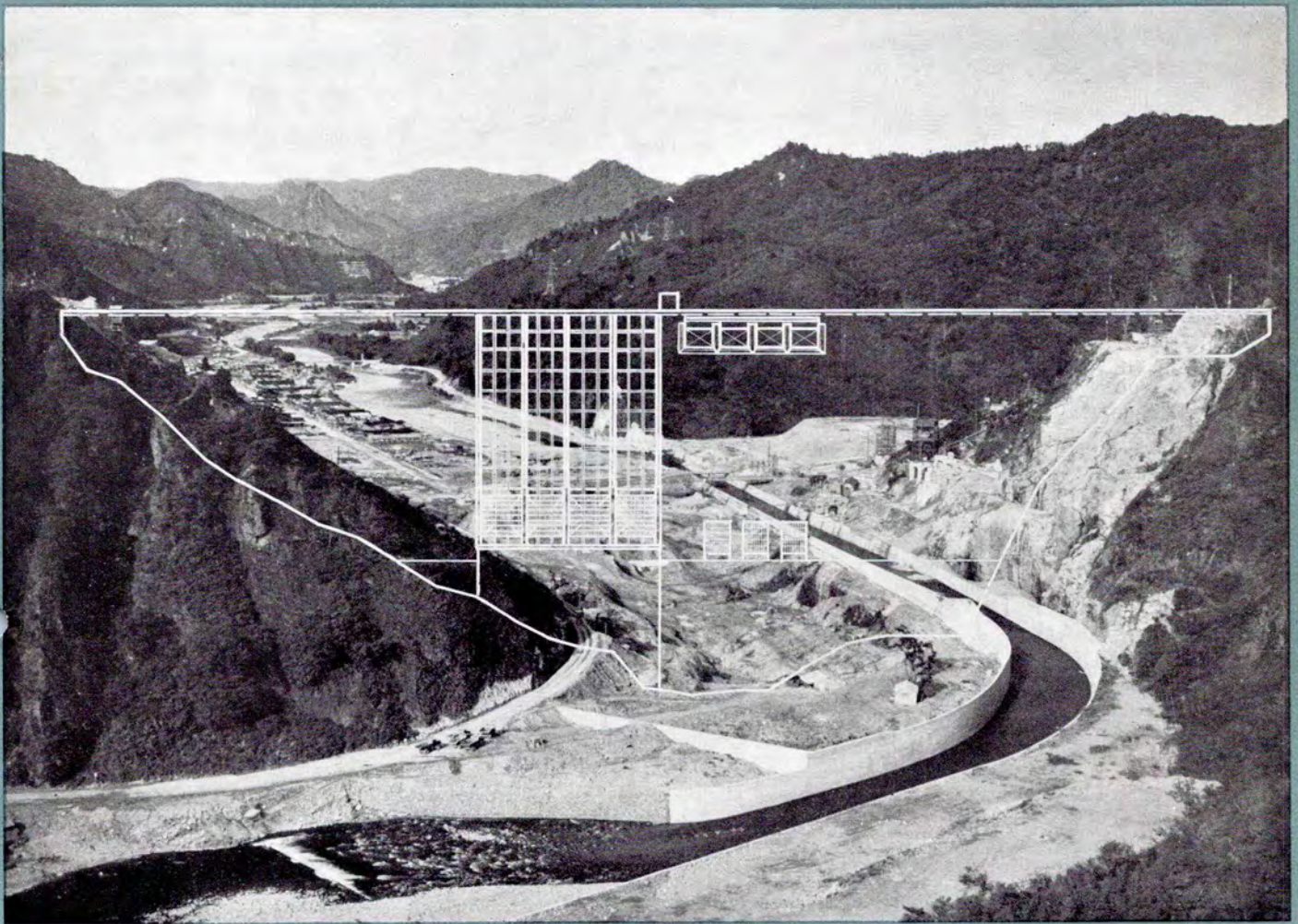


MITSUBISHI DENKI

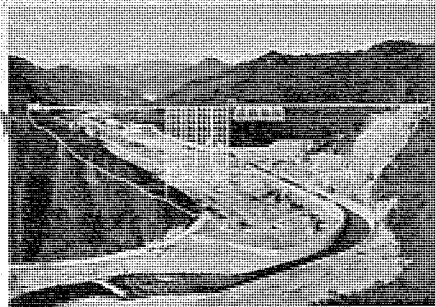
三菱電機



電源開発株式会社 田子倉発電所のダム地点

5

VOL31 1957



MITSUBISHI DENKI

三菱電機

表紙説明

表紙は電源開発株式会社が目下建設中の田子倉発電所のダム地点を上流側より見た写真である。この地点のダムは高さおよび体積において世界有数の規模であり、発電所の最大出力は 285,000 kW で昭和 34 年 7 月に完成の予定である。ここに設置される主要発電機は三菱電機の記録品であると同時に本邦最大のものである。概略仕様はつぎのとおりである。

型式	回転界磁風道循環型 3 相交流同期発電機
構造	縦軸傘型
出力	105,000 kVA (定格)
電圧	13,200 V
力率	0.90 (遅れ)
周波数	50 c/s
回転数	166.7 rpm
数量	3 台
原動機	縦軸単輪単流渦巻フランス水車に直結 (新三菱重工製)

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	名古屋市中区矢田町
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
福山工場	福山市仲野上町
姫路工場	兵庫県姫路市千代田町
和歌山工場	和歌山市岡町
中津川工場	岐阜県中津市駒場安森
福岡工場	福岡市今宿青木
静岡工場	静岡市小鹿 110
札幌修理工場	札幌市北二条東 12
大阪営業所	大阪市北区堂島北町 8 番地 1 (電) 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) 中 (4) 7031-7036
札幌営業所	札幌市大通り西 3 の 5 (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 1601
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) 2211-4
高松出張所	高松市紺屋町 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) (5) 小倉 3614

昭和 32 年 第 31 卷 第 5 号

目次

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	2
浜波器を含む線路の進行波特性	豊田準三・中塚正三郎	6
風冷式、密封型イグナイトロン整流器 (製鉄向直流電動機用)	加藤又彦・室賀 淳・阪上 茂・伊藤嗣郎	12
接触交流機	塚本昭三・清田 浩・細野 勇・鈴木一男・岡 久雄	20
3 相低周波型大容量溶接機	己斐健三郎・岸田公治・喜多 稔	27
放電加工の研究	斎藤長男・岩村武志	38
サージテ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	48
新型電磁開閉器 (EK 型)	篠崎善助・吉田太郎	53

技術解説

研究用原子炉 (1)	川口 修	59
------------	------	----

W 社文献抄訳

WTR-W 社材料試験炉	63
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—	63
W 社計器の新しい進歩	64
ニュースフラッシュ	65
最近における当社の社外寄稿および講演	67
最近登録された当社の特許および実用新案	68

品質奉仕の三菱電機

坑内ガス輸送用無線電話装置

三菱化成工業株式会社黒崎工場施設部電機課長 松之忠義・施設部電機課技師 久保恒男

三菱電機株式会社無線機製作所 上野芳雄*

VHF Radio Telephone Equipment for Construction and Maintenance of Gas Pipe Lines

Mitsubishi Chemical Industries, Ltd. Tadayoshi MATSUNO・Tsuneo KUBO
Electronics Works Yoshio UENO

In a construction work of a pipe line between a factory and a coal mine—an epochal undertaking to utilize methane gas in the mine as an industrial material—VHF radio telephone equipment played a vital part in the communication of a construction forces roving over a mountainous district. In spite of adverse conditions, the machine worked wonderfully well, bracing up fatigued workmen to complete the pipe line. After the work is over, the set is in use for the tool of maintenance, which is also reported to be very satisfactory.

1. ま え が き

三菱化成黒崎工場では今回日本炭鉱株式会社高松鉱業所第三立坑より化学工業用原料として坑内ガス(メタンガス)の供給を受けることになり、これの輸送管布設工事の工事連絡ならびに配管完了後のガス輸送連絡用として三菱電機製 150 Mc FM 超短波無線機を設置したが、これが予想以上に好成績を挙げているのでその概要を紹介する。

2. 無線機採用の理由

輸送管布設に当初有線電話を計画したが配管経路は全長約 5km で 1 図および 2 図(配管経路地図)のように山間僻地を通過するため保守に不便のみならず線路盗難事故の頻発が予想されると、配管工事を短期間に完了するために幾区間かに区切って同時に工事が施行されるためその工事連絡設備には機動性が要求され、かつ有線では配管工事完了後でないと架線工事が施行できずこの期間は全然通信不能等の不便もあって無線機の採用を決定した。

3. 施設の概要

配管工事中は基地局—移動局間の通話、工事完了後は固定局—固定局間の通話にする必要のため基地局には 10 W 固定用(A-C 100 V 専用)を、移動局には 10 W 交直両用(A-C 100 V, D-C 6 V)を採用した。



1 図 黒崎、高松附近平面図

Fig. 1. Plan around Kurosaki and Takamatsu.



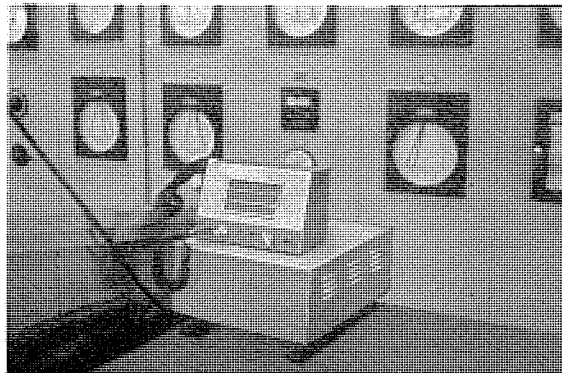
2 図 輸送管経路外観

Fig. 2. Outside view of the pipe-line.

基地局（呼出名称 三菱化成黒崎）は配管工事担当課の事務机上に設置，移動局（呼出名称 三菱化成高松）はトヨペット 1.5 トン積トラックに搭載して使用した。

空中は基地局地上 12m の木柱上にブラウン空中線を，移動局は地線付ホイップ空中線である。

なお，配管工事完了後の固定局—固定局の現在は黒崎局はガス受入設備の変成工場計器室に，高松局はガス送出ブロワ室にそれぞれ地上 14 m, 12 m の高さにブラ



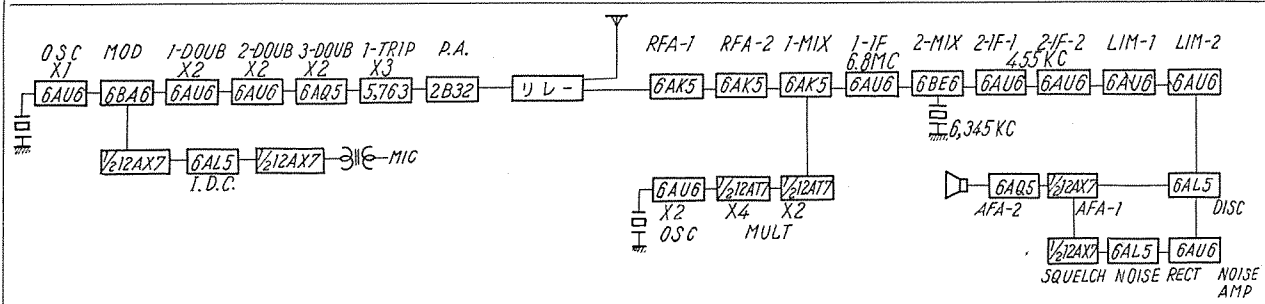
3 図 三菱化成基地局
Fig. 3. 150 Mc/FM Fixed station.

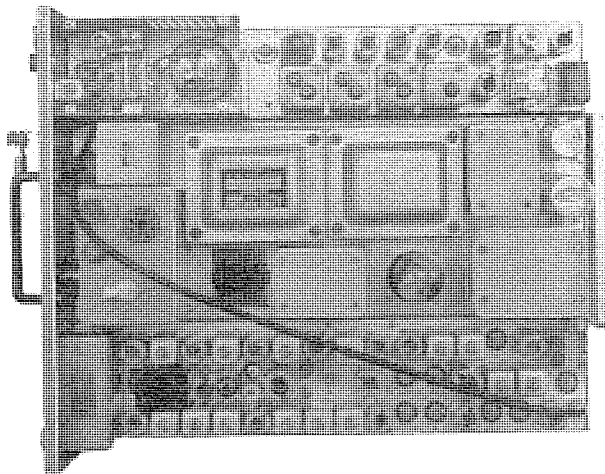


4 図 基地局空中線
Fig. 4. 150 Mc/FM antenna for Kurosaki station.

1 表 10 W (固定，移動，可搬) 送，受信機電気特性 * 印は移動用の場合を示す

送 信 機		受 信 機	
周 波 数 範 囲	150 Mc 帯 (148 ~ 155 Mc または 155 ~ 162 Mc) あるいは 160 Mc 帯 (162 ~ 170 Mc)	周 波 数 範 囲	150 Mc 帯 (148 ~ 155 Mc または 155 ~ 162 Mc) あるいは 160 Mc 帯 (162 ~ 170 Mc)
送 信 出 力	10 W 以上	第 1 局 部 発 振 周 波 数 許 容 偏 差	-20°C ~ +50°C において ±0.005% 以内
周 波 数 許 容 偏 差	-20°C ~ +50°C に 於 て ±0.005% 以内	帯 域 幅	6 db 低下において ±20 kc 以上
最 大 偏 移	1 kc 以下 ±15 ラジアン 1 kc 以上 ±15 kc	入 力 イ ン ピ ー ダ ン ス	75 Ω
変 調 周 波 数 特 性	1 kc 基準 0.3 kc -10.5 ± 3 db 3 kc 0 ± 3 db	ス プ リ ア ス 周 波 数 感 度	-70 db 以下
変 調 直 線 性	1 kc 15 ラジアン迄 直線的	選 択 度	±60 kc において 100 db 以上
変 調 入 力	1 kc 70% 変調において -6 ± 3 db m	スケ ル チ 感 度	0 db 以下 ~ 20 db 以上 調整可能
変 調 入 力 イ ン ピ ー ダ ン ス	0.3 kc ~ 3 kc において 60 ± 10 Ω	S/N	1 kc 100% 変調において 入力 0 db (148 ~ 170 Mc) 15 db 以上
残 存 振 幅 変 調 含 有 量	1 kc 100% 変調において 5% 以下		入力 20 db (148 ~ 170 Mc) 35 db 以上
ス プ リ ア ス 周 波 数 輻 射 強 度	-60 db 以下	周 波 数 特 性	1 kc 基準 0.3 kc +10.5 ± 3 db 3 kc 0 ± 3 db
残 存 雑 音 変 調	1 kc 100% 変調信号に対し -47 db 以下	最 大 無 歪 出 力 (10% 歪)	出力 イ ン ピ ー ダ ン ス 600 Ω 1.0 W 以上
歪 率	1 kc 70% 変調において -20 db 以下	第 2 局 部 発 振 周 波 数	6,345 kc
電 源 所 要 入 力	低 圧 6.3 V (5.3 V) 6.5 A 以下 (6 A 以下) 第 2 高 圧 250 V 65 mA 以下 第 1 高 圧 350 V 135 mA 以下 不 平 衡 75 Ω 定 在 波 比 2 以 下 に 整 合 可 能	第 1 " 動作 定 格 電 源 所 要 入 力	(受信周波数 -6.8 Mc)/16 Mc 10 時 間 連 続 低 圧 6.3 V *(5.9 V) 6.5 A 以下 *(5.6 A 以下)
出 力 回 路		水 晶 片 形 式	高 圧 200 V 120 mA 以下 HC-6/U 恒 温 槽 付
動 作 定 格	30 秒 動 作 30 秒 停 止 連 続		
通 倍 数	24 通 倍 (×2 × 2 × 3)		
水 晶 片 形 式	HC-6/μ 恒 温 槽 付		





5 図 固定局送受信機内部

Fig. 5. Interior of the transmitter-receiver for fixed station.

ウン空中線を設置して通信している。設置状況は 3, 4 図 (黒崎局—高松局空中線, 機器取付状況写真) のとおりである。

4. 各機器の仕様概要

ア. 黒 崎 局

黒崎局は三菱電機 VHF/FM FM-2 型固定用無線機で、本体、制御器、ブラウン空中線の 3 部で構成されている。

(1) 送受信装置 (本体)

周波数は 154.61 Mc の簡易バンド使用の FM 送受信機の定格出力は 10 W である。電源は A-C 100 V 60 c/s より供給している。

送受信機の詳細仕様および内部構造は 1 表および 5 図のとおりである。

(2) 制 御 器

無線機本体を操作制御するもので下記の諸操作および表示を行うもので卓上型となっている。

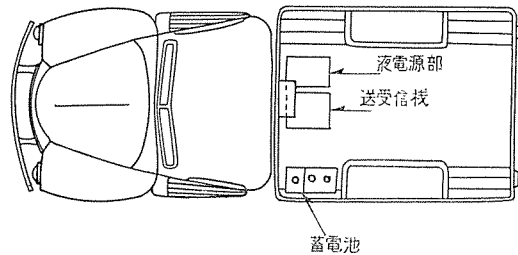
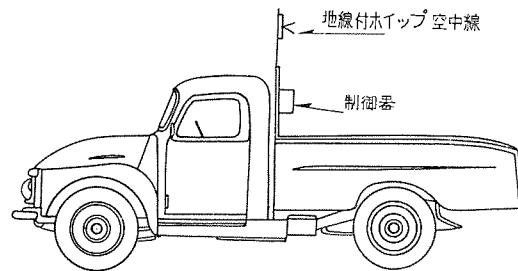
- a. 電源のランプ表示
- b. 送信 (赤) 受信 (緑) のランプ表示
- c. プレストークによる送受信
- d. 受信音量の調整
- e. 呼出信号用ブザーの操作
- f. スケルチ動作の調整
- g. スピーカ、受話器の切換

以上の操作で高松局呼出に際してはまず呼出ブザー音を送出し、応答後は送受話器の押ボタンにより送信、受信の切換によるプレストーク方式で通話を行っている。

(3) 空 中 線

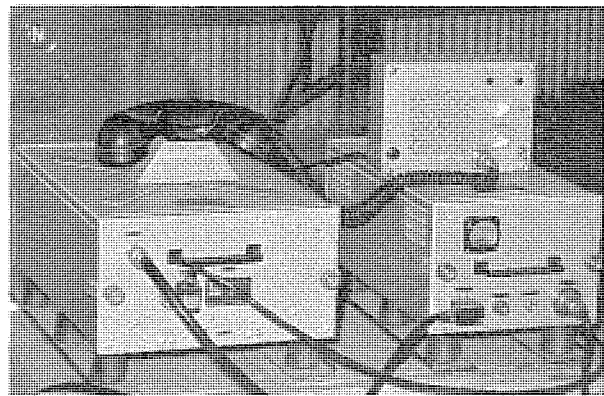
ボイラ架台上に設置し地上高約 14 m 無指向性ブラウン空中線より同軸ケーブル 10 C-2 V 約 20 m により送受信機に接続している。

イ. 高 松 局



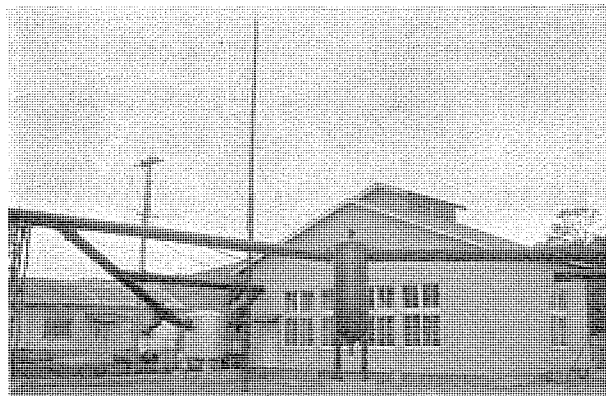
6 図 移動局機器配置図

Fig. 6. Mounting arrangement of mobile station.



7 図 三菱化成移動局

Fig. 7. 150 Mc/FM mobile station.



8 図 高松局空中線

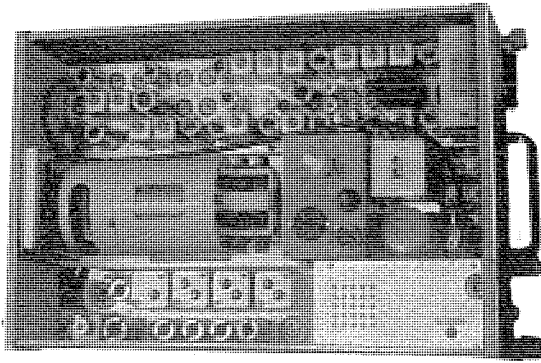
Fig. 8. 150 Mc/FM antenna for Takamatsu station.

高松局は同じく FM-2 型で移動用となっており、本体・制御器・交流電源部・空中線より構成されている。

(6 図, 7 図および 8 図参照)

(1) 送受信装置 (本体)

直流電源部 (コンバータ) 内蔵型で交流電源部外付となっている。



9 図 移動局送受信機内部

Fig. 9. Interior of the transmitter-receiver for mobile station.

定格出力は固定用と同じく 10 W で移動の場合は 6 V 蓄電池より，固定の場合は A-C 100 V より電源を供給する外は固定用とほぼ同規格である。

詳細仕様および内部構造は 1 表，9 図のとおりで，交流，直流の切換操作は本体内直流電源部の後方下部に設けられたスイッチおよび接栓によって行うようになっている。

(2) 制 御 器

移動用として使用に便利なよう小型化されている以外は，その操作，表示の機能は固定用と同等であるが蓄電池を使用して移動用とする場合は制御器により電源の操作が行える。

(3) 空 中 線

移動用には 1/4 波長地線付ホイップアンテナを，固定用として使用の現在は 12 m の継木柱上にブラウン空中線を設置し 10 C-2 V 同軸ケーブル約 20 m により送受信機に接続している。

(4) そ の 他

蓄電池は 6 V 200 AH の自動車用をダイナモと並列して走行中は充電を行った。移動局の場合は付属のゴムクッション台を介してトラック床板に本体を固定し振動を防止した。

5. 通 話 試 験

電波管理局の落成検査後基地局と移動局の通話試験はおおむね良好で全配管経路にわたって一部の山かけを除いてスケルチもよく開き良好な通話状態であった。山かけにおいてもスケルチを開いておけば通話に支障なく良好な成績を得た。固定—固定とした現在は高松局のアンテナを高くした結果にもよるが高松局前方約 50 m に高さ 40~50 m 程度の丘があり見とおしきわめて不良の地形にもかかわらず受信機第 1 制限管のグリット電流約 6 μ A 程度でスケルチもよく開いて良好に通話している。

6. む す び

無線機の購入に当り超短波の伝播特性から推してはなはだ見とおしの悪い当地域で果して実用になるかどうか危惧していたが使用の結果は予想外に好結果を得た。

クッションの悪いトラックで約 4 ヶ月間簡単にホロを覆ったまま雨天には雨洩りを心配しながらガタガタの山道を日に何回となく往復し人間の方はいささか振動ノイローゼ気味になったが無線機は疲れる色もなく良く働いてくれた。この間移動用の地線付ホイップ空中線の地線エレメントを 2 本共山間の木の枝にかけて折損紛失したという笑うに笑えぬ事故もあったが無事工事連絡の任務を終り現在は固定—固定に変更し通話している。

ガス輸送連絡の性質上つねに密接な連絡を必要とするため電源は常時投入のままで酷使し予備機を持たぬためいささか心配であるが 8 ヶ月経過の今日まで大した故障もなく良好に稼働している。

市内電話自動化の遅れている当地方においてはいままさながら無線の有難さを痛感させられる。炭坑と化学工場を直結した坑内ガス利用という画期的事業にこの無線機が貢献していることを報告してむすびにする次第である。

濾波器を含む線路の進行波特性

無線機製作所 豊田 準三*・中塚 正三郎**

Travelling Wave Characteristics of Uniform Lines Including Filters

Electronics Works

Junso TOYODA・Shozaburo NAKATSUKA

Estimation of transient response to the travelling waves on lines including filters is a knotty problem, especially when the filters have a number of components, because a differential equation of higher orders due to induced waves is involved in the solution. In such a case as locating a transient fault by making use of a power line carrier channel, the locating signal is sometimes badly disturbed by induced waves of flash over surges. To cope with the situation analysis of reflected or transmitted waves must be made on their wave-form characteristics.

1. ま え が き

分布定数線路に濾波器が挿入されている場合の、進行波に対する線路上の過渡波形の計算は、濾波器の構成素子が多数の場合は高次の微分方程式を解く必要があり計算が複雑になる。電力線搬送回線等を伝送線路に起用して閃絡点の標定を行うような場合には、挿入されている濾波器の閃絡サージによる誘起振動は、標定信号に対して悪影響を及ぼすことがあるので、この場合の反射波、透過波等の波形上の諸特性を把握しておく必要がある。本文では高域および低域濾波器の定 K 型および誘導 M 型のものおよび定 K 型の帯域および帯域阻止濾波器が挿入されている場合について、単位関数波に対する反射波、透過波の検討を行い、一般的特性を明らかにしてその応用例の一端にもふれた。

2. 一般的事項

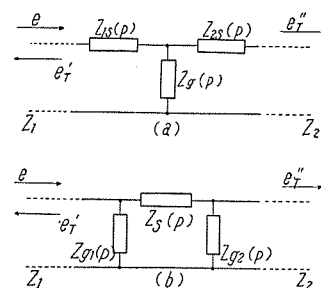
ア. T 型構成の濾波器が含まれている場合

一般に 1 図 (a) のように、サージインピーダンス Z_1 , Z_2 なる線路 1, 線路 2 の接続点に、T 型構成の濾波器が挿入された場合に、線路 1 より e なる進行波が到来したときの反射波 e_r' と透過波 e_{tr}'' とは、演算子法的につぎのように表わすことができる。

$$e_r' = \frac{[Z_{1s}(p) - Z_1][Z_g(p) + Z_{2s}(p) + Z_2] + Z_g(p)[Z_{2s}(p) + Z_2]}{[Z_{1s}(p) + Z_1][Z_g(p) + Z_{2s}(p) + Z_2] + Z_g(p)[Z_{2s}(p) + Z_2]} e \quad (1)$$

$$e_{tr}'' = \frac{2Z_g(p)Z_2}{[Z_{1s}(p) + Z_1][Z_g(p) + Z_{2s}(p) + Z_2] + Z_g(p)[Z_{2s}(p) + Z_2]} e \quad (2)$$

ここにサフィクス S は線路に対し直列な素子を示し、サフィクス g は線路に対し並列な素子を示すものとする。(1) および (2) は T 型構成の濾波器が含まれている線路の進行波 e に対する反射波透過波についての基本



1 図 T 型, π 型構成の濾波器を含む線路の進行波

Fig. 1. Travelling waves on line including T type or π type filter.

関係式である。

イ. π 型構成の濾波器が含まれている場合

一般に 1 図 (b) のように、前項同様に線路 1 と線路 2 の接続点に、 π 型構成の濾波器が挿入され、線路 1 より e なる進行波が到来した場合の、反射波 e_r' 、および透過波 e_{tr}'' はつぎのように表わされる。

$$e_r' = \frac{-Z_1Z_2[Z_s(p) + Z_{g1}(p) + Z_{g2}(p)] - Z_1Z_{g2}[Z_s(p) + Z_{g1}(p)]}{Z_1Z_2[Z_s(p) + Z_{g1}(p) + Z_{g2}(p)] + Z_1Z_{g2}[Z_s(p) + Z_{g1}(p)] + Z_2Z_{g1}(p)[Z_s(p) + Z_{g2}(p)] + Z_s(p)Z_{g1}(p)Z_{g2}(p)} e + \frac{Z_2Z_{g1}(p)[Z_s(p) + Z_{g2}(p)] + Z_s(p)Z_{g1}(p)Z_{g2}(p)}{Z_1Z_2[Z_s(p) + Z_{g1}(p) + Z_{g2}(p)] + Z_1Z_{g2}[Z_s(p) + Z_{g1}(p)] + Z_2Z_{g1}(p)[Z_s(p) + Z_{g2}(p)] + Z_s(p)Z_{g1}(p)Z_{g2}(p)} e \quad (3)$$

$$e_{tr}'' = \frac{Z_1Z_2[Z_s(p) + Z_{g1}(p) + Z_{g2}(p)] + Z_1Z_{g2}[Z_s(p) + Z_{g1}(p)]}{Z_1Z_2[Z_s(p) + Z_{g1}(p) + Z_{g2}(p)] + Z_1Z_{g2}[Z_s(p) + Z_{g1}(p)] + Z_2Z_{g1}(p)[Z_s(p) + Z_{g2}(p)] + Z_s(p)Z_{g1}(p)Z_{g2}(p)} e + \frac{2Z_2Z_{g1}(p)Z_{g2}(p)}{Z_1Z_2[Z_s(p) + Z_{g1}(p) + Z_{g2}(p)] + Z_1Z_{g2}[Z_s(p) + Z_{g1}(p)] + Z_2Z_{g1}(p)[Z_s(p) + Z_{g2}(p)] + Z_s(p)Z_{g1}(p)Z_{g2}(p)} e \quad (4)$$

(3) および (4) は π 型構成の濾波器を含む線路の反射波、透過波の基本的関係式である。

3. 定 K 型低域, 高域濾波器を含む線路の場合

この場合の半セクション, 全セクションのものについて、整合条件を考慮して計算した反射波および透過波の演算子表示式および振動の固有値は 1 表に示した。振動の固有値はいずれの場合も遮断角周波数 ω_k あるいはそれよりも低い値となっている。半セクションの場合につ

1 表

線路上の進行波とフィルタ	条件	反射波と透過波の演算式	振動固有値
	$L_K = C_K$ $z_1 = z_2$ $r = \frac{z_1}{z_2}$	$e'_{TL} = \frac{p_k^2 + 1 - r^2}{p_k^2 + 2rp_k + 1 + r^2} e$ $e'_{TL} = \frac{2}{p_k^2 + 2rp_k + 1 + r^2} e$ $e'_{TL} = r^2 e'_{TL} \quad e'_{TL} = -e'_{TL}$	$\omega_k = \frac{1}{\sqrt{L_K C_K}}$
	$p_k = \frac{L}{C_K}$ $\omega_k = \frac{1}{\sqrt{L_K C_K}}$	$e'_{TL} = \frac{(1-r^2)p_k^2 + 1}{(1+r^2)p_k^2 + 2rp_k + 1} e$ $e'_{TL} = \frac{2p_k^2}{(1+r^2)p_k^2 + 2rp_k + 1} e$ $e'_{TL} = r^2 e'_{TL} \quad e'_{TL} = -e'_{TL}$	$\frac{\omega_k}{1+r^2}$
	$z_1 = z_2$ $z = z$	$e'_{TL} = \frac{p_k^2}{p_k^2 + 2p_k^2 + 2p_k + 1} e$ $e'_{TL} = \frac{1}{p_k^2 + 2p_k^2 + 2p_k + 1} e$	$\frac{\sqrt{3}}{2} \omega_k$
		$e'_{TL} = e'_{TL}$ $e'_{TL} = -e'_{TL}$	$\frac{\sqrt{3}}{2} \omega_k$
		$e'_{TL} = \frac{e}{p_k^2 + 2p_k^2 + 2p_k + 1} = e'_{TL}$ $e'_{TL} = \frac{p_k^2 e}{p_k^2 + 2p_k^2 + 2p_k + 1} = e'_{TL}$	$\frac{\sqrt{3}}{2} \omega_k$
		$e'_{TL} = e'_{TL} = e'_{TL}$ $e'_{TL} = -e'_{TL} = -e'_{TL}$	$\frac{\sqrt{3}}{2} \omega_k$

(注) $Pk = P/\omega_k$ ω_k = 遮断周波数 P : ヘビーサイド演算子
 ' は反射波 " は透過波 サフィックス T は T 端入射, π
 は π 端入射の場合を示す. F は全セクションの記号

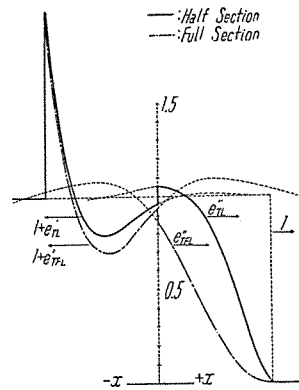
いては $r=1$ なる一様な線路の整合条件のもとでは、透過波は T 端入射の場合と π 端入射の場合とでは、まったく同一の波形を示し、反射波については双方の場合で極性が逆になっている。

また低域濾波器の透過波と高域濾波器の反射波、前者の反射波と後者の透過波の間には共軛関係があり、 $r=1$ の場合につき前者を示す式の p_k の代りに $2p_k$ を用いれば後者を示す式をうる。全セクションの場合は、表示式は互いにまったく同一でありしたがって振動の固有値も同一である。これらの関係は 4 端子回路網として、定常的に取扱った場合の共軛関係からもうなづけることである。1 表の諸式を一様な線路の場合 ($r=1$) の整合条件で、単位函数波の入射について得た演算子方程式の解は下記のようになる。

$$\left. \begin{aligned} e_{TL}' &= \varepsilon^{-\omega_k t} (\cos \omega_k t - \sin \omega_k t) \\ e_{TL}'' &= 1 - \varepsilon^{-\omega_k t} (\sin \omega_k t + \cos \omega_k t) \end{aligned} \right\} (5)$$

$$\left. \begin{aligned} e_{TH}' &= 1 - \varepsilon^{-\frac{\omega_k t}{2}} \left(\sin \frac{\omega_k t}{2} + \cos \frac{\omega_k t}{2} \right) \\ e_{TH}'' &= \varepsilon^{-\frac{\omega_k t}{2}} \left(\cos \frac{\omega_k t}{2} - \sin \frac{\omega_k t}{2} \right) \end{aligned} \right\} (6)$$

$$\left. \begin{aligned} e_{TLF}' &= e_{THF}'' = \varepsilon^{-\omega_k t} - \frac{2}{\sqrt{3}} e^{-\frac{\omega_k t}{2}} \sin \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \omega_k t \right) \\ e_{TLF}'' &= e_{THF}' = (1 - \varepsilon^{-\omega_k t}) - \frac{2}{\sqrt{3}} e^{-\frac{\omega_k t}{2}} \sin \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \omega_k t \right) \end{aligned} \right\} (7)$$

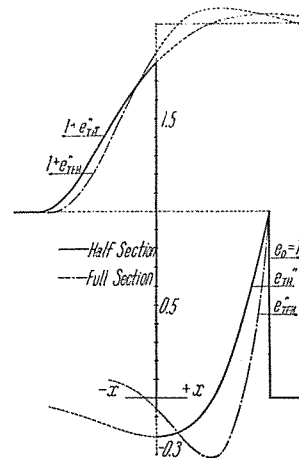


2 図

定K型低域濾波器を含む線路の単位函数波に対する透過波と反射波

Fig. 2.

