \frac{dx_1}{dt}$  および  $-D \frac{dx_2}{dt}$  というほとんど等しい大きさの項の差がこの系のダンピングを決定することとなり、これらの項のスケール誤差によって非常に大きな誤差を生ずる。

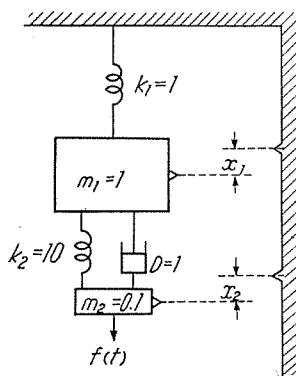
そこで  $\bar{x}_2 = x_2 - x_1$  として変数を変換すると

$$\left. \begin{aligned} m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} - D \frac{d\bar{x}_2}{dt} + k_1 x_1 - k_2 \bar{x}_2 &= 0 \\ m_2 \left( \frac{d^2 x_1}{dt^2} + \frac{d^2 \bar{x}_2}{dt^2} \right) + D \frac{d\bar{x}_2}{dt} + k_2 \bar{x}_2 &= f(t) \end{aligned} \right\} \quad \cdots (67)$$

これをさらに変形すると

$$\left. \begin{aligned} (m_1 + m_2) \frac{d^2 x_1}{dt^2} + m_2 \frac{d^2 \bar{x}_2}{dt^2} + k_1 x_1 &= f(t) \\ m_2 \left( \frac{d^2 x_1}{dt^2} + \frac{d^2 \bar{x}_2}{dt^2} \right) + D \frac{d\bar{x}_2}{dt} + k_2 \bar{x}_2 &= f(t) \end{aligned} \right\} \quad \cdots (68)$$

(67), (68) 式は critical な係数を含まないからダンピン



28 図 質量—ばね—制動器よりなる振動系

Fig. 28. Oscillation system composed by mass, spring and damper.

グの正確さに関しては演算素子の精度  $\pm 10\%$  程度でも (66) 式による精度  $0.1\%$  程度の素子と同程度の有効な結果が得られる。(68) 式より

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 x_1}{dt^2} &= \frac{1}{m_1 + m_2} \left[ f(t) - m_2 \frac{d^2 \bar{x}_2}{dt^2} - k_1 x_1 \right] \\ \frac{d^2 \bar{x}_2}{dt^2} &= \frac{1}{m_2} \left[ f(t) - m_2 \frac{d^2 x_1}{dt^2} - D \frac{d \bar{x}_2}{dt} - k_2 \bar{x}_2 \right] \end{aligned} \right\} \quad \dots (69)$$

28 図の常数を代入してアナコンとして解くべき式を求めると

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 x_1}{dt^2} &= -\frac{1}{1.1} \left[ 0.1 \frac{d^2 \bar{x}_2}{dt^2} + x_1 - f(t) \right] \\ -\frac{dx_1}{dt} &= -\int \frac{d^2 x_1}{dt^2} dt \\ x_1 &= -\int \left( -\frac{dx_1}{dt} \right) dt \\ \frac{d^2 \bar{x}_2}{dt^2} &= -\frac{1}{0.1} \left[ 0.1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} + \frac{d \bar{x}_2}{dt} + 10 \bar{x}_2 - f(t) \right] \\ -\frac{d \bar{x}_2}{dt} &= -\int \frac{d^2 \bar{x}_2}{dt^2} dt \\ \frac{d \bar{x}_2}{dt} &= -\left[ -\frac{d \bar{x}_2}{dt} \right] \\ \bar{x}_2 &= -\int \left( -\frac{d \bar{x}_2}{dt} \right) dt \end{aligned} \right\} \quad \dots (70)$$

いま  $f(t) = 1$  [1] とすればこれは電池電圧の印加で模擬することができ、(70) 式の 7 つの量はすべて演算増幅器出力で表わすことができる。さて、12 章に述べた変数変換および時間変換を行うには、物理的意味を考えて物理量の変化の見当をつけておく必要がある。

(1)  $x_1$  は overshoot を考えると定常値を 1 として最大値は約 2 になる。

(2)  $\frac{dx_1}{dt}$  と  $\frac{d^2 x_1}{dt^2}$  とは共振周波数より見当がつく。共

3 表 変数変換表

変数	推定最大値	発生法	発生器最大値	変数変換
$\frac{d^2 x_1}{dt^2}$	1	演算増幅器	50	$\frac{d^2 x_1}{dt^2} = 0.02 \frac{d^2 X_1}{dt^2}$
$-\frac{dx_1}{dt}$	1	"	50	$\frac{dx_1}{dt} = 0.02 \frac{dX_1}{dt}$
$x_1$	2	"	50	$x_1 = 0.04 X_1$
$-\frac{d^2 \bar{x}_2}{dt^2}$	20	"	50	$\frac{d^2 \bar{x}_2}{dt^2} = 0.4 \frac{d^2 \bar{X}_2}{dt^2}$
$\pm \frac{d \bar{x}_2}{dt}$	2	"	50	$\frac{d \bar{x}_2}{dt} = 0.04 \frac{d \bar{X}_2}{dt}$
$\bar{x}_2$	0.2	"	50	$\bar{x}_2 = 0.004 \bar{X}_2$
$f(t)$	1	電池	45	$f(t) = 0.0222 F(t)$

振周波数は  $\sqrt{\frac{1}{1.1}} \cong 1$  radian/sec である。したがって  
 $\left( \frac{dx_1}{dt} \right)_{\max} \cong (\text{平衡値よりの最大変位 } 1) \times 1 \text{ radian/sec} = 1$   
 $\left( \frac{d^2 x_1}{dt^2} \right)_{\max} \cong (\text{平衡値よりの最大変位 } 1) \times (1 \text{ radian/sec})^2 = 1$

(3)  $\bar{x}_2$  は見当がつきかねるがばね常数の強いことから  $1/5$  位と仮定する。

(4) 第 2 の共振周波数は  $\sqrt{\frac{10}{0.1}} \cong 10$  radian/sec であるゆえ

$$\left( \frac{d \bar{x}_2}{dt} \right)_{\max} \cong \frac{1}{5} \times 10 \text{ radian/sec} = 2$$

$$\left( \frac{d^2 \bar{x}_2}{dt^2} \right)_{\max} \cong \frac{1}{5} \times (10 \text{ radian/sec})^2 = 20$$

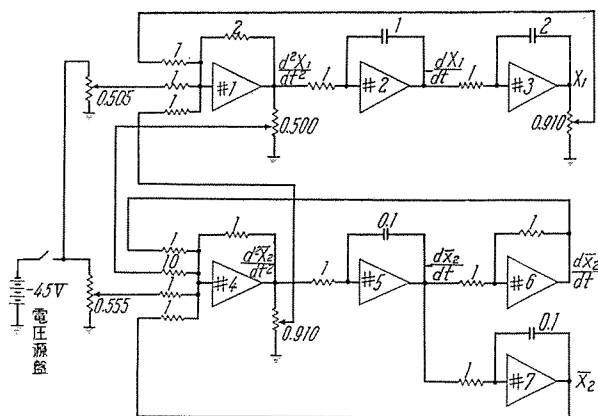
演算増幅器の直線動作範囲を 50 V とすれば、上の検討結果より (63) 式に基く変数変換は 3 表のようになる。

これらの結果を (70) 式に代入するとつぎのようになる。

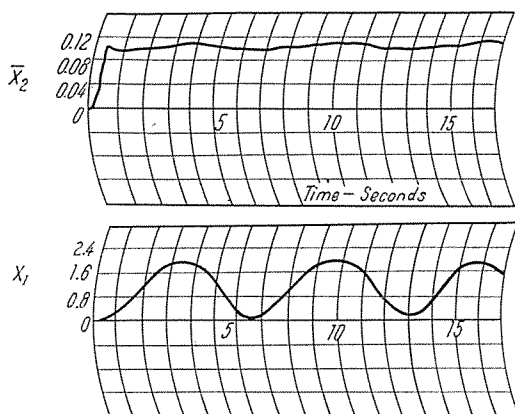
$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 X_1}{dt^2} &= -\left[ 1.82 \frac{d^2 \bar{X}_2}{dt^2} + 1.82 X_1 - 1.01 F(t) \right] \\ -\frac{dX_1}{dt} &= -\int \frac{d^2 X_1}{dt^2} dt \\ X_1 &= -\int \left( -0.5 \frac{dX_1}{dt} \right) dt \\ \frac{d^2 \bar{X}_2}{dt^2} &= -\left[ 0.05 \frac{d^2 X_1}{dt^2} + \frac{d \bar{X}_2}{dt} + \bar{X}_2 - 0.555 F(t) \right] \\ -\frac{d \bar{X}_2}{dt} &= -\int \left( 10 \frac{d^2 \bar{X}_2}{dt^2} \right) dt \\ \bar{X}_2 &= -\int \left( -10 \frac{d \bar{X}_2}{dt} \right) dt \\ -F(t) &= -45 [1] \end{aligned} \right\} \quad \dots (71)$$

この形のままでにはなおポテンシオメータの目盛の設定および積分蓄電器の選定が不便であるから、この点を考慮して上式を書換えると (72) 式のようにになる。

$$\left. \begin{aligned} \#_1 \quad \frac{d^2 X_1}{dt^2} &= -2 \left[ \frac{0.910}{1} \times \frac{d^2 \bar{X}_2}{dt^2} + \frac{0.910}{1} X_1 - \frac{0.505}{1} F(t) \right] \\ \#_2 \quad -\frac{dX_1}{dt} &= -\frac{1}{1} \int \frac{1}{1} \frac{d^2 X_1}{dt^2} dt \\ \#_3 \quad X_1 &= -\frac{1}{2} \int \left( -\frac{1}{1} \frac{dX_1}{dt} \right) dt \\ \#_4 \quad \frac{d^2 \bar{X}_2}{dt^2} &= -1 \left[ \frac{0.500}{10} \frac{d^2 X_1}{dt^2} + \frac{1}{1} \frac{d \bar{X}_2}{dt} + \frac{1}{1} \bar{X}_2 - \frac{0.555}{1} F(t) \right] \\ \#_5 \quad -\frac{d \bar{X}_2}{dt} &= -\frac{1}{0.1} \int \frac{1}{1} \frac{d^2 \bar{X}_2}{dt^2} dt \\ \#_6 \quad \frac{d \bar{X}_2}{dt} &= -1 \left[ -\frac{1}{1} \frac{d \bar{X}_2}{dt} \right] \\ \#_7 \quad \bar{X}_2 &= -\frac{1}{0.1} \int \frac{1}{1} \left( -\frac{d \bar{X}_2}{dt} \right) dt \\ \text{電池} \quad -F(t) &= -45 [1] \end{aligned} \right\} \quad \dots (72)$$



29 図 式 (72) を解くためのアナコン回路  
Fig. 29. Operational circuit for solution the eq. (72)



30 図 質量ばね制動器の系に対するアナコンによる解  
Fig. 30. Solution for oscillation system composed by mass, spring and damper.

これが変数変換を終了した最終の式であってこれより 29 図のようにアナコン演算回路を組立てることができる。かくてこの系の方程式を電池によって印加できる任意の  $F(t)$  に対して解くことができ、任意の解はその変数の出力にペン書オシロを接続して観測できる。30 図に  $X_1$ ,  $\bar{X}_2$  の解の例を示す。問題の時間スケールは (64) 式の変換によって任意に変換できる。

#### 14. 装置の概要 (EA-1 型アナログコンピュータ)

実際の装置の例として、最近当社で製作した EA-1 型について概要を記述する。EA-1 型は低速度型に属し主として線型の微分方程式で表わされる工学上の多くの問題を十分な精度で解くことを目的として設計製作された汎用のアナコンであるが、2 極管リミッタ 2 台を持っているから、7 章に述べたように飽和、不感帯、バックラッシュなどを含む簡単な非線型自動制御系の問題をも解くことができる。なお一般の非線型要素である函数乗算器、函数発生器などは追加取付可能な構造であり、演算回路の組立はプラグイン式である。

##### ア. 特 長

- (1) 演算回路の組み立が容易で間違いを少なくすることができる。
- (2) 演算用抵抗器、演算用蓄電器はプラグイン式で

あるから容易に演算常数を変更できる。

- (3) 直流増幅器は安定でドリフトが僅少である。
- (4) 各パネルとも同一寸法で使用頻度に応じて任意位置に交換取付けができる。
- (5) 直流増幅器用の自動平衡装置を本体背面に取り付けて、さらに動作の安定をはかることができる。
- (6) 函数乗算器、函数発生器などを追加取り付けることができる。
- (7) 接続盤連結盤を有し、演算回路の組み立は簡便であり、かつ本体を多数設置して使用する場合相互の連結は容易である。

##### イ. 性 能

本体に実装された各パネルを組合せ演算用抵抗コンデンサを用いて演算回路を構成することにより、1 台でつぎの方程式を解くことができる。

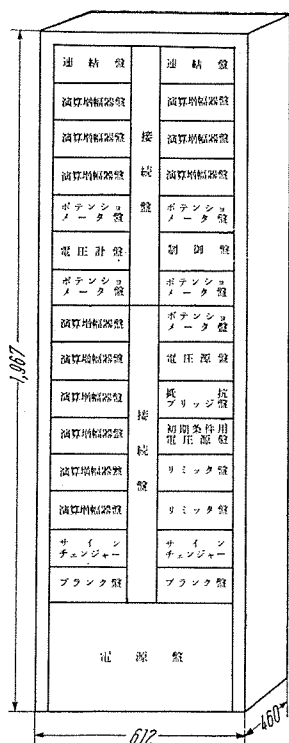
- (1) 線型常微分方程式： 最高 20 階
- (2) 線型常微分連立方程式： 演算増幅器 20 台の範囲内
- (3) 非線型常微分方程式： 最高 20 階 (ただし特殊なもの)
- (4) 偏微分方程式  
熱伝導階差 1 元方程式……20 セクション  
波動 1 元方程式……6~7 セクション  
ビーム振動方程式……6~7 セクション
- (5) 多元 1 次代数方程式： 最高 20 元まで

##### ウ. 構 造

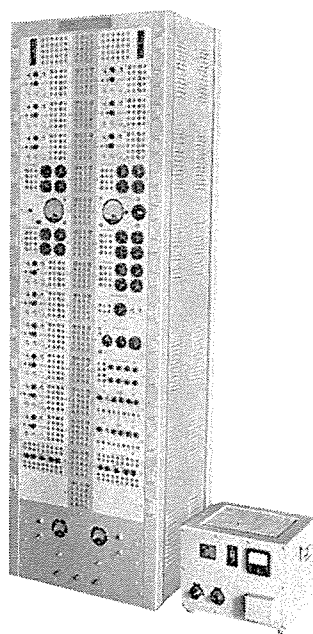
本体は (高さ) 1,967×(幅) 612×(奥行) 460 mm の完全自立型のラックに (幅) 203×(高さ) 108 mm の標準型パネル 30 面と電源部とを収容する構造となっており、ラックの中央部には演算回路を組み立てるとき各パネル間の接続を助けるために多数の端子穴を有する接続盤を実装している。また演算用直流増幅器パネルなど、すべてのパネルにも饋還用抵抗コンデンサなどの接続に便利のように多数の端子穴があり、これら各パネル端子穴、およびプラグイン式演算用抵抗、コンデンサを用いて演算回路を組み立て各種の演算を行うことができる。

本体を構成する各パネルはつぎのとおりである。

演算増幅器盤 A 型	12 パネル
演算増幅器盤 B 型	2 パネル
ポテンシオメータ盤	5 パネル
リミッタ盤	2 パネル
制御盤	1 パネル
抵抗ブリッジ盤	1 パネル
初期条件用電圧源盤	1 パネル
電圧源盤	1 パネル
電圧計盤	1 パネル
ブランク盤	2 パネル
連結盤	2 パネル
接続盤	1 パネル
電源盤	1 パネル



31 図 EA-1 アナコン実装図  
Fig. 31. Type EA-1 analog computer mounting.



32 図 EA-1 型アナログコンピュータ  
Fig. 32. Type "EA-1" Electronic analog computer.

パネルのラックへの実装は 31 図のようであって電源盤以外はいずれも同一寸法であるから、使用頻度に応じて便利な位置に適宜取付位置を変えることができる。

外観構造は 32 図のようである。

### エ. 各部の性能および動作

#### (1) 演算増幅器盤 A 型

高利得の直流増幅器で、演算用抵抗コンデンサによって 2 章に述べたように種々の演算を行うことができる。

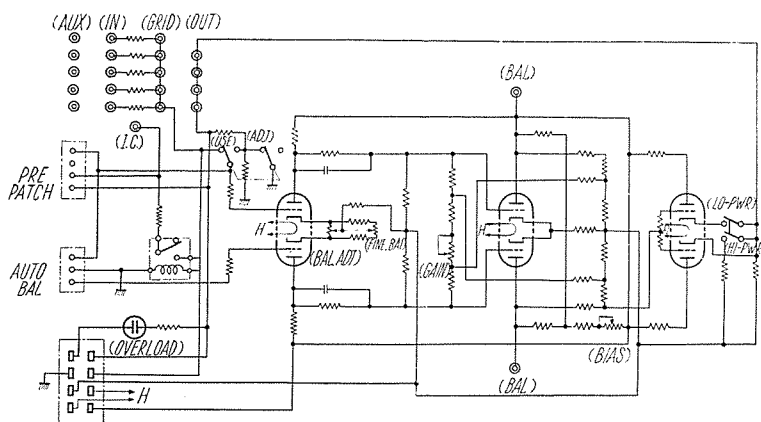
入力端子数……10 個

出力端子数……4 個

入力抵抗……1 MΩ 5 個内蔵

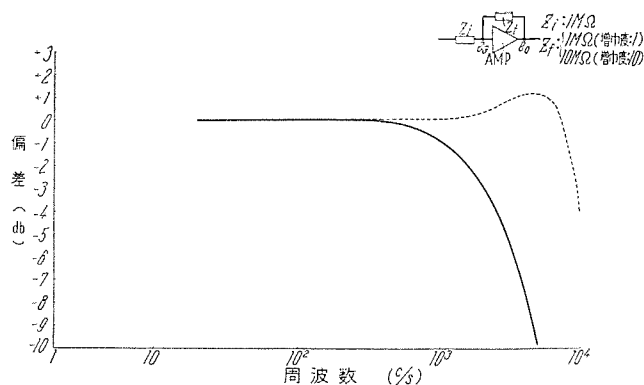
出力電圧……±50 V (下記の最大負荷時)

出力電流……最大 12.5 mA (HI-PWR のとき)  
6.25 mA (LO-PWR のとき)



34 図 演算増幅器盤 A 型 結線図

Fig. 34. Operational amplifier panel "A" connection diagram.



33 図 演算増幅器周波数特性

Fig. 33. Frequency characteristics of an operational amplifier.

駆動最大負荷……4 kΩ (HI-PWR のとき)

8 kΩ (LO-PWR のとき)

HI-PWR の状態ではペン書オシロを直接駆動したポテンシオメータ 12 個を負荷させることができる。  
利得……80 db 以上

周波数特性……33 図に示す。入力抵抗 100 kΩ 饋還抵抗 10 MΩ のときには 200 c/s まで平坦である。

ドリフト……1 mV/h 以下

使用真空管……6SN7-GTB 3 本

“USE-ADJ”の切換スイッチを有し“ADJ”の位置では  $R_f/R_i=100$  の高利得で増幅器のバランスおよび零調整を行うことができる。(4 章イ節参照) また出力側に“HI-PWR, LO-PWR”の切換スイッチがあつて必要に応じて適宜切換が可能である。

入力段は差動増幅器でドリフトの減少をはかると共に第 2 段には再生増幅を用いて利得をきわめて大きく設定できるようにしてある。

入力格子にはリレー接点を介して端子“I.C”に接続される回路があり、積分用蓄電器に初期条件として初期充電電圧を与えることができる。出力段はカソードフォロアであり、交流偏位電圧を与えたネオン表示燈があつて、出力電圧が上記最大値をこえた場合に警報表示するようになっている。

34 図にこの増幅器の結線を示す。

#### (2) 演算増幅器盤 B 型

出力電流を半分しかとれないこと、初期条件用リレーを有せず、したがって積分器としては使用できないこと、および過負荷警報表示燈を有しないこと以外は A 型とまったく同性能の演算増幅器 4 台を標準 1 パネルに組み込んだもので、加算、符号変換、常数倍などの演算に用いられる。

#### (3) ポテンシオメータ盤

全抵抗値 50 kΩ±2%，直線性 0.5%，回転角 3,600 度 (360 度×10) の 10 回転精密巻可変抵抗器 4 個を標準 1 パネルに収

容したもので、一定係数を設定するに用いる。目盛読取精度は 0.1 % である。

#### (4) リミッタ盤

6 個のバイアスを掛けた 2 極管部と、大地から隔離されたバイアス電源とから構成され、バイアス電源は  $\pm 50$  V に調整できる。7 章に記述のように演算増幅器と組み合わせて、飽和、不感帯、バックラッシュなどを模擬し、また入力電圧に対する折線近似の函数電圧を得ることができる。

使用真空管 6H6-GT 5 本

#### (5) 制御盤

演算増幅器の出力電圧、任意の点の電圧などを読取り、また初期条件用リレーを動作させて、演算の開始、停止を制御するための盤で零中心の  $\pm 100$  V,  $\pm 10$  V,  $\pm 1$  V の 3 レンジの電圧計と、切換スイッチから構成されている。

電圧計精度 1.5 %

電圧計感度 20,000  $\Omega$ /V

#### (6) 抵抗ブリッジ盤

6 章に述べたポテンシオメータの負荷効果を補正してポテンシオメータの精密調査を行うためのもので、全抵抗値 10 k $\Omega$ 、精度  $\pm 0.1$  %、直線性  $\pm 0.05$  % の抵抗ブリッジである。

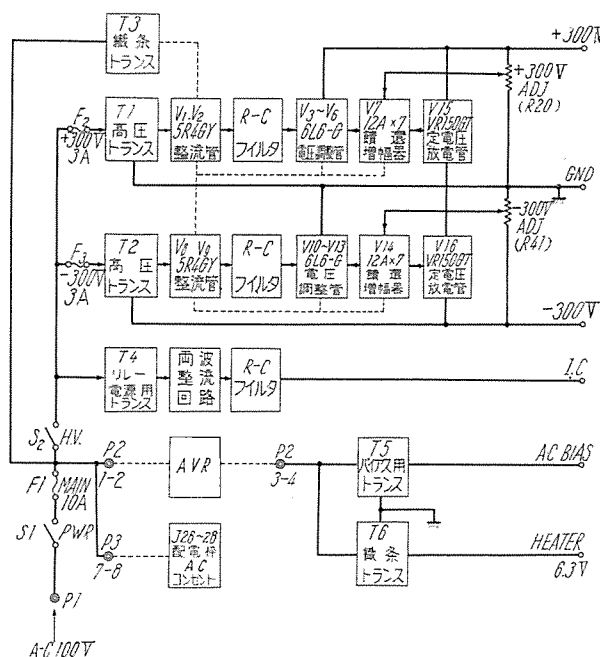
#### (7) 初期条件用電圧源盤

演算増幅器の饋還電圧に初期条件用電圧を供給するものであって 4 組の独立した直流電源を有する。

出力電圧可変範囲 0 $\sim$ 50 V 以上

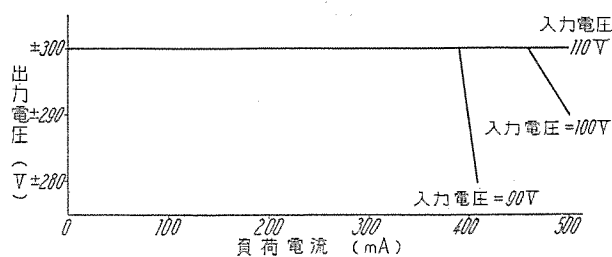
#### (8) 電圧源盤

単位電圧を供給するために用いる独立の直流電源で、電池、多回転精密可変抵抗、極性交換スイッチなどで構成されている。



35 図 電源盤ブロック図

Fig. 35. Block diagram of a power supply panel.



36 図 電源盤定電圧特性

Fig. 36. Voltage stabilization characteristics of a power supply panel.

出力電圧調整範囲 0 $\sim$  $\pm 45$  V

電圧設定精度 最大出力  $\pm 45$  V に対し 0.1 %

#### (9) 電圧計盤

零中心の  $\pm 100$  V,  $\pm 10$  V,  $\pm 1$  V の 3 レンジを有する電圧計と切換スイッチを有し、任意の点の電圧を読取るのに用いる。また押しボタンスイッチを有し、50 $\mu$ A 感度のガルバノメータとしても使用できる。

電圧計精度 1.5 %

電圧計感度 20,000  $\Omega$ /V

#### (10) 連結盤

30 個の番号をもった端子穴を有し、各端子穴はそれぞれ対応した番号のコネクターピンに接続されており、多数の本体を設備した場合の相互の連結に用いる。

#### (11) 接続盤

本体中央部の上下に長い部分で、32 個の番号をもった 7 組の端子穴と 20 個の文字を持った 2 組余の端子穴を有し同番号、同符号の端子穴はいずれも互いに接続されているから、各パネル間の接続に便利である。また 28 個の接地記号を持った端子穴があって、いずれもラックに接続されている。

#### (12) 電源盤

演算増幅器用の +300 V, -300 V 350 mA; 初期条件リレー用 D-C 18 V 200 mA 真空管織条用 A-C 6.3 V 40 A および演算増幅器過負荷表示燈用の交流バイアス A-C 20 $\sim$ 40 V 可変を発生するものであって 35 図にブロック図を示す。+300 V, -300 V 電源は電子管制御式定電圧電源であって、整流回路、RC フィルタおよび饋還電圧調整回路よりなる。36 図はこの回路の動作特性曲線であって、出力端子におけるリップル電圧は 20 mV 以下である。A-C 6.3 V および交流バイアス電圧は外付きの自動電圧調整器によって安定化される。

入力は A-C 100 V $\pm$ 10 V 50-60 c/s に対し 1 kW である。

使用真空管

5R4GY 2 $\times$ 2, 12A $\times$ 7 1 $\times$ 2  
6L6-G 3 $\times$ 2, VR150-GT 1 $\times$ 2

#### オ. 付属品、予備品

(1) ペン書オシログラフ 1 台

エレメント: 2 素子

感度 : 入力電圧  $\pm 50$  V に対し振幅  $\pm 20$  mm

直線性 : 1% 以内

周波数特性: 20 c/s まで  $\pm 1\%$  以内

記録速度 : 0.5 2.5 12.5 cm/sec

信号刻時マーカ 2 個つき

入力電源 : A-C 100 V 50-60 c/s 130 mA

## (2) 自動電圧調整器

本体織条変圧器の入力側に入れて, 入力電源電圧の変動を調整するのに用いる.

入力 85~115 V 50 または 60 c/s

出力 100 V $\pm 1\%$  300 VA

## (3) ペン書オシログラフ用記録紙 10 本

円筒目盛セクション印刷 1 本長さ 40 m

## (4) 演算用蓄電器 (7 種類) 26 個

ポリスチロールコンデンサ 250 WV D-C

0.5 0.25 0.1 0.05 0.025 0.01

0.005 ( $\mu$ F) 容量偏差 0.5%

## (5) 演算用抵抗器 (6 種類) 20 個

絶縁型炭素被膜抵抗器 1/2 W

5 M $\Omega$  1%

1 M $\Omega$  500 k $\Omega$  250 k $\Omega$  100 k $\Omega$  50 k $\Omega$

各 0.5%

## (6) 接続コード (赤, 黒, 6 種類) 160 本

## (7) 演算用ダブルプラグ 56 個

## (8) 調整用ドライバ (大, 小) 各 1 本

## (9) プラスねじ用ドライバ (大, 中, 小) 各 1 本

## (10) 試験成績書 2 部

## (11) 取扱説明書 2 部

## (12) 予備品 1 式

6SN7-GTB 20 本

6H6-GT 5 本

電源部真空管 現用と同数

ネオン管, ヒューズ 現用と同数

## 15. む す び

以上, 電子管式アナログコンピュータの全般にわたる問題と低速度型の実際の装置についての概要を記述した. 最近自動制御の問題が各分野で真剣に取扱われるにつれ, アナコンの有用性は急速に認められてきたが, この傾向は今後ますます盛んになるものと思われる. また原子炉シュミレータや経済的電力配分装置用計算機, 電力系統における電子管ガバナなど単能機としてのアナコンの利用面も今後ますます開けるものと確信する. かかる風潮にかんがみアナコンも取扱の容易さ, 簡便さ, 安定性および精度 (とくに非線型要素における) の点で今後幾多の研究の余地が残されており, これが普及を見るためにはなお一段の努力が払われなければならない.

本稿を終るに当り, この装置の研究に尽力された研究所担当者各位のご援助に対し心から感謝の意を表わす次第である.

## 参 考 文 献

- (1) G. A. Korn and T. M. Korn: "Electronic Analog Computers". 2nd Edition 1956. McGraw-Hill Book Co. Inc.
- (2) "The Operation of the Boeing Electronic Analog Computer". Boeing Airplane Company.
- (3) J. Millman and H. Taub: "Pulse and Digital Circuits". Chap. 1. McGraw-Hill Book Co. Inc. 1956.
- (4) B. Chance et al.: "Waveforms". Chap. 2. MIT Radiation Laboratory Series, Vol. 9. McGraw-Hill Book Co., Inc. 1949.
- (5) 野田: 電学誌 74, 1093 (昭 29).
- (6) "Function Generator Operation Manual": Boeing Airplane Co. 1955.
- (7) Sternberg: RCA Review XVI p. 618, Dec. 1955.

# 永久磁石消弧式超高圧オートバルブ避雷器

伊丹製作所

大木正路\*・森 直次\*・岡田昌治\*  
岩崎晴光\*\*・鎌田隆好\*\*

## Extra High Voltage Autovalve Lightning Arresters Using Improved Series Gaps With Permanent Magnets

Itami Works

Masamichi OHKI・Naoji MORI・Masaji OKADA  
Harumitsu IWASAKI・Takayoshi KAMADA

The latest progress in the manufacturing technique of lightning arresters has made it possible to protect electric apparatus against the abnormal voltages due to not only lightning but switching surges by means of arresters. Type SV-W2 arresters operating on the principle applying a permanent magnet to the series gap to strengthen the ability of interrupting follow currents and prevent the wear of the electrode surfaces are the company's new products. Also Type SV-W2A arresters are among the rest, being provided with a device protecting them from explosion at the operation in excess of their duty. Recent operating results on the Type SV-W arresters at customer's power station and experiments on the Type SV-W2 arresters at a laboratory and substation of users have verified the arc extinguishing method to be of marked excellence.

### 1. ま え が き

避雷器は、電力系統における絶縁協調の根本をなすものであって、近年における避雷器製作技術の進歩は絶縁協調上の裕度を大幅に拡大すると共に、従来避雷器に課せられていた使命をも根本的に拡張変更する段階に達しつつあるといえることができる。

従来の避雷器は、雷による衝撃性過電圧に対する電気施設の保護を目的として製作され、当初は雷撃遠来進行波に対する保護と動作後の原状復帰性能とが主要な性能であったが、その後放電耐量の増大その他の進歩に伴って次第に相当程度の近接雷撃をも対象とすることができるようになり、とくに最近の製品は 100,000A の衝撃放電耐量を有しており、極近接雷撃による強大電流をも処理しうる能力を有している。このことは衝撃放電開始電圧および制限電圧特性の改善に伴う避雷器保護レベルの引下げにより被保護機器の基準衝撃絶縁強度(BIL)との間の裕度を大幅に増大することと相まって、避雷器の本来の使命である雷撃保護の役割について高度の信頼性を与えることができたわけである。

これに対し、回路の開閉操作や地絡あるいは短絡事故等の電力系統の内部に基因する過渡異常電圧いわゆる内雷は、従来の避雷器の規格では一応対象の外におかれていた。もちろん従来の避雷器でも、内部過渡異常電圧の程度によっては十分これを処理し、保護効果を発揮していた場合も少くないが、内雷処理を避雷器の使命として系統の絶縁設計を進めるといふ段階ではなかった。

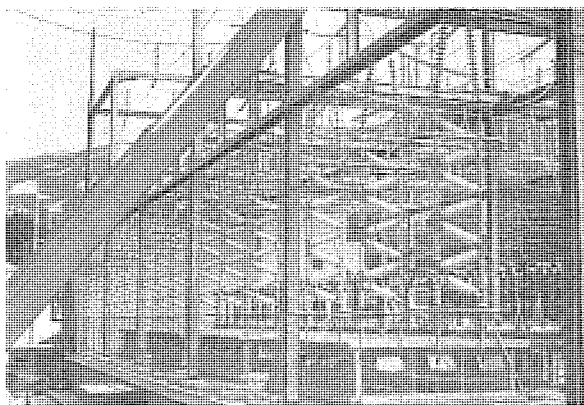
超高圧送電では有効接地方式がとられるので絶縁低減が行われるが、系統絶縁の経済的設計を行い得るために

は、避雷器の内雷処理能力がまず第一条件となってくる。また既設の非有効接地系統を有効接地系統に変更して送電々圧を昇圧する場合も、電圧階級が高いときには同様な問題が生ずる。さらにケーブル系統では内雷処理が避雷器の使命の大部分を占めるわけで、最近のように都市ケーブルが昇圧され亘長が大きくなってくるとこの面からも問題がクローズアップされてくる。

このような要請に応ずるべく最近数年間において避雷器製作技術にたゆまざる研究改良が加えられた結果、系統内部に基因する過渡異常電圧をも処理しうる避雷器が製作されるに至り、前述のように避雷器に課せられた使命が根本的に変更拡張される段階に達したわけである。

当社のオートバルブ避雷器は、昭和 29 年 3 月に中部電力三重変電所における現地試験において、SV-A3 型(許容端子電圧 10kV)についてケーブル亘長 12km, 24 km および 36 km および 12 km 3 回線相当の long duration surge ならびに亘長 24km 相当の long duration surge 反復 2 回による動作責務試験に最優秀の成績を納めることができて苛酷な内雷を処理しうることが明らかにされた<sup>(1)</sup>。

その後内雷処理能力を含めて一段と高性能を有する新型オートバルブ避雷器が SV-W 型として登場し<sup>(2),(3)</sup>、昭和 30 年秋には 287.5 kV 超高圧直接接地系統用として電源開発株式会社佐久間発電所に 15 相が納入され、今日に至るまで異常なく運転を続けている。この避雷器は後述するごとく内雷処理をも対象として、緩波頭サージ放電開始電圧試験(従来中間周波放電開始電圧試験とも呼ばれている)、long duration surge による動作責務試験および放電耐量試験が実施され、余裕をもって合



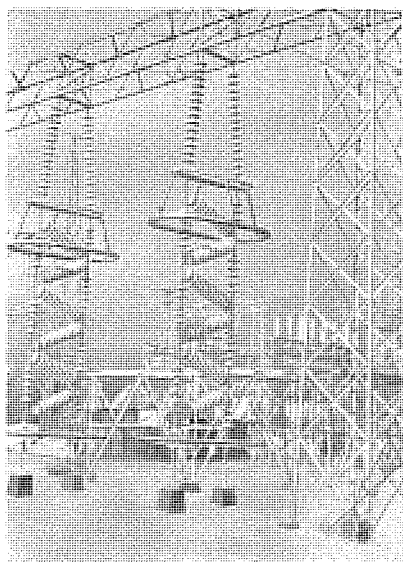
1 図 佐久間発電所において運転中の SV-W 型超高压オートバルブ避雷器 (許容端子電圧 260kV)

Fig. 1. Type SV-W extra-high voltage autovalve arrester at Sakuma Power Station, maximum permissible line-to-ground voltage 260kV.

格したものである<sup>(4)</sup>。1 図は佐久間発電所において運転中の超高压避雷器の全貌である。

SV-W 型はその後さらに改良研究が加えられ、直列ギャップに永久磁石を装着し、続流アークを磁気駆動して続流遮断能力を強化し、電極面の消耗を著しく軽減した新製品が誕生した。この型は SV-W 型の系列に属するもので SV-W2 型とよばれる。また回路電圧の異常持続上昇等によって避雷器が焼損した際、続流によって磁器ケーシングが爆発飛散するのを防止するために爆発防止装置を有する SV-W2A 型も製作されている。

この磁気吹消方式を有する新型避雷器は昭和 31 年秋より昭和 32 年春にかけて関西電力技術研究所および小曾根変電所における現地試験において、現行 JEC-131 の各試験に余裕をもって合格したことはもちろん、内雷を対象とする緩波頭サージ放電開始電圧試験、苛酷な long duration surge による動作責務試験および放電耐量試験を含む全試験に合格してきわめて優秀なる性能を有することが立証された次第である。この型の避雷器



2 図 SV-W 型および SV-W2 型避雷器の構造

Fig. 2. Construction of types SV-W and SV-W2 arresters.

は発電所用として公称電圧 10kV から超高压に至るまでの各電圧階級のものが製作されている。

この機会に新型オートバルブ避雷器の性能について記すと共に超高压避雷器としての諸特性について述べることにする。

## 2. 構造および特長

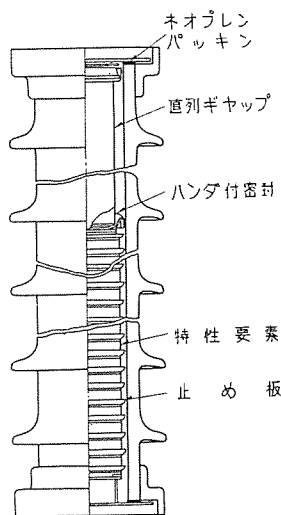
直列ギャップに永久磁石を装着して磁気吹消を行わせる方式の SV-W2 型は SV-W 型と外観上全く同一であって、超高压用ではたとえば 2 図のようになる。その構造および特長はつぎのようである。

### ア. ユニット方式

従来の型では、一般にギャップ部分と特性要素部分とはそれぞれ別個の磁器容器内に納められているが、本避雷器は 1 個の磁器容器内にギャップと特性要素とを納めて、これを避雷器ユニットとし、このユニットを電圧定格に応じた個数だけ直列に積み重ねる方式である。

普通ユニットとしては公称電圧 10, 20 および 30kV のものが使用され、したがってユニット自体 10, 20 および 30kV の完成した避雷器である。3 図は避雷器ユニットの内部構造を示す。

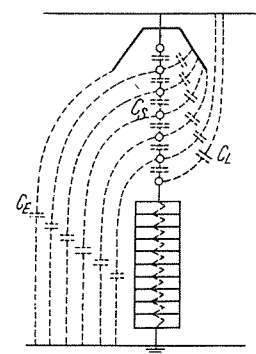
ユニット方式の特長は、ユニットの取換え、増減、定格の変更が容易であることで、互換性が増し、使用者側の予備品も種類および数量が少なくなり経済的である。従来の型でユニット方式を採用しないのは主につぎの理由による、すなわち絶縁物のギャップ・スペーサを使用している多ギャップでは、その放電開始電圧は、個々の単位ギャップの放電開始電圧にギャップの個数を乗じたものによるばかりでなく、4 図に示すような個々の単位ギャップ電極間の漂遊静電容量  $C_s$  と、ギャップ電極がそれぞれ線路および大地に対して有する分布漂遊静電容量  $C_L$  および  $C_B$  との組合せによって定まる直列ギャップ



3 図 SV-W2 型オートバルブ避雷器のユニットの構造

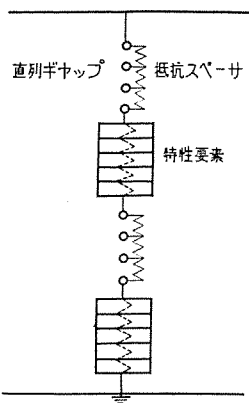
Fig. 3. Construction of arrester unit of type SV-W2 autovalve lightning arrester.

の電圧分布によって定まる。直列容量  $C_s$  はギャップ構造より大ききの



4 図 避雷器直列ギャップの電位分布と分布漂遊静電容量との関係

Fig. 4. Relation between the voltage distributions of series gaps of lightning arrester and distributed stray capacity.



5 図 抵抗スペーサを並列に使用した直列ギャップにおける電圧分布の改善

Fig. 5. Improvement of voltage distribution by series gaps with electrodes separated by resistance spacers.

限度があり、また  $C_L$  と  $C_E$  とは不平衡であるため、通常多ギャップの個数が増すほど線路側に近いギャップの負担電圧が大となり、ギャップの個数を増しても避雷器全体の放電開始電圧はあまり上昇しなくなる。したがってたとえば避雷器のユニットを積み重ねても避雷器の特性はユニットの個数に比例して上昇せず、電圧階級が高いほどその影響は顕著になる。この傾向を補正するために均圧環を付して  $C_L$  を大きくし、直列多ギャップにかかる電圧分布をなるべく均等にして使用するわけである。したがって従来の型では単にユニットを積み重ねただけでは所要の特性が得られず、均圧環を付した状態で全体として調整する必要がある、たとえば上下2段の碍管に直列ギャップが収容されているとき、上段と下段とを交換するだけですら避雷器の特性は変わってしまうので、一般的なユニット方式は採用できなかった。

SV-W2 型ではこの点 5 図に示すように直列ギャップにそれぞれ並列に抵抗スペーサを使用しているの、商用周波電圧に対する直列ギャップの電圧分布は主として抵抗中を流れる漏洩電流の電圧降下によって定まり、電圧分布の均等性は良好になる。したがってユニットを積み重ねてもその特性は大体ユニットの個数に比例し、ユニット方式を採用することができる。

電圧分布を均等化するには直列ギャップの並列抵抗の値を低くとればよいが、常時抵抗中を流れる漏洩電流が増大し、これが抵抗体および特性要素に悪影響を及ぼす恐れがあるので、並列抵抗の値はある程度高い値にとらざるを得ないことになる。したがって SV-W2 型避雷器でも電圧階級が高い場合には、商用周波電圧に対しても、4 図のような対線および対地漂遊容量の影響が無視しえなくなるため、やはり均圧環を設ける必要がある。この場合には単に電圧階級をユニットの定格で除した数だけユニットを積み上げればよいというわけにはゆかないが、あらかじめその電圧階級に対して適当に設計された均圧環を付し、さらに要すれば所要ユニットを追加することにより所要の特性を得ることができるので、やはりユニット方式といえることができる。

#### イ. 抵抗スペーサの使用

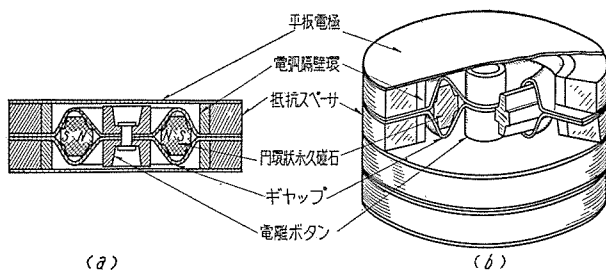
前述のように SV-W2 型避雷器の直列ギャップには並列に抵抗スペーサを使用している。このためユニット方

式を採用しうるのは上記のようであるが、その他にも多くの長所を有している。その1つは電圧階級が高いもののほど衝撃比が小となり、保護特性が良好となることである。回路電圧の異常上昇等により避雷器が動作することを防ぎ、また良好な続流遮断能力を保持するためには、避雷器の商用周波放電開始電圧はその避雷器についての所定値以上であることが必要であるが、上述のように抵抗スペーサの使用により直列ギャップにかかる電圧分布を比較的均等にしうるので、全体としての商用周波放電開始電圧を高くすることができる。

一方、雷電圧のような衝撃電圧に対しては、並列抵抗スペーサの抵抗値が相当高いため、時定数の関係から静電容量による影響が大となり、等価回路は 4 図の方に近くなる。したがって衝撃電圧に対する直列ギャップの電圧分布は、商用周波電圧に対するそれよりずっと不均等になり、全体の衝撃放電開始電圧は低下する。この結果衝撃比は小になり、電圧階級が高いほどこの傾向は顕著になる。

つぎに放電特性の点に関しては、不整が少ないことが特長である。絶縁物のスペーサを使用している場合、多ギャップの両端以外の電極の電位は種々の条件により浮動しやすいが、SV-W2 型では並列抵抗スペーサを使用し、定常漏洩電流を流してその電圧降下中の対応する電位がそれぞれ電極に与えられているため放電特性が安定している。濃霧時あるいは夜間の気温低下により露点に達したときのように、直列ギャップの磁器ケーシングの全表面が湿潤状態になると、避雷器の商用周波放電開始電圧が変動あるいは低下し、したがって続流遮断能力が低下することがある。これは磁器ケーシング表面の漏洩電流が増加し、この導電性の皮膜と電極との間に分布漂遊静電容量を生じ、4 図に示したような漂遊容量の組合せが崩れて、直列多ギャップにかかる電圧分布が変化するためである。SV-A2 型および SV-A3 型では磁器ケーシング表面にシリコンオイルの焼付処理を施し、湿潤状態における漏洩電流を抑制し、避雷器特性の安定に効果をあげている。SV-W2 型では 5 図のように常時漏洩電流を流している状態で調整されているので、磁器ケーシング表面の漏洩電流が増加しても、電圧分布に及ぼす影響は著しく小さく、この点特殊気象条件に対しても有利であることが特長である。SV-W2 型も磁器ケーシング表面にシリコンオイル焼付処理を施して外面の漏洩電流を抑制するようにしてあるため 2 重に効果を発揮できるようになっている。しかしながら磁器ケーシングの汚損等がある、表面の漏洩電流の値が著しく増すと抵抗スペーサを用いても避雷器特性の変動が免れなくなるため、使用中はたびたび清掃して、磁器ケーシング表面を清浄に保つことが必要である。

避雷器の保護効果を十分発揮するには、避雷器と被保護機器とをできるだけ近接させ、両者の間にサージの往復反射が生ずるのをなるべく防ぐことが必要である。



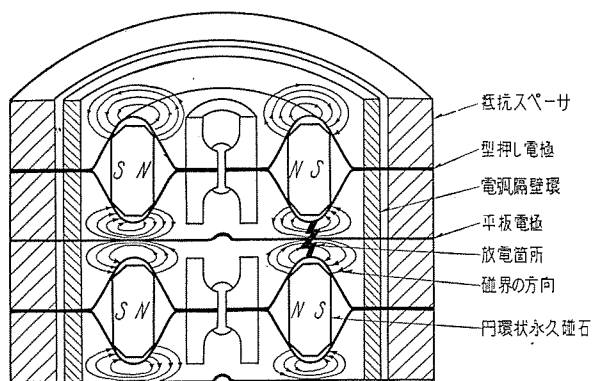
6 図 SV-W2 型オートバルブ避雷器のギャップ構造  
Fig. 6. Construction of unit gap assembly of type SV-W2 autovalve lightning arrester.

しかしながら避雷器の直列ギャップの電圧分布は 4 図に示すように漂遊静電容量の影響を受け易いので、近接物体の配置に対しては十分考慮せねばならない。この点抵抗スペーサを使用していると、電圧分布は 5 図の方に近くなり、漂遊静電容量はあまり影響を及ぼさないから有利である。

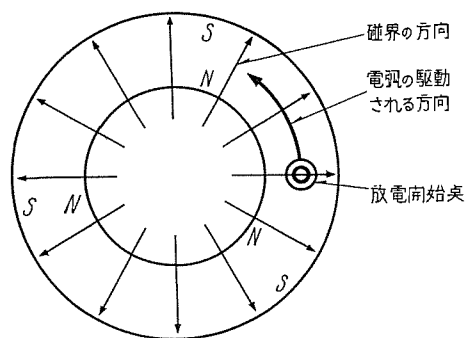
#### ウ. アークの磁気駆動による消弧方式

これは SV-W2 型が従来の SV-W 型ととくに異った点であって、直列ギャップの各電極内部に強力な永久磁石を装着し、ギャップ部分に生ずる放射状磁界によって続流のアークを駆動することにより、続流遮断能力を格段に向上させると共に、電極面の消耗をほとんど皆無ならしめ、苛酷な動作責務を繰返しても避雷器の特性に変化がないようにすることができたわけである。

ギャップの内部構造は 6 図に示すようで、円環状の電極と平板電極とを対向させ、抵抗スペーサと電弧隔壁環とで両電極を隔離してある。円環状の電極は環状の突起のついた 2 枚の真鍮板を背中合せにして構成するわけであるが、この電極内部の空間の部分に円環状の永久磁石を收容してある。この永久磁石は 7 図に示すようにたとえば円環の内側に N 極、外側に S 極という具合に着磁してあり、かつ磁石の特性上磁束が周辺の空間に出易くなっているため、隣接する磁石の磁束とも相まってギャップ部分の空間に強力な放射状磁界を生ずる。したがって 8 図に示すようにギャップ部分に生じたアークはこの放射状磁界の影響を受けて円環状電極に沿って駆動されることになる。この駆動によってアークの足も移動する



7 図 円環状永久磁石による磁界  
Fig. 7. Magnetic field due to ring form permanent magnet.



8 図 放射状磁界とアークの駆動  
Fig. 8. Radial magnetic field and its driving force.

から、冷却効果によって消弧能力は増大し、また電極面の消耗もきわめて軽微なものとなる。

この永久磁石は円環状電極の内部にあるため、電流は永久磁石を包むようにして流れるから電流に伴う磁界は永久磁石に作用せず、しかもこの永久磁石は抗磁力がきわめて大きいので、大電流サージ等によっても減磁されるおそれはない。これは永久磁石を使用する上で重要な点である。

永久磁石を使用することは、他力式消弧方式の一種であって、常に一定の磁界が作用していることが特長である。磁気吹消コイルを利用する場合は、自力式消弧方式であって、吹消に要する磁界を強力にするためにはコイルの励磁電流を増す必要があり、コイルの励磁には避雷器自体の続流を利用するので、したがって避雷器の続流値を増す必要が生ずる。これはせつかく非直線性抵抗体の特性要素を用いて続流を抑制して、もって直列ギャップにおける続流遮断性能を向上せんとする本来の要求と矛盾するわけである。また吹消コイルを利用する場合には、続流が自然 0 値を通過する瞬前の肝腎のときに磁界がなくなってしまう欠点がある。この点永久磁石を使用しているときは、磁界の強さは続流値と無関係に一定であるから、非直線性特性要素の本来の目的の 1 つである続流の抑制効果を十分に発揮させることができ、しかも続流が自然 0 値に至る過程においても強力な一定磁界を作用させることによって、避雷器の続流遮断能力を向上させることができる。

#### エ. 電離ボタンの使用

6 図のギャップ内部構造に見られる他の特長として、電離ボタンがある。すなわちギャップの内部に高誘電率の絶縁性良好な電離ボタンを装備してあるため、印加電圧がギャップの放電開始電圧に達する前に、その先端にコロナを生じギャップを照射するので、衝撃波に対する放電の遅れを短かくし、衝撃比を低下できる。

単位ギャップの衝撃比はほとんど 1 である。

#### オ. 電弧隔壁環の使用

6 図に示すように、抵抗スペーサの内側に電弧隔壁環を設け、ギャップ部分に生ずるアークが抵抗スペーサに触れることを防止している。

### カ. ハンダ着密封

ギャップは二重容器に収められ、内部容器は金具と磁器とをハンダ着してあるため、湿気浸入による障害は実用上完全に除かれる。

### キ. 放電耐量の増大

最近の避雷器の飛躍的進歩の1つは放電耐量の増大である。これは衝撃大電流のみでなく、長波尾長の雷放電、ケーブル系統に蓄積された大電荷の放電、開閉サージ等の高エネルギーの放電に対しては長時間継続サージに耐えることが要求され、これらの目標に対して努力が続けられてきた。その結果は昭和29年春中部電力三重変電所で行われたケーブル系統用避雷器の現地動作責務試験において十分な放電耐量を有することが立証された。この特性要素は、当社研究所における多年の研究の成果であって、同心円状に材質組成の異なる炭化硅素粒を並べて成型したものである。従来避雷器特性要素円盤に流れる雷電流は周辺部ほど大きくなるため側面閃絡や周辺部の貫通を生じ易く、これによって放電耐量が限定される欠点があったが、本特性要素では周辺部は電流が流れがたいため結局電流分布が均等になり放電耐量が飛躍的に増加したわけである。(特許) この特性要素はさらに全数50kA程度の衝撃大電流を印加して特性要素の強化安定処理を施している。かくすることにより炭化硅素粒子間の接触状態が良好になり、放電耐量が一層増大する。実験の結果 $5 \times 10 \mu\text{s}$ あるいは半波高時間 $15 \mu\text{s}$ で100kAの衝撃大電流、および2ms、400Aの矩形サージに耐え得ることが明らかにされている。現在当社の発電電所オートバルブ避雷器にはSV-A3型、SV-W2型およびSV-W2A型とも全部かかる特性要素が使用されている。

### ク. 耐震構造

電圧階級の高いものでは2図に示すようにジグザグ型に全体を懸垂し、かつ高さを低くしてあるので、耐震構造が強化され、同時に電圧分布も良好になる。丸山発電所の140kV級で、本体の高さ4m400、懸垂碍子および下部スプリングを含めても約7mであり、また直接接地系統用287.5kV級で、本体高さ約5m800であり、鉄構から地上面まででも約10mである。場合によっては三脚式としてユニットを螺旋状に配置し、一層高さを切りつめることもできる。

### ケ. 絶縁抵抗値

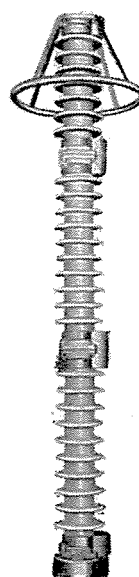
SV-W2型避雷器は抵抗スペーサを使用しているのでギャップを含むユニットの抵抗値も、従来の避雷器のように無限大に近いものでなく、30kVユニットでおおよそ $100 \sim 200 \text{M}\Omega$ 、20kVユニットでおおよそ $60 \sim 120 \text{M}\Omega$ の値を示すのが普通である。したがって定期的に絶縁抵抗を測定することにより、避雷器の状態を監視することができる。

### コ. 爆発防止装置

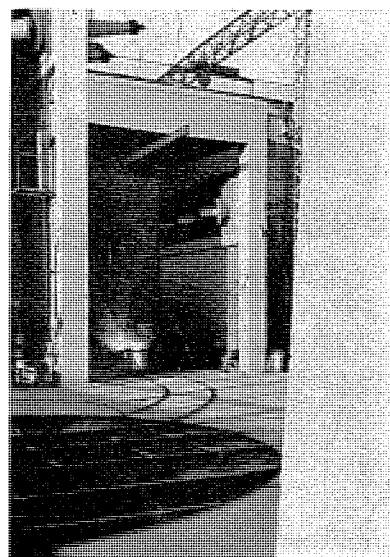
以上はSV-W2型およびSV-W2A型に共通の特長事項であったが、SV-W2A型はこの他に爆発防止装置を備

えている。これは9図に示すように外観上金具の構造が少し異っており底板は二重になっていて、内側の底板はアルミ鋳物等で一部がとくに薄くつくりされている。特性要素の間には fusible metal が挿入されており、たとえば回路電圧が異常上昇して避雷器の商用周波許容端子電圧をこえた状態で避雷器が動作したとか、系統事故時に強大な内部過渡異常電圧が発生したとかの原因により、避雷器が続流遮断不能に陥ったときは、特性要素の温度上昇により、この fusible metal がとけて、特性要素を速やかに短絡するようになっている。したがって避雷器内部には大きな短絡電流が流れ、内部圧力が所定値に達すれば、底板の薄い部分が破壊してガスを噴出する。このガスは9図に見られる金具のふくらんだ部分で逆向きに曲げられ、磁器ケーシングの周囲に噴出することになる。このようにイオン化したガスが磁器ケーシングのまわりを包むので、上下の金具を電極として磁器ケーシングの外部でアークが発生し、結局避雷器内部のアークは避雷器の外部へ移されるわけである。かくして避雷器磁器ケーシングの爆発飛散を防止することができる。

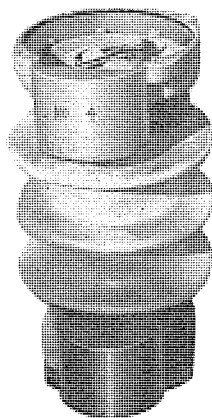
10図は50,000kVA短絡発電機を使用して回路電圧で避雷器を動作させ10,000Aの短絡電流を流して試験した場合の写真であって、底板が破壊してガスを放出している状況がよくわかる。試験後の避雷器の状態は11図のようで外側の底板をとり去って内側の底板が見えるようにしてある。底板が破壊してガスが放出口より磁器ケ



9 図 爆発防止装置を備えた SV-W2A 型避雷器 (関西電力坂下発電所約 140kV 変圧器中性点保護用変圧器に直接取付)  
Fig. 9. Type SV-W2A arrester with explosion-proof device.



10 図 爆発防止式避雷器の試験状況  
Fig. 10. Testing of explosion-proof arrester.



11 図 試験後の避雷器の状態  
(内側の底板が破壊し、ガスが噴出してアークが避雷器外部に移り、磁器ケーシング自体は爆発飛散することが防止されたことを示す)

Fig. 11. Arrester after the test.

ーシングの方へ噴出したが、磁器ケーシング自体は爆発飛散していないことを示している。

最近の避雷器の進歩に伴い避雷器で処理され得る責務の範囲はきわめて広がったが、系統によっては基本周波共振および高調波共振異常電圧、あるいは事故時に系統切り分けの際系統がフロートする等の原因によって種類の異常電圧が発生し、避雷器の責務外の状態の起る可能性があるため、このような爆発防止式の避雷器は歓迎されるものと思われる。

### 3. 動作

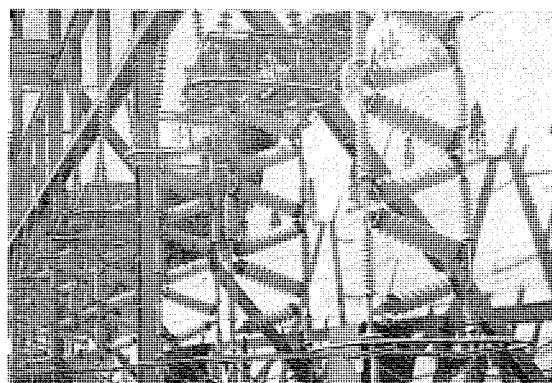
常規使用状態においては抵抗スペーサを通る数分の一ミリアンペアの漏洩電流に伴う電圧降下により、直列多ギャップにかかる電圧分布を均等化し、避雷器は放電を開始しない。雷サージが襲来すると、直列ギャップにかかる電圧が増大し、電離ボタンの先端にコロナを生じ主ギャップを照射するため、主ギャップの放電開始電圧に達した際はほとんど放電の遅れなしに避雷器は動作する。

ギャップが放電すると雷サージは特性要素を通して大地へ流れるが、特性要素は大電流に対して十分低い制限電圧を有するため、被保護機器との絶縁協調が保たれる。

サージ通過後、続流は特性要素によって抑制されるが、直列ギャップの個々の電極には永久磁石が装着されており、強力な放射状磁界によってアークが駆動され、続流は最初の半サイクル以内に遮断されて避雷器は原状に復帰する。

### 4. 佐久間発電所納入超高压避雷器の試験結果

すでに「まえがき」の項でも記したとおり、当社では昭和30年秋に287.5kV超高压直接接地系統用として電源開発株式会社佐久間発電所にSV-W型許容端子電圧260kVの超高压避雷器15相を納入し、今日に至るまで異常なく運転を続けている。この避雷器は型名の示すように直列ギャップに永久磁石を装着する以前の型であるが、その後わが国では287.5kV系の新設は今日まで無いので、超高压避雷器の実績データとしてその試験結果についてまず記し、その後にSV-W2型としての特性を述べることにする。



12 図 佐久間発電所納入のSV-W型超高压オートバルブ避雷器

Fig. 12. Type SV-W extra-high voltage autovalve arrester at Sakuma Power Station.

12図は佐久間発電所に据付けられた避雷器で、ジグザグ構造に懸垂した耐振型で、絶縁碍子として鉄構からの懸垂部分は250mm懸垂碍子、ユニット支持部分には長幹碍子を使用している。

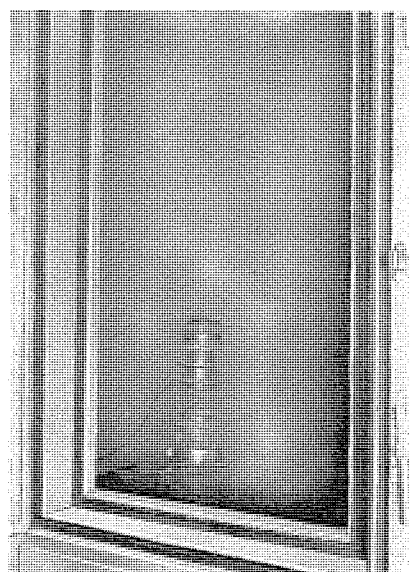
#### ア. 特殊気象条件に対する試験

JEC-131の乾燥、注水状態以外に、特殊気象条件として、汚損、霧中汚損、汚損氷結等の種々の状態のもとで試験を行った。1/6.67の分割単位についての結果は1表に示すようである。

ただし汚損は塩分100mg/1,000cm<sup>2</sup>、カオリン3g/1,000cm<sup>2</sup>を目標として行ったが、碍管表面にシリコン処理が

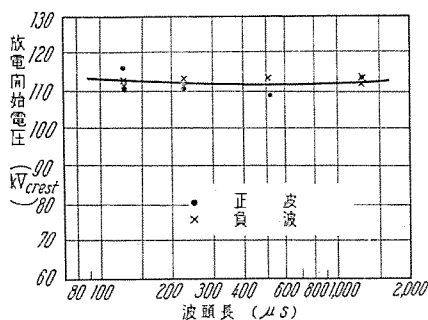
1 表 特殊気象条件における放電開始電圧

状 態	放 電 開 始 電 圧 (kV)				
	商 用 周 波	緩波頭サージ (515 μs)		衝 撃 波	
乾 燥	88.0	+108.5	-113	+199	-174
注 水	—	+113	-117	—	—
汚 損	97.8	—	—	+189	-186
霧 中 汚 損	97.2	—	—	+202	-196
汚 損 氷 結	95.8	+109	-118	+197	-156



13 図 避雷器の霧中汚損試験状況

Fig. 13. Test of a contaminated arrester in the fog chamber.



14 図 緩波頭サージに対する放電開始電圧特性  
( $1/6.67$  分割単位について試験)

Fig. 14. Spark-over voltage characteristic due to surges of less steep wave front.

施してあるため撥水性があつて付着しにくく、実際の試験は塩分  $90\text{mg}/1,000\text{cm}^2$ 、カオリン  $0.7\text{g}/1,000\text{cm}^2$  の付着量について行われた。霧中汚損は冷凍室で  $+3^\circ\text{C}$  まで下げて避雷器碍管の表面温度を下げた後、室内に蒸気を出し、碍管表面で露点になり水滴を生じた状態で試験を行った。汚損氷結は上記の霧中汚損で碍管表面に水滴がたまったまま冷凍し、氷結状態にして行った。13 図は霧中汚損の試験状況を示す写真である。

抵抗スぺーサの使用と磁器容器表面シリコンオイル処理の効果により放電特性の変動は僅少で、実用上保護性能が変化しないことが認められる。特殊気象条件下の動作責務試験については後述する。

#### イ. 緩波頭サージ放電開始電圧

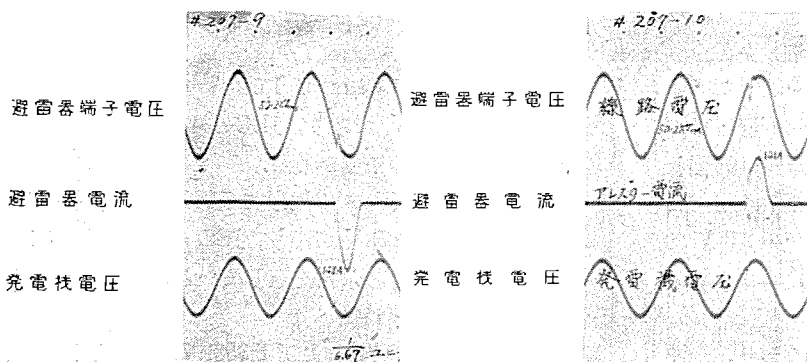
開閉サージに対しても機器を保護するためには、衝撃波と商用周波との中間の領域においても絶縁協調を保つ必要がある。そのため  $200, 485, 1,100, 2,000\text{c/s}$  の電圧波の波頭上昇と等価の波頭長を有する緩波頭サージによる放電開始電圧試験を行った。

$1/6.67$  の分割単位の試験結果は 14 図のようで、ほとんどフラットであり、保護性能に変わりはない。また各ユニットの和は  $772\sim 791\text{kV}$  で仕様値  $800\text{kV}$  以下であった。

#### ウ. 動作責務特性

##### (1) 普通動作責務特性

$1/6.67$  ユニットすなわち許容端子電圧  $39\text{kV}$ 、 $1,500\text{A}$  の制限電圧  $114\text{kV}$  のユニットにつき  $+3,350\text{A}$  のサ-

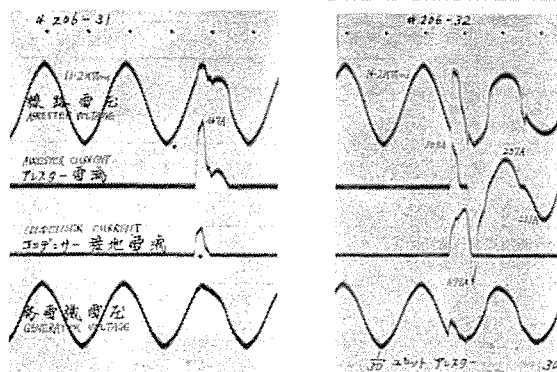
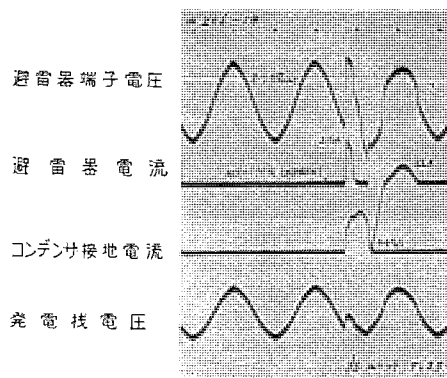


(a) 逆極性 (b) 正極性

15 図  $1.8\text{E}$  相当霧中汚損動作責務試験オシログラム

Fig. 15. Oscillograms of operating duty tests under fog contamination at equivalent to  $1.8\text{E}$ .

(a)  $1.4\text{E}$  相当 10 回目  
逆極性



(b)  $1.7\text{E}$  相当汚損氷結試験 (左: 正極性 右: 逆極性)

16 図 許容端子電圧  $8.67\text{kV}$  避雷器ユニット ( $1/30$  分割単位) の長波尾長サージ動作責務試験オシログラム

Fig. 16. Oscillograms of operating duty tests on arrester unit of maximum permissible line-to-ground voltage  $8.67\text{kV}$  against surges with a long tail.

ジによる正規動作責務試験 10 回のうち、機圧を  $2.8\text{kV}$  ずつ高め、 $1.8\text{E}$  相当の  $50.2\text{kV}$  まで試験したが、乾燥、霧中汚損、注水共半サイクルで完全に続流を遮断した。

15 図は霧中汚損時のオシログラムである。

##### (2) 長波尾長サージによる動作責務特性

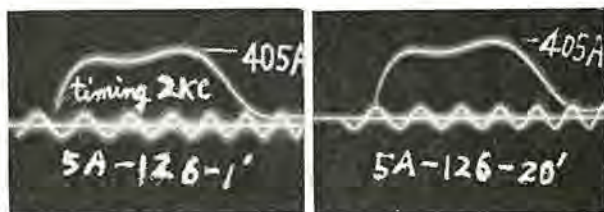
$1/30$  ユニットすなわち許容端子電圧  $8.67\text{kV}$ 、 $1,500\text{A}$  の制限電圧  $22.9\text{kV}$  のユニットにつき、 $1,800\mu\text{s}$ 、 $400\text{A}$  の矩形サージによる動作責務試験を行った。本試験も  $1.4\text{E}$  相当 10 回のうち、特殊気象条件下で 2 表のような限度まで行われ、内雷および長波尾長サージに対する続流遮断能力も十分あることが確かめられた。16 図は代表的なオシログラムである。

#### エ. 放電耐量

衝撃大電流に対しては  $100\text{kA}$  の放電耐量を有するが、この外 long duration surge に対する試験も行われた。17 図は特性要素 4 枚に 2 分間隔で 20 回、 $1,850\mu\text{s}$  の矩形サージを流したときの第 1 回目および第 20 回目のオシログラムである。

#### オ. 気密試験

避雷器を水および湯の中につけ、フロンガス漏洩検出器を用い、 $3\text{kg}/\text{cm}^2$  までの気密を確かめ、完全であった。



(a) 第1回目試験 (b) 第20回目試験

17 図 矩形サージに対する放電耐量試験オシログラム (継続時間 1,850 $\mu$ s, 波高値 405A)

Fig. 17. Oscillograms of discharge current withstand capacity tests against long duration surges.

2 表 長波尾長サージによる統流遮断限度

状 態	機 圧	同 極 性	逆 極 性
乾 燥	1.6E 相当	良 好	遮断不能
注 水	1.8E "	"	"
汚 損 氷 結	1.7E "	"	"

3 表 佐久間発電所納入避雷器の総合特性

電 圧 (kV)	乾 燥	注 水
商用周波放電開始電圧	560	584
衝撃放電開始電圧	+677, -707	+727, -687
制 限 電 圧 (放電電流 (A))	701 (1,500)	835 (5,000) 928 (10,000)

### カ. 総合特性

ユニットを組立てた場合の特性は3表のようであった。

## 5. 永久磁石消弧式オートバルブ避雷器の特性

最近開発された永久磁石消弧式オートバルブ避雷器は、SV-W2 型としてすでに製品化されているが、昭和31年秋より昭和32年春にかけて関西電力技術研究所および小曽根変電所における現地試験において、現行 JEC-131 の各試験に余裕をもって合格したことはもちろん、内雷を対象とする緩波頭サージ放電開始電圧試験、苛酷な long duration surge による動作責務試験および放電耐量試験を含む全試験に合格してきわめて優秀な性能を有することが立証されたことは前にも述べたごとくである。この避雷器の試験結果をつぎに記す。

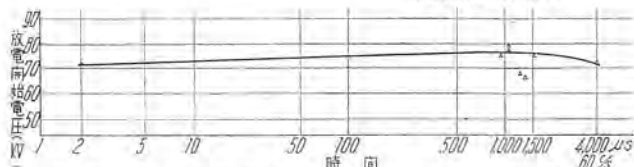
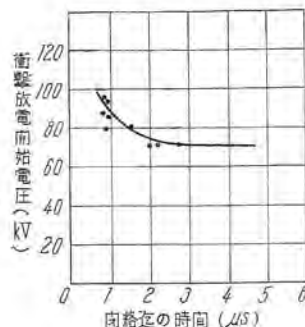
供試避雷器は公称電圧 20kV のもので、有効接地系統における外雷および内雷処理、あるいはケーブル系統における内雷処理を使用対象としている。有効接地系統では一線地絡事故時の回路持続電圧上昇は非有効接地系のそれより低く、またケーブル系では主として内雷処理のみを考えるので、放電電流は外雷の場合よりも小さく、それだけ制限電圧を高くとり得るわけで、逆にいえば制限電圧を基準に考えると、許容端子電圧の低い避雷器について試験すればよいことになる。この両者の目的を1つの避雷器でチェックするため、供試避雷器の商用周波許容端子電圧は 1.2E (E は公称電圧) すなわち 24kV として選定製作された。

### ア. 商用周波放電開始電圧

商用周波放電開始電圧は製作時 52.5kV であり、一連の動作責務試験を含む全試験の前に現地で測定した値は 51.5kV、また全試験終了後測定した値は 53.0kV であった。これらの値は試験装置、測定日等が全く異なる場合

18 図 SV-W2 型 20kV 避雷器 V-t 特性

Fig. 18. V-t characteristic curve of type SV-W2 20kV arrester.



19 図 SV-W2 型 20kV 避雷器放電開始電圧-時間特性  
Fig. 19. Sparkover voltage-time characteristic of type SV-W2 20kV arrester.

の値であるから、バラツキは比較的少ないものと見てよく、平均すれば 52.5kV 程度の値である。

### イ. 衝撃放電開始電圧

18 図は V-t 曲線を示し、2 $\mu$ s における値は 73kV となり、JEC-131 の規定値 90kV 以下に対して十分の裕度を有している。

### ウ. 緩波頭サージ放電開始電圧

開閉サージに対しても絶縁協調を保ち得るかを確かめるため、緩波頭サージを印加した場合の放電開始電圧が測定された。

19 図は衝撃波および商用周波の全領域を含む放電開始電圧-時間特性で、特性は flat であり、波頭長 1.5ms における値は 75kV である。

機器の開閉サージ強度は現在のところ明確になっていないが、Bellaschi 氏はおもに電圧階級の高い機器に対して試験した結果、開閉サージ領域の緩波頭サージに対する絶縁強度は BIL の 80% に当るとしている。したがって 20kV 変圧器を例にとると、BIL は 150kV であるから開閉サージに対する絶縁強度は  $150\text{ kV} \times 0.8 = 120\text{ kV}$  となる。

この値と比較すれば、測定値 75kV は十分な裕度を有している。

### エ. 制限電圧

波形  $(4.5 \sim 5.5) \times 14.4\mu\text{s}$  で 1,500A の放電電流における制限電圧は 76kV であり、JEC-131 の規格値 85kV 以下に対して十分の裕度がある。

また  $8.8 \times (18 \sim 19)\mu\text{s}$  の波形で 5,000A の放電電流における制限電圧は 87kV であり、JEC-131 の規格値 100kV 以下に対して十分余裕を有している。

### オ. 普通動作責務特性

25,000kVA の発電機および 8,333kVA の変圧器 2 台並列の電源を使用して試験が行われた。結果は 4 表に示すように、許容端子電圧 1.2E においてはもちろん 1.4E においても合格している。

4 表 SV-W2 型避雷器の普通動作責務試験結果

試験番号	端子電圧 (実効値) (kV)		サージ 電流 (A)	サージ 印加位相	続流値 (波高値 A)		備考
	試験前	続流時			BO	MO	
1.2N-1	25.0	25.0		63°	80	72	続流遮断成功
2	25.0	24.0	3,400	64°	78	70.5	"
1.2P-1	24.0	24.0	3,200	60°	55	54	"
2	24.2	24.0	3,040	60°	59	54	"
3	24.4	24.0	3,040	60°	56	54	"
4	24.4	24.0		67°	59	54	"
1.4N-1	27.6	27.6	3,600	54°	106	98	"
1.4P-1	—	—	3,120	—	99	—	"

注 本避雷器は許容端子電圧が 1.2 E (1.2×20=24 kV) に設計されているものである。  
試験番号の 1.2 は避雷器に印加されている商用周波数端子電圧が 1.2 E (1.2×20 kV =24 kV) 1.4 は 1.4 E (1.4×20 kV=28 kV) なることを示し、また P は同極性、N は逆極性のサージを印加したことを示す。  
したがってこの試験は許容端子電圧以上に端子印加電圧を上げた場合にも行われたもので、許容端子電圧 1.4 E の避雷器としての性能を有していることがわかる。

5 表 SV-W2 型避雷器の長波尾長サージによる特殊動作責務試験結果

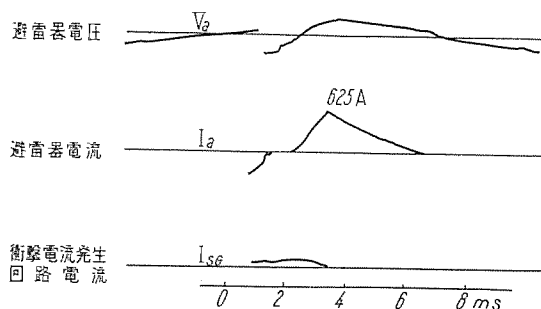
試験番号	端子電圧 (実効値)		続流 (波高値)		サージ電流			備考
	試験前	続流時	BO 記録	MO 記録	最高値	継続 時間 μs	続流遮 断時間 μs	
1.2 Pa-1	24.2	19.8	40	41	297	645	2,605	続流遮断成功
-2	"	15.3	40	43	315	640	2,600	"
1.2 Na-1	24	45.5	528	473	315	640	1,210	"
-2	24	46.6	544	456	322	590	1,390	"
-3	"	"	512	440	311	615	1,505	"
-4	"	45.9	539	438	324	615	1,480	"
1.4 Pa-1	28.7	24	77	77	349	605	2,135	"
"	28.7	47.7	625	531	349	625	1,355	"

注 試験番号の 1.2 は避雷器に印加されている商用周波数端子電圧が 1.2 E (1.2×20 kV=24 kV)。P は同極性、N は逆極性のサージを印加したことを示す。  
この避雷器は許容端子電圧が 1.2 E に設計されているが、この試験により、許容端子電圧 1.4 E の避雷器としての性能を有していることがわかる。

#### カ. 長波尾長サージによる特殊動作責務特性

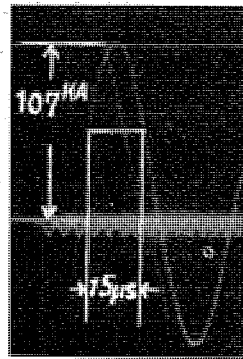
内雷処理の可否を定める鍵の 1 つとなる試験で、20 kV ケーブル系統、70 kV ケーブル系統および 287.5 kV 超高压系統を対象とした苛酷な試験が行われた。結果は 5 表に示すようで、許容端子電圧 1.2 E におけるばかりでなく、1.4 E においても合格し余力を示している。20 図はオシログラムの一例を示す。

この試験は避雷器が処理すべき内雷としてエネルギーの点から最も苛酷な無負荷線路の充電電流遮断時のサージを等価的に模擬したもので、蓄電器の充電電圧 75 kV は許容端子電圧波高値の約 3.1 倍 (常規対地電圧波高値の約 7.5 倍) の苛酷な再点弧サージに相当するが、かかる程



20 図 長波尾長サージによる SV-W2 型避雷器の特殊動作責務試験オシログラム (1.4E 逆極性)

Fig. 20. Oscillogram of operating duty tests of type SV-W2 arrester against surges with a long tail.



21 図 衝撃大電流放電耐量試験オシログラム (振動性サージ第 1 波の波高値 107 kA, 半波高時間 15 μs)

Fig. 21. Oscillogram of discharge current withstand tests of heavy surge currents.

度の内雷によって避雷器が動作した場合にも続流を遮断しうることを示すものである。

#### キ. 衝撃放電耐量

JEC-131 に準じて  $(7.5 \sim 8) \times (16 \sim 19) \mu s$  の波形を有する衝撃電流 21.250 A を印加してももちろん異常なく、そのときの制限電圧は 110.1 kV であった。

この避雷器に使用している特性要素は、2 節でも記したように 100 kA の放電耐量を有するもので、21 図は半波高時間 15 μs、波高値 107 kA の振動性サージを流したときのオシログラムである。

#### ク. 矩形サージに対する放電耐量

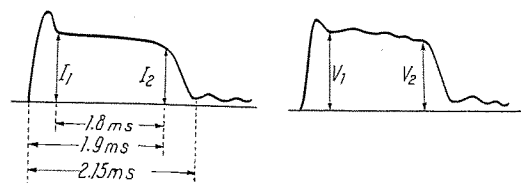
内雷に対する放電耐量を検する目的で、矩形サージを印加して試験が行われ、6 表のような記録が得られたが、避雷器にはなんらの異常もなかった。

この避雷器は前述のように、継続時間 2,000 μs、波高値 400 A の矩形サージ 20 回にも十分耐え得るもので、IEC, AIEE あるいは NEMA の規格すなわち継続時間 2,000 μs、波高値 150 A に対しても余裕がある。

6 表 SV-W2 型避雷器の矩形サージに対する放電耐量試験結果

試験 番号	充電 電圧 (kV)	電 流 値			電 圧 値			電気量 $I_{mean} \times t$ (Coulomb)	エネルギー $V_{mean} \times t$ (kW sec)	備考
		$I_1$ (A)	$I_2$ (A)	$I_{mean}$ (A)	$V_1$ (kV)	$V_2$ (kV)	$V_{mean}$ (kV)			
1	75	212	137	175	38.4	29.8	34.1	0.350	11.9	異 状 な し
2	80	233.5	167	199	39.7	31.6	35.7	0.398	14.2	
3	90	284	189	237	42.6	34.5	38.6	0.474	18.3	
4	100	347	240	294	45.6	35.4	40.5	0.488	35.0	
5	75	239	172	206	42.1	34.6	38.4	0.412	15.8	
6	80	258	184	221	41.7	33.0	37.0	0.442	16.5	
7	90	321	275	298	45.4	37.0	41.2	0.596	24.6	
8	"	351	256	303	48.5	39.7	44.1	0.606	26.7	
9	"	360	252	306	48.8	40.2	44.5	0.612	27.2	
10	"	358	259	308	48.8	40.0	44.4	0.616	27.3	
11	"	364	262	313	49.0	40.0	44.5	0.626	27.9	
12	"	361	257	309	49.2	"	44.6	0.618	27.6	
13	"	367	259	313	49.0	40.7	44.9	0.626	28.1	
14	"	364	258	311	47.3	39.4	43.4	0.622	27.6	
15	"	362	260	"	47.2	38.7	43.0	"	26.8	
16	"	365	257	"	47.3	38.5	42.9	"	26.7	

注 表中  $I_1$ ,  $I_2$  および  $V_1$ ,  $V_2$  は下図に示す点の電流値および電圧値を示すもので  $I_{mean}$ ,  $V_{mean}$  はおのおの  $I_1$  と  $I_2$  および  $V_1$  と  $V_2$  の平均を示すものとし、電気量およびエネルギーの項にある  $t$  は継続時間を示し、ここでは 2 ms とおいて算定されている。



7 表 三菱超高压オートバルブ避雷器特性一覧表

特 性 項 目	実 績 値		仕 様 値	
	佐久間発電所納入 超高压避雷器	小曾根変電所 試験 実績より換算	保証値	設計値
最高回路電圧 (kV)	287.5	287.5	287.5	287.5
商用周波許容端子電圧 (kV)	260	260	260	260
商用周波放電開始電圧 (kV)	560	492	460以上	520
商用周波耐圧 (kV)	500		500	700以上
衝撃耐圧 (kV)	1,050		1,050	1,425以上
衝撃放電開始電圧 (kV)	727	678	840以下	700
緩波頭サージ 放電開始電圧 (kV)	791	696	750以下	735
制限電圧(kV)	1,500A	701	705	620
	5,000A	835	840以下	750
	10,000A	928		820
	20,000A			920
動作責務特性				
(a) 衝撃波に対し	334以上	280以上		280以上
(b) 矩形波に対し	278	280以上		280
放電電流(A)				
(a) 衝撃波 (15 $\mu$ s)	100,000	100,000	20,000	100,000
(b) 矩形波 (2,000 $\mu$ s)	400	400	400	400

以上のように1台の供試品で上記各種の試験につぎつぎと耐えて全試験に合格し、しかもなお余力を有していることはSV-W2型オートバルブ避雷器の優秀性を物語るものである。

## 6. 超高压避雷器としての特性

以上述べた佐久間発電所納入の超高压避雷器の実績およびSV-W2型について得られた今回の実績から換算した値を表にまとめ、これらを基礎として超高压避雷器として現在のところ妥当と考えられる保証値および設計値を示したものが7表である。

最高回路電圧 287.5 kV の有効接地系に 80% 避雷器を使用するとすれば、許容端子電圧は 240 kV でもよいということが考えられる。将来は BIL の低減をはかる上にこのような値が採用されるようになるものと思われるが、一方系統運転の実際面から一挙にこの値まで引下げることにも異存のある向きもあり、結局現在のところ許容端子電圧 260 kV の避雷器が使用される傾向にある。ここでもこの意味で避雷器の基準として許容端子電圧 260 kV として考えている。

最高回路電圧 287.5 kV 系統の BIL は 1,050 kV であるから、衝撃放電開始電圧の保証値 840 kV 以下という数値は BIL の 80% に当り、20% の裕度をみてあり、また設計値 700 kV は実に BIL の 67% に当り、33% の裕度をもっていることになる。制限電圧も 5,000 A の値についていえば、保証値は上の場合と同じであり、設計値 750 kV は BIL の 71% に当り約 30% の裕度を見てある。したがって被保護機器の劣化や被保護機器との距離の点を見込んでも雷衝撃保護に対しては著るしく大きい裕度がある。

開閉サージに対する絶縁強度について Bellaschi 氏は BIL 650 kV および 1,050 kV の変圧器およびブッシングの試験結果より、開閉サージのような緩波頭サージによ

る油入機器の耐圧は BIL の 80% に相当すると述べている。

したがって BIL 1,050 kV に対し開閉サージに対する絶縁強度は 840 kV となる。

緩波頭サージ放電開始電圧の保証値 750 kV 以下の数値は上記の値の約 90% であり 10% の裕度を有しており、さらに設計値 735 kV では 88% に当り、12% の裕度を有している。制限電圧の点も、内雷では放電電流の波高値は低いから、いま 1,500 A における値をとるとすれば保証値 750 kV 以下の数値は放電開始電圧の場合と同じく 10% の裕度を有しており、また設計値 620 kV は 74% に当り 26% の裕度を有している。

これらの点からみて開閉サージに対しても十分な保護能力を有していることがわかる。

一方放電耐量および続流遮断能力に関してはすでに述べたようなすぐれた内雷処理特性を有しているの、かかる避雷器を使用することにより、超高压系統の外雷および内雷保護は一段と強化され、送電の信頼度向上に役立つものと思われる。しかしながら亘長が大になると避雷器の責務は一段と苛酷になるので、無再点弧遮断器の使用等総合的な面から検討することが望ましい。

## 7. む す び

本文においては、直列ギャップに永久磁石を装着しアークの磁気駆動による消弧方式を採用した SV-W2 型、ならびに爆発防止装置を設けた SV-W2A 型について紹介し、佐久間発電所納入の SV-W 型超高压避雷器の実績と今回の新型避雷器の総合的な試験結果とから、現在のところ妥当と考えられる超高压避雷器の特性について述べた。かかる避雷器を使用することにより、超高压系統の外雷および内雷保護が一段と強化され、送電の信頼度向上に役立つものと確信する。

開筆するに当り電源開発株式会社ならびに関西電力 20 kV 級避雷器動作責務試験関係の各位に深甚なる感謝の意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 藤高周平・北島寅夫・宮地蔵・富山順二・広瀬胖：ケーブル回路用避雷器動作責務試験結果- 電学誌 75, 337~346 (昭 30-4)
- (2) 新井正元・大木正路・森 直次：新型オートバルブ避雷器、昭和 29 年電気三学会連合大会論文 310 (昭 29-5)
- (3) 新井正元・大木正路・森 直治・佐藤五郎：SV-W 型オートバルブ避雷器、三菱電機、第 29 巻、第 8 号 (昭 30-8)
- (4) 新井正元・大木正路・森 直治・堀 貞幸・岩崎晴光・佐藤五郎：超高压避雷器の特性試験、昭和 31 年電気三学会連合大会論文 331 (昭 31-4)

# トレーラ式移動用変圧器

伊丹製作所 南角英男\*・平山広勝\*

## Mobile Transformers

Itami Works Hideo NANKAKU・Hirokatsu HIRAYAMA

Rationalization of the power system calls for many advanced devices. A mobile transformer is among them. It is sent out to help meeting a temporary demand of large power or serving as an emergency supply source at the occurrence of faults. Mitsubishi has built this apparatus of new style to be transported on the high way, which makes it necessary, different from those carried on the railway track, to design the transformer compact, vibrationproof and shock-resisting, yet high capacity and fit for general purpose. This unit, mounted on a trailer, is now operating very successfully.

### 1. ま え が き

戦後、電力需要の増大にともない、電力業界においては一方では大規模の電源開発を行って電源の確保につとめると共に、他方送配電システムの合理化を行って、質量共にサービスの向上につとめている。移動用変圧器もこのサービス向上という見地から計画されたもので、一時的季節的過負荷や事故時の緊急予備用として機動性を発揮し応援にかけつけるもので、近來各界においてその有用性が急速に着目されつつある。

当社では、移動用変電所としては電鉄会社の整流器用移動変電所用としてすでに3年前に南海電鉄に1,710 kVAのものを納入したのを初めとして仙山線あるいは北陸線の動く変電所である交流電気機関車を含めればすでに20台を数えているが、これらはすべて鉄道軌条型でその行動半径、利用価値におのづから或る限度があるのに反し、今回製作したトレーラ型は道路のある所はいずれも移動可能という強味を有し、わが国でもまた、1, 2の例を見るだけの新顔である。

トレーラ型移動変圧器は鉄道軌条型に比べれば、寸法、重量とも道路法規、自動車法規の制約の下に大幅な制限

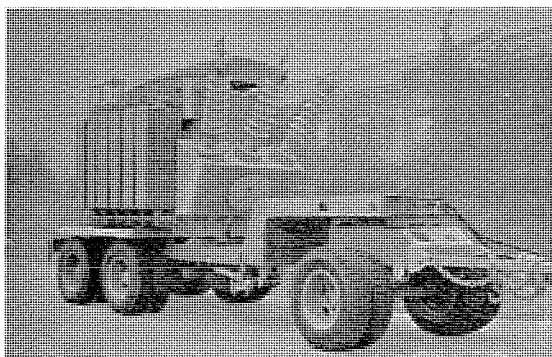
を受け、移動中の衝撃、振動も軌条型の比を見ないほど苛酷で、製作上からいえばはるかに困難であるが、今回ご紹介申し上げるものは走行試験、制動試験など従来変圧器として考えられなかった試験にも無事合格したものである。

本文はこのトレーラ式移動用変圧器の概略をご紹介申し上げ、ご参考に供したいと思う。

### 2. トレーラ型移動変圧器について

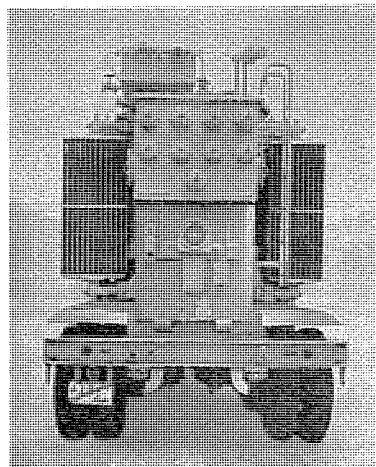
移動変圧器とは、頻繁な移動に適するようとくに小形軽量かつ強固に製作された変圧器と、これを搭載するトレーラとより成っている。移動は、別の牽引車に接続して行うので、自動車と見なされ一般自動車規程や道路法規の適用を受け、使用に当っては運輸省下にある各地方の陸運事務所の検査を受け、合格して初めて使用許可になる点が通常の変圧器と異なる点である。また、変電所として用いる場合はもちろん普通の変電所と同じく通産省の許可を要することは一般の変圧器とどうようである。また、わが国の道路状況から重量的には非常な制限をうけ、これがまた大いに機動性に制約を与えることになる。

変電所として、変圧器の外に、たとえば避雷器、断路



1 図 移動用変圧器 3相 2,000 kVA 60c/s 66-22 kV/6,900-3,450 V 自冷式

Fig. 1. Mobile transformer 3 phase 2,000 kVA self cooled.



2 図 移動用変圧器 背面より見たところ

Fig. 2. Mobile transformer viewed from the back.



3 図 移動変圧器 3 相 2,000 kVA 50/60 c/s 33-22 kV/6,900-3,450 V 送油風冷式 (左面より見たところ)

Fig. 3. Mobile transformer forced oil forced air cooled (viewed from the left.)



4 図 同上を右面より見たところ

Fig. 4. Mobile transformer forced oil forced air cooled (viewed from the right)

器または断路型ヒューズあるいは負荷断路器なども共に搭載する移動変電所は一応便利と考えられるが、わが国のような悪路の多い国で壊れやすくかさばる上述のような付属機器を変圧器と共に積載することはいたずらに移動速度を限定する上に、寸法重量の増大の点からも機動性を損うことがはなはだしく、ひいては移動変圧器の実用性をも失うこととなる。この点を考慮して今回は実用的な移動変圧器の製作が決定されたわけで、わが国の実状に即した処置ともなっている。付属品等は別送すれば事足りるので、断路器等はとくに 60 kV 以上は特殊な構造にしない限り不可能である。

今回当社で製作した移動用変圧器はつぎのとおりとなっている。

(1) 3 相 2,000 kVA 60 c/s 66-22 kV/6,900-3,450 V 油入自冷式 セミトレーラ (ダークリ付) 北陸電力向 1 台 (1, 2 図) 寸法 2,500×8,150 mm 高さ 3,489 mm 総重量 19,500 kg

(2) 3 相 2,000 kVA 50/60 c/s 33-22 kV/6,900-3,450 V 送油風冷式 セミトレーラ 中部電力向 1 台 (3~5 図) 寸法 2,500×5,917 mm 高さ 3,480 mm 総重量 15,200 kg

(3) 3 相 1,500 kVA 50/60 c/s 33-22 kV/6,900-3,450 V 送油風冷式 セミトレーラ 中部電力向 1 台



5 図 同左を背面より見たところ

Fig. 5. Mobile transformer forced oil forced air cooled. (viewed from the back)

寸法 2,500×5,917 mm 高さ 3,330 mm 総重量 14,500 kg

これらはいずれも一般自動車法規の寸法、幅 2,500 mm 高さ 3,500 mm 重量 20 t 以内に十分な余裕をもって製作されており、走行速度時速最高 20 km で運行される。

変圧器製作の面からいえば重量 20 トンに制限されたばあい、60, 70 kV 級で 2,000 kVA. 30 kV 以下で 3,000 kVA (いずれも自冷式) が大体の限度と思われるが、一方移動変電所の目的からいえばこのような小容量では役



6 図 移動変圧器 20,000 kVA 132-67 kV/12.47 kV 重量 34 トン (米 W.H. 製)

Fig. 6. Westinghouse mobile transformer.



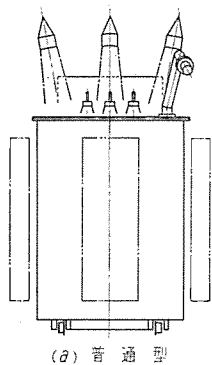
7 図 移動変圧器 5,000 kVA 110 kV/12.47 kV 重量 36.5 トン (米 W.H. 製)

Fig. 7. Westinghouse mobile transformer.

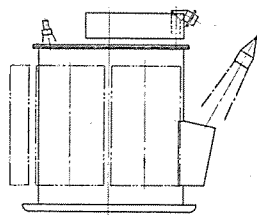


8 図 移動変圧器 2,500 kVA 25 kV/4.36 kV キュービクル型 (米 W.H. 製)

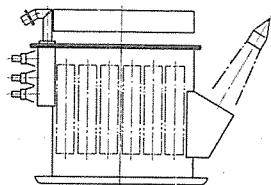
Fig. 8. Westinghouse mobile transformer cubicle type totally enclosed.



(a) 普通型



(b) 全装可搬式



(c) 移動用変圧器

(3 相 2,000kVA 60c/s 66-22kV/6,900-3,450V 自冷式)

	普通型	全装可搬式	移動用
高さ mm	4,550	3,150	2,550
幅 mm	3,000	1,950	2,480
奥行 mm	2,800	3,800	3,840
総重量(旺)	16,000	17,000	13,500
図	(a)	(b)	(c)

9 図 各種変圧器の比較

Fig. 9. Comparison of varied transformers.

に立たない点もとくに大都市周辺では生じうる。大容量では当然上記の自動車法規の制限から寸法、重量ともはみ出す恐れがあるが、このばあいは特別の認可を受ければ許可になるとしても、反面機動性に限度が生じるので変圧器容量の選定には大いに考慮を要する。

この点、道路網の発達している米国では Mobile Transformer と称し割合大容量の移動変圧器が多く製作されており 6 図～8 図はその一例で最大 60,000 kVA, 138 kV まで製作されているようで、わが国と比べまことにうらやましい限りである。寸法重量制限も十分大きくとっている。

車両関係は東急車両株式会社に製作を依頼した。以下変圧器および車両の概略につき述べることにする。

### 3. 変圧器の構造

最近、現地組立を要しない全装可搬式変圧器の流行を見ているが、この種の変圧器は鉄道輸送を行うので、低床車(たとえばシキ 40 号車)を用い輸送限界を第 3 限界までとれば高さは最大 3,400 mm まで許されることになる。一方移動変圧器は道路法規から高さ 3,500 mm は動かせない反面、トレーラは 15 トン積で地表高 900 mm 20 トンほどとなると 950 mm となるので変圧器に許された高さは 2,600 ないし 2,550 mm となり、容量が大きいほど高さはつまってくることになり、全装可搬式の約 75 %, 普通型変圧器に比べれば実に 1/2 に縮小しなければならないことが、最初の難関である。9 図は各型式の変圧器寸法の比較を示す。

車両の高さはタイヤ寸法で決り、これ以上の縮小は法

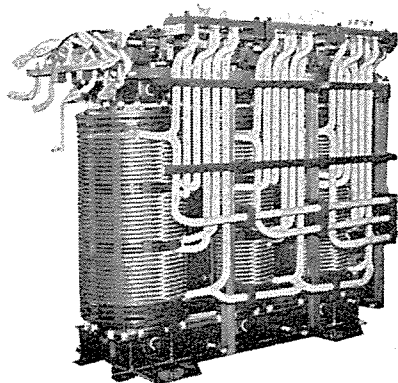
規上からも許されない。

つぎの問題は重量である。使用目的から、特性よりも重量が優先するが、当社では硅素鋼板に良質のものをを用い、磁束密度、電流密度は熱的に許される限り高めて重量低減を図ったが、一方移動器として広範囲の利用面を考えて、電圧タップの種類が通常の変圧器よりも大幅に増加するので、この点では重量はかえって増大する。外箱は普通以上に強固でなければならないが、これも高張力鋼板の使用により最大限の重量削減を行った。油量を減少させるのが、重量低減に最大の効果があるようであるが、タップが多いときはこれも容易に増大する。移動変圧器においては仕様と使用目的とは相反するものも多く、この点十分の協議検討が必要である。

今回の移動変圧器中身は内鉄型で製作したが、当社では外鉄型も製作しているので移動変圧器について外鉄型の適用も一応考えた。種々検討した所、外鉄型で送油風冷式とし、フォームフィット構造を採用すれば油量の減少は顕著でかつ冷却効果は高いのできりつめれば 6,000 kVA 以上では十分軽く製作できるが、小容量では電線が細くなり占積率が悪いのであまり重量は軽くならず、かつ横倒しにすれば高さは十分低い反面長さは長くなり、ブッシング引出方法等種々の困難もあり、結局内鉄型の方が軽量小形となった。

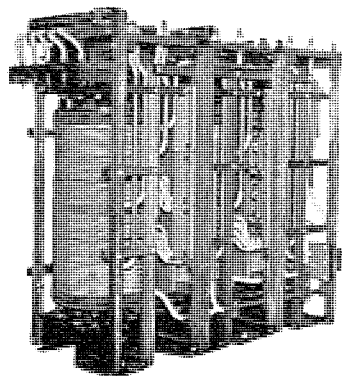
ただし大容量器ではあるいは外鉄型の方が有利と考えられるばあいもあり、現に 6～8 図の米国の例ではすべて外鉄型である。ただしこの選定は製造者に一任すべきものと思われる。

移動変圧器は、舗装されていない砂利道等の悪路を通



10 図 移動変圧器  
中身 3 相 2,000  
kVA 60 c/s  
66-22kV/6,900-  
3,450 V

Fig. 10.  
Core and coils  
of mobile trans-  
former.



11 図 移動変圧器中身  
3 相 2,000kVA 50/60  
c/s 33-22kV/6,900-  
3,450 V

Fig. 11. Core and coils  
of mobile transformer.

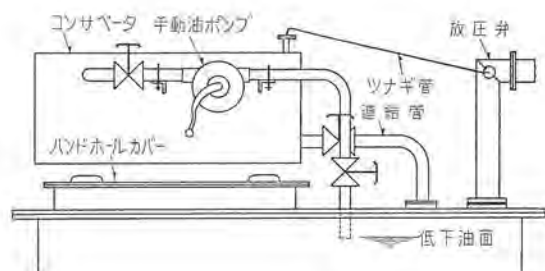
るばあい、後述の振動測定結果よりわかるように振動加速度は容易に制限加速度 2.5 g をこえ、4 g をこえるものさへあり、鉄道軌条型で通常うける 1g 以内に比べ遙かに苛酷な振動、衝撃をうける。したがって耐振強度も重要な設計目標となる。変圧器中身や導線の固定には十分強固な絶縁物を用いて余す所なく支持し、ボルトナット類もゆるみ止めの対策を講じた。10 図、11 図は変圧器中身を示している。防振対策としては、鉄心下部のふれ止めおよび中身支持部に防振ゴムを用い、支持方法も通常の変圧器より強固となっている。外箱も十分な補強を施し衝撃から守っているが、とくにブッシング取付部の強度は十分補強しないと、ブッシングが移動中に振動を生ずる。当社で製作した移動変圧器はいずれも最高 100km に及ぶ悪路を交えた走行試験や、試験の都合で必要以上にくりかえされた数日に及ぶ急制動試験にも異常なく耐え、その後行われた中身点検や衝撃電圧試験を含む電気試験にも無事合格している。

移動変圧器で最も懸念されたのは高圧ブッシングであるが、当社独特の中心締付式油入コンデンサブッシングは十分その機械的強度を実証した。

付属品もすべて移動目的に応じて選定しなければならない。磁石式の丸型油面計やブッフホルツ継電器は移動式変圧器には構造上使用不可能で、前者は棒状の油窓式に、後者は使用を取止めた。窒素封入装置も使用していない。丸型温度計は十分防振対策を講じ、かつ二重式であるので取換えも簡単である。吸湿呼吸器は銅板製の当社標準を用いているので問題はない。

移動変圧器は各種電圧定格を有し、切替が頻繁であるが、低圧側はブッシング端子上で外部切替としたが高圧側は不可能である。このため高圧の電圧切替はマンホールを開けて行うようにしたが、この際油を抜く必要のないよう 12 図のように簡単な油ポンプを用いて本体の油をコンサベータ中に導き入れて迅速に行えるようにした(実用新案申請中)。もちろん油を抜きすぎないよう一定のレベル以上は汲上げ不可能となっている。タップ切替は無負荷タップ切替器を利用し外部操作可能である。その他コンサベータ中の油が揺動して他の配管に侵入しないよう考慮するなど、各種の細い配慮が必要である。

雨天時に移動する場合、道路の上砂のはねかえりがブ



12 図 直並列切替方法(実用新案申請中)

Fig. 12. Method of changing series-parallel connection without lowering oil level.