Transmitted and reflected waves on line including low pass filter of constant K type
 (at $t = \pi/\omega_k$)
 (original wave=1)



3 図

定K型高域濾波器を含む線路の単位函数波に対する透過波と反射波

Fig. 3.

Transmitted and reflected waves on line including high pass filter of constant K type.
 (at $t = 2\pi/\omega_k$)
 (original wave=1)

透過波、反射波の線路上の分布の計算結果の例は、2 図、3 図に示した。いずれも強く制動された減衰高周波振動である。

入射波として、単位函数波の代りに直角波頭指数函数波尾の進行波の到来を考えると、1 表中において

$$e = \frac{p_k}{p_k + \alpha_0} 1$$

として計算できる。この場合には演算子方程式は3次式となり、巻末に示した付録によりつぎのように計算できる。

ア. 低域濾波器の場合

$$e_{TL}' = \frac{1-r^2+\alpha_0^2}{1+(\alpha_0-r)^2} \varepsilon^{-\alpha_0 \omega_k t} + \frac{2r(r-\alpha_0)}{1+(\alpha_0-r)^2} e^{-r \omega_k t} \cos \omega_k t - \frac{2r}{1+(\alpha_0-r)^2} \varepsilon^{-r \omega_k t} \sin \omega_k t \quad \dots (5a)$$

$$e_{TL}'' = \frac{2}{(\alpha_0-r)^2+1} \left[\varepsilon^{-\alpha_0 \omega_k t} - \varepsilon^{-r \omega_k t} \{ \cos \omega_k t - (\alpha_0-r) \sin \omega_k t \} \right] \dots (5b)$$

特別な場合として $\alpha_0=1$ すなわち入射波が $e^{-\omega_k t}$ の場合で、 $r=1$ のときには

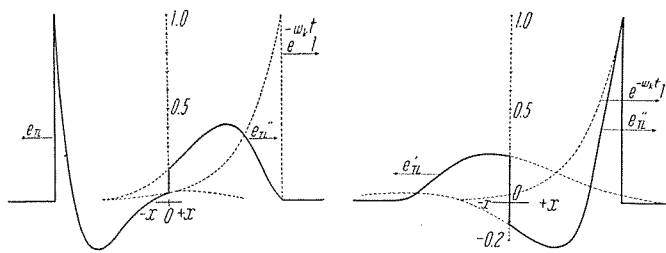
$$e_{TL}' = -e_{TL}'' = \varepsilon^{-\omega_k t} (1 - 2 \sin \omega_k t) \quad \dots (5c)$$

$$e_{TL}'' = e_{TL}' = 2 \varepsilon^{-\omega_k t} (1 - \cos \omega_k t) \quad \dots (5d)$$

である。

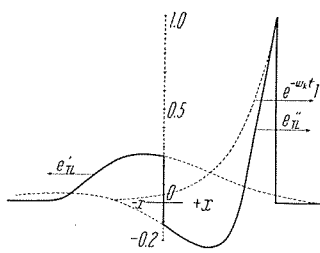
イ. 高域濾波器の場合

$$e_{TH}' = \frac{\alpha_0(1-r^2)+1}{(1-r\alpha_0)^2+\alpha_0^2} \varepsilon^{-\alpha_0 \omega_k t} - \frac{2r(\alpha_0-\alpha_0 r^2+r)}{\{(1-r\alpha_0)^2+\alpha_0^2\}(1+r^2)} \varepsilon^{-\frac{r \omega_k t}{1+r^2}} \times \cos \frac{\omega_k t}{1+r^2}$$



4 図 定K型低域濾波器を含む線路の $e^{-\omega_k t}$ 波に対する透過波と反射波

Fig. 4. Transmitted and reflected waves on line including low pass filter of constant K type. (at $t = \pi/\omega_k$) (original wave = $e^{-\omega_k t}$)



5 図 定K型高域濾波器を含む線路の $e^{-\omega_k t}$ 波に対する透過波と反射波

Fig. 5. Transmitted and reflected waves on line including high pass filter of constant K type. (at $t = \pi/\omega_k$) (original wave = $e^{-\omega_k t}$)

$$e_{TII}'' = \frac{2\alpha_0^2 \varepsilon^{-\alpha_0 \omega_k t}}{(1-r\alpha_0)^2 + \alpha_0^2} + \frac{2\varepsilon^{-\frac{r}{1+r^2} \omega_k t}}{(1+r)^2 \{ (1-r\alpha_0)^2 + \alpha_0^2 \}} \times \left[(1-2r\alpha_0) \cos \frac{\omega_k t}{1+r^2} + (\alpha_0 r^2 - \alpha_0 + r) \right] \quad (6a)$$

2 表

線路上の進行波とフィルタ	条件	反射波、透過波の演算子式	振動固有値
	$C_2 = mC_1$ $L_1 = \frac{1-m^2}{m} C_1$	$e'_{TLP} = \frac{\left(\frac{m}{1-m^2} p_k^2 - p_k^2 \right) e}{p_k^2 + \frac{2-m^2}{m(1-m^2)} p_k^2 + \frac{2}{1-m^2} p_k + \frac{2}{m(1-m^2)}}$ $e'_{SLP} = \frac{\left(-\frac{m}{1-m^2} p_k^2 - p_k^2 \right) e}{p_k^2 + \frac{2-m^2}{m(1-m^2)} p_k^2 + \frac{2}{1-m^2} p_k + \frac{2}{m(1-m^2)}}$ $e'_{TLP} = \frac{2 \left(\frac{1}{1-m^2} + p_k^2 \right) e}{p_k^2 + \frac{2-m^2}{m(1-m^2)} p_k^2 + \frac{2}{1-m^2} p_k + \frac{2}{m(1-m^2)}}$	$w_k < w_c < w_\infty$
	$C_2 = mC_1$ $L_1 = \frac{1-m^2}{m} L_2$	$e'_{TLP} = \frac{p_k^2 e}{\left(p_k + \frac{1}{m} \right) (p_k + mp_k + 1)}$ $e'_{SLP} = \frac{\frac{1}{m} (1 + (1-m^2) p_k^2) e}{\left(p_k + \frac{1}{m} \right) (p_k + mp_k + 1)}$	$w_k < w_c < w_\infty$
	$C_2 = mC_1$ $L_1 = \frac{1-m^2}{m} L_2$	$e'_{TLP} = e'_{TLP} = e'_{TLP} = e'_{SLP}$ $e'_{TLP} = e'_{TLP}$ $e'_{SLP} = e'_{SLP}$	$w_k < w_c < w_\infty$
	$C_2 = mC_1$ $L_1 = \frac{1-m^2}{m} L_2$	$e'_{TLP} = \frac{\left\{ \frac{m^2}{2} p_k - (1-m^2) \frac{m}{2} \right\} e}{p_k^2 + mp_k^2 + \frac{2-m^2}{2} p_k + \frac{m(1-m^2)}{2}}$ $e'_{SLP} = \frac{\left\{ -\frac{m^2}{2} p_k - (1-m^2) \frac{m}{2} \right\} e}{p_k^2 + mp_k^2 + \frac{2-m^2}{2} p_k + \frac{m(1-m^2)}{2}}$ $e'_{TLP} = \frac{\left\{ (1-m^2) p_k + p_k^2 \right\} e}{p_k^2 + mp_k^2 + \frac{2-m^2}{2} p_k + \frac{m(1-m^2)}{2}}$	$w_\infty < w_k < w_c$
	$C_2 = mC_1$ $L_1 = \frac{1-m^2}{m} L_2$	$e'_{TLP} = \frac{me}{(p_k + m)(p_k^2 + mp_k + 1)}$ $e'_{SLP} = \frac{\left\{ p_k^2 + (1-m^2) p_k \right\} e}{(p_k + m)(p_k^2 + mp_k + 1)}$ $e'_{TLP} = e'_{TLP} = e'_{TLP} = e'_{SLP}$ $e'_{TLP} = e'_{TLP}$ $e'_{SLP} = e'_{SLP}$	$w_\infty < w_k < w_c$

ω_k : 遮断角周波数, ω_∞ : 減衰極角周波数, ω_c : 固有角周波数

$$\sin \frac{\omega_k t}{1+r^2} \quad (6b)$$

特別な場合として, $r=1, \alpha_0=1$ の場合は

$$e_{TII}' = -e_{TII}' = \varepsilon^{-\omega_k t} - \varepsilon^{-\frac{\omega_k t}{2}} \sqrt{2} \sin \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\omega_k t}{2} \right) \quad (6c)$$

$$e_{TII}'' = e_{TII}'' = 2\varepsilon^{-\omega_k t} - \varepsilon^{-\frac{\omega_k t}{2}} \sqrt{2} \sin \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\omega_k t}{2} \right) \quad (6d)$$

(5c) (5d) (6c) (6d) 式の計算波形は 4 図および 5 図に示した。

4. 誘導 M 型低域, 高域濾波器を含む線路の場合

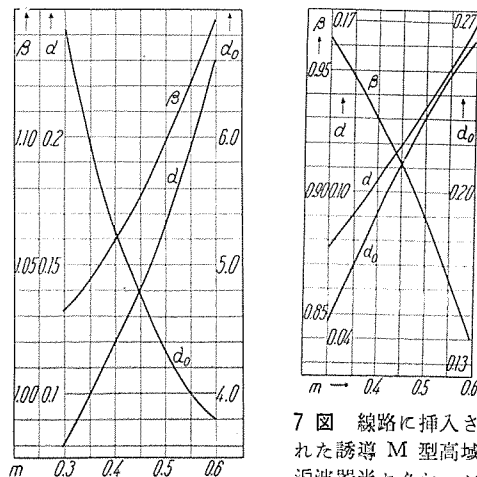
誘導 M 型低域, 高域濾波器のおおの 4 種類のものにつき誘導係数 m を用いて, 一様な線路 $r=1$ なる場合の, 整合条件の下に計算した反射波, 透過波の演算子表示式および振動の固有値は 2 表に示した。いずれも強く制動された減衰振動を示し, その特性は分母を零とした特性方程式の 3 根, $\alpha_0, \alpha \pm j\beta$ により論ずることができる。 m の 1 より小なる値の正の実数値に対する β の大きさの検討を行うことにより, 低域濾波器半セクションの場合については, (低域のサフィクスとして L を付した)

$$1 < \beta_L < \frac{1}{\sqrt{1-m^2}} \quad (8)$$

高域濾波器では半セクション, 全セクションいずれの場合にも, (高域のサフィクスとして H を付した)

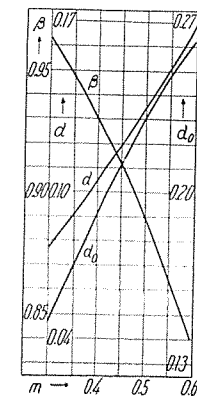
$$\sqrt{1-m^2} < \beta_H < 1 \quad (9)$$

なることは容易に証明が可能である。振動の固有角周波数は $\beta\omega_k$ で示されるから 2 表に示したような振動の固有値が与えられる。誘導 M 型低域濾波器半セクションの場合のみが遮断角周



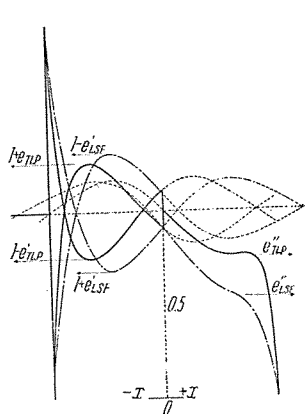
6 図 線路に挿入された誘導 M 型低域濾波器半セクションの固有振動の減衰係数と周波数係数

Fig. 6. Damping constant and frequency constant of a half section of low pass filter of derived M type inserted in line.



7 図 線路に挿入された誘導 M 型高域濾波器半セクションの固有振動の減衰係数と周波数係数

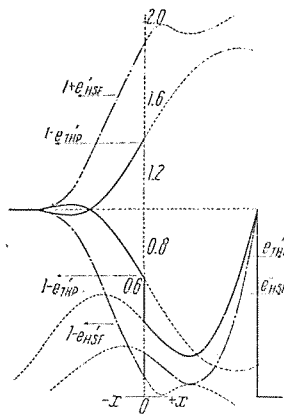
Fig. 7. Damping constant and frequency constant of a half section of high pass filter of derived M type inserted in line.



8 図 誘導 M 型低域濾波器を含む線路の単位函数波に対する透過波と反射波

Fig. 8. Transmitted and reflected waves on line including low pass filter of derived M type.

(at $t = \pi/\beta\omega_k$)
(original wave=1)



9 図 誘導 M 型高域濾波器を含む線路の単位函数波に対する透過波と反射波

Fig. 9. Transmitted and reflected waves on line including high pass filter of derived M type.

(at $t = \pi/\beta\omega_k$)
(original wave=1)

波数よりも高い振動を示すことは注意を要する事実である。単位函数波入射の場合の反射波、透過波は文献 (2) 等により、つぎのような形で算出が可能である。

$$e_{TLP}' = -a_1 \varepsilon^{-\alpha_0 \omega_k t} + (b_1 \cos \beta \omega_k t + c_1 \sin \beta \omega_k t) \varepsilon^{-\alpha \omega_k t}$$

$$e_{TLP}'' = 1 - a_2 \varepsilon^{-\alpha_0 \omega_k t} + (b_2 \cos \beta \omega_k t + c_2 \sin \beta \omega_k t) \varepsilon^{-\alpha \omega_k t} \quad (10)$$

$$e_{THP}' = -1 + a_3 \varepsilon^{-\alpha_0 \omega_k t} + (b_3 \cos \beta \omega_k t + c_3 \sin \beta \omega_k t) \varepsilon^{-\alpha \omega_k t}$$

$$e_{THP}'' = a_4 \varepsilon^{-\alpha_0 \omega_k t} + (b_4 \cos \beta \omega_k t + c_4 \sin \beta \omega_k t) \varepsilon^{-\alpha \omega_k t} \quad (11)$$

ここに a_1, b_1, \dots, c_4 はいずれも α_0, α, β , および m を組合せて作ることのできる係数である。

6 図, 7 図には通常に用いられることの多い $m=0.3 \sim 0.6$ の範囲における α_0, α, β の値をそれぞれ低域, 高域の誘導 m 型半セクションについて示した。これらの曲線より一般的につぎのことがいえる。

(1) m の値が小になれば, 低域, 高域いずれの場合にも β は 1 に近づく。

(2) m の値が小になれば, 低域, 高域いずれの場合にも α は小となり, 振動成分の減衰度が緩くなる。

(3) m の値が小になれば, 直流的過渡項を示す α_0 の値は, 低域濾波器では増大し, 高域濾波器では減少する。

全セクションの誘導 m 型低域および高域濾波器の場合は 2 表中に見られるように, 特性方程式は簡単に因数分解の可能な 3 次式で与えられ, 根の算出も, 波形の表示式もきわめて簡単でありつぎのように得られる。

$$e_{LSF}' = \varepsilon^{-\frac{\omega_k t}{m}} - \frac{2m}{\sqrt{4-m^2}} \varepsilon^{-\frac{m\omega_k t}{2}} \sin \sqrt{1-\frac{m^2}{4}} \omega_k t$$

$$e_{LSF}'' = 1 - \varepsilon^{-\frac{\omega_k t}{m}} - \frac{2m}{\sqrt{4-m^2}} \varepsilon^{-\frac{m\omega_k t}{2}} \sin \sqrt{1-\frac{m^2}{4}} \omega_k t \quad (12)$$

$$e_{HSF}' = 1 - \varepsilon^{-m\omega_k t} - \frac{2m}{\sqrt{4-m^2}} \varepsilon^{-\frac{m}{2}\omega_k t} \sin \sqrt{1-\frac{m^2}{4}} \omega_k t$$

$$e_{HSF}'' = \varepsilon^{-m\omega_k t} - \frac{2m}{\sqrt{4-m^2}} \varepsilon^{-\frac{m}{2}\omega_k t} \sin \sqrt{1-\frac{m^2}{4}} \omega_k t \quad (13)$$

T 端入射の場合と π 端入射の場合との逆極性関係, 低

濾波器を含む線路の進行波特性・豊田・中塚

3 表

線路上の進行波とフィルタ	条件	反射波, 透過波の演算子式
	$\sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = \sqrt{\frac{L_2}{C_2}} = z$ $\sqrt{\frac{C_1}{L_1}} = \sqrt{\frac{C_2}{L_2}} = s$ = 通過比帯域	$e_{rpf} = \frac{(p_0^4 + 2p_0^2 + 1)e}{p_0^4 + 2sp_0^2 + 2(1+s^2)p_0^2 + 2sp_0 + 1}$ $e_{trp} = \frac{2s^2 p_0^2 e}{p_0^4 + 2sp_0^2 + 2(1+s^2)p_0^2 + 2sp_0 + 1}$ $e_{rpf} = -e_{trp}, e_{trp} = e_{rpf}$ () 参照
	$\frac{\omega_0 - \omega_1}{\omega_0} = \frac{L_1}{L_2} \frac{z^2}{z^2}$ $\frac{\omega_0 - \omega_1}{\omega_0} = \frac{L_1}{L_2} \frac{z^2}{z^2}$ $\frac{\omega_0 - \omega_1}{\omega_0} = \frac{L_1}{L_2} \frac{z^2}{z^2}$	$e_{rpf} = \frac{P^2 e}{P^3 + 2P^2 + 2P + 1}$ $e_{trp} = \frac{e}{P^3 + 2P^2 + 2P + 1}$ $e_{rpf} = -e_{trp}$ $e_{trp} = e_{rpf}$ ここに $P = \frac{p_0^2 + 1}{sp_0}$
	$\sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = \sqrt{\frac{L_2}{C_2}} = z$ $\sqrt{\frac{C_1}{L_1}} = \sqrt{\frac{C_2}{L_2}} = s$ = 阻止比帯域	$e_{rpf} = \frac{\frac{s^2}{2} p_0^2 e}{p_0^4 + s^2 p_0^2 + (\frac{s^2}{2} + 2)p_0^2 + s^2 p_0 + 1}$ $e_{trp} = \frac{(p_0^2 + 2p_0^2 + 1)e}{p_0^4 + s^2 p_0^2 + (\frac{s^2}{2} + 2)p_0^2 + s^2 p_0 + 1}$ $e_{rpf} = -e_{trp}, e_{trp} = e_{rpf}$
	$\frac{\omega_0 - \omega_1}{\omega_0} = \frac{L_1}{L_2} \frac{z^2}{z^2}$ $\frac{\omega_0 - \omega_1}{\omega_0} = \frac{L_1}{L_2} \frac{z^2}{z^2}$ $\frac{\omega_0 - \omega_1}{\omega_0} = \frac{L_1}{L_2} \frac{z^2}{z^2}$	$e_{rpf} = \frac{e}{P^3 + 2P^2 + 2P + 1}$ $e_{trp} = \frac{P^2 e}{P^3 + 2P^2 + 2P + 1}$ $e_{rpf} = -e_{trp}$ $e_{trp} = e_{rpf}$ ここに $P = \frac{p_0^2 + 1}{sp_0}$

ω_0, ω_1 = 上下遮断角周波数 $\omega_0^2 = \omega_1 \omega_2$ $P_0 = P/\omega_0$

域と高域についての波形上の共軛性などについては前項とまったく同様であり, 静的に見た 4 端子回路網伝送理論における共軛性を進行波の過渡波形の点でも裏づけている。

$m=0.5$ の場合について, 線路上の反射波, 透過波の分布の例を 8 図, 9 図に示した。

5. 帯域濾波器あるいは帯域阻止濾波器を含む線路の場合

定 K 型の帯域濾波器あるいは帯域阻止濾波器を含む一様な線路上の反射波, 透過波については, 通過比帯域 S , 阻止比帯域 S' を用いて 3 表のように得られる。

同表中の半セクションの場合についてみると, 帯域阻止濾波器の場合の反射波, 透過波を示す演算子表示式において, 阻止比帯域 S' の代りに $2S$ を代入すれば, それぞれ帯域濾波器の場合の透過波, 反射波とまったく同一の式が得られることがわかる。すなわち阻止比帯域が $2S$ なる定 K 型帯域阻止濾波器の呈する反射波 (透過波) は, 通過比帯域が S なる帯域濾波器の透過波 (反射波) とまったく同一波形を示すことが明らかであり, このことは 1 表に示した定 K 型高域濾波器と, その半分の遮断角周波数を有する定 K 型低域濾波器との間の関係と同一である。

また3表中の全セクションの場合についてみれば、演算子 $P = \frac{p_0^2 + 1}{sp_0}$ を用いた記法によれば、定K型低域または高域濾波器全セクションの場合とまったく同一型式の演算子表示が得られることがわかる。

帯域濾波器と帯域阻止濾波器の相対関係が、低域濾波器と高域濾波器の相対関係に対応する事実が、進行波の過渡波形についてもこのような形で現われて、伝送回路理論における共軛性は、過渡波形の点でも裏づけられることは注目値するといえよう。

半セクションの場合の演算子表示式の分母を零とした特性方程式は、4次の逆数方程式であるので、その4根、 $-\alpha \pm j\beta$, $-\gamma \pm j\delta$ は、帯域濾波器の場合についてはつぎのように得られる。

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{S}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\sqrt{4+S^4}-2} \\ \beta &= -\frac{S}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sqrt{4+S^4}+2} \\ \gamma &= \frac{S}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sqrt{4+S^4}-2} \\ \delta &= \frac{S}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sqrt{4+S^4}+2} \end{aligned} \right\} \dots\dots(14)$$

これらの関係を用い、文献(2)等により波形の函数表示としてつぎのように得られる。

$$\begin{aligned} e_{TP'} &= 1 - \frac{2S^2}{\beta} \sqrt{\frac{\alpha^2 + \beta^2}{A^2 + B^2}} \{ e^{-\alpha\omega_0 t} \sin(\beta\omega_0 t + \theta) \\ &\quad + e^{-\gamma\omega_0 t} \sin(\delta\omega_0 t - \theta) \} \\ e_{TP''} &= \frac{2S^2}{\beta} \sqrt{\frac{\alpha^2 + \beta^2}{A^2 + B^2}} \{ e^{-\alpha\omega_0 t} \cos(\beta\omega_0 t + \theta) \\ &\quad - e^{-\gamma\omega_0 t} \cos(\delta\omega_0 t - \theta) \} \dots\dots(15) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ここに } A &= 2\beta(\alpha - \gamma), \quad B = \alpha^2 + \gamma^2 + \delta^2 - \beta^2 - 2\alpha\gamma, \\ \theta &= \tan^{-1} \frac{\beta A + \alpha B}{\beta B - \alpha A} \end{aligned}$$

Sの小さな値に対してはつぎの式が得られる。

$$\begin{aligned} e_{TP'} &= 1 - \frac{4S^2}{\beta} \sqrt{\frac{\alpha^2 + \beta^2}{A^2 + B^2}} e^{-\alpha\omega_0 t} \sin \frac{\delta + \beta}{2} \omega_0 t \cos \frac{\delta - \beta}{2} \omega_0 t \\ e_{TP''} &= \frac{4S^2}{\beta} \sqrt{\frac{\alpha^2 + \beta^2}{A^2 + B^2}} e^{-\alpha\omega_0 t} \sin \frac{\delta + \beta}{2} \omega_0 t \cos \frac{\delta - \beta}{2} \omega_0 t \end{aligned} \dots\dots(16)$$

さて遮断角周波数 ω_1 と ω_2 との間には

$$\left. \begin{aligned} \omega_1 &= \left\{ \sqrt{1 + \frac{S^2}{4}} - \frac{S}{2} \right\} \omega_0 \\ \omega_2 &= \left\{ \sqrt{1 + \frac{S^2}{4}} + \frac{S}{2} \right\} \omega_0 \\ \frac{1}{2} (\omega_1 + \omega_2) &= \sqrt{1 + \frac{S^2}{4}} \end{aligned} \right\} \dots\dots(17)$$

なる関係があり、(10)式より

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{2} (\beta + \delta) &= \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sqrt{1 + \frac{S^4}{4}} + 1} \\ \delta - \beta &= S \end{aligned} \right\} \dots\dots(18)$$

さらにまた

$$\sqrt{1 + \frac{S^2}{4}} > \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sqrt{1 + \frac{S^4}{4}} + 1} > 1 \dots\dots(19)$$

なる関係を考慮すれば、

$$\frac{1}{2} (\omega_1 + \omega_2) > \frac{1}{2} (\beta + \delta) \omega_0 > \omega_0 \dots\dots(20)$$

なることは容易にわかる。したがって(16)式で示される波形は、遮断周波数の算術平均周波数と幾何平均周波数の中間の周波数の振動が、帯域幅の半分すなわち $s\omega_0/2$ に相当した周波数の振動で包絡形にされたものの減衰の形で示されることがわかる。

全セクションの場合の演算子式は、たとえば $e_{TPF''}$ については

$$e_{TPF''} = \frac{sp_0}{p_0^2 + sp_0 + 1} - \frac{(sp_0^3 + sp_0)1}{p_0^4 + sp_0^3 + (s^2 + 2)p_0^2 + sp_0 + 1} \dots\dots(21)$$

なる形に変換可能であるから、2箇の特性方程式

$$p_0^4 + sp_0^3 + (s^2 + 2)p_0^2 + sp_0 + 1 = 0 \dots\dots(22)$$

$$p_0^2 + sp_0 + 1 = 0 \dots\dots(23)$$

より得られる6箇の根 $-\alpha \pm j\beta$, $-\gamma \pm j\delta$, $-\xi \pm j\eta$ でその振動の固有値を論ずることができる。

ここに

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{S}{4} + \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\sqrt{S^4 + 4S^2 + 16} - \frac{S^2}{2} - 4 \right)^{\frac{1}{2}} \\ \beta &= \frac{\sqrt{3}}{4} S + \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\sqrt{S^4 + 4S^2 + 16} + \frac{S^2}{2} + 4 \right)^{\frac{1}{2}} \\ \gamma &= \frac{S}{4} - \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\sqrt{S^4 + 4S^2 + 16} - \frac{S^2}{2} - 4 \right)^{\frac{1}{2}} \\ \delta &= -\frac{\sqrt{3}}{4} S + \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\sqrt{S^4 + 4S^2 + 16} + \frac{S^2}{2} + 4 \right)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots(24)$$

$$\xi = \frac{S}{2}, \quad \eta = \sqrt{1 - \frac{S^2}{4}} \dots\dots(25)$$

S^2 の項が省略できるような場合には、減衰定数と振動周波数がそれぞれ

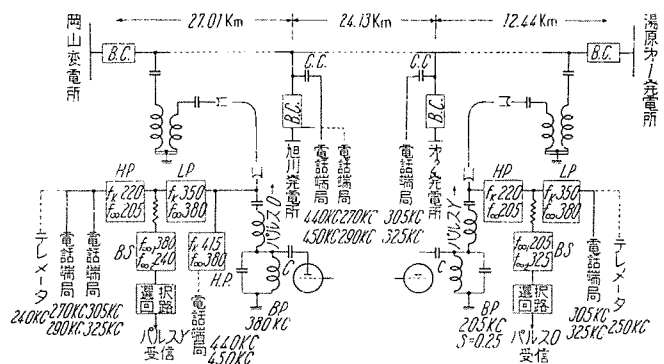
$$\frac{S\omega_0}{4}, \left(1 + \frac{\sqrt{3}}{4}S\right)\omega_0; \quad \frac{S\omega_0}{4}, \left(1 - \frac{\sqrt{3}}{4}S\right)\omega_0;$$

$$\frac{S\omega_0}{2}, \omega_0;$$

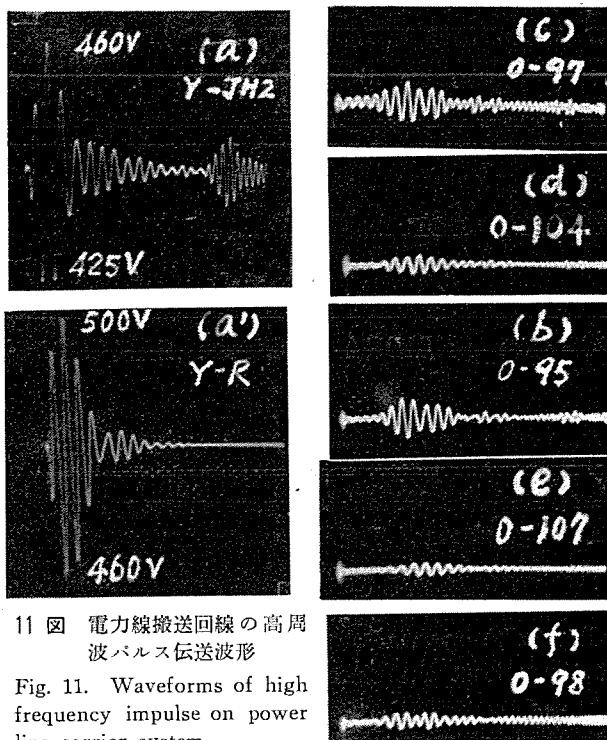
であるような減衰三角函数波の複合形とみなせる。

6. 電力線搬送回線による閃絡点標定への応用

前記した進行波に対する濾波器の特性は、伝送線路への高周波パルスの送出に利用できる。10図は既設の電力



10 図 B型閃絡点標定器設置用として特別編成せる回線様式
Fig. 10. Circuit specially composed to provide a type B flash fault locator.



11 図 電力線搬送回線の高周波パルス伝送波形

Fig. 11. Waveforms of high frequency impulse on power line carrier system.