ッシング頭部まで容易に到達し、十分大きな泥よけを要することになる。この泥よけは前方の牽引車のはね上げる泥に対しても考慮しないと実用にならないことがわかり取りつけた。

最後に冷却装置について一言すると、今回当社で製作した移動変圧器は 1 台が自冷式、2 台が送油風冷式となっている。送油風冷式は当社独特の U フィン管式冷却器を用いているが、大体自冷式放熱器十数本に相当する強力な U フィン管式冷却器は 2,000 kVA 位では最小となり、したがって結果的に自冷式と重量からいえば大差なくなった。大容量器では油量の節約寸法の縮小で大いに有用であるが、現在の容量では自冷式の方がよいと思われる。送油風冷式のばあい、制御電源として 5kVA の柱上変圧器と保護装置キュービクルを同時に積載したが、これらは変圧器に比べ強度的にも劣る。とくに継電器類はその可動部分を固定しなければならないので、あらゆる点で多少重量が増大しても自冷式が有利なようである。

なお、自冷式の場合、写真には見られないが移動中放熱器保護カバーを取付けている。

#### 4. トレーラの構造

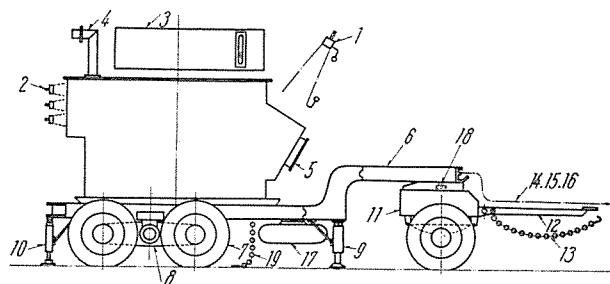
車両関係は一式東急車輛株式会社(東京)の製作である。トレーラとしたばあい、法規上からは牽引車と一体になったものが自動車と見なされ検定の対象とされるから、いかなる牽引車で牽引されるかを確定しておくことが最も大切なこととなる。早い話が、牽引車が決まらない限り結合様式、ブレーキの構造から制御電源の電圧まで牽引車によって異なり車両の設計もできなければ検定も受けられないことになる。

牽引車に関しては需要家で自家用を有することはほとんどなく、たとえば輸送会社手持のものをチャータして移動を行うのが実状であり、したがって実際問題としていかなる牽引車を用いるかは場合々々で異なるわけであるが、これでは設計不可能で使用許可にもならないので、発注に際してはあらかじめ十分使用の可能性のある牽引車について調査をしておく必要がある。この点で今回は当社も需要家も初めてのことであり、多少の疎誤が生じたのはやむをえないとしても今後の留意が必要である。

トレーラには型式によりセミトレーラとフルトレーラに大別される。セミトレーラは前方を牽引車に乗りあげて牽引する形であり、前部荷重は牽引車が分担する形であるので、牽引も容易で運転しやすく寸法も小さいので回転半径も少く最も移動変圧器に適する。

フルトレーラは前方にもダラーという方向転換可能の小車を有するもので、これは主として大物で軸重が後輪だけで足りない場合に用いる型式であり、全長も長くなり運転もむづかしいが、3,000kVA 以上の大容量ではこの形式を採用せざるを得なくなる。

今回製作した変圧器はいずれもセミトレーラであるが、



- |             |               |                     |
|-------------|---------------|---------------------|
| 1 高圧側套管     | 8 オシレーティングビーム | 14 空気ブレーキホース (サービス) |
| 2 低圧側 "     | 9 前部ジャッキ      | 15 " (エマージェンシ)      |
| 3 コンサベータ    | 10 後部補助脚      | 16 燈火用電線            |
| 4 放圧弁       | 11 ダーリー       | 17 予備タイヤ            |
| 5 ハンドホールカバー | 12 ドローバ       | 18 キングピン            |
| 6 フレーム      | 13 連結用安全鎖     | 19 接地鎖              |
| 7 後輪        |               |                     |

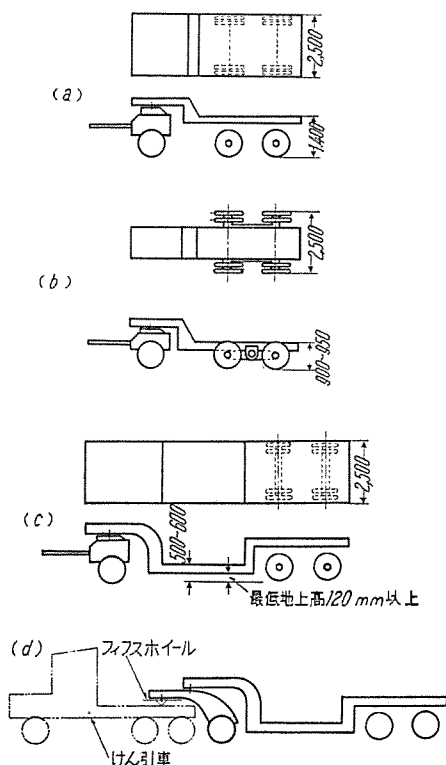
13 図 移動変圧器各部の名称

Fig. 13. Details of mobile transformer.

1 図の方は構内運搬等特殊な場合を考慮して一時的なダーリーを付けたもので、見かけはフルトレーラであるが、セミトレーラ(ダーリー付き)と称せられるべきもので構造的にフルトレーラになったものではない。各部名称は 13 図のようになる。

トレーラは一般自動車法規から細かく規制されており、自由な設計の幅というものはあまりない。たとえばタイヤ寸法や軸の数等は、それらの荷重からおのずから決ってしまうのでこれをそのままにしていかに高さを縮少するかが重要な眼目となる。

トレーラの形状には種々のものがあるが、大体 14 図の 4 種のものが考えられ、積載物の大きさ、重量あるいは牽引車道路状況から慎重に検討される。同図(a)は普



14 図 トレーラの型式各種

Fig. 14. Various trailers.

通一般のもので、利用床面が大きい代りに地上高が 1,400 mm と大幅に高くなり、高さの点からも転覆角度からいってもごく小容量にしか使えない。同図(b)は今回製作したもので、後輪に独特の揺枕懸架装置を採用したので地上高は 900~950mm に減少する反面、利用床面(特に幅)が限定される。同図(c)は 2 軸で軸荷重が 10 トンを超過する 20 トン以上のもの、あるいは高さが縮少不可能な大容量に適する方式でフルトレーラである。地上高はフレーム寸法にもよるが大体地上 500~600 mm 位となる反面、車両全長および価格は増大する。同図(d)は重量が 30 トンを越え 3 軸で不可能のとき、牽引車にも荷重を分担させたものであり、東急車輛の創案である。

今回製作したものは 14 図(b)の揺枕式懸架装置を採用したもので、寸法的にも小形に製作されたが、これ以上の大容量器では必然的に 14 図(c)の方式となり、当社で別に製作された国鉄向の整流器用の移動変電所の変圧器車は容量 3,350kVA 77-66-22kV/1,380V 重量 29t でこの方式を採用している。(これについては近々紹介される筈である)

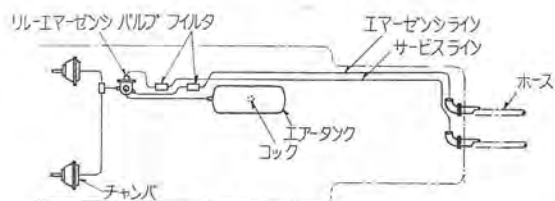
後輪の揺枕式懸架装置は道路の凹凸につれ後輪の前後輪が交互に揺動して振動を緩和するものでスプリングは用いられておらず、また軸はオシレーティングビームで支持され左右に通じていないので回転時の空転を生ぜず、地上高は低くかつ転覆角度は大きくなっている。懸架部分は片持となるが、もちろん十分強固に製作されている。フレームも強固な溝型鋼をもって形成され走行中に道路の凹凸からくる頻繁な衝撃力や制動時の大きな慣性力に十分耐えるように製作された。

トレーラとして重要な部分に制動装置がある。時速 5 km 以上の車はすべて構外車と見なされ制動装置は必ず付けなければならないことになっており移動変圧器も例外ではない。今回の移動変圧器は手動ブレーキと空気ブレーキを採用している。

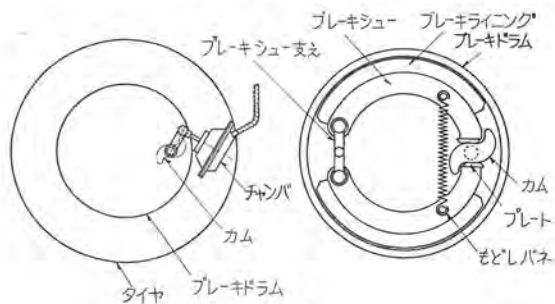
手動ブレーキは駐車時に使用するもので、トレーラ後部よりハンドルで作動する。

空気ブレーキは鉄道車両等に使用されている直通式空気バルブと全く同様のもので、牽引車のコンプレッサを作動させ圧縮空気をつくり、これをトレーラの空気タンクに蓄えておき、ブレーキペダルを踏んだ際に空気タンク中の圧縮空気を各車輪に装置されたブレーキシリンダ(チャンバ)に送りこみ、カムを回してブレーキをかける。ブレーキペダルから足を放せばブレーキシリンダ内の空気は放出される。また、非常用としてリレーエマージェンシバルブを備え、牽引車とトレーラが分離切断されたとき作動しブレーキが働くようになっている。ブレーキの配管系統および概略は 15 図に示すとおりである。

トレーラの付属品としては、尾燈、矢形方向指示器、レフレクタ、制限標識等、車両法規で定められたほかに、予備タイヤ、ブザー、工具箱等を一式備えている。



(a) 系統図



(b) 制動部詳細

15 図 空気式制動装置

Fig. 15. Air brake equipment.

トレーラと牽引車、トレーラとダラーとの結合はキングピンを用いて行われる。

変圧器は舟底型台枠を使用、トレーラとの固定はボルトで行い取外し可能である。この際重要なことはトレーラ前後部の荷重分布で、前方荷重がある程度ないと運転が困難になるので変圧器の重心位置は後輪中心線よりできるだけ前方にずらせている。

## 5. 移動変圧器の試験

移動変圧器の試験としては、変圧器として通常行われる耐圧試験、特性試験、温度上昇試験、構造試験等一連の電気的試験の外に車両試験として重量測定、寸法測定、制動試験、車体検査および走行試験が行われ、このうち走行試験を除く3試験は運輸省の外局である各地方の陸運局(原則として最終需要地管轄の陸運局)に申請しその検査官の検査を受けなければならない。

電気的試験は移動変圧器本来の目的から、走行試験後に行う必要がある他は一般の変圧器と変りないので省略するが、本変圧器は走行試験後行われた衝撃電圧試験を含む全試験になんら異常なく合格している。

車両試験のうち、寸法測定は幅 2,500mm 高さ 3,500mm 以内、重量測定は 20 トン以内であればよく、それぞれ申請書類と照合しつつ実際に測定が行われる。なお重量測定では前輪と後輪の荷重分布および一軸当りの重量も検討されるが十分大きい秤が必要となる。

最も問題なのが制動試験である。一般自動車法規によれば、この試験は乾燥した平坦な舗走路面でその車の最高速度に応じ1表の制動能力を有するものとなっている。ここでその車とは牽引車をいい、これを文字通り解釈すれば、牽引車のもつ最大速度で試験されるのでたとえば時速 80 km 出ることのできるものであれば、その速度

1 表 制動装置の検査規程

最高速度 (km/h)	制動初速度 (km/h)	停止距離 (m)
80 以上	50	22 以下
35 以上 80 未満	35	14 "
25 以上 35 未満	25	10 "
15 以上 25 未満	15	5 "
15 未満	その最高速度	5 "

(道路運送車両法よりの抜粋)

について試験される。一方移動変圧器は時速たかだか 20 km であり、実際使用状態に比べてはるかに苛酷となる。制動試験そのものも速度の早いものほど困難は倍加する。これは一般自動車なみに考えられたもので、移動変圧器のような重量と使用目的をもったものには明らかに不合理で、また制動時の加速度は、変圧器にも悪影響を与える。また、制動試験の結果は、牽引車の制動装置の性能、運転手の熟練度に左右されることも甚だしく、この点十分よい牽引車(しかもこれは申請した使用牽引車と同じまたは同等のものでなければならない)と運転手が必要である。

これらの点を経験不足のため試験は難航し、第1回の試験では相当な速度で予備試験も含め前後6回も制動試験を受け、結局やり直しということになったが、この試験の苛酷さは走行試験の比ではなく変圧器になんらの異常がなかったのは幸であった。

第2回目には、実際使用状態を考慮し最高時速 20km で検査を受け全台無事合格している。

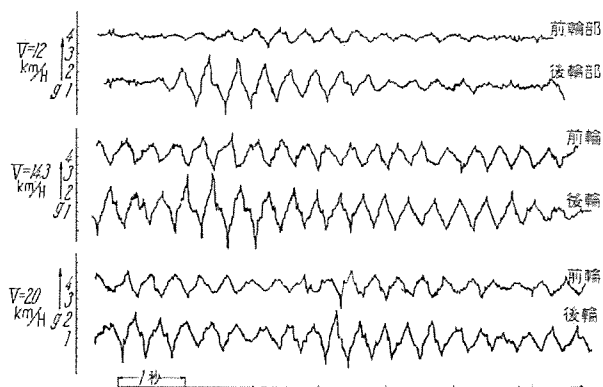
その他、付属品全般についても法規に基いて厳重な試験をうけた。



16 図 走行試験に出発する移動変圧器 変圧器は1図と同一  
Fig. 16. Mobile transformer before travelling for test.



17 図 走行試験に出発する移動変圧器 変圧器は3図と同一  
Fig. 17. Mobile transformer before travelling for test.



18 図 振動加速度波形の一例（悪路におけるもの）

Fig. 18. Oscillograms of oscillation of mobile transformer.

走行試験は陸運局の検査に無関係で需要家の要請に基づいて最高 100km, 最低 40km, 相当の悪路も交じって行われたが、走行時に受ける振動は思いの外にはげしいもので、雨天に行われたときの泥のはね上りも相当なものであり泥よけの改造を余儀なくされたが、ブッシングのふれなどは思ったほどなく無事終了、試験後行われた中身点検にも異常なかった。16 図、17 図は走行試験出発時の写真である。

走行中の振動加速度の測定については、このように大きな振動を測定する適当な測定器がなかったので試験は行わなかったが、別に同一型式の車両で変圧器重量に相当する荷重を積載して測定したデータは 18 図のようであり、とくに時速 14 km 前後で懸架装置の共振により最大 4g に及ぶ相当の振動が発生することがわかった。各種の道路状況における加速度は 2 表に示すとおりであるが、とくに悪路における振動加速度は非常に大きいので、この種の移動変圧器は日本のような道路条件ではたかだか時速 10km, 平均 5km 位でしか運行できないのではないと思われる。

車両関係の試験は外に転覆角度の測定があるが、これは実施不可能で計算書提出により行われた。

なお、車両関係の試験は原則として最終使用地で行われるべきであるが、電気試験や万一の場合の補修を考え、製作場所である当社伊丹製作所で行われたので、最終的には使用場所である現地の陸運局で簡単な試験をうけ、車両番号を貰ってはじめて使用許可になることになる。

## 6. む す び

今回当社で製作した移動用変圧器は道路上を走行する機動性に富むものであるが、道路上運行という点で法規の適用をうけ、種々の制約がある。特異な点を列記すればつぎのようになる。

1. 全体として幅・高さ・重量に制約があり、これは多少の特例が認められるが機動性とも関連があり極力切りつめた設計をしなければならない。

2 表 50 m 区間における 2.8~3.1 サイクル/秒範囲の加速度頻度（1 例）

### (1) 悪 路

加速度範囲\速度	12 km/h	14.3 km/h	20 km/h
0.5 g 以下	26	4	12
0.5~1.0	31	15	21
1.0~1.5	14	6	13
1.5~2.0	5	19	6
2.0~2.5	2	9	4
2.5~3.0	2	4	1
3.0~3.5	2	5	0
3.5 g 以上	0	2	0
(平均最大加速度)	(1.14 g)	(1.89 g)	(1.74 g)

### (2) 砂利道

加速度範囲\速度	13 km/h	16 km/h	21.2km/h	25.9km/h	27 km/h
0.2 g 以下	20	3	20	8	4
0.2~0.4	33	33	17	21	26
0.4~0.6	12	15	6	4	4
0.6~0.8	6	0	0	1	1
(平均最大加速度)	(0.38 g)	(0.39 g)	(0.28 g)	(0.35 g)	(0.34 g)

### (3) 良 路

加速度範囲\速度	17.4km/h	20.4km/h	23 km/h	25.3km/h	32.1km/h
0.1 g 以下	11	7	4	7	7
0.1 ~0.25	20	25	5	11	16
0.25~0.4	24	11	0	0	0
0.4 ~0.55	6	2	0	0	0
(平均最大加速度)	(0.3 g)	(0.25 g)	(0.16 g)	(0.17 g)	(0.23 g)

(注) 平均最大加速度とは各波形の 1 秒間における最大値を求め 50 m 区間で平均したもの、後輪の後輪における値を示す。

2. 変圧器は、従来の全装可搬式より遥かに小さい寸法で製作されなければならない反面、なるべく普遍性の高い使い易いものにならないといけないので、定格の選定には注意を要する。
3. 移動中の振動、衝撃は在来の鉄道軌条型に比べようもないほど大きいので強度には十分な留意が必要である。
4. 車両は変圧器の大きさを考え、十分高さを低め、強度の高いものでなければならない。
5. 車両は陸運局の検定をうけ初めて使用許可となるので、手続きおよび試験に十分の研究が必要である。
6. 仕様のまず第一に、いかなる牽引車を用いるかまず明確にしておかないと、設計および試験が不可能になるなどである。

当社でも経験が少なかったので多少の手違いは生じたが、幸い需要家各位および車両製作者東急車輛株式会社のご理解とご協力をえて、無事納入が完了したが、わが国においてはほとんど製作実績のない今日、なんらかのご参考になれば幸甚である。

終りに当社に製作の機会を与えていただいた北陸電力株式会社、中部電力株式会社、車両の製作を担当した東急車輛株式会社およびご協力を賜った社内各位に誌上厚く御礼を申し上げます。

# HZ 型高速度方向距離継電器用記憶装置

神戸製作所 北浦孝一\*・山内成周\*

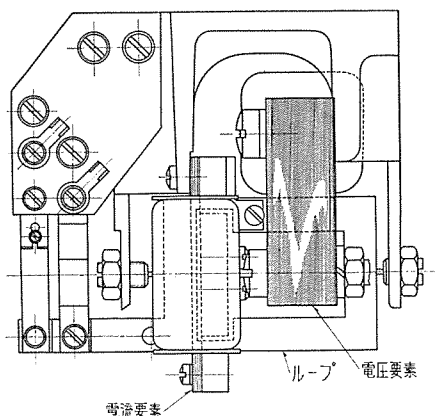
## A Memory Device of Type HZ Impedance Relays

Kobe Works Koichi KITAURA・Shigechika YAMAUCHI

The directional relay is intended for the judgement of the direction of fault power flow from the phase-relation between the voltage and current. At the occurrence of 3 phase short circuit near the station, the voltage will become too low to give dependable judgement. A voltage compensator attached to the voltage coil of the relay will keep the normal voltage for a certain period, enabling the relay to function correctly in the event of faults. This is, what is called, a memory device, which, however, has not been put to a practical use so far. Mitsubishi has made a recent development of this device to be combined to Type HZ impedance relays and the results are very satisfactory.

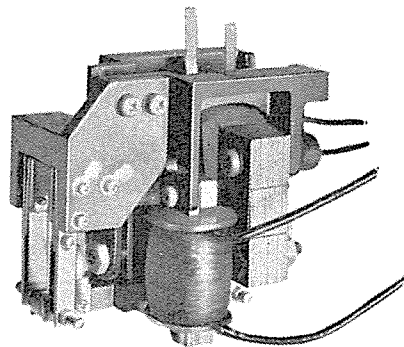
### 1. ま え が き

HZ 型インピーダンス継電器に使用されている方向要素は 1 図、2 図に示すように高速度誘導型で、電圧線輪によりその 2 次短絡環となっているアルミ製ループに大電流を流させ、これを電流線輪によって発生する磁場中に自由に回転するように支持したもので、3 図に示すように、電圧と電流がほぼ同相のとき、最高感度を有



1 図 方向要素構造図

Fig. 1. Construction of directional element.

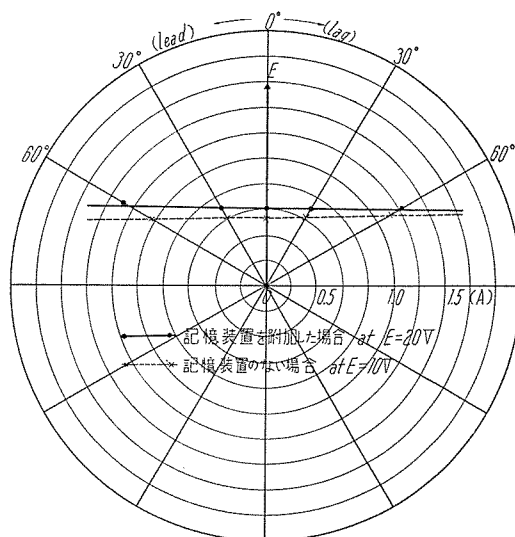


2 図 HZ 型継電器方向要素

Fig. 2. Directional element of type HZ relay.

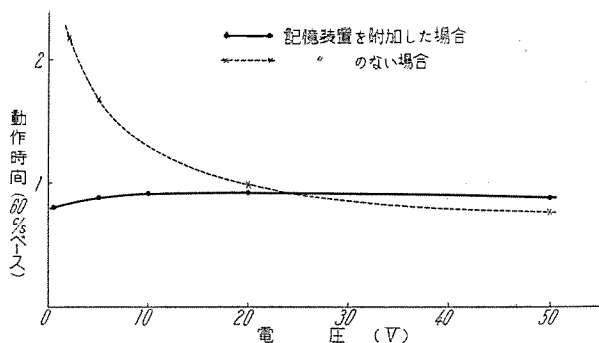
し、4 図に示すように 1~2 サイクルの高速度で電力方向を選択するものである。またその最低動作値は 5 図のように 4V のとき 2A すなわち 8VA で非常に高感度となっている。

しかし継電器の至近端で 3 相短絡故障が発生した場合には、電圧が著しく低下し、ほとんど 0 となるため、方向要素の動作は非常に不安定となる。このような欠点を除くため方向要素の電圧回路にインダクタンス  $L$ 、容量  $C$  および外部抵抗  $R$  よりなるタンク回路を付加し、故障前の電圧を一定時間保留し、継電器に供給すれば、その動作は確実となる。このタンク回路を記憶装置 (memory device) と称し、理論上その必要性は認められてきたが、送電線において 3 相の電圧がほとんど 0 となるような故障は確率的に考えればきわめてまれであるので、実用化されていなかった。しかし、最近、保護継電器の保護率を高度に高める必要があり、三菱も HZ 型インビ



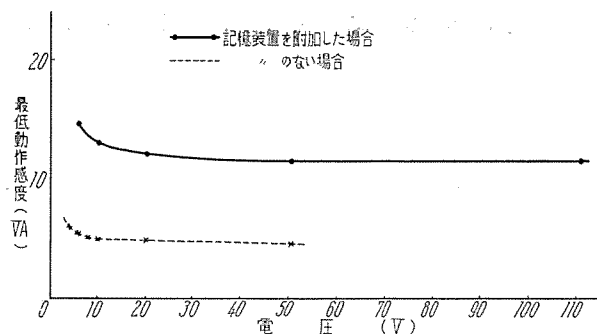
3 図 HZ 型継電器方向要素位相特性曲線

Fig. 3. Phase characteristic curve of type HZ relay directional element.



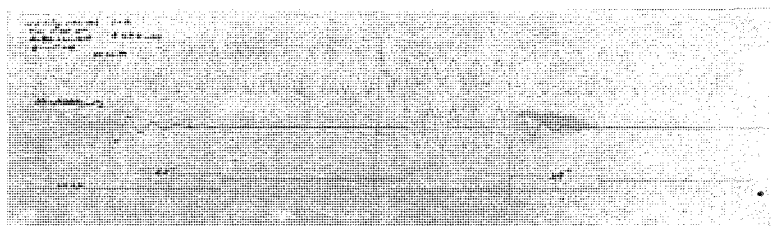
4 図 HZ 型継電器方向要素動作速度特性曲線

Fig. 4. Speed characteristic curve of type HZ relay directional element.



5 図 HZ 型継電器方向要素最低動作感度特性曲線

Fig. 5. The minimum operating characteristic curve of type HZ relay directional element.



6 図 メモリー特性

Fig. 6. Memory character.

ーダンス継電器の方向要素にこの記憶装置を付加して納入した。

納入品について試験した結果は、3 図～6 図に示すように満足すべき結果であった。

本文は、記憶装置の設計法、すなわち、タンク回路に所望の減衰特性を与えるため、方向要素の常数を基にして、その  $R, L, C$  をいかに選定するかを説明し、その結果得られた諸特性によりその効果を示したものである。

## 2. 設 計 法

PT 2 次側に接続された記憶装置、方向要素の等価回路を 7, 8 図に示す。7 図は概略の目安を得るための近似計算を行う場合に使用するもので、方向要素のインダクタンスと抵抗を記憶装置のインダクタンスと抵抗に含まして考えている。8 図は詳細計算を行って装置の減衰特性を正確に知る必要のあるとき使用する。

### ア. 近似計算

7 図より

$$(1) \quad R_1 i_1 + L \frac{di_1}{dt} + R(i_1 + i_2) = 0$$

$$(2) \quad R_1 i_1 + L \frac{di_1}{dt} - \frac{1}{C} \int i_2 dt = 0$$

$i_2$  を消去すれば

$$(3) \quad \frac{d^2 i_1}{dt^2} + \left( \frac{1}{RC} + \frac{R_1}{L} \right) \frac{di_1}{dt} + \left( 1 + \frac{R_1}{R} \right) i_1 = 0$$

これを解けば

$$(4) \quad i_1 = e^{-\alpha t} (A e^{\beta t} + B e^{-\beta t}) \quad \text{ただし}$$

$$(5) \quad \alpha = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{RC} + \frac{R_1}{L} \right)$$

$$(6) \quad \beta = \sqrt{\frac{1}{4} \left( \frac{1}{RC} + \frac{R_1}{L} \right)^2 - \left( 1 + \frac{R_1}{R} \right) \frac{1}{LC}}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{4} \left( \frac{1}{RC} - \frac{R_1}{L} \right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

今もし

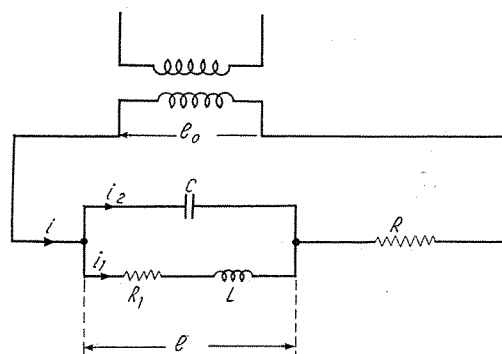
$$(7) \quad \frac{1}{RC} - \frac{R_1}{L} = 0 \quad \text{すなわち}$$

$$\frac{1}{RC} = \frac{R_1}{L} \quad \text{ならば}$$

$$(8) \quad \beta = j \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

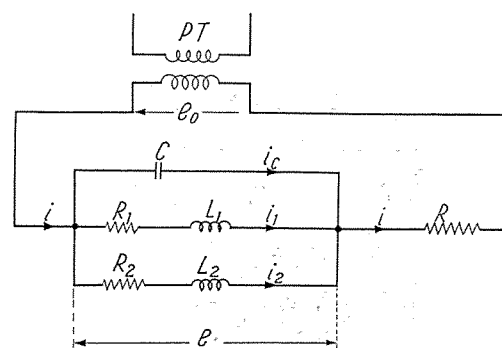
またもし

$$(9) \quad \omega^2 LC = 1 \quad \omega = 2\pi f \quad \text{ならば}$$



7 図 記憶装置等価回路 (近似計算の場合)

Fig. 7. Equivalent circuit of memory device. (Approximate calculation)



8 図 記憶装置等価回路 (詳細計算の場合)

Fig. 8. Equivalent circuit of memory device. (Detail calculation)

(10)  $\beta = j\omega$  タンク回路は系統周波数で共振する。  
今かりに

$$(11) R_1 = \frac{\omega L}{a}$$

(12)  $R = a\omega L$  とおけば、

$$(13) \alpha = \frac{\omega}{a} = \frac{1}{T_a} \quad T_a = \text{希望の時定数}$$

いま希望する時定数を  $y$  サイクル ( $f$  サイクル/秒) とすれば

$$(14) T_a = \frac{y}{f} = \frac{1}{\alpha} = \frac{a}{\omega} = \frac{a}{2\pi f}$$

$$(15) a = 2\pi y$$

$$(16) R_1 = \frac{fL}{y}$$

$$(17) R = 4\pi^2 y f L$$

$$(18) C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L}$$

ゆえに記憶装置の減衰特性として、その時定数  $y$  サイクルを希望するときは (16)~(18) 式によりリアクタの抵抗  $R_1$ 、外部抵抗  $R$ 、容量  $C$  を決定すればよい。この場合、インダクタンスは任意に選定できるが、この選定は方向要素の所要電力  $P_n$  (VA) と記憶装置の蓄積電力  $P_M$  (VA) の比により決り、さらにこの比の選定は経済上の制約により決定する。すなわち  $L$  を小さく選定するほど、抵抗  $R_1$ 、 $R$  が小さくなるから損失が少くなり、一方容量  $C$  が大きくなるから蓄積電力が増し、特性上は望ましいが高価なものとなる。

#### 1. 詳細計算

8 図より

$$(21) e = \frac{i_0}{PC}$$

$$(22) e = i_1(R_1 + PL_1)$$

$$(23) e = i_2(R_2 + PL_2)$$

$$(24) e_0 = e + iR$$

$$(25) i = i_0 + i_1 + i_2$$

これらの諸式より

$$(26) P^3 + P^2 \left( \frac{1}{RC} + \frac{R_1}{L_1} + \frac{R_2}{L_2} \right) + P \left( \frac{R_1 R_2}{L_1 L_2} + \frac{1}{RC} \frac{R_1}{L_1} + \frac{1}{RC} \frac{R_2}{L_2} + \frac{1}{CL_1} + \frac{1}{CL_2} \right) + \left( \frac{1}{RC} \frac{R_1}{L_1} \frac{R_2}{L_2} + \frac{R_1}{L_1} \frac{1}{CL_2} + \frac{R_2}{L_2} \frac{1}{CL_1} \right) = 0$$

以下 (26) 式を実際の設計に適用した一例を示せば

$$a = \frac{1}{RC} = 50, \quad b_1 = \frac{R_1}{L_1} = 45.8, \quad b_2 = \frac{R_2}{L_2} = 1.34 \times 10^3$$

$$b_1 b_2 = 6.13 \times 10^4, \quad ab_1 = 2.3 \times 10^3, \quad ab_2 = 6.7 \times 10^4$$

$$c_1 = \frac{1}{CL_1} = 1.45 \times 10^5, \quad c_2 = \frac{1}{CL_2} = 2.3 \times 10^4$$

$$ab_1 b_2 = 3.065 \times 10^9, \quad b_1 c_2 = 1.05 \times 10^6, \quad b_2 c_1 = 1.95 \times 10^8$$

$$(27) P^3 + 1440P^2 + 3 \times 10^3 P + 2 \times 10^9 = 0$$

$$(28) P_2, P_3 = -58 \pm j384.$$

$$(29) \therefore f = \frac{384}{2\pi} = 61 \text{ c/s} \cdots \cdots \text{タンク回路の共振周波数}$$

$$(30) T_a = \frac{1}{58} \text{ 秒} = 1.03 \text{ c/s} \cdots \cdots (60 \text{ c/s ベース})$$

以上の設計により製作した記憶装置の減衰特性は 6 図のオシログラムに示すように、故障発生時の位相のいかんを問わず、常に 3 サイクル程度、故障前の電圧を記憶し HZ 型継電器全体として十分その目的を達成している。

### 3. 試験データ

従来の記憶装置を付加しなかった場合と、付加した場合の方向要素の各特性を 3~5 図に示す。

3 図のように、位相特性は記憶装置の有無にかかわらずほとんど変わらないが、動作感度は 5 図に示すように記憶装置を付加した場合、見掛け上約半分に低下している。これは記憶装置を付加したことにより、方向要素に印加される電圧が外部抵抗と分圧されるためであるが、6 図に示すように、最悪故障状態でも電圧が 0 となってから 4~5 サイクルの間接点が保持されているから、保護動作には全然支障がない。

つぎに動作速度は 4 図に示すように記憶装置を付加すれば故障時方向要素に印加される電圧値のいかにかわらず 0.9 サイクル前後一定となっている。

このことは、至近端の内部 3 相短絡故障時の継電器動作を確実にすると共に、高速度継電器における誤動作防止上ぜひ必要な接点協調にとくに有効である。

すなわち HZ 型インピーダンス継電器のようにインピーダンス要素と方向要素の 2 つの要素により保護動作を行うものは、両者の接点動作時間協調をとらないと誤動作してしまうものである。前述のように記憶装置を付加すると方向要素の動作速度が、故障時の電圧値のいかにかわらず 0.9 サイクル前後一定となり、インピーダンス要素の最高速度とほぼ等しくなるから、潮流正時の外部故障の場合、方向要素接点が離脱してからインピーダンス要素の接点が閉じることとなり誤動作の恐れがない。

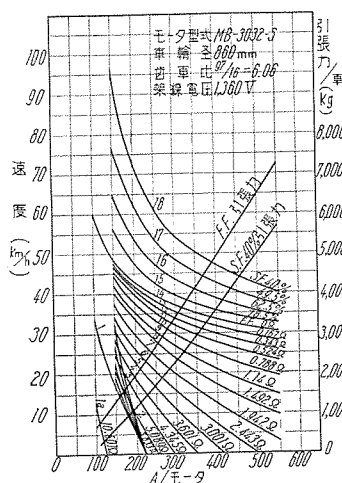
また、故障除去時に接点反転による誤動作も、復帰時間協調は動作時間協調と同様であるため誤動作の恐れがない。

### 4. む す び

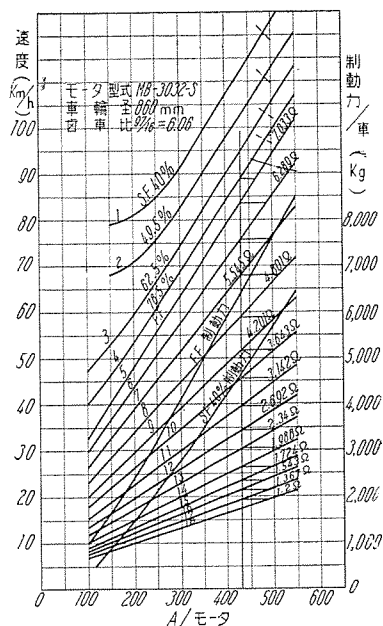
以上、方向継電要素に付加される記憶装置の必要性、設計法、およびその効能について述べたが、要するに方向要素は主目的たる方向判定、したがって位相特性、最低動作感度、動作速度、消費 VA 等、諸種の継電器基本条件を満足するようにその常数が選定されるから、これに加えて継電器の記憶作用が必要な場合は前述のように蓄積電力と消費電力の比を改善しなくてはならない。

このような場合に、本文が記憶装置設計の一助ともなれば幸甚である。





2 図 力行ノッチング曲線  
Fig. 2. Power running notching curves.



3 図 制動ノッチング曲線  
Fig. 3. Brake notching curves.

制動 18 段

加 減 速 度 加速度 4.0 km/h/s (300 人まで)

減速度 4.5 km/h/s ( " )

定員 170 人

### 3. 特 長

1 図の主回路ツナギ図に示すように主電動機 4 台を永久直列接続して装架した電車 2 両を 1 単位として総括制御するもので各車の主電動機 4 台でそれぞれ単独に回路を形成して回路の簡略化と器具の減少を図って軽量小形にしたものである。各車の主回路は単独であるが制御は同時に行い制御器具はまとめて 1 車に装備され保守点検を便利にしあわせて機装配線を減らしている。

ア. 主電動機の直列、並列接続の切換え操作を行わない

従来一般の電車では直並列渡りにより若干のショックを伴う。とくに限流点の変動する場合そのショックは不可避免的である。しかも回路は複雑化し、平均加速度の低下の原因となる。本制御装置ではこれらの問

題がない。なお電力消費量の増加は制御装置の簡易化に伴う重量軽減等で補われている。

#### イ. ステップ戻しが可能である

主抵抗器制御用カムスイッチはきわめて軽量小形で別に電弧遮断能力ある大形カムスイッチ (CS-10A 用カムスイッチと同程度の寸法) を 2 個 (1 車分につき) 補足している。多数個の小形カムスイッチでは電流の投入、遮断を行わずに通電のみ負担させていわゆるステップ進めおよびステップ戻しができる。したがってつぎのような制御操作を行うことができる。

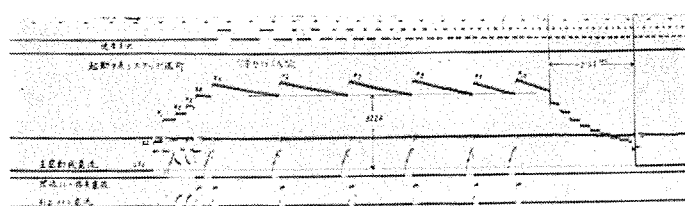
(1) 力行ステップ進め (最終弱界磁ステップ以前) 中ノッチオフすればカム軸は逆回転してステップ戻しを行い 1 ステップ位置で主回路を遮断する。4 図参照。

(2) 力行最終ステップ (最終弱界磁ステップ) でノッチオフすれば減流遮断して主回路を開き、カム軸はノッチ進め方向に回転して直ちに 1 ステップに戻る。最終ステップで

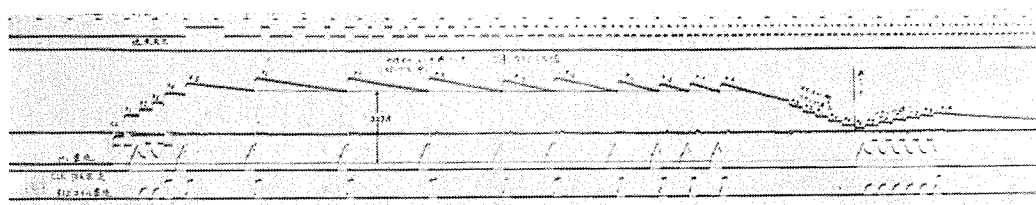
は一般に加速度は低下しているのでショックはほとんど問題とならない。

(3) 力行再ノッチでは戻しステップ中であれば、そのときのステップから直ちにカム軸は反転してステップ進めの状態に復帰する。5 図参照。

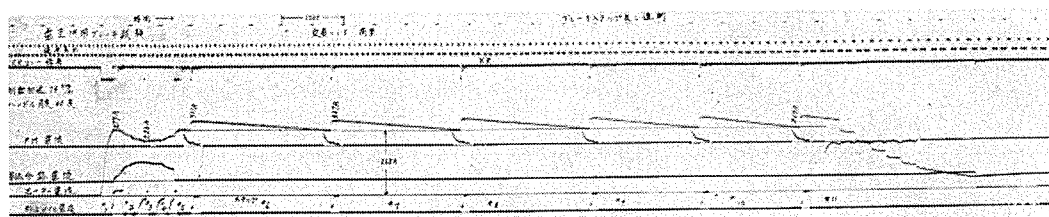
(4) 電気制動中 ブレーキ弁をゆるめると、そのと



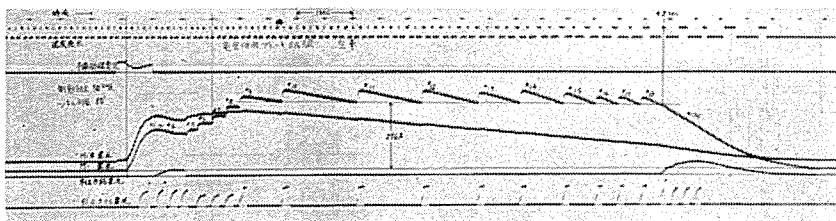
4 図 力行試験起動中戻しステップ遮断  
Fig. 4. Power running tests.



5 図 力行試験 再ノッチ  
Fig. 5. Power running tests.

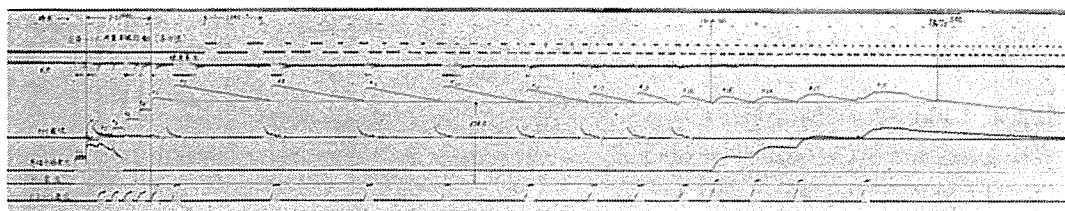


6 図 制動試験 ステップ戻し遮断  
Fig. 6. Braking tests.



7 図 制 動 試 験

Fig. 7. Braking tests.



8 図 力行試験 起動

Fig. 8. Power running tests, start.

きステップ進め中であれば直ちにステップ戻しが行われ、1 ステップに復帰して後弱界磁で電制回路を遮断する。6 図参照。

(5) 電気制動最終ステップ（弱界磁ステップ）でブレーキ弁をゆるめるときは直ちに電制回路を遮断してカム軸は 1 ステップに戻る。7 図参照。

(6) 電気制動ステップ戻し中の再ブレーキ操作ではそのときのステップ位置から直ちにステップ進めに移ることは力行再ノッチの場合と同様である。

以上 (1)～(6) の操作によって力行または制動開始直後のノッチオフまたはブレーキゆるめに伴う不快なショックは完全に除去され、かつ再ノッチまたは再ブレーキに対してのデッドタイムはほとんどない。

力行より制動、制動より力行に移る場合には直ちに 1 ステップに復帰して制動または力行に移行するが、もしそれがステップ途中であればステップ戻しを行ってから制動または力行にはいるからカム軸が 1 ステップに戻る時間を必要とする。したがって最悪の場合でカム軸の回転時間の約 3 秒の時間を必要とする。しかしながらこの時間は空費されるものでなくショック緩和のために費消されるので一般に称するデッドタイムとはその意味を異にし、実際の無駄な時間は皆無に近い。なお非常制動では空気制動のみ働き電制を併用しないのでデッドタイムの問題はない。

#### ウ. 迅速円滑に高加減速が得られる

抵抗カム軸は電動操作の 1 回転方式で、主電動機界磁分路用スイッチとしては別設の空気シリンダ操作のカムスイッチグループを使用して両者は単独に動作できる。抵抗カム軸は 1 回転で全界磁の全ステップを刻む。カム軸回転速度は力行では 6 ステップまでは 3.2 秒/回の角速度で、力行 6 ステップから 14 ステップまでおよび制動全ステップ間は 3.6 秒/回の角速度で回転する。起動の際ステップの進みと同時に界磁も弱界磁より全界磁に移行するので滑り出しはスムーズでしかも捨ステップ（一

般に 5 ステップ前後）の間はカム軸の回転が速くしてあるのですみやかに最高加速度に到達する。8 図は現車で平坦起動の際のオシログラムを示す。最高加速度は 4.0 km/h/s でカム軸の回転およびカムスイッチの投入動作は限流継電器の動作に正常に追従して最終ステップまで正確に

電流を刻んでい  
ることがわかる。  
なお限流値をさ  
らに高くすれば  
限流値に応じて  
予期どおりにさ  
らに高加速値が

得られることは後で 6 章の現車性能試験で述べる。

#### エ. 電気制動が迅速に有効となる

電制初期においては短時間だけ全界磁（界磁弱め器は最弱界磁位置で界磁分路回路を切り離れた状態）制動を行いかつバッテリー電源による予備励磁を行う。したがって高速 (70 km/h～90 km/h) では制動ノッチ曲線よりわかるように制動電流の立上りに対してはなほだ有利な条件となっている。したがって制動電流は急峻に立上るので KR 継電器の働きで界磁分路を直ちに閉じて弱界磁制動として制動電流を抑制する。KR 継電器は主電動機の界磁と並列の回路にその動作コイルが挿入され、電流の変化率によって鋭敏に動作するもので主電動機の電流値によって働くものではない。6 図参照。

制動初速の低い場合には電制開始と同時に界磁弱め器が動作するが、この動作と連動してタイミリに界磁分路を閉じて全界磁制動より弱界磁制動となり、再び全界磁制動となってステップを進める。

#### オ. 4 位式主回路転換器の使用

従来の制動転換器と逆転器を一体にしたいいわゆる主回路転換器を使用して器具の軽量化を図った。

### 4. 主要器具説明

#### ア. 電動カム軸抵抗制御器

##### (1) 構 成

操作電動機 P-16-B 型 100 V 150 W

$R_1 \sim R_{13}$ ,  $R_{21} \sim R_{33}$  用小形カムスイッチ 28 個

( $R_{13}$  および  $R_{33}$  はカムスイッチ 2 個並列使用)

上記用 カム軸

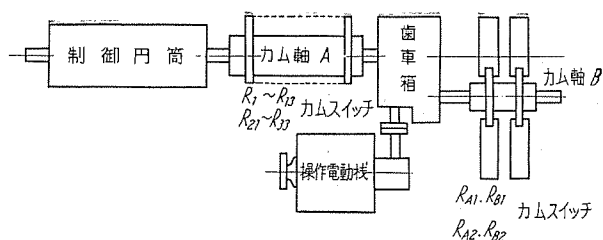
$R_{41}$ ,  $R_{B1}$ ,  $R_{42}$ ,  $R_{B2}$  用大形カムスイッチ 4 個

上記用 カム軸

制御円筒 1 個

歯車箱 1 個

以上の各部から成立つ。これらの構成図を 9 図に示す。9 図において A 軸の回転速度は 32. 秒/回および



9 図 カム制御器構成図

Fig. 9. Composition of cam controller.

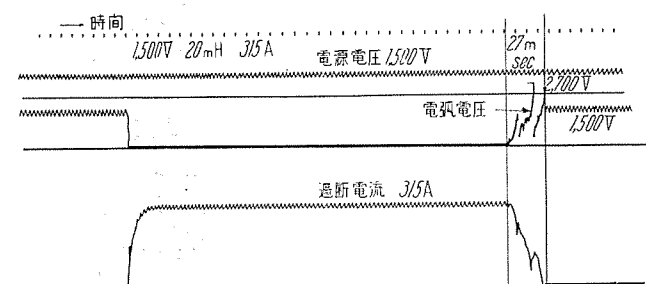
3.6 秒/回で  $B$  軸の回転速度は  $A$  軸の  $7/3$  倍である。

## (2) 小形カムスイッチ

このカムスイッチは重量 1.1 kg/個 の軽量小形なもので可動部の取外しは容易な構造となっていて保守に便利である。接触子接触圧は  $4 \pm 1$  kg で通電容量は 200 A である。なおカム軸は絶縁円筒にカムを張付けた軽量のものである。

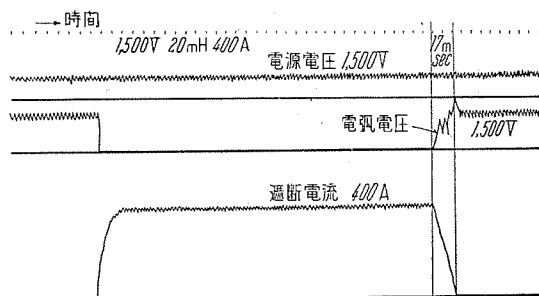
## (3) 大形カムスイッチ

$R_{A1}$ ,  $R_{B1}$ ,  $R_{A2}$ ,  $R_{B2}$  用の UCB-210 型カムスイッチは外形寸法は CS-10A 用カムスイッチと同等であるが消弧機構に工夫を施してあるためその遮断能力は格別増大



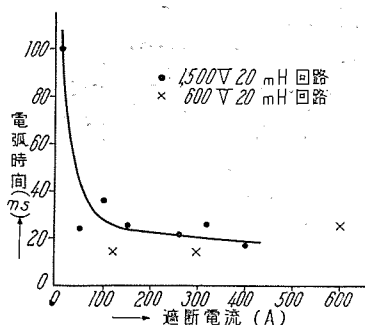
10 図 UCB-210 型 カムスイッチ遮断オシロ

Fig. 10. Oscillogram of cam switch interruption.



11 図 UCB-210 型 カムスイッチ遮断オシロ

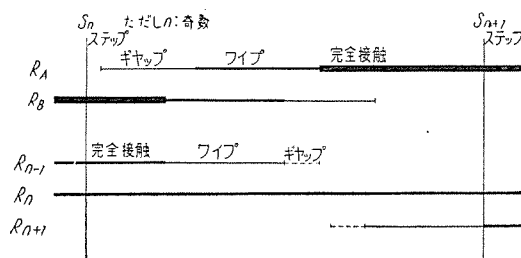
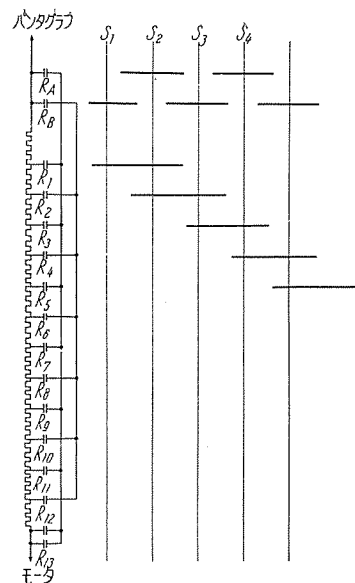
Fig. 11. Oscillogram of cam switch interruption.



12 図 UCB-210 型  
カムスイッチ 遮断  
電流—電弧時間特性  
Fig. 12. Rupturing  
current—arcing time  
characteristic.

13 図 カム展開図

Fig. 13. Cam developed.



14 図 カムスイッチ投入順序図

Fig. 14. Sequence of cam switch closing.

し、本制御器の特質上要求される消弧時間の短縮を十分果している。すなわち吹消線輪として 1 次および 2 次の両線輪を備え、1 次線輪は通電ならびに遮断初期の電弧吹消用に役立ち電弧拡大後は 1 次 2 次両線輪は直列回路となって共に電弧吹消力として利用される。10 図 11 図はこの UCB-210 型カムスイッチの遮断オシログラムの一例を示し、12 図はその遮断電流—電弧時間の関係を図示したものである。

このカムスイッチは開閉頻度高く、カム軸の回転速度は高い。しかしながら  $B$  軸上では 1 ステップの回転角が  $A$  軸のその  $7/3$  倍でかなり広いのでカムの傾斜は十分ゆるくできる。したがって接触子の開閉動作を適切にしかつカムスイッチのローラが不当なショックを受けたり跳躍を起したりしないような形状の選択ができて従来の一般のカムスイッチのように急峻な形のカムのために生ずる開閉動作の不円滑の恐れがない。

## (4) 抵抗制御

抵抗制御に際して大形カムスイッチのみで電流の投入遮断を行い、小形カムスイッチは電流の投入および遮断を行わないで通電のみの役目を果して主抵抗器を 14 段階制御することができる。13 図はカム展開図、14 図はカムスイッチの投入順序を示す説明図である。この図によりカム軸の回転とカムスイッチ投入動作を対照すれば小形カムスイッチの投入と通電時期の関係を知らることができる。

#### イ. 4 位置式主回路転換器

本器は従来の制動転換器と逆転器を一体にして、1 個の空気シリンダに 4 個の電磁弁を使用してつぎの 4 位置をとりうるようにしたカムスイッチグループである。

すなわち前進力行位置

後進力行位置

前進制動位置

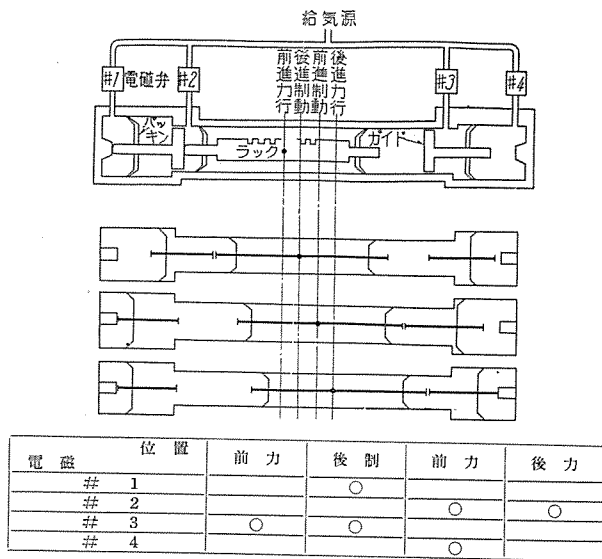
後進制動位置がある。

##### (1) 構造

空気シリンダは大小 3 個の室よりなり両端 2 個が大シリンダで中央部が小シリンダである。シリンダの中央部には主ピストン 1 個、両端には補助ピストン各 1 個を設けてある。シリンダは中央部が同径の 2 室に区切られ両端の 2 室と併せて 4 室を有し、各室はそれぞれ on 電磁弁を介して圧縮空気の供給源に接続されている。主ピストン軸にはラックが刻んでありこれが扇形ピニオンと噛合ってカム軸を回転させてカムスイッチを開閉させる。補助ピストンの大シリンダ側にはピストンパッキンを取付け小シリンダ側は単なるガイドである。ガイドは小シリンダと遊合嵌合で圧縮空気が流出入できるよう円周方向に溝を刻んである。

##### (2) 動作

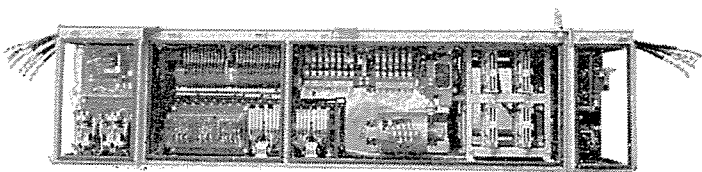
15 図は動作説明図である。本図により #1~#4 の電磁弁の動作の組合せにより 4 位置を選択できることがわ



○印は電磁弁励磁を示す

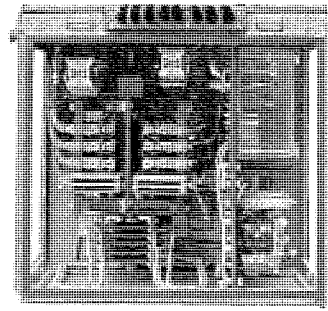
15 図 FC-301 型主回路転換器動作説明図

Fig. 15. Type FC-301 main circuit change over device operation diagram.



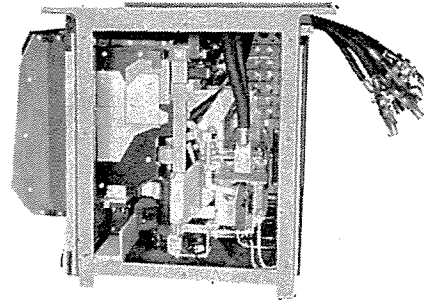
16 図 MU-32 C-1 型主制御器正面

Fig. 16. Main control equipment front view.



17 図 MU-32C-1 型  
主制御器側面

Fig. 17. Main control equipment side view.



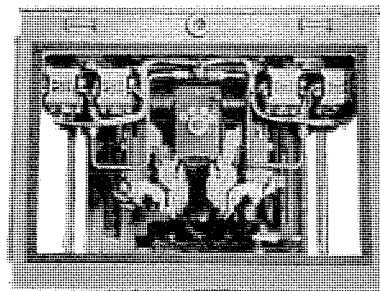
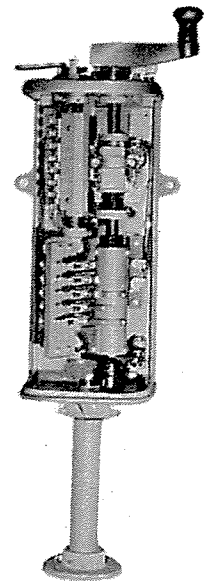
18 図 HB-5-452  
型断流器箱

Fig. 18.

Line breaker.

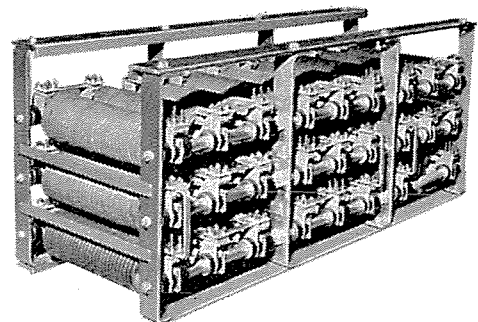
19 図 KL-89 型主幹制御器

Fig. 19. Master controller.



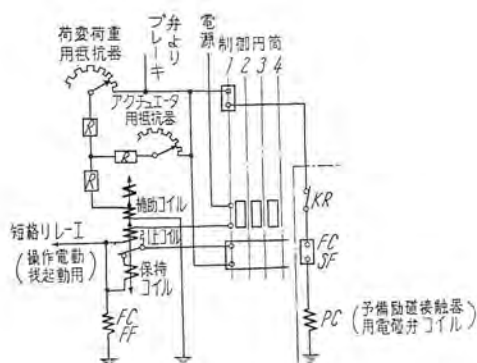
20 図 FC-301 型主回路転換器

Fig. 20. Main circuit change over device.



21 図 EW-102-39 型主抵抗器

Fig. 21. Main resistor.



22 図 制御回路説明用図

Fig. 22. Control circuit.

かる。なお電磁弁のコイル断線、および誤動作に対しては危険のないよう制御回路に考慮が払われていてその心配はない。また転換時いずれの操作の際にもカムスイッチ開閉に要する駆動力を均等にするよう工夫されていて多数個のカムスイッチを円滑に制御できる。

#### ウ. その他の器具

全般的に新設計の器具を多数使用しているがとくに今回の制御装置の特長に対して性能的に関連あるものについて若干付言すれば

(1)  $L_{S1}$ ,  $L_{S2}$  用として用いた UP 95 型単位スイッチは大電流のみならず、とくにステップ戻し後の遮断に備えて小電流の遮断能力も十分であるものとした。すなわち本器は 1,500 V 20 mH 回路で 10A まで遮断可能である。

(2) 力行継電器制動継電器として空気継電器を使用し多数個の接点を安全確実に開閉できるものとして継電器の個数を減らすこととした。

(3) 主抵抗器は

鉄クローム帯をエッジ巻きしたリボン型抵抗器であるが、とくに棒数を少くして(従来の6棒分を1棒に)縦装上、取扱上の便宜を図り併せて器具の軽量化をはかった。

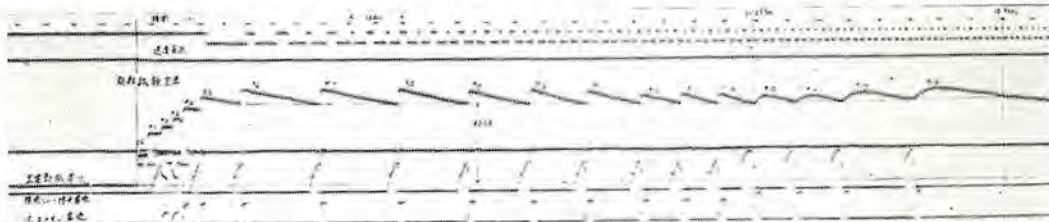
#### エ. 製品写真

主要制御器具の写真を示す。(16 図～21 図)

### 5. 運転性能, 制御回路について

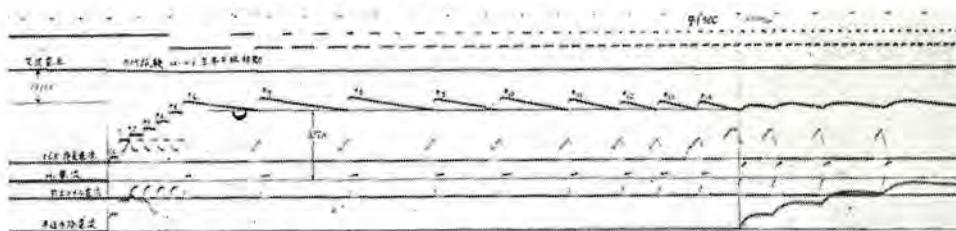
#### ア. 運転性能

主幹制御器 1 ノッチでは最弱界磁で起動抵抗最大値で徐行し、ステップは進まない。2 ノッチは低加速用ノッチで平坦線で最高加速度は 2 km/h/s である。3 ノッチは高加速用ノッチで平坦線で最高加速 4.0 km/h/s で、4 ノッチで弱界磁ステップに進む。ブレーキ弁操作により制動をかけるときはブレーキ弁操作角度により制動力は変化する。すなわちブレーキ弁把手角度 34° までは制動力は最小で 34° から 80° の間は直通管圧力は 1.0 kg/cm<sup>2</sup>



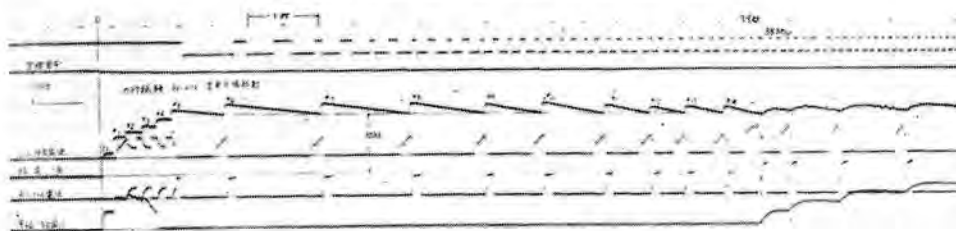
23 図 力行高加速試験

Fig. 23. Power running high acceleration test.



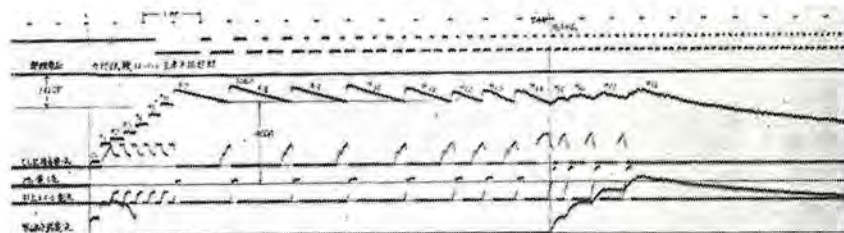
24 図 力行高加速試験

Fig. 24. Power running high acceleration test.



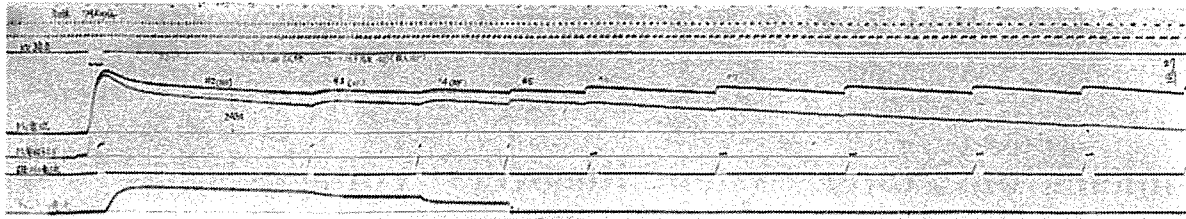
25 図 力行高加速試験

Fig. 25. Power running high acceleration test.



26 図 力行高加速試験

Fig. 26. Power running high acceleration test.



27 図 制 動 初 期 試 験  
Fig. 27. Braking initial period test.

1 表 力 行 性 能 表

オシロ 図 番	最高加速度 (km/h/s)	起動より全界磁最終ステップまで			電 流 限流値 (A)
		最終速度 (km/h)	所要時間 (sec)	平均加速度 (km/h/s)	
23 図	3.85	39.5	11.25	3.50	323
24 図	4.20	38.0	9.9	3.84	350
25 図	4.70	37.0	9.1	4.06	387
26 図	5.80	36.0	7.4	4.87	460

から  $3.3 \text{ kg/cm}^{-2}$  まで変動してアクチュエータを動作させて限流継電器の補助コイルの直列抵抗を加減して限流値を変える。したがってブレーキ弁の操作角度に応じて制動力を変動できる。平坦線においては  $1.2 \text{ km/h/s} \sim 4.75 \text{ km/h/s}$  の任意の電気制動力が得られる。なお可変荷重機構を装備しているから力行制動共定員 (170 名) の約 1.7 倍まで乗客の多寡によってその加減速度は変らない。

制動初期電制力が有効になるまでおよび低速になって電制力が無効になり初めてからは空気制動力が働くことはいうまでもない。また各種運転操作に対してデッドタイム少く、ショックの伴わないことはさきに詳述したとおりである。

#### イ. 制御回路

22 図は電制回路の一部分をとりだしたものである。制動初期カム軸すなわち制御円筒が第 1 ステップで PC コイルを励磁すると同時に界磁弱め器の FF コイルを励磁する。

PC コイル励磁により界磁分路を主電動機界磁から切離して全界磁制動とするが FF コイルにより界磁弱め器を弱界磁位置から全界磁位置に移動するので、この連動インタロック SF により PC コイルを消磁して界磁分路回路を閉じて一たん弱界磁制動にもどし再び全界磁となってステップを進める。制動電流の立上りの速い場合は KR リレーによって PC コイルを迅速に消磁する。可変荷重用抵抗器とアクチュエータ用抵抗器とは並列となり限流継電器の補助コイルに直列に接続されその間に適当値の抵抗を付加させた回路を形成して荷重に対して減速度が変化しないように限流点をかえる。

低速になったの電空切換えは最終 18 ステップで限流点まで電流が減ると界磁弱め器が弱界磁に移動する。この連動により締切電磁弁回路を開いて空制力を追加する。なおさきに述べたステップもどしなどの回路に関しては説明を省略する。

## 6. 現車性能試験

現車試験成績の一部についてはすでに 4 図～8 図のオシロに示した。本章ではこの制御装置によって得られる加速度の限度を検討した結果について紹介する。23 図～26 図は限流継電器の限流値を各種の値としたときの起動試験のオシログラムである。これらの結果を表示すると 1 表のようである。

試験において最高加速度約  $6 \text{ km/h/s}$  以上では車輪がスリップをおこしたので (試験当日は雨天であった) これ以上の試験は中止した。24 図のオシロでは最高加速度は  $5.8 \text{ km/h/s}$  であるが、この場合も加速電流は限流継電器の動作に伴って正規に刻み、カム軸の追従したがってまたカムスイッチの動作は正常であることを示している。したがって、限流値を上げれば主電動機がその負荷に耐えさえすればスリップ限度内まで加速度は十分上げ得ることが確認された。

27 図は制動初速  $79 \text{ km/h}$  での低ブレーキ率による電空併用制動試験オシログラムの一例であるが、これによれば制動初期の電流立上りにより KR リレーが働き直ちに弱界磁制動に移り、弱界磁ステップを限流継電器によって正しく刻んでいることがわかる。

## 7. む す び

制御装置において単位スイッチ方式とカム軸スイッチ方式の優劣は長年国内でも諸外国でも論争的となったがいずれの方式にも一長一短あり、その電気車の容量、および要求される運転性能によって採否が決定されるものであって一律にその優劣を断定できるものではないと思われる。

今回の新車に要求される諸性能を満足させることは従来のカム軸スイッチ方式の制御装置では困難と思われたが、前述のような新機軸の採用により予期通りの成績が得られ、カム軸スイッチ方式の短所を補い、かつ多数個のスイッチを小容積に収容しうるなどその長所を生かした新制御装置として完成しえたことは誠に喜びとするところであり、区間電車の先端をゆくものとして大いに自負するものである。とくに 6 章に記述したように本制御装置の方式により約  $6.0 \text{ km/h/s}$  の加速度を得ることも不可能でないことが確認され、今後の制御装置に対しての貴重な参考資料とすることができたことははなはだ幸いである。末筆ながら今回の制御装置設計に際して種々ご指導ご援助を賜った近鉄赤尾課長ならびに担当者各位に対して深甚なる謝意を表する次第である。

# 電力系統における回復電圧に関する諸問題 (その 1)

研 究 所 潮 恒 郎\*

## Problems on Power System Recovery Voltages (1)

Engineering Laboratory Tsunero USHIO

Spectacular is the recent development of the electric power system. With this trend performance demanded and duty imposed on the apparatus in the system are becoming increasingly severe. Circuit breakers are one of representative outfits which have undergone the ordeal. The recovery voltage is an aged problem relative to this equipment, but the trend of higher system voltage and progress in the air blast circuit breaker have come to demand the re-perception of it as a numerical index against the severity of voltages. Characteristics of the power systems viewed from this point will bring many problems worthy of investigation.

### 1. ま え が き

電力系統の発展は近年において目覚ましいものがあるが、それに伴って系統内機器に要求される性能と課せられる責務とは次第に苛酷なものとなりつつあり、多くの新しい技術的問題の解決を要求されている。たとえば遮断器を始めとする開閉装置の最近における著しい発達、系統の成長と近代化を単的に物語っているものといえる 1 つの例であろうが、それに伴って機器の動作に関連したきわめて基本的な問題を、あらためてかなり詳細に掘り下げて検討することを必要としているのである。

ここに論ずる回復電圧の問題の如きは、基本的には遮断器開発の歴史の頭初から本質的に付随しており、なんら新しい問題ではないのであるが、遮断器の電圧定格や遮断定格、あるいは遮断時間において相当に高性能を要求されるに至っている現在、かかる問題をあらためて詳細に考えることが、技術的にも、経済的にも必要となってきた。

遮断器に課せられる責務は電流ならびに電圧責務に大別されるが、前者は遮断電流により、後者はいわゆる再起電圧ならびに回復電圧によって代表されるものと考えることができる。最近の系統電圧の上昇と、とくに空気遮断器の発展の傾向は、遮断器に対する電圧責務の重要性を再認識させているが、回復電圧はその電圧苛酷度の数値的尺度を与えるものとして詳しい研究と調査とが望まれている。とくにわが国の系統はその特殊性も手伝って場所により場合によりかなり回復電圧特性に変化が見られ、遮断器の適用に当ってその背景となる実系統の実態の把握が強く望まれているのである。

筆者はこの問題に関して 2, 3 研究調査する機会があったので、その問題点の概要を取纏めてここに報告する。もちろんこの報告は問題に関するいわば序論的なものであって研究の成果と適用はむしろ今後の課題であるが、

電力系統の特性を回復電圧という 1 つの面から眺めても、かなり興味ある多くの問題が浮び上って来、系統技術者にも、また機器設計者にもいろいろな示唆を与えるものであるように思われる。

### 2. 回復電圧についての基本的考察

電力系統内に発生した短絡あるいは接地故障を開閉装置によって遮断した場合、電流の遮断後にその開閉装置の極間あるいは電源側系統に生ずる電圧を回復電圧と称し、とくにその初期の、開閉装置の電流継続あるいは遮断を左右するような早い過渡電圧の部分の再起電圧と称している。そこで元来、再起電圧と回復電圧とを全く別々に取扱うということは本質的には妥当でないであって、たとえば米国などでは“recovery voltage”という 1 つの言葉で統一され、これに transient- または high frequency-, あるいは fundamental frequency- 等を付加してその内容を区別している。一方、英国や IEC では“restriking voltage”と“recovery voltage”という言葉で区別しており、わが国でも再起電圧と回復電圧とはその内容が区別されている。これは全く便宜上のもので、実際の現象そのものについては、どこまでの時間的範囲までを再起電圧と称すべきかということは明確な規準はない。しかし、後にも示すように、再起電圧と回復電圧とは、その取扱い方、計算のしかた、測定のかた等とかなり異った方法が適用され、現象をこの 2 つに分けて考察し、それを組合せて遮断時過度現象の全体を把握するということが実際問題として便利であり、また従来から行われている方法であって、今後もそれが踏襲されるであろう。

そこで回復電圧という言葉の内容の設定を明確にして置く必要がある。そもそも回復電圧という言葉は、従来から、内容がかなり曖昧なものであった。1 つの回復電圧という言葉で、場合によりいろいろな内容と数値の

のが表現されており、暗黙のうちに漠然といろいろと限定されていたのである。

われわれは便宜上回復電圧の内容をつぎのように限定して取扱う。

『回復電圧とは、故障遮断後の開閉装置極間、あるいは系統に発生する電圧において、その高周波成分を除いた部分をいう。すなわちそれは基本波分、高調波分および直流分過渡項より成る\*。その内容はさらに時間的につぎのように分類される。』

#### (1) 瞬時回復電圧\*\*

過渡高周波成分の中心線をなす仮想的電圧値。

#### (2) 準定態回復電圧または過渡回復電圧

瞬時回復電圧より規約回復電圧に至るまでの過渡的電圧。

#### (3) 規約回復電圧\*\*\*

最終相遮断後の3相回復電圧基本波分。これは従来のJECではつぎのように定義されている。すなわち、

「回路遮断後第1および第3の回復電圧の山を直線で結び第2の山で前記直線との時間軸に垂直な距離として測った電圧値を $2\sqrt{2}$ で除した値で示され、3相遮断の場合線間値で表わすには $\sqrt{3}$ 倍する。」

#### (4) 定常回復電圧

回復電圧が定常状態に達した場合、これを定常回復電圧という。

かかる定義にしたがうと、再起電圧の数値的基準を与えるものは瞬時回復電圧であり、振動周波数成分、その成分比、振幅率、および瞬時回復電圧値を与えることによって再起電圧を決定することができるのである。すなわち再起電圧の計算は、周波数成分、成分比および振幅率、いかにいけば“波形”の計算を行って置けば、その“数値”的尺度は回復電圧によって与えられることになる。計算のみならず実測結果の整理もかかる立場で行えば取扱いが非常に便利である。かかる意味において回復電圧の考察はきわめて重要性をもってくる。

そこでさらに、回復電圧に対する考察の便宜上、つぎのような諸係数を導入すると便利であると思われる。すなわち

#### (1) $k_1$ = 給与電圧/定格電圧

これは問題にする系統内の場所における実際の給与電圧あるいは運転電圧と、開閉装置の定格電圧（あるいは公称電圧または標準電圧）との比を与えるものであって、その場所の回復電圧の数値的基準を与えるものである。

#### (2) $k_2$ = 規約回復電圧/給与電圧

規約回復電圧すなわち終相遮断後の基本波回復電圧が給与電圧に対してどの程度変化するかを与える係数であ

るが、理論的には規約回復電圧を遮断瞬時にまで延長した所の仮想値を用いる方が便利である。これは系統内の同期機の空隙磁束変化が大きく影響してくるため、系統構成、故障継続時間により著しく左右されると共に、故障前の負荷の状態、電力潮流とくに無効電力潮流にかなり影響される。

#### (3) $k_3$ = 基本波準定態回復電圧/規約回復電圧

これは故障、接地、遮断相、中性点インピーダンス等により左右される遮断各相の最終相遮断に至るまでの過渡的な回復電圧の準定常基本波成分、いかえれば回路の不均衡状態に基づく“ベクトル量”によって計算されるような回復電圧値を規約回復電圧値をベースにして表現したものである。非対称性の大きい同期機が含まれて過渡的な不均衡状態に高調波分を多く発生するような場合にはかかる係数を単純に用いることはできないが、一般的には、かかる係数を設定して置くことと便利である。

#### (4) $k_4$ = 瞬時回復電圧/基本波準定態回復電圧

これは前述のベクトル量たる基本波準定態回復電圧へ至るまでの過渡的な現象により、瞬時回復電圧値のうける変歪を数値的に表現するものである。これも系統構成と遮断相、遮断位相、短絡力率、中性点インピーダンス等により左右されて発生する直流分過渡項による変化がある他、回転機が含まれる場合には、そのインダクタンスの周波数特性による瞬時回復電圧の変歪が含まれる。非対称性の大きい同期機が含まれて、回復電圧中に高調波分が多く含まれる場合には、前述の $k_3$ と一緒にして $k_3k_4$ として考察した方がよい場合もあるであろうと思われる。

このような係数を設定すると、そのおのおのは比較的容易に理論的にも導くことができるから、それらを組合せて、瞬時回復電圧や再起電圧を数値的に決定することができる。たとえば再起電圧波高値は、その振幅率 $^{\dagger}$ を $k_5$ とすれば、

$$\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} E \times k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 \quad (E \text{ は定格電圧})$$

で与えられることになる。

従来から電力系統における再起電圧の研究は、かなり広汎かつ詳細に行われていたにもかかわらず、その数値的基準を与える回復電圧に関する研究は比較的内容に乏しく、ごく基礎的な問題に関してのみ、類型的な理論的取扱いが行われていた程度である。その重要性が認識されて実際的な研究が緒についたのはむしろ最近のことであるといえよう。以下ここに述べた $k_1 \sim k_4$ の係数に関して順次述べるが、申すまでもなく、これらの計算は、唯一の基本的な式、すなわち、

\* 再起電圧は振動的（単一または多重周波数）のみならず、非振動的指数函数的となる場合もある。かかる場合に、瞬時回復電圧と再起電圧の区別はむづかしいが、系統内の局所容量分が関与して生ずるような早い過渡現象は一応すべて高周波成分の中に含める。

\*\* したがって瞬時回復電圧はむしろ計算上から求め得る仮想的なものである場合も多い。\*\*\* 計算上あるいは理論上はJECに与えられるような規約回復電圧は求めがたい。むしろ規約回復電圧を遮断瞬時にまで延長した所の仮想的な値の方が理論的には取扱いやすい。 $^{\dagger}$  この再起電圧の振幅率 $k_5$ は瞬時回復電圧に対するもので、この値をとると比較的普遍的な数字として $k_5$ が与えられることになる。

$$e_r = -i_s \cdot Z_0 \dots \dots \dots (1)$$

に基づくものである。ここで  $e_r$  は回復電圧、 $i_s$  は遮断電流、 $Z_0$  は遮断点より見たインピーダンスである。この  $i_s$  や  $Z_0$  を前述のようなそれぞれの詳細な立場から眺めると、それぞれにいろいろな意味を持った回復電圧が論ぜられるのである。

なお、通常回復電圧を考える場合、再起電圧と同様に非接地 3 相故障の第 1 相遮断を代表的に考え、その他の場合はこれに準じて取扱う慣例がある。ただし回復電圧としてはこの場合をこえることはごくわずかだからである。

### 3. 回復電圧に影響を及ぼす諸要素

詳細の論議にはいる前に、回復電圧に影響を及ぼす諸要素について概括的に述べておく。後の記述とは順序が前後するが、その諸要素をおおむね分類するとつぎのようになるであろう。

#### ア. 系統固有のもの

##### (1) 系統構成

ここで系統構成というのは送電系統の配置、並列系統の状況等を意味するのであるが、主としてその影響は  $k_2$  に現われる。系統内における同期機の配置によっては、故障時間によりかなり  $k_2$  が低下する。さらに並列のループ系統があって、開放する遮断器以外に同一の電源側から故障点に饋電するような場合には  $k_2$  は著しく低下する場合がある。その一例は平行二回線の場合に最初に開放する遮断器であって、場合によりその低下率は 0.2 位になる。一方いわゆる Ferranti 効果として知られる長距離線路の容量は  $k_2$  をかなり上昇させる場合がある。

##### (2) 系統の中性点インピーダンス

系統の中性点インピーダンスの影響が現われるのは  $k_3$ 、 $k_4$  についてである。3 相非接地故障第 1 相遮断については中性点インピーダンスの影響はほとんどなく  $k_3$  は 1.5 と考えてよいが、3 相接地故障第 1 相遮断の場合には、一般に中性点インピーダンスが有限であれば、 $k_3$  は低下する。その低下率は非接地故障第 1 相遮断の場合に比べ、直接接地で 0.75、(すなわち  $k_3 = 1.5 \times 0.75 = 1.1$ ) 抵抗接地で 0.85 位が普通である。

さらに、3 相接地故障第 2 相、または 2 相接地故障第 1 相遮断の場合には、中性点非接地で、零相インピーダンスが無限大であれば、遮断器は 2 相が直列になって遮断を行うため、各遮断器極間の回復電圧を見ると  $k_3 = 1/2 \times \sqrt{3} = 0.867$  となるわけであるが、幾分でも零相電流(主として容量性)が残れば、回復電圧はまず 1 相のみで受持つことになるから  $k_3 = \sqrt{3}$  に近くなる。中性点インピーダンスが有限となれば一般にこれよりも  $k_3$  は低くなり、普通の直接接地や抵抗接地では  $k_3 = 1 \sim 1.3$  であるが、PC 系の場合には  $k_3$  が 1.5 をこえて  $\sqrt{3}$  に近い場合もあり、また中性点インピーダンスがかなり高抵抗であれば、 $k_3$  が 1.8 をこえ、3 相非接地故障第 1 相遮断の場合の 1.2 倍に達することもありうる。

以上は  $k_3$  についてであるが、いずれの場合にも  $k_4$  はかなり低い値になり、瞬間回復電圧のみを問題にする場合には  $k_3 k_4 = 1.1$  (直接接地および抵抗接地)  $\sim 1.5$  (P. C. 接地) 位を考えればよいであろう。

#### (3) 同期機の過渡非対称性

$k_3 k_4$  に影響を及ぼすもので、詳細に考えると後述のようになりかなり複雑であるが、ごく大ざっぱに考えると略系統の  $x_d''/x_d'$  に比例して変化すると考えてよい。制動巻線を有しない水車発電機端子において最も大きく、制動巻線を有する場合、タービン発電機の場合、外部リアクタンスの大きい場合等は問題にならない。実際問題として過渡非対称性が大きな問題となるのは、発電所出口の場合で、この効果による倍率が 2 以上になることもある。

#### (4) リアクタンスの周波数特性

電気機器のインダクタンスは周波数によって変化する。同期機の場合はこれがとくに著しい。その結果  $k_4$  を低下させる作用をもち、とくに再起電圧周波数が高いときにその影響が顕著に現われる。同期機単独の場合この低下率は 0.5  $\sim$  0.6 であり、外部リアクタンスがつながれば、そのインピーダンス比によって影響が薄められる。発電機出口の場合や、短絡試験場では問題になるであろう。

#### (5) 電源の飽和の影響

$k_2$ 、 $k_3$ 、 $k_4$  のいずれにも影響はあるが、本論文では詳細には取扱わない。発電機や変圧器の飽和の影響は過渡的な回復電圧にはあまり著しい影響は与えない。

### イ. 系統の運転状態に関係するもの

#### (1) 運転電圧

いうまでもなく  $k_1$  を決める要素である。給与電圧の影響がそのまま 1 次的に現われることはいうまでもなく、これは系統運転状態を実態調査して見る必要がある。わが国では山側の送端電圧はかなり高目に運転しているのが実状であるから、かなりこれが問題になる場所もある。

#### (2) 故障前潮流の影響

これは  $k_2$  に影響を与え、故障除去とともに負荷が遮断される場合、故障前負荷の大きさは  $k_2$  を増加させる方向に作用する。とくに故障前無効電力流の大きいときに影響は顕著である。その影響はかなり大きい場合 1.2 位の増加率となる。

### ウ. 故障状態に関係するもの

#### (1) 故障位置

故障位置の影響はもちろん、他の諸要素と関連させた上で考察しなければならないため、単に故障位置のみを取上げて検討することはできない。

#### (2) 故障種類

$k_3$  および  $k_4$  に影響するが、前述の中性点インピーダンスや遮断相とあわせ考慮しなければならない。第 1 相遮断を問題にすれば、中性点に高インピーダンスを有する場合の 2 線地絡が最も高く、非接地 3 相故障の場合 ( $k_3 = 1.5$ ) の 1.2 倍近くになりうることもあるが、その他の故障ではいずれも非接地 3 相故障の場合よりも低く、そ

の低減率は 0.5~0.7 である。

第2相遮断を問題にすれば、もちろん、中性点に高インピーダンスを有する場合の3線地絡が同様に高いわけで、その他の故障ではやはりいずれも非接地3相故障の場合よりも低く 0.5~0.7 の低減率となる。もちろん例外的に非常に低い場合もあるが、(たとえば同期機端子での3相接地故障の第1相遮断のように、 $k_3k_4=0.18$  位になる。)これはまれな場合である。

### (3) 故障力率

$k_4$  が故障力率に対して  $\sqrt{1-\cos^2\phi}$  の関係にあることは自明であって、実際問題としては実故障がどの程度の故障力率を有するものであるかの実態調査にまたねばならない。

### (4) 故障位相 (故障電流直流分)

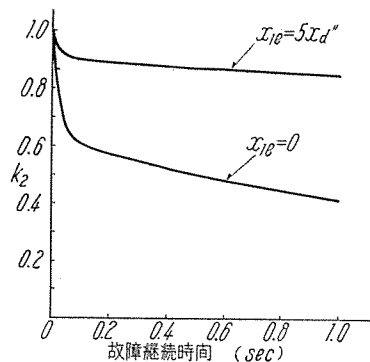
遮断電流中の直流分の存在はかなり  $k_4$  を低下させるのが普通であるが、故障力率がよい場合に幾分回復電圧を上昇させる場合もある。しかし多くの場合、直流分はかなり減衰してから遮断されるから影響はそれほど著しくはない。

## エ. 遮断器、継電器の特性に関係するもの

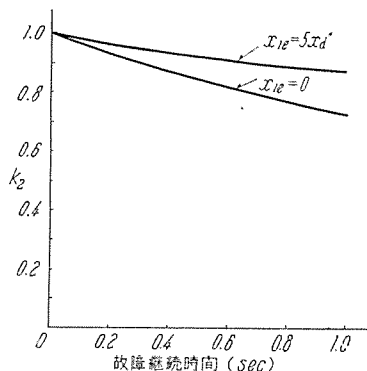
### (1) 遮断器の位置

これも他の諸要素との関連性においてのみ考えられるところであって、この影響のみを単独に論ずることはできない。

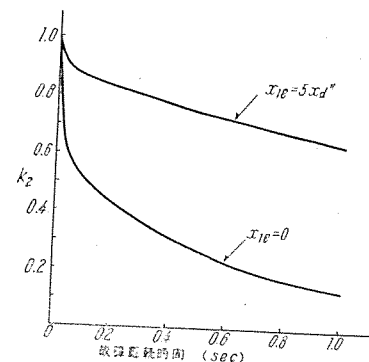
### (2) 故障継続時間



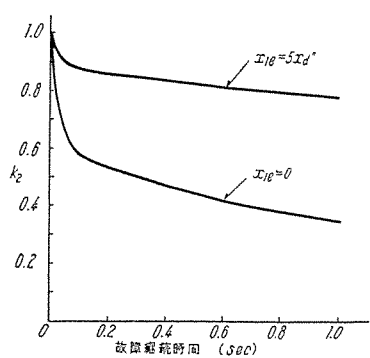
(a) 制動巻線付水車発電機の  $k_2$



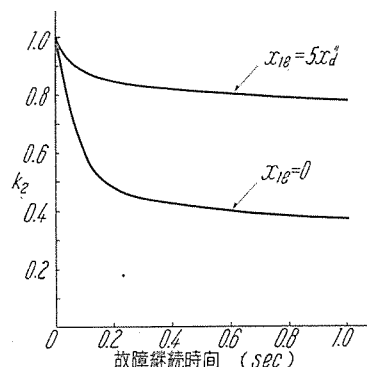
(b) 制動巻線無水車発電機の  $k_2$



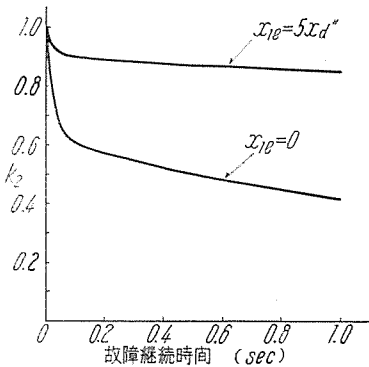
(c) 2極タービン発電機の  $k_2$



(d) 4極タービン発電機の  $k_2$



(e) 凸極型短路試験用発電機の  $k_2$



(f) 同期調相機の  $k_2$

1 図  $k_2$  に及ぼす同期機の影響

Fig. 1. Effects of synchronous machines on  $k_2$ .

故障継続時間の影響は、電源インピーダンスに同期機が大きな割合を占める場合にはかなり顕著である。とくに制動巻線を有する発電機や調相機、タービン発電機においてその影響が著しく、数サイクルの故障継続は故障瞬時の遮断に比して  $k_2$  をかなり低減させる。それらの端子ではその低減率は 0.6~0.65 位であるが、同期機が制動巻線を有しない場合、および同期機外部にかなりの外部リアクタンスがはいった場合にはこの影響は小さくなり、普通の系統ではこの低減率は 0.9~1.0 になる場合が多い。

### (3) 故障遮断相

第何相目の遮断であるかということであるが、これはア-(1)ウ-(2)に述べたところに含まれている。電源インピーダンスの状態と故障の種類とあわせ考察しなければならない。

### (4) 遮断器の電弧電圧

遮断器の電弧電圧が  $k_4$  を低減させる効果は低圧用の遮断器の場合にはかなり大きい。しかし再起電圧について考えれば、振動振幅の増大のために、むしろかえって電弧電圧によって増大する場合もある。高圧の比較的電弧電圧の低い遮断器ではあまり問題にならない。

以上回復電圧に直接的に影響を及ぼす諸要素の代表的なものを分類挙げてみた。これらが実際にどのようなように組合って、実系統ではどのような数字になるかということをつぎに順を追って眺めて行くこととする。

#### 4. 実系統の規約回復電圧 ( $k_2$ )

まず実系統の規約回復電圧, すなわち故障の終相遮断後の3相基本波回復電圧が給与電圧に対していかようになるかを考察してみる. これは従来の JEC 試験規格では定格電圧に対して 95% と規定されていたものであるが, 系統構成, 系統内の同期機, 故障前負荷, 故障継続時間等によってかなり著しく変化するものである. 始め各影響する要素に関して類型的に簡単に考察し, つぎに実際の系統における数値例を示すことにする.

##### ア. 規約回復電圧に対する電源同期機の影響

同期機は短絡の開始から時間の経過と共に短絡電流を支配するリアクタンスが変化し, いい変えれば同期機の空隙磁束は減衰して行くため, 有限の短絡時間のうちこれが遮断されると, 短絡電流  $i_s$  と端子から見たインピーダンス  $Z_0$  との積として与えられる回復電圧は故障前端子電圧よりもかなり低くなっている. この  $k_2$  に対する影響を特長的に見るため, 無負荷の同期機の端子における3相故障と, かなりの外部リアクタンスを有している場合の3相故障とを遮断した場合, 遮断器極間の回復電圧における  $k_2$  値を各種の標準値を有する機械について求めて見ると1図-(a)~(f) のようになる. 図において  $x_{1e}$  は同期機端子より短絡点に至るまでの外部正相リアクタンスで, これが同期機の直軸次過渡リアクタンスの5倍ある場合と0の場合とについて計算したものを示している. これらの曲線はちょうど短絡電流交流分の減衰の曲線と同様のものになるわけであるが, 図に見るように  $k_2$  の減少は2極のタービン発電機の場合にもっとも著しく, 制動巻線を有しない水車発電機においてもっとも変化が少い. また外部リアクタンスを有すると  $k_2$  の変化が著しく小さくなることが明らかである.

なおこれらの曲線は, 同期機の背後起電力を一定とした場合のそのリアクタンス変化の逆数を与えるもので, とくに  $x_{1e}=0$  の曲線は同期機自体のリアクタンス変化を示しているものである. 同期機が複雑な系統内にはいつている場合,  $k_2$  の厳密な計算は非常にやっかいでむしろ不可能に近いが, 近似的には, 系統内の同期機をすべて上記のような可変リアクタンス素子と考へて故障継続時間を考慮に入れて遮断電流を計算し, つぎに系統内同期機のリアクタンスをすべて次過渡リアクタンスで置いた場合の遮断点から見た初期インピーダンス  $Z_0$  を求めれば遮断電流と  $Z_0$  の積として  $k_2$  が得られることになる. 実用上その近似度は十分であることは補遺に示すようである.

3相短絡故障以外の故障の場合には, 同期機の時定数等が幾分違ってくるので, このままは取扱うことができないが, 大体これに準じて考えられる. この程度の現象に対しては通常の対称座標法もかなり近似度高く適用できるから, 3相短絡故障以外の不平衡故障に対して, 短絡期間中の電流減衰を詳しく計算しようとする場合には,

正相リアクタンスは上記のように可変のリアクタンスを, また逆相, 零相リアクタンスは不変のリアクタンスを用いて成分回路網を組み, 等価回路により計算することが推奨される. 実際問題としては現象の本質を最も明確に示しているのは3相故障の場合であり, いろいろの比較の規準としてもこれが最も判りやすく便利であるので, 以後の考察には主として3相短絡故障を対象とする.

さて1図に見るように同期機単独の場合の  $k_2$  の変化は著しく, 火力発電所の出口等はこれに相当するものであるが, 連繋した大容量の実系統に関してはむしろ  $x_{1e}=5x_d''$  位に相当した特性になるようである. さらに, 現在の実系統における故障継続時間は継電器時間と遮断器遮断時間とを組合せて 0.1~0.2 秒が普通であるから, JEC で定められている 95% という値は決して実状からかけはなれたものではないであろう. これについては実系統の調査結果を後に示す.

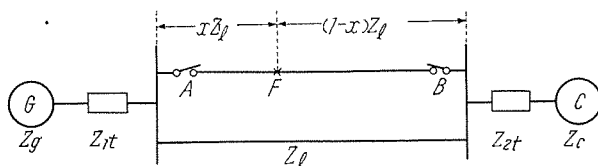
##### イ. 規約回復電圧に対する系統構成の影響

系統内回転機の影響と共に, 系統構成は場合により  $k_2$  値にかなり著しい影響を与えるものである. われわれがよく遭遇するその著しい例の1つは, 平行2回線の1回線故障遮断の場合である. 平行2回線の場合に限らず, 一般に同一電源側から遮断点以外の並列回路を通して故障点に饋電されるようなループ系統の遮断に際しては, 最初に開く遮断器の回復電圧  $k_2$  は著しく低下する場合があります. これは当然のことといえようが, 数値的に確認するために, 1つの模型系統によってこれを計算して明らかにしてみよう.

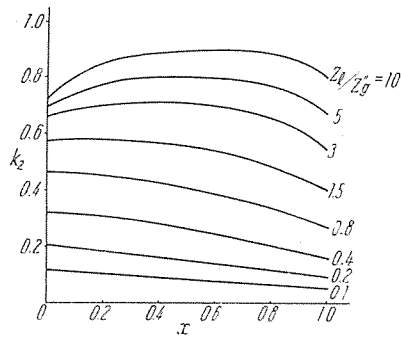
模型系統としては2図に示すような簡単な系統を考える. すなわち平行2回線の電源側および負荷側をそれぞれ同期機とこれに直列の静止インピーダンスをもって代表させ, 1回線の途中 F 点に生じた故障を A 遮断器および B 遮断器で続いて遮断した場合の各遮断器の回復電圧  $k_2$  を計算してみる. 計算に当ってはつぎの仮定によって行う. すなわち,

- (1) 電源側は制動巻線を有する代表的な水車発電機, 負荷側は代表的な同期調相機とし, 可変リアクタンス素子として空隙磁束の減衰を考慮に入れた.
- (2) 飽和は無視してすべてのインピーダンスは線型とする.
- (3) 故障は短絡力率 0 の3相金属故障.

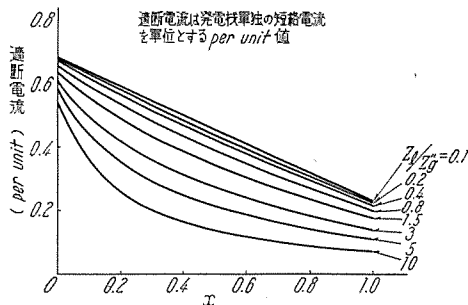
母線までの電源側および負荷側直列リアクタンスはそれぞれ回転機次過渡リアクタンスの 1/2 をとり, また発電機の  $x_d''$  調相機の  $x_d''$  を同一とし, 故障継続時間は 0.1



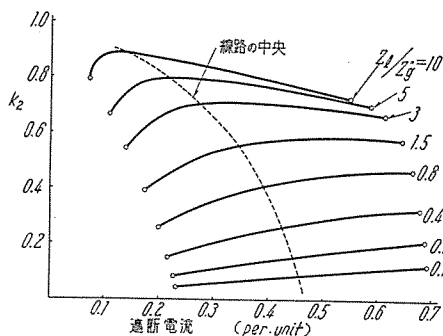
2 図 平行2回線の模型系統  
Fig. 2. Model system of parallel two circuits.



3 図 平行 2 回線の故障を先に開く遮断器の回復電圧  $k_2$   
Fig. 3.  $k_2$  at first interruption in parallel two circuits.

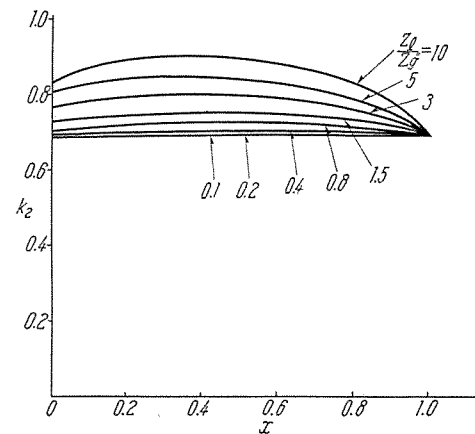


4 図 平行 2 回線の 1 回線故障を先に開く遮断器の遮断電流  
Fig. 4. Rupturing currents at first interruption in parallel two circuits.



5 図 平行 2 回線の 1 回線故障を先に開く遮断器の遮断電流と  $k_2$  の関係  
Fig. 5.  $k_2$  versus rupturing current.

秒とした。3 図は故障点  $x$  に対して  $A$  遮断器が先に開くとしてその  $k_2$  の変化を、線路インピーダンスと発電機二次過渡リアクタンスの比をパラメータとして示したものである。線路が短かくなると、 $A$  遮断器の回復電圧は著しく低くなっていく。しかし故障点の位置に対してはそれほど著しい変化はない。4 図は、故障点  $x$  に対しての  $A$  遮断器の遮断電流を示す。これは当然故障点が遠方に移ると共に減少することになる。5 図は上記  $A$  遮断器の遮断電流と  $k_2$  との関係を示したものである。これで見ると遮断電流と  $k_2$  についてはとくにはっきりした一般的な関係をうたうことはできないようであるが、実際問題としては線路の  $A$  に近い故障では  $A$  が先に、



6 図 平行 2 回線の 1 回線故障を後から開く遮断器の回復電圧  $k_2$   
Fig. 6.  $k_2$  at successive interruption in parallel two circuits.

遠い故障では  $B$  が先に開くことになるのが普通であると思われるので、回復電圧の遮断電流特性については継電器の特性ともあわせて考慮すると興味があるであろうと思われる。

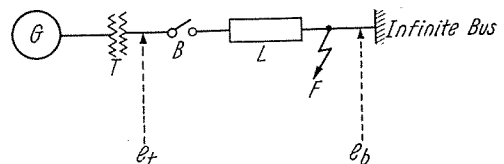
6 図は  $A$  遮断器遮断後  $B$  遮断器が開く場合の  $B$  遮断器の回復電圧を示すものであって、これは当然ながら 0.7~0.9 の範囲内にあってかなり高くなるわけである。

なお、負荷側のインピーダンスが電源側に比してかなり異っている場合も計算したが、回復電圧に対する傾向はあまり変わらないことが判った。一方、母線までの直列インピーダンスが小さいと、遮断器動作時間が延びるにつれ  $k_2$  は相当に低下してくることは容易に想像できるところである。

以上のような 2 回線における 1 回線の故障の先切り遮断器において回復電圧が下ることは常に経験するところで、比較的短い線路の 2 回線に饋電される場合、 $k_2$  が 40% 位にまで下ることはまれでない。

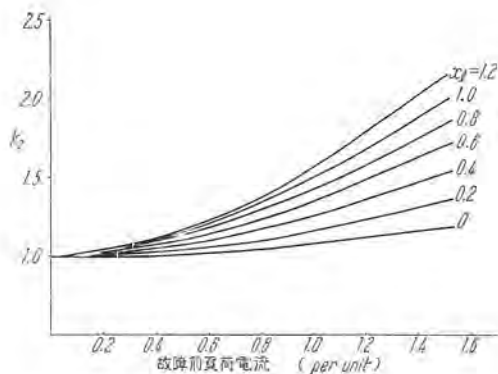
#### ウ. 規約回復電圧に対する故障前潮流の影響

故障を遮断すべき遮断点を、故障前に流れていた潮流すなわち、故障前の負荷の状況は、 $k_2$  にかなり影響を与えることがある。すなわち、潮流を流していることによって電源系統内の同期機の励磁が変化しており、そのリアクタンス背後の起電力が高くなっている（負荷側の場合、あるいは進電流を出している場合は下っている）ためである。この効果は、とくに瞬時回復電圧に対する影響のみを考えれば、無効電力流のみが問題となるわけであるが\*、ここではまず、全相遮断後に現われる基本波回復

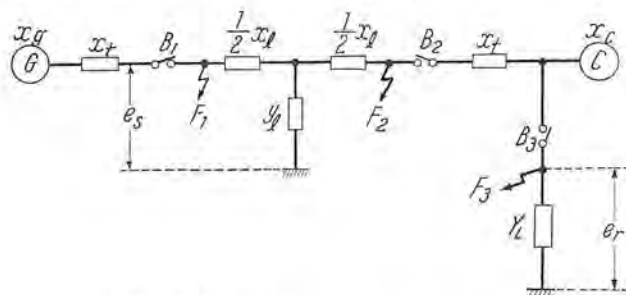


7 図 簡単な系統模型  
Fig. 7. Block diagram of power system.

\* 背後起電力は回復電圧として現われるが、これが短絡電流に対して位相が  $90^\circ$  でない場合には、瞬時回復電圧としては位相差  $90^\circ$  の成分のみが作用することは明らかである。そこで実際に瞬時回復電圧の計算のみを目的とする場合には、系統内の無効電力流のみを考えて  $k_2$  を求めればよい。



8 図 無限母線に饋電する系統の負荷による回復電圧  $k_2$  の変化  
Fig. 8. Effect of power flow on  $k_2$  (simple model system).

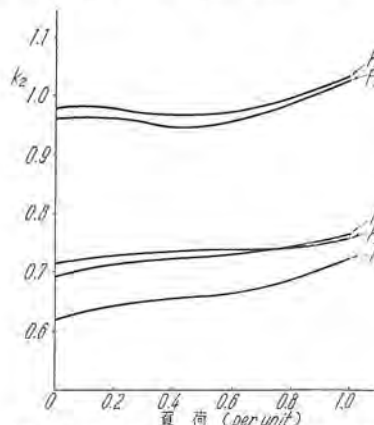


9 図 模型系統  
Fig. 9. Block diagram of power system.

復電圧の大きさに注目してその性質を数値的に考察するため、1, 2 の模型系統によって考えて見ることとする。

たとえば 7 図のように最も簡単な系統で考えれば、きわめて明瞭である。発電機  $G$  より変圧器  $T$ 、遮断器  $B$ 、線路  $L$  を通して無限母線に饋電し、送端電圧  $e_s$  および母線電圧  $e_b$  は故障前単位電圧に維持されているとする。ここで受端  $F$  点で 3 相故障を起した場合、 $B$  が瞬時に遮断したとすると、その場合の  $k_2$  は 8 図のようになる。ここで、発電機の次過渡リアクタンスは 0.2 per unit、変圧器のリアクタンスは 0.1 per unit とし、線路のリアクタンスをパラメータとして示したものである。

実際には、負荷電流は 1.0 per unit まで、線路リア



10 図 インピーダンス負荷を有する模型系統における  $k_2$  の負荷による変化 (たとえば  $F_2B_1$  は 9 図の  $F_2$  点故障を遮断器  $B_1$  で開いたときの  $B_1$  の回復電圧の  $k_2$ )  
Fig. 10. Effects of impedance load on  $k_2$ .

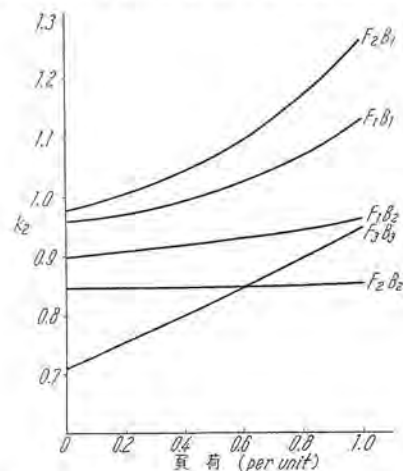
クタンスは 0.2 per unit 位が普通であるから、回復電圧に及ぼす潮流の影響は著しく大きなものではない。さらに、この問題をより具体的な模型系統について考えて見よう。

9 図に示すように、系統運転の実状に近い構成で、発電機より変圧器線路を通して負荷に饋電し、受端に調相機の設置されてある系統で、3 ヲ所の代表的な点の故障を 3 ヲ所の遮断器で遮断した場合の回復電圧  $k_2$  を計算してみる。この場合、送受両端の電圧  $e_s, e_r$  は単位電圧の定電圧送電とし、機器回路の常数としては、大体代表的な 154kV 線路系統の 300 MVA ベースの値を採用し、調相機容量は発電機容量の 60% を仮定している。なお、発電機としては制動巻線のない凸極機の常数を採用した。故障は 3 相金属短絡とし、故障継続時間は 0.1 秒として電源磁束の減衰による  $k_2$  の変化を考慮に入れた。

負荷としては 2 つの極端な場合を考えたが、10 図は力率のよいインピーダンス負荷 (力率 95%) の場合、11 図はかなり力率の悪い (80%) 回転機負荷の場合についての計算結果である。

10 図に見るように  $k_2$  のインピーダンス負荷による影響はかなり小さく場合によってはむしろ調相機によって電圧が釣り上げられているため、負荷の影響が負にあらわれてくる場合すらある ( $F_1B_1, F_2B_1$ )。影響がもっとも大きくあらわれているのは  $F_3B_2$  であって、無負荷と全負荷の場合でおよそ 0.1 程度  $k_2$  に違いが出るが、これは負荷の無効電力分を供給するための調相機の励磁増加によるものであって、それ以外の場合はいずれも負荷の  $k_2$  に対する影響はわずかである。それは同期機の空隙磁束の減衰による影響に比べれば、ずっと小さいオーダーのものであるといえるであろう。

ところが負荷として力率の悪い回転機 (負荷は電源の発電機同様の同期機、負荷の変化は軸動力の変化で与えられ運転台数は変らないものとする。) の場合には、11 図のように、負荷による  $k_2$  の変化は著しい。遮断器  $B_1$ ,



11 図 回転機負荷を有する模型系統における  $k_2$  の負荷による変化  
Fig. 11. Effects of machine load on  $k_2$ .