線搬送回線（中国電力湯原岡山線）に、B型閃絡点標定器を設置すべく特別に編成された回線構成を示す。この場合は既設あるいは予定の電搬回線が多いこと、図に見るように中間に分岐点が2ヵ所あることなどのほかに、1つの閃絡サージにより遅延起動する標定用の高周波パルスを両端装置より送出せしめて、閃絡点と相手装置設置場所との間の距離をそれぞれ計数器指示により両端同時に標定する方式であるために、高周波パルスの送出には、特別の考慮を払う必要があった。同図に示すように、高周波パルスの送出には、既設回線の周波数領域外に通過帯域を有する帯域濾波器を、充電された蓄電器 C を放電する際の過渡電流で励振して生ずる透過波をそのまま線路へ伝送せしめたものである。11図(a, b, ...)には10図に記入した湯原第1発電所→岡山変電所の伝送の各部の波形を示したが、前項で述べた帯域濾波器の透過波形がそのまま現われている。電圧 2,500 V で充電された $C=0.03 \mu F$ の蓄電器の放電により、サージインピーダンス 75Ω の伝送線への光頭値 460 V の高周波パルスが送出せしめることがわかる。これと同様な出力を真空管発振器で行う場合の装置の老朽さに比較すれば、装置の簡潔さおよび好能率の点で格段の差があることは明らかである。11図オシロ写真(a')は濾波器出力端子を 75Ω 純抵抗負荷とした場合の出力波形であり(a)との比較のために示した。(a)の線路波形は純抵抗負荷の場合とほとんど同一の波形を示していることがわかる。(約 $85 \mu S$ の位置に湯原第2発電所への分岐点よりの反射が現われている。)同図(b)以下は湯原側での送出波形が約74kmの線路を伝播して到着した岡山側における各部の波形を示す。(b), (c), (f)では既設の電力線搬送信号に重畳した波形が見られる。これらは線路伝播時間だけ遅引して起動する掃引によりオシロ撮影を行ったもので、この掃引電圧の起動および湯原側の送出波の起動のためには、別に岡山よりテストパルスを送って行った。

濾波器を含む線路の進行波特性・豊田・中塚

10図の各端装置における1組の高域、低域濾波器は、この1組で既設回線の電搬信号を通過させる帯域特性を有せしめ、帯域阻止濾波器は電搬信号および自装置の送出波が相手の送出波を受信すべき高周波受信器に混入することを阻止し、つとめて良好な受信信号の導入をするべく設けたものである。(前置された抵抗 R は既設電搬回線の信号指失を極力軽減せしむるためのものである。)受信器の選択回路は帯域阻止回路のつぎに設けられている。前項に記述したように帯域濾波選択回路へ波頭峻度の急なサージ電圧が直接導入されれば、必ず帯域内の振動を誘起するので、振動の固有値が目的の帯域外にあるような濾波器が前置されることが望ましい。この見地からみても10図の回路構成は前項の所論の一応用とみることもできるであろう。(標定器の動作機構については文献(3)~(4)参照のこと。)

7. む す び

閃絡点標定のように、閃絡サージによる妨害をも覚悟して動作を行うことを要求される場合には、連続信号に対する濾波器の静特性を精密に検討するほかに、進行波に対する過渡特性を波形および固有振動数についても把握する必要があると思われるので検討を行った次第である。伝送線路への高周波パルスの簡潔な送出方法も、こうした所論から生れたものであり、ほかに役だつことがあれば幸甚これに過ぐることではない。

東大藤高教授、電力中央研究所富山部長ほか高压係各位のご教示、ご討論に深謝し、実験の機会を与えていただき、現地についてもいろいろとご教示、ご援助をいただいた中国電力関係各位のご好意に御礼申上げる次第である。

文 献

- (1) 森脇義雄 過渡現象計算法
- (2) A. C. Sim; Solution of Cubics and Quartics, W. E. Vol. 31, p. 294~300
- (3) 富山順二、藤高修平 電学誌 昭和28年2月
- (4) 有働竜夫 電学誌 昭和28年2月
- (5) 豊田準三 三菱電機 昭和28年10月

付 録

文献(2)に誘導されていない公式で、本文に使用した p の3次式、4次式に関する公式を下記に紹介する。

$$\frac{1}{(p+\alpha_0)\{(p+\alpha)^2+\beta^2\}} = \frac{1}{\alpha_0(\alpha^2+\beta^2)} - \frac{\varepsilon^{-\alpha_0 t}}{\alpha_0 A} - \frac{B\varepsilon^{-\alpha t}}{(\alpha^2+\beta^2)A} \cos \beta t - \frac{C}{(\alpha^2+\beta^2)A} \sin \beta t$$

ここに $A=\beta^2+(\alpha_0-\alpha)^2$, $B=\alpha_0-2\alpha$,

$$C=\beta+\frac{\alpha}{\beta}(\alpha_0-\alpha).$$

$$\frac{1}{\{(p+\alpha)^2+\beta^2\}\{(p+\gamma)^2+\delta^2\}} = \frac{1}{(\alpha^2+\beta^2)(\gamma^2+\delta^2)} - \frac{\varepsilon^{-\alpha t}}{\beta(\alpha^2+\beta^2)(A^2+B^2)} \times [(\alpha A+\beta B) \cos \beta t + (\alpha B-\beta A) \sin \beta t] - \frac{\varepsilon^{-\gamma t}}{\delta(\gamma^2+\delta^2)(C^2+D^2)} \times [(\gamma C+\delta D) \cos \delta t + (\gamma D-\delta C) \sin \delta t]$$

$$\text{ここに } A=2\beta(\alpha-\gamma), \quad B=\alpha^2-\beta^2+\gamma^2+\delta^2-2\alpha\gamma, \\ C=2\delta(\gamma-\alpha), \quad D=\alpha^2+\beta^2+\gamma^2-\delta^2-2\alpha\gamma.$$

風冷式, 密封型イグナイトロン整流器 (製鉄向直流電動機用)

伊丹製作所 加藤 又彦*・室賀 淳*・阪上 茂**
神戸製作所 伊藤 嗣郎*

Air Cooled Sealed Ignitron Rectifiers for Steel Mill Motor Drive

Itami Works Matahiko KATO・Jun MUROGA・Shigeru SAKAGAMI
Kobe Works Tsugio ITO

A six tank unit air-cooled sealed-ignitron rectifier rated at 1,000 kW has been delivered to a steel mill to operate in parallel with a 2,085 kW motor generator. This apparatus is featured with its specific purpose of operating with other machine by overcoming the difference in ratings and characters. Another similar rectifier rated at 322 kW has been completed for the installation in a narrow space of a different mill and is to be operated under a trying condition that the d-c voltage must be maintained constant throughout the changes of load from zero to 150% of the rated value.

1. ま え が き

昭和 31 年, 日重製鋼株式会社, 尼崎工場に帯鋼圧延設備の増強策の一端として 1,000 kW, 550 V, 1,820 A, B 種定格の風冷式, 密封型イグナイトロン整流器を製作納入して同年 9 月より運転を開始した。このイグナイトロン整流器は既設の 2,085 kW, A. E. G. 製の直流発電機と並列運転を行うもので定格の差, 変流機としての性格の相違のある点で運転, 制御上 1 つの特長をもつものである。イグナイトロン整流器は封じ切り型でありかつまた静止器である関係上, 機器の搬入据付より運転開始までわずか数日をいであずして完了した。このように短時日で完了したことは製鉄企業の性格上, 旧設備の更新あるいは増強などのときにとくに有利なことである。また住友金属工業株式会社和歌山製造所向のパイプ, カッタおよびストレイトナ用の直流電動機駆動用定電圧制御方式の 322 kW, 460 V, 700 A, D 種定格の風冷式, 密封型イグナイトロン整流器を製作し立会試験を終了した。このイグナイトロン整流器は工場内小動力用直流電源としての代表的なもので工場内の狭小の場所の一隅に立体的に配置されたものである。

両イグナイトロン変換装置とも風冷式であり, 自動温度調整方式を採用している。前者の尼崎工場の圧延負荷は尖頭短時間負荷の反覆であり, 後者は 0% から 150% の負荷領域にわたって定電圧出力を要求されている。ともに位相制御を常時実施している。この位相制御方式に MAG, AMP を利用した新方式を採用して所望の結果をえたのでこれをご紹介します次第である。

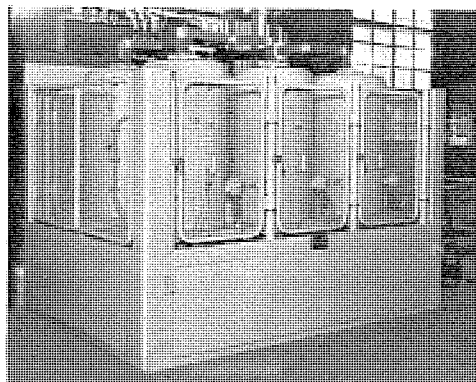
なお製鉄工業向として直流電動機を駆動するイグナイ

トロン整流器の負荷特性と研究試験結果ならびに制御回路方式の概要と同じく試験結果をもあわせて報告せんとするものである。

2. 風冷式, 密封型イグナイトロン

製鉄工業用直流電動機の直流供給電源として最近の水銀整流器が主として使用される。今般帯鋼圧延用主電動機駆動用として 1,000 kW, 550 V, 1,820 A とパイプミル用電動機駆動用として 322 kW, 460 V, 700 A の風冷式, 密封型イグナイトロン順変換器を製作, 納入した。

製鉄工業用であるために負荷の印加状態と出力電圧の制御方式とが在来他種工業のものとその性格を異にするため順変換装置としての設計には特別の考慮を払う必要が生じた。



1 図 風冷式, 密封型 イグナイトロン整流器 1,000 kW 550 V D-C 1,820 A 6 タンク B 種定格

Fig. 1. A 6 tank unit of air-cooled type sealed-ignitron rectifier rated at 1,000 kW, 550 V D-C for steel mill motor drives.

イグナイトロン整流器としては先に発表してある⁽¹⁾風冷式、密封型イグナイトロン整流器となんらかわったことはない。配列も1図に示すように在来の電鉄用イグナイトロンとかわりなく、冷却調整方式もまた同一である。しかし整流器としての定格と過負荷耐量においては負荷の性格上在来の電鉄用または化学工業用イグナイトロン整流器の定格とはやや趣をことにしている。

ア. 選択上の考慮事項と設計条件

直流主電動機駆動用および工場内小動力用としての直流電源装置の設計はつぎの諸条件を満足せしめてしかも経済的に成立するものでなくてはならない。すなわち

(1) 電圧制御をしない水銀アーク順変換装置においては受電電圧が 3.3 kV のときには約 6.0% の電圧変動率による直流電圧値の低下が必然的に存在する。また +5, -10% の電源電圧の変化がある。こうした諸条件を勘案した上でさらに負荷変化を考慮して規定の直流電圧を保持しうるイグナイトロン順変換装置でなくてはならない。

(2) 既設の電動発電機が存在しそれと並列運転するために新設のイグナイトロン順変換器と既設機との負荷分担を適切にする必要がある。

(3) 主電動機駆動のときにその容量が大きければ圧延時の尖頭負荷値は必然的に大きくなり、水銀アーク変換装置を直流供給電源にすれば実効電力と無効電力の尖頭値が交流電源側へ反映し、そのために交流電圧の低下が予想される。

(4) 水銀アーク変換装置の容量が大となれば交流側の高調波電流による誘導障害の発生が考えられる。

(5) 受電電圧の変動、直流側負荷の変化範囲が広汎にわたるときにはイグナイトロン順変換器の電圧制御範囲が大きくなり、よって力率の低下が生ずる、この力率の下限値の補償策を必要とする。

(6) 異種の直流電源装置の並列運転時には両種の機器の特性に対応した保護装置を具備すること。

(7) 運転信頼度がたかく、据付が容易であり、運転、保守が簡易なること。

以上の諸項目が 1,000 kW, 550 V および 322 kW, 460 V の両イグナイトロン順変換装置において考慮された。1,000 kW, 550 V のイグナイトロン順変換器は主電動機駆動用であるため既設の 2,085 kW の電動発電機との並列運転と保護方式の問題が大きくなりあげられた。322 kW, 460 V のイグナイトロン順変換器においては直流出力電圧を 0% 負荷より 150% 負荷の範囲直流電圧 460 V 一定とするための制御方式が問題とされた。順変換装置としての容量は今回は交流系統に対して問題視するほどのものでなかったため (3)(4) の項目は対策を具体化するところまでにいたらなかった。しかし目下製作中のホットストリップ用直流電源としての 3,600 kW, 750 V 級のイグナイトロン順変換器においてはイ

グナイトロン整流器用変圧器の 2 次相数と負荷時電圧調整器、力率改善用コンデンサによって適宜調整する方式が樹立されている。

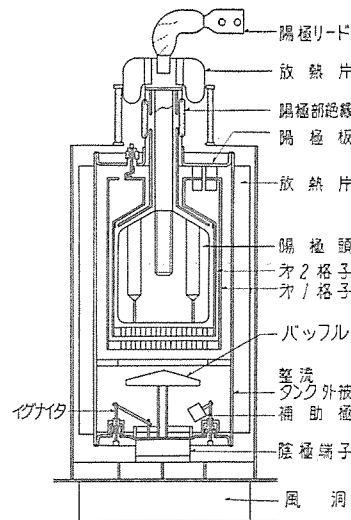
イ. 風冷式、密封型イグナイトロン整流器の仕様

今回のイグナイトロン整流器はともに風冷式のものであり、両者の定格は負荷側の要望と性質によってそれぞれ異なっているが定格容量の決定は主として電圧制御範囲の制限にもとづいて決められた。厳密な意味からすれば冷却条件によってもその容量は左右されるのであるが今回は温度調整はすべて自動制御方式であり、ために冬季の保温は陰極ヒータに依存する設計である。したがって周囲温度の上限値が今回の整流器の定格出力を限定しており、1,000 kW, 550 V のイグナイトロン整流器にあつては既設の電動発電機との並列運転時の負荷の分配率によって 1 つの制限条件が加えられた。

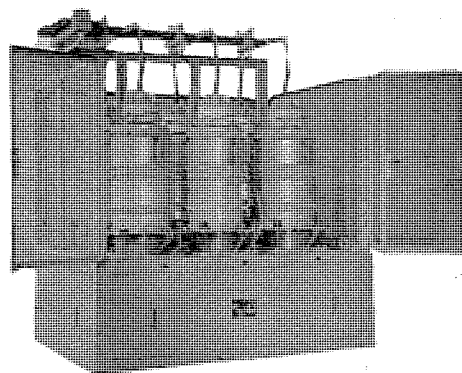
定格出力の決定に関しては考察の項で述べるが今回の風冷式、密封型イグナイトロン整流器は冷却条件と位相制御の度合と負荷の特性の諸条件によって 1,000 kW, 550 V のものは 2,000

kW, 1,500 V 6 タンク方式相当のものを、322 kW, 460 V のものに対しては 750 kW, 1,500 V 6 タンク方式に相当する風冷式、2 重格子構造の密封型イグナイトロンを納入した。

1,000 kW, 550 V イグナイトロン整流器の整流タンクの構造は三菱電機⁽²⁾、30 巻、第 8 号に「風冷式、密封型 3,000 kW, 1,500 V 大容量イグ



2a 図 GZ-22 型風冷式密封型イグナイトロン内部構造
Fig. 2a. Cross sectional view of air-cooled sealed-ignitron.



2b 図 風冷式密封型イグナイトロン整流器 322kW 460V 700A 6 タンク方式 D 種定格
Fig. 2b. A 6 tank unit of air-cooled type sealed-ignitron rectifier rated at 322kW 460V D-C for steel mill motor drives.

1 表

納入先	定格出力 (kW)	直流電圧 (V)	直流電流 (A)	タンク数	定格の 種類	全重量 (kg)	外形寸法			
							横長 (mm)	縦長 (mm)	高さ (mm)	
日産製鋼 尼崎工場 (昭和 31 年 9 月)	1,000 (風冷式) (密封型)	550	1,820	6	B 種定格 125% 2 時間 1 分間 (2 重格 子構造)	4,400 整流タンク 1 タンク 530	2,800	1,960	2,300	2,085kW の M-G と並列運 転
住友金属 和歌山工 場 (昭和 32 年 2 月)	322 (風冷式) (密封型)	460	700	6	D 種定格 150% 2 時間 1 分間 (2 重格 子構造)	1,500 整流タンク 1 タンク 120	1,800	1,300	2,010	パイプミ ル用モー タ駆動用 直流電源 定電圧制 御方式

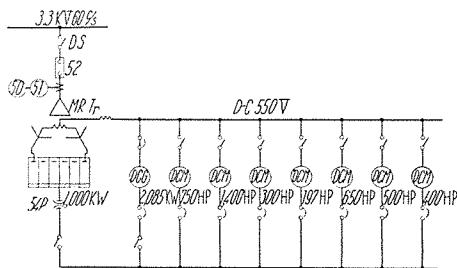
ナイトロン整流器の完成」と題して詳述してあるのでここでは省略する。322 kW, 460 V イグナイトロン整流器の整流タンク構造は 2 a 図に示すように特定の円筒状タンクに陽極板と陰極板とを挿入して溶接したものであり、構造簡単で 1 整流タンクあたりの電流容量が大きい特長がある。

1 表はこれらの 2 種類の整流器の諸元を表にしたものである。

このイグナイトロン整流器は既設の工場内の一隅に配置するため整流器と制御盤類を立体的に配列したことが 1 つの特長である。2 b 図は 6 整流タンクの配列を示したものである。

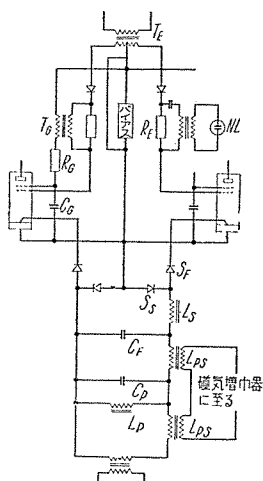
3. 制御回路

A. 負荷平衡制御



3 図 主回路接続図

Fig. 3. Single line wiring diagram.



T_F 点弧変圧器
 L_{PS} 移相リアクトル
 L_P 並列リアクトル
 C_P 点弧コンデンサ
 L_S 飽和リアクトル
 T_E 補助変圧器
 T_G 格子変圧器

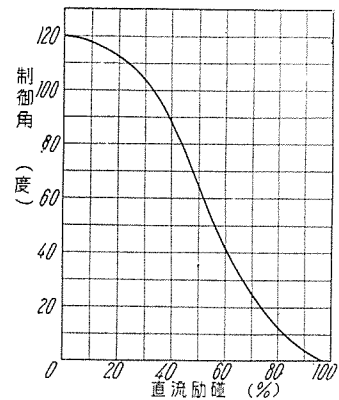
4 図 点弧および格子回路
Fig. 4. Excitation and grid circuit.

1,000 kW のイグナイトロン整流器は 3 図に示すような主回路接続になっており、帯鋼の種類により必要な圧延電動機が共通母線に接続される。イグナイトロン整流器の容量は直流発電機の約半分であるから、イグナイトロン整流器は常に直流発電機の 1/2 の電流を流すような制御方式を採用している。この点従来製鉄工業部門でよくおこなわれている自動電圧調整器を備えた直流発電機との並列運転と異なりもっとも簡単な制御方式である。

イグナイトロン整流器の点弧回路および格子回路の 1 相分を 4 図に示す。この点弧回路は 2 個の移相リアクトルを図示のように配置することにより、120 度の位相制御が可能であるので回転型移相器を使用していないのが特長である。したがって移相リアクトルの直流励磁電流を零から 100% まで変化させると、イグナイトロン整流器の出力電圧も零から 100% まで円滑に調整することができる。5 図はこの移相回路の位相特性である。直列飽和リアクトルの鉄心には冷間圧延した鉄ニッケル合金を使用しているので、イグナイトパルスの波形はきわめて尖鋭であり位相制御を行うのに最適である。

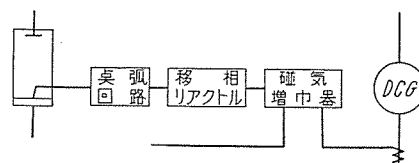
格子回路は 4 図に示すように第 1 格子を補助極として使用し、半サイクルの期間電弧電流を流して陰極点を保持している。この回路抵抗の端子電圧を利用して毎サイクル、ネオンランプを点燈させ点弧表示を行っている。第 2 格子には 4 図に示すようにバイアス電圧が格子変圧器 2 次巻線を通して印加されており、格子変圧器は第 1 格子がピックアップすれば 2 次電圧を誘起するように接続されている。したがって点弧回路により陰極点的形成され、続いて第 1 格子がピックアップするまでは第 2 格子は負電位になっている訳で、電源電圧の変動が大きくまた起動、制動をかなり頻繁に行う場合には大きい位相制御率をもって運転される機会が多いので、このような格子回路は通弧防止の点で好適なものである。

主回路の短絡または逆弧のため高速度過電流継電器 (50) が作動した場合には、50 の接点により点弧回路を開路すると共に格子にはバイアス電圧が残るので、イグ



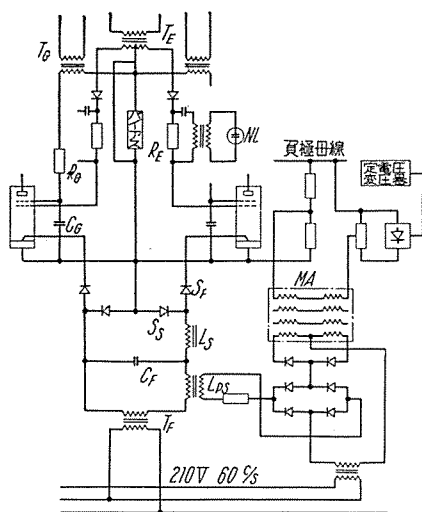
5 図 移相特性

Fig. 5. Phase shift characteristics.



6 図 負荷平衡制御回路

Fig. 6. Load balancing by magnetic amplifier.



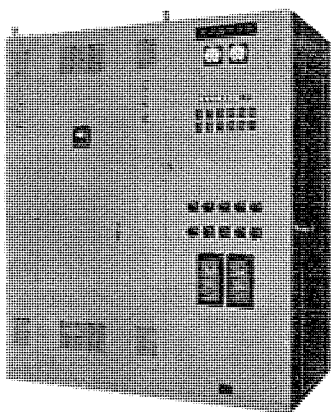
7 図 点弧, 格子および定電圧制御回路
Fig. 7. Excitation grid circuit and automatic voltage regulator.

ナイトによる点弧を中止するのみならず格子遮断を併用していることになり確実に消弧が行われる。

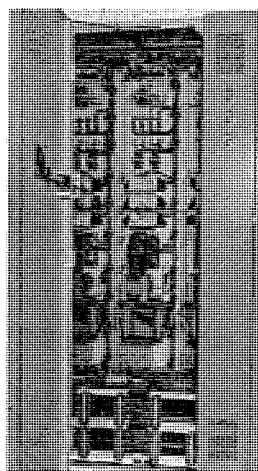
6 図に負荷平衡制御のブロックダイアグラムを示す。図に示すように直流変成器を用いて直流発電機をイグナイトロン整流器の電流に比例した直流電圧をとり出し、この両者の差電圧を磁気増幅器により増幅し点弧回路の移相リアクトルの直流励磁を制御している。磁気増幅器の周波数は 60 サイクルで電源には定電圧装置を設けてある。

圧延機を停止する場合は制動電流が発電機に流れるので、発電機用の直流変成器には極性のあるものを使用した。

21図は現地に据付られた制御装置の図で、左から整流器盤、整流器制御盤を示す。整流器制御盤においてイグナイトロン整流器の温度制御などの起動準備操作を行い、整流器盤で整流器用変圧器のタップ切換、遮断器の投入および引外し等一切の運転および監視が行われるようになっている。



8 図 イグナイトロン整流器制御盤
Fig. 8. Ignitron rectifier control cubicle.



9 図 制御盤の内部
Fig. 9. Inside view of control cubicle.

イ. 定電圧制御

パイプミル用イグナイトロン整流器は4台のパイプカタと1台のストレイトナの電源として使用されるもので、無負荷から150% 負荷まで460 V 一定になるように制御している。

イグナイトロン整流器の点弧回路および格子回路の 1 相分を 7 図に示す. この点弧回路は移相リアクトルが 1 個だけ用いられており, それ以外はすでに述べた点弧回路と同様である.

格子回路は7図に示すように通常の電気鉄道用イグナイトロン整流器の格子回路とまったく同様である。

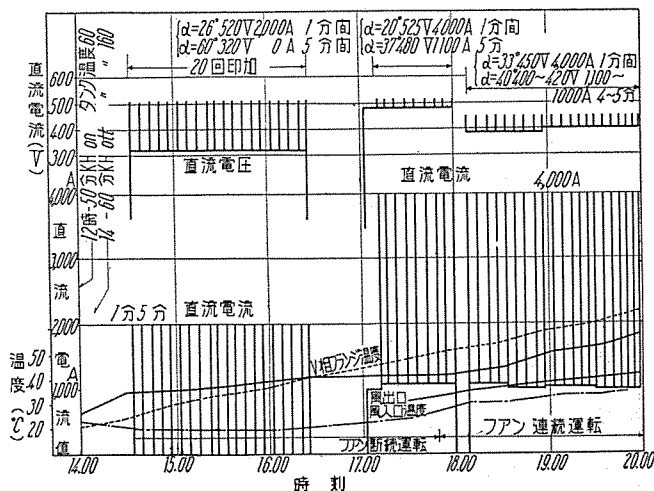
定電圧制御回路は図に示すように直流母線電圧を分圧して基準電圧と比較し、差電圧を磁気増幅器により増幅し移相リアクトルの直流励磁を制御している。基準電圧としては定電圧変圧器の2次電圧を整流・平滑した直流電圧を使用している。磁気増幅器の電源は210 V 60 c/sで電源電圧の変動が比較的少く(±5%)制御誤差の要求値も1%であるので、定電圧装置を使用せず制御電源をそのまま用いている。

イグナイトロ整流器制御盤の正面および内部をそれぞれ8図および9図に示す。写真に示すように各器具の端子はすべて正面に向いており、保守点検に便利な構造になっている。

4. 試 験

ア. イグナイトロン整流器負荷試験

上述の 1,000 kW, 550 V および 322 kW, 460 V の各イグナイトロン整流器はそれぞれ 1,500 V, または 600 V 直流電圧に相当した定格出力にて型式試験が行われており, その定格出力は制御率零パーセント, 冷却条件としては周囲温度の下限 20°C, 上限 40°C の範囲で保証されている. 前者の 1,000 kW, 550 V イグナイトロン整流器は 2,000 kW, 1,500 V 6 タンク方式の E 種定格 (300%



10 図 風冷式密封型イグナイトロン負荷試験
1,000kW 550V 1,820A 6タンク
Fig. 10. Load test of a 1,000kW 550V D-C 6 tank
unit air cooled type sealed ignitron.

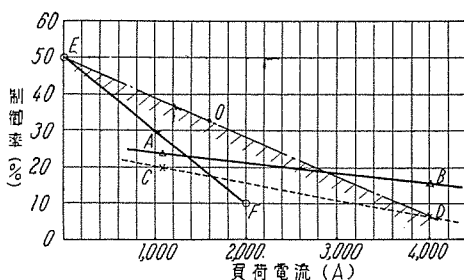
1 分間負荷を 5 分間隔に 10 回印加して逆弧の発生および整流タンクになんらの異常をも発生せしめないものに合格したものである。

今般工場内においてミルモータ駆動用イグナイトロン整流器としての定格出力の限度を推定するための等価試験を逆変換器を負荷として行った。その結果を図示したものが 10 図であり、試験条件と方法は 2 種類にわかれていて基底負荷がないときとあるときの 1 分間尖頭負荷耐量を 220% 負荷において試験している。

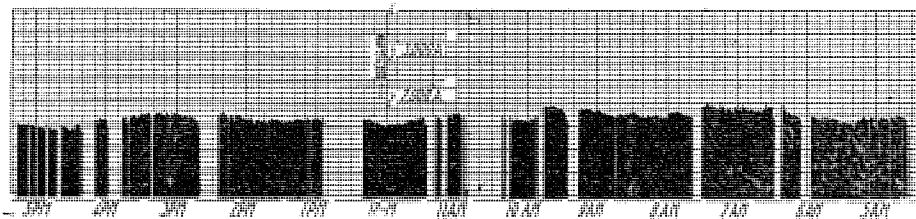
最初の試験は低温時の起動特性を確認するため整流タンク温度 16°C で陰極ヒータを人為的に開放した。その状態で 2,000 A, 520 V, $\angle\alpha=26^\circ$ ($\frac{2,000 \text{ A}}{1,820 \text{ A}}=110\%$ 負荷) の尖頭負荷を 5 分間隔に 1 分間、無負荷の状態から反覆印加したものである。ついで 1,000 A の基底負荷より 4,000 A ($4,000 \text{ A}/1,820=220\%$) 負荷を 5 分間隔に 1 分間ずつ反覆印加して逆弧の発生の有無を検討したものである。このとき尖頭負荷時 (4,000 A) には制御角 $\angle\alpha$ が 20~33° の状態で、制御率に換算すれば 6~16% の範囲である。1,000 A の基底負荷時には制御角 $\angle\alpha=40^\circ$ であり制御角にして 24% である。10 図に示した試験によって被試験器の制御可能な範囲が明示されたことになる。11 図はこれらの関係を図解したものであり、設計者としては \overline{DE} の直線によって区分される領域が制御する範囲であると結論する。

よってこの被供試イグナイトロン整流器の定格電流制御率は 30% であるということが推定でき、20% という数値は確実に保証する制御率であるといえる。

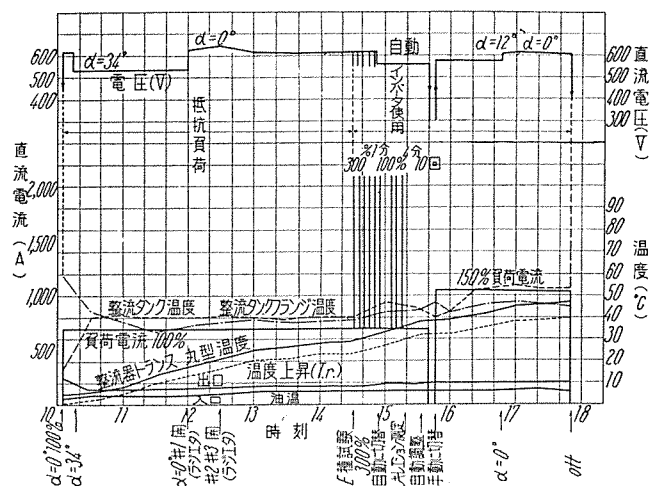
温度上昇試験、真空度探知試験などは既納の風冷式、密封型イグナイトロン整流器と同一であるため本文では



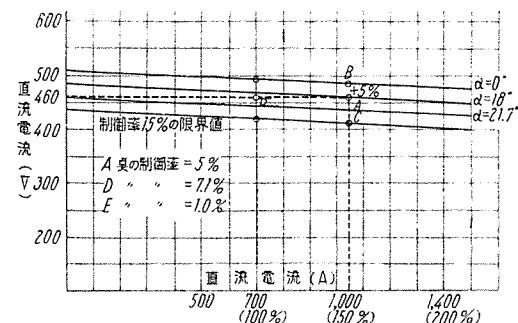
11 図 位相制御の範囲と 1 分間負荷電流関係曲線 (1,000 kW, 550 V, 1,820 A 風冷式密封型イグナイトロン整流器)
 \overline{DE} は限界線を示す。AB は裕度線を示す。
Fig. 11. Relation curves of the degree of phase control with load current.



12 図 1,000 kW 550 V 風冷式イグナイトロンによる帯鋼圧延時の負荷の一例
Fig. 12. An example of load charts of 1,000 kW, 550 V D-C, air cooled type sealed ignitron for mill motor drive.



13 図 住友金属和歌山製造所納 322 kW 460 V 700 A 風冷式密封型イグナイトロン負荷試験
Fig. 13. Commercial load test of a 6 tank unit of air cooled type sealed ignitron rated at 322 kW, 460 volt D-C.



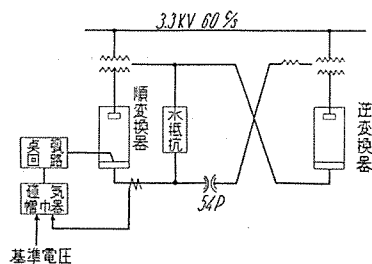
14 図 直流電圧—電流特性曲線
Fig. 14. D-C voltage-D-C ampere characteristic curves.

省略する。

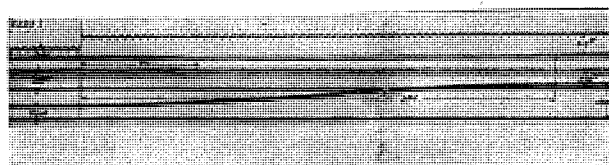
上記の工場内試験を終了して出荷し、日亜製鋼、尼崎工場に据付してより数日をいであずして運転を開始した。実負荷運転の代表的負荷曲線を示せば 12 図のとおりである。

同図によれば昭和 31 年 11 月 15 日午前 5 時より午後 5 時の間、1,500~1,800 A の尖頭負荷が規則的に印加されている。受電電圧の変化は 10% 程急変することがあると整流器の出力直流電圧は急変するが並列運転の電動発電機は急変しないため負荷の平衡を維持せんとして制御率の保証値を超過することがある。しかし 11 図に示したように制御率に余裕があるため満足な運転が行われている。

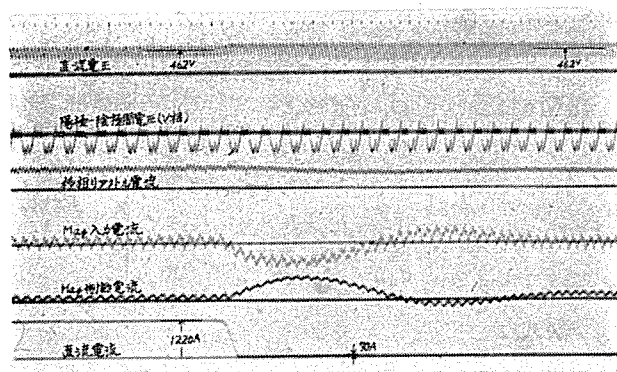
住友金属、和歌山工場へ納入したパイプミル用直流電動機駆動用の 322 kW, 460 V, 700 A 6 タンク方式の風冷式、密封型イグナイトロン整流器についての負荷試験は 13 図に示すように実施した。300% 1 分間の負荷を 10 回印加している。その内 5 回は定電圧装置をいかにして運転している。定電圧制御とは 14 図で \overline{ADE} の電圧を常



15 図 試験回路
Fig. 15. Test circuit.



16 図 負荷平衡制御試験記録
Fig. 16. Load balance test oscillogram.



17 図 定電圧制御試験記録
Fig. 17. Constant voltage control test oscillogram.

時保持する方式である。

イ. 負荷平衡制御の試験

直流発電機との並列運転試験はできないため三菱の工場では 15 図に示したような接続回路によってイグナイトロン順変換装置と水抵抗負荷ならびにイグナイトロン逆変換装置とを組合せて行い、電動発電機から与えられる制御信号の代りとして基準電圧を急に变化させてそのときの過渡状態下における自動制御回路の安定度を確認した。16 図はそのときのオシログラムの一例である。この図で上から磁気増幅器入力電圧、直流電圧および直流電流の波形を示している。直流電流の立上りの緩慢なのは逆変換装置回路にリアクトルが挿入されているためである。

ウ. 定電圧制御の試験

定電圧制御の試験も 16 図と同様な接続回路によって行い、主回路の直流高速度遮断器を開閉することにより負荷電流を 10% から 150% の間変化させて実施した。

17 図はそのときのオシログラムの一例であって直流高速度遮断器を開放することによって負荷電流を 150% から 10% まで急に減少させたときの試験結果である。

5. 考 察

以上は製鉄工業における直流電動機駆動用イグナイトロン整流器の納入実績を有するものについての工場試験

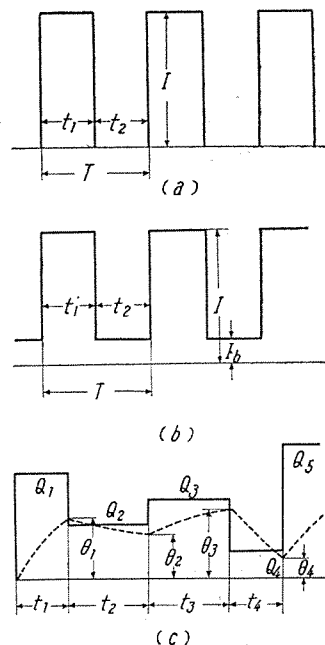
実負荷運転ならびに概要の記述であるが新分野への進展のためいまだ一度、設計内容と運転実績とを照合しながら検討してみよう。

直流電動機駆動用イグナイトロン整流器は今回のように既設の直流電動発電機と並列運転を要求され、旧設備更新方策の一部を形成するときと直流電動機の回転速度を直流負荷の変化、受電電圧の変動のいかにかわからず常に定常値に保持する目的でイグナイトロン整流器の直流電圧調整法の迅速性をかわれている場合とがある。

ミルの種類によって負荷の性格と電圧制御方式がわずかながら異なることは当然である。

こうした場合一般的にいて水銀アーク順変換装置の定格出力を決定する主要々素は位相制御の度合と負荷電流値であり、直流電圧、冷却条件などは直流電動機の設計にも関連することであって 2 次的要素と考えてよからう。しかし一度選定した直流電圧値を 0% 負荷から 200% 負荷の間、受電電圧の変動、交流系統の諸条件を勘案して確保し、しかも経済的な順変換装置を構成することは口でいって安易なことではない。1,000 kW, 750 V 級のイグナイトロン順変換装置は負荷時電圧調整器なしで相間リアクトル付 6 相 2 重星形結線方式の変圧器 1 台と 6 タンク方式で変換単位を構成する順変換装置とし、整流タンクは 1,500 V 級の設計のものを採用した。これは飛躍逆電圧 (e_r)⁽⁴⁾、終期転流率 (di/dt)⁽⁴⁾ の責務をはたすための必要条件であり、電圧制御と負荷時間率 (k) との理論的関連性をもたすためにも必要なことである。

実負荷運転で経験した受電電圧の急変は約 10% であった。これについての電圧制御の度合、整流器用変圧器のタップの選定、力率の低下、イグナイトロン整流器の定格出力、電動発電機との並列運転の諸種の問題が発生するが電圧制御は 12 図に示した特性曲線より満足すべき性能が賦与された。力率の低下は最初の設計予想と大差はなかった。この問題は一般的にいてイグナイトロン順変換装置の設備容量と受電容量に依存し、順変換装置の台数により、相数をまして解決できる問題であり、外国の実例では 2,000~3,000 kW 以上 10,000 kW までは 12 相とすべきであると報告している。かかる問題は変電所と外部諸条件によって著しい差を生じ、確然としない



18 図 イグナイトロン整流器の負荷の種類
Fig. 18. Kinds of load current.

性格の問題であるため今後の研究課題である。

つぎは 2,085 kW の電動発電機と 1,000 kW イグナイトロン整流器との並列運転の問題である。前者の電圧変動率と容量はイグナイトロン整流器のそれと異なっているため安定な並列運転を行うためにはイグナイトロン整流器の電圧制御に依存した負荷分配法を採用せざるをえない。これが増設の整流器容量が既設の電動発電機容量より大きいときにはまた別の負荷分配方法が与えられる。この点で今回の並列運転は技術上の 1 つの課題を解決したことになった。

日亜製鋼，尼崎工場の例のようにイグナイトロン整流器に印加される負荷が規則的に反復されるときには整流器の定格が冷却条件によってかなり差を生ずる。これを考察してみよう。

18 図はイグナイトロン整流器の負荷状況を示した代表図である。すなわち

- (1) 18 図 a は負荷時以外は無負荷状態であるとき。
- (2) 18 図 b は基底負荷が若干あるとき。
- (3) 18 図 c は変動負荷を示したもの。

以上の場合についてイグナイトロン整流器の負荷時間率 (k) と温度上昇 (θ) との関係式はつぎようになる。

$$k = \frac{t_1}{T} = \frac{T - t_2}{T} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$i = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_b^2 t_2}{T}} = \text{実効電流値}$$

$$i/I = \sqrt{k + N^2(1-k)} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$N = I_b/I \quad \dots\dots\dots(3)$$

T = 負荷反復周期, t_1 = 負荷された時間

I = 負荷電流, I_b = 基底負荷電流

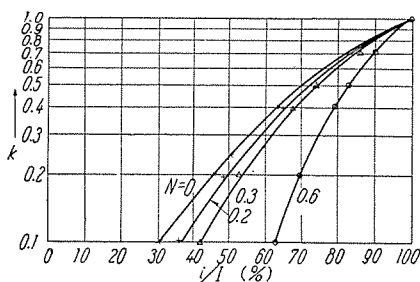
i = 実効電流値 (この値は各周期の整流タンク内発熱量と等価なものとする)。

19 図は i/I のパーセントと k, N 間の関係曲線であり、 k と N との数値によってイグナイトロン整流器の負荷状況と冷却すべき条件がわかる。

ミルモータ駆動用においては $k=0.1\sim0.7$; $N=0.02\sim0.6$ 程度であるが $N=0.02\sim0.2$ の間においては大きな冷却上の差は生じない。

また冷却装置の冷却条件を一定不変としたときの整流タンク温度上昇を計算すると次式となる。

整流タンク器壁上の任意の 1 点の温度—時間変化関係



19 図 負荷時間率 (k) と負荷電流との関係曲線
Fig. 19. The relation curves between k and i/I .

式は(4)式である。

$$M \frac{d\theta}{dt} + \alpha \cdot F \cdot \theta = Q \quad \dots\dots\dots(4)$$

初期条件を入れて解けば次式をうる。

$$\theta = (\theta_m - \theta_1) \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t}{z}\right) \right\} + \theta_1 \quad \dots\dots\dots(5)$$

θ = 温度上昇 θ_1 = 冷媒温度
 M = 整流タンク熱容量 α = 表面熱伝達率
 F = 整流タンク表面積 Q = 整流タンク発熱量
 t = 時間

同様にして

$$\theta_1 = \theta_{m1} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t_1}{z}\right) \right\} \quad \theta_{m1} = \frac{Q_1}{\alpha \cdot F}$$

$$\theta_2 = \theta_1 \exp\left(-\frac{t_2}{z}\right) + \theta_{m2} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t_2}{z}\right) \right\} \quad \theta_{m2} = \frac{Q_2}{\alpha \cdot F}$$

$$\theta_3 = \theta_2 \exp\left(-\frac{t_3}{z}\right) + \theta_{m3} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{t_3}{z}\right) \right\} \quad \theta_{m3} = \frac{Q_3}{\alpha \cdot F}$$

$$\left. \begin{aligned} 18 \text{ 図 c において } Q_1 = Q_3 = Q_5 = \dots\dots\dots = Q \\ Q_2 = Q_4 = Q_6 = \dots\dots\dots = 0 \\ t_1 = t_3 = t_5 = \dots\dots\dots = t_1 \\ t_2 = t_4 = t_6 = \dots\dots\dots = t_2 \\ \theta_{mn} = \frac{Q}{\alpha \cdot F} = \theta_m \end{aligned} \right\} \text{とすれば}$$

一般式は

$$\theta_{(2n+1)} = \theta_m \left[1 - \exp\left(-\frac{t_1}{z}\right) \times \frac{1 - \exp\left\{-\frac{t_1+t_2}{z}(n+1)\right\}}{1 - \exp\left(-\frac{t_1+t_2}{z}\right)} \right] \quad \dots\dots\dots(6)$$

すなわち最終的には $n=\infty$ として

$$\theta_\infty = \theta_m \frac{1 - \exp\left(-\frac{t_1}{z}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{t_1+t_2}{z}\right)} = \frac{t_1}{t_1+t_2} \theta_m \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$= k \cdot \theta_m$$

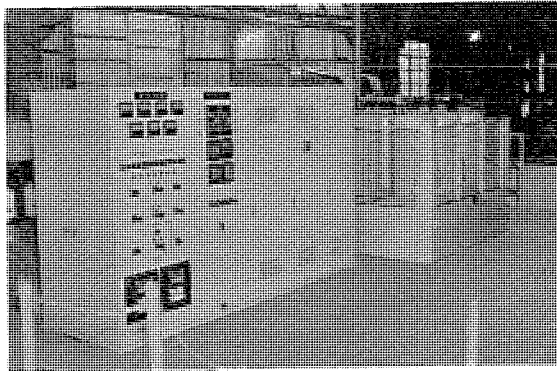
$$= k \cdot \frac{Q}{\alpha \cdot F} \quad \dots\dots\dots(8)$$

よって k の値が小さい負荷状況下では過冷の状態におちいることがありうる。しかし整流器の定格は尖頭負荷電流値 (I) に左右される。すなわち整流タンク内水銀蒸気圧の逆電圧耐量は安定運転の限界を規定する。よって (9) 式の関係为满足せしめるように温度制御する必要がある。

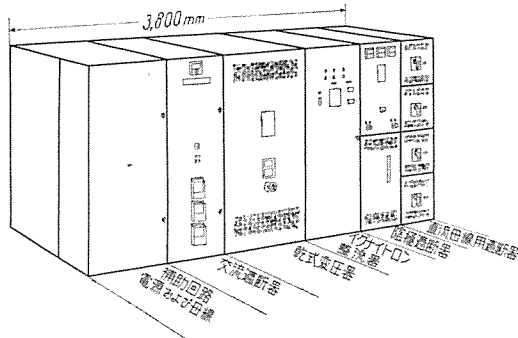
$$\text{電極間破壊電圧 (V)} = K \cdot \theta^{-2} \quad \dots\dots\dots(9)$$

K = 常数

最近自動制御方式が発達し生産工程がそれにとまって高速度化されてきた。このため制御回路の故障はたとえそのものが僅小なものであっても生産を阻害する。このような観点からすれば制御系に使う増幅器としては構造が頭丈で保守の簡易なものをもっとも望ましい。とくに上記の負荷平衡制御や定電圧制御のように制御の精度が厳しく要求されないときには有利である。応答速度に



20 図 1,000 kW 550 V 1,820 A 6 タンク風冷式密封型イグナイトロン整流器
Fig. 20. Front view of a 6 tank unit of air cooled type sealed ignitron rated at 1,000 kW 550 V D-C.



21 図 代表的イグナイトロンユニット変電所
Fig. 21. Typical arrangements of ignitron unit substation.

ついても 100% 以上の負荷変化に対して約 10 サイクル以内で復元していることが 17 図によって示されている。実用上はこれではしつかえない。しかし定電圧制御方式の精度についていまだ一度検討してみよう。

14 図の直流電圧—直流電流特性曲線において次式の電圧低下率は水銀アーク変換装置として固有のものである。

$$E_{du} = \text{直流電圧} \\ = E_{do} \cos \alpha - e_a - e_r - e_x \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$(10) \text{ 式において } \left[\begin{array}{l} \alpha = 0 \\ \frac{e_a + e_r + e_x}{E_{do}} = \frac{X}{E_{do}} \times 100\% \\ D \text{ を系統の電圧変動として } E_{do} \text{ の } \% \text{ で示す。} \end{array} \right] \text{ とすれば}$$

$$E_{du} = E_{do} \{1 - (X + D)\} \quad \dots\dots\dots (11)$$

定電圧制御方式の精度 (S) は次式で示される。

$$S = X \frac{E_{do}}{E_{du}} \left/ 1 + \left(\frac{\Delta E}{\Delta I} \right) \left(\frac{I}{E_{du}/E_{do}} \right) \right. \quad \dots\dots\dots (12)$$

e_a = アーク電圧 e_r = 抵抗降下
 e_x = リアクタンス降下 E_{do} = 無負荷時直流電圧
 $\Delta E = E_{do}$ の単位変化 $I = E_{du}$ における磁気
 $\Delta I = I$ の 増幅器入力電流値

14 図と 5 図との関係は (12) 式によって説明される

ものである。

制御回路の移相リアクトルはわずかの直流励磁の変化によって相当大きい移相角度をうる事ができるので今回製作した移相リアクトル制御電力はわずかに 15 W 程度にすぎない。イグナイトロンは制御電力が大きいという定説を否定した結果の立証である。

将来工場内電源用イグナイトロン順変換装置としては 20 図に示すような配列のものもあろうが、さらに一步すすめて 21 図に示すキュービクル型の液冷式順変換装置として小形なものとする事も考えられる。

6. む す び

今回製作した帯鋼圧延用イグナイトロン整流器およびパイプミル用直流電動機駆動用直流電源としての整流器は風冷式であり、位相制御の限界域とその制御方式において新方式を採用して速応性の点で実用性を立証した点が注目に価する。ことに定格出力の差のある電動発電機と並列運転している点も記録されるべき事項である。

この並列運転に関しては日亜製鋼、林次長はじめ各位のご協力ご指導により完成しえたことを本紙をかりて御礼申上げる次第である。またこの種密封型整流器による直流電動機の駆動方式は水銀整流器の応用分野を拡張させ、その将来性に大きな期待をもたせた点は有意義であった。

当社も今回を契機としてさらに一層の研究と開発に尽力するとともに保守、指導の面においても各界のご期待にそうべくご奉公する次第である。

参 考 文 献

- (1) 三菱電機、第 29 巻 第 3 号 加藤
「風冷式、密封型イグナイトロン整流器」
- (2) 三菱電機 第 30 巻 第 8 号 加藤、室賀、塚本、坂上
「風冷式密封型 3,000 kW, 1,500 V 大容量イグナイトロン整流器の完成」
- (3) 昭和 31 年電気関係学会関西支部連合大会 加藤
「液冷式、密封型イグナイトロン整流器の特性について」
- (4) 三菱電機 第 27 巻 第 2 号 加藤
「イグナイトロン整流器の運転実績」
- (5) A. I. E. E. Transaction Paper 56~173
J.L. Boyer & A.P. Colaiaco 「Sealed Ignitron Principles Extended to Larger Tubes」
- (6) E.T.Z.-B. Heft 4 April 1956 S. 113~115
W. Kleinmann 「Rumpfenlose Eisenstromrichter für Industrie-Regelantriebe」
- (7) Electrical systems for hot strip mills R.E. Marrs.
Iron and Steel Engineer, Feb. 1954
- (8) Amplistat regulators for power rectifiers,
M. J. Mulhern G.E. Rev. May, 1951

接 触 変 流 機

伊丹製作所
研 究 所

塚本昭三*・清田浩*・細野勇*・鈴木一男**
岡 久 雄***

Tests on Contact Rectifiers

Itami Works Shozo TSUKAMOTO・Hiroshi KIYOTA・Isamu HOSONO・Kazuo SUZUKI
Engineering Laboratory Hisao OKA

Recently highly efficient contact rectifiers have been produced and employed for a low voltage high current d-c source. They have come to find their use in the field of electrochemical industry and metal refining. Coping with this trend the company has been manufacturing for trial a number of contact rectifiers and has lately completed a unit rated at 130 volts 10,000 amp. as a result of cooperative study with the Mitsubishi Metal Mining Company. After varied tests it has been proved to be the most appropriate d-c power source for low voltage high current except the drawback of small instant overload capacity. Its efficiency is much higher than conventional converters with less complication in the operation.

1. ま え が き

近年低電圧大電流直流電源として高能率を示す接触変流機が多数製作され、電気化学用、金属精煉用としてその進出は著しいものがある。三菱電機ではこの傾向に対処し、電磁振動式および機械振動式の両方式につき研究試作を行ってきたが、今回三菱金属鉱業のご厚意に基づき協同研究を計画、130 V、10,000 A 機械式接触変流機を試作し、試験計画の第一段階としての工場試験を完了した。もちろん最終的結論は長期にわたる実負荷試験をまたなければならないが、これは後の機会に譲り、一応各機器と工場試験の概略を報告する。

2. 装置の概要

本変流機の容量は、130 V、10,000 A で低電圧大電流であるため主回路は相間リアクトル付 2 重星形結線を採用し、6 転流リアクトル方式とした。受電々圧は 20、10 kV 両用とし、高圧側には起動抵抗が挿入してある。

変流機用変圧器は電圧調整の一助として負荷時電圧調整器を付し、直流電圧にして 50~130 V 間を 32 段階の調整を行いうるようにした。この電圧調整器のタップ間は転流リアクトルの予備励磁による磁気的 α 制御で揃い、共に自動制御を行っている。

転流リアクトルは 6 個とし、鉄—ニッケル鉄心を使用した。本変流機は試験機であり、また負荷も比較的安定なものと予想して、接触期間の自動調整は考慮せず、むしろ転流リアクトルによる扁平期間を十分長く設計してこれをカバーするようにした。このとき、能率、力率および電圧変動率の低下は避けられないところである。

転流リアクトルと変流機本体間に短絡器が設けられるが、この制御に最初差動リアクトル方式を用いたが、こ

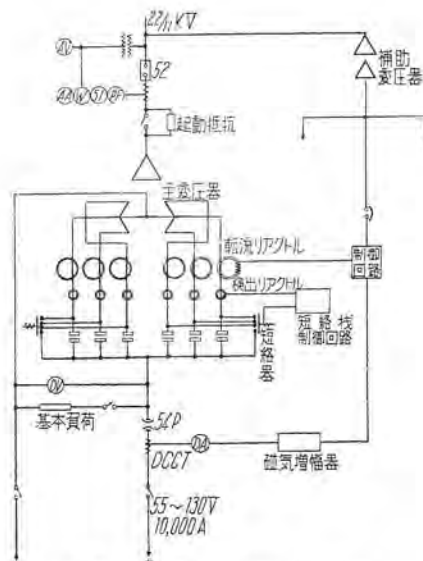


図 1 130 V、10,000 A 主回路
Fig. 1. Main connection of 130 V, 10,000 A contact rectifier.

の方式は動作時間が比較的長く、誤動作も生じ易いため、各相に検出リアクトルを挿入した逆流検出方式に改めた。

本装置は大電流用であるため相間リアクトルの励磁電流が比較的大きく、したがって安定に起動するためには基本負荷も大きくなったが、これは負荷の接続後は自動的に開放されるようになっているため負荷時の損失にはならない。この点、基本負荷はまた運転前の調整用負荷としても役立つものである。

負荷はその逆起電力を考慮して、高速度遮断器を経て変流機から給電される。この負荷電流は DCCT により転流リアクトル制御回路に饋還され、自動定電流制御の入力信号となる。

以上の点から、運転に際しては最低直流電圧で基本負

荷に給電し、その後直流遮断器で負荷を接続し、手動で変圧器タップを上昇し、所定の電流値の近傍で自動に切替える方式となる。この起動時、基本負荷に給電しているときにも転流リアクトルが十分大きいので、接点開路位置が扁平段から外れることはない。しかし後述するように、本試験で使用した側路方式では起動時の接点火花を避けることは困難である。

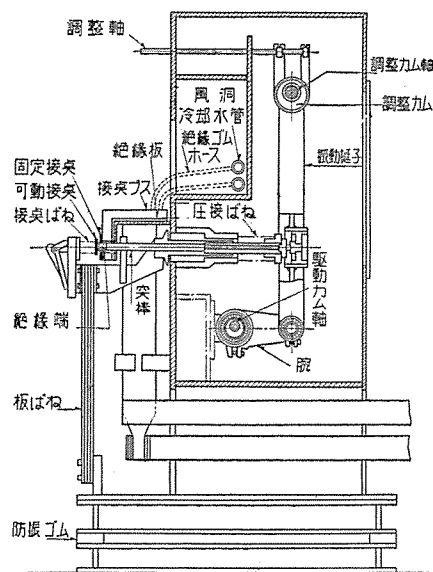
なお短絡器が動作したときは、連動により電源の油入遮断器、負荷側の高速度遮断器を解放する。

3. 接触変流機

その構造の概略は2図に示され、外観は3、4図のようである。

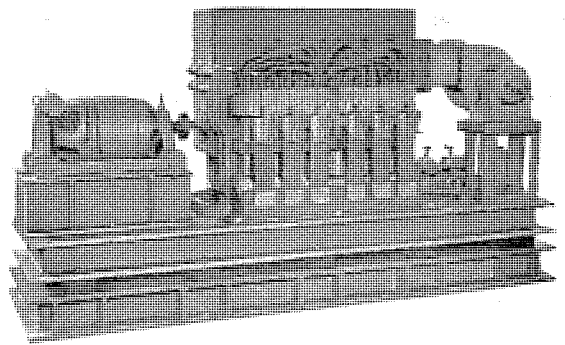
最近の傾向から horizontal type とし、いわゆる突棒は接点側の一端を板ばねで支持し、他端は鋼球を介して調整軸に懸垂した振動挺子にばねにより圧接せしめて水平に保持し、この振動挺子を駆動カム軸により振動せしめ、それにより突棒を水平に往復運動させる構造とした。このことは摺動部を上記鋼球に局限する利点をもつ。しかしこの方式では可動部分の質量が大きくなり、突棒の運動を 60 サイクルに追従させるためには軽合金を使用しなければならなかった。また突棒の運動は振動挺子と板ばねで支配され、一方振動挺子と板ばねは別個に枠組に支持されるため、両者の運動方向が正確に一致するように、その取付には細心の注意が必要となる。これを怠るときは、可動接点の固定接点への片着きを生じ、2重遮断の利点を失い、またはなはだしいときには接触不良、接触面積の不足を来す。なお上記鋼球は裏面に面しているため、その点検、交換は容易である。

突棒に運動を伝える振動挺子は上端で調整用カムに懸垂し、下端では駆動カム軸に連結されている。したがって本機の可動部は2分され、ばねにより自然振動を行う



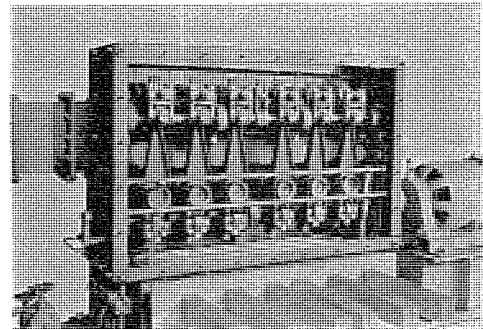
2図 構造略図

Fig. 2. Sectional view of contact rectifier.



3図 接触変流機前面

Fig. 3. Front-view of contact rectifier.



4図 接触変流機背面

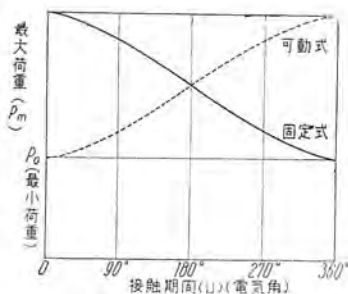
Fig. 4. Rear-view of contact rectifier.

突棒関係と、駆動カム軸により強制振動する振動挺子よりなる。駆動カム軸の支持部と、駆動カム軸と振動挺子との連結部には、砲金製リテーナをもつ調心型ローラ・ベアリングを使用している。

調整用カムはその回転により、振動挺子の振動軸を変位して接点の接触期間を調整するのに使用する。

可動接点を固定接点へ圧接する接点ばねは、その固定端は上記突棒と連結されている。したがって接点ばねの支持端は突棒と同じ運動をするが、一方、接点ばねの他端は可動接点を保持し、これは突棒先端または固定接点によりその位置が決定される。それゆえ、接点開路中は接点ばねの両端は同じ運動をなし、接点ばねは所定の最小圧力相当の寸法に保持されている。可動接点が固定接点に接触すると接点ばねの接点側の一端はその運動を停止するが、他端はなお突棒と同じ運動を継続する。したがって可動接点が固定接点に接触すると同時に接点ばねの圧縮が始まり、接触期間の中央で圧縮は最大となり、その後は再び圧縮は減少し始める。すなわち、接触圧力は接点閉路直後、開路直前に最小で、その中央で最大となる。これに対してばねの一端を枠組に固定する方式では、接点ばねの圧縮は接点接触期間中最小、接点開路中に最大を経過することになる。前者では接点ばねの荷重は最大接触圧力を超えることはなく、後者では接触圧力が接点ばねの最小荷重となる。それだけ接点ばねの設計条件は前者のとき緩和されることとなる。しかしこのときも、接点閉路時、開路時の接触圧力はむやみに小さくすることはできないから、接触期間が長くなるときには、

前者ではそれに応じて最大接触圧力、したがってばねの最大荷重は増し、逆に後者ではばねの最大荷重と使用接触圧力の差は減少するから、上記のような利点は薄れてくる。



5 図 接点ばねの荷重

今接点ばねのばね定数を K 、駆動カムによる突棒の運動の振幅を δ 、接触期間を U とすると、最大荷重 P_m と最小荷重 P_0 との関係は

$$P_m = P_0 + K \cdot \delta \left(1 \pm \cos \frac{U}{2} \right)$$

となる。ここに $+$ 符号は一端固定式、 $-$ 符号は一端可動式のときで、 P_0 は前者では接触圧力、後者では最小接触圧力となる。今 K 、 δ 、 U を等しいとなると上式は 5 図のような傾向となる。

接点ばねの一端を突棒と連絡する構造の今 1 つの大きな利点は、接点接触時のチャタリングの防止にある。すなわち、アナコムで解析した結果によれば、相当広範囲の使用条件（接点閉路速度、ばね圧力、接点材質等）においても、この方法ではチャタリングを起さないことが判明している。したがって設計上チャタリングにあまり拘束されない利点がある。一方この構造では可動接点と固定接点とを 1 つのブロックに形成することは困難であり、可動接点は接点ばねに、固定接点は接点ブスに取付けることとなる。またこのときは接点の交換は可動接点の方がはるかに容易となる。接点材料としては銀タンゲステン合金と銀の 2 種が組合せられるが、消耗、逆弧時の焼損は純銀の方が大きいことから、交換のより容易な可動接点に銀製接点を使用することが有利と考えられる。本試験に使用した接点は、銀タンゲステン合金は銀 45%、硬度は 200~240(Hv)、純銀製は硬度 100~110(Hv) のもので接触面積は約 2 cm^2 、また接点ばねはばね鋼線製で使用範囲は、70~100kg、このときの接触圧力は $16 \sim 26 \mu\Omega$ 、また突棒の運動の振幅は 2 mm である。

なお、銀接点は短時間の使用は可能であるが、しかし、6,000~8,000 A を通流するときには数時間で変色、黒色斑点を生じ、接点面も荒れてくる。

突棒と可動接点との間の絶縁には初め碍子などを使用したかったため合成樹脂硝子積戸板を使用した。これは機械的強度も十分で、接点の温度にも耐え、好成績を示した。ただ逆弧による電弧を数回経験すると多少変形を生ずるおそれがある。

接点ブスは鋳銅製で、内部に銅管を埋め、水冷式構造とし、接点部の冷却は接点ブスを介して間接冷却とした。接点を閉じたままで 3,000 A 直流を通流したとき無冷却では 150°C まで接点温度が上昇したが通水することによりこの温度は 50°C まで低下した。なお冷却に水を使



6 図 接触変流機外観

Fig. 6. Outer-view of contact rectifier.

用しているため相間、および大地間の絶縁には絶縁ゴムホースが必要となる。

潤滑には粘性の少ないスピンドル油を使用し、油ポンプにより循環せしめ、導管より各回転部に吹着けている。駆動部は密閉された室内に収められているが、各回転部に吹着けられ油は一時この室の底部に溜り、そこに設けられた冷却蛇管により冷却された後、さらに冷却槽で冷却され、油ポンプに戻る。この外に送風機によりキュービクル内を空気が循環するが、これは接点部の金属粉、塵埃の除去にも役立つものである。

なお本機の構造では突棒自体には潤滑を必要としないから、接点部への油の漏洩はほとんどない。

接触変流機はその構造上、防音、防塵のため密閉容器に納める必要があり、本試験では、鋼板製キュービクルに納め、内側は全面ロックウール張りとし、点検のために設けた扉にはパッキンを置き、また本体と床板との間には防震ゴムを挿入した。

4. 転流リアクトル

転流リアクトルは油入自冷式とし、鉄心は非磁性内輪で補強し、鋳銅製主巻線と補助線を施し、7 図のように 3 相分一括して 1 個のタンクに納められ、短絡電流に対する強度や防震には十分の考慮を払っている。

転流リアクトルの特性として重要なのは転流リアクトルによって作られる扁平期間の長さ、扁平段電流の大きさとその波形である。扁平段の長さはよく知られている次式で計算される。

$$\psi_l = \sin \frac{\omega \Delta t}{2} \sin \omega \left(t_l + \frac{\Delta t}{2} \right) \quad (1)$$

ここに ψ_l : 磁束の不飽和の範囲

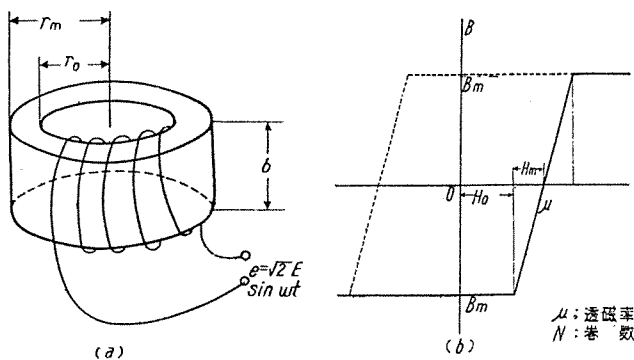
$$\psi = \frac{2\sqrt{2}E}{\omega}$$

ωt_l : 扁平段の始まる位相

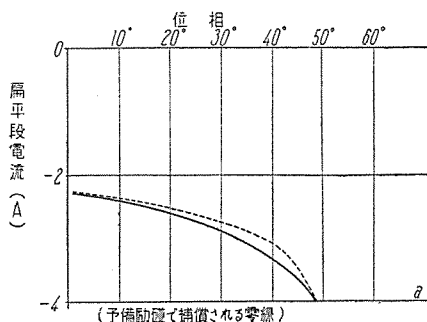


7 図 転流リアクトル

Fig. 7. Commutating reactor.