$B_2$  に対していずれも  $k_2$  の変化が大きく、無負荷と全負荷とで  $k_2$  に 15~30% の変化が生じている。

実際の系統はこのように力率のよい負荷と悪い負荷との中間的な特性であろうと推察されるが、このようなモデル的な考察によって、 $k_2$  に対する故障前潮流すなわち負荷の影響が、ある程度象徴的に説明できるであろう。実系統における故障前潮流の影響は多くの場合 10% 以下、最大 20% 程度が推察されるように思う。

実系統における  $k_2$  の計算に当たって、各所の故障前潮流がわかっていればつぎのようにして簡単に計算される。すなわち、系統内各部の潮流を 0 とした場合の故障時の遮断電流を  $i_{s0}$  とし、遮断器を流れる故障前潮流を  $i_L$  とすれば、真の遮断電流は

$$i_s = i_{s0} + i_L \quad (2)$$

である。ここで  $i_{s0}$  にはもちろん同期機の影響による故障中の減衰が導入される。(1) 式における  $Z_0$  を系統の次過渡リアクタンス成分によって表現すれば、(2) 式を用いて (1) 式で  $k_2$  が計算されることになる。ただし幾つかの遮断器がつづいて開かれる場合の後切り遮断器では、(2) 式の  $i_L$  として故障前潮流をそのまま用いることはできない。その場合の詳細は補遺にゆずる。

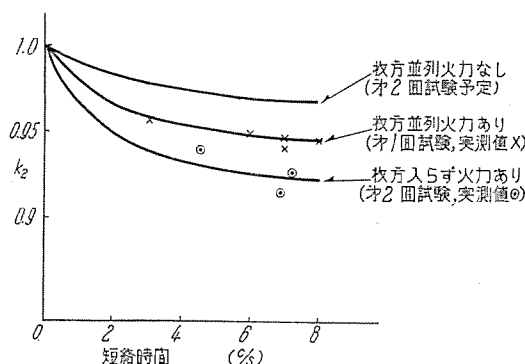
#### エ. 規約回復電圧に対するフェランティ効果の影響

周知のフェランティ効果は、場合により  $k_2$  値を大きくすることがある。この問題が発生するのは、長距離送電線の末端において発生した故障、たとえば、変電所の母線故障を線路末端において遮断する場合等に発生する。同様に末端の故障を山側で開く場合にも、それが後行遮断となり、しかも非接地故障であると、遮断第 1 相に対してはフェランティ効果があらわれてくるわけである。

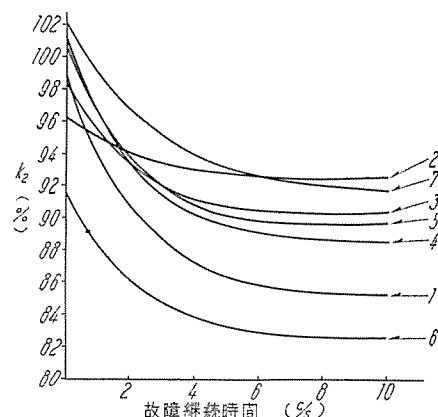
この効果は普通線路長が数百 km に達するとかなり問題となってくる。最近英国において、超高圧の長距離送電線路用の遮断器に関して、これを大きな問題として取上げている (400~300 マイルの単一線路) が、わが国の系統では、将来の超高圧系において、特殊な遮断の場合にこの影響が  $k_2$  に 1 割以上あらわれることが計算推定されるが、現状の系統では、ほとんど問題になることはないのが実情である。したがって、ここではその詳細の論議は行わないが、その現象の本質は周知のことであるし、その計算は要するに線路容量を考えた上で、上記の  $k_2$  に関する計算を実施すればよいのであって、問題になりそうな特殊な場合にのみ、これを詳細に当て見ればよいものであると思われる。

#### オ. 実系統における規約回復電圧の数値例

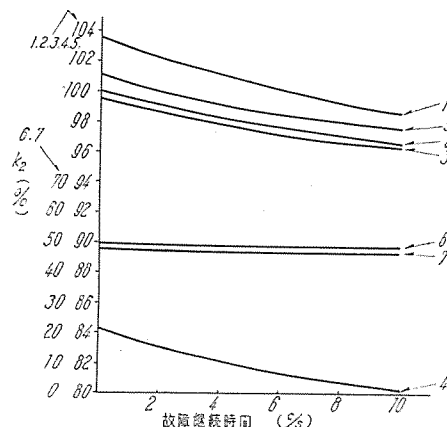
以上述べたように、系統内の故障遮断に際しての  $k_2$  には系統内同期機、系統の構成、故障前潮流などが複雑に組合さって関係するが、実系統における実際の数値については実測値はきわめて乏しく、計算によって実態を調査しなければならない。幸い、最近実施せられた関西電力小曽根変電所における大規模の実遮断試験において、これを実測することのできた機会もあり、それらにより



12 図 小曽根試験系統の短絡時間による  $k_2$  の変化  
Fig. 12. Tested and calculated values of  $k_2$  at Ozono sub-station.



13 図 会津変電所 30 年 2 月 16 日 19 時の  $k_2$   
(曲線の番号は 1 表中の番号に相当)  
Fig. 13.  $k_2$  at Aizu sub-station (heavy load).



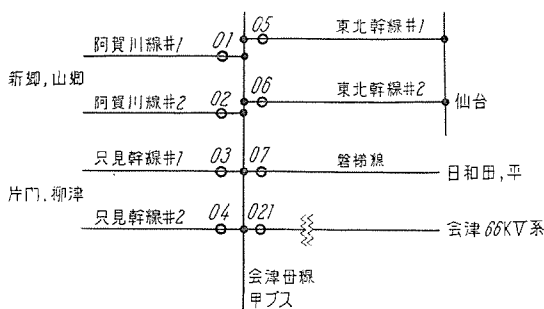
14 図 会津変電所 30 年 2 月 16 日 3 時の  $k_2$   
(曲線の番号は 1 表中の番号に相当)  
Fig. 14.  $k_2$  at Aizu sub-station (light load).

かなり計算方法の妥当性についての検証も得られた。

小曽根変電所における 80.5 kV 級遮断器の遮断試験に関しては、別に詳細な報告が発表せられているが、試験は昭和 30 年秋と 31 年春の 2 回にわたって行われ、この 2 回に際してかなり系統の状況が異なっていた。詳細は省略するが、第 1 回の試験系統では枚方系が並列されていたのに対し、第 2 回の系統では枚方系ははいってなかった。短絡遮断容量はいずれも最大 1,200 MVA であったが、その場合の  $k_2$  の計算結果、ならびに実測値は 12 図に見るようである。計算には同期機としては単に、古川橋、小曽根、八尾の調相機ならびに尼一、尼二の発

1 表 会津変電所故障ならびに遮断ケース

系 統	番号	ケ ー ス
30 年 2 月 16 日 19 時 阿賀川線 1 回線 只見幹線 2 回線 運転中	1	阿賀川線に故障 02 遮断
	2	只見幹線 #1 に故障 03 遮断
	3	只見幹線 #2 に故障 04 遮断
	4	磐梯線故障 07 遮断
	5	変圧器高圧側故障 021 遮断
	6	東北幹線 #1 に故障 05 遮断 (仙台側開放前)
	7	東北幹線 #1 に故障 05 遮断 (仙台側開放後)
30 年 2 月 16 日 3 時 阿賀川線 2 回線 只見幹線 1 回線 運転中	1	磐梯線故障 07 遮断
	2	変圧器高圧側故障 021 遮断
	3	只見幹線 #1 に故障 03 遮断
	4	東北幹線 #1 に故障 05 遮断 (仙台側開放前)
	5	東北幹線 #1 に故障 05 遮断 (仙台側開放後)
	6	阿賀川線 #1 に故障 01 遮断
	7	阿賀川線 #2 に故障 02 遮断



15 図 会津変電所遮断器配置図

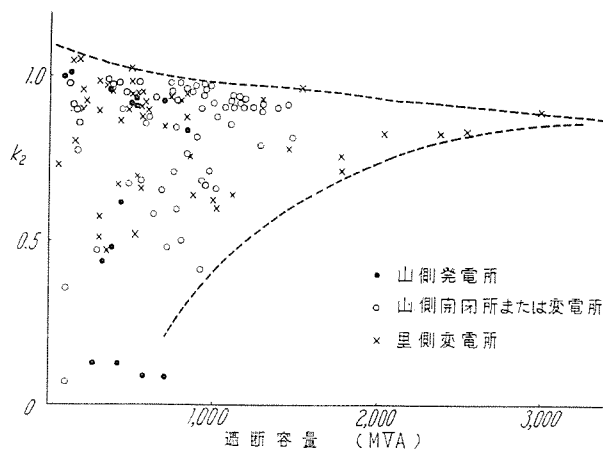
Fig. 15. Circuit breakers and lines in Aizu sub-station.

電機を考慮にとったのみであったが、計算結果はかなり実測値と合っており、計算方法は妥当なものと思われた。

興味あることは、同一場所のほとんど同様な短絡 MVA でも系統構成のいかんにより  $k_2$  値がこのようかなり異なるということである。しかし、この小曾根変電所における特性は、わが国の Metropolitan Area における大容量母線の 1 つの代表的な特性と見なすことができると思われるが、この  $k_2$  が大体に平均して 95 % 位の所にあることは現在の JEC 規定とも合致している。

別な 1 つの計算例として、東北電力会津変電所における  $k_2$  値の計算結果を示すと 13 図および 14 図のようである。これはある特定の日の重負荷時、ならびに軽負荷時の実際の系統構成、発電機運転台数、潮流分布に基づいて正直に計算したものであって、図中の番号は 1 表の故障ならびに遮断ケースに相当し、その遮断器番号は 15 図に示すようである。

この場合、非常に著しい点は、重負荷時と軽負荷時とで、 $k_2$  の特性がはなだ異なることである。これは、軽負荷時において、只見系が運転を停止し、阿賀川系のみが運転していたが、たまたま只見系には制動巻線を設置する機械が多く、一方阿賀川系には制動巻線を有する機械がほとんどないという特殊事情に基づくものである。



16 図 150 kV 系統の  $k_2$

Fig. 16.  $k_2$  in 150 kV systems in Japan.

また、この場合平行 2 回線の 1 回線に生じた故障を先に開く遮断器の回復電圧が著しく低下する例が、13 図の 6 および 14 図の 4, 6, 7 に見られる。それ以外の場合で故障継続時間零のところで  $k_2$  が 1.0 と異なるのは故障前潮流の影響である。

このような実系統における  $k_2$  値を詳細に調査して、これを統計的に検討して見ると、いろいろと興味ある結果が得られる。これは現在調査途上にあるものであるが、たとえば、遮断容量と  $k_2$  値との間には、かなりはっきりした関連性が見出される。これはもちろん、系統構成を始め、種々の要素の総合結果であるので単純にこれをうかがうことはできないが、一例としてわが国の 150 kV 系統の実態をかなり無作意に計算した結果の故障継続時間 0.1 秒における  $k_2$  値と遮断容量との関係をプロットして見ると 16 図のようになって\*、これがある三角形に近い領域に分布する。これは、渇水期、豊水期、重負荷、軽負荷時、ループ回路の先行遮断、後行遮断等、あらゆる場合を包括したものであるが、275 kV 系、110 kV 系、66 kV 系等の場合についても、大体同様な傾向をもってある三角形の領域に分布することは興味あることである。

実際に問題になるのは右下りになる  $k_2$  の上限特性であるが、これは 0 MVA に対しておよそ 1.1 の値から、275 kV および 150 kV 系では 3,000 MVA で、110 kV 系では 1,500 MVA で 66 kV 系では 1,000 MVA でおよそ 0.9 位となるようである。

この  $k_2$  の MVA に対しての垂下特性は、周知の再起電圧の垂下特性と共に、電力系統のかなり一般的な特性であって、遮断器の適用、規格の制定、あるいは試験規格の決定に当って重要な意義を有している。

さらにこの  $k_2$  の特性は、系統構成や場所による類別、季節時間による類別等、いろいろな見地から検討して見ると面白いのであるが、それらの問題に関しては目下なお各所で検討中であるので、詳細はいずれ発表されることと思う。

\* この計算結果は、東北、東京、ならびに九州各電力会社における計算結果の資料を借用したものである。

# CE-1 型無線写真電信送受信装置機械台

無線機製作所 香取由之\*・森川 洋\*\*・野本 猛\*\*・平島和宣\*\*

## Type CE-1 Radio Phototelegraphic Transceiver Equipment

Electronics Works

Yoshiyuki KATORI・Hiroshi MORIKAWA  
Takeshi NOMOTO・Kazunori HIRAJIMA

The type CE-1 radio photographic transmitting and receiving equipment has been delivered to the International Telegraph and Telephone Company and is intended for international service. The equipment has been designed to send and receive pictures, drawings and letterings being jointly used with a transmitter and receiver of radio-telephone or telegraph. The salient point of the apparatus is the use of a low speed synchronous motor to drive a cylinder without reduction gear, the first trial in Japan. Its speeds are changed to three ways by the use of a changeover switch. The equipment is tested and proved satisfactory to conform to the standards of C. C. I. R.

### 1. ま え が き

CE-1 型写真電信送受信装置は、国際電信電話株式会社の注文により製作納入したもので、国際間の無線写真電送に用いるものである。この装置は写真・図形・文字などを送信および受信するもので、無線電話用または無線電信用の送受信機と併用して無線写真電送を行うものである。

### 2. 概 要

CE-1 型写真電信送受信装置 (1 図) は送受信台、送受信架、電源部、送受信円筒収容箱の 4 つの部分からなり、機械台は送受信台の内部にある (2 図)。CE-1 型全般にわたりその特長を概略説明すると、従来の無線写真電信装置に比して下記のように多くの特長を持っている。

(1) 円筒駆動用電動機は低速回転の同期電動機を使用し減速歯車を使用することなく、直結方式にて送受信用円筒を回転させる方式であり、本モータの製作と共に採用された、わが国で最初の試みである。

(2) 送信円筒の 3 種類の回転数の切換えは、従来のギヤーによる変換を行わず、周波数を切換え直結同期電動機の回転数を変化させることにより行う。したがってスイッチ 1 つの切換えにより簡単に送受信円筒の回転数を変えることができる。

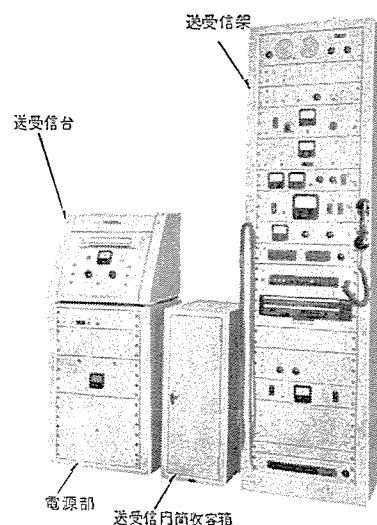
(3) 光学系には光変調放電管および、増倍型光電管を使用することにより、能率よく明暗のディテールを再現することができる送受兼用機である。

(4) 位相方式は真空管および継電器による自動位相同期である。

(5) 送信系および受信系を 1 つの架に収容することにより、据付床面積を縮小し、操作上取扱いが便利になっている。

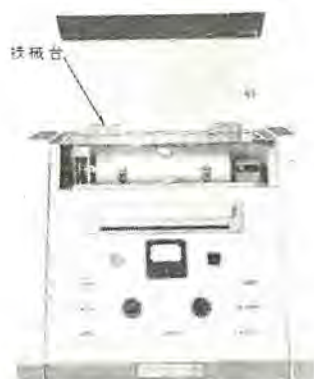
送受信架は送信部分として周波数変調器盤、限流増幅器盤からなり、受信部分として受信限流器盤、周波数分列器盤からなり、その他送信操作盤、電話器盤、同期分周器盤、測定回路などの付属回路からなる。送受信台は機械台および前面板よりなる。機械台は光学系、駆動装置、送受信筒および暗箱よりなっている。

本装置は国際規格の C. C. I. R 規格を満足するものである。



1 図 CE-1 型写真電信送受信装置

Fig. 1. Type CE-1 phototelegraphic transceiver equipment.



2 図 送 受 信 台

Fig. 2. Transmitting and receiving set.

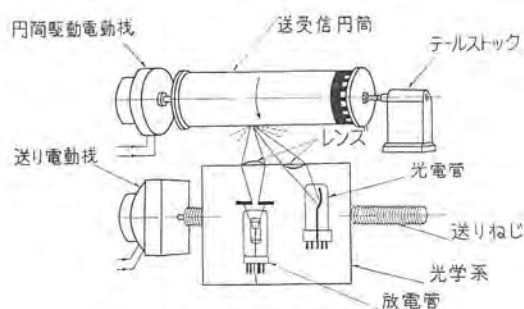
本装置の性能は下表のとおりである。

- |                         |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| 1. 有効画面の大きさ             | 210×240 mm                    |
| 2. 円筒直径                 | 70 mm                         |
| 3. 円筒長                  | 260 mm                        |
| 4. 協動系数                 | 264 352                       |
| 5. 線密度                  | 3.75 l/mm 5 l/mm              |
| 6. 円筒回転数                | 45 rpm 60 rpm 90 rpm          |
| 7. 止めバーの幅               | 10 mm                         |
| 8. 副搬送波周波数              | 1,900 c/s                     |
| 9. 白 周波数                | 1,500 c/s                     |
| 10. 黒 周波数               | 2,300 c/s                     |
| 11. 送信最大出力レベル (画面白)     | +5 ~ +10 db                   |
| 12. 出力調整範囲              | 10 db                         |
| 13. 標準送出レベル 画信号 (白)     | 0 db                          |
| 14. 受信所要最少入力レベル 画信号 (白) | -50 db                        |
| 15. 受信側所要信号対雑音比 画信号 (白) | 入力に対し 45 db 以上                |
| 16. 最高画周波数              | 310 c/s 550 c/s 620 c/s       |
| 17. 搬送周波数               | 1,700 c/s                     |
| 18. 所要伝送時間 (円筒長全部)      | 21 分 40 秒 21 分 40 秒 10 分 50 秒 |
| 19. 走査法                 | 円筒固定回転式                       |
| 20. 円筒駆動法               | 同期電動機直結方式                     |
| 21. 電動機                 | 同期電動機                         |
| 22. 同期方式                | 独立同期 (同期周波数 300 c/s ただし外部電源)  |
| 23. 位相方式                | 追跡自動位相同期                      |
| 24. 電源                  | 商用交流 50 c/s 200 V (または 100 V) |
- 本装置全般についての紹介は後日に譲ることとして今回は送受信台の機械台のみについて記述する。

### 3. 機械台仕様説明

#### ア、概説 (3 図) (4 図)

本機械台は送信原稿またはフィルムを巻いた円筒を回転させ光学系を載せた走査台が円筒の軸方向に送られるものである。円筒駆動用および送りねじ駆動用の 2 個の同期電動機を備え円筒駆動用は 90, 60, 45 rpm, 送り



3 図 機 械 台 系 統 図

Fig. 3. Diagram of mechanical set system.



4 図 機 械 台 全 体 図

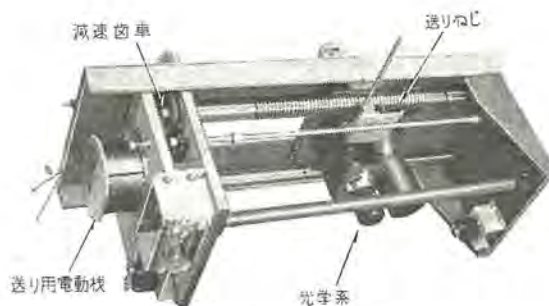
Fig. 4. View of whole set.

ねじ駆動用は 90, 45 rpm の回転数を周波数切換によって得る。走査台は送りねじとハーフナットの噛合いによって 2 本の案内棒沿いに移動する。

規格では送りムラ  $\pm 0.005$  mm 以下、ハンチング  $\pm 0.025$  mm 以下という相当高精度が要求され、送りねじ減速機構およびハーフナットの送り機構の誤差はきわめて直接的に画面に影響を及ぼすため、歯車の精度、ベアリングの選択、回転部の設計製作にはとくに注意した。

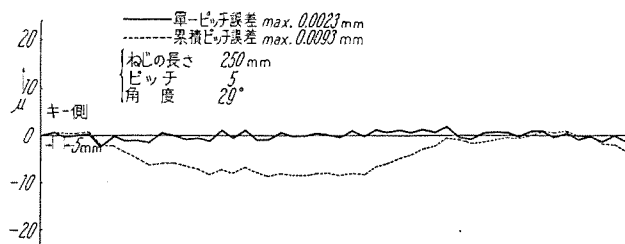
円筒駆動用送りねじ駆動用モータの回転数と線密度との関係は下記のとおりである。

円筒駆動用モータ 回転数	送りねじ駆動用 モータ回転数	線 密 度
90	90	3.75
60	45	5
45	45	3.75

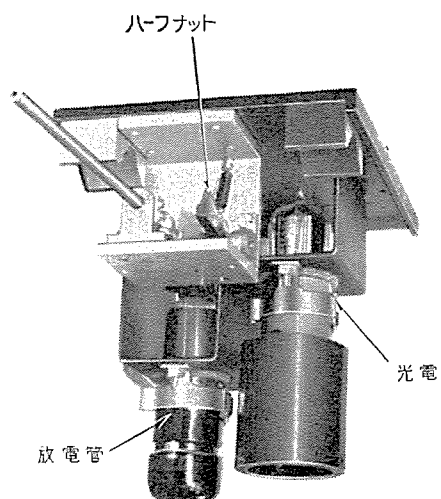


5 図 送 り 機 構

Fig. 5. Transmitting mechanism.



6 図 写真電送用リードスクリューピッチ誤差測定結果  
Fig. 6. Result of lead screw pitch measurement for phototelegraph.



7 図 光学系  
Fig. 7. Optical system.

#### イ. 送り機構 (5 図)

送りねじ駆動用モータの回転 (90, 45 rpm) は、歯車によって  $1/18.75$  に減速され送りねじに伝えられる。送りねじはピッチ 5mm の梯形ねじで、前述の送りムラはこのねじのピッチ誤差 (とくに単一ピッチ誤差) が直接現れるため、ねじの製作にはとくに留意し高精度のねじ研磨盤にて製作し 6 図のような測定結果を得た。また送りねじ両端のベアリングは、荷重の変化に対してベアリングの遊隙によるとくに軸方向の変位量をできるだけ少なくするためにプリロードを加え、ねじで適当に調整するようにした。光学系を載せた走査台は、2 本の案内棒の上に乗る、軸方向に手動および自動送りで移動する。自動送りの際のハーフナットは、ナイフエッジ状の、1 枚刃でスプリングによって、一定の圧力で送りねじに噛合い、着脱は前面のツマミを回すことによって行う。ハーフナット軸の両端は、スラストベアリングを使用し、スラスト荷重、方向の変化に対しても、軸方向の変位を極力除くよう注意した。

#### ウ. 光学系 (7 図)

画信号によって変調された光変調放電管の光束は、スリットレンズを通り、円筒面上に矩形の焦点を結ぶ。焦点の大きさは、線密度  $3.75 \text{ l/mm}$  の場合は  $0.266 \times 0.133 \text{ mm}$ 、 $5 \text{ l/mm}$  の場合は  $0.2 \times 0.1 \text{ mm}$  でこのスリットを内蔵した 2 本のレンズを線密度に応じて切換えて使用する。送信の場合は搬送周波数によって変調された光変調放電管の光がスリットレンズを通り円筒面上の送信

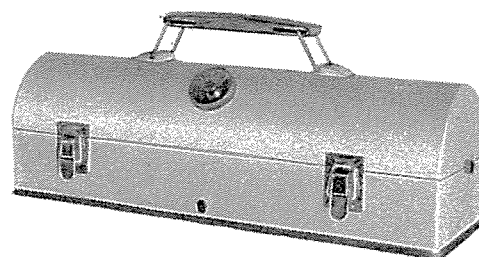
原稿で乱反射し、その反射光の一部が集光レンズを透して光電管にはいり、送信原稿の画調に応じた振幅変調波を作る。受信の場合は、振幅変調波整流信号によって光変調放電管の輝度を送信原稿の画調に応じて制御し、写真フィルムまたは印画紙に感光させ受信画を得ることができる。

#### エ. 暗箱 (8 図)

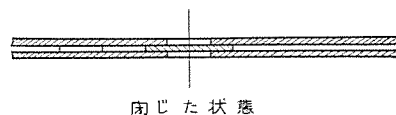
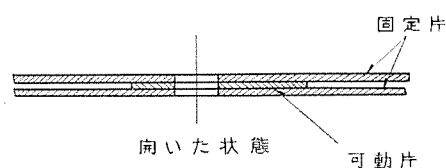
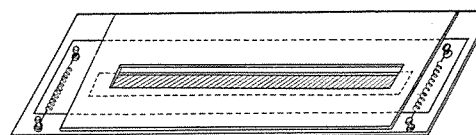
受信の際にフィルムを装着した受信円筒を收容し、遮光した携帯用把手の付いた箱で、表面にフィルムの状態を指示する表示板を備えて、下部にシャッタ機構を有している。シャッタの構造は (9 図) に示してある。

#### オ. 送受信円筒 (10 図)

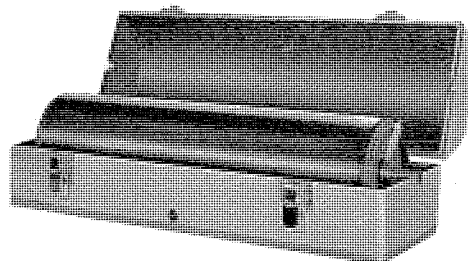
送信円筒は送信原稿を、受信円筒はフィルムまたは印画紙を巻付ける直径 70 mm のアクリル樹脂製の円筒で、送信円筒は白色、受信円筒は黒色で遮光のため暗箱に収



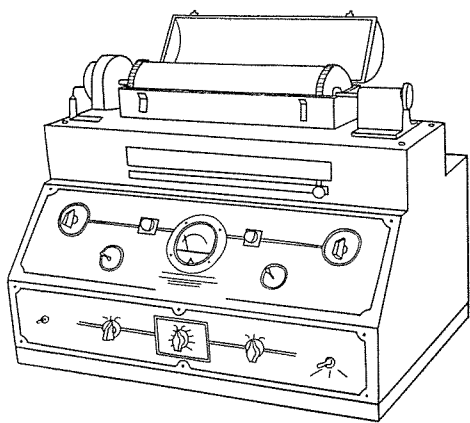
8 図 暗箱  
Fig. 8. Camera.



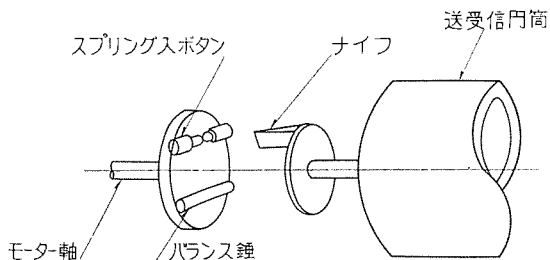
9 図 シャッタ構造図  
Fig. 9. Construction of shutter.



10 図 暗箱および送受信円筒  
Fig. 10. Camera and transmitting and receiving drum.



11 図 ACME Model FNP-IS 外観図  
Fig. 11. Exterior view of model FNP-IS acme.



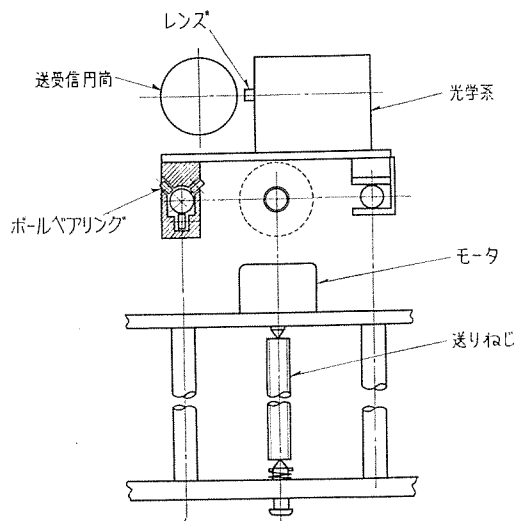
12 図 ジョイント  
Fig. 12. Joint

められている。直径の公差は百分の 1~3 に仕上げられている。送受信円筒は同期電動機軸に取付けられたエッジを、円筒側の溝に嵌め込みモーターと直結され 45, 60, 90 rpm の回転を得る。

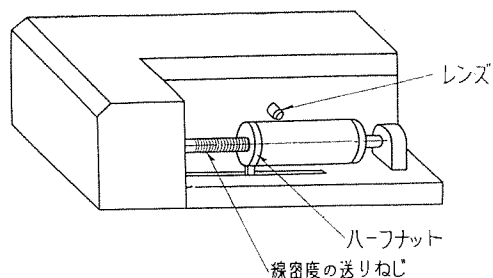
#### 4. 他メーカー製品の簡単な紹介

##### ア. ACME・Model FNP-IS (11 図)

本機は当社 CE-1 型のモデルとして種々の点を参考にして取り入れてある。送受信円筒は多極低速回転の同期電動機 (GE-製) と直結され、周波数を変えることにより回転数が変化できることは当社と同様である。暗箱の遮

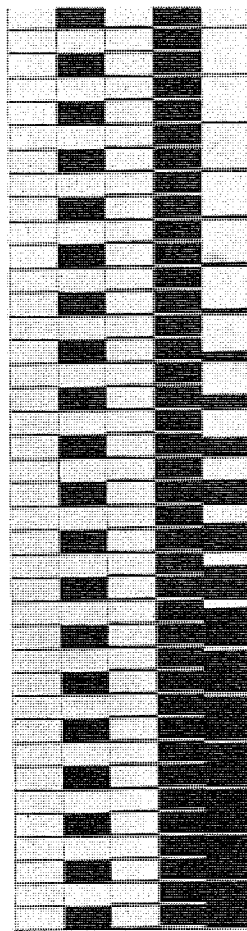


13 図 ACME Type KX 機構図  
Fig. 13. Mechanism of type KX acme.

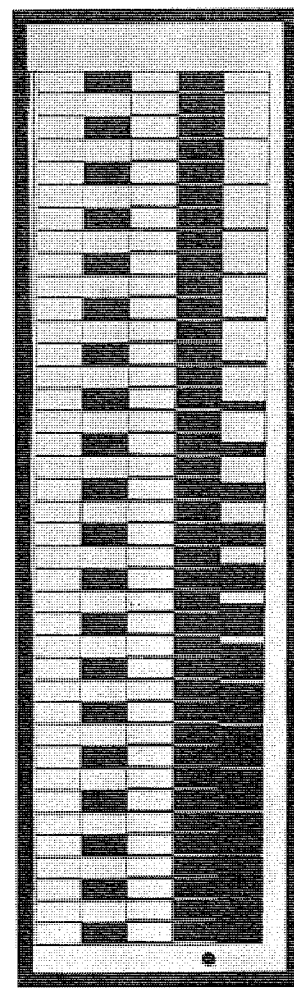


14 図 TIMES RF-12 外観図  
Fig. 14. Exterior view of RF-12 times.

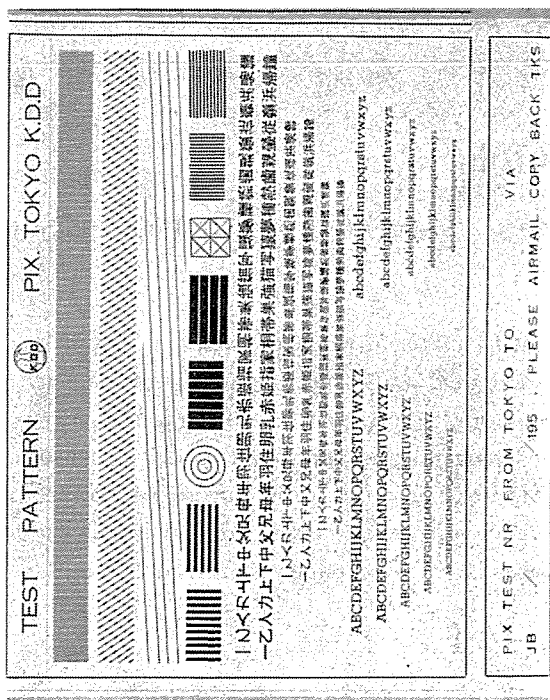
光には、当社 CE-1 ではいろいろと苦勞した点であるが、ACME では要領よく片づけてある。光学系は当社の固定スリットに対し、ACME では、スリットの大きさを調整できるようになっている。また送受信円筒のモーター軸との結合は 12 図のように、スプリングを入れた押えでナイフエッジを保持し、ハンチングを防いでいる。操作は送受信円筒固定で光学系が移動する方式で、送りねじは光学系の送り案内を兼用している。本方式は長期使用の場合、送受信画面の送りムラの原因となる故、当社では採用しなかった。全体に小形軽量で、増産向に簡



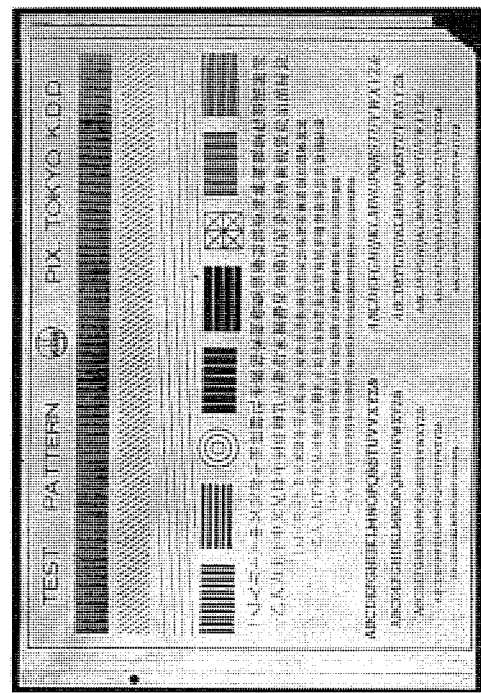
15 図  
テスト・パターン  
Fig. 15. Test pattern.



16 図 ローカル・テスト  
送信 11 号写真電送機 受信  
CE-1 型写真電送機 (三菱製)  
Fig. 16. Local test.



17 図 テスト・パターン  
Fig. 17. Test pattern.



18 図 ローカル・テスト  
送信 11 号写真電送機  
受信 CE-1 型写真電送機 (三菱製)  
Fig. 18. Local test.



19 図 ローカル・テスト  
送信 CE-1 型写真電送機 (三菱製)  
受信 11 号 写真電送機  
Fig. 19. Local test.

素化されている故、なお学すべき点が残っている。

#### イ. ACME TYPE KX (13 図)

本機は携帯用の非常に小形のもので、送信用のみに用いられ、南極大陸に持参したのも本機である。送受信円筒は同期電動機直接で、周波数により回転板が変わるが、送りは簡単に取換えられる送りねじを変えることにより変化させる。本機も送受信円筒が固定で光学系が移動する方式であり、ボールベアリングを使用し非常に軽く光学系を移動できるようになっている。

#### ウ. TIMES RF-12 (14 図)

CE-1 型無線写真電信送受信装置機械台・香取・森川・野本・平島

本機は光学系が固定で、送受信円筒が移動する方式であり、1本の軸で送りねじ案内用を兼用しているため、大層小形にできる。また送りねじは線密度そのままの非常に細いねじが切っている。

### 5. 試験成績

本機の試験は、送りねじのピッチ誤差および送受信円筒の回転ムラの試験（ハンチング試験）を行い、最後に実用試験として原面を送り本機にて受けてみた。

送り試験は放電管に一定の直流電流を流し、送受信円筒を回転させて送りと与え、画面一様に細い縦シマを描かせた。この結果は各回転とも全くムラのない画面を得ることができた。

ハンチング試験は送受信円筒に回転と送りを与え、放電管を点滅して上記の縦シマを断続して横シマを作り横シマの直線性を調べた。ハンチングは送受信円筒の重量により変化し、また円筒回転用同期電動機の入力電圧およびコンデンサの値の組合せを変えることにより、ハンチングのない適当な組合せを実験により求めることができた。実用試験の結果は15～19図の写真のように、大体初期の目的を達することができた。

### 6. むすび

送受信円筒で電動機直結式のもの、わが国で最初のものである故、なお改善すべき点についてはさらに努力を続けている。終りに臨み CE-1 型無線写真電信装置の設計製作にあたり、種々のご指導を賜りました国際電々株式会社徳江、中尾両氏、ならびに当社名電奥田課長、無線機製作所第3技術課、工作技術課の方々のご協力に感謝の意を表する。

# コンデンサ套管モデルの乾燥

研 究 所 白 井 万 次 郎<sup>\*</sup> ・ 大 杉 肇<sup>\*</sup>

## Drying of Condenser Bushing Models

Engineering Laboratory Manjiro SHIRAI · Hajime OSUGI

Oil impregnated paper is electrically excellent insulating material when dry, but once it has absorbed moisture its electrical quality deteriorate a great deal and is no longer good for insulation. Dryness, then, is a vital requisite for paper insulation. To dry it as a piece is not very difficult, whereas such a complicated structure as condenser bushing is very hard to dry because the pieces of paper and metal foil are alternately wound solid, permitting the moisture to travel in axial direction only. Model bushings of varied length were experimented to find how long it takes to dry them thoroughly. In conclusion, to use fully dried paper is proved the most advantageous.

### 1. ま え が き

油浸紙は乾燥状態におけるそのすぐれた電気的性質により高圧電気機器の絶縁材料として広く使用されるが、これが吸湿した場合には電気的性質はいちじるしく劣化し、ほとんど絶縁材料としての機能を失う場合があることはよく知られていることである。そのため紙を絶縁材料として使用する場合にはこれをよく乾燥して使用することがきわめて大切となる。紙の乾燥はこれを一片の紙として乾燥する場合は容易であるが、変圧器のコンデンサ套管のように紙と金属箔が交互に固く巻かれている場合は水分は軸方向以外には移動できないので、その乾燥が困難になることが予想された。この報告は套管状に紙を巻いて各種の長さの短い套管モデルを作り、その乾燥実験を行って実際の長さの套管を乾燥するにはどの位の時間が必要であるかを推定しようと試みたものである。実験の結果は予想のように一度套管状に巻かれた紙はきわめて乾燥しにくいことがわかり、あらかじめ十分に乾燥した紙を巻いた方が有利であることがわかった。しかしこの場合も紙巻作業中に吸湿するから、紙の吸湿について実験した結果も報告する。

### 2. 乾燥理論の概略

乾燥理論は変圧器の乾燥を考察した際に一度のべたところであるが<sup>(1)</sup>、套管モデルの乾燥実験の結果を考察するためにも乾燥理論が必要なので、ここでも套管の乾燥に即しつつその概略をのべておきたい。

乾燥の過程には恒率乾燥と減率乾燥とあって、乾燥過程の初めにあらわれる恒率乾燥は次式であらわされる。

$$-\frac{dc}{dt} = \alpha(p_w - p) \quad (1)$$

ここで、 $\bar{c}$  は紙中に含まれる水分の平均濃度、 $t$  は時間、 $\alpha$  は表面蒸発係数、 $p_w$  は湿度計の湿球温度における飽和水蒸気圧、 $p$  は乾燥に用いた大気の水蒸気の分圧である。

この期間の乾燥速度は一定であって、薄い紙の場合はこの過程だけでほとんど乾燥状態に達してしまう。この場合は紙の表面は十分に濡れていて、表面の水蒸気圧は乾湿度計の湿球温度における飽和水蒸気圧と考えられている。コンデンサ状に巻いた紙ははじめに述べたように套管の軸方向以外に水分が逃げることができないので、蒸発面積は両端の切口だけに限られているから、恒率乾燥の過程だけでは十分な乾燥状態に達しない。套管内部から表面への水分の拡散が不十分になると  $p_w$  に相当する水蒸気圧は小となり乾燥速度は減じてくる。 $p_w$  はまもなく  $p$  と等しくなり、表面は乾燥状態になる。しかしこの場合にも内部にはまだ水分があり、これが水分の濃度差により両端の表面に拡散してくる。この場合の乾燥速度はこの水分の拡散速度に支配されるのである。この過程を減率乾燥といい、乾燥速度は一定とならず、時間とともに減少する。長いコンデンサ套管の乾燥ではこの過程が重要となる。

この場合套管中の水分の移動が拡散現象にのみよるとすればつぎの関係がある<sup>(2)</sup>。

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (2)$$

ここで、 $x$  は軸方向の長さ、 $c$  は  $x$  における水分濃度、 $D$  は拡散係数である。

この場合の(2)式の初期および境界条件はつぎのように与えられる。

$$\begin{aligned} 0 < x < H, t=0 \quad & \text{で} \quad c=c_0 \\ x=0, x=H, t>0 \quad & \text{で} \quad c=0 \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 $H$  は套管の長さ、 $c_0$  は減率乾燥となったときに

套管に含まれている水分濃度である。

(3) の条件における (2) の解はつぎのとおりになる。

$$c = \frac{4c_0}{\pi} \sum_{\nu=0}^{\infty} \frac{1}{(2\nu+1)} \sin \frac{(2\nu+1)\pi}{H} \exp \left[ -\frac{(2\nu+1)^2 \pi^2}{H^2} Dt \right] \quad (4)$$

水分の平均濃度  $\bar{c}$  は

$$\bar{c} = \frac{1}{H} \int_0^H c dx = \frac{8c_0}{\pi^2} \sum_{\nu=0}^{\infty} \frac{1}{(2\nu+1)^2} \exp \left[ -\frac{(2\nu+1)^2 \pi^2}{H^2} Dt \right] \quad (5)$$

乾燥速度は

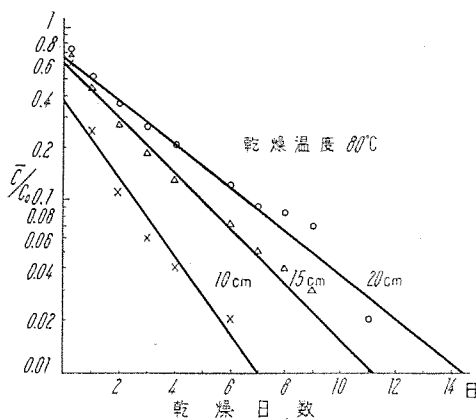
$$-\frac{d\bar{c}}{dt} = \frac{8c_0 D}{H^2} \sum_{\nu=0}^{\infty} \exp \left[ -\frac{(2\nu+1)^2 \pi^2}{H^2} Dt \right] \quad (6)$$

減率乾燥になると乾燥速度に大きく影響をおよぼすのは拡散係数と套管の長さであって、套管の長さが長くなると乾燥速度はいちじるしく小さくなることが予想される。

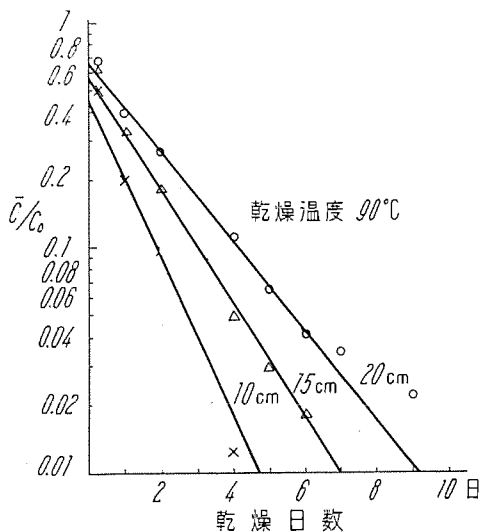
近似値として (5) 式の第 1 項のみをとると

$$\bar{c} = \frac{8c_0}{\pi^2} \exp \left( -\frac{\pi^2 D}{H^2} t \right) \quad (7)$$

$$\therefore \log \frac{\bar{c}}{c_0} \left( \frac{\pi^2}{8} \right) = -bt \quad b = \frac{\pi^2 D}{2.3H^2} \quad (8)$$



1 図 套管モデルの乾燥, 乾燥温度 80°C の場合  
Fig. 1. Drying of bushing model, drying temperature 80°C.



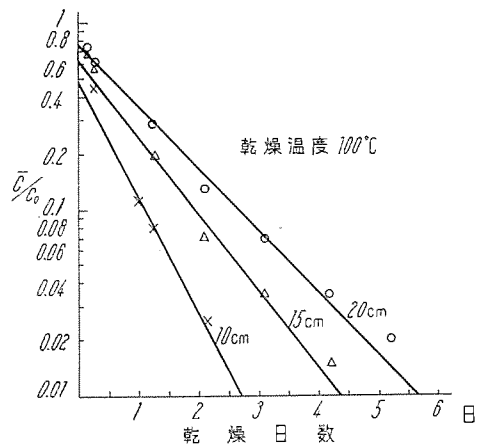
2 図 套管モデルの乾燥, 乾燥温度 90°C の場合  
Fig. 2. Drying of bushing model, drying temperature 90°C.

減率乾燥の過程では  $\log \bar{c}/c_0$  と  $t$  は直線関係にあり、直線の傾斜は  $H^2$  に反比例することになる。

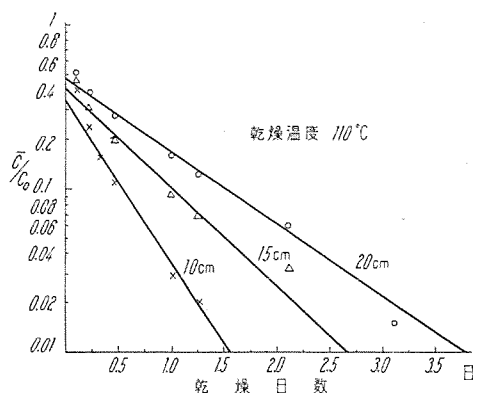
### 3. 套管モデルの乾燥

実際の長さのコンデンサ套管を乾燥するのに必要な時間を推定するため、実際の套管と同じよう固く紙を巻いた各種の長さの短い套管モデルを作った。套管モデルの内部および外部にはアルミ箔を巻きこみ、軸方向以外には水分が逃げないようにしてある。套管モデルの長さは 5, 10, 15, 20 cm のものを作った。これを径 3 cm の通気孔 2 個を上部にもつ 40×40×40 cm の空気乾燥器中で所定の温度で乾燥する。乾燥温度は 80, 90, 100, 110°C で行った。一定時間毎に套管モデルを取り出し、天秤にて重量を測定し、ほぼ重量が一定となったときを乾燥状態とみなした。

実験結果は  $\log \bar{c}/c_0$  と  $t$  を両軸にとって表わしてみた。1~4 図にこれを示す。(8) 式の  $c_0$  は減率乾燥にはいったときに紙中に残っている水分であるが、この減率乾燥にはいる時期は実験結果からは明瞭に定めがたい。1~4 図の縦軸に示した  $\bar{c}/c_0$  の  $c_0$  は紙中に最初に含まれている水分をとっている。この場合にも減率乾燥の過程は  $\log \bar{c}/c_0$  と  $t$  とは直線関係になる筈である。1~4 図の



3 図 套管モデルの乾燥, 乾燥温度 100°C の場合  
Fig. 3. Drying of bushing model, drying temperature 100°C.



4 図 套管モデルの乾燥, 乾燥温度 110°C の場合  
Fig. 4. Drying of bushing model, drying temperature 110°C.

実験結果はある乾燥時間後ほぼ直線関係にある。套管の長さが 5 cm の場合は乾燥が早く、大部分恒率乾燥で乾燥し、直線が引きにくいので図からはふいた。

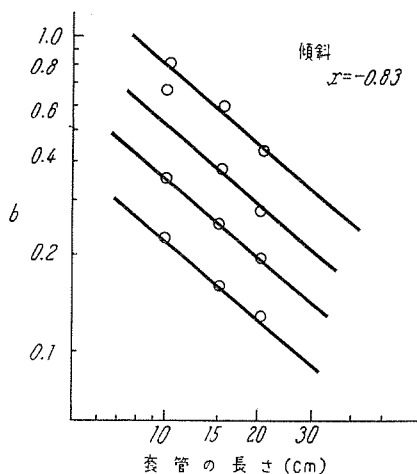
この直線の傾斜を長さの異なる各試料について求めると、その値は (8) 式のように套管の長さの自乗に反比例しない。

$$b' = BH^x \quad (9)$$

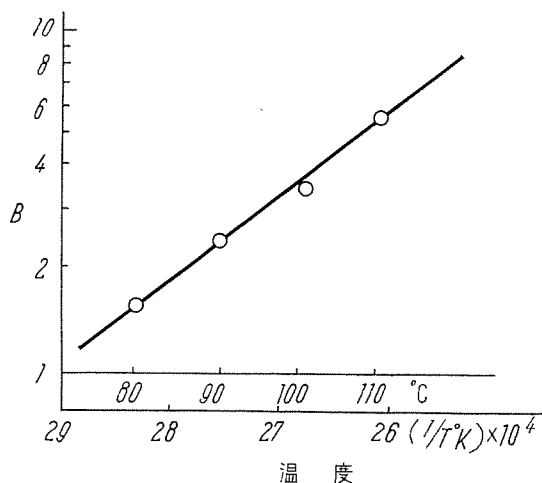
$$\log b' = \log B + x \log H \quad (10)$$

とにおいて  $\log b'$  と  $\log H$  の関係を求めてみると、5 図に示すように各温度ともほぼ直線関係にあり、この直線の傾斜も各温度においてほぼ一定であって、5 図より  $x = -0.83$  が得られる。 $b'$  はこの場合  $H^2$  ではなく、 $H^{0.83}$  に反比例するのである。これは紙中の水分の移動が (2) に示されるような単純な拡散現象ではないらしいことを示している。おそらく紙のもつ毛管構造が水分の移動を助けるからであろう。また紙の巻かれた固さによっても、 $x$  の値は異なるであろう。

$b'$  を  $H^{-0.83}$  に比例する量とすると、 $B$  は套管の長さによって変らない数になり、(8) 式の拡散係数に相当する量となる。しかし拡散係数は温度によって変化する量



5 図 套管の長さと  $b$  の関係  
Fig. 5. Bushing length and  $b$ .



6 図  $B$  と温度の関係  
Fig. 6. Relation between drying temperature and  $B$ .

で、固体中のガスの拡散係数と温度の間にはつぎの関係があることが多くの物質について知られている<sup>(2)</sup>。

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (11)$$

ここで、 $R$  はガス恒数、 $E$  は活性エネルギー、 $T$  は絶対温度、 $D_0$  は  $T = \infty$  の拡散係数である。(9) 式の  $B$  にも同じ関係がなりたつとすれば、

$$B = B_0 \exp\left(-\frac{E'}{RT}\right) \quad (12)$$

$$\log B = \log B_0 - \frac{E'}{2.3RT} \quad (13)$$

となり、 $\log B$  と  $1/T$  とは直線関係にある筈である。6 図にこの関係を求めてみるとほぼ直線関係にあり、(13) 式がなりたつことがわかる。

1~4 図の直線部分は乾燥時間の短いところでは実験値と一致しなくなる。この部分は恒率乾燥で乾燥する部分であって、直線は  $t=0$  で 1 とならない。直線が  $t=0$  で軸と交わる点と 1 との間は恒率乾燥で乾燥される量の函数である。しかしこの値は実験値がかなりばらついていて、実験値から套管の長さや乾燥温度との関係を求めることは困難であった。

この原因は試料はかなり乾燥された紙を巻いてあったらしく、それが室内で吸湿されていたため短い套管モデルほど多く吸湿されており、乾燥をはじめるときの各試料の吸湿量が一定していなかったためではないかと思われる。また室内の湿度との平衡には達していないので、水分が套管に均一に分布されていないことも考えられる。これは室内の相対湿度と平衡にもたらずには吸湿が両端の切口からのみしか行われなからかなりの時日を要すると思われたのでそのまま試料として使用したからである。

恒率乾燥は套管の両端の表面が乾燥状態に達するまでの乾燥であるから、套管の含む水分量およびその分布が一定ならば、套管の長さいかにかわらずその間に乾燥する水分量は一定と考えられる。套管の長さが実際の套管の場合のように 1~2 m になるような場合には恒率乾燥中の乾燥水分量はほとんど無視しうる量となると思われる。1~4 図の実験値も套管モデルが長くなるほど直線が  $t=0$  と交わる点は 1 に近づいている。

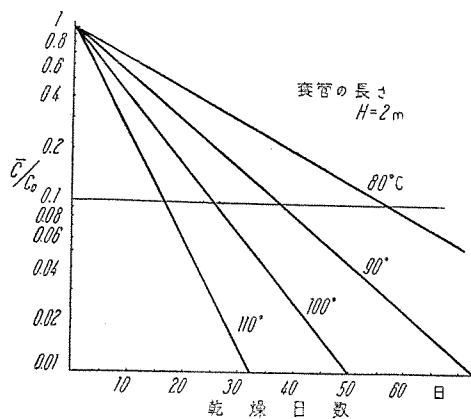
よって実際の套管の乾燥の場合は、恒率乾燥を無視するとすれば、つぎの実験式で示される。

$$\log \bar{c} = \log c_0 - b't \quad (14)$$

$$\log b' = \log B_0 - \frac{E'}{2.3R} \left(\frac{1}{T}\right) + x \log H \quad (15)$$

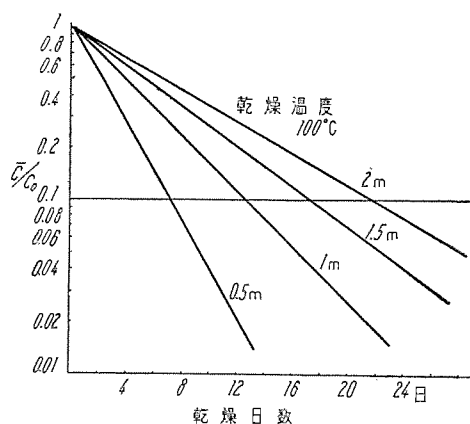
ここで、 $\log B_0$ 、 $E'/2.3R$ 、 $x$  は実験値から求めうる。

(14)、(15) 式より、套管が初め含む水分濃度  $c_0$ 、套管の長さ  $H$ 、乾燥温度  $T^\circ K$  が与えられれば、 $t$  日後に套管の含む平均水分濃度  $\bar{c}$  が求められる。恒率乾燥中の乾燥量が無視しえないほど套管が短い場合には (14) 式より早く乾燥する。(14)、(15) 式は実験式であるが、これ



7 図 実験式から計算した実際の長さの套管の乾燥  
長さ 2 m の場合

Fig. 7. Drying of practical bushing, calculated by experimental equation, bushing length 2 m.



8 図 実験式から計算した実際の長さの套管の乾燥  
乾燥温度 100°C

Fig. 8. Drying of practical bushing, calculated by experimental equation, drying temperature 100°C.

に達するのに前節で考察した減率乾燥の理論式の考察は役立ったものと考える。

(14), (15) 式より実際の套管の長さを 2 m として, 乾燥温度をかえて  $\bar{c}/c_0$  と  $t$  の関係を探てみると 7 図のようになる。この図より紙が初めに含まれている水分の 1/10 または 1/100 に達するまでの時間を推定することができ, 温度によりかなりの差があることがわかる。乾燥温度を 100°C にして套管の長さを変えてみると 8 図のようになる。これは長さの異なる套管の乾燥温度を比較しうだけでなく, 1 本の套管も内部ほど紙の長さが長くなっているから, 内部の紙と外部の紙の乾燥時間を比較することにもなる。

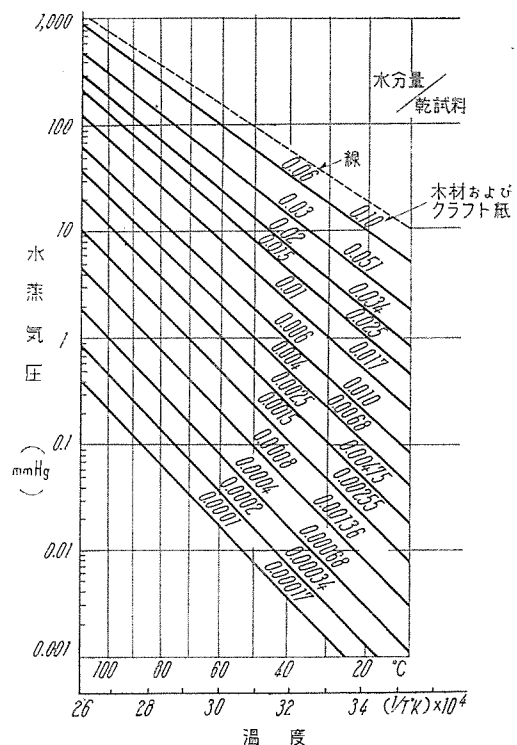
乾燥温度の相違は乾燥速度に影響を与えるばかりでなく, 乾燥の到達度にも影響する。1~4 図の実験では各乾燥温度で試料が恒量になったところを乾燥状態としたがこの乾燥状態は各温度によって異なっている。一定の水を含んだ紙の示す水蒸気圧は温度によって異なるからである。その水蒸気圧が乾燥空気中に含まれる水蒸気圧と平衡に達すれば紙はそれ以上乾燥しない。9 図は水分を

含むセルローズ質材料の水蒸気圧と温度の関係を文献より引用したものである<sup>(3)</sup>。たとえば気温 30°C, 相対湿度 80% の空気の水蒸気圧は 25.5 mmHg でこれを用いてクラフト紙を乾燥するとする。110°C で 25.5 mmHg の水蒸気圧まで紙を乾燥すると, このときに紙に含まれる水分は図より求めて 0.51% である。しかるに同じ空気を用いて温度を 80°C とすると, 80°C で 25.5 mmHg の水蒸気をもつ紙の水分は図より求めると 1.7% である。80°C ではこれ以上乾燥することはできない。これ以上乾燥するには水蒸気圧 25 mmHg 以下の空気を用いるか, あるいは真空乾燥によらなければならない。たとえば 3 mmHg の真空を用いれば水蒸気圧は少なくとも 3 mmHg 以下であるから, 80°C においても紙に含まれる水分は 0.1% 以下になる。

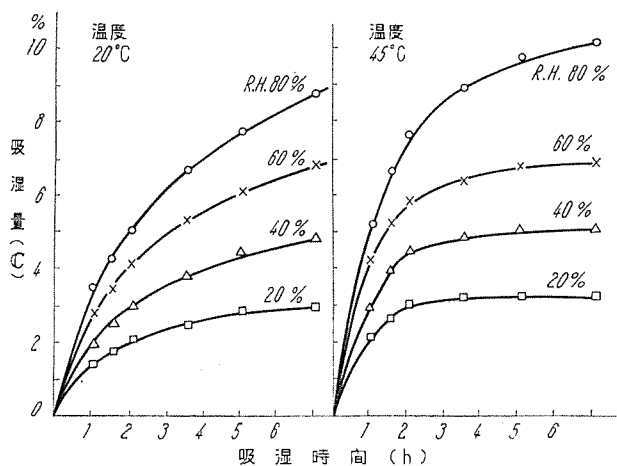
#### 4. 紙の吸湿

(14) 式中の  $b'$  の値は (15) 式により套管の長さや乾燥温度によってきまり, 套管の長さの大きい場合にはかなり小さい数になるから, 適当な乾燥時間でよい乾燥状態を得るには最初に套管中に含まれる水分, (14) 式の  $c_0$  をできるだけ小さくしておくことが望ましい。そのためには十分乾燥した紙を巻きこめばよい訳であるが, たとえ十分乾燥した紙を巻いても作業中に大気にさらされればその間に吸湿する。このため紙の吸湿速度をつぎに実験してみた。

10 図は湿度および温度をかえて紙の吸湿量を測定したものである。試料の紙は套管用のクラフト紙である。



9 図 水を含むセルローズ質材料の示す水蒸気圧  
Fig. 9. Vapor pressure of fibrous material absorbing water.



10 図 套管紙の吸湿

Fig. 10. Moisture adsorption of bushing paper.

湿度の高い方が同じ時間内の吸湿量が大きいのは当然であるが、同じ湿度でも温度が高い場合には吸湿速度が早いのである。温度が高い場合は紙の飽和吸湿量は 12 図に示すようにいくぶん小さくなるが、室温の範囲内ではこの差は小さい。

クラフト紙の吸湿速度をもう少し具体的に比較するために、プレスボードの吸湿実験で行ったときと同様な取扱いをしてみた<sup>(4)</sup>。薄い紙の吸湿の場合は次式に示すような飽和吸湿量に向って漸近的に吸湿するとした式に実験値がよくあうようである。

$$\frac{c}{c_0} = \frac{Bt}{1+Bt} \quad (16)$$

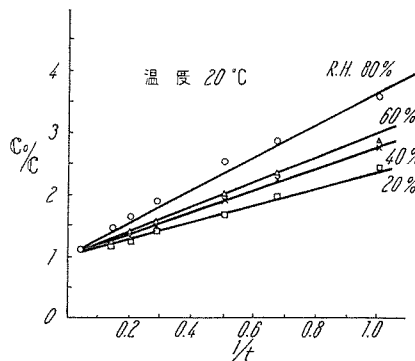
ここで、 $c$  は時間  $t$  における紙の吸湿量、 $c_0$  は紙の飽和吸湿量である。(16) 式は Langmuir の吸着等温式にならったものである。

$$(16) \text{ 式は } \begin{aligned} t \rightarrow 0 \text{ で } c/c_0 &= Bt \\ t \rightarrow \infty \text{ で } c/c_0 &= 1 \end{aligned}$$

となり、 $B$  は吸湿の初期の吸湿係数をあらわす。この  $B$  によって紙の吸湿速度を比較することができる。(16) 式はまたつぎのように書くことができる。(16) 式の両辺の逆数をとる、

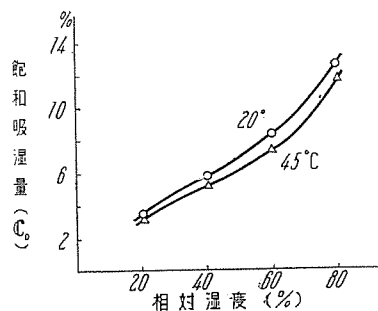
$$c_0/c = 1 + \frac{1}{Bt} \quad (17)$$

$c_0/c$  と  $1/t$  を両軸にとれば (17) 式は直線となり、その傾斜は  $1/B$  である。10 図の資料をこの形であらわすと 11 図に示すようにほぼ直線となり、これより  $B$  を求めることができる。 $B$  は温度および湿度の函数と考えられるから、温度を 20°, 35°, 45°C とかえて実験を行い  $B$  を求めた。湿度と紙の吸湿量は 12 図に示すように直線的に比例しないから、 $B$  と湿度の関係でなく、 $B$  と紙の飽和吸湿量との関係を求めてみた。これは 13 図に示すように同じ温度では直線となり、飽和吸湿量の大きい場合ほど  $B$  は小となる。これは飽和吸湿量が多い場合に吸湿量が小さいことを意味しない。吸湿量は  $t$  が小さい場合  $Bt$  ではなく、 $c_0 Bt$  であるからである。13 図の



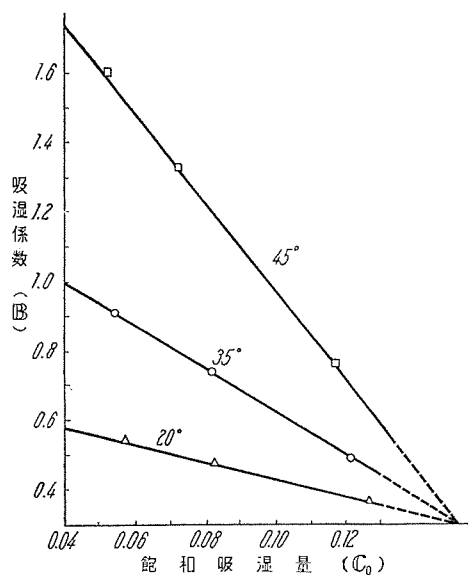
11 図 吸湿量と時間の関係

Fig. 11. Moisture adsorption time and moisture content of paper.



12 図 套管紙の飽和吸湿量

Fig. 12. Saturated moisture content of paper.



13 図  $B$  と  $c_0$  の関係

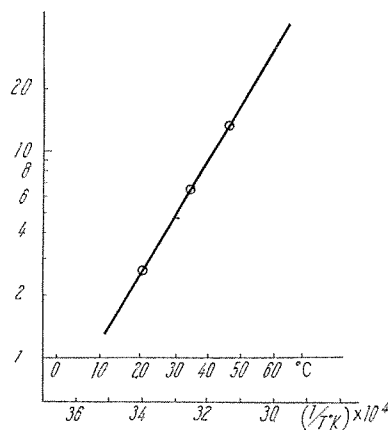
Fig. 13. Relation between  $B$  and  $c_0$ .

直線の傾斜は温度が高いほど大となり、飽和吸湿量が大きくなる場合は温度による  $B$  の差は小となる。

実験された 3 つの温度ではこの 3 つの直線は  $c_0=0.153$ ,  $B=0.3$  で交わっているの、これらの直線はつぎの実験式であらわされる。

$$(B-0.3) = -\gamma(c_0-0.153) \quad (18)$$

$c_0$  が 0.153 より大きくなると、温度の低い方が  $B$  が大きくなる。これは正しいかどうかかわからないので、



14 図 13 図の直線の傾斜 ( $\gamma$ ) と温度の関係  
Fig. 14. Relation between  $\gamma$  and temperature.

(18) 式は実際に実験が行われた相対湿度 40~80% にあてはまる実験式と考えたい。

13 図の直線の傾斜  $\gamma$  は温度の函数であるからこの関係を求めてみると 14 図のようになる。  $\log \gamma$  と絶対温度の逆数とは比例するから、 $\gamma$  はつぎの式であらわされる。

$$\log \gamma = \log \gamma_0 - \frac{E''}{2.3RT} \quad (19)$$

$$\gamma = \gamma_0 e^{\frac{-E''}{RT}} \quad (20)$$

$E/2.3R$  と  $\gamma_0$  は 14 図の直線より計算できる。

(20) 式を (18) 式に入れると

$$B = 0.3 - \gamma_0 e^{\frac{-E''}{RT}} (c_0 - 0.153) \quad (21)$$

となる。(21) 式より  $B$  を計算して (16) 式に入れば、乾燥した套管紙がある温度、湿度の空气中に一定時間放置した場合の吸湿量が計算されるわけである。

以上は 1 枚の紙片を大気中においた場合の吸湿であるが、紙が巻かれて紙束のまま大気中におかれる場合は吸湿は 1 枚の紙片より小さいことは明らかである。

## 5. む す び

コンデンサ套管乾燥の基礎実験として、短い套管モデルの乾燥実験が行われた。実験の結果は套管の長さ、乾燥温度、乾燥時間と套管の乾燥程度との間に規則性が見出され、乾燥の実験式がみちびかれた。この結果を実際の長さの套管にあてはめると、十分乾燥するにはかなりの日数を要することがわかる。乾燥を能率よく行うには十分に乾燥した紙を巻きこむことが必要である。しかしあらかじめ紙を十分乾燥しておいても作業中に吸湿するおそれがある。このため紙の吸湿の実験がなされ、与えられた温度、湿度における紙の吸湿量と時間との間の関係式が求められた。

この実験に際しご協力を賜った伊丹製作所絶縁課、花好、中島、高木技師に深く感謝の意を表する。

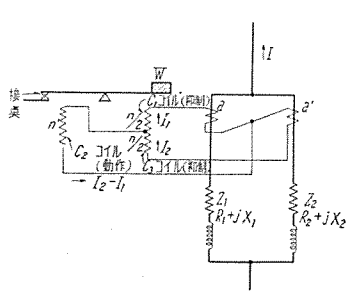
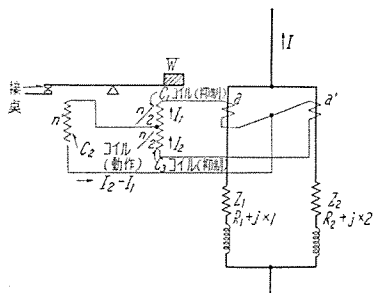
## 参 考 文 献

- (1) 白井, 三菱電機 Vol. 28, 321, (1954).
- (2) W. Jost., Diffusion, (1952).
- (3) J. D. Paper, E. E., 791, (1946).
- (4) 白井・原, 三菱電機, Vol. 29, No. 8, (1955).

## 正 誤 表

Vol. 31, No. 10 「高速度比率差働継電器の同期機層間短絡保護能力と外部振動に対する安定性」  
のうち誤を下記のように訂正いたします。

頁	行	誤	正
29	右上から 17 行目	$z_1, z_2$ が等しくなるため	$z_1, z_2$ が等しくなくなるため
39	右上から 1 行目	判別した。	判明した。
"	右上から 15 行目	ことに担当する。	ことに相当する。
"	右下から 8 行目	ポーアングル	ポールアングル
44	左上から 18 行目	が出ないので	が出なかったので
29	4 図	$R_1 + j \times 1 \quad R_2 + j \times 2$	$R_1 + jX_1 \quad R_2 + jX_2$



# キャビネット型クリネヤ

神戸製作所 斎藤 寛\*・武藤 哲\*

## Cabinet Type Cleanaires

Hiroshi SAITO・Tetsu MUTO

The Mitsubishi Cleanaire is an electric air purifier to obtain clean air by removing floating dust in the air. With this apparatus such small particles as  $0.1\mu$  are collected with an efficiency of 90%. Generation of excess ozone, which makes the Cottrell precipitator unfit for a certain purpose, is negligible with it. This Mitsubishi Cleanaire has gained fame since its introduction to the market. But based on the experience much improvement has been made on the old design and new series of cabinet type Cleanaires CC-1B~CC-4B have been completed with the result of simplicity in handling, enlargement of application range and yet reduced cost.

### 1. ま え が き

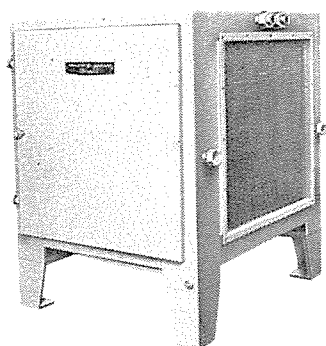
クリネヤ (Cleanaire)\* は、空気中の浮遊塵埃を除去して清浄な空気を得るために使用される電気式空気清浄装置である。クリネヤによれば、空気中の浮遊塵埃はその成分のいかに問わず、細菌や煙草の煙のような  $0.1\mu$  前後のごく微小なものまで除去され、しかもその集塵効率 は Blackness Test<sup>(1)</sup> により 90% を保証しているので、ほとんど無塵無菌状態の清浄空気が得られるのである。また従来のコットレル装置が、換気空気の清浄用としてはまったく顧みられなかった最大の原因である過度のオゾン発生も、クリネヤにおいてはまったく無視しう程度に押えられている。一般に電気集塵に利用されるコロナ放電においては、オゾンおよび亜酸化窒素 (笑気) の発生を伴うが、これらガスの過度の発生はゴムその他の物質に対して変質あるいは品質劣下などの悪影響を及ぼし、かつ人体に対しても不快感を与えるものである。たとえば空気の 5,000 万分の 1 容積のオゾンでも人によっては不快感を訴え、1,000 万分の 1 容積またはそれ以上のオゾンに対しては頭痛を生ずることさえある。しかしながら微量のオゾンは健康上むしろ望ましいものであ

て、たとえば高山や海浜の新鮮な空気は約 1 億分の 1 容積あるいはそれ以下のオゾンを含み、人体に爽快感を覚えさせる。また臭気を消す作用もある。一方クリネヤにおけるオゾンの発生量は、その規定風量の範囲ではわずかに空気の 3 億分の 1 容積以下にとどまる。したがってオゾンに伴って発生する笑気もその量はまったく問題にならないのである。

三菱電機がこのクリネヤを市場に出してからすでに 3 年有余になるが、その間空気汚染ならびにその防止問題に対する世間一般の認識も漸次高揚し、とくに最近では工業地帯の煤煙、都市の自動車排ガス、放射能塵埃の問題など、微小塵埃が人体、動物あるいは各種製品に及ぼす悪影響の防止対策が、ますます真剣に論議されるようになった。したがってクリネヤに対する需要もとみに増加し、ventilation あるいは air conditioning の計画があるところには、必ずといってよい位にクリネヤが一応の話題に上るようになってきた。

ここに述べるキャビネット型クリネヤは、その最大処

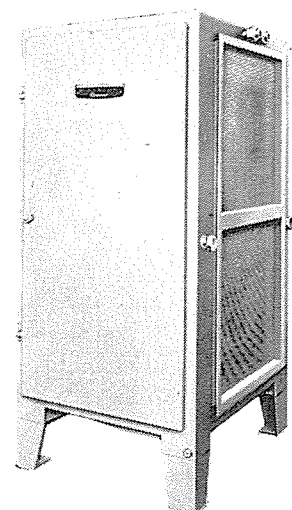
\* 当社製電気式空気清浄装置の登録商品名。



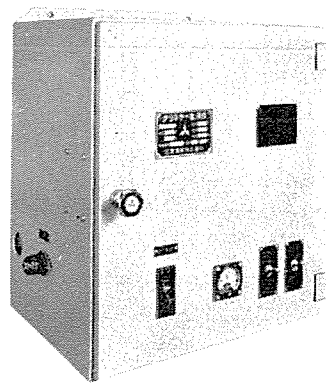
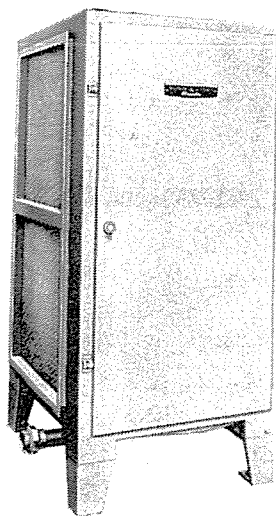
1 図 CC-2B 型クリネヤ  
(空気流入側)  
Fig. 1. Type CC-2B Cleanaire.  
(air inlet side)



2 図 CC-2B 型クリネヤ  
(空気流出側)  
Fig. 2. Type CC-2B Cleanaire.  
(air outlet side)

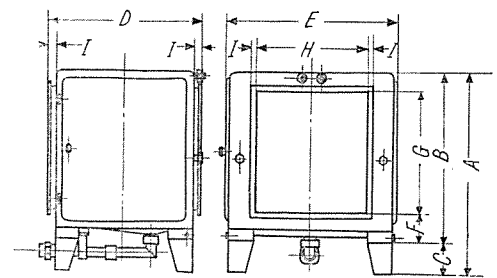


3 図 CC-4B 型クリネヤ  
(空気流入側)  
Fig. 3. Type CC-4B Cleanaire.  
(air inlet side)



5 図 電源部  
Fig. 5. Power pack.

4 図 CC-4B 型クリネヤ (空気流出側)  
Fig. 4. Type CC-4B Cleanaire.  
(air outlet side)

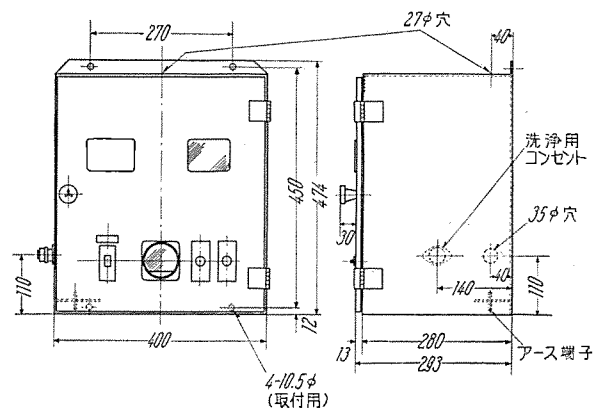


形 番	CC-1B	CC-2B	CC-3B	CC-4B
外形寸法 (mm)				
A	690	1,020	1,350	1,680
B	515	845	1,175	1,505
C	175	175	175	175
D	800	800	810	810
E	915	915	915	915
F	135	150	152.5	152.5
G	300	600	930	1,260
H	600	600	600	600
I	25	25	30	30

6 図 キャビネット外形寸法  
Fig. 6. Outline dimensions of cabinet.

理風量が 28 ないし 136 m<sup>3</sup>/min (1,000 ないし 4,800 cfm) の比較的小容量のもので、40 から 170 坪程度の部屋の換気用に適しており、処理風量に応じて CC-1B から CC-4B までの 4 種類がある。そしておのの集塵部分を納めたコンパクトなキャビネットと、これに直流高電圧を供給するための電源部とからなっている。電源部はキャビネットとは別個に、監視ならびに操作に都合のよい適当な壁面に取り付け、キャビネットとの間に所定の配線を施すようになっている。したがって据付場所の関係で、キャビネットを天井から懸垂する場合や、キャビネットと電源部をそれぞれ別室に置く場合でも、遠方から監視ならびに操作ができる。

キャビネット型クリネヤの取扱いは至極簡単で、なんら危険を伴わずに操作することができる。また電源は 100 V の一般電燈線からとることができ、空気清浄作用に要する電力はわずか 80 W 以下に過ぎない。かつ駆動部分が全然ないから部品の磨耗や故障が少く、使用中騒



扉は 180° まで開くことができる

7 図 電源部外形寸法  
Fig. 7. Outline drawing of power pack.

音を発することもない。1 図から 4 図にはキャビネット型クリネヤの、また 5 図には電源部のそれぞれ外観を示し、6 図、7 図にはキャビネットおよび電源部の外形寸法を示す。さらに 1 表にはキャビネット型クリネヤの仕様一覧表を示す。

1 表 キャビネット型クリネヤ仕様一覧表

型 番	CC-1B		CC-2B		CC-3B		CC-4B	
保証・集塵効率 (%) (1)	90	85	90	85	90	85	90	85
最大処理風量	m <sup>3</sup> /min	28	34	57	68	85	102	113
	ft <sup>3</sup> /min	1,000	1,200	2,000	2,400	3,000	3,600	4,000
空気抵抗 (mmAq)	5	7	5	7	5	7	5	7
最大室内容積 (2)	m <sup>3</sup>	510	1,020	1,530	2,040			
容 積	ft <sup>3</sup>	18,000	36,000	54,000	72,000			
	坪 (高 2 間)	42.5	85	127.5	170			
電源単相交流	50/60 c/s, 100±10V		50/60 c/s, 100±10V		50/60 c/s, 100±10V		50/60 c/s, 100±10V	
消費電力 (W)	50		60		70		80	
据付方法 (3)	据置, 懸垂		据置, 懸垂		据置, 懸垂		据置, 懸垂	
気流方向	水 平		水 平		水 平		水 平	
洗浄水所要量 (1)	40		80		120		160	
給水圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	2		2		2		2	
洗浄水供給口	1/2" ユニオン		1/2" ユニオン		3/4" ユニオン		3/4" ユニオン	
粘着剤所要量 (個) (140cc 入エヤゾール罐)	1.5		3.0		4.5		6.0	
排水口	1" ユニオン		1 1/2" ユニオン		2" ユニオン		2" ユニオン	
電線引出口	1" 薄鋼電線管ねじ		1" 薄鋼電線管ねじ		1" 薄鋼電線管ねじ		1" 薄鋼電線管ねじ	
重量	キャビネット	145	210	285	335			
	電源部	35	35	35	35			

(注) (1) 集塵効率の決定は Blackness Test または Dust Spot Test による。

(2) これは保証集塵効率 85% の最大処理風量で、換気回数を 4 回/時とした場合の値である。

(3) 工場より出荷される際はすべて据置として脚を取付けてある。したがって懸垂する場合は適宜客先にて吊手をお手配願う。



8 図 CC-2B 型クリーネヤ  
内部構造

Fig. 8. Internal construction of type CC-2B cleanaire.



9 図 CC-4B 型クリーネヤ  
内部構造

Fig. 9. Internal construction of type CC-4B cleanaire.

面には同一寸法の空気流入口と流出口が設けてあり、それぞれフランジが出ていてダクトの連結を容易にしてある。空気流入口には多数の小穴の開いた遮風板が貼ってあるが、これは気流にわざと抵抗を与えて、キャビネット内を通る気流の速度を均一にするためのものである。また流出口には金網製のフィルタが取付けてあるが、これは集塵部に付着堆積した塵埃が、万一気流によって比較的大きな塊となって剥離した場合にこれを捕捉するため、固定洗浄ノズルからの温水スプレによって集塵部分を洗浄する場合に、水滴が空気流出側ダクト内に飛散しないようにするためである。このフィルタは簡単に取外して洗浄することができる。キャビネットの他の一対の対向側面にはそれぞれ扉式の側蓋が取付けられており、一方の側蓋はキャビネット内部から固定してあるため外部から開くことはできないが、他方の側蓋は空気流出側寄り端縁の中央にある安全スイッチ用ねじ棒を抜き、さらにその上下のストッパを外せば容易に開けることができる。この開閉自在の側蓋の中央上部には写真に示すように意匠名板が貼布してあり、この側蓋をキャビネットの正面側蓋と称する。そして普通キャビネットはこの正面側蓋に向って右側に空気流入口、左側に流出口があるように組立てられるが、これを逆向きに組換えることも容易にできるようにしてある。

キャビネット内部には高電圧が印加されている集塵部分があるから、それが完全に放電した後でないで側蓋を開けるのは危険である。このために正面側蓋は安全スイッチ用ねじ棒の操作によって開くことができるようにしてあり、このねじ棒の取外しには内部の高電圧部が完全に放電するだけの時限をもたせてある。すなわちねじ棒のつまみを数回左にまわすと、キャビネットに取付けられている安全スイッチが直ちに開かれて電源部高圧変圧器の入力回路を遮断し、さらに 10 数回まわすことによって初めてねじ棒が抜け側蓋が開けられる構造になって



10 図 CC-2B 用固定洗浄ノズル

Fig. 10. Washing nozzles of type CC-2B cleanaire.

いる。

キャビネットの天井と底部には、電離部や集塵部の出し入れを容易にし、かつそれらを所定の位置に保持するための案内枠があり、また底部は洗浄排水受を形成し排水口が設けてある。この排水口にはフロート・バルブがあり、下水からの汚染空気あるいは臭気がキャビネット内に侵入するのを防止している。なお排水口には排水管が接続され、空気流出口

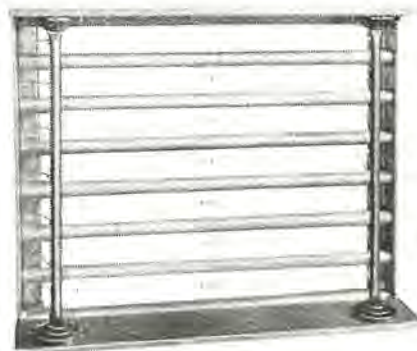
の下方面において外部下水溝に導かれる排水管と容易に接続できるようにユニオン管接手が取付けてある。

空気流入口に貼られた遮風板の直後には、集塵部 1 個に対して水平に 1 段ずつの洗浄水管が固定配管され、各洗浄水管には 5 個のノズルが等間隔に電離部集塵部に向って配列してある。そしてこれらノズルから洗浄水を円錐状に噴射して、電離部や集塵部に付着した塵埃を洗浄する。洗浄水は空気流入口の両側中央部に設けられた洗浄水供給口のいずれか一方から供給される。10 図に CC-2B 用の固定洗浄ノズルを示す。

側蓋の周辺ならびに側蓋と集塵部分の間など、洗浄水の漏洩、汚染空気の侵入やバイパスを防止すべき部分には、すべて人造スポンジゴムのパッキングを施してある。また空気流入口の上部中央には、高圧および低圧電線を引出すための 2 個の電線引出口が設けてある。

#### イ. 電 離 部

電離部はキャビネット内の空気流入側にあり、集塵部とは別個の枠になってキャビネットの案内枠に差し込まれている。これは約 90 mm 間隔に気流と直角に水平に並べられた数本ないし 10 数本の直径約 30 mm のアルミニウム接地極管と、これら接地極管のちょうど真中に 1 本ずつ平行に張られた直径 0.18 mm のタングステン高電位極線とからできている。そして電離部の上下の



11 図 CC-2B 用  
電離部

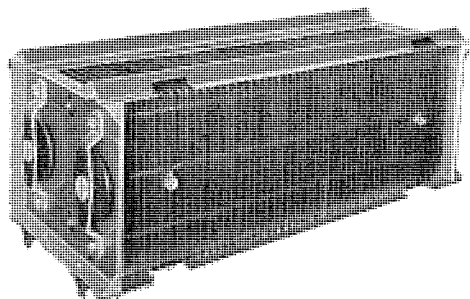
Fig. 11. Ionizer of type CC-2B cleanaire.

側板は前方に張り出してその両端にそれぞれ絶縁碍子を取付け、対向する上下碍子間に垂直の支持棒を保持している。この2本の支持棒から等間隔に接地極管のちょうどまん中に向かってクリップを出し、これに上述のタングステン線が張ってある。タングステン線の中央には小さな鉛玉が3個ずつ取付けてあるが、これは集塵中のタングステン線の振動を防止するためのものである。なお上述の2本の垂直支持棒の上部にはいずれも端子が取付けてあり、電源部の 12,500 V 端子に接続された高圧線の他端が、これら端子のいずれか一方に接続される。11 図に CC-2B 用の電離部を示す。

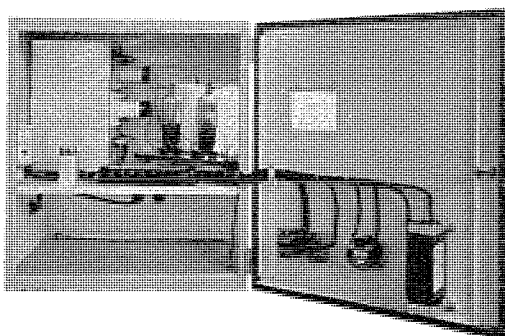
### ウ. 集 塵 部

集塵部は電離部の直後に置かれ、約 300 mm 角のアルミニウムの薄板多数を約 8 mm 間隔に平行に並べ、両端を端枠で押えたものである。アルミニウムの薄板は高電位極板と接地極板にわかれてそれらが交互に配列されており、高電位極板は間隔片で等間隔を保たせ、これを4本の通しボルトで絶縁碍子を介して端枠に固定して大地と絶縁され、接地極板は間隔片で等間隔を保たせた上、4本の通しボルトで直接端枠に固定されている。集塵部の上下両面には山形の補強枠が取付けてあり、これはまた集塵部をキャビネットに差しこむ場合の案内枠をも兼ねている。これが集塵部の標準ユニットであって、保証集塵効率 90% のときの最大処理風量は 28 m<sup>3</sup>/min (1,000 cfm) である。したがってキャビネット型クリネヤでは容量に応じてこのユニットを高さの方向に1ないし4個積重ねてある。

各集塵部の空気流出側には両端枠に近いところにそれ

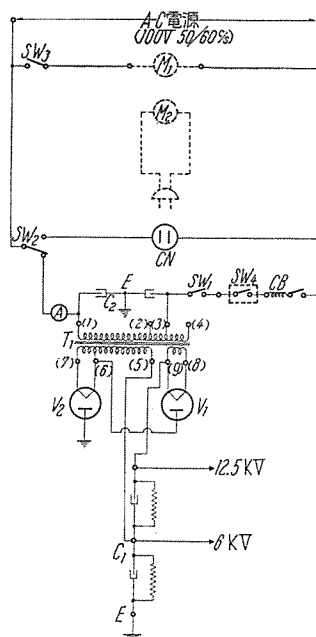


12 図 キャビネット型クリネヤ用集塵部  
Fig. 12. Collecting cell of cabinet type cleanair.



13 図 電源部内部構造  
Fig. 13. Internal construction of power pack.

キャビネット型クリネヤ・斎藤・武藤



14 図 電源部結線図

Fig. 14. Connection diagram of power pack.

符 号 説 明	
符 号	名 称
V <sub>1</sub> , V <sub>2</sub>	高圧整流管
C <sub>1</sub>	コンデンサ 0.05 μF + 0.05 μF
T <sub>1</sub>	変 圧 器
C <sub>2</sub>	コンデンサ 0.5 μF
SW <sub>1</sub>	安全スイッチ
SW <sub>2</sub>	切換スイッチ
SW <sub>3</sub>	ファン開閉スイッチ
A	交流電流計
CB	断 路 器
CN	コンセント
M <sub>1</sub>	ファンモータ
M <sub>2</sub>	洗浄水モータ
SW <sub>4</sub>	本体安全スイッチ
E	アース端子

ぞれ端子が突出しており、電源部の 6,000 V 端子に接続された高圧線の他端が最上段集塵部のこれら端子のいずれかに接続され、また上下の集塵部はアルミニウム線をこれら端子間に渡すことによって電氣的に接続されている。12 図に集塵部の標準ユニットを示す。

### エ. 電 源 部

電源部は CC-1B および 2B 用と CC-3B および 4B 用の2種類に分れているが、高圧変圧器以外は両者まったく同一部品を使用しており、外形および構造は CC-1B ないし 4B 用とも同一になっている。電源部は 5 図に示すような外観で 7 図のような外形寸法を有し、取付けは壁掛式である。ケース内部には高圧変圧器、コンデンサ、高圧整流管 (VK-481B)、安全スイッチ等が納められ、正面扉には安全ブレーカ、ファン・スイッチおよび集塵・洗浄切換スイッチが取付けられ、かつケースの左側面には洗浄水ポンプ・モータ用コンセントが設けられている。またケース内には必要に応じて警報装置用補助リレーを取付けることができる。13 図に電源部の内部構造を示す。また 14 図には電源部の結線を示す。

電源部の入力は一相交流 100 ± 10 V, 50/60 c/s 用として設計されており、変圧器によって高圧交流に変換し、これを2個の整流管とコンデンサを使用してブリッジ型倍電圧整流方式によって高圧直流とし、12,500 ± 500 V を電離部に、6,000 ± 500 V を集塵部にそれぞれ供給する。そして正常運転時における電力消費量は 80 W 以下である。電源部の正面には内部点検用の視窓がついているが、さらに点検を容易にするため正面蓋が扉式に開閉できる構造となっている。扉を開いて点検する場合は、内部に高電圧を蓄積するコンデンサがあるため、それが完全に放電した後でないといふ危険である。したがってキャ

ビネットの正面側蓋の場合と同様に、扉の開閉ハンドルと安全スイッチを連動させ、コンデンサが完全に放電するまでは扉が開かないよう機械的に時限をもたせてある。

変圧器の1次および2次高圧回路の短絡に対しては、1次回路に接続された安全ブレーカが遮断する。この場合必要に応じ前述のように警報を鳴らすこともできる。また変圧器は漏洩変圧器を使用しているため、高圧回路の短絡に対しては変圧器自身によっても高圧回路に属する各部品の保護ができる構造になっている。また1次側は供給電圧の高低に応ずるために90—100—110Vのタップが設けてあり、100Vタップにて出荷するが必要に応じてタップの位置を変更することができる。

## オ. 結 線

電離部、集塵部の高圧電線はキャビネットの正面側蓋側のそれぞれの上部端子に接続され、キャビネットの天井をはわして空気流入口上部にある2個の電線引出口の一方から引出してある。また安全スイッチ用低圧電線および接地線も他方の電線引出口から引出してある。これら各種電線は引出口からいずれも10mの長さを有しているから、これらを電線管に通して電源部まで導き14図のとおり結線する。なおこの接地線は電源部ケース内の接地端子に接続し、これとは別にキャビネットおよび電源部ケースのおおのは、近くの水道管または接地板に確実に接地しておく。

洗浄水ポンプ・モータあるいは電磁弁の接続線は、電源部ケースの左側面にあるコンセントに接続する。また電源およびファン・モータの接続線は、結線図の指示どおりに電源部ケース内の端子板にそれぞれ接続する。なお警報器とはクリネヤ内部の電気回路に短絡が生じて、電源部の安全ブレーカが開路したときに警報を発するような装置であって、これを使用する場合は電源部ケース内に取付ける補助リレーの励磁コイルを高圧変圧器の端

子10および11に接続し、接点は端子板の端子6, 7に接続する。そして端子6, 7にそれぞれ電源を接続してこれを警報器の回路に直列に接続する。この回路にはスイッチを設ける必要がある。

## 3. 機 能

### ア. 集塵理論

電離部の高電位極線に12,500±500Vの直流高電圧を印加すると、隣接の接地極管との間に高い電位傾度を有する不平等電界を形成する。ただし高電位極は正極性にする。しかるときは高電位極線のごく近い範囲では放電が行われ、その放電領域にある空気は電離して正負のイオンに分離する。したがって生じた負イオンは直ちに高電位極に吸引され、正イオンは反撥されて放電領域外に飛出し接地極に向って推進される。その途中で中性の空気分子に衝突してこれを電離させたり、あるいはこれに付着して正イオンにしたりする。この作用は電極間に規定の高電圧が印加されている間継続するから、電離部電極間の雰囲気はほとんど正イオンによって満されることになる。したがって外部からこの電離領域に進入してきた中性の塵埃粒子は、正イオンに付着されて正電荷を帯びつぎの集塵部に運ばれる。

集塵部の高電位極板に6,000±500Vの直流高電圧を印加すると、隣接の接地極板との間に強力な平等静電界が形成される。ただしこの場合も高電位極は正極性にする。したがって電離部で正に帯電した塵埃粒子がこの平等電界に進入してくれば、クーロンの法則に基く電気力によって接地極板に向って吸引され、これに付着してその電荷を失う。これがクリネヤの集塵原理であり、15図にその説明図を示す。

つぎにその理論式を説明する。まず電離部における塵埃粒子の荷電機構には、電界の電気力によってイオンが粒子に衝突付着する現象と、イオンがその分子運動による拡散作用によって粒子に付着する現象とがある。1個の塵埃粒子に付着しうる電荷は、前者の場合は次式によって表わされる。

$$ne = E_0 r^2 \left( 1 + 2 \frac{D-1}{D+2} \right) f(t) \quad \cdots \cdots (1)$$

$$\text{ただし} \quad f(t) = t \left/ \left( t + \frac{1}{300\pi N_0 u e} \right) \right. \quad \cdots \cdots (2)$$

ここに、 $n$  = 荷電数 ( $e$  の倍数)

$e$  = 電子の電荷 =  $4.77 \times 10^{-10}$  (esu)

$D$  = 粒子の誘電率

$E_0$  = 電離部の電界強度 (esu)

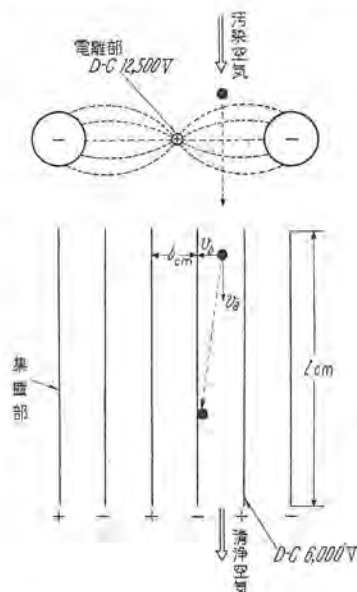
$r$  = 粒子の等価半径 (cm)

$N_0$  = イオン密度 (個/cm<sup>3</sup>)

$u$  = 正イオンのモビリティ (cm/sec/volt/cm)

$t$  = 粒子が電離部を通過するに要する時間 (sec)

しかして (1) 式において  $f(t) = 1$  の場合が飽和荷電量になる。



15 図 集塵原理説明図  
Fig. 15. Principle of dust collection.

また後者の場合は次式によって表わされる。

$$ne = \frac{rkT}{e} \log_n \left( 1 + \frac{\pi rc N_0 e^2}{kT} \cdot t \right) \dots (3)$$

ここに、 $k$ =ボルツマン常数= $1.38 \times 10^{-16}$  (erg/deg)

$T$ =絶対温度 (°K)

$C$ =イオンの平均速度 (cm/sec)

そして一般に直径約  $0.2 \mu$  以下の粒子に対しては、イオンの拡散による荷電作用の方が優勢になる。

つぎに集塵部において、 $ne$  なる電荷を有する 1 個の粒子に気流と直角方向に生ずる速度は、粒子に作用する電気力と空気の粘性抵抗が平衡するという条件から、

$$v_b = ne E_1 / 6\pi\mu_a r \dots (4)$$

ここに、 $v_b$ =気流と直角方向の粒子速度 (cm/sec)

$E_1$ =集塵部の電界強度 (esu)

$\mu_a$ =空気の粘度 (poise)

また、 $v_a$ =粒子の気流方向速度 (風速) (cm/sec)

$b$ =集塵部の極板間隔 (cm)

$l$ =集塵部の気流方向長さ (cm)

$t_a$ =粒子の集塵部通過時間= $l/v_a$  (sec)

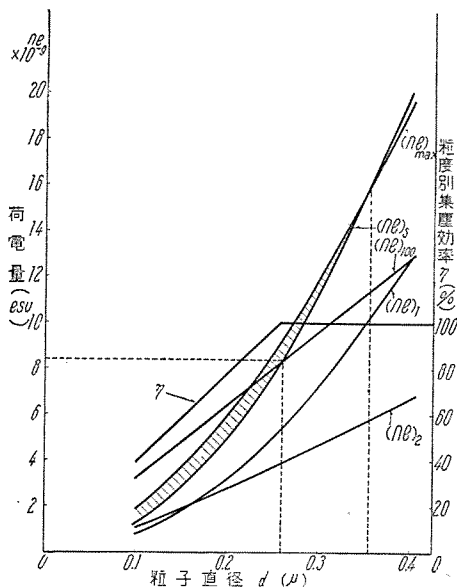
$t_b$ =粒子が気流と直角に極板間を移動するに要する時間= $b/v_b$  (sec)

とすれば、集塵成立のための条件は下記のとおりである。

$$t_b \leq t_a \dots (5)$$

#### 1. 集塵特性

16 図に示す粒子直径と荷電量の関係曲線図は、微小粒子に対するクリネヤの集塵特性を推測するために、CC-2B 型クリネヤの諸元を上記各式に適用して数値計算を行い作製したものである。ただし粒子の誘電率  $D=4$  と仮定した。この図からつぎのような事柄が推察される。



(ne)<sub>1</sub>=電界による荷電量 (ne)<sub>2</sub>=分子運動による荷電量  
(ne)<sub>max</sub>=(ne)<sub>1</sub>+(ne)<sub>2</sub> (ne)<sub>3</sub>=飽和荷電量  
(ne)<sub>100</sub>=100% 集塵に必要な荷電量

16 図 粒子直径と荷電量の関係曲線図

Fig. 16. Relations between particle dia. and its charge.

キャビネット型クリネヤ・斎藤・武藤

(1) 直径  $0.35 \mu$  以下の粒子は電界および分子運動による荷電作用によって飽和荷電量を得る。

(2) 直径  $0.26 \mu$  以上の粒子は理論上 100% 集塵される。

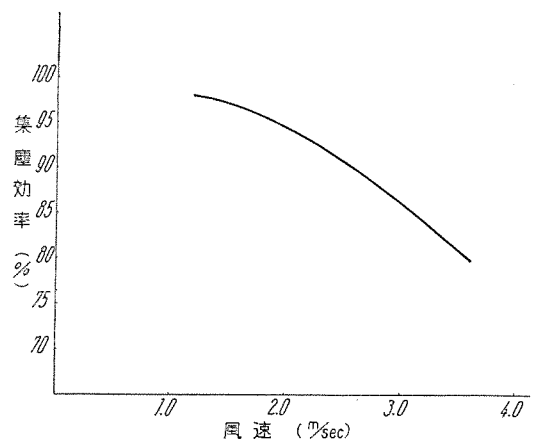
(3) 直径  $0.26 \mu$  以下の粒子も集塵されるが、その集塵効率急激に低下する。

(4)  $0.26 \mu$  以下の粒子を高効率で集塵するためには、単に飽和電荷を与えただけではだめである。

しかしながら実際には扱う粒子がただ 1 個でなく多数の粒子が荷電しているために粒子相互間に反撥、拡散作用があり、また気流の乱れがあることも避けられない等、そのほか集塵作用を阻害する種々の現象が影響してくるので、100% 集塵ということは考えられない。

電離部、集塵部の電極寸法、間隔および印加電圧などの諸元は、オゾンや笑気の発生防止、電極間の弧絡防止、捕集塵埃の洗浄処理、高集塵効率の長期間の維持、工作可能限界など幾多実用面を考慮して検討決定されたものであるから、前記  $0.26 \mu$  以下の粒子を高効率で集塵するために、極端に電極間隔を狭くしたり、集塵部の気流方向長さを増したり、あるいは印加電圧を大きくしたりすることは、コスト、スペース、保守等の点において何らかの犠牲を払わね限りは困難なことである。ただ通風速度を下げることによって比較的楽に集塵効率を高めることができるが、これも装置が大きくなるのでおのずからコストやスペースの点で限度がある。巷間では微小塵埃に対する電気式空気清浄装置の高集塵効率が宣伝され、ときに  $0.001 \mu$  の粒子をも集塵されるようなことがいわれているが、これは上記説明からも明かなとおり単に  $0.001 \mu$  の粒子も捕集できるというだけのことで、決して高い集塵効率で捕集できるという意味ではないから、需要者もこの点は明確に認識しておく必要がある。

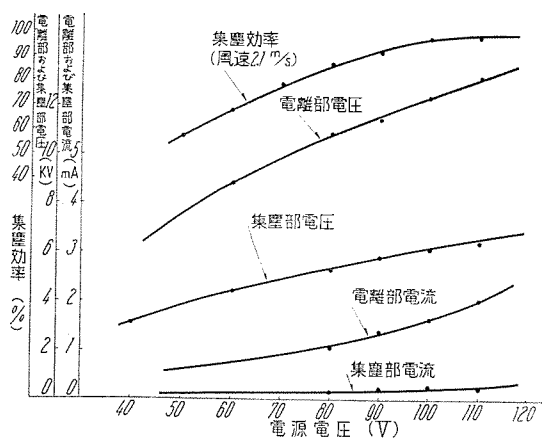
17 図に CC-2B 型クリネヤの風速と集塵効率との関係



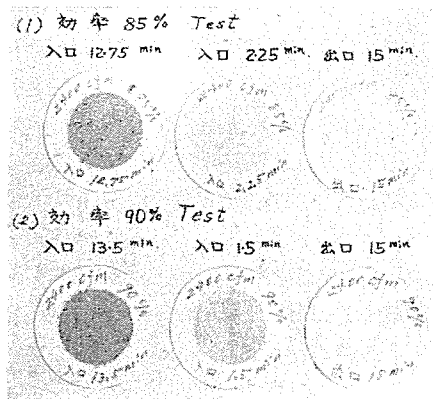
注 (1) 風速はキャビネットの空気流出入口における値を示す。  
(2) 本図は空気流入側より見て集塵極板の見掛け厚みが約 3 mm になる程度に塵埃が捕集された状態。すなわち洗浄直前における集塵効率を示すものである。洗浄直後の集塵効率は通常本図よりも 2~5% 高い値を示す。  
(3) 集塵効率の測定は Blackness test による。

17 図 風速と集塵効率の関係曲線図

Fig. 17. Precipitation efficiency—air velocity curve of type CC-2B Cleanaire.

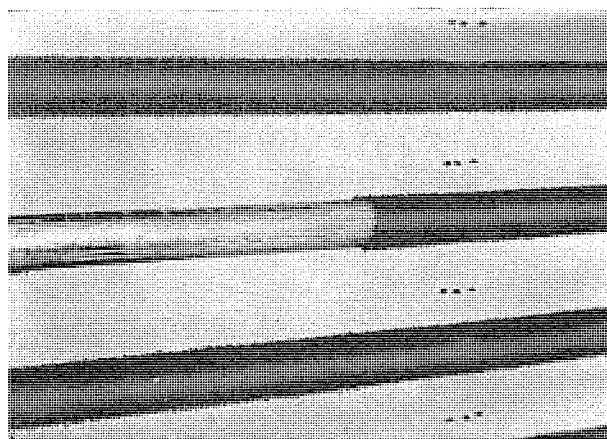


18 図 電源部の動作特性と集塵効率の関係曲線図  
Fig. 18. Characteristic curves of power pack.