8 図 リアクトル 特性
Fig. 8. Reactor characteristics.



9 図 転流リアクトルの扁平段電流
Fig. 9. Flat step current of commutating reactor.

$\omega \Delta t$: 扁平段の長さ E : 相電圧

また扁平段電流は、鉄心寸法とその動特性を 8 図 (a) (b) とし、(2) 式で示すように i_{01} , i_{02} , i_{m1} , i_{m2} をとると (3)~(5) 式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} i_{01} &= 2\pi\gamma_0 H_0 / N \\ i_{m1} &= 2\pi\gamma_m H_0 / N \\ i_{02} &= 2\pi\gamma_0 (H_0 + 2H_m) / N \\ i_{m2} &= 2\pi\gamma_m (H_0 + 2H_m) / N \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

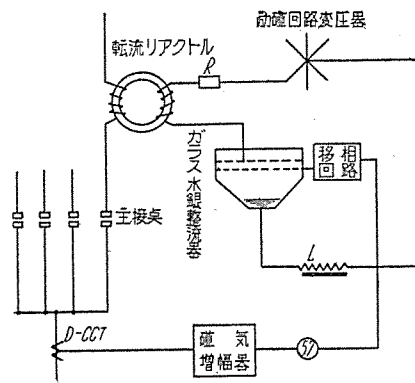
$$\begin{aligned} (1) \quad & i_{01} < i_t < i_{m1} \quad (0 < t < t_{m1}) \quad \text{のとき} \\ & \cos \theta_0 - \cos (\omega t + \theta_0) \\ & = \frac{b\mu H_0 \gamma_0 N \omega}{E} \left\{ \frac{i_t}{i_{01}} \ln \frac{i_t}{i_{01}} - \frac{i_t}{i_{01}} + 1 \right\} \quad \dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (2) \quad & i_{m1} < i_t < i_{02} \quad (t_{m1} < t < t_{02}) \quad \text{のとき} \\ & \cos (\omega t_{m1} + \theta_0) - \cos (\omega t + \theta_0) \\ & = \frac{b\mu N^2 \omega}{2\pi E} \ln \frac{\gamma_m}{\gamma_0} (i_t - i_{m1}) \quad \dots\dots (4) \end{aligned}$$

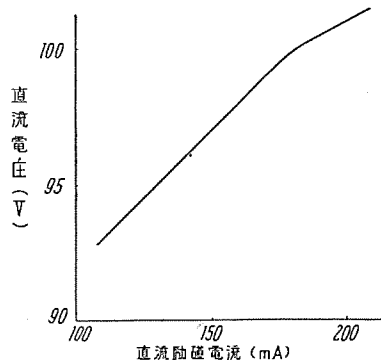
$$\begin{aligned} (3) \quad & i_{02} < i_t < i_{m2} \quad (t_{02} < t < t_{m2}) \quad \text{のとき} \\ & \cos (\omega t_{02} + \theta_0) - \cos (\omega t + \theta_0) \\ & = \frac{b\mu \gamma_0 N \omega (H_0 + 2H_m)}{E} \left\{ \frac{i_t}{i_{02}} - 1 + \frac{i_t}{i_{02}} \ln \frac{i_{m2}}{i_t} - \ln \frac{\gamma_m}{\gamma_0} \right\} \quad \dots\dots (5) \end{aligned}$$

ただし t_{m1} , t_{02} , t_{m2} は電流が i_{01} になる時刻を 0 としたとき、電流がそれぞれ i_{m1} , i_{02} , i_{m2} になる時刻であり、また θ_0 は電流が i_{01} になるときの位相である。

今回使用した鉄心は鉄 50%, ニッケル 50% の合金であるが、これは予備励磁、側路回路を用いることにより接触変流機において要求される特性を十分満足すること



10 図 閉路予備励磁回路
Fig. 10. Pre-magnetization circuit for closing.



11 図 電圧制御特性
Fig. 11. Magnetic voltage control characteristics.

ができた。9 図は今回使用した転流リアクトルの扁平段電流で、予備励磁、側路を用いないときの波形であり、実線はその計算値、点線は実測値である。

5. 制御回路

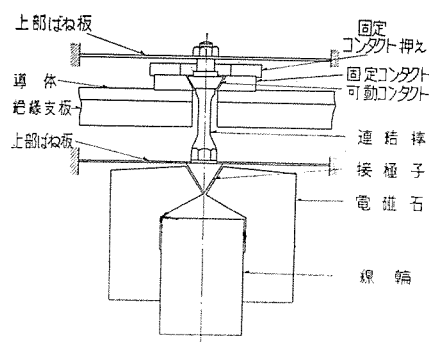
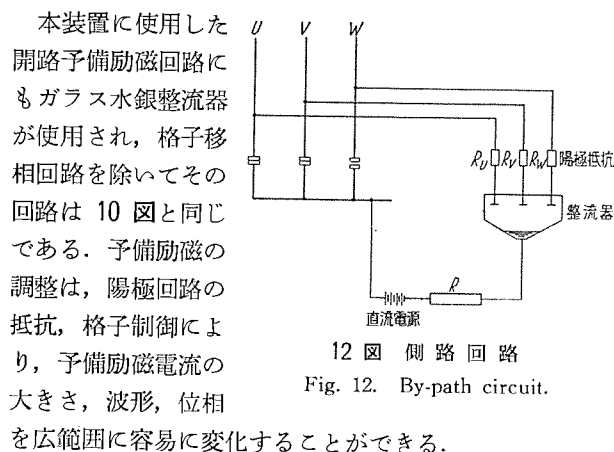
ア. 閉路予備励磁回路

接触変流機の直流電圧制御には、転流リアクトルによる磁気的制御と、同期電動機の同期位相変化による機械的制御があるが、本装置では前者のみを採用した。この方式は純静止回路であり、操作、保守も容易であり、応動速度も早く、接点閉路はつねに無電圧で行われる等多くの利点をもっている。

閉路予備励磁回路にはガラス水銀整流器を用い、10 図に示す回路を使用した。予備励磁の調整は、陽極回路の抵抗と格子の点弧位相調整で行うが、とくに後者は自動定電流回路に使用した。すなわち、接触変流機の出力電流を直流変流器で検出し、磁気増幅器で増幅し、その出力で上記整流器の格子の点弧位相を制御する。試験機では接点の開路位相の自動調整は行っていないため、転流リアクトルによる電圧制御には限度がある。回路の転流リアクタンスや扁平段の長さなどから計算すれば、大体 30% 程度となる。この転流リアクトルによる電圧制御は必然的に力率の低下を伴うから、むやみにその制御率を大きくすることは無意味である。

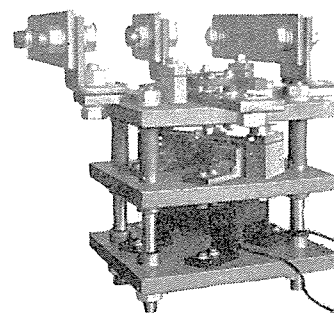
本試験では別に URS 負荷時電圧調整器を設けているため、転流リアクトルによる電圧制御は URS でカバーできない微調整や速応制御に使用した。両者の連絡はガラス整流器格子移相回路中のリレーで行われる。11 図は制御特性を示し、横軸は格子移相回路の直流励磁電流、縦軸は出力電圧である。

イ. 開路予備励磁回路



13 図 短絡器の構造
Fig. 13. Construction of short circuiter.

また接触変流機自体でのたとえば転流リアクトルによる電圧制御を行うときは、その速応性は大きいと同時に力率の低下を伴う。したがってこのような方式による大幅の電圧制御（このときはまた接点開路位置の調整が必要となる）は好ましくない。



14 図 短絡器
Fig. 14. Short circuiter cover removed.

この意味から本試験では接触期間の自動調整は使用しなかったが、扁平段を十分長くとした設計と相まって正常な負荷変動には十分耐えることがわかった。したがって接点が扁平段のどの位置で開路しているかを見る監視装置も種々のものを試用したが、むしろ定期的に、出力電圧、電流に応じてブラウン管で観察するのがもっとも容易、確実な方法である。（このとき問題になるのは接点、絶縁物の消耗などによる接触期間の増加のみである）

また各変流装置の各定数から実験結果から負荷状況に応じて扁平期間の位置を予想することも可能であるから、場合によっては他制式の監視装置をおくこともできる。

6. 短絡器

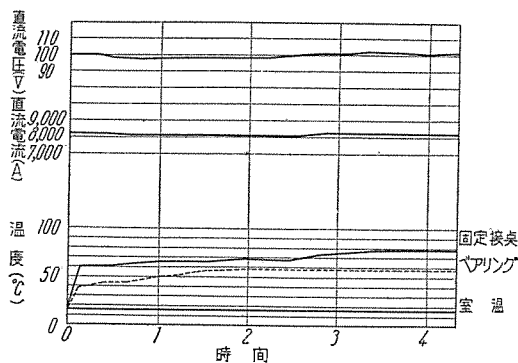
既述のとおり、短絡器制御には逆流検出方式を用いたが本短絡器の構造を 13 図に、外観を 14 図に示す。

短絡器は各相交流バスと直流バスに固定された固定接点 4 個と、可動接点 1 個より成り、円錐状の可動接点は上下 2 枚の板ばねで支持され、常時は開放位置にあり、下端は電磁石の接極子につながっている。したがって、接点の接触圧力は上記板ばねに抗して電磁石の吸引力で与えられ、この大きさは電磁石コイルに流れる電流で定まる。各接点はいずれも銀製である。短絡器とその作動回路の設計で問題となるのは、短絡器の作動時間、接点の接触圧力、接点閉路時のチャタリングであり、これらに対しては電磁石の構造、コイルの巻数したがってそのリアクタンス、作動回路の容量、保持電流の大きさや接

これは側路回路中の電圧降下を別電源で補償する方式では避けられない欠点であるがしかし、実際使用中に起る電流変化、電圧変化に対しては十分許容値以内におさまることも確認された。

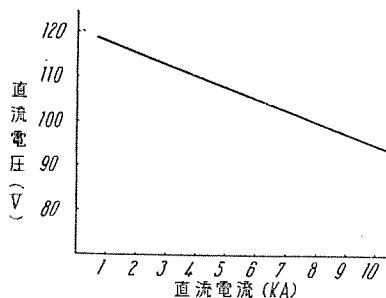
以上が本試験で使用した予備励磁回路の概略であるが、接触変流機で重要なことは、扁平期間中に接点を開くことであり、一方負荷条件の変動により扁平期間と接点开路時点のずれが生ずる。

自動的に接点开路位置を扁平期間に追従せしめることもできるが、負荷の急変にはもちろん応動しうる限度がある。扁平期間から定まる限度以上に、しかも自動調整の応動速度以上に急激に負荷状況が変化するときには、接触変流機は逆弧を免れない。すなわち接触期間の自動調整も緩変負荷に対してのみ有効となる。



15 図 負 荷 試 験 曲 線

Fig. 15. Load test curve.



16 図 負 荷 特 性

Fig. 16. Load characteristics.

点の材質，固定接点と可動接点間の間隙，板ばねの強さなど多くの要素があり，短絡器接点の仕上，組立にも細心の注意が必要となる。

7. 試 験 結 果

ア. 負 荷 試 験

負荷試験は工場設備の関係で 100 V, 8,000 A で行った。15 図は負荷試験曲線である。潤滑油は別に冷却を行わなかったためかなりの温度上昇を示している。

これは冷却槽の使用により十分低くすることが可能である。接点温度は固定接点のそれを寒暖計で測定したものであるが，可動接点は固定より少し高くなる。なお接点ブスの温度は最終 24°C であった。

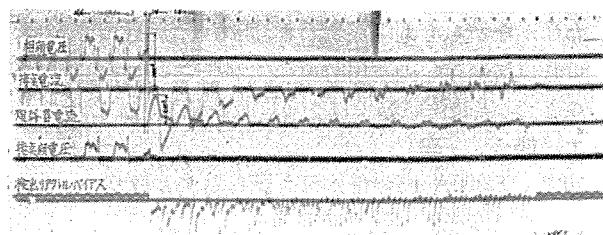
100V 8,000A 負荷時の実測による開路扁平度は 35~45 度電気角であった。負荷が安定で，また接触期間の自動調整を使用する場合はこの扁平期間を 20~30 度に短縮することができる。

イ. 電圧変動率

電圧変動率は 16 図の負荷特性に示すように 16% になる。この内ほぼ 15% は回路のリアクタンス降下であり，変圧器のリアクタンスは約 4%，転流リアクトルのそれは約 10% 程度となる。

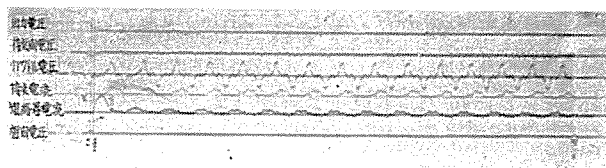
このリアクトルのリアクタンス降下は扁平期間の 7/5 乗に比例するから，この扁平期間を少し短くすることにより，上記変動率を 10% 程度にすることは容易である。実際の負荷特性としては無負荷電圧は相間リアクトル付 2 重星形結線の特性として電圧は急昇し，また転流リアクトルの存在により軽負荷で直流電圧は上昇する。

接触変流機・塚本・清田・細野・鈴木・岡



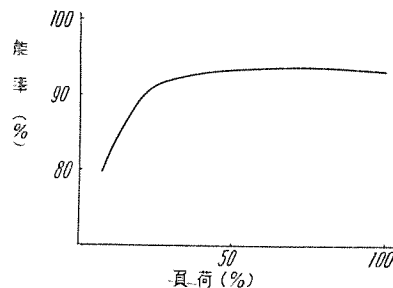
17 図 人工逆弧試験のオシログラム (電動機脱調)

Fig. 17. Oscillogram of artificial back fire test (stepping out of synchronous motor).



18 図 人工逆弧試験のオシログラム (予備励磁断)

Fig. 18. Oscillogram of artificial back fire test (cutting off the pre-magnetization).



19 図 直流電圧 100 V の接触変流機総合効率

Fig. 19. Overall efficiency of contact rectifier at 100 V d-c.

1 表 損 失 と 総 合 能 率

	主変圧器		転流リアクトル		接点 及 導体 損失	補器 入力	予備 励磁 入力	全損失	能 率
	鉄損	銅損	鉄 損	銅 損					
損 失	12.5	14.95	0.6	18.9	4.8	4.1	3.4	59.25	—
百分率	1.45	1.74	0.07	2.2	0.56	0.48	0.40	6.9	93.1

ウ. 短絡試験(人工逆弧試験)

接触変流機では，駆動電動機したがって接点开閉の同期位相が扁平期間よりずれた場合，また予備励磁が切れたときには必ず逆弧する。(側路回路が切れたときには逆弧に至らず，接点間に火花が出るに過ぎない。)本試験では人工的に同期電動機の電源を切り，あるいは 1 相の予備励磁を切って人工的に逆弧を生ぜしめ，短絡器の動作を試験した。

17, 18 図はそのときのオシロで，前者は同期を外したとき，後者は予備励磁を切ったときで，逆流を生じてから 1.4~1.5 m/sec で短絡器による短絡が完了しており，逆弧接点での逆流は約 3,000A である。

かかる人工逆弧試験での損焼接点は逆弧相の接点 1 個に過ぎず，その程度も比較的軽微であった。ただ本試験では各機器配置の関係から，短絡器による短絡回路のインピーダンスを十分小さくすることができず，短絡器動作後も主接点にはなおかなりの電流が流れ，接点开路時

にわずかながらも電圧が現われ、開路火花が生じている。

これは短絡器の実使用時には十分注意しなければならぬことで、実負荷試験ではさらに良い結果が予想される。

エ. 能 率

100V, 8,000A 時の能率は1表に示すとおりで、損失の大部分は変圧器、転流リアクトルの損失であり、総合能率の 93.1 % はほぼ予想どおりの値であるが、しかし接触変流機の能率としては十分のものではない。

これは定格のより大きい変圧器と、扁平期間の長い転流リアクトルを使用したためで、変圧器をその定格近くで使用し、また転流リアクトルの扁平期間を短くすると能率もさらに数 % 上昇するはずである。

8. む す び

以上試作装置の概要、工場試験の概略を述べた。まだ長期連続負荷試験を経験していないため十分の結論を下すことはできないが一応予期した好成績をうるができた。

工場試験の結果をまとめるとつぎのようになる。

- (1) 接触変流機の能率は他の変換機器よりはるかに高い。
- (2) 接触変流機の操作は必ずしも煩雑ではないが、保守、点検は従来の整流機器に比し複雑である。
- (3) 予備励磁にガラス水銀整流器を使用することは、その失弧、通弧に十分の対策さえ施せば電力の節約、制御の簡単、速応には有利である。失弧は異常電圧、逆弧の原因となり、通弧は出力の不安定を来す。
- (4) 側路回路に別電源を使用するときには特別の場合を除き無調整でそれが有効に作用する範囲はある程度制限される。
- (5) 短絡器の動作時間は 1.5m/sec ほどであったが、この程度なら損壊は逆弧接点 1 個に止り、その程度も僅少である。しかし 1 度逆弧し、運転停止となれば再起動までに 10~15 分を必要とする。
- (6) 電源電圧の変動は、駆動用同期電動機が脱調しな

い限り問題はない。

- (7) 接触期間の自動調整を使用しないときは、基本抵抗の容量は負荷と共に大きくなり、電圧制御の範囲は小さくなる。
- (8) 電源、負荷の状況の急変に対しては転流リアクトルの扁平期間のみが有効で、したがって接触変流機では瞬時負荷変動には限度があるが、扁平期間をできるだけ大きく設計しても実用上は $\pm 50\%$ とみなすべきであろう。逆に扁平期間を長くすることは能率、力率、電圧変動率の低下を来すから、使用条件に応じて最適の設計をなすべきである。

一般に実使用に際しての整流機器の選定は能率と共に運転の安定性、保守の簡便、稼動時間などを基に行うべきであるがしかし、最近の文献によれば 1 年間の故障や点検による停止延 10 数時間という報告もあり、接触変流機に他の整流機器に劣らない信頼度が与えられるのも可能であろう。

一方最近開発されつつある半導体整流器に比較する場合その帰結は明かで、その発展には注目しなければならない。

終に本装置の試作試験に際し十分な時間と設備を与えられ、また不断のご指導、ご援助を戴いた上司の方々、および三菱金属鉱業のご厚意に深く感謝して本報告を一応擲筆する。

参 考 文 献

- (1) Koppelman: "Der Groß-Kontaktgleichrichter" (A. E. G. Mitt. Sept.-Okt. 1951)
- (2) B. B. Rev. Dec., 1950.
- (3) Read & Gimson: "A high power mechanical contact rectifier" (P. I. E. E. Oct., 1955)
- (4) Kleinvogel: "Weiterwicklung auf dem Gebiet der Großkontaktumformer" (E. T. Z. Apr., 1952)
- (5) Koppelman: "Untersuchung einer neuen Schaltung für Kontaktgleichrichter" (E. T. Z. Mai., 1954)
- (6) 菊地氏: "接触変流機用塞流飽和リアクトルの設計について" (電工論 2.2) 他

3 相 低 周 波 型 大 容 量 溶 接 機

伊丹製作所

己斐健三郎*・岸田公治*・喜多稔**

Three Phase Low Frequency Large Capacity Welders

Itami Works

Kenzaburo KOI・Koji KISHIDA・Minoru KITA

Desire for excellent welding of light alloy or special heat resisting materials has brought three phase low frequency welders to the front. With an aim of application to the aircraft industry, roll spot seam welders of the maximum short circuit current 100,000 amperes have been designed and built for trial. Unlike the conventional single phase low resistance welding machines, they receive power from a three phase a-c source and form secondary currents of peculiar wave-form through the combination of an ignitron and a special transformer.

1. ま え が き

軽合金や特殊耐熱材料に対して十分すぐれた抵抗溶接を行いたいという要望が最近とみに高まりこれにこたえるものとして3相低周波型溶接機が大きくクローズアップされてきた。三菱電機においては特に3相低周波型溶接機が最もその特色を発揮するところの航空機工業用の最高度の溶接を行うことを目的として米軍溶接機規格にしたがった最大短絡電流 100,000 A のロールスポット、シーム溶接機の設計試作を行いその特性を測定、検討したのでこの結果の一端を報告し将来3相溶接機が工業界において重要な役割りを果たすに足る多くの特色を有していることについて記述する。

2. 3 相低周波型溶接機の概要

ア. 概略仕様

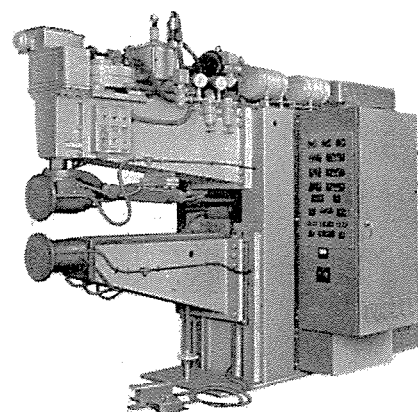
3 相低周波型, ロールスポット, シーム溶接機

定格容量	300 kVA (50% 使用率)
定格1次電圧	440/220 V 3 相
定格周波数	60 c/s
最大短絡電流	100,000 A
最大加圧力	2,700 kg
標準ふところ深さ	1,500 mm
標準ふところ間隔	270 mm
最大引上ストローク	100 mm
最大溶接ストローク	20 mm

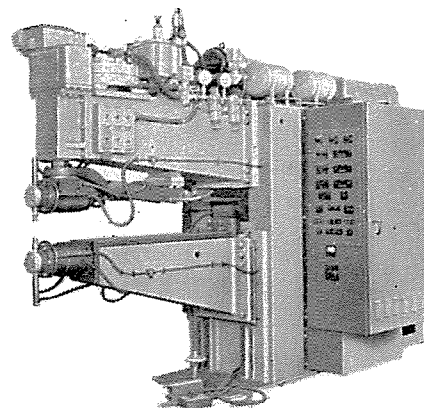
本機で行い得る溶接の種類は大別してつぎのようなものである。(本機は試作機であるのでとくにスポット兼用機とした)

(1) シーケンスによる分類

シーム 溶接機	シーム溶接	連続シーム溶接
		断続シーム溶接 (Overlapping Roll-spot)
		ロールスポット溶接



1 図 100,000 A ロールスポットシーム溶接機
Fig. 1. General view of roll-spot and seam welder.



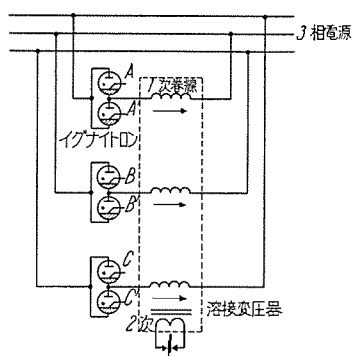
2 図 スポット電極を取付けたところ
Fig. 2. The welder equipped with spot electrodes.

スポット 溶接機	1 点スポット溶接 (Non-repeat, Single-spot)
	連続スポット溶接 (Repeat, Stitch)

(2) 溶接方式による分類

シングルイン パルス溶接	可変加圧方式……減衰電流付加 (Modu-wave)
	定加圧力方式……減衰電流付加 減衰電流なし

パルゼイション溶接
 { 可変加圧方式
 { 定加圧力方式
 またそれぞれの場
 合について任意に予
 熱電流 (Preheat
 current), 焼戻し電
 流 (Temper cur-
 rent) を付加するこ
 とができるようにな
 っている。



3 図 主回路説明図
 Fig. 3. Main circuit.

1. 原理

周波数変換を行う主回路としては 3 図に示すように、最も合理的と考えられる Δ -接続方式を採用した。したがってこの場合の加熱時間 (Heat time) における 2 次側誘起起電力の平均値は 3 相半波整流の場合と同様に

$$E_{do} = \frac{1.17E \cos \alpha}{N} \quad (2.1)$$

ここに E : 1 次側線間電圧実効値
 N : 変圧器巻線比
 α : 点弧制御角

つぎに負荷時の 2 次電圧平均値は

$$E_d = E_{do} - \left(\frac{3X_{pn}}{4\pi N^2} \right) I_s \quad (2.2)$$

ここに X_{pn} : 1 次巻線間の平均ろうえいリアクタンス (電源周波数における値)
 I_s : 2 次電流平均値 (定常状態)

そこで一方 2 次回路に流れる溶接電流の平均値は

$$I_s = \frac{E_{do}}{R_s + (3X_{pn}/4\pi N^2)} \quad (2.3)$$

ここに R_s : 1 つの 1 次巻線の 2 次換算抵抗値に 2 次回路の低周波に対する抵抗値を加えた全抵抗

ただし 2 次電流は 4 図に示すように 2 次回路の時定数にしたがって指数函数的に上昇するのであるから、(2.3) 式は定常状態に達した場合の値を示すことになる。そこで 1 回の加熱時間に対する 2 次電流実効値は

$$I_{seff} = \frac{KE_{do}}{\sqrt{[R_s + (3X_{pn}/4\pi N^2)]^2 + X_s^2}} \quad (2.4)$$

ここに X_s : 2 次低周波に対する溶接機リアクタンス

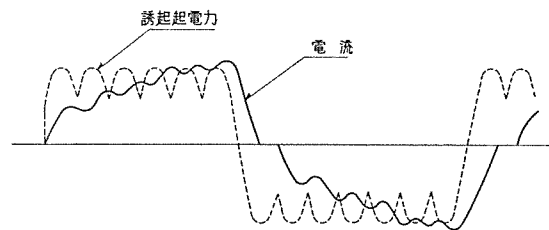
K : 2 次電流波形に関係する定数

つぎに定常状態における 1 次線電流の実効値を考えると、これは 5 図に見られるごとく電源周波数の 1 サイクルに対してその 2/3 の期間だけ電流が流れるのであるから

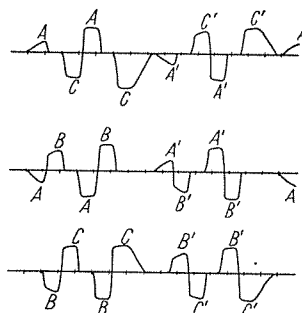
$$I_L = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{I_s}{N} \quad (2.5)$$

I_L : 定常状態における 1 次線電流実効値

しかし前述したように実際の加熱時間は 10 サイクル以下であり、電流漸増による波形の影響を考えねばならぬ



4 図 2 次誘起起電力と電流波形
 Fig. 4. Induced secondary voltage and current wave form.



5 図 1 次側線電流
 Fig. 5. Line currents.

ので 1 回の加熱時間に対する実効値は

$$I_{seff} = I_L \left(\frac{I_{seff}}{I_s} \right) \quad (2.6)$$

したがって実効 K_{va} は

$$(K_{va}) = \sqrt{3} EI_{seff} \quad (2.7)$$

ここに (I_{seff}/I_s) は溶接機 2 次回路の時定数と加熱時間の長さ

の選び方によってきまる量で普通 0.7~0.95 程度の値である。要するにこの型の溶接機においては 2 次電流が特異な波形であり、また 1 次電流はかなりの高調波を含むので定量的な取りあつかいは困難であり相当複雑になるから、代表的なものだけを示すにとどめる。以上の式からわかることは 2 次電流の平均値の最大は、回路の実効抵抗とろうえいリアクタンスによって定まるから、低い 2 次電圧で十分大きな 2 次電流を流しうること、そして溶接機の 2 次回路を形成するふところ寸法を相当大きく取っても、低周波に対するリアクタンスは十分小さくて、2 次電流の実効値にさほど影響をあたえず、換言すれば高い力率を得ることができるということである。

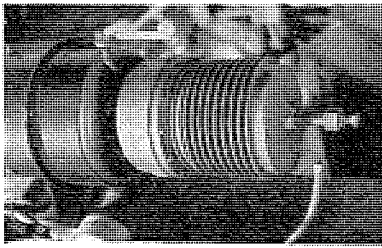
このほか電気的特性上の特色としては、低周波に対する溶接変圧器鉄心の飽和の問題、溶接機回路時定数の大きさに関係するイグナイトロンの連続点弧およびろうえいリアクタンスに関する逆弧の問題等がある。

ウ. 特 長

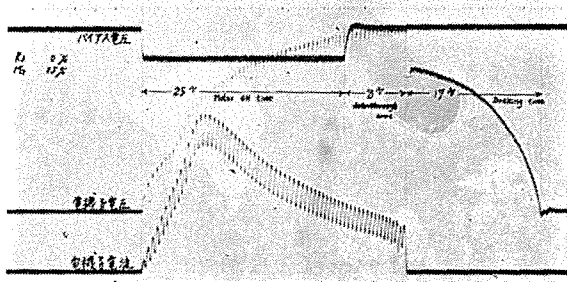
3 相低周波型溶接機は単相交流溶接機に比してつぎのような特長を有している。

まず電気的な特性上の特長としては

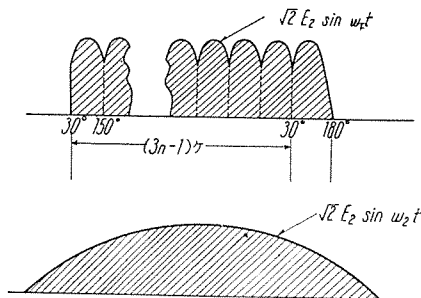
- (1) 溶接電流波形が零点を通過しないから熱効率がよく、一定の溶接を行うに必要な電流量が本質的に少なくてすむ。
- (2) 力率は普通 85% 以上となり、したがって変圧器容量は数分の 1 に減少し、線電流も 1/3~1/6 程度になる。
- (3) 以上のように単相機に比して 1 次電流が、いちじるしく減少する上に、3 相平衡負荷となるから、電源の系統にとってきわめて好都合である。
- (4) 2 次電流が低周波であるため、大きな銅材を挿



8 図 間けつ駆動用
電磁ブレーキ
Fig. 8. Magnetic
brake for inter-
mittent drive.



9 図 高速度ブレーキの動作特性
Fig. 9. Oscillogram of operation characteristic
high speed circuit breaker.



10 図 変圧器飽和特性の計算
Fig. 10. Calculation of the transformer saturation.

次に溶接変圧器であるが、これはこの型の溶接機における心臓部ともいべきものであって、溶接機の電気的特性を決定する重要な要素となる。まず4図に示したような2次誘起起電力に対して鉄心が飽和することのないように、鉄心断面積は十分大きく選ばなければならない。いま一方向の加熱時間の長さを電源周波数の n サイクルに選んだとすると10図に示すように最後の半サイクルを除いて 30° から 150° までの正弦波が $(3n-1)$ コと 30° から 180° までの正弦波が1コだけ加わったものであるから、この間の磁束変化は

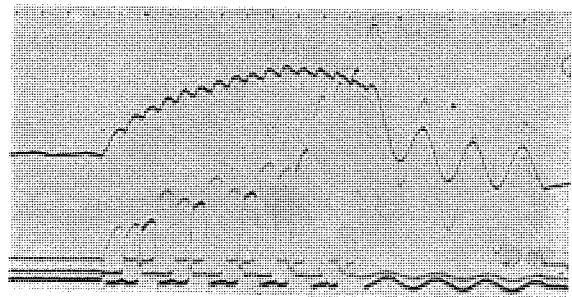
$$\phi = (3n-1) \int_{\frac{5\pi}{6\omega_1}}^{\frac{5\pi}{6\omega_1}} \sqrt{2} E_2 \sin \omega_1 t \, dt + \int_{\frac{\pi}{6\omega_1}}^{\frac{\pi}{6\omega_1}} \sqrt{2} E_2 \sin \omega_1 t \, dt = \frac{\sqrt{2} E_2}{\omega_1} (5.196n + 0.134) \quad (3.1)$$

ここに E_2 : 1次線間電圧実効値を変圧器巻線比で除した仮想上の2次電圧実効値
 ω_1 : 電源の角周波数

そこで実際の変圧器の設計にあたっては、これと同等な磁束変化を生ずる低周波正弦電圧を仮定する。すなわちその角周波数を ω_2 とすれば

$$\phi = \int_0^\pi \sqrt{2} E_2 \sin \omega_2 t \, dt = \frac{\sqrt{2} E_2}{\omega_2} \times 2 \dots \dots (3.2)$$

30 (378)



11 図 変圧器の飽和特性と連続点弧
Fig. 11. Transformer saturation and yielding
of extra humps.