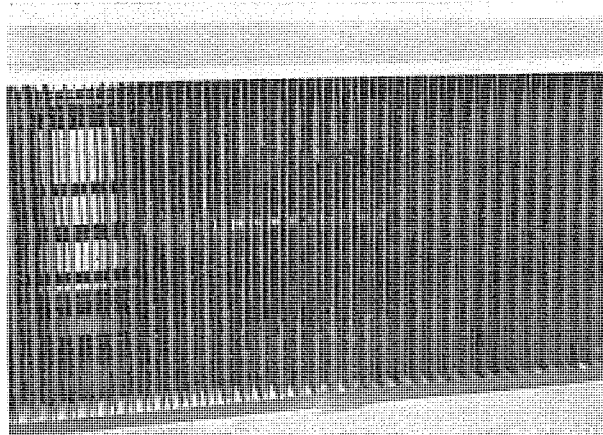


19 図 Blackness Test 実測写真 (風量 2,400 cfm)  
Fig. 19. Experimental data of blackness test.

を、18 図には CC-2B 用電源部の動作特性と集塵効率との関係をそれぞれ実測データによって示す。また 19 図に CC-2B 型クリネヤの Blackness Test による集塵効率実測写真を示す。この写真で左端および中央は汚染空気、右端は清浄空気をそれぞれ表記の時間透過させた白色濾紙である。しかして集塵効率は中央と右端の濾紙の汚れを比較することによって決定される。すなわち右端の濾紙の空気透過時間を 100% とすれば、中央のそれはそれぞれ 15% および 10% になる。ここで中央と右端の濾紙の汚れが同一であれば、左端の濾紙の空気透過時間の百分率 85% および 90% をもってそのときの集塵効率とするわけである。したがって 19 図のように中央が右端よりも汚れている場合は、集塵効率は 85% あるいは 90% 以上であるということになる。19 図の場合は CC-2B 型クリネヤにその保証集塵効率 85% の許容最大処理風量 2,400 cfm を通した場合のものであるが、85% はもちろん 90% をも上まわる高集塵効率を示している。集塵部における捕集塵埃の堆積量が比較的小さいときには、クリネヤは常にこのようにその保証集塵効率以上の高効率を示すのである。なお 20 図と 21 図には電離部および集塵部の塵埃付着状況を示す。おのおのの写真において部分的に電極の地肌を出したのは比較に便利



20 図 電離部塵埃付着状況  
Fig. 20. Ionizer collected dust.



21 図 集塵部塵埃付着状況  
Fig. 21. Collecting cell collected dust.

なためである。集塵部においては塵埃がほとんど接地極板に付着すること、また塵埃は集塵部のみならず電離部の接地極にもかなり付着することに注意されたい。

#### ウ. 集塵動作

電源部ケースの集塵-洗浄切換スイッチを集塵側に倒し、安全ブレーカを ON にすれば、電源部は付勢されてクリネヤは集塵作用を開始するから、ファン・スイッチを ON にしてファンを起動する。ファンは安全ブレーカの ON-OFF とは無関係に運転、停止ができる。電流計の指針は集塵状況によりつぎのような位置を指示する。

##### (1) 緑色目盛 (0.5 A 以下)

高圧回路が断線または開路された場合、あるいは電源電圧が 90 V 以下に降下した場合。

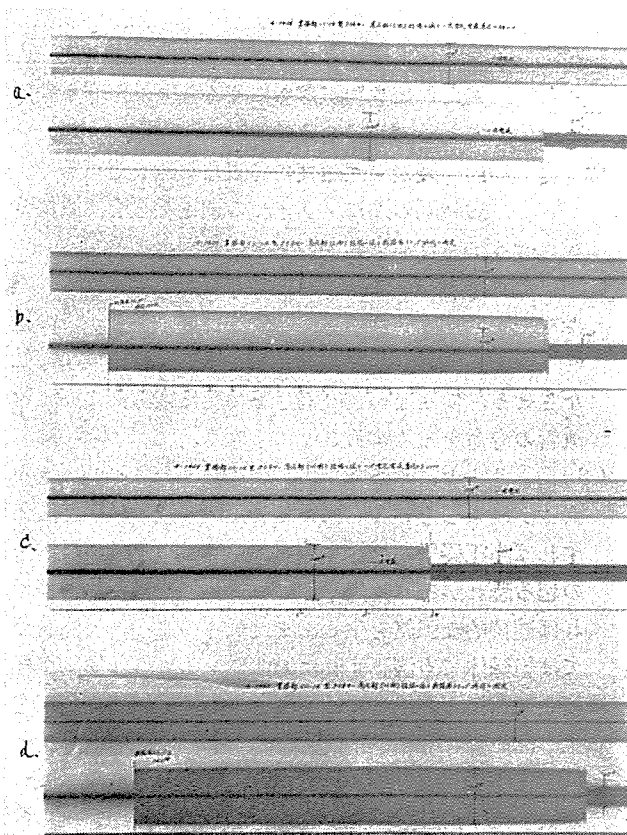
##### (2) 白色目盛 (0.5~1.0 A)

正常運転状態。

##### (3) 赤色目盛 (1.0 A 以上)

高圧回路が短絡した場合。

22 図は高圧回路が短絡した場合の変圧器 1 次電流の変化を示すオシログラムである。同図 (a) および (c) は安全ブレーカを使用せずに集塵部、電離部を短絡した



22 図 電源部のオシログラム  
Fig. 22. Oscillograms of power pack.

場合、(b) および (d) は安全ブレーカを使用した場合を示す。集塵部を短絡した場合のオシロ (a) および (b) において、変圧器 1 次電流の波高値が正方向に大きく負方向に小さく片寄り、その実効値が電離部を短絡した場合より大きくなっているのはつぎの理由によるものである。すなわち 14 図より明かなように、集塵部が短絡した場合は整流管  $V_2$  により整流される半サイクルにおいて整流負荷が完全に短絡されるため 1 次電流が増大するが、つぎの半サイクルで  $V_1$  により整流される際は、短絡負荷とならないため 1 次電流も小さい。また電離部が短絡した場合は、コンデンサおよび放電抵抗が 2 並列となり、1 次電流は増大するが正負まったく平衡した波形が得られるわけである。オシロからも明かなように、集塵部を短絡したときの方が変圧器 1 次電流が大きいため、安全ブレーカの遮断時間は電離部を短絡した場合よりも早くなっている。

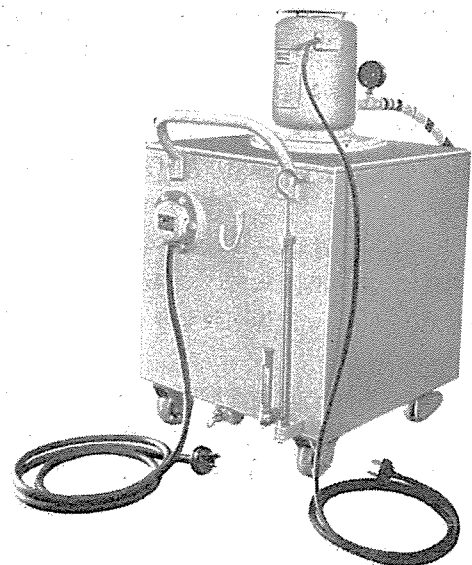
#### エ. 洗浄操作

クリネヤは常に高い集塵効率を維持させるために、普通 1 箇月に 1 ないし 2 回位の割合で電離部や集塵部を洗浄し、電極面に捕集堆積した塵埃を下水へ洗い流してやらなければならない。この洗浄は電離部や集塵部をキャビネットから取出して温水とブラシで行うこともできるが、洗浄水供給装置がある場合は、約  $60^{\circ}\text{C}$  の温水をキャビネット内の洗浄ノズルから噴射させて行う。そして集塵中の捕集塵埃の剥離を防ぐためと、温水できれいに

洗い落せるようにするために、洗浄後に特殊の粘着剤 (Shell Adhesive Oil T-675) を電離部や集塵部に吹付けて電極面に薄い油膜を形成させておくのである。

この洗浄操作はつぎのようにして行う。

- (1) 洗浄水供給装置の給水管をキャビネット洗浄水供給口に連結し、タンク内に所要量の清水を注入してこれを約  $60^{\circ}\text{C}$  に加熱する。
- (2) 洗浄水ポンプ・モータあるいは電磁弁の接続線を電源部ケースのコンセントに接続する。
- (3) ファン・スイッチおよび安全ブレーカを OFF にする。
- (4) ファン・スイッチを OFF にした後、1 分ないし 1 分半後に集塵-洗浄スイッチを洗浄側に倒せば、洗浄水ポンプが起動し、あるいは電磁弁が開いて洗浄ノズルから洗浄水が噴射され、電離部、集塵部の洗浄が開始される。
- (5) 洗浄開始後約 5 分間経過したら、集塵-洗浄切換スイッチを再び集塵側に倒す。そうすると洗浄水ポンプが停止し、あるいは電磁弁が閉じて洗浄水の噴射は止まる。この場合集塵-洗浄切換スイッチを集塵側に倒しても、安全ブレーカは OFF のままであるから集塵は行われない。
- (6) つぎにファン・スイッチを ON にする。そうするとファンが起動してキャビネット内部の乾燥が行われる。これは約 1 時間継続する。
- (7) 約 1 時間の乾燥時間が経過したら、一応安全ブレーカを ON にして電流計の指針の動きを点検する。指針が白色目盛を指すならば、安全ブレーカを OFF にして次項の粘着剤の吹付けを行うが、もしも指針が赤色目盛を指すようならばまだ乾燥不十分であるから、安全ブレーカを OFF にしてさらに乾燥を続ける。
- (8) キャビネット内部が完全に乾燥したことを電流計の指示目盛によって確認したら、ファン・スイッチを



23 図 洗浄水供給装置  
Fig. 23. Supplier of washing water.

2 表 キャビネット型クリネヤの最大許容風速

	CC-1B	CC-2B	CC-3B	CC-4B
空気流入口全面積 $m^2$ (フランジ内面面積)	0.18	0.36	0.558	0.756
最大許容風速 (m/s)	集塵効率90%のとき	2.6	2.6	2.5
	" 85% "	3.1	3.1	3.0

OFF にしてキャビネットの正面側蓋を開き、付属の粘着剤噴霧器 (140cc 入エアゾール罐) を空気流入側から挿入し、粘着剤を電離部や集塵部に万遍なく吹付ける。

- (9) 粘着剤の吹付けが終ればキャビネットの正面側蓋を閉めてストッパをかけ、安全スイッチ用ねじ棒をしっかり締めこんでから、安全ブレーカおよびファン・スイッチを ON にする。かくして再び能率のよい集塵作用を継続することができる。

23 図に CC-1B および 2B 用の洗浄水供給装置を示す。

#### 4. 使用上の注意

クリネヤを特殊塵埃の処理あるいは特殊な条件のもとに使用しようとする際は、個々の場合について種々考慮しなければならない問題があるが、これら特殊な場合についての説明はほかの機会にゆずり、ここには普通の屋外空気あるいは建物内の再循環空気をクリネヤによって除塵する場合の注意事項をまとめておくことにする。

- (1) 風量は許容最大処理風量をこえないようにすること、これは集塵効率が保証値以下になる原因になる。キャビネット型クリネヤの空気流出入口における許容最大風速は 2 表のとおりである。
- (2) 集塵部の通過気流にはなほだしい乱れを生じさせるようなダクト構造は避けるべきである。流れに乱れがあれば集塵理論にも合致しないし、捕集塵埃の剥離の原因ともなり、集塵効率は低下する。
- (3) 通過気流の速度分布は均一でなければならない。許容最大処理風量以下の場合でも、各部分の風速は平均風速の  $\pm 10\%$  程度に押えるようにすべきである。これは風速の大なる部分は早く塵埃が堆積し、その部分のために洗浄周期を短縮しなければならなくなるからである。
- (4) 集塵部に粘着剤を吹付けないまま使用しないこと、電極面に粘着剤を吹付けておかないと捕集塵埃の剥離が起りやすく、洗浄回数も多くなり保守が繁雑になる恐れがある。
- (5) 集塵部に過度の塵埃を堆積させないこと、空気流入側より見て集塵部接地極板の見かけの厚みが約 3 mm になったときが洗浄時期である。塵埃を過度に堆

積させると極板間のスパークの発生が頻繁となり、集塵効率は低下してくる。また洗浄の場合付着塵埃が落ちにくくなり、保守も繁雑になる恐れがある。

- (6) 通過気流速の急激な変動を避けること、短時間の間にクリネヤの通過風量を急激に変

動させることは捕集塵埃の剥離の原因になる。

- (7) 電源部への供給電圧は常に一定値に保つこと、電源電圧が低過ぎれば当然集塵効率は低下するが、高過ぎても極板間のスパークの頻度が増大し集塵効率を低下させる。のみならず高過ぎる場合は電源部の高圧整流管の寿命を短くすることにもなる。

- (8) クリネヤに水滴や昆虫、紙片などの比較的大きな異物が侵入しないようにすること。多量の水滴が浸入すれば高圧碍子の絶縁劣下やタンクステン線の断線等の起る恐れがあり、集塵部極板に大きな異物が付着すれば連続的な弧絡を生じ、また紙片のように乾燥状態では絶縁体でも湿潤すれば導体になるような異物が極板間に引掛った場合には、ときとして連続的な短絡を生じ、いずれも集塵不可能になることがある。

- (9) とくにオゾンの発生を嫌う場合には、極端に風量を絞ったり、集塵部に過度の塵埃を堆積させないこと、クリネヤを正常状態で運転しているときは、爽快感を与える程度でことさらにオゾン臭が気になることはない。したがってクリネヤの通過空気がオゾン臭を帯びる場合は、風量が極端に少いために電離部で発生するオゾン濃度が高くなる場合か、あるいは集塵部に過度の塵埃が堆積してスパークの頻度が高くなった場合であって、いずれも正常な状態ではない。

#### 5. む す び

キャビネット型クリネヤの CC-1B ないし CC-4B 型は従来から製作され、すでに約 200 台が各方面に納入されて好評を博している。しかしその間実用面においてご使用者側から数々のご助言をいただいていたので、従来からの使用経験を活かして取扱いの簡便、適用範囲の拡大、原価の低減などに主眼を置いて全面的に改良を加え、今回新設計によるキャビネット型クリネヤとして面目を一新した CC-1B ないし CC-4B 型が世に出ることになった。よってこの機会にその構造、機能の概略を紹介して広く一般のご参考に供する次第である。

#### 参 考 文 献

- (1) 斎藤寛：電気式空気清浄装置クリネヤについて「三菱電機」29, 48 (昭 30-4)

# 積算電力計の電流磁路の導磁率が 軽負荷特性に及ぼす影響

福山工場 上野 弘\*

## Effect of Permeability of Electromagnetic Circuit of Watt-hour Meter on Light Load Characteristics

Fukuyama Factory Hiroshi UENO

The electromagnetic circuit of watt-hour meters has been analysed; the effect of changes in the permeability of the overload compensation plate on the overload characteristic curve has been studied to work out formulae of conditions to flatten the characteristic curve. It is learnt that permeability  $\mu_m$  of the core will give drooping characteristics to the light load characteristic curve, and if it is so arranged that permeability  $\mu_s$  of the overload compensation plate will increase with the increase of the load, this drooping characteristic can be compensated. If values and changes of  $\mu_s$  corresponding to those of  $\mu_m$  are given, light load characteristic curves can be flattened.

### 1. ま え が き

積算電力計の電流磁路の解析を行い、鉄心の導磁率および過負荷補償板の導磁率の変化が負荷特性曲線に及ぼす影響を及ぼすかをしらべ、とくに軽負荷時の曲線をフラットにするためにはいかなる考慮が必要であるかその条件式を出した。まず過負荷補償板のない場合について電流鉄心の導磁率  $\mu_m$  の変化と負荷特性曲線との関係、つぎに過負荷補償板のある場合の電流鉄心の導磁率  $\mu_m$  の変化と負荷特性曲線の関係および過負荷補償板の導磁率  $\mu_s$  の変化と負荷特性曲線との関係をしらべ、最後に負荷特性曲線をフラットにするための条件を考えた。

### 2. 過負荷補償板のない場合

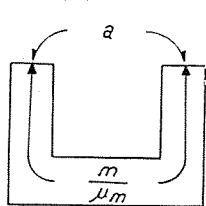


Fig. 1.

$a = \frac{l_a}{A_a}$ : 円板空隙の磁気抵抗

$m = \frac{l_m}{A_m}$ ,  $R_m = \frac{m}{\mu_m}$ : 電流鉄心の磁気抵抗

合成磁気抵抗は

$$R_t = a + \frac{m}{\mu_m}$$

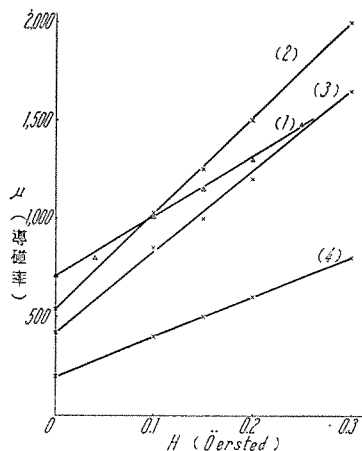
$$\therefore 0.4\pi NI = a\phi_m + \frac{m}{\mu_m}\phi_m$$

$$NI = 0.8aB_m A_m + 0.8l_m \frac{B_m}{\mu_m}$$

$A_a \doteq A_m$  とする

$$NI = 0.8l_a B_m + 0.8l_m H_m \dots\dots\dots (1)$$

珪素鋼板の導磁率  $\mu_m$  は、磁界の強さが積算電力計の電流鉄心として使用されるような低磁界 0~0.3 Oersted (0~500 gauss) においては  $\mu_m$  対  $H$  の関係が大体直線関係をなすと見なして差支えない (2図参照)。すなわち



(1) 昭和 17 年頃の T135  
(2) 川崎の最近の型録 T135  
(3) " " T145  
(4) " " B

2 図  
珪素鋼板の  $\mu-H$  曲線  
( $H=0\sim0.3$ Oersted)

$$\mu_m = \mu_0 + kH$$

$$H = \frac{1}{k}(\mu_m - \mu_0) \quad B = \frac{1}{k}\mu_m(\mu_m - \mu_0)$$

ここに  $\mu_0$  は初導磁率、 $k$  は  $\mu_m$  対  $H$  曲線の傾斜により決まる定数。

(1) 式へこれらの関係を代入すると

$$NI = \frac{0.8l_a}{k}(\mu_m^2 - \mu_m\mu_0) + \frac{0.8l_m}{k}(\mu_m - \mu_0)$$

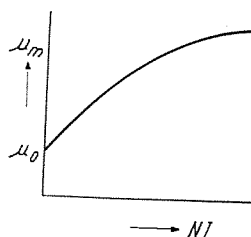
$$P_a = \frac{0.8l_a}{k}, \quad P_m = \frac{0.8l_m}{k}$$

とおくと

$$NI = P_a\mu_m^2 - P_a\mu_m\mu_0 + P_m\mu_m - P_m\mu_0 \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{d(NI)}{d\mu_m} = 2P_a\mu_m - P_a\mu_0 + P_m$$

したがって  $NI$  対  $\mu_m$  の関係は 3 図のようになる。



3 図  
Fig. 3.

\* 技術課副課長

つぎに電流鉄心の磁気抵抗が非常に小さく空際の磁気抵抗に比し無視できると考えると

$$0.4\pi NI = a\phi_a$$

$$NI = 0.8 \frac{l_a}{A_a} A_a B_a = 0.8 l_a B_a \dots\dots (3)$$

(1) 式と (3) 式において電流回路の Ampereturn は同一とすると

$$l_a B_m + l_m H_m = l_a B_a$$

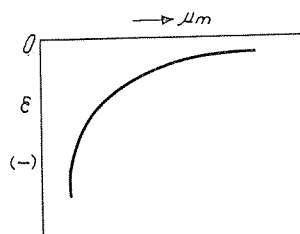
$$B_m = B_a - \frac{l_m}{l_a} H_m$$

電流鉄心の珪素鋼板の導磁率は軽負荷においては相当小さいので空際の磁気抵抗に比し無視できない。したがって実際の場合電流磁束密度  $B_m$  は理想の場合のそれ  $B_a$  より小である。 $B_m$  が  $B_a$  より小になる割合を考えると

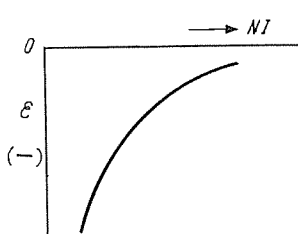
$$\varepsilon = \frac{B_m - B_a}{B_a} = \left( -\frac{l_m}{l_a} H_m \right) \div \left( B_m + \frac{l_m}{l_a} H_m \right) = \frac{l_m}{l_a \mu_m + l_m} \dots\dots (4)$$

$$\frac{d\varepsilon}{d\mu_m} = \frac{l_a l_m}{(l_a \mu_m + l_m)^2}$$

すなわち  $\varepsilon$  と  $\mu_m$  の関係は 4 図のようになる。また (2) 式と (4) 式すなわち 3 図と 4 図とより  $\varepsilon$  と  $NI$  との関係を画くと 5 図のようになる。

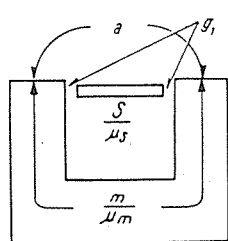


4 図  
Fig. 4.



5 図  
Fig. 5.

### 3. 過負荷補償板のある場合



6 図  
Fig. 6.

$a = \frac{l_a}{A_a}$ : 円板空際の磁気抵抗

$m = \frac{l_m}{A_m}$ ,  $R_m = \frac{m}{\mu_m}$ : 電流鉄心の磁気抵抗

$s = \frac{l_s}{A_s}$ ,  $R_s = \frac{s}{\mu_s}$ : 過負荷補償板の磁気抵抗

$g = \frac{l_g}{A_g}$ : 過負荷補償板と電流鉄心との空際の磁気抵抗

合成磁気抵抗を  $R$  とすると

$$R = \frac{m}{\mu_m} + \frac{a \left( g + \frac{s}{\mu_s} \right)}{a + g + \frac{s}{\mu_s}}$$

$$0.4\pi NI = \phi_m \frac{m}{\mu_m} + \phi_m \frac{a \left( g + \frac{s}{\mu_s} \right)}{a + g + \frac{s}{\mu_s}}$$

$$NI = 0.8 A_m B_m \frac{l_m}{A_m \mu_m} + 0.8 A_m B_m \frac{l_a \left( g + \frac{s}{\mu_s} \right)}{A_a \mu_s a + g + \frac{s}{\mu_s}}$$

$A_a \doteq A_m$  とおくと

$$NI = 0.8 H_m l_m + 0.8 B_m \frac{l_a \left( g + \frac{s}{\mu_s} \right)}{a + g + \frac{s}{\mu_s}}$$

$$\frac{g + \frac{s}{\mu_s}}{a + g + \frac{s}{\mu_s}} = q_s \text{ とおき, } H_m = \frac{1}{k} (\mu_m - \mu_0),$$

$B_m = \frac{1}{k} \mu_m (\mu_m - \mu_0)$  なる故

$$NI = 0.8 \frac{l_m}{k} (\mu_m - \mu_0) + 0.8 \frac{l_a}{k} q_s (\mu_m^2 - \mu_m \mu_0)$$

$$P_m = \frac{0.8 l_m}{k}, P_a = \frac{0.8 l_a}{k} \text{ とおくと}$$

$$NI = P_m (\mu_m - \mu_0) + P_a q_s (\mu_m^2 - \mu_m \mu_0) \dots (5)$$

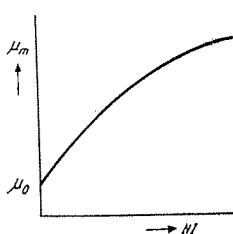
$$NI = P_a q_s \mu_m^2 - P_a q_s \mu_m \mu_0 + P_m \mu_m - P_m \mu_0$$

(5) と (2) の相違は (5) 式の方にパラメータ  $q_0$  を含む点のみである。

いま  $q_s$  を const と考えると

$$\frac{d(NI)}{d\mu_m} = 2P_a q_s \mu_m - P_a q_s \mu_0 + P_m$$

したがって  $NI$  と  $\mu_m$  の関係は 3 図と同様に 7 図となる。 $NI$  のある一定値に対しパラメータ  $q_s$  が小なるほど  $\mu_m$  は大となる。

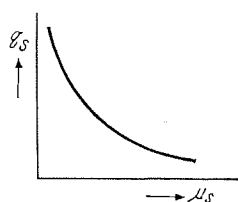


7 図  
Fig. 7.

$$q_s = \frac{g + \frac{s}{\mu_s}}{a + g + \frac{s}{\mu_s}} = \frac{g \mu_s + s}{a \mu_s + g \mu_s + s} \dots\dots (6)$$

$$\therefore \frac{dq_s}{d\mu_s} = -\frac{as}{(a\mu_s + g\mu_s + s)^2}$$

$q_s$  と  $\mu_s$  の関係はしたがって 8 図のようになる。ゆえに  $\mu_s$  が大になれば  $q_s$  は小になる。 $q_s$  が小になれば  $\mu_m$  は大になる。すなわち  $\mu_s$  が大になれば  $\mu_m$  も大になる。



8 図  
Fig. 8.

つぎに過負荷補償板を通る磁束を考える。

$$\phi_s = \frac{0.4\pi NI}{\frac{m}{\mu_m} + \frac{a \left( g + \frac{s}{\mu_s} \right)}{a + g + \frac{s}{\mu_s}}} \times \frac{a}{a + g + \frac{s}{\mu_s}}$$

$$= \frac{0.4\pi NI a}{\frac{m}{\mu_m} \left( a + g + \frac{s}{\mu_s} \right) + a \left( g + \frac{s}{\mu_s} \right)}$$

$$0.4\pi NI = \phi_s \frac{m}{\mu_m a} \left( a + g + \frac{s}{\mu_s} \right) + \phi_s \left( g + \frac{s}{\mu_s} \right)$$

$$NI = 0.8\phi_s \frac{l_m A_a}{A_m \mu_m l_a} \left( a + g + \frac{s}{\mu_s} \right) + 0.8\phi_s \left( g + \frac{s}{\mu_s} \right)$$

$$A_m \doteq A_a \text{ とおくと}$$

$$NI = 0.8\phi_s \frac{l_m}{\mu_m l_a} \left( a + g + \frac{s}{\mu_s} \right) + 0.8\phi_s \left( g + \frac{s}{\mu_s} \right)$$

軽負荷においては、 $\mu_m$  は小、電圧磁束による予磁化のため  $\mu_s$  は割合大であるから

$$NI \doteq 0.8\phi_s \frac{l_m}{\mu_m l_a} \left( a + g + \frac{s}{\mu_s} \right) \doteq 0.8\phi_s \frac{l_m}{\mu_m A_m}$$

過負荷においては、 $\mu_m$  は大、飽和のため  $\mu_s$  は小となるから

$$NI \doteq 0.8\phi_s \left( g + \frac{s}{\mu_s} \right) \doteq 0.8\phi_s \frac{l_s}{\mu_s A_s}$$

過負荷補償板を通る磁束は、軽負荷時には電流鉄心の磁気抵抗に逆比例し、過負荷時には過負荷補償板そのものの磁気抵抗に逆比例する。換言すれば軽負荷時には  $\mu_m$  に比例し、過負荷時には  $\mu_s$  に比例する。これは当然のことである。

軽負荷時には  $\mu_m$  が大になるにつれ  $\phi_s$  大となり  $\mu_s$  も次第に大となる。  $\mu_s$  が大になれば (5) 式の関係により  $\mu_m$  はさらに大となる。

過負荷時には  $\mu_s$  小となれば  $\phi_s$  小となり  $\mu_s$  大となる。すなわち  $\mu_s$  と  $\phi_s$  の間にバランスの点ができることになり、(5) 式の関係により  $\mu_s$  小となれば  $\mu_m$  は小となるが  $\mu_m$  そのものの絶対値は割合大きい。

つぎに円板空隙を通る有効電流磁束を考えると

$$\phi_a = \frac{0.4\pi NI}{\frac{m}{\mu_m} + \frac{a\left(g + \frac{s}{\mu_s}\right)}{a + g + \frac{s}{\mu_s}}} \times \frac{g + \frac{s}{\mu_s}}{a + g + \frac{s}{\mu_s}}$$

$$= 0.4\pi NI \frac{g + \frac{s}{\mu_s}}{\frac{m}{\mu_m} \left( a + g + \frac{s}{\mu_s} \right) + a \left( g + \frac{s}{\mu_s} \right)}$$

このときの磁束密度を  $B_a'$  とし、過負荷補償板のないしかも電流鉄心の磁気抵抗の無視できる場合の磁束密度を  $B_a$  とすると (3) 式と上式とより

$$\phi_a = A_a B_a'$$

$$= 0.4\pi \times 0.8 I_a B_a \frac{g + \frac{s}{\mu_s}}{\frac{m}{\mu_m} \left( a + g + \frac{s}{\mu_s} \right) + a \left( g + \frac{s}{\mu_s} \right)}$$

$$\therefore B_a' = A B_a \frac{g + \frac{s}{\mu_s}}{\frac{m}{\mu_m} \left( a + g + \frac{s}{\mu_s} \right) + a \left( g + \frac{s}{\mu_s} \right)}$$

$$\therefore \varepsilon = \frac{B_a' - B_a}{B_a} = \frac{ag + \frac{as}{\mu_s} - \frac{m}{\mu_m} \left( a + g + \frac{s}{\mu_s} \right) - ag - \frac{as}{\mu_s}}{\frac{m}{\mu_m} \left( a + g + \frac{s}{\mu_s} \right) + a \left( g + \frac{s}{\mu_s} \right)}$$

$$= - \frac{\frac{m}{\mu_m} \left( a + g + \frac{s}{\mu_s} \right)}{\frac{m}{\mu_m} \left( a + g + \frac{s}{\mu_s} \right) + a \left( g + \frac{s}{\mu_s} \right)}$$

積算電力計の電流磁路の導磁率が軽負荷特性に及ぼす影響・上野

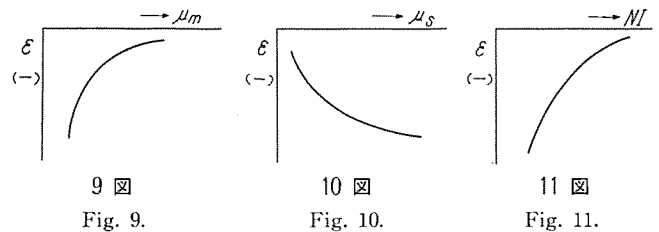
$$= - \frac{ma\mu_s + mg\mu_s + ms}{ma\mu_s + mg\mu_s + \mu_m\mu_s ag + \mu_m as + ms} \dots\dots (7)$$

$$\frac{d\varepsilon}{d\mu_m} = \frac{(\mu_s ag + as)(ma\mu_s + mg\mu_s + ms)}{(ma\mu_s + mg\mu_s + \mu_m\mu_s ag + \mu_m as + ms)^2} \dots\dots (8)$$

$$\frac{d\varepsilon}{d\mu_s} = - \frac{ma^2 s \mu_m}{(ma\mu_s + mg\mu_s + \mu_m\mu_s ag + \mu_m as + ms)^2} \dots\dots (9)$$

9 図は (8) 式、10 図は (9) 式の関係を示し 7 図と 9 図とより  $\varepsilon$  と  $NI$  の関係を示すと 11 図となる。すなわち電流の増加と共に電流鉄心の  $\mu_m$  が増大するため  $\varepsilon$  の (−) 値が減少する。

軽負荷時には、電流鉄心の  $\mu_m$  が増大すれば過負荷補償板を通る磁束も増大するため



(1) 磁束の増大につれ  $\mu_s$  が大になる場合

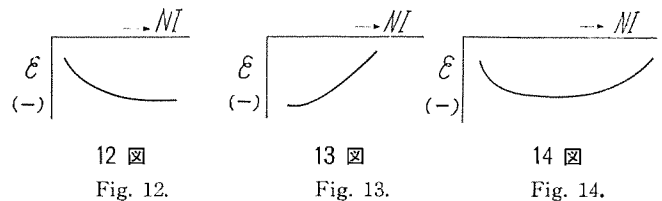
10 図のように  $\varepsilon$  の (−) 値が増大するので電流の増加と  $\varepsilon$  の関係は 12 図となる。

(2) 磁束の増大につれ  $\mu_s$  が小になる場合

電圧有効磁束による予磁化のため、始めから過負荷補償板が飽和しているときは磁束の増大につれ  $\mu_s$  が小になるので 10 図の関係により  $\varepsilon$  の (−) 値は減少する。したがって電流の増加と  $\varepsilon$  の関係は 13 図のようになる。

(3) 磁束の増大につれ始め  $\mu_s$  が大になり途中飽和点を越して  $\mu_s$  がまた小になる場合

この場合には 12 図と 13 図の組合せとなり、電流の増加と  $\varepsilon$  の関係は 14 図となる。

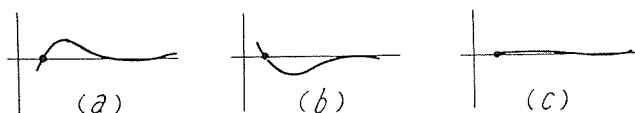


結局電流鉄心の導磁率  $\mu_m$  は負荷特性に対し、軽負荷における垂下特性 (11 図) となり、過負荷補償板の導磁率  $\mu_s$  を (3) になるよう設計すれば軽負荷においては、11 図の垂下特性を補償し、過負荷においては電流磁束の制動力に原因する垂下特性を補償できることになる。

(14 図)

軽負荷における負荷特性曲線の形は  $\mu_m$  と  $\mu_s$  の  $NI$  に対する変化状況により 15 図 (a), (b), (c) のようにいろいろの形となる。

軽負荷における負荷特性曲線をフラットにするためす



15 図  
Fig. 15.

なわち 15 図 (c) のようにするための条件は (7) 式の  $\varepsilon = \text{const} = -\varepsilon_0$  とおけば

$$-\varepsilon_0 = -\frac{\frac{m}{\mu_m} \left( a + g + \frac{s}{\mu_s} \right)}{\frac{m}{\mu_m} \left( a + g + \frac{s}{\mu_s} \right) + a \left( g + \frac{s}{\mu_s} \right)}$$

$$\frac{m}{\mu_m} \left( a + g + \frac{s}{\mu_s} \right) (1 - \varepsilon_0) = \varepsilon_0 \cdot a \left( g + \frac{s}{\mu_s} \right)$$

$$\mu_m = \frac{1 - \varepsilon_0}{\varepsilon_0} \cdot \frac{m}{a} \cdot \frac{a + g + \frac{s}{\mu_s}}{g + \frac{s}{\mu_s}}$$

$$G = \frac{1 - \varepsilon_0}{\varepsilon_0} \cdot \frac{m}{a} \quad \text{とおくと}$$

$$\mu_m = G \cdot \frac{a + g + \frac{s}{\mu_s}}{g + \frac{s}{\mu_s}} = \frac{G}{q_s} \dots \dots \dots (10)$$

(5) 式へ (10) の関係を代入すると

$$NI = (P_a G + P_m) (\mu_m - \mu_0) \dots \dots \dots (11)$$

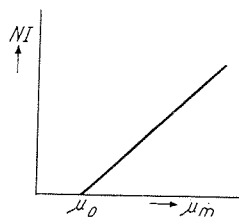
$$\frac{d(NI)}{d\mu_m} = P_a G + P_m$$

(11) 式を図示すると 16 図のようになる。すなわち、電流の変化に対し電流鉄心の導磁率  $\mu_m$  が直線的に増大する。

(10) 式を  $\mu_s$  で微分すると

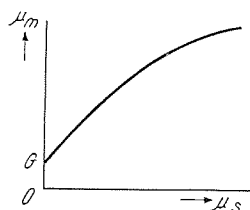
$$\frac{d\mu_m}{d\mu_s} = G \cdot \frac{as}{(g\mu_s + s)^2}$$

電流の増大につれ、電流鉄心の導磁率  $\mu_m$  の変化とそれ



16 図  
Fig. 16

に応じて過負荷補償板の導磁率  $\mu_s$  の変化が (10) 式を満足するようにすなわち 17 図のようであれば  $NI$  対  $\mu_m$  が 16 図のように直線関係となり軽負荷における負荷特性曲線がフラットになる。



17 図  
Fig. 17.

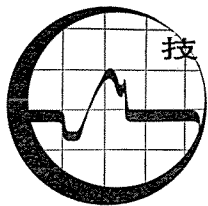
すなわち  $\mu_m$  の大きさおよび変化のしかた (増大曲線) に相応じた  $\mu_s$  の大きさおよび変化 (増大曲線) を得ればフラットな曲線が得られる。

(10) 式の  $q_s$  を  $\mu_m$  に応じた値にするため、すなわちある特性の特定の珪素鋼板に

対して (10) 式の関係になるような  $q_s$  を得るために変更できる箇所としては、 $g$ ,  $s$ ,  $\mu_s$  すなわち  $l_g$ ,  $A_g$ ,  $A_s$ ,  $\mu_s$  (飽和孔) 等の寸法である。

#### 4. む す び

電流磁路の内電流鉄心の導磁率  $\mu_m$  は軽負荷特性曲線に対する垂下特性をあたえ、過負荷補償板の導磁率  $\mu_s$  は負荷の増大につれ増大するように使えば  $\mu_m$  による垂下特性を補償できる。しかも軽負荷特性曲線をフラットにするためには  $\mu_m$  の値および変化に相応じた  $\mu_s$  の値および変化を与えなければならない。もしこれが適当でないと 15 図 (a) または (b) のように Overcompensation または Undercompensation の形となる。



## 発電機と励磁機 (1)

— 発電機定格, 発電機より見た短絡比 —

## 発電機定格

タービン発電機の設計は, 出力 (kVA, kW), 力率 (pF), 端子電圧 (V), 周波数 (c/s), 回転数 (rpm), 線電流 (A), 励磁電圧 (V) で決まる. 定格出力はタービン側より決まるが, 発電機としては kVA 表示を用いるべきであって, kW 表示は便宜的のものにすぎない. 力率は負荷のだいたいの性質を表わすが, 電力用発電機では 80% または 85% まれに 90% がある. 現在はタービン側に制約がない限りきわめて大容量発電機でも 2 極で設計できるので, 回転数は 3,600 rpm または 3,000 rpm である. また, 端子電圧の選定にあたっては発電機, 発電機母線, 主昇圧変圧器, サービス変圧器の総合価格が最小なるように考慮すべきであるが, ここで, これらの機器のうち発電機がもっとも高価なることを記憶すべきである. 発電機特性, 設計におよぼす端子電圧の影響を考えた水素冷却発電機に対する推奨電圧を表 1 に示す. すなわち最適電圧を選定しなければ発電機の大きさ (machine size), 諸損失が増す. (図 1, 図 2 参照)

## 可能最大出力 (maximum capability) と定格出力 (最大連続出力, nominal capability)

空気冷却発電機では, 定格出力が可能最大出力に等しかっ

た. したがって発電機定格出力をタービンの定格出力 (発電機端において) と等しくすればよかった. しかしに冷却ガスに水素を用いる水素冷却発電機ではいささか様子が変わってきた. はじめは発電機内ガス圧は 0.5 psig のみにしたので発電機は空気冷却機と同じく定格出力すなわち可能最大出力であった. その後発電機定格出力をかえずに機内ガス圧を 15 psig, 30 psig に上昇し, 発電機への水素ガスの利用を高度に発揮させ発電機の可能最大出力を増加させた. すなわち 0.5 psig ガス圧での発電機の kVA 出力を 100% とすれば 15 psig, 30 psig ガス圧では, それぞれ 115%, 125% となることがわかった. いいかえればガス圧を増せば発電機に過負荷がかかる. このように水素ガス圧を高めて運転するのが普通になり満足すべき運転結果を得たので発電機定格出力 (base rating) をガス圧 0.5 psig からガス圧 30 psig に変えうることがわかった. かく 30 psig

表 1 水素冷却機 (普通型ガス圧 30 psig) の推奨電圧

発電機定格 (kVA)	端子電圧 (kV)
25,000	6.9~14.4
32,000~77,000	12.5~14.4
96,000	13.8~14.4
128,000	13.8~14.4
160,000	15.5~18

## 「火力発電シリーズ」について

火力発電所は数多の機械器具類の渾然たる 1 つの有機的全合体であって, 全体として 1 つの完全な発電系として取扱われなければならない. 火力発電所の新設計画にあたりその当事者は各種の機械器具類について十分にその特性を知悉し, 長短を明らかにすることは当然であるが, もっとも経済的にかつもっとも安全確実に, しかも最高の効率を発揮しうるように連絡統合することが肝要である. 個々の機器に通曉していても, 相互間の組織的統合を誤れば, 機器の性能を活かし得ない. たとえば汽罐やタービンがいかに優秀な一流品であっても, 配管配置宜しきを得なければ石炭消費量において所期の経済的効果はあげ得られないのである.

わが国における火力発電所は水力の補給用として発達して来たが, 第 1 次世界大戦以来火力発電界にも一時代を画し, いまや水主火従の域を脱し, ようやく火力の重要性が認識されてきた. こに軌近は一般工業界の異常の好転に電力会社の増設が追従しきれず, 勢い自家用発電所の計画が著しくなってきた. 一方電力会社においても, 蒸汽タービンは高圧, 高汽温で運転する大容量機が有利であることが認められ, 汽罐汽機共に急速な進歩をなし, 同時に発電機も水素冷却方式を採用し, さらに導体内部冷却にまで進展し隔世的の発達を遂げたのである.

火力発電所の主要機器に関する技術専門書, 解説書, 断片的なパンフレット等はたびたび刊行され, またこれら機器メ

ーカの説明書も数多くあるが, いわゆる総合的に火力発電所の全般にわたり, 筋の通ったものは, とくに見るべきものがない.

わが社はこの期に際し, 火力発電所新規計画者の利便を考慮し, 普通の専門書にはあまり発表されていない生きた資料を織込み, あらゆる角度から検討して, 近代火力発電所計画の参考資料を提供せんとする目的で, この技術解説欄に「火力発電シリーズ」として連載することにした. 紙面の都合上一括掲載できないのは残念であるが, 大体下記内容で本誌毎号に連載することとした. したがって記事の順序は一定せずまちまちとなる恐れがあるが, 完結を待って, 読者におかれ適宜差替え 1 冊の本におまとめ願えれば幸いである.

## 記事内容

- |               |                       |
|---------------|-----------------------|
| (1) 蒸汽タービン    | (10) 発電所全般            |
| (2) ボイラ       | (11) 補器               |
| (3) 発電機と励磁機   | (12) タービン発電機の基礎       |
| (4) 変圧器       | (13) 建屋               |
| (5) 給水ポンプとモータ | (14) 照明, テレビ, エレベーター等 |
| (6) 収塵装置      |                       |
| (7) 運炭設備      | (15) 電気室              |
| (8) AVR の問題   | (16) その他              |
| (9) 接地方式の問題   |                       |

電力技術部長 中野光雄

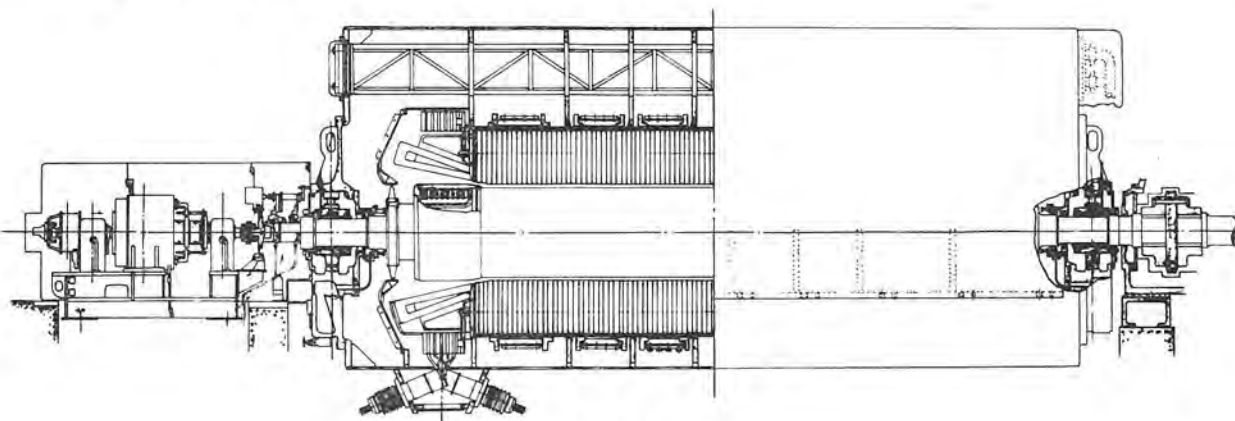


図 2 水素冷却機の断面図



図 1 姫路発電所に設置した 75,000 kW タービン発電機  
pF=85%, SCR 0.64, 13,800 V, 3 相, 60 c/s

定格にすると 0.5 psig 定格機に比べて発電機は % リアクタンスが 25% 増加し短絡比は 1/1.25, また慣性常数 (inertia constant) が小さくなる。上述のように当社では、水素冷却機では base rating をガス圧 30 psig に上昇することを推奨する。表

2 に発電機ガス圧 15 psig, 30 psig を base rating としたときのタービン定格出力にたいする発電機出力の関係を示す。たとえばタービン定格 75,000 kW で、かりに 15 psig を base rating とすれば、発電機ガス圧を 30 psig にすれば 95,908 kVA (81,522 kW) の出力がえられる。この値が発電機の可能最大出力である。このとき発電機のガス圧 15 psig にたいする定格出力はタービンの定格出力に等しく、発電機の可能最大出力とタービンの可能最大出力とは一般に必ずしも等しくない。また表 3 に米国における大容量 3,600 rpm タービン発電機に対する AIEE-ASME preferred standard を示すが、タービン定格はガス圧 10 psig に対する発電機出力に等しくなっている。

#### 短絡比

発電機特性のうちで短絡比は発電機の短絡時の特性を示すばかりでなく定態安定度の極限值 (定態安定極限電力) を決める重要な因子である。短絡比は発電機端子を 3 相短絡した場合、定格電機子電流を循環するのに要する界磁電流 ( $I_{fsi}$ ) に対する無負荷定格電圧を誘起するのに要する界磁電流 ( $I_{fni}$ ) の比として定義する。

$$\text{図 3 で, 短絡比} = \frac{I_{fni}}{I_{fsi}} = 0.8$$

$$\text{同期リアクタンス} = \frac{I_{fsi}}{I_{fg}} = I_{fsi}$$

表 2 水素冷却機の出力 (PF=85%)

ガス圧	タービン kW	75,000		100,000		125,000		156,250
0.5 psig	発電機 kW (kVA)	60,000 (70,588)	65,217 (76,736)	80,000 (94,118)	86,957 (102,302)	100,000 (117,647)	108,696 (127,877)	125,000 (147,059)
15 psig	" kW (kVA)	69,000 (81,176)	75,000 (88,235)	92,000 (108,235)	100,000 (117,647)	115,000 (135,294)	125,000 (147,059)	143,750 (169,118)
30 psig	" kW (kVA)	75,000 (88,235)	81,522 (95,908)	100,000 (117,647)	108,696 (127,877)	125,000 (147,059)	135,871 (159,848)	156,250 (183,824)

表 3 大容量 3,600 rpm 発電機の AIEE-ASME Preferred Standard

項目	冷却方式	水素冷却, 水素ガス圧力 0.5 psig						
タービン定格 kW	空気冷却	12,650	16,500	22,000	33,000	44,000	66,000	100,000
発電機定格 kVA		13,529	17,647	23,529	35,294	47,058	70,588	106,951
力率 %		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
短絡比		0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
力率 0.85 水素ガス圧 15 psig のときの発電機出力 kVA			20,294	27,058	40,588	54,177	81,176	122,994
力率 0.85 水素ガス圧 30 psig のときの発電機出力			22,059	29,411	44,118	58,822	88,235	133,689

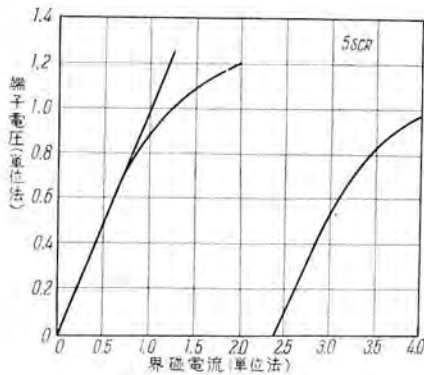
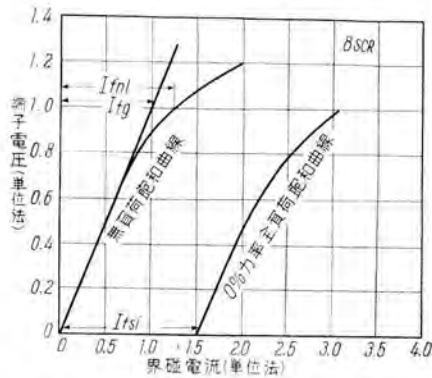


図3 飽和曲線

なる故、短絡比の逆数に  $I_{fnl}$  をかけると同期リアクタンスに等しい。 $I_{fnl}$  は、無負荷定格電圧における飽和の影響を含むがかなり一定値に近い値である。したがって短絡比の逆数は同期リアクタンスに大略比例する。この関係より発電機出力に影響する定態安定度の極限値を計算する場合、短絡比が有用な目安となる。短絡比は機械の大きさ、価格を含む発電機の重要な特性を指す数値と考えられるが、実用機では短絡比は 0.5~1.1 で電力用タービン発電機では 0.5~1.0 である。短絡比はかなり正確に計算できるしまた試験結果で確認できる。たとえば表 3 に示す発電機は 0.5 psig ガス圧で短絡比 0.8 であるからガス圧が 15 psig, 30 psig になったとき短絡比はそれぞれ 0.69, 0.64 となる。米国では発電機の定格出力 kVA における短絡比 0.64 のものがかなり多数製作されている。いま出力 kVA 1.0、短絡比 1.0 なる発電機を考える。発電機の大きさをかえずに短絡比 0.5 に設計するとする。ここで発電機の大きさというのは、有効な電磁部分で寸法としては固定子鉄心部分の長さや外径で表わすことができる。短絡比を 0.5 にするには、図 3 に示すように  $I_{fnl}$  と  $I_{fsc}$  の値を減加してその比の値を 0.5 とすればよい。

$I_{fnl}$  は回転子の温度上昇に、 $I_{fsc}$  は固定子の温度上昇に関係する値で実用機ではとりうる範囲がおのずから決まる。しかし

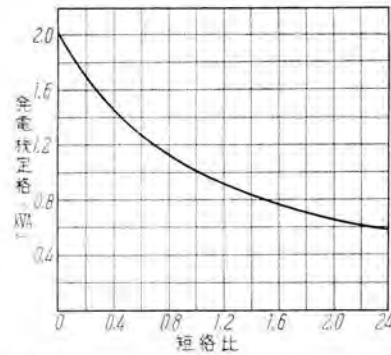


図4 タービン発電機の定格と短絡比の関係

表4 発電機常数の値 (PF=85%)

項目	2 極タービン 発電機ガス圧 30 psig 0.85 PF	4 極タービン 発電機ガス圧 30 psig 0.85 PF	2 極タービン 発電機 内部冷却式 ガス圧 45 psig
短 絡 比	0.64	0.64	0.64
同 期 リ ア ク タ ン ス $X_d$ %	165~170	162~168	166~172
過 渡 リ ア ク タ ン ス $X_d'$ %	15~26	25~35	24~30
次 過 渡 リ ア ク タ ン ス $X_d''$ %	9~17	15~21	20~24
H 常数 (kW·sec/kVA) タービンと発電機を組合 せたもの	3.4~5.2	4.8~5.5	2.4~4.0

この範囲は発電機の冷却方法に非常に左右されることを銘記すべきである。ここで結果として出力 kVA に対する短絡比の関係曲線を図 4 に示す。この曲線では、出力 kVA 1.0、短絡比 1.0 の発電機を短絡比 0.5 に設計すれば、出力 kVA は 1.35 になることを示す。換言すれば、出力 kVA を 1.0 とし短絡比を 0.5 にすればもとの機械に比べて大きさは  $\frac{1}{1.35} = 74\%$  になることを示す。すなわち発電機が軽量となり諸損失が若干減じ価格が安くなる。また短絡比を大きくするには発電機の有効な電磁部分に鉄心や銅体を多く使うことになる。しかし発電機には図 2 に示すようにベヤリングブラケット等の短絡比に関係しない構造部分があるので発電機全体の価格の変化は短絡比の割合よりもずっとひくい。短絡比により発電機の大きさが変わる(実用機では短絡比の小さな変化に対しては機械の大きさを変えない)が過渡安定度の点から回転子の慣性常数 (H constant) が重要な性質となる。この常数は、発電機の加速、減速の割合を決め、かつ系統攪乱の許容時間を決めるが大略の値を表 4 に示す。発電機の短絡比をいくらに決めるかは、発電機の連繫される系統の諸問題、たとえば自動電圧調整器、励磁系統、定態、過渡安定度を解明する必要がある。したがって発電機の短絡比をかなり変化させる場合にはこれらの問題とくに注意が必要である。  
(長崎製作所 加賀貞広)

送付月日	寄稿誌	題名	執筆者	所属
5月 1日	原子力国内事情	三菱原子動力委員会 (MAP) の活動状況	前沢 芳一	本 社
5" 8"	電気学会誌	電鉄事故選択遮断装置用雑音除去装置を用いた人工故障試験	迎 久雄	"
5" 10"	日本電気協会誌	電鉄用電弧型事故選択遮断装置の改良	"	"
5" 15"	オーム (エレクトロニクス特集)	三菱 FD-5 型超音波探傷機, 可撓導波管, 三菱 CM-1 型クラックメータ	野口 繁	無線機
5" 20"	機械学会誌	包装について	堀 直昌	本 社
5" 25"	原子力国内事情	三菱電機 KK の活動状況	川口 修	"
6" 13"	サンデー毎日	涼しく暮す方法, 照明効果, 熱の少ない蛍光灯	小堀富次雄	"
6" 14"	Electrotechnical Journal of Japan	An Improvement on the Fault Selective Protective Device of Electric Railroad Circuits.	迎 久雄	"
6" 21"	原子力発電	加圧水型原子力発電所	前沢 芳一	"
6" 24"	電気計算	アチブメントテストB級の問題および回答 (照明計算)	小堀富次雄	"
7" 6"	照明学会誌	照明界のトピックス (高圧水銀燈, 投光器 3 題)	"	"
7" 10"	オーム	造船工業, 船舶照明	佐々木武敏	"
7" 12"	トップマネジメント懇話会誌 原子力特集号	電子線加速用ベルト起電機	今村 元	研究所
7" 12"	"	Canned Motor Pump	菰原 智	"
7" 12"	"	MA-A 型マスタスレイブマニピュレータ	潮 恒郎	"
7" 17"	電気計算	三菱交流計算盤	新井正元 早瀬 通明	伊 丹
7" 20"	オーム (電力用エレクトロニクス特集)	XE-B 型自動揃速装置	清水良夫	神 戸
7" 20"	日本電気技術者協会誌	最近の電動機 (1) 電動機の進歩一般	宗村 平	本 社
7" 23"	溶接技術	ジルコニウムの溶接	南日達郎	伊 丹
8" 2"	照明学会誌	照明界のトピックス (国際見本市に出品の W 社ルミネセンス)	小堀富次雄	本 社
8" 2"	新電気	電力用変圧器の乾燥法	高木敬三	伊 丹
8" 14"	電気公論	最近の大容量変圧器について	村上 有	"
8" 14"	電気学会誌	電磁接触器の経済的寿命試験	潮 恒郎 伊藤利朗 八代 稔	研究所
8" 16"	電気知識 (普及シリーズ)	洋裁の照明	小堀富次雄	本 社
8" 22"	電設工業	高出力 (H. O) ラビッドスタート蛍光灯の完成	"	"
8" 22"	建築界	エアードア設備	内山隆夫	"
8" 23"	精密機械	超音波加工用振動具の研究 (第 1 報) 振幅拡大具の先端に集中質量がついた場合	津枝正介 斎藤長男	大阪大学 工学部 当社研究 所
8" 26"	溶接界	3 相溶接機器におけるロールスポットおよび遮断シーム溶接装置	岸田公治	伊 丹
8" 27"	電力	三菱 MZ-3D 型記録積算電力計	加藤義明 林 正之	福 山
9" 3"	電気学会誌	水銀中における抵抗型点弧子の特性	岡田武夫	研究所
9" 4"	オーム	三菱製交流電気機関車	松田新市	伊 丹
9" 4"	鉄と鋼	三菱電気炉	中村幸雄	"
9" 4"	日本金属学会誌	"	"	"
9" 9"	オーム	発電機関係制御および保護装置	堀 謙二郎	神 戸
9" 14"	電気学会 (ETJ of Japan)	A New Method for Equivalent Testing of A. C. Circuit Breakers. (交流遮断器の新等価試験方式)	潮 恒郎 伊藤利朗	研究所

## 可逆圧延機のカードプログラム制御

Andrew W. Smith: Card-Programmed Control for Reversing Mills (Westinghouse Engineer, Vol. 17, No. 2, Mar. 1957, p. 40~41)

可逆粗圧延機の完全な自動運転は新式のカードプログラム制御によって可能である。この方式では、運転者は1個の押ボタンを押すことだけで、所定のスラブに対する全圧延を行うことができる。堅圧延機および主圧延機は速度とロールの開きは、1枚のIBMカードのパンチによって圧延スケジュールに応じてあらかじめ決められる。PRODACと呼ばれる新方式が、J & Lのアリキッパ工場の可逆粗圧延機に設備された。圧延機中連続熱間圧延機の可逆粗圧延機が自動運転に最適なものである。この圧延機は比較的均一な質の加熱スラブを圧延するので、所要のスラブが一定の圧下率を用いて圧延されるからである。

アリキッパ工場の圧延機は主ロールは各ロールを 3,000 HP 直流電動機で駆動し、堅ロールは各 375 HP 直流電動機で駆動し、その位置は主ロールより 6 ft の所である。圧下電動機は 75 HP で、堅ロール調整は 50 HP 直流電動機で行われている。

圧延スケジュールを開始するために、運転者は一連の IBM カードをカードリーダーの中に使用される順序に入れる。スケジュール開始ボタンを押すと、最初のカードが1秒以内に機械の中を通過し、その特定のスケジュールの内容がトランジスタを使用した記憶装置に記憶される。もし数個のスラブが同一スケジュールで圧延される場合には、その記憶がそのまま繰返し使用される。

IBM カードはほとんどあらゆるスラブ、ストリップに利用しうる。これらのカードはできる限り高い生産率で均一な製品を出す最適な圧下率および速度を制御するようにパンチされる。1枚の IBM カードは所定のスケジュールに必要な事項を含みつぎの事項を制御する。すなわち、(1) 1/32 in 段階で 0~14 in までの圧下量、(2) 1/16 in 段階で 6~44 in までの堅ロール調整、(3) 圧延速度、(4) 圧延速度に同期する堅ロール速度、である。またすべてのカードには最終パスを示す記号が含まれている。

圧延機操作を完全に自動化するために、材料の輝度に応答する探知器が主圧延機の両側に取付けられている。これら探知器は圧延機からおよそ 8 ft の所にあり、材料の尾端が圧延機に近づくと圧延機を低速にする。圧延機の架構に取付けた歪み計により材料がロールを離れた瞬間を探知する。この歪み計により、運転者よりはより一層パスの最終が探知される。

スラブが圧延機に近づけば運転者はパス開始ボタンを押す。まず第1に主ロールと堅ロールの開度が選定される。つぎに圧延機は適当な速度で前進方向に運転するように制御される。材料の尾端が主ロールより 8 ft の所に来ると、探知器により探知され、所定の低速に減速される。圧延機の減速が開始すると、送りテーブルは停止する。材料が歪み計にて主ロールを離れたことを探知されると、主ロールは自動的に停止し、ロールは自

動的につぎのパスの所定位置に調節される。ロールが適当な位置になると、圧延機は所定の速度で逆方向に運転される。

逆方向の運転は前進の場合と同様であるが、主圧延機が減速を開始したときにも送りテーブルは停止しないで、尾端が完全に堅ロールを離れるまで低速で運転を続ける。尾端が堅ロールを離れたということは、堅圧延機側の減速探知器で探知される。

堅ロールでの圧延は前進方向においてのみ行われるようにスケジュールが組まれている。カードは偶数パスの場合には、材料と堅ロールの間に、最初の整定値よりおよそ 4 in の間隔があくようにカードにパンチされている。堅ロールの調整は、主ロールの調整が開始した瞬間、すなわち材料が主ロールを離れると同時に開始される。このことは逆転パスの場合にも同様である。逆転の場合には、送りテーブルが低速で動いているので、堅ロールが 3 ないし 4 in 移動し終る前に材料は堅ロールを離れるように制御される。最終パスが始まると、クロップシャの運転盤に信号燈がつき、運転者に仕上スタンドにはいる材料を受取る準備をさせる。最終パス終了後にはもし運転者が材料を受取る準備をせず、主幹制御器を前進方向に倒してアプローチテーブルを前進方向に駆動するようにしていない場合には、アプローチテーブルは停止させるようになっている。

制御方式は運転者から多くの操作を省略させる設備を含んでいる。圧延サイクルに対する運転順序は最良の運転者が行うと同様に調節されている。カードの準備ならびに圧延機の最初の調節に適当な注意さえ払っておけば、高度の生産率が保持される。

(神戸製作所 紙谷鉄男訳)

## 機上用電子機器の冷却

Meter Motor for Miniature Gyroscope (Westinghouse Engineer, Vol. 17, No. 2, Mar. 1957, p. 62)

高速度の航空機に搭載する電子機器の冷却は、重要な問題である。ここに電子機器設計者の選ぶ方法は2つある。1つは機器に冷却系をつけることで、もう1つは周囲の高温に耐えて作動できるような機器を設計することである。写真に示す試験のために炉中に入れたユニットは 400°F で作動するように設計されている。これには、熱伝導を最大にするような熱移動路をつける特殊構造の技術と併せて、特別高温用部品の使用が必要である。たとえば普通半田なら、この温度ではとけてしまうので、特殊な高温用半田を用い、小形の点溶接機とほとんど同様な装置でとくすのである。写真はレーダ・カップラである。すなわちファイヤ・コントロール・システム(射撃管制装置)を自動操縦装置に結びつける。つまり航空機を敵機に自動的に結びつけるものである。これは標準のカップラを設計し直したもので、冷却系をつけてある標準のものと、大ききならびに性能の点で比較される。高温用部品を使った機器の最大の利点は、冷却系のスペースがなくなり、これをつけるために複雑になるのを避けることである。

(無線機製作所 伊東瑋訳)



温度試験のため炉中におかれるレーダカップラ

## 製鉄製紙の磁気増幅器応用

More Mills Go Magamp (Westinghouse Engineer, Vol. 17, No. 1, Jan. 1957, p. 17)

磁気増幅器は調整器としては新しいものであるが、なお新しい応用分野を開拓し続けている。その第1の利点は完全なる静止型であるということであるが、最近の応用面を見れば他の利点もおのずから理解される。

### 鉄板の厚み自動制御

工業面では、“時は金なり”である。このことは製鉄関係で見られるように、高度の生産率を要する仕上処理機械において顕著に了解されることである。この格言は自動制御の速応時間の問題につながるものである。たとえば、鉄板を所定の厚みに圧延する場合、圧延機が急速に所要厚みになるように制御されればされるほど、連続圧延機からの生産量は増すことになる。過去においては、所定厚みを得るためのスタンドの制御は運転者によって手動で行われた。現在では新しい自動厚み制御方式によって、より早くしかも自動的に行われることができる。新方式では第1スタンドと第2スタンド間に厚み測定装置を設け、この装置よりの誤差信号によって圧下装置を制御し、圧下率を調整し、厚みの誤差を除くようにする。これは厚みの粗調整を行うものである。さらに厚み測定装置を最終スタンドとリール間に取付け、この装置からの誤差信号によって厚みの密調整を行わせる。この密調整は鉄板の出側の厚みを所定厚みにするためにスタンド間の張力を制御するものである。急速な応動性は400サイクル磁気増幅器を併用して得られる。主スタンドの制御も400サイクル磁気増幅器を使用している。

### 薄葉紙機械 (Tissue Machine) 制御

抄紙機械において位置制御方式は一般に使用されよい方式である。しかし薄葉紙の場合にはそうではない。各セクション間にはかなり広い速度調整範囲が必要である。薄葉紙機械に対する新しい方式はパイロット発電機と磁気増幅器を併用したセクショナル駆動方式である。この方式で650~2,500 FPMの速度

範囲を持つ192 in幅の薄葉紙機械を制御している。

励磁機は全駆動に対する基準値を与えるように調節される。クーチ、プレスおよびヤンキードライヤはすべて共通の発電機にて駆動される。

2個のカレンダとリールはおのこの速度基準を湿紙部の発電機の電動操作調整器から取るようにしている。カレンダとリールは、おのこの2段の磁気増幅器を有しており、速度は別個に調整しうようになっている。万一パイロット発電機が故障の場合には、簡単にスイッチを切換えるだけで、速度調整から電圧調整に切換えて使用するようにしている。この場合湿紙部の電動操作調整器がカレンダとリールの基準値として作用する。この方式は最初に、Marathon 会社の Green Bay 工場に使用された。

### クラフト紙機械の速度調整

抄紙機の12の異なったセクションを完全な同期に保つことは、全速度範囲にわたってそれを行うとすれば、かなり難しい問題である。新しい400サイクル磁気増幅器制御方式は、158 in幅のクラフト紙機械に使用され、上記の目的を達している。これは各個発電機のセクショナル駆動方式で行った最初のものである。

12のセクションはおのこの400サイクル磁気増幅器に電気信号を与える位置制御方式の速度調整器によって制御される。新しい方式はクラフト紙の広い範囲の厚み、質ならびに120~1,200 FPMの広範囲の速度にわたって良好に作用している。

(神戸製作所 紙谷鉄男訳)

## 原子力巡洋潜水艦スケート号

(Westinghouse Engineer, Vol. 17, No. 4, Sept. 1957 表紙から)

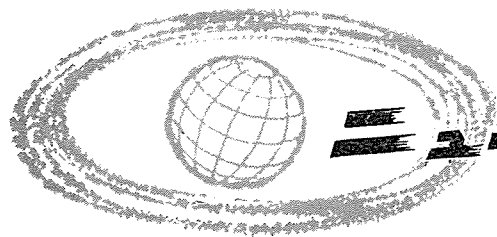
写真は本年5月16日に進水した世界最初のアメリカ原子力巡洋潜水艦スケート号である。

スケート号に取り付けられた原子炉はウエスチングハウス製の加圧水型で、本質的にはノーチラス号の原子炉と同じである。しかし原子力技術の進歩によってノーチラス号にくらべて種々の改良が加えられ能力がよくなっている。

スケート号はノーチラス号が初航海に出た1955年1月に建造が始められ、2年あまりののち進水のはこびとなったものである。

(本生技 高井得一郎訳)





# ニュースフラッシュ

## ■ 記録的大容量超高压 260 MVA 変圧器受注

さきに佐久間発電所へ超高压特別 3 相式変圧器を納入し、わが国最初の超高压大容量変圧器の組立輸送を実施して斯界の注目を浴びたことは周知のとおりであるが、その後特別 3 相式はますます好評を博し、すでに製作完了または製作中が 25 台に及んでいる。

今回受注した東京電力株式会社中東京変電所用 275 kV, 260,000 kVA 変圧器は、わが国最大容量の記録品であるばかりでなく、世界における記録的大容量超高压変圧器である。

その概略はつぎのとおりである。

特別 3 相 3 巻線送油風冷式 2 台

定格電圧 1 次 281.25—275—268.75—262.50 kV (中性点直接接地)

2 次 147 kV (中性点抵抗接地)

3 次 15.75 kV (中性点抵抗接地または非接地)

出力 1 次 200 MVA 2 次 220 MVA

3 次 100 MVA

周波数 50 c/s

結線 1 次, 2 次 星形 3 次 三角形

## ■ 印度より大形変圧器受注

印度 Nangal Power Project 向 32,500 kVA 3 相変圧器 2 台。日本の機械輸出の重要性についてはいまさらいうまでもないことであるが、その中でもとくに重電機品の輸出については各方面から期待されているところである。

当社がこのほど Nangal Power Project, India の Ganguwal 水力発電所および Kotla 水力発電所 (いずれも Delhi 北方約 250 マイル) 向として受注した 32,500 kVA 3 相変圧器は、初の海外向大形変圧器として意義が深い。

仕様は下記のとおり。なお既設品は W 社 USA 製である。

型名 32,500 kVA 3 相 50 c/s フォームヒット外鉄型  
送油水冷式変圧器 組立輸送

1 次 11 kV 三角形結線

2 次 136—132—128—124—120 kV 星形結線 中性点直接接地

コア 方向性を持つ Cold rolled sheet を使用

総重量 135,000 ポンド

油量 2,900 ガロン

最大輸送重量 94,000 ポンド

規格 British Standard No. 171

## ■ 風防付パラボラアンテナ

日本電信電話公社の東京・新潟間 4,000 Mc 超多重通信回線のうち、降雪の著しい横手山局には風防付パラボラアンテナが設置されることになり、日本電信電話公社、同電気通信研究所ご指導のもとに昭和 32 年 6 月第 1 号機が完成し、引続いて 4 号機までを無事完了、8 月に立合検査も終了し納入の運びとなった。風防は開口 3.4 m の大きなもので、ポリエステル積層品である。

これは優秀な技術と経験をもつ三菱電機世田谷工場において製作されたものである。

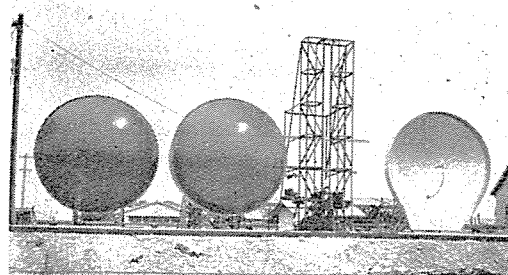
荷重試験の結果、風防は風速 60 m/s の風圧に十分耐えることがわかった。また電気特性は良好で V・S・W・R も風防による影響はほとんどなく 1.06 以下となっており、規格の 1.08 を十分満足し、利得もつぎの規格を満足している。

3,700 Mc 38.0 db 以上

3,950 Mc 38.5 db 以上

4,200 Mc 39.0 db 以上

写真の右端にあるものが従来のアンテナである。



風防付パラボラアンテナ

## ■ 内鉄型変圧器の特別分割輸送方式成功

山間地の水力発電所の変圧器のように、道路状況から荷造り重量を 10 トン以下に制限されるばあい、5,000 kVA 以上の変圧器は組立輸送ができないので分解して発送し、現地組立、現地再乾燥などの手数を要するのが従来の常識であった。外鉄型変圧器の特別 3 相方式は 1 つの解決方式であるが、15,000 kVA 以下の内鉄型変圧器には経済的にも適用できない。

今回当社で完成した内鉄型変圧器の特別分割方式は、内鉄型変圧器を巻線を取付けたまま鉄心部を 1 脚ごとに分割して輸送タンクに収納発送するもので、荷造り重量が僅少で、しかも現地組立が簡単迅速、再乾燥が不要で、現地における工期が大幅に縮小される画期的なものである。

8,000 kVA 33/6.3 kV 変圧器にて輸送重量 6.5 トンで発送さ

れたが、15,000 kVA でも 9 トン以下（窒素封入を行えばさらに 1 トンほど軽くなる）で荷造可能である。

この方式はすでに昨 31 年 11 月、北陸電力白峰発電所 8,500 kVA 77/6.3 kV 2 台に実施しているが、今回の住友共電川口発電所 8,000 kVA 33/6.3 kV 変圧器ではさらにこれを推し進め、下部ヨークの鉄心接合部にバットジョイントを採用することにより、組立の迅速化と磁気特性の向上へと改良を図ったもので今後の標準方式とされるものである。バット結合は磁気回路の一部に限定しているため、この部分以外は通常の変圧器とほとんど変わらず、またバット部分は十分な機械仕上と接合を行い、特殊耐熱絶縁物を挿入しているため鉄損や無負荷電流の増加もなく、騒音の発生も僅少である。また、機械的には結合部分は短絡時の軸方向機械力を直接受けない箇所であり、端枠を利用して十分強固に結合されている。上部ヨークは組立方法や機械的強度上から現地取付方法を採用しているが、この組立は迅速で、また巻線を気中にさらさないで組立可能である。また、油の脱気はコンサベータに取付けられたノズルで行われ、脱気装置は不要である。実績は下表のとおりである。

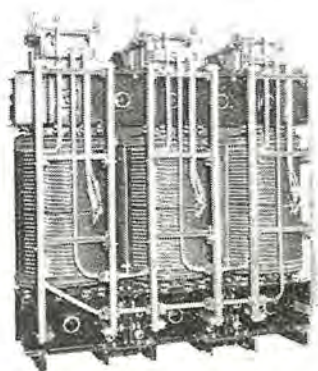
住友共電向	8,000 kVA	3 相	60 c/s	33/6.3 kV	2 台
					32 年 9 月
（変形としては北陸電力向	8,500 kVA	3 相	60 c/s	77/6.3 kV	2 台
					31 年 11 月がある）

現在製作中のものは下記のごとし。

富山県庁向	12,600 kVA	3 相	60 c/s	66/10.5 kV	1 台
住友共電向	12,600 kVA	3 相	60 c/s	33/10.5 kV	1 台
北陸電力向	9,000 kVA	3 相	60 c/s	66/10.5 kV	1 台



特別分割式内鉄型変圧器(1 相分)



特別分割式内鉄型変圧器(組立後)  
3 相 8,000 kVA 60 c/s 33/6.3 kV

## ■ 静止励磁式交流発電機

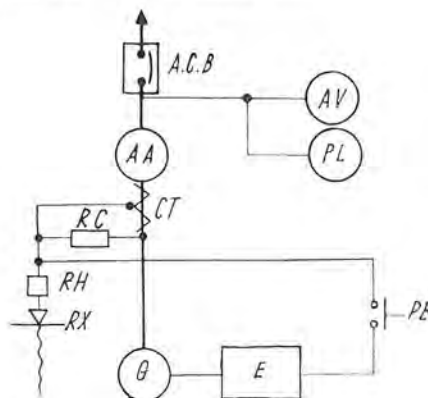
最近、同転励磁機のない複巻特性を有する静止励磁式交流発電機が製作され、各用途に使用されているが、当社では遠隔僻地等の独立電源用として小形発電所ともいべきガソリンエンジン交流発電機を完成した。

仕様  
交流発電機

2 kW 100 V 20 A 1 φ 50 c/s 3,000 rpm 2 p  
ガソリンエンジン  
メイキ A5M 形 4 HP 3,000 rpm 空冷式 4 c/s 1 気筒  
ローブ始動

配電盤

- 1-交流電圧計 AV 1-ノーヒューズ遮断器 A.C.B
- 1-押ボタン PB 1-交流電流計 AA
- 1-電圧調整装置 CT, RC, RH 1-コンセントプラグ
- 1-表示燈 PL 1-整流器 RX



構造

ガソリンエンジンを原動機としてこれに 2 kW 交流発電機を共通台床上に直結して防振装置を施し、配電盤その他のアクセサリと共にパイプフレームにコンパクトに収納し、運搬に便するようにしてある。

特長

1. 小形軽量で運搬に便利である。
2. 操作取扱いが簡便である。
3. 電圧変動率が少ない。
4. 過渡時の電圧変動が少く、速応性がよい。
5. 発電機内に整流子部分がなく、かつエンジンにはセルドプラグ、ワイヤが使用してあるので通信障害がない。
6. 防振装置が完全であるので、外部に振動が伝わらない。

性能

1. 電圧変動率 整定  $\pm 5\%$  以内
2. 速度変動率 整定  $\pm 3\%$  以内

寸法・重量

寸法 高さ 690 mm 長さ 795 mm 幅 510 mm  
重量 約 150 kg



静止励磁式交流発電機

2 kW 100 V 20 A 1 φ 50 c/s 3,000 rpm 2 p

# 三 菱 電 機 昭 和 32 年 巻 総 目 次

## 第 1 号 昭和 31 年度回顧特集

巻 頭 言	取締役社長 関 義長	3
電力用機器		4
火力発電機器 (火力発電・火力発電補機器・火力発電所用配電盤・ジーゼル機関発電機と配電盤)		4
水力発電機器 (水車発電機・水車の研究設備・水力発電所用配電盤)		9
変圧器 (大型変圧器・中型変圧器・乾式変圧器・柱上変圧器・変圧器車用変圧器・誘導電圧調整器・負荷時電圧調整器)		12
交流遮断器および直流遮断器		18
避雷器・断路器および変成器		20
電力用コンデンサ		22
配電盤および計器 (メタルクラッド配電盤・交流変電所用配電盤・配電盤用器具・遠方監視制御装置・計器・積算計器その他・継電器)		22
変換機器 (イグナイトロン整流器・直流変電所用配電盤)		30
交流計算盤		33
電力応用機器		34
製鉄その他金属工業用電機品 (圧延機用電機品・分塊圧延機補器改造用電機品・電線機械用電機品・モータローラ・高炉装入用スキップ巻用電機品)		34
鉱山用電機品 (大型巻上機・マインパワーセンタ・防爆型高圧気中電磁開閉器・ポンプの自動運転装置・鉱山巻用制御装置・O. P. 磁石使用磁選機・電磁石使用磁選機)		36
船舶用電機品 (船用直流機・船用交流機・誘導電動機・ワードレオナード式揚貨機・揚船機・纜巻機・制御装置・船用配電盤・特殊電機品)		39
繊維および製紙工業用電機品		44
化学およびセメント工業用電機品		47
一般工業用電機品 (誘導電動機・中型誘導電動機・同期電動機・小型直流機・一般制御装置および器具・ノーヒューズ遮断器および分電盤・誘導加熱用高周波発電機・特殊電熱器・中型水槽船型試験設備用電機品・スリムライン排気制御装置・電弧炉・抵抗溶接機・非同期式溶接機タイマ・通風機)		49
工作機械用電機品および電動工具		58
荷役・運搬および建設機械用電機品		59
エレベータ・エスカレータ・ロープウェイ		60
冷房・冷凍・冷蔵・空気清浄装置		64
車両用機器		69
無線機器		80
蛍光灯・照明器具および照明施設		92
家庭用電気品		100
材料		108
研究所の概況		112
ニュースフラッシュ		120

## 第 2 号

九州電力池田ユニットサブステーション	吉松九州男・水上 誠	122
水車の研究設備	富永守之	129
10 MW 天然ウラン重水炉の設計 (国産第一号原子炉の参考資料として)		
	菅野正雄・長沼辰二郎・今村 元・明石克寛・穂原 智・小倉成美・弘田実弥	131
節油タンク型超高压遮断器	新井正元・五十嵐芳雄・永田秀次	139
液冷式・密封型イグナイトロン整流器	加藤又彦	149
京浜急行納入の電車制御装置	宮内圭次	156
エレベータのカゴ室	山田春夫	162
ニュースフラッシュ		166
最近における当社の社外寄稿および講演		168

## 第 3 号

車両用けい光燈点燈方式 (グリッド型けい光燈を中心として)	田中小三郎・佐野政男・竹田俊幸	170
交流計算盤	新井正元・早瀬通明	178
新高圧負荷断路器	新井正元・樺沢孝治・亀山三平	193
DB 型低圧気中遮断器	勝田久登	202
狭軌高速電車用 WN ドライブ主電動機	浅越泰男	212
Magnetization Hysteresis Loop Tracer を用いての OP 磁石磁気特性チェック	中村 弘・水上益良	220
鋳鉄鋳物組織の研究 第 5 報		
鋳鉄に現われる 2, 3 の組織について	鈴木一郎	225

## 第 4 号

山家変電所設置 220 kV 直列コンデンサ	宮田秀介・大森武司・大嶋幸一・新井正元・亀山三平	230
電気機器絶縁コロナの試験	原 仁吾	243
電気式水位調整器	梅名茂男	254
ダイヤレジン含浸計器用変成器	樺沢孝治・大野 暁	262
高圧固定子コイルの耐電圧の管理	板倉信郎	267
かご形誘導電動機の溝数組合せとスキューが磁気騒音に及ぼす影響	関野 博・白田長一・梶谷定之	272
技 術 解 説		
論理数学における主な関係とそれに対応する基本回路 OR 回路, AND 回路とは?	菅野正雄	278
W 社文献抄訳		
電力用変圧器の趨勢	田村良平	284
配電系統の保護	亀山三平	285
ニュースフラッシュ		286
最近登録された当社の特許および実用新案		288

## 第 4 号 臨時増刊 電力技術特集

巻 頭 言	取締役営業部長 大久保 謙	290
絶縁劣化検出法	浅井徳次郎	291
コンタミネーションの問題	荒井 潔	297
遮断器の遮断容量	木村久男・山田栄一	302
工場動力配電方式	中野光雄	307
配電系統構成上の関連事項	安藤安二	315
通信線の誘導電圧	木村久男・山田栄一	327
電鉄事故時の選択遮断装置の改良	迎 久雄	332

## 第 5 号

坑内ガス輸送用無線電話装置	松之忠義・久保恒男・上野芳雄	350
誘波器を含む線路の進行波特性	豊田準三・中塚正三郎	354

風冷式、密封型イグナイトロン整流器（製鉄用直流電動機用）	加藤又彦・室賀 淳・阪上 茂・伊藤嗣郎	360
接触変流機	塚本昭三・清田 浩・細野 勇・鈴木一男・岡 久雄	368
3 相低周波型大容量溶接機	己斐健三郎・岸田公治・喜多 稔	375
放電加工の研究	斎藤長男・岩村武志	386
サージデスタによる小形誘導電動機の絶縁試験	大野寛孝・梶谷定之	396
新型電磁開閉器 (EK 型)	篠崎善助・吉田太郎	401
技 術 解 説		
研究用原子炉 (I)	川口 修	407
W 社文献抄訳		
WTR-W 社材料試験炉、速度および周波数制御についての新しい考え方—電気ガバナ、W 社計器の新しい進歩		411
ニュースフラッシュ		413
最近における当社の社外寄稿および講演		415
最近登録された当社の特許および実用新案		416

## 第 6 号 化繊用電機特集

巻 頭 言	常務取締役 弘田実祐	418
化繊工場用電気設備	宗村 平	419
化繊工場用誘導電動機	八木 勝	421
防食型電動機および制御器	青木武志	424
防爆型電動機および制御器	青木武志・山根 満	430
レーヨンボットモートル	戸谷利雄	439
レーヨンボットモートル電源用自動式静止型周波数変換装置	己斐健三郎・河合 正	443
化繊工場における自動制御	蟹江邦雄	451
化繊工場用低圧配電および制御装置	篠崎善助	456
電子線加速用ベルト起電機	今村 元・中村 貢・井上功一・藤永 敦	468
繊維工業用静電気式空気清浄装置「クリネヤ」	斎藤 寛	474
化繊工場の受配電設備	横浜 博	481
技 術 解 説		
研究用原子炉 (II)	川口 修	484
W 社文献抄訳		
サイバック・システム、可変周波交流駆動、無接点開閉器		489
ニュースフラッシュ		491
最近における当社の社外寄稿および講演		483

## 第 7 号

電子管式アナログ計算機による境界値問題の一解法	菅野正雄	494
大容量衝撃電圧発生装置	大木正路	498
遮断試験用 4 万アンペア直流発電機設備	小島井繁・伊藤正蔵	506
新型誘導門板型過電流継電器	天野 恒	508
車両用過速度継電器装置	渡辺 宏	512
電動機軸受用グリースの試験と選別法	伊藤一夫・今井辰四郎・金山 進	517
顕微鏡用露出計	伊吹順章・土方明躬	523
誘導加熱用高周波発電機	生駒鉄郎	528
MG 型高周波誘導加熱装置の負荷回路調整ならびにその応用	馬場文夫・渡辺文明	534
鋳鉄鋳物組織の研究 第 6 報		
インソライト型使用の場合の組織に及ぼす酸素量と冷速の関連性	鈴木一郎	540
電鉄事故時の選択遮断装置の改良 (続)	迎 久雄	543
技 術 解 説		
研究用原子炉 (III)	川口 修	547
W 社文献抄訳		
ヤンキー原子力発電プラント、原子力の船舶推進への利用、原子力発電所機器、内部冷却発電機における進歩、W 社シャロン変圧器工場のテストセンター		552
ニュースフラッシュ		555

## 第 7 号 臨時増刊 無線機特集

巻 頭 言	無線機製作所長 更田健彦	560
無線機部門の新製品紹介	津村 隆	561
短パルス変調器	吉田武彦・渡辺 優	568
WT-2 型携帯用 VHF/FM 無線機	佐藤 晋・上野芳雄・奥村 徹	574
4,000 Mc 帯広帯域単向管	河津祐元・松丸 勝・石井秀男・喜連川 隆・中原昭次郎・立川清兵衛	580
大口径パラボラアンテナ	竹内彦太郎・和田英明・榎本俊弥・喜連川 隆	584
レイドームの設計および測定法と新製品の紹介	尾島学二・喜連川 隆・信岡正祐・有田不二男	588
デジタル表示計数型精密速度計	馬場文夫・渡辺文明・小島一男	597
最近の三菱テレビジョン受像機	杉多重雄・武居 明	602
Hi-Fi ラジオ用キャビネット	藤木 一・進藤武男	616
大電力放送局用 2 万 V・密封型・ベントード・イグナイトロン	阿部久康・竹内宏一・平塚 篤・山口峯男・池田和郎	620
技 術 解 説		
研究用原子炉 (IV)	川口 修	632
W 社文献抄訳		
移動性に富んだ新型レーダー・アンテナ、テレビジョン用真空管、計算機の発達		637
ニュースフラッシュ		639

## 第 8 号

自家発電タービン発電機の近代化	甲斐 高	642
礫波製紙用 142 in セクショナルドライブ抄紙機	紙谷鉄男	659
台湾電力公司天輪発電所 28,500kVA 水車発電機	三浦 宏	665
DF-50 形ジーゼル電気機関車	小川清一	673
光沢青化銅鍍金浴中の不純物の影響	秦 卓也・立原芳彦・鬼塚正浩・山本友吉	680
交流型アナログコンピュータ	石井 茂・添田 実	685
質量分析装置用電子管回路	後藤正之	691
マスタ・スレイブ・マニピュレータ	穂原 智	697
三菱ラビッド型けい光燈	山下博典・竹田俊幸	702
電鉄事故選択遮断装置用雑音除去装置を用いた人工故障試験	迎 久雄	706
技 術 解 説		
通信線に発生する誘導雑音 (I)	安藤安二	714
研究用原子炉 (V)	川口 修	718
W 社文献抄訳		
発電用原子力プラント、開閉装置の発達、新消弧媒体 SF <sub>6</sub> ガス関係の開発、メタルクラッド開閉装置、シリコン整流器の溶接機への応用、合金の設計		724
ニュースフラッシュ		727
最近における当社の社外寄稿および講演		730

## 第 9 号 照明特集

巻 頭 言	常務取締役 岸本久雄	732
けい光放電燈の品質	内田幸夫	733
ラビッド型けい光燈の起動—起動補助装置の効果	竹田俊幸・山下博典	736

高出力ラビッドスタート蛍光灯ランプ	久保幸正・村井直道	741
内壁に導電性薄膜を有するけい光ランプの光出力	山下博典・竹田俊幸	747
蛍光水銀燈用硫酸マグネシウム・リチウム：マンガン蛍光体	立原芳彦・秦 卓也・栗津健三	752
蛍光灯調光装置	東 昇	757
照明用拡散性材料の光学的特性	上川忠夫・八島英之・安東 滋	761
船舶照明の蛍光灯	佐々木武敏	767
街路照明	吾郷侃二	774
蛍光健康ランプの光化学反応への応用——アルデヒドの光化学的酸化反応による脂肪酸の製造	下村国夫・根岸喜代美・丹羽英之・栗津健三	778
高圧水銀燈	小椋義正	783
新しい投光照明	佐々木武敏	790
最近の照明施設	山下源一郎・小笠原善丸	794
技 術 解 説		
最近の米国照明施設の展望 (I)	小堀富次雄	799
通信線に発生する誘導雑音 (II)	安藤安二	810
W 社文献抄訳		
つぎに来るべき光源——電気ルミネセンス、水銀燈照明新分野に登場、電気ルミネセンス、負荷を自動的に測定する方法、積算電力計に関する News、加圧水型原子炉における放射性物質の制御、シッピングボート原子力発電所廃棄物処理の構造、特殊電子管製造技術の進歩、負荷遮断カットアウト		818
ニュースフラッシュ		
国際見本市におけるウ社出品電気ルミネセンス、富士製鉄室蘭向 6,000 馬力圧延電動機完成、関西電力枚方変電所向 287.5 kV 節油タンク型遮断器、電鉄界最初の「トレーラ」式移動変電所が出現、最近設備を誇る小形電動機工場完成、工場完成した台湾電力龍洞発電所向 62,000kVA/54,000kVA 横軸ベルト水車発電機、小形熱源遅延リレー真空管		823
最近登録された当社の特許および実用新案		826

## 第 10 号

原子力産業の現状についての所感	取締役社長 関 義長	828
最近の特別 3 相式変圧器	村上 有	832
離 相 母 線	龜山三平	836
符号式遠方監視制御装置	大木欣爾	845
HZM 型モディファイドインピーダンスリレー	北浦孝一	850
高速度比率差働継電器の同期機間短絡保護能力と外部振動に対する安定性	伊藤正蔵・古谷昭雄	854
10 MW 加圧水型発電用原子炉の設計	菅野正雄・長沼辰二郎・明石克寛・小倉成美	871
CP-5 型原子炉の制御と計測	岸田公治	883
最近の柱上変圧器の構造	吉野敏夫	890
三菱 SA 型直流電磁ブレーキ	渡辺克己	898
“OT” 型密封式油入コンデンサブッシング	広尾次郎市・堀 真幸・南角英男・印藤義雄	903
技 術 解 説		
通信線に発生する誘導雑音 (III)	安藤安二	916
原子力情報		
ウエスティングハウスの原子力産業の現状	木村久男・前沢芳一	922
W 社文献抄訳		
Load-O-Matic による交流起重機速度制御、核燃料要素によるバーンアウトテストにおける電気の諸問題、オートバルブ避雷器の保護特性、ガス充填型電力用遮断器		925
ニュースフラッシュ		
最近の火力発電機、ゲルマニウム電力用整流器完成、稼働運転にはいった東北電力鳴子発電所、東京電力平発電所機器据付始まる、関西電力向交流計算機完成		928
世田谷工場製品、ラジオ東京テレビで公開さる		915

## 第 11 号 建築と電気特集

巻 頭 言	常務取締役 岸本久雄	932
読売会館建築設備工事について	大久保保郎	933
読売会館のエレベータおよびエスカレータ	井上彦一	935
そごう百貨店東京店におけるエレベータ・エスカレータのコンビネーションシステム	木村武雄	942
読売会館の地下特高変電設備	井上八郎	949
読売会館の冷暖房・エアー・厨房設備	内山隆夫・塚本信雄	955
読売会館の照明施設	高島秀二・橋本武雄	965
読売会館の音響設備	馬場文夫・大島羽幸太郎・磯崎 真	971
読売会館の電気機器据付配線工事その他	山崎皆男	982
オートセレクトボタン オート全自動群管理運転手なしエレベータ	宮城 晃	986
2 重巻線巻線型交流 2 段速度エレベータ	金野武司・道橋 武・伊藤 力	994
小形冷房装置	牛田善和	997
技 術 解 説		
電力用ゲルマニウムおよびシリコン整流器	加藤又彦	1000
原子力情報		
134MW-PWR に関する諸問題	木村久男・前沢芳一	1007
W 社文献抄訳		
ホルム効果とその応用、PAR 均質炉計画、5kV 高速度磁気遮断器、新しい航空機の直流電源方式、CROSS-QUAD 3,600-3,600 タービン発電機		1012
ニュースフラッシュ		
オートセレクトボタン 全自動群管理エレベータ名古屋の名鉄ビルに登場、エレベータ工場完成、原子炉制御装置の完成、住友電工納入 6 トン油圧式天井押上旋回式電気炉、九州電力向 230 kV 節油タンク型遮断器製作中		1016
最近における当社の社外講演一覧		1018

## 第 12 号

原子力発電所の発電原価について	木村久男	1020
無接点継電方式	横須賀正寿・浜岡文夫・大野栄一	1028
電子管式アナログコンピュータ	馬場文夫・大島羽幸太郎・柴谷浩二	1038
永久磁石消弧式超高压オートバルブ避雷器	大木正路・森 直次・岡田昌治・岩崎晴光・鎌田隆好	1055
トレーラ式移動用変圧器	南角英男・平山広勝	1065
HZ 型高速度方向距離継電器用記憶装置	北浦孝一・山内成周	1072
近鉄〔南大阪線〕納電車制御装置	宮内圭次	1075
電力系統における回復電圧に関する諸問題	潮 恒郎	1082
CE-1 型無線写真電信送受信装置機械台	香取由之・森川 洋・野本 猛・平島和宣	1091
コンデンサ套管モデルの乾燥	白井万次郎・大杉 肇	1096
キャビネット型クリネヤ	斎藤 寛・武藤 哲	1102
積算電力計の電流回路の導磁率が軽負荷特性に及ぼす影響	上野 弘	1111
技 術 解 説		
火力発電シリーズ (1): 発電機と励磁機 (1) 発電機定格、発電機より見た短絡比		1115
W 社文献抄訳		
可逆正逆機のカードプログラム制御、機上用電子機器の冷却、製鉄・製紙の磁気増幅器応用、原子力巡洋潜水艦スケート号		1119
ニュースフラッシュ		
記録の大容量超高压 260 MVA 変圧器受注、印度より大形変圧器受注、風防付パラボラアンテナ、内鉄型変圧器の特別分働輸送方式成功、節止励磁式交流発電機		1120
最近における当社の社外寄稿一覧		1122
昭和 32 年 (第 31 巻) 総目次		1123
研究所・製作所・工場ならびに製作機種		1126

# 研究所・製作所・工場ならびに製作機種

**研究所** 兵庫県尼崎市南清水字中野 80 番地  
電話 大阪 (48) 代表 5821, 6681, 7841, 7941  
伊丹 代表 2481  
電略 アマガサキ ミツビシデンキ

**神戸製作所** 神戸市兵庫区和田崎町 3 丁目  
電話 兵庫 (6) 代表 5041  
電略 コウベ ミツビシデンキ

(製作機種) ユ式タービン発電機 水車発電機 同期電動機 同相変流器 高周波その他交流発電機 直流発電機および電動機 摩擦電機接点 周波数変換機 船舶用電気機器 計器 接電器 各種配電盤ならびに器具 気中・高速度・油入遮断器 電車電動機ならびに発電機および電車付属品 タリネヤ 電気動力計 コントロール装置 直流電弧溶接機

**名古屋製作所** 名古屋市東区矢田町 18 丁目 1 番地  
電話 千草 (73) 代表 1531, 1541  
電略 ナゴヤ ヒガシ ミツビシデンキ

(製作機種) 交流発電機 誘導電動機 制御機器 配電器具 エレベータ エスカレータ 汎用変圧器 電装品 移動マシン 自動扇

**伊丹製作所** 兵庫県尼崎市南清水字中野 80 番地  
電話 大阪 (48) 代表 5821, 6681, 7841, 7941  
伊丹 代表 2481  
電略 アマガサキ ミツビシデンキ

(製作機種) 送電用変圧器 特殊変圧器 誘導電圧調整器 イグナイトロンプラズマ 油入(母子)電断器 磁気(空気)遮断器 配電器具 避雷器 電気炉 溶接機 電気機関車 電車用主電動機 電車用電動空気圧縮機 電車用制御装置 その他電車用電機品 トロボス用電機品

**長崎製作所** 長崎市平戸小原町 122 番地  
電話 長崎 4100-4109  
電略 ナガサキ ミツビシデンキ

(製作機種) タービン発電機 その他交流発電機 直流電動機および直流発電機 同期電動機 誘導電動機 制御機器 配電盤 超積制御装置 高圧多気筒アムモニヤおよびフレーション冷凍機 空気圧縮機 大型巻上機 送風機 タービンポンプ その他炭鉱用電機品 直流および交流電動機 船舶用電機品

**無線機製作所** 兵庫県尼崎市南清水字中野 80 番地  
電話 大阪 (48) 代表 5821, 6681, 7841, 7941  
伊丹 代表 2481  
電略 アマガサキ ミツビシデンキ

(製作機種) ラジオ受信機 テレビ受像機 スピーカー 真空管 真空管 水銀灯 サイクロン 密閉型イグナイトロンプ その他特殊管 中波・短波・超短波・超超短波各種無線機 多重通信装置 オートラジオ レーダ 超音波探傷機 ヘルメックス線路探知機 遠電線間接点指示装置 テレメータ キュリアリレー 工業用テレビ ラジオヒータ 交流計量器 変圧器送装置 変圧器受装置 水分計 運転指令装置 その他他電機品

**大船工場** 神奈川県鎌倉市大船 800 番地  
電話 大船 代表 2121  
電略 オホフナ ミツビシデンキ

(製作機種) 並光ランプ 照明器具 磁気選別機 O.P. 磁石 フェリコ (酸化鉄磁心) 偏光板 電磁時計

**世田谷工場** 東京都世田谷区池尻町 437 番地  
電話 世田谷 (42) 代表 1001  
電略 セタダニ ミツビシデンキ

(製作機種) 銅鋼鋼 洋生 ベリウム鋼各板・線・棒・棒・ニクロム 鋼ニッケル マンガン鋼 純ニッケル各板・線・棒・棒 銅鋼鋼 高ニッケル鋼合金 (ニッケル) 板・線・棒 磁性合金 (ハイパーロイ) ガラス封着合金 (コパロイ) 各種ロー材 15% 銅鋼鋼 各種鋼鋼合金 航空・船舶用各種鋼鋼合金 各種ゴム気密布製品 各種工業用ゴム製品 各種防振ゴム ホース製品 エポキシ樹脂製品 スポンジ製品 各種ゴムライニング製品 各種ポリエスチレン樹脂製品

**郡山工場** 福島県郡山市字境橋町 1 番地  
電話 郡山 1220-1223  
電略 コウリヤマ ミツビシデンキ

(製作機種) ミシンテーブルならびに鉄鋼 電気行火 木製品 電動機ならびに変圧器修理

**姫路工場** 姫路市千代田町 840 番地  
電話 姫路 273, 615, 1940, 2507, 3409, 3549  
電略 ヒメジ ミツビシデンキ

(製作機種) 大形および小形自動車用電装品 炭石発電機 無線機用コンバータ電線 電気機械用絶縁物

**福山工場** 広島県福山市沖野上町 6 丁目 709 番地  
電話 福山 代表 2800  
電略 フクヤマ ミツビシデンキ

(製作機種) 単相および三相積算電力計 積算無効電力計 熱電計用電力計 記録積算電力計 計器用変成器 タイムスイッチ 安全ブレーカ ノーヒューズブレーカ 積算時間計

**中津川工場** 岐阜県中津川市駒場 928 番地の 2  
電話 中津川 10, 54, 226, 731, 766  
電略 ナカツガワ ミツビシデンキ

(製作機種) 各種電気扇風機

**和歌山工場** 和歌山市岡町 91 番地  
電話 和歌山 (3) 代表 1275  
電略 ワカヤマ ミツビシデンキ

(製作機種) ミシン各種 小形冷凍機

**福岡工場** 福岡市今宿青木 690 番地  
電話 中 (4) 1568, 1569  
今宿 5, 30  
電略 フクオカ イマジダ ミツビシデンキ

(製作機種) 減速電動機 コンベア原動機 小形巻上機 防振電動機および開閉器 防食電動機および開閉器 モーターリ モーターロー インバーターポンプ 電動工具 電気ホイス 家庭ポンプ

**静岡工場** 静岡市小島 110 番地  
電話 静岡 (3) 0141-0145  
電略 シヅカ ミツビシデンキ

(製作機種) 家庭用冷凍庫 冷凍機 空気調和装置 プイスターロータリー 冷凍機部品

**家庭電器工場** 名古屋市東区矢田町 18 丁目 1 番地  
電話 千草 (73) 代表 1531, 1541  
電略 ナゴヤ ヒガシ ミツビシデンキ

(製作機種) 電気洗濯機 ミキサー 冷蔵庫 アイスクリームメーカー エレベーター 電気アイロン トースター 電気釜 電気土鍋 電気湯沸器 電気炊飯器 電気炊飯器 (圧力式) 電気ミッド 電気足湯器 電気カーペット 電気車庫 (車庫) 電気シーツ 電気布団 電気暖房 電気暖房

**無線機製作所東京工場** 東京都世田谷区池尻町 305 番地  
電話 世田谷 (42) 1991-1995, 1783  
電略 セタダニ ミツビシデンキ

(製作機種) 無線機修理

**本社施設部** 東京都千代田区丸の内 2 の 3 (丸の内ビルディング内)  
電話 和国倉 (20) 代表 1631, 2231, 2311  
電略 マルノウチ ミツビシデンキ

(工事種目) 冷熱房・空調・給湯・製氷・冷蔵・冷凍装置 シャーケース 業務用冷凍庫 超低温槽 船舶用冷凍装置等の据付配管保守修理 エレベーター・エスカレーター据付保守修理 変電所その他一般電気機械据付保守修理

**札幌修理工場** 札幌市北 2 条東 12 丁目 98 番地  
電話 札幌 (2) 3976  
電略 サッポロ ミツビシデンキ

(修理機種) 電動機 変圧器 その他電機品修理

**菱電サービス株式会社** 東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地 (東京ビルディング内)  
電話 和国倉 (20) 代表 1631, 2231, 2311

(工事種目) エレベータ、エスカレータ、リフト、冷凍装置、蛍光灯、電動機、小形発電機、その他電気機械器具の保守、サービス、修理および据付ならびにこれに関連する一切の事業

**事務所** 大阪、名古屋、福岡  
**出張所** 仙台、広島、富山、札幌  
**工場** 東京三河島

好成绩で運転中の...

## 三菱高速度大容量 3相誘導電動機

最近ブロー用3相誘導電動機には高速度大容量のものが要求される傾向にある。当社は今般八幡製鉄向として酸素製鋼設備ブロー用として2,500 kW 2極3相誘導電動機を製作納入し、きわめて好成绩に運転中である。

本機の特長は、さきに同所に納入運転中の高炉ブロー用4,000 kW 3相誘導電動機と同様、回転子線輪端を押えるのに通常用いられるバインド線を使用せず、完全な非磁性で機械的強度きわめて大なる特殊鋼で製作した回転子線輪端保持環（リテーニングリング）を採用している点である。

また当社独特のダイアレジン絶縁の採用と相まって長期間安定した運転が確保できる。

なお、この外最近納入運転中のものに、東北肥料（秋田）向2,400 HP 2極、日産化学（富山）1,900 HP 2極（カゴ形）がある。



### 仕 様

出 力: 2,500 kW 電圧: 6,300 V

周波数: 60 c/s 極数: 2 極 回転数: 3,560 rpm

回転子: 巻線型回転子（リテーニングリング使用）

型 式: 閉鎖自己通風型

八 幡 製 鉄 向  
3 相 誘 導 電 動 機

昭和 32 年 12 月 8 日 印刷 昭和 32 年 12 月 10 日 発行

「禁無断転載」 定価 1 部 金 60 円（送料別）

### 雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	大久保 謙	常任委員	宗 村 平
副委員長	石川 辰雄	委 員	石 橋 英
常任委員	浅井 徳次郎	"	岡 屋 精
"	荒井 安潔	"	進 藤 貞
"	菅野 正雄	"	立 藤 芳
"	木村 武雄	"	津 原 村
"	堀富 次郎	"	松 尾 又
"	高井 雄一	幹 事	井 上 八
"	中野 光雄	"	市 村 宗
"	馬場 文夫		
"	松 田 新市		

（以上 50 音順）

編集兼発行人 東京都千代田区丸の内2丁目3番地 市 村 宗 明  
印刷所 東京都新宿区市谷加賀町1丁目 大日本印刷株式会社  
印刷者 東京都新宿区市谷加賀町1丁目 長 久 保 慶 一  
発行所 三菱電機株式会社内「三菱電機」編集部  
電話 和田倉 (20) 1631  
日本出版協会会員番号 213013  
発売元 東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店  
電話 (29) 0915・0916 振替東京 20016