(3.1) および (3.2) 式より

$$n = 0.385 \frac{\omega_1}{\omega_2} - 0.0258 \dots \dots (3.3)$$

たとえば6サイクルに対して設計された変圧器は、電源周波数 60 サイクルの場合に $n \approx 3.8$ となり、位相制御を行わない 100% 加熱の場合に、加熱時間はほぼ4サイクル程度まで取り得ることを示している。厳密には磁束密度の選び方に関係するし、一般に溶接変圧器においては効率はそれ程問題にならないから、多少飽和領域が現れても実用上さし支えない。11図はこの現象を実測したオシログラムであって、5 サイクル目に達したあたりから飽和がいちじるしくなり、誘起電圧は低下しはじめ、1次電流が急増するもようを示している。いまの場合溶接変圧器は 6 c/s に対し、磁束密度は 16,000 ガウス程度のかかなり大きな値に設計されているから 11 図のオシログラムは (3.3) 式から計算される値によく一致することを物語っている。位相制御を行った場合は平均電圧が $\cos \alpha$ 倍に低下するから、当然飽和するまでの時間は長くなる。あとに示されている 28 図の飽和領域の限界線は位相制御をすることによって、加熱時間の限界がほぼ $1/\cos \alpha$ に比例して増加しうること示している。溶接変圧器において次に問題になるものは、3組の1次巻線間のろうえいリアクタンスである。この大小は (2.3) および (2.4) 式からわかるように、2次電流の値に関係し、これが大に過ぎては溶接電流が減じ、かつ力率の低下をまねく。しかし一方このリアクタンスが整流器回路の転流リアクタンスとなるから、この値があまり小さいと重り角が減少しイグナイトロンの逆弧の確率が増大すると共に、万一逆弧が起った時に逆弧電流の値が異常に大きくなって、イグナイトロンの寿命を短縮する結果となる。したがってろうえいリアクタンスは、電源のインピーダンスと使用するイグナイトロンの特性を考慮して適当な値に設計されなければならない。しかしこのろうえいリアクタンスは動作状態においては一定ではなく、変圧器鉄心の磁束密度が相当大きな値に達しはじめると、次第にろうえい磁束を増してリアクタンスが増加する。11図に見られる重り角の増大がこれを意味している。要するに3相低周波型溶接機用変圧器は、その特色を発揮するのに十分な鉄心断面積を、経済性との兼ね合いのもとに決

定すべきであり、ろうえいリアクタンスの選定とあいまって、溶接機の電気的特性および溶接特性を決定する重要な要素となっている。

本溶接装置に採用されているその他 2, 3 の斬新的な設計としてはつぎのようなことがあげられる。

一般に溶接変圧器 2 次導体は水冷にされているが、夏期などに室温に比して水温が低過ぎると、導体表面が露点に達してつゆを生じ、変圧器の絶縁を損うことがあるので、本機においてはサーモスタットを使用し、これによって自動的に送水弁を動作せしめて 2 次導体温度を適当に保つようにはかられている。またシーム溶接に際しては、フットスイッチの 1 段目をふむことによって溶接部に対し自動的に注水が行われるようになっている。その他 1 図に見られるように、上部腕の先端に近く 6 種の切り換えスイッチと 1 つの押しボタンスイッチが設けられていて、溶接操作者が作業位置においてつぎのような操作を容易に行い得ようになっている。

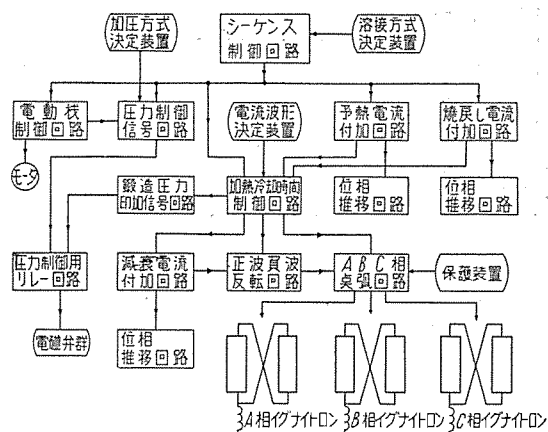
- (1) 安全のためのフットスイッチ回路の開閉
- (2) 溶接シーケンスとチップドレスの切り換え
- (3) 緊急時におけるイグニッション回路の開放
- (4) 駆動電動機の手動、自動の切り換え
- (5) 電極回転方向の正逆切り換え
- (6) 電極の始動をフットスイッチの 1 段目によるか 2 段目によるか、あるいはロールスポットの 1 点目に通電するかしないかを決定するスイッチ

押しボタンスイッチはこれが押されている間、あらかじめ定められた値にまで電流が増加するもので、たとえばシーム溶接時に溶接線の曲率の高い所に遭遇したときはこのスイッチを押して電流値を変え、溶接欠かんが生じないように考慮されたものである。

本溶接装置はロールスポット、シーム溶接機として米軍溶接機規格 MIL-W-15854 を満足するように設計されている。

イ. 制御装置

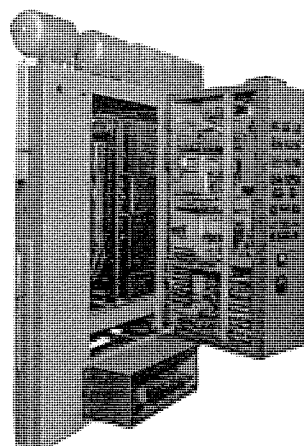
本機は 2 項に示したようにスポット兼用機として試作され、シーケンスとしては米軍規格 MIL-W-7973 をも満足するように設計されているので制御装置の構成はかなり複雑であり、使用管球もサイラトロンと真空管をあわせて 47 本に達する。12 図はこの回路構成を示すブロックダイアグラムである。まずシーケンス制御回路はロールスポット、シームおよびスポットのそれぞれのシーケンスを決定し、そのプログラムにしたがって電流、圧力および電動機などの制御回路に信号を送るものである。すなわちこの回路はモータ駆動時間 (Motor ON Time)、予熱時間 (Preheat Time)、溶接時間 (Weld Time)、焼入れ時間 (Chill Time)、焼戻し時間 (Temper Time) および鍛造時間 (Forge Time) などの時間制御を行い、必要に応じてパルス、矩形波あるいはリレーなどによって、動作開始、停止およびリセットのための信号を発生する。この信号の使い分けは要求される精度と回路構成



12 図 制御回路説明用ブロックダイアグラム

Fig. 12. Block diagram of control circuit.

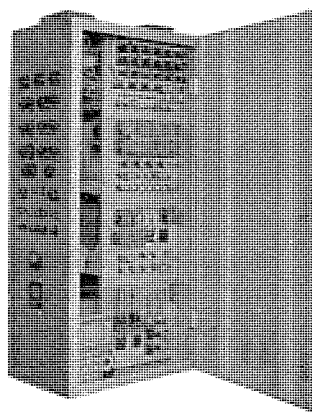
の簡単化によるわけであって、数サイクル程度のおくれ時間が許される場合にのみリレーを使用している。16 図は基本的な回路の 1 部を示すもので、直流方式のタイマ回路である。すなわち限時は CR の充放電の時定数によっており、この充放電の指数函数曲線にピークを重ねて精度を上げている。矢印が引出されている P-Q, X-Y



13 図 溶接変圧器とタイマ盤内面

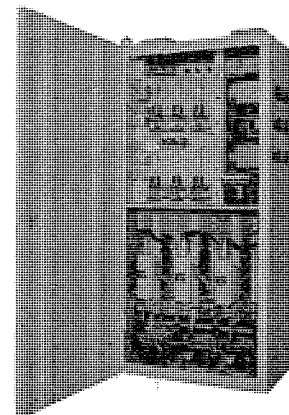
Fig. 13. Welding transformer and control apparatus.

は Tube 2, Tube 5 がそれぞれ点弧した時に次の回路へ矩形波信号を送り出す点であり、U-V は Tube 4 の点弧と同時にパルスを送り出す。また RL は Tube 5 の点弧後、ある遅れ時間をもって動作するリレーである。このようにして種々の信号を順次送り出しながら、同様な時間制御回路 "A" → "B" → "C" → "D" を経て最後に KTR 3 によって Tube 1 なる



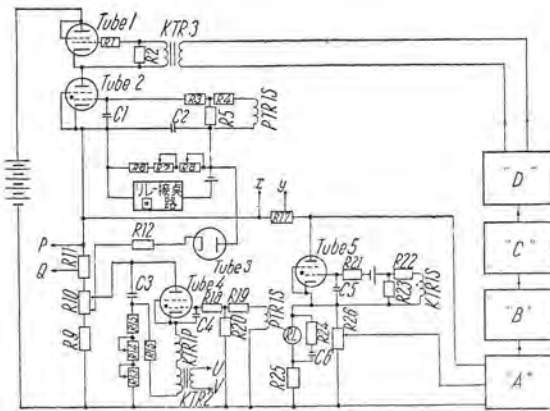
14 図 タイマ盤

Fig. 14. Interior view of the timer cubicle.



15 図 イグナイtron 盤

Fig. 15. Interior view of the ignitron cubicle.

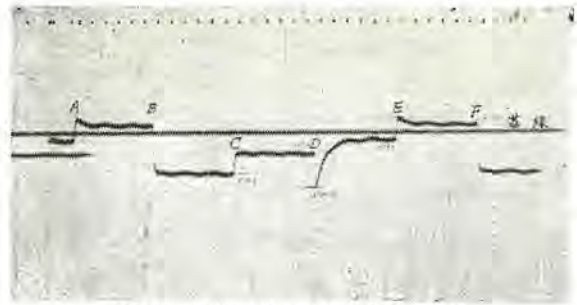


16 図 限時基本回路
Fig. 16. Fundamental timing circuit.

真空管に負のパルスがあたえられ、全回路はもとの状態に復する。抵抗溶接機の制御回路としては交流方式のものもあり、最近には計数管も使用されるようになってきたが、それぞれに一長一短がある。今回採用した直流方式は交流方式に比して、制御時間の精度を高く設計しやすいこと、複雑なシーケンスを構成するのに電子管の数が少なくてすむということ、および簡単で安定な点弧回路が採用できて、かつシーケンス回路と点弧回路との結合が容易であること、などの特長を有している。12図のブロックダイアグラム中の点弧回路へ信号を送っている正波負波反転回路には、フリップ・フロップが採用されている。そして加熱冷却時間制御回路からの矩形波出力電圧と、このフリップ・フロップの出力電圧（インバータであるから1種の歪波交流電圧）の和が点弧用サイラトロン格子に加えらる。17図はこの格子制御電圧波形のオシログラム、すなわちこの制御回路の最終的な出力波形で、基線より上部に頭を出している \overline{AB} および \overline{EF} の期間が溶接電流の正波が流れる期間で、 \overline{CD} は負波の流れる期間に相当する。このような点弧回路を採用すると、あとに示されている 23 図のように同一方向の連続パルス (Unidirectional Current) を生成させるような制御に対して非常に好都合である。

本制御装置の時間調整範囲をつぎに示す。

圧接時間 (Squeeze Time)	0~360 c/s	(%目盛)
モータ回	(Motor ON ")	1~120 "
予熱	(Preheat ")	1~120 "
溶接	(Weld ")	1~360 "
加熱	(Heat ")	1~10 "
冷却	(Cool ")	1~60 "
徐冷	(Current Decay ")	1~10 "
焼き入れ	(Chill ")	1~360 "
焼き戻し	(Temper ")	1~360 "
鍛造	(Forge ")	1~120 "
鍛造遅れ	(Forge Delay ")	0~12 "
保持	(Hold ")	0~360 "
休止	(Off ")	0~360 "



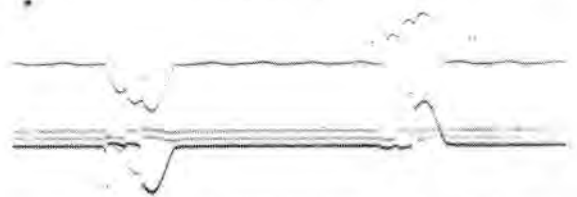
17 図 制御回路の最終出力電圧波形
Fig. 17. Voltage waveform of the last output of the control circuit.

上の値は米軍規格 MIL-W-15854 の 300 kVA 3 相シーム溶接機および MIL-W-7973 の Machine Size 4 に相当するスポット溶接機用制御装置としての条件を満足するものである。

ウ. 電流波形の形成

3 相低周波型溶接機の最も大きな特色は前節においても少しふれたが、被溶接材の物理的、冶金的特性に応じて最も効果的な電流波形を形成せしめ得るという点にある。本機は特にこのような機能を十分発揮できることを実証する目的をもって設計せられ、多くの貴重なデータを得ることに成功した。18 図~23 図は本機によって得られた種々の電流波形のオシログラムである。

18 図は位相制御を行わない 100% 加熱の場合の正負 1 対の電流波形を示す。19 図は $\alpha=42^\circ$ で加熱時間=2 サイクル、冷却時間=2 サイクルの場合のパルスセクション電流波形で厚鋼板などに適するものである。20 図はパルスセクション電流による溶接の後に約 30 サイクルの焼



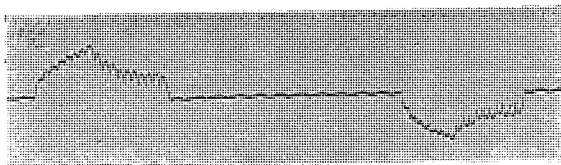
18 図 加熱時間=1 サイクル、 $\alpha=0$ の場合
Fig. 18. One full heat cycle current.



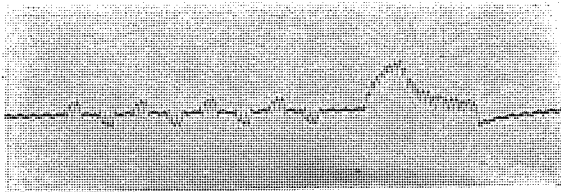
19 図 パルスセクション電流波形
Fig. 19. Pulsation current waveform.



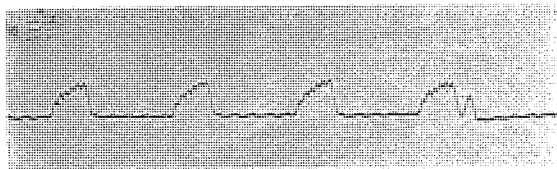
20 図 焼き戻し電流を付加した場合
Fig. 20. When temper control is provided.



21 図 減衰電流を付加した場合
Fig. 21. Modu-wave current.



22 図 予熱電流を流した場合
Fig. 22. When preheat current is passed.



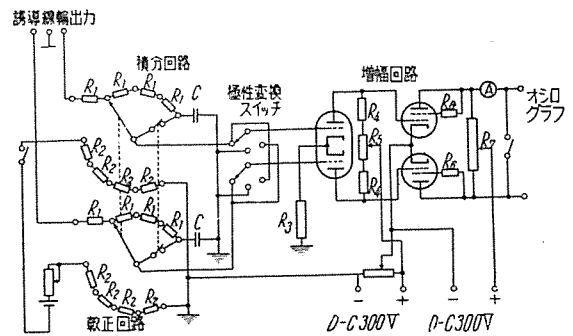
23 図 1 極性電流
Fig. 23. Unidirectional current.

入れ時間がある、再び電流値の低い焼戻し電流が流れている状態を示すもので、低合金鋼などの硬化性合金の溶接に際して要求されるシーケンスを実現したものである。21図は軽合金などの溶接に採用される3相溶接機の最も典型的な電流波形で Modu-wave と呼ばれるものである。22 図は Modu-wave の溶接電流に先だって予熱電流を流した場合を示し、このようにすれば被溶接材の表面状態が少々悪くても比較的均一な溶接結果が期待される。23 図は1極性電流 (Unidirectional current) の発生状態を示したもので、異種合金間の溶接に際しては、ナゲットの生成位置を補正するために、このような1極性電流の利用がきわめて効果的な場合がある。そしてこれは3相溶接機においてはじめて可能な事実であり、溶接変圧器の飽和の問題とも関連して興味ある現象である。

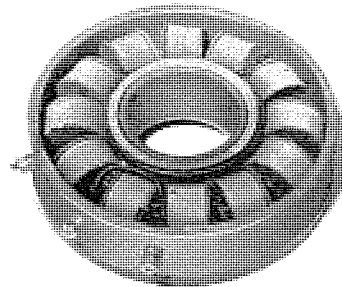
4. 試験結果

ア. 測定装置

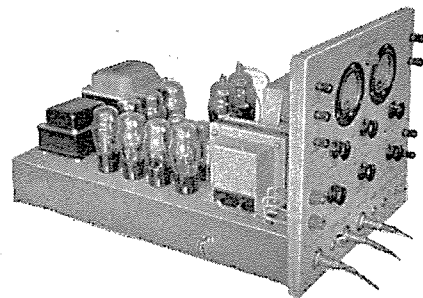
3 相溶接機における2次溶接電流の測定は、いろいろ論議されているが、いずれにせよ相当の困難をともなう。今回の試験に際しては2次回路の1部の抵抗降下を直流増幅器にて増幅し、電磁オシロに入れる方法と、2次回路に誘導コイルを挿入し、これに誘起された起電力を適当に調整された積分増幅器を通じて電磁オシロに導くという2つの方法を採用した。24図はこの測定回路の結線図であり、25 図は電極ホルダに挿入する誘導コイル、26 図は積分増幅器を示す。また 27 図はこれらを組合せて測定を行っているところである。電流値の較正は、1 次各相の変圧器巻線電流に巻線比を乗じて求めた。この1



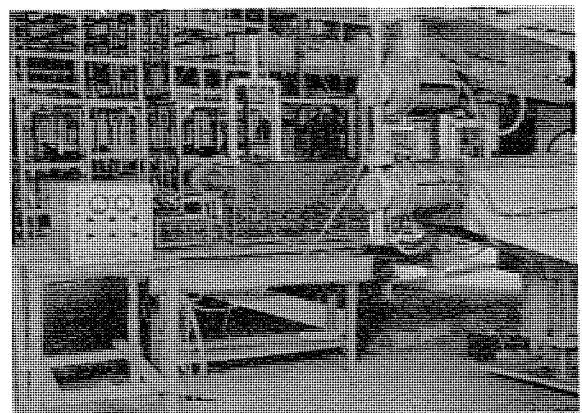
24 図 積分増幅器結線図
Fig. 24. Connection of the integrating amplifier.



25 図 測定用誘導コイル
Fig. 25. Torroidal pick-up coil.



26 図 積分増幅器
Fig. 26. General view of the integrating amplifier.



27 図 電流測定
Fig. 27. Current measurement.

次電流は分流器によって電磁オシロへ導き、既知の標準電流により較正を行った。したがって変圧器励磁電流に相当する分が誤差になるが、変圧器がかなりの飽和状態に達するまではこれを無視しても大差ない。

加圧力の測定は抵抗線ひずみ計を使用し、その絶対値を知ると共に、この出力を増幅器を通じて電磁オシロに導き加圧力の時間的変化を測定した。

1 表 主回路の諸定数

		設計値	測定値
1 次巻線抵抗 (1 相当り 75°C)	R_1	0.0281 Ω	0.0281 Ω
1 次-1 次ろうえい リアクタンス (平均)	X_{pp}	0.133 Ω	0.124 Ω
1 次-2 次ろうえい リアクタンス	X_{ps}	0.051 Ω	—
2 次回路全抵抗 (直流抵抗)	R_2	スポットのとき 53 $\mu\Omega$ シームのとき 69 $\mu\Omega$	
2 次回路ループのイン ダクタンス	L_2	—	1.30 μH

次に問題になるのは 2 次回路の抵抗測定である。これには最初ダブルブリッジを使用した。十分な結果が得られずそこで直流電弧溶接機を利用して 300 A 程度の直流を通じ、電圧電流計法によって測定することにより、その詳細な抵抗分布をも知ることになった。

1. 電気的特性

まず主回路諸定数の設計値および実測値の主なものを示すと 1 表のようになる。

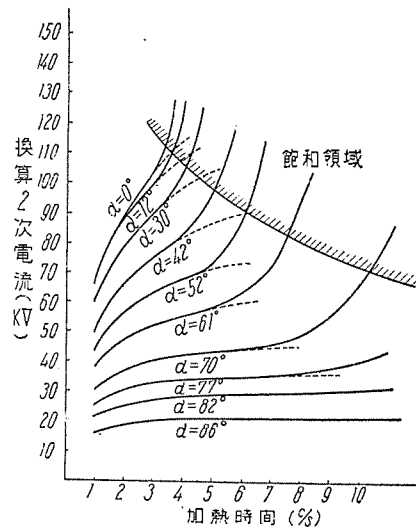
そこで最大短絡電流を算定するにあたって、負荷時電源電圧実効値は 384 V、イグナイトロンのアークドロップは約 24 V であったから (2.1) 式より $\alpha=0$ のときには $E_{d0}=7.61$ V となり (2.3) 式より平均値を求め波高値を概算すると

スポットの場合	120,000 A
シームの場合	100,000 A

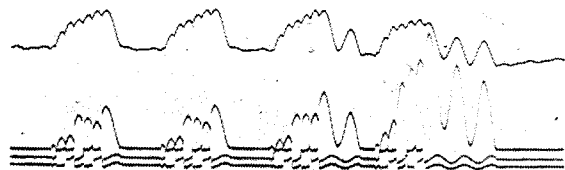
ただしこの場合チップの接触抵抗を 5 $\mu\Omega$ として 2 次回路の抵抗に加算した。

さて一方実測値の方は前述したように、1 次電流より算定するから、まず飽和限界を判定しなければならない。そこで再び 11 図を見ると 4 サイクル目の B 相において、2 次電流は最大に達しているから、これに対応する 1 次電流より、スポットの場合の最大短絡電流実測値は約 110,000 A となる。短絡電流の測定に際してはすべてスポット電極を使用して行ったが、スポットの場合とシームの場合の抵抗値の割合より推定すれば、シームの場合の最大短絡電流値は約 92,000 A となる。ここで 1 表に示したスポットおよびシームに対する 2 次回路の全抵抗値の差であるが、これは後者が電極の回転部において、摺動導電部を有していることに起因するものである。しかしこの値は試験の結果も少し小さくすることが期待できるし、全抵抗 R_2 も現在の値の 70~80% 程度に低減できるという見とおしを得た。

28 図は制御角 α をパラメータとして、加熱時間と 1 次電流に変圧器巻線比を乗じて得られた 2 次電流換算値との関係を示したものである。ただしすべて C 相の電流実測値より換算したものであり、斜線をほどこした部分は飽和領域で、点線で示される曲線が飽和領域近傍の励磁電流増加分を引き去った 2 次電流換算値である。

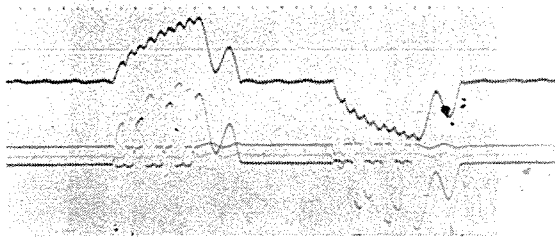


28 図 加熱時間と 2 次短絡電流の関係
Fig. 28. Characteristics of the secondary short circuit currents.



29 図 1 極性電流による飽和
Fig. 29. Saturation for the unidirectional current.

次に飽和特性についても詳しく観察すると、次のような現象がみとめられる。29 図は 1 極性電流に対する飽和特性を観測したオシログラムであって、この場合 $\alpha \approx 40^\circ$ であるから、加熱時間を断続させなければ 28 図からわかるように、約 5 サイクルで完全に飽和して起電力を失う筈である。しかし実際には合計 7 サイクル程度に達するまで持ちこたえている。これは冷却時間の間に鉄心中の磁束がある程度回復するからであって、この回復のはやさは 2 次回路の時定数に関係する筈である。これと同様な考えによって前に示した 22 図のオシログラムに見られる現象を説明することができる。すなわちこの場合は、減衰電流の途中あたりから電流の平均値が次第に下ってきて、減衰電流の終りが基線より下側にめり込んだような形状を示している。これは飽和がかなり進んだ状態で、位相制御角が大きくなると磁束の回復現象を併発して、逆向きの直流起電力成分が現れるためである。そして変圧器 1 次側の電圧が消え去ると、鉄心中の磁束は残留磁気に対応する値まで減少しようとするわけであるが、2 次回路が閉じているから、逆向きの起電力を生じ、これに対応して逆電流が流れる。この逆電流の減衰状態、すなわち磁束の回復速度は 2 次回路の時定数によって決定される。実際問題として減衰電流の平均値が次第に低下したり、あまり大きな逆電流が流れると、溶接結果にも悪影響をおよぼすから、この意味からも鉄心断面積の選定に対しては十分の配慮が必要である。



30 図 不飽和領域における連続点弧
Fig. 30. Extra hump in non-saturated region.

次の問題は 1 次回路に挿入されているイグナイトロンの連続点弧の現象である。これは 11 図、23 図および 29 図に見られるように電流の大きさと 2 次回路の時定数によって定まり、ともに鉄心の飽和によって影響を受ける。

まず飽和状態に達する以前にこの現象が起きるのは 2 次回路の時定数が本質的にかなり大きくてかつ B 相より最後の C 相へ転流が行われてから、C 相の電圧が負となって再び正となるまでに、電流が零点に達し得ないほど C 相が大きな電流を負担するような場合である。30 図はこれに相当するもので、このような不飽和領域において生ずる連続点弧の現象は、必らず転流の行われなくなる最後の C 相において起る。

換言すれば加熱時間の終了と同時に C 相イグナイトロンが 1 サイクルあるいはそれ以上の間連続して電流を通じ、2 次電流にはいくつかのこぶ (Extra humps) が現われる。

次に加熱時間を非常に長く選んだ場合あるいは 1 極性電流を限度以上に多く通じた場合などには、鉄心は当然飽和領域に入ってしまうから、たとえ加熱時間が終了する以前であっても、転流を行うことができなくなって、いずれかの相が連続点弧をひき起すに至る。

11 図はこの典型的な例を示すもので、A 相においてこれが起り 2 次電流に 3 つのこぶを発生している。このように飽和領域において生ずる連続点弧は、明らかに変則的なものであって、3 相溶接機の正規の運転方法ではない。

しかし前者の不飽和領域における連続点弧は、溶接機の 2 次回路の形状寸法などより定まる時定数により必然的に発生するものであり、溶接結果に悪影響をおよぼすのみならず、イグナイトロンを傷損するおそれがあるから、なんらかの方法によって防止せねばならない。

これには普通最後の C 相を点弧した後に再び A 相を深く位相制御した状態でわずかに点弧せしめて、C 相電流を強制的にシャ断する方法が取られる。あるいは本機のように減衰電流を付加する方式においては、同様の効果によって連続点弧は起らない。一般に連続点弧の生ずる限界を算定すると、溶接機の時定数が電源周波数の 0.6~0.7 サイクルを越える場合になる。

すなわち 1 次側の 1 相の巻線よりみた電源周波数に対する力率が 22~26% 程度が限界となるわけであって、本機においては 1 表から計算すればこの値はスポットの場合に約 13%、シームの場合に約 16% となるから当然

連続点弧の発生範囲に入る。

ここでついでに 2 次電流の上昇に対する時定数を計算すると、スポットの場合に 16.4 m/sec、シームの場合に 13.7 m/sec となり、オシログラムより実測された結果とよく一致する。

いままでの計算においては 2 次回路の抵抗はすべて直流抵抗を採用したが、特に加熱時間、冷却時間を短かく選んだマルチパルス方式とすることは、実効抵抗は幾分増加するはずである。今回はこれについての測定は行わなかったし、まだこれに関しては十分な報告をみない。

ウ、加圧力測定、シーケンスの確認

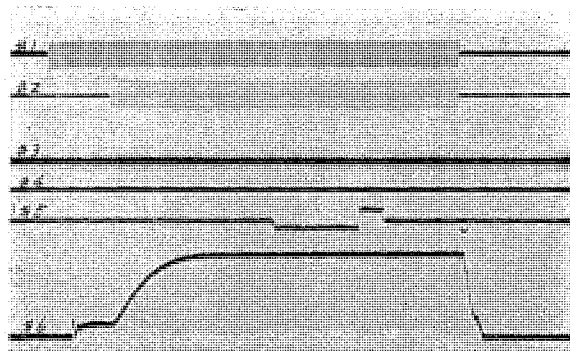
31 図は定加圧方式における圧力変化と電流の関係を示すオシログラムである。

#1, #2 は加圧シリンダの電磁弁の電流、#5 は点弧信号を送る電圧に相当するもので、下側にふれていて期間のみ溶接電流が流れる。#6 は抵抗線ひずみ計の出力で加圧力変化を示す。

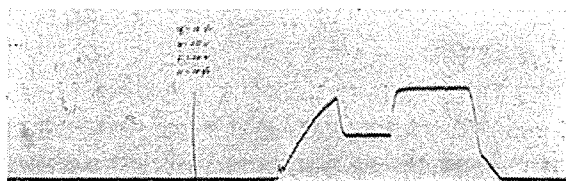
32 図は可変加圧方式の典型的な例を示すオシログラムで、鍛造圧力の立ち上りはその最終値の 80% に到達するのに、3 サイクル弱という結果が得られた。この値はこのような大型のシーム溶接機に対しては、かなりすぐれた値といえよう。

33 図、34 図および 35 図は種々の溶接方式の場合の溶接電流の通電期間と、加圧力変化との相対関係を示すオシログラムで、いずれも #1 は背圧をあたえる電磁弁 SV 3 の電流、#2 は加圧電磁弁 SV 4 の電流で、#3 は鍛造遅れ時間を制御するリレーの電流である。

33 図および 34 図においては #4 が点弧信号を送る電圧波形で、前者はシングルインパルス、後者はパルセーションであることを示している。



31 図 定加圧力方式
Fig. 31. Constant pressure cycle.

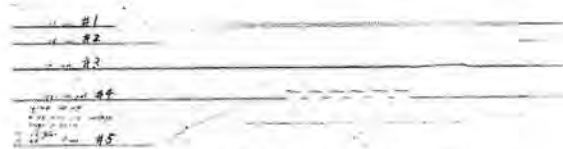


32 図 可変加圧方式
Fig. 32. Variable pressure cycle.



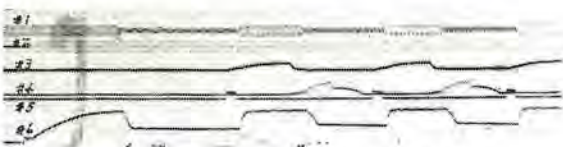
33 図 シングルインパルス可変加圧方式

Fig. 33. Single impulse variable pressure cycle.



34 図 パルセーション可変加圧方式

Fig. 34. Pulsation variable pressure cycle.



35 図 断続シーム溶接のシーケンス

Fig. 35. Overlapping roll-spot welding.

35図は断続シーム溶接のシーケンスを示すもので、この場合は#4は駆動用電動機の電機子電圧であり、#5の矩形波が加熱時間に相当する。

このオシログラムよりわかるように、駆動用電動機は最初の1回は回転しないように工夫されていて2回目から送りがかかる。

電動機は鍛造圧力が低下しはじめる頃から回転し出しあらかじめ調整された時間だけ給電されて後、直ちに制動を受けている。

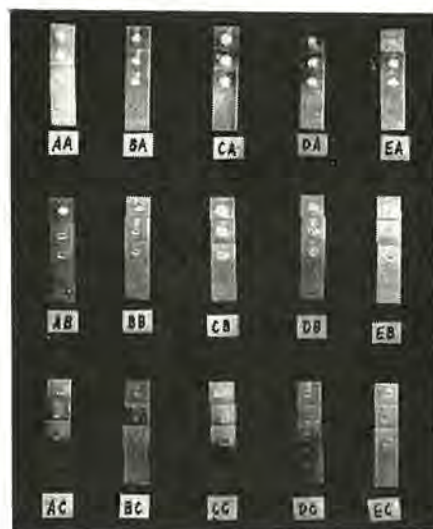
溶接電流は電動機が完全に停止してから流れはじめ、引き続いて鍛造圧力が立ち上っている。すなわちこのオシログラムによって、断続シームあるいはロールスポットにおける複雑なシーケンスが、完全に遂行されていることを確認することができた。

エ. 溶接試験

溶接試験は現在 24S-T3 アルクラッドアルミニウム合金に対して、米軍溶接規格 MIL-W-6860 にしたがって続行中である。

36図は最適溶接条件を見出すための予備試験に用いた引張試験片の写真で、この場合は外観検査、X線試験および引張強さのすべてにおいてACが最も良い結果を示したので、引き続きこの近傍の条件でマクロ試験をも含む更に精密な試験を行い100点試験へ進む予定になっている。なお試験はロールスポットにて行っている。

一方米軍規格とは別に、次のような試験を行った。3.5 mm 厚の軟鋼黒皮板は一般にそのまま溶接することはほとんど不可能であるが、本機において予熱電流の制御のもとにパルセーション溶接をすると、散りはきわめて少なくなつて、溶接が可能であることが認められた。



36 図 24S-T3 2.3mm×2 スポット試験片

Fig. 36. Spot specimens of 24S-T3 alclad aluminium alloy.

また 3.0 mm のアルミニウムに対しても断続シーム法を採用すれば、すぐれたシーム溶接を得ることができた。

その他黄銅板のシーム溶接を行って耐圧試験 (Pillow test) をした結果、十分満足な溶接を行い得ることが認められた。

更に今後は軽合金と平行して、耐熱合金等に対しても定量的な試験を行いたいと考えている。

5. む す び

工業界の要望に応じて、本邦最初の大容量 3 相低周波型ロールスポットシーム溶接機を試作し、その電氣的、機械的特性を測定し種々検討を行って、ほぼ満足すべき結果を得た。

この型の溶接機はその特性上電氣的設計に対して、完全に計算にのせることが困難な面があるが、今回の試験によって一応理論的に導いた式が実験結果とよく一致することが明らかとなった。

設計上の問題点は溶接変圧器鉄心断面積の決定と 1 次の相間ろうえいリアクタンスの選定、2 次回路の全抵抗の推定および溶接機時定数に対する考慮などがある。

試験結果として鉄心断面積はまず適当といえるが、鉄心の初期状態によっては加熱時間を長く選ぶと、減衰電流に移行して後磁束の回復現象が起って、幾分逆電流が流れ減衰電流の平均値が低下する傾向があるから、更に安定な特性を得るには鉄心断面積を大きく選ぶほどよいわけである。しかしこれは価格と兼ね合いの問題になってくる。2 次回路の全抵抗は接触部の改良によって現在の値の 70~80% 程度に低下させ得る見込みを得た。

次に本機は 3 相溶接機の特徴を十分発揮せしめる意味において、ふところ寸法が大きく設計されているので、溶接機時定数は大きく連続点弧の現象に対して種々の資料を得ることができた。要は防止策として A 相をごく

わずか点弧させることであるが、シングルインパルスにおいては、減衰電流付加方式によってこれを兼用することができる。

鍛造圧力の立上りは3サイクル弱という良い結果を得た。

溶接特性に対する定量的な試験は米軍規格にしたがって現在施行中であるが、黒皮の厚鋼板のスポットおよび軽合金や黄銅板のシーム溶接に対して、すぐれた結果を得ることができた。

本報告は試作機に関する結果のみを記したが、現在すでに 100,000 A 級の3相溶接機は、4台目の製作を完了し、3台は試験を終えて好成績にて稼動中である。

稿をおくにあたり本機の設計、試験に積極的なご協力とご助言を賜った技術部中村幸雄係長、工作部南日達郎係長、鯨島壮太係長、牧田孝次郎技師その他の方々に深く謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) W.K. Boice: Circuit Analysis of Frequency-Changer Welders. Weld. Jrl. Oct. 1949
- (2) R. R. Rottier: Ignitrons for Frequency-Changer Welders. AIEE 2nd Conf. on Elect. Weld. 1950.
- (3) C. B. Stadum: Measuring Current in Low-Frequency R. W. Converters. AIEE 2nd Conf. on Elect. Weld. 1950
- (4) W. R. Stern: Instruments to Improve the Operation of Single Phase and Three Phase Resistance Welding Machines. AIEE 3rd Conf. on Elect. Weld. 1952
- (5) H. V. Nelson: A Comparison of Frequency Changer Circuits. AIEE 3rd Conf. on Elect. Weld. 1952.
- (6) J. R. Fullerton: Problems and Equipment in Aircraft Spot Welding. AIEE 3rd Conf. on Elect. Weld. 1952
- (7) G. W. Scott, Jr., & A. A. Burr: Magnetic Oscillograph Equipment for Development of Aluminum Alloy Spot Welding and Production Control of Welding Machines. Weld. Jrl. Aug. 1944
- (8) R. C. Mc Master & N. A. Begovich: Instrumentation of the Spot Welder and Investigation of 0.091-In-0.091-In. 24 S-T Alclad Sheet. Weld. Jrl. Oct. 1945
- (9) R. C. Mc Master & N. A. Begovich: Spot Welding of Heavier Gages of Aluminum Alloy.—New Portable Instrument of Current and Tip Force in Spot-Welding Machines. Weld. Jrl. Dec. 1945
- (10) J. L. Solomon: Three-phase Balanced Load Resistance Welding Machines. Weld. Jrl. May 1947
- (11) J. F. Deffenbaugh, J. A. Kuzmack & F. A. Trin Kall: Laboratory Experience with the Frequency Converter Resistance Welding Machine. AIEE 1st Conf. on Elect. Weld. 1949
- (12) J. L. Solomon: Resistance Welding with the Sciaky Three-Phase System. AIEE 1st Conf. on Elect. Weld. 1949.
- (13) G. M. Chute: Electronic Motor and Welder Control
- (14) 岸田: 3相低周波型抵抗溶接機 熔接界 第8巻 第1号
- (15) 岸田: 3相溶接機におけるロールスポットおよび断続シーム溶接装置 熔接界 第9巻 第1号
- (16) 電気学会: 水銀整流器

放電加工の研究

研究所 斎藤長男*・岩村武志*

Study on Spark Machining

Engineering Laboratory Nagao SAITO・Takeshi IWAMURA

As a source of spark machining, comparison was made through experiment between an improved RCL circuit using d-c and an applied high frequency circuit with respect to machining speed, surface roughness and error of machining. As a result it has been revealed that the latter works with a machining speed 10 to 20 times higher than the former under a condition of the roughness below $10\mu H$ max. Another comparison with a foreign device exhibited that this a-c method is far superior. Regarding the machining with uniform clearance, the latter also surpassed the former.

1. ま え が き

放電加工が紹介されてから数年を経過し、すでに工作機械として売り出されているものもあり、今や、放電加工は機械工作の一部門として、大きな存在になろうとしている。一般に知られている放電加工による結果は、加工速度を大にすれば、加工仕上面が悪く、加工仕上面を良くすれば、加工速度が極端に低くなる⁽¹⁾。そのため、良い仕上面を得ようとすれば、実用性のないような、低い加工速度にならざるを得ないような場合が多い。したがって、加工仕上面の良い領域でも、相当に大きな加工速度を維持できるような放電加工機が望ましい。この点が加工機の研究としてきわめて重要な問題の1つである。

われわれが試作した放電穴あけ機は、この点を十分に解決し得たものと考ええる。もちろん上述の傾向がある程度存在することはやむを得ないが、仕上加工に該当する範囲では、従来発表されている放電穴あけ機の10倍ないし18倍位の加工速度を有するのである。(42図と1表参照)

この点、放電加工は、仕上面が荒い範囲にしか使用できないという従来の常識を一変し、一種の精密加工機械へふみ出したといえることができる。

この報告は、比較のために、筆者が研究した2つの方式について述べる。1つは、放電間隙調整器を使用した直流単独電源の場合であり、もう1つは、高周波電源を応用した場合である。前者は、後者ほどには、性能は良くないのであるが、価格低廉という点で意味がある。後者は前に述べた高性能という点で大きな意義を有する。

なおこの報告では、放電加工そのものに関する解説的なことは、すでに衆知と考え省略し、直ちに装置、実験結果などについて述べるようにした。報告中の用語も、一般の報告に見られるものを使用し、用語の説明は行わないことにした。

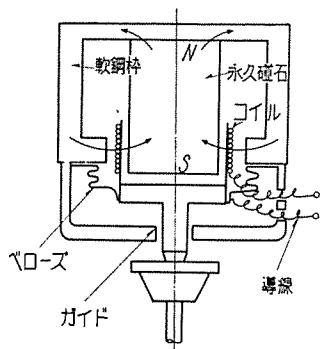
2. 放電間隙調整器を用いた直流単独電源の場合

放電穴あけ加工は加工中の微小な放電間隙(約1/100~3/100mm注、本文5項参照)を常に維持するように、加工の進行に従って電極を送らなければならない。そのために、一般には、放電間隙距離の変化に従うと考えられる加工中の電流、または、両極間の電圧を検知して、直流電動機をフィード制御、アーマチャ制御することが知られている。

筆者も、研究の初期において、フィード制御を使用してみたが、電源電圧の高い、しかも蓄電器の大きい条件では、安定に自動制御ができるが、低電圧、小蓄電器の条件になると、不安定になり、加工速度なども低下することがわかったので、電動機よりは応答度の早いと考えられる磁石と線輪とから成る放電間隙調整器を試作した。これを使用した結果をまず述べる。

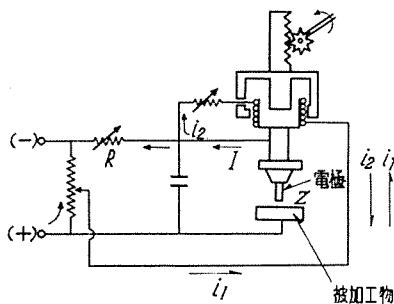
ア. 放電間隙調整器の構造

1図に放電間隙調整器(以下間隙調整器と記す)の原理構造図を、2図に使用時の結線を示す。いま1図について説明すると、永久磁石によって常に矢印のように磁束が流れている。導線よりコイル電流が流れるとコイルは電流と磁束の方向によって下向か、上向かに動くようになっている。コイルは、ベローズのようなばね作用のあるものによって支えられ、前述の上向、下向の力と平衡している。コイルは、その先端に軸がとりつき、チャック、電極棒がとりつけられている。2図によってその作用を説明すると、直流電源がまず高抵抗で短絡され、その適当な中間の点と、充電抵抗を通った点とに、前記コイル導線の両端が接続される。いま、直流電源がスイッチインされると、電極間隙が十分大きくて放電が流れていない場合は、コイルに流れる電流は i_1 の方向である。この場合に電極は下向に作動するようにしておく。つぎに放電が始まると、 I なる放電電流はコイルにも分流して i_2 が流れる。 i_1 と i_2 とは逆方向であり、 i_1 は



1 図 間隙調整器原理図

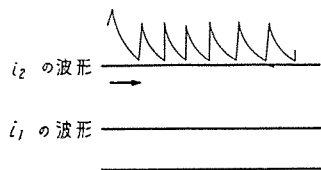
Fig. 1. Principle of spark gap controller.



2 図 間隙調整器使用状態結線図

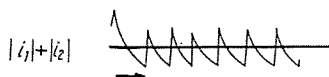
Fig. 2. Spark gap controller in application.

一定値であるから、放電間隙がせばまり、放電間隙のインピーダンス Z が小さくなると I が増大し結局 i_2 が増すから、コイルに流れる電流は i_1 と i_2 との代数和となり、電極が短絡しようとするとき直ちに上向きに逃げるように作用する。また、コイルを流れる電流波形は 3 図のごとくであるから、電極、チャックなどを含めた可動部分の固有振動数が放電の周波数よりも高ければ、電極は 1 回の放電ごとに、上方に逃げるような振動を行いながら作動することになる。4 図が試作品、5 図が改良品を、ボール盤にとりつけた状態を示す。



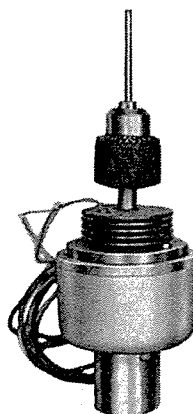
3 図 コイル中の電流波形

Fig. 3. Current wave in the coil.



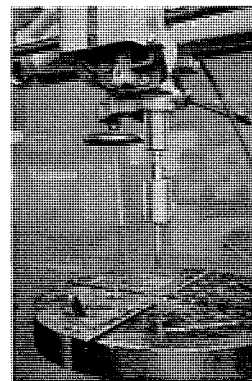
イ. フィールド制御単独と間隙調整器併用の場合との比較

放電加工回路は、ラザレンコ回路 (RC 回路) であるが充電の起上りを良くするため L を入れ $R \ll 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ の振動型とした。6 図がフィールド制御単独の場合の結線を示す。7 図に加工速度の比較図を示した。間隙調整器を使用すれば、低電圧、小蓄電器の場合に効果を発揮



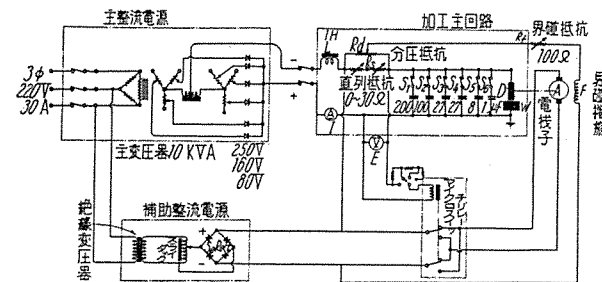
4 図 放電間隙調整装置

Fig. 4. The spark gap controller.



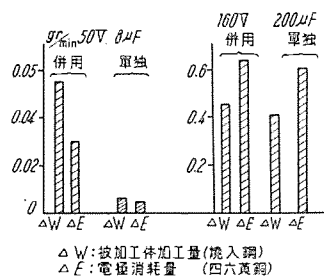
5 図 間隙調整器をボール盤にとりつけた状態

Fig. 5. Spark gap controller is set to boring machine.



6 図 フィールド制御結線図

Fig. 6. Field control block diagram.



	短絡電流	放電平均安定電流
50V 8μF	10 A	併用 3A 単独 0.5A
160V 200μF	10 A	併用 7.5A 単独 6A

電極 4 mm φ 四六黄銅
被加工体 1.5 mm 厚焼入鋼

7 図 加工速度の比較

フィールド制御と間隙調整器併用の場合

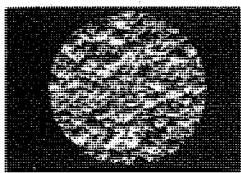
Fig. 7. Compared graph of machining speeds.

し、高電圧、大蓄電器の場合には、あまり差異はないように見える。低電圧、小蓄電器の場合には、フィールド制御単独では、短絡回数が多いので、このようなことになると思われる。

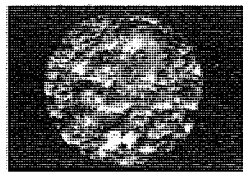
つぎに、仕上面の比較を行ったものが 8 図である。仕上面を、最大アラサ (H_{max}) で示すとつぎのようになる。

条 件	併 用	単 独
50 V, 8 μF	24 μ	55 μ

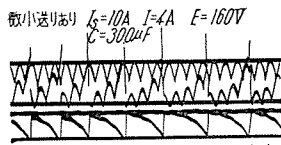
8 図から、フィールド制御単独は放電による加工痕がそろっていないから面全体としては、不規則な大きな粗さ



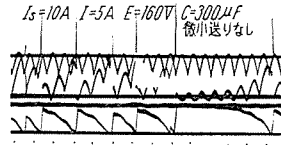
50V-8 μ F No. 24 と対照 24 μ
8 図 a 間隙調整器併用
Fig. 8-a. Spark gap controller with field control.



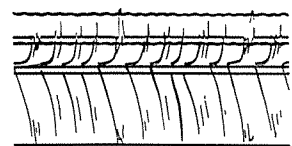
50V-8 μ F 55-60 μ 間隙調整器使用せず、No. 25 と対照
8 図 b フィールド制御単独
Fig. 8-b. Field control alone.



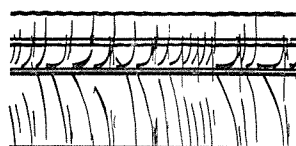
間隙調整器使用 L のない場合
Spark gap controller without L.



フィールド制御単独 L のない場合
Field control alone without L.



間隙調整器使用 LRC 回路
Spark gap controller with LRC circuit.



フィールド制御単独 LRC 回路
Field control alone with LRC circuit.

9 図 間隙調整器併用とフィールド制御単独の場合の放電電圧波形の比較

Fig. 9. Comparing the spark pulse wave of spark gap controller with field control and field control alone.

となり、併用の方が加工痕がそろそろため面が細かくなることがわかる。この点は 9 図の放電波形の比較によっても理解することができる。

ウ. 間隙調整器併用による実験

以上の予備的実験によって間隙調整器の優秀なことがある程度わかったので、加工速度、仕上面粗さについて、諸条件を変えて実験を行ってみた。

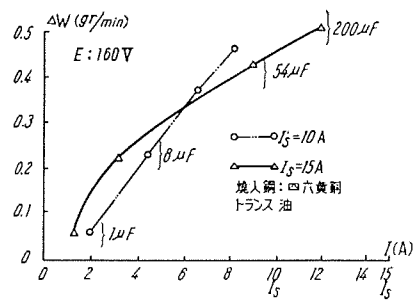
(1) 加工速度

加工速度は、ある短絡電流に対し、放電平均電流が安定である最大電流値のときの値をとった。放電平均電流を短絡電流の幾パーセントに選ぶように電極を送れば、その条件での最大の加工速度をうることができるかという問題は、すでに実験的⁽²⁾・理論的⁽³⁾に報告されているが、一般には、このような条件では安定に制御を行うことが困難である場合が少なくない。むしろ、安定な放電平均電流をどうすれば短絡電流に対して大きな割合に流しうるかが問題で、結局電極の送り制御が重要であり、ここに述べる間隙調整器の電極送り制御性能も、いかにどの最大安定電流値をうるかによってきまるのである。これが、加工速度を最大安定電流値に対してとった理由である。

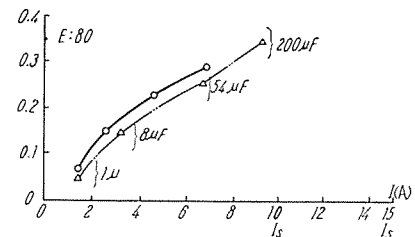
実験条件はつぎのごとくである。

電源電圧 (E) 160 V, 80 V, 30 V.

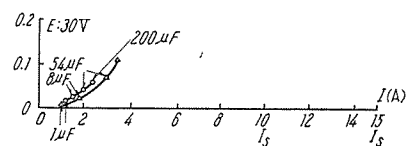
蓄電器 (C) 200 μ F, 54 μ F, 8 μ F, 1 μ F.



10 図



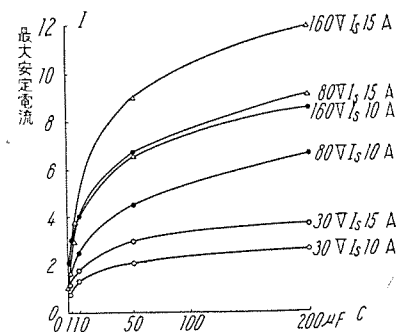
11 図



12 図

10 図, 11 図, 12 図 加工速度と最大安定電流

Fig. 10, 11, 12. Relation between machining speed and maximum stable current.



13 図 最大安定電流と蓄電器容量
パラメータは電源電圧、短絡電流

Fig. 13. Relation between maximum stable current and condenser capacity. Parameter is source voltage and short current.

短絡電流 (I_s) 10 A, 15 A.

なお、放電平均電流は I で示し、これは 6 図の直流電流計で読む。

被加工体は、焼入炭素鋼 (金鋸の刃, 1.7 mm 厚み)

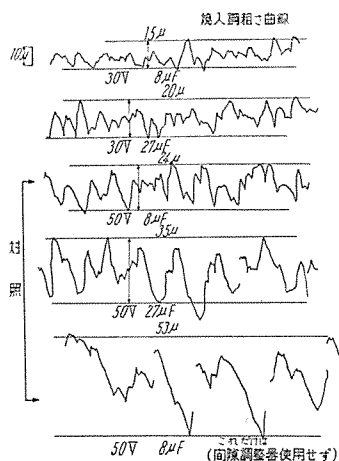
加工電極 四六黄銅 直径 4 mm

加工量 ΔW (gr/min) であらわす。

実験結果は 10 図ないし 12 図に示す。これを整理して最大安定電流と蓄電器容量との関係を求めたものが 13 図である。パラメータは電源電圧・短絡電流である。これによって間隙調整器の性能が、かなり明瞭にわかる。 E , C , I_s が大であれば、 I も大となり、反対に小であれば I も小となることがわかる。(20 図ないし 25 図と比較参照)

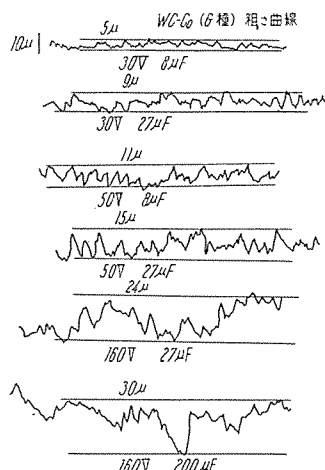
(2) 仕上面粗さ

つぎに放電加工をした底面の仕上面を測定した結果を



14 図 焼入鋼粗さ曲線

Fig. 14. Surface roughness profile curve of quenched steel.



15 図 WC-Co (G 種) 粗さ曲線

Fig. 15. Surface roughness profile curve of sintered tungsten carbide.

示す。測定器は日本光学触針式(縦×1,000, 横×50, 針先 $R 10\mu$ サファイヤ針)である。

14 図 焼入鋼 粗さ曲線

15 図 WC-Co (G 種) 粗さ曲線

16 図 焼入鋼 底面写真

17 図 WC-Co (G 種) 底面写真

この際、14 図、16 図の間隙調整器を使用しない場合との比較が明瞭にわかる。

つぎに加工速度と仕上面粗さとの関係が問題になるが、これは一括して高周波応用による結果と比較することにする。

3. 高周波応用による放電加工

放電加工に高周波を使用する考えは、今までにもないわけではない⁽⁴⁾⁽⁵⁾。米国の Elox という放電加工機も多数の真空管(約 54 本)を並列に使用して、高周波を加工に用いているらしい。しかし、多分に実用的には疑問があるという意見もある⁽⁶⁾。

筆者らも早くから、放電加工に高周波を応用することを考えたが、エネルギーの小さいことによる不経済が進展を阻んでいた。先般来、直流との併用によって、高周波エネルギーが拡大できそうであるという予想のもとに、実験を進め、予想以上の好結果を得た。

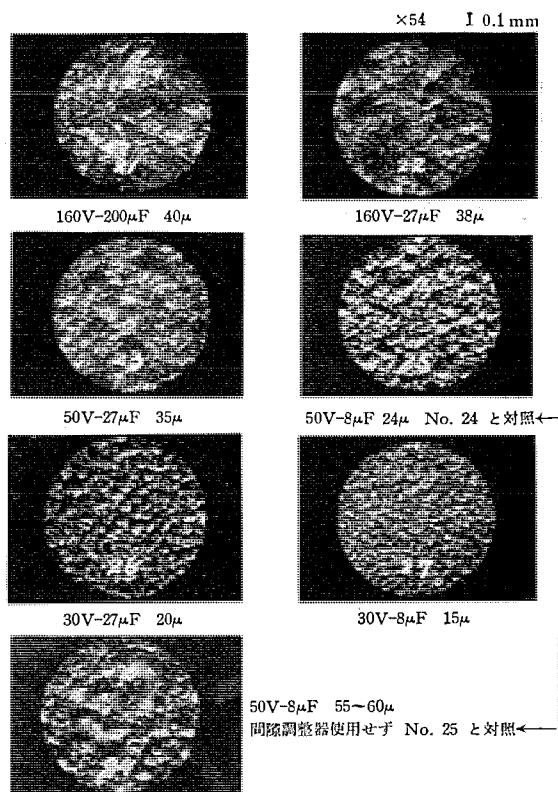
筆者らの使用している回路は、前述の⁽⁴⁾⁽⁵⁾のものとはまったく異なるものであり真空管は数本しか使用していない。(2 種の回路について特許申請中)

以下に装置の概略、実験結果等を述べる。

ア. 装置の概略

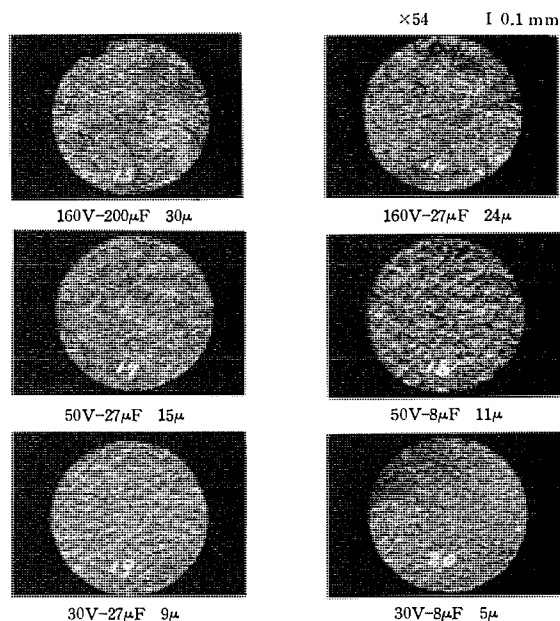
高周波応用の放電加工を行うについて 18 図の機械を作り実験を行った。この機械は、前述の間隙調整器は使用しないで、電動機による電極送りをを用いる。深穴を加工する目的があるため、加工液は電極内部から循環させるようにしてある。加工終了後は早もどりができる。

放電加工の研究・斎藤・岩村



16 図 直流法による焼入鋼表面写真

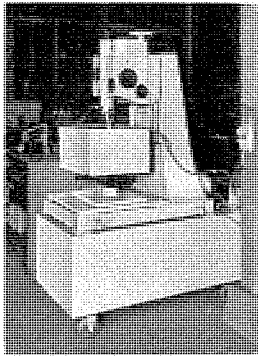
Fig. 16. Micro-photo of spark machined surface of quenched steel (Improved LRC circuit).



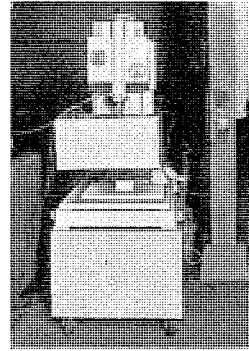
17 図 直流法による焼結炭化タングステン表面写真

Fig. 17. Micro-photo of spark machined surface of sintered tungsten carbide (Improved LRC circuit).

電極送りは全自動制御となっており、高周波単独、高周波と直流との重畳、のすべてが自動制御で行われる。放電回路は 19 図に示す。直流は RCL 回路で $R \ll 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ にしてあるから共振回路となっている。C は直流が高周波結合用の巻線に流入するのを阻止するようにも作用する。高周波は結合回路を経て C を通り放電間隙に供給される。自動制御は両極の端子電圧をとり、制御回路で増



側面 (a)

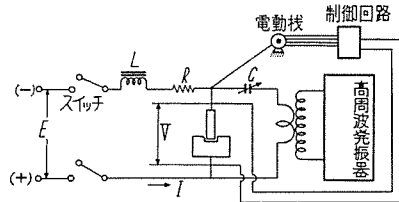


正面 (b)

18 図 放電穴あけ機械

Fig. 18-a. Electrical spark machine for boring (side).

Fig. 18-b. Electrical spark machine for boring (front).



19 図 放電加工回路図

Fig. 19. Spark machining circuit.

幅され電動機による電極送り速度を制御する。両極間の電圧は、任意に選ぶことができる。高周波周波数は数百キロサイクルを用い、同出力は数百ワットである。

イ. 加工速度

加工速度の実験は、高周波関係はなるべく一定とし、(なるべくという意味は、両極間のインピーダンスの変化などにより出力などの変動があるため、まったく一定にはできないからである。)直流の条件をつぎのように選んだ。

電源電圧 (E) 250 V, 160 V, 80 V

短絡電流 (I_s) 20 A, 15 A, 10 A (5 A, 3 A)

括弧内は鋼の場合だけ

蓄電器容量 (C) $8\mu\text{F}$, $1\mu\text{F}$ ($0.3\mu\text{F}$, $0.1\mu\text{F}$)

括弧内は 80V の場合だけ

$8\mu\text{F}$ が油紙蓄電器, ほかはマイカ蓄電器

短絡電流に対する放電平均電流の割合は、2. ウ. (1) に述べたと同様に、流しうる最大安定電流を採用し、そのときの加工速度をとった。加工速度は 3 分間加工し、1 分間当りの平均値を算出した。

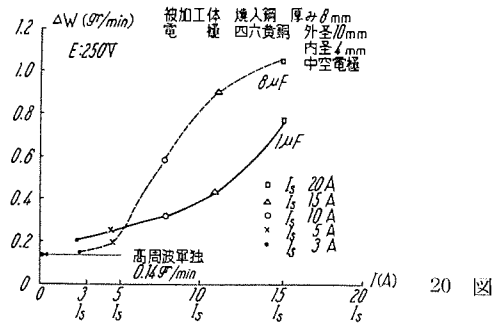
被加工体 焼入鋼 厚み 8 mm

焼合炭化タングステン (トリディア
 G_2) 厚み 8 mm

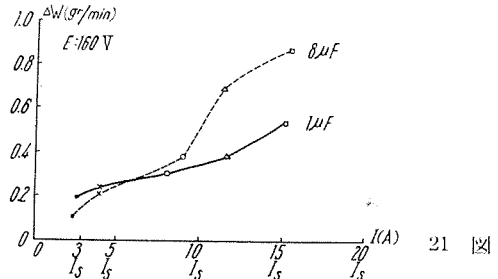
加工電極 四六黄銅, 外径 10 mm 内径 4 mm
の中空電極

結果は 20, 21, 22 図が鋼の場合, 23, 24, 25 図, が焼結炭化タングステンの場合である。

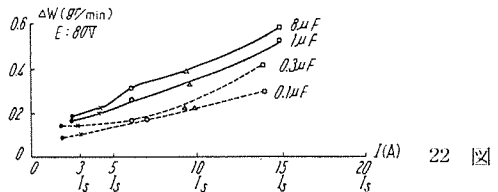
いずれの場合も最大安定電流は、短絡電流の 70~90% に安定させることができる。これは前述の 2. ウ. (1) の



20 図



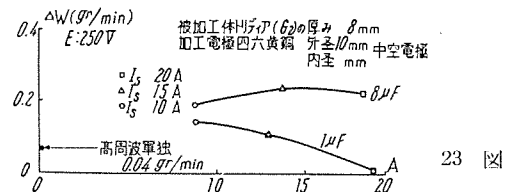
21 図



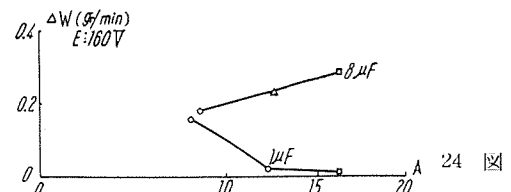
22 図

20 図, 21 図, 22 図 加工速度と最大安定電流 (焼入鋼)

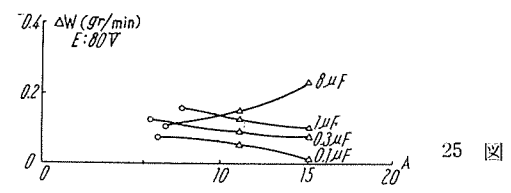
Fig. 20, 21, 22. Relation between machining speeds and maximum stable current.



23 図



24 図



25 図

23 図, 24 図, 25 図 加工速度と最大安定電流
(焼結炭化タングステン)

Fig. 23, 24, 25. Relation between machining speeds and maximum stable current (sintered Tungsten carbide).

結果 (10, 11, 12 図) と比べ、いちじるしい相違で、非常に小容量の蓄電器であっても、このような大きな放電平均電流を通しうることは、いかに自動制御が楽であるかを意味する。

焼入鋼の場合について見ると、加工速度は、短絡電流

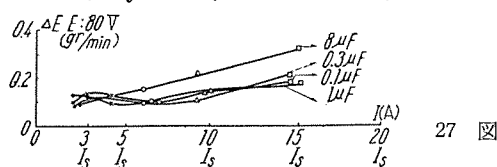
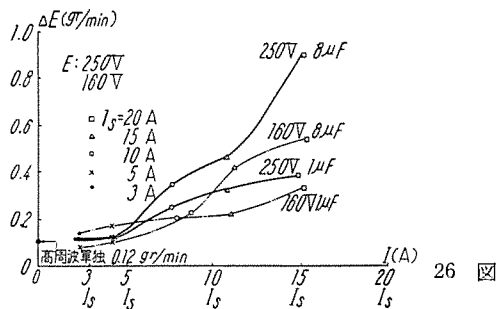
の増加と共に増加している。

焼結炭化タングステンの場合には、小容量蓄電器を用いると、短絡電流の増加と共に加工速度が著しく低下している。一方、仕上面写真(41 図(b) 参照)を見ると加工電極がところどころ転移しており、連続アークが生じたのではないかと思えるような荒れた面となっている。したがって、焼結炭化タングステンの場合には、大きな放電平均電流を用いようとすれば、少くも $8\mu\text{F}$ 以上の蓄電器を使用する必要があると思う。(これは、あくまでもこの程度の高周波、直流を用いた場合を前提とする。)

なお、両方の場合に共通であるが、 $8\mu\text{F}$ を用いた場合、 I_s の小さい範囲で案外加工速度が低下しているのは、 $8\mu\text{F}$ の油紙蓄電器が、高周波に対して損失率が大きいので、直流による放電エネルギーが小さい範囲で影響が現われると想像する。その証拠にこの場合油紙蓄電器はかなり熱くなるのである。したがって容量が比較的大きくしかも損失率の少ない蓄電器を要することになる。

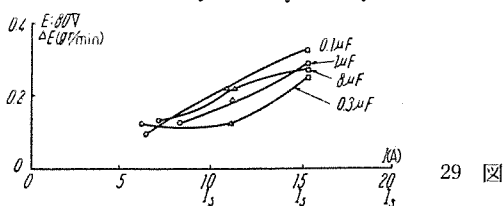
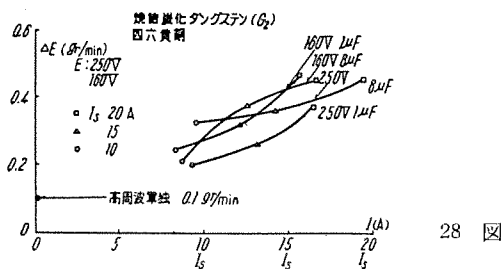
ウ. 電極の消耗割合

電極が消耗する速度を測定したものが 26~29 図である。



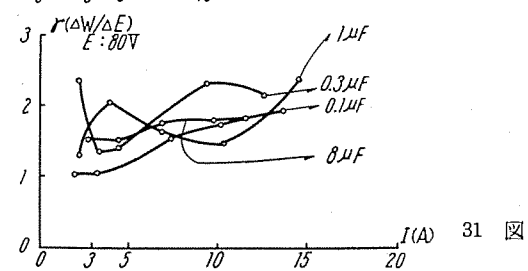
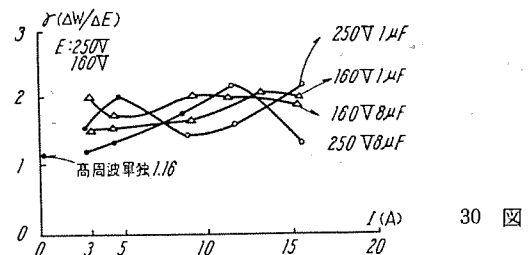
26 図, 27 図 焼入鋼加工の際の電極消耗量

Fig. 26, 27. Relation between electrode consumption speeds and maximum stable current in machining quenched steel.



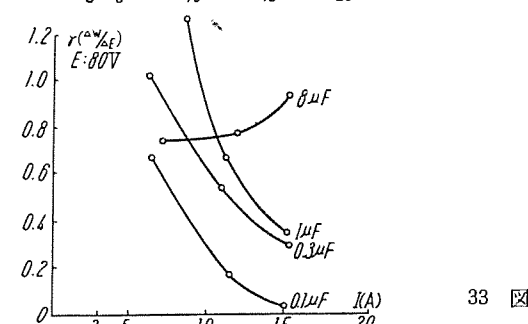
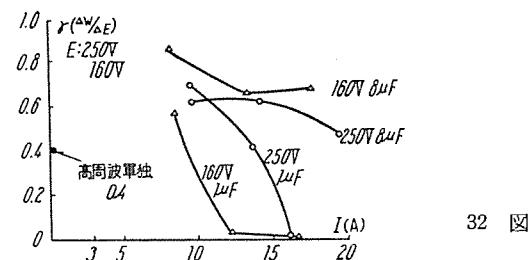
28 図, 29 図 焼結炭化タングステン加工時の電極消耗量

Fig. 28, 29. Relation between electrode consumption speeds and maximum stable current in machining sintered tungsten carbide.



30 図, 31 図 焼入鋼と四六黄銅電極との消耗割合

Fig. 30, 31. Relation between electrode consumption rate and the maximum stable current in machining quenched steel.

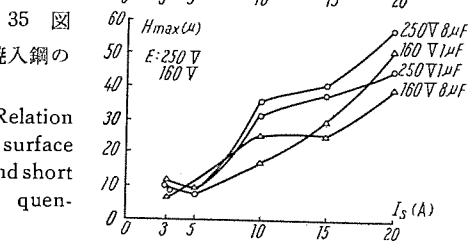
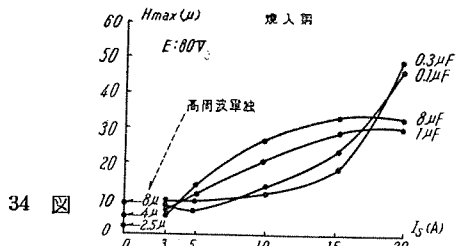


32 図, 33 図 焼結炭化タングステンと四六黄銅の消耗割合

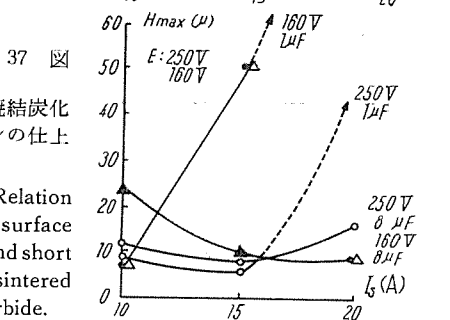
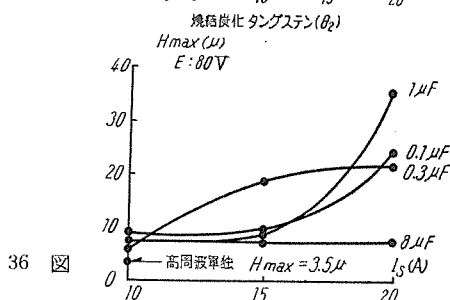
Fig. 32, 33. Relation between electrode consumption rate and the maximum stable current in machining sintered tungsten carbide.

る。消耗量を ΔE (gr/min) であらわし、加工電流に対してとってみた。被加工体が焼入鋼の場合にも、焼結炭化タングステンの場合にも、放電平均電流 I が増加すると消耗量が一様に増加している。一方加工速度の方を見ると、20, 21, 22 図の焼入鋼の場合は I の増加と共に加工速度 ΔW が増加しているが、23, 24, 25 図の焼結炭化タングステンの場合は I の増加によって ΔW が減少するような場合もあるので、加工速度に対する電極の消耗割合は 30, 31 図(焼入鋼)と 32, 33 図(焼結炭化タングステン)のようにまったく違った傾向が見られることになる。

この結果から見て、焼入鋼の場合大体 $\gamma = \frac{\Delta W}{\Delta E} = 1 \sim 2.5$ を示しているが、焼結炭化タングステンの場合は $\gamma = 1.25 \sim 0$ に至る広い範囲を示している。



34 図
35 図
34 図、35 図 焼入鋼の
仕上面粗さ
Fig. 34, 35. Relation
between surface
roughness and short
current on quen-
ched steel.



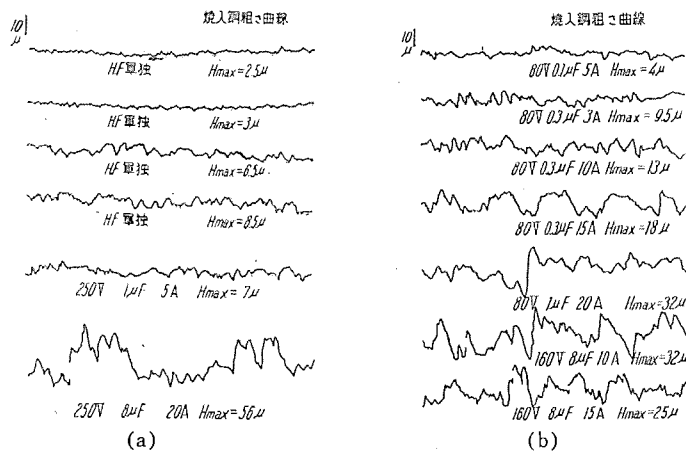
36 図、37 図 焼結炭化
タングステンの仕上
面粗さ
Fig. 36, 37. Relation
between surface
roughness and short
current on sintered
tungsten carbide.

$\gamma(\Delta W/\Delta E)$ の極度に低い点は、電極の消耗自体が不利であるばかりでなく、仕上面粗さも非常に悪くなる場合があるから注意を要する。(3. 工. 項参照)

高周波を単独に使用した場合の消耗割合は、焼入鋼で $\gamma=1.16$ 、焼結炭化タングステンで $\gamma=0.4$ である。

工. 仕上面粗さ

仕上面粗さと加工条件との関係を 34~37 図に示す。



38 図-(a)(b) 焼入鋼粗さ曲線
Fig. 38 (a)(b) Surface roughness profile curve of quenched steel.

34, 35 図 焼入鋼の場合

36, 37 図 焼結炭化タングステンの場合
仕上面粗さ曲線を 38, 39 図に示す。面は底面をとる。

38 図-(a), -(b) 焼入鋼

39 図 焼結炭化タングステン

仕上面表面写真を 40, 41 図に示す。

40 図-(a), -(b) 焼入鋼

41 図-(a), -(b) 焼結炭化タングステン

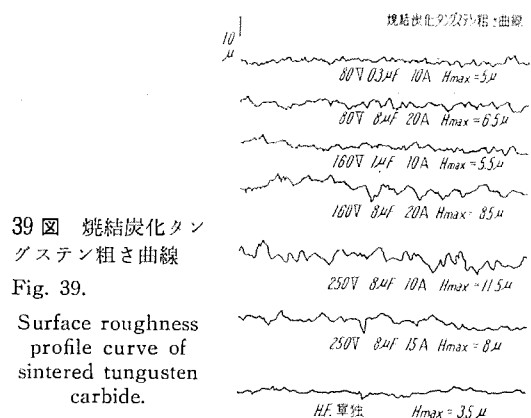
この結果では、同じ加工条件なら焼入鋼の方が焼結炭化タングステンよりも粗さが荒く出ていることがわかる。この写真のうち H. F. 単独とあるのは高周波単独を意味する。40 図 (a) の H. F. 単独に 4 つの面を示したが、これは高周波電圧を変えて得られるものである。

4. 高周波応用方式と直流方式との比較

ア. 加工速度と仕上面粗さ

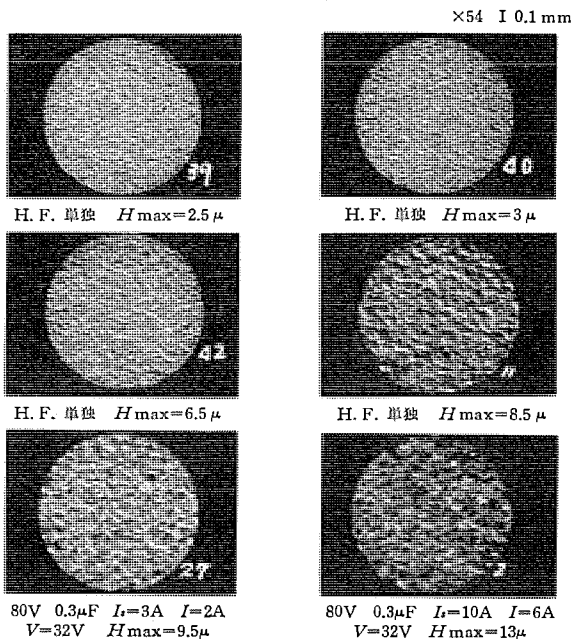
実用上の問題として、仕上面がどれほど良好であっても、実用にならないような加工速度では意味がないわけで、加工速度と仕上面粗さの関係を求めてみる必要がある。42 図は両対数目盛に加工速度と仕上面粗さの関係を求めたものである。もちろん前述の図表の中には、使用してはいけない条件があるのでそれは 42 図には入れていない。これを見れば、高周波方式は、直流方式に比べ格段に性能が良くとくに良好な仕上面の場合に大きな差異を生ずることがわかる。

また、他社の機械との比較をするため Charmilles 社の Eleroda D1 型の性能を例にとってみる。この性能は同社カタログ⁽⁷⁾(精密機械 Vol. 22, No. 4, 197 頁 図 5)を使用した。Eleroda の仕上面粗さは r.m.s. μ を使用しているので、これを日本で一般に使用している $H_{max} \mu$ に直すには仕上面の細かい範囲 ($1.8 H_{max} \mu$) で 4.74 倍荒い範囲 ($80 H_{max} \mu$) で 4 倍を r.m.s. μ に乗じてやればよいとされているから⁽⁸⁾、一応安全のため 4 倍を乗じて比較した結果を 1 表に示す。これから見てわかるように当社の高周波方式では、仕上面粗さの細かい範囲で加工速度がいちじるしく早く $4 \mu H_{max}$ では約 18 倍を示し、荒くなると両者の差が次第に縮まるこ



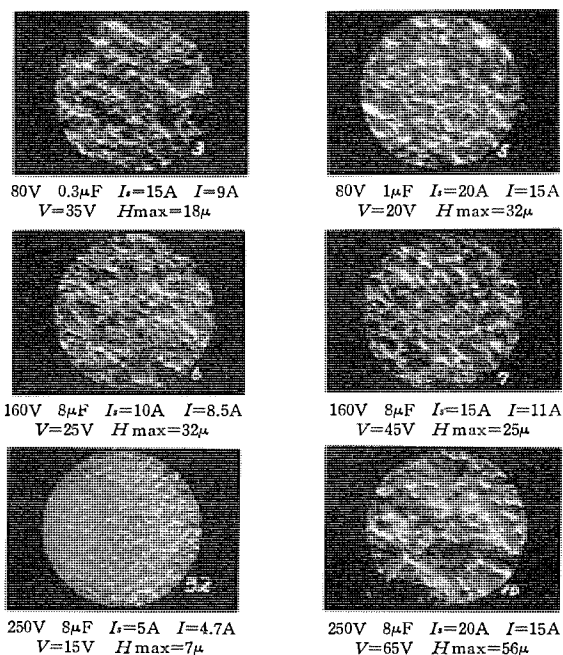
39 図 焼結炭化タング
ステン粗さ曲線
Fig. 39.

Surface roughness
profile curve of
sintered tungsten
carbide.



40 図 (a) 高周波応用による焼入鋼表面写真

Fig. 40-a. Micro-photo of spark machined surface of quenched steel.



40 図 (b) 高周波応用による焼入鋼表面写真

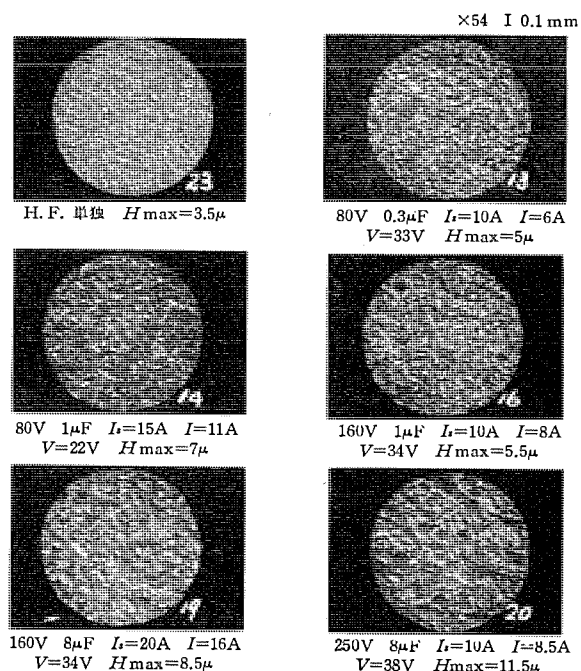
Fig. 40-b. Micro-photo of spark machined surface of quenched steel.

とがわかる。

イ. 加工誤差

放電加工をすれば、明けられた穴は必ず電極寸法よりも大きくなることは周知である。大きくなる量が穴全周均一になれば問題は少いが、43 図のようなくびれた部分がある場合は、その部分の電位傾度が高くなるため他の部分よりも大きく広がる。もちろん電極の方の角の部分も電位傾度が高く、次第に角に丸みをもつに至るが、電極の消耗していない部分まで送ってやれば、被加工体には角の形状がきちんと出るから問題はない。

放電加工の研究・斎藤・岩村

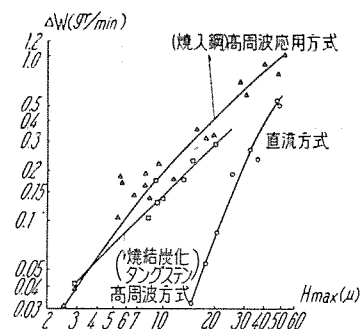


41 図 (a) 高周波応用による焼結炭化タングステン表面写真

Fig. 41-a. Micro-photo of spark machined surface of sintered tungsten carbide.



41 図 (b) 焼結炭化タングステンの荒れた面を示す
Fig. 41-b. Micro-photo of spark machined rough surface of sintered tungsten carbide.



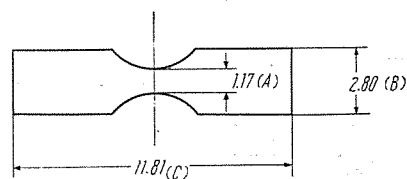
42 図 加工速度と粗面との関係

Fig. 42. Relation between machining speed and roughness (H_{max})

1 表

H_{max}	4 μ	8 μ	16 μ	28 μ
Eleroda D1 型	0.0027 gr/min	0.015 gr/min	0.078 gr/min	0.54 gr/min
当社 高周波方式	0.05 gr/min	0.14 gr/min	0.3 gr/min	0.6 gr/min

被加工物: 両者共焼入鋼 電極材料: 両者共四六黄銅
電極面積: Eleroda 100 mm² 当社 66 mm²
加工液: 当社 トランス油



43 図 電極寸法 (四六黄銅)

Fig. 43. Electrode dimension (4-6 Brass).

2 表 加工 誤 差

	D.C. 単独 80V 8 μ F $I_s=6$	H.F.+D.C. 80V 8 μ F $I_s=6$	H.F.+D.C. 80V 0.3 μ F $I_s=3$	H.F. 単独 数百 kc	H.F. 単独 数十 kc
表	A	1.96(0.79)	1.27(0.10)	1.19(0.02)	1.17(0.02)
	B	3.15(0.35)	3.01(0.19)	2.84(0.04)	2.83(0.03)
	C	12.01(0.20)	11.94(0.13)	11.84(0.03)	11.83(0.02)
裏	A'	1.50(0.33)	1.22(0.05)	1.18(0.01)	1.17(0.00)
	B'	3.00(0.20)	2.94(0.14)	2.81(0.01)	2.80(0.00)
	C'	11.90(0.09)	11.90(0.09)	11.82(0.01)	11.80(0.00)
A-A'	0.46	0.05	0.01	0	0
B-B'	0.20	0.05	0.03	0.03	0.05
C-C'	0.11	0.04	0.02	0.02	0

(1) 表中の括弧は電極寸法と寸法との差を示す。

(2) 被加工体 1.7 mm 厚焼入鋼 (鋳鋼)

そこでとくにくびれ部分を重視して、電極の元の寸法とどのような関係になるかを実験してみた。このような実験にはまず機械の精度、電極の取付が問題となるが、この際は一応熟練者の電極取付にまかせ、取付状態の数字的検討は行わなかった。

測定部分はくびれ部分 (A), 幅 (B), 長さ (C) とし、穴の加口入口 (表) と加工出口 (裏) とをそれぞれ求めた。

測定はヤシマ光学製コムパレータを使用し 1/100 mm までを読みとった。

被加工体は板厚 1.7mm の焼入鋼板 (ノコ刃) である。2 表の結果から A の部分 (くびれ) を見ると、明かに高周波法がすぐれ形状誤差が少い。重畳法がこれにつき、直流法 (D-C) はひどく劣っている。B, C 部分は A 部分ほどの差はないが、それでも最低 1/2 から 1/10 位の誤差の相違がある。表裏の差も高周波法がはるかに少く、これから見ても高周波法は精密な加工ができる。

5. 放 電 間 隙

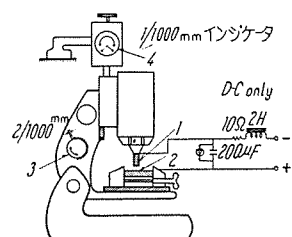
最後に放電間隙の大きさについて述べる。

放電加工の自動制御・加工精度・加工の機構などを考える上からもぜひ知って置きたいことであるが、非常に小さな値であること、液中であることのために測定はきわめて困難である。したがって次善の方法として、静的な放電開始間隙と、加工中に安定状態で急激に電源と送りとを停止した場合における間隙の大きさを求めてみた⁽⁹⁾。

ア. 測 定 装 置

44図に測定装置を示す。装置の説明はつぎのとおりである。

- ① 四六黄銅電極 直径 4mm ϕ 周囲を約 1.5 mm R に丸める。000 ペーパーで研磨
- ② 試 料
焼入鋼平板 000 ペーパー研磨後、酸化クローム
#1000 でラッピング
焼結炭化タングステン (G_2)



44 図 間隙測定器

Fig. 44. Installation for measurement of spark gap.

#1,000 メッシュ, ダイヤモンドラッピング

③ 顕微鏡微動ダイヤル

1 目盛 2/1,000 mm の上下動 全周 50 目盛に分割 1 回転は 0.1mm の上下

④ 1/1,000mm インジケータ

シチズン時計製 針の 1 回転 100/1,000mm

誤差曲線 (シチズン社検定) では 1 回転 $\pm 0.7/1,000$ mm が最大誤差

測定圧 50 g

⑤ 絶縁物 ベークライト板 厚み 7 mm

測定順序はつぎのごとし。

- (1) 電極が被加工体に対して接触している状態は、テストで感知する。抵抗レンジを 1 Ω とし電極と被加工体との間に結び、電極を徐々に降ろし、テストの作動点で止める。

テスト指針が動き抵抗零を示すまでの電極の上下動寸法は 0.5/1,000~1/1,000 mm, よって少くも 1/1,000mm の誤差がある。

- (2) ④のインジケータの零点合せる。

- (3) 微動ダイヤル③を反対に回し、両極を約 0.1 mm 離す。

- (4) 液体を滴下

油は絶縁油 (多少空気中で酸化をうけ褐色となっている。放電加工には未使用のもの。油に空気中から混入したゴミは沈澱法で除去。沈澱は約 1 か月静止したものである。) 水は水道水。

- (5) 電圧印加, テスタ等はとりのぞく。

- (6) 微動ダイヤルを用いて電極を徐々に降下させる。針は徐々に回る。

- (7) パチッと音がして放電が起る。最初の放電が起ったときの指針位置を読む。

また、加工を急停止した場合の測定は、急停止時に電極保持具の基準位置にインジケータの零点を合せ、両極間をテストに結び、つぎに電極を徐々に降下させテストが導通を起した点までのインジケータの読みをもって放電間隙とした。この際は、停止後両極間を洗浄するようなどことはしなかった。

イ. 実 験 条 件

直流電源を使用し、つぎの条件を用いた。

放電開始間隙の実験

電源電圧 (最大値となる) 15V, 30V, 50V, 100V

加工中急停止間隙の実験

電源電圧	短絡電流	抵抗	蓄電器
160V	10A	16 Ω	27 μ F
80V	10A	8 Ω	27 μ F

また、加工中の条件はつぎのようである。

電源電圧	放電平均電流	平均電圧
160V	5A	80V
80V	3A	54V

加工中に急停止した場合は、穴があまり深くないよう

ちに、平均電流の安定した条件で止めた。この場合、2項に述べた間隙調整器はもちろん使用できないわけである。

ウ. 実験結果

45～47 図に示す。結果はかなりのバラツキがあるので、そのまま記入し、範囲および平均値を示す線を入れた。45 図では、水が 100 V を加えると沸騰したため、結果は得られなかった。

45, 46 図より見れば、この範囲の電圧では、印加電圧の増大と共に、間隙が広くなるといえる。

つぎに 47 図の加工急停止の場合は横軸が平均電圧をとっているの、これを 45 図と比べるには、最大電圧を見なければならぬ。47 図の最大電圧は波形がわからないと一概にはいえないが、一応鋸歯状波と見るときは、平均値は最大値の 1/2 となるから、47 図の 53 V で 30/1,000 mm の点は、最大電圧 106 V、30/1,000 mm となり、45 図の 100 V 程度の間隙と大体一致することとなる。

6. む す び

以上直流単独による間隙調整器を用いた場合、高周波を応用した場合につき、加工性能の比較を述べ、また補遺として放電間隙の測定を述べた。

今まで述べたことを要約するとつぎのようになる。

ア. 間隙調整器を用いた直流方式

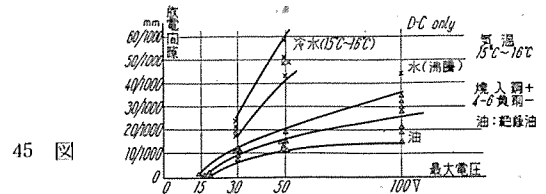
- (1) 単なるフィールド制御に比べ、低電圧・小蓄電器の範囲で、まさっている。
- (2) 最大安定電流は、電源電圧・蓄電器の大なるほど大で、短絡電流の 80% 位になるときもあるが、電源電圧・蓄電器が小さいと、次第に小さくなり、20% 位になる場合もある。

イ. 高周波方式

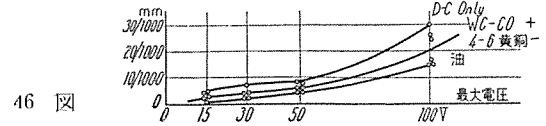
- (1) 最大安定電流は、小蓄電器の場合で 70 ないし 90 % 位に維持できる。
- (2) あまり蓄電器が小さいと、面が荒れることがある。
- (3) 高周波方式では、 $2\sim 3\mu H_{max}$ 程度の粗さが、0.04 gr/min、 $10\mu H_{max}$ 程度で 0.15 gr/min の加工速度が、焼入鋼、焼結炭化タングステン (G_2) の場合に得られる。

ウ. 直流方式と高周波方式との比較

- (1) 加工速度と仕上面粗さとの関係は、仕上面が良い場合ほど、その差ははげしく、 $10\mu H_{max}$ 以下では高周波方式が直流方式の 10 倍以上の加工速度を有する。他社の機械 (Charmilles の Eleroda D1 型) と比べても、 $4\mu H_{max}$ 程度で約 18 倍、 $8\mu H_{max}$ で約 9 倍、 $16\mu H_{max}$ で約 3.5 倍の加工速度を有する。一方、仕上面が、荒い範囲になると両者の差は次第に縮まる。
- (2) 穴加工によると穴の拡大量は、直流方式が最も悪く、とくに電位傾度の高い部分が被加工体側にあ



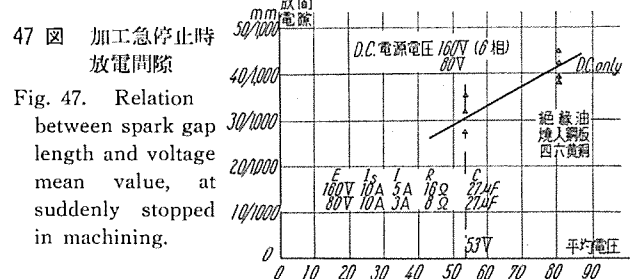
45 図



46 図

45 図, 46 図 放電間隙と電圧

Fig. 45, 46. Relation between spark gap length and voltage.



47 図 加工急停止時
放電間隙

Fig. 47. Relation between spark gap length and voltage mean value, at suddenly stopped in machining.

ると、極度に穴の拡大を起し、容易に 0.79 mm のような数値を示すから、直流法では、複雑な形状の穴は、均一なクリアランスで加工することはでき難い。

高周波法では、拡大量が容易に 1/100 mm 程度となり、あるいは 1/100 mm 以下とすることも可能であり、しかもそのときの加工速度は、前述のようにきわめて大きいものである。

エ. 放電間隙

放電開始間隙と、加工中に急に電源と送りを停止した場合の間隙を測定し、加工中の間隙の大きさも大体推定できるのではないかと思う。

最後に、終始ご指導ご鞭撻下された材料研究室山森室長、自動制御関係を担当していただいた電気第 1 研究室浜岡研究員、大野技師に御礼を申し上げる。

なお、実験に協力された真鍋明君に謝意を表する。

文 献

- (1) 鳳・倉藤：放電加工 60 頁，コロナ社
- (2) 左治木：放電加工の研究 (第 1 報) 精密機械 Vol. 18・No. 3 97 頁
- (3) 前出 (1) 26 頁
- (4) 山口太三郎：応物 Vol. 25・No. 2
- (5) American Machinist, April 23, 1956 p. 113~118 How to Understand Spark Erosion
- (6) 精密工作実地講習会テキスト 昭和 31 年 10 月 井上潔 57 頁
- (7) 精密機械 Vol. 22・No. 4 197 頁 図 5 参照
- (8) 倉藤尚雄：放電加工研究会資料 No. 30
- (9) 斎藤，岩村：放電開始間隙 精機学会大会講演 昭和 31 年 4 月 22 日

サージテスタによる小形誘導電動機の絶縁試験

名古屋製作所 大野 寛孝*・梶谷 定之**

Insulation Test of Small Induction Motors with Surge Tester

Nagoya Works Hirotaka ONO・Sadayuki KAJITANI

Surge testers are employed for the test of insulation of apparatus. They can be also used for detecting faults on wires with ease in addition to the pressure tests by means of surge voltages. The apparatus has undergone varied steps of improvement and development since it was introduced in 1943. Mitsubishi has completed a set of its own design and is using it with success as an insulation tester of general purpose motors. Insulation of electric machinery has a great bearing on its life. Various testing methods have been applied to secure confidence in the products, but none is so satisfying as this new system.

1. ま え が き

電気機械における絶縁方式の良否はその性能と寿命に大きな影響がある。長期間にわたるサービスライフを確保するためには信頼度の高い絶縁方式が必要であり、そのためわれわれメーカは通常の使用状態で受けるよりも、もっと高いストレスが製品の電氣的絶縁に加わるような各種の試験を行っている。巻線と大地間に商用周波数の $2 \times (\text{定格電圧}) + 1,000 \text{ V}$ の高い電圧を加える絶縁耐力試験はその代表的なものであり、また JIS にも規定されている試験である。しかしながら、この試験は巻線のターンまたはコイル間になんらのストレスを与えることができないので、もっと高い周波数によって巻線内に十分のストレスが加わるような試験もいろいろ考えられてきた。

実際の使用状態では、モータは回路遮断器や雷によって過渡電圧を受け、その波頭電圧が通常の使用電圧の数倍に達することも異常なことではない。そしてこれらの電圧の過渡波がターン間絶縁に通常電圧よりもはるかに高いストレスを与えることがあるといわれている⁽¹⁾。それゆえこれらの過渡条件に似せた試験が必要であることは容易にわかる。

また、モータの製造過程において材料的、あるいは工作的ミスによりターン・コイル間絶縁になんらかの欠点を内蔵することがないともいえない。とくにその欠点がきわめて小さいなものであればあるほど検出は困難であり、事実またその時はなんら異常なく運転できるものであるが、長期間の使用後、苛酷な条件での使用時に故障の禍根となることは十分考えられる。このような故障点をも確実に検出できるような試験が要求せられることもまた明らかである。

サージ試験は以上のような要求に合致するものとして発達してきたのであるが、われわれの製作したサージテスタはその精度と試験速度において、量産されている小形誘導電動機の絶縁試験器として貴重なものとなっている。

ここでは、サージテスタによる単相および3相小形誘導電動機の絶縁試験結果を中心としてこの装置の概貌を紹介したいと思う。

2. サージテスタの原理

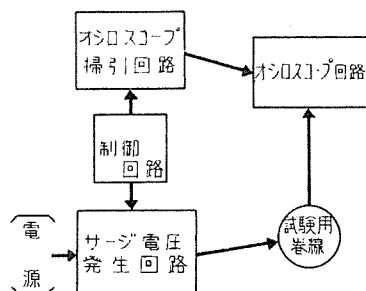
サージ電圧を巻線に印加する時は、その回路に分布されたインダクタンス、キャパシタンスおよび抵抗によりサージ波形が異なる。巻線に短絡または接地故障があり、インダクタンス、キャパシタンス、抵抗値に変化がある時はサージ波形も変ってくる。したがって同種の健全な巻線に対するサージ波形と比較することによって任意の巻線の故障の有無を検出することができる。

とくに、サージテスタは、周期的な方法で繰返し電気エネルギーのパルスを発生するので、巻線のコイル・ターン間にも十分な試験電圧を与えることができ電気絶縁における初期の故障をも精度よく検出できる。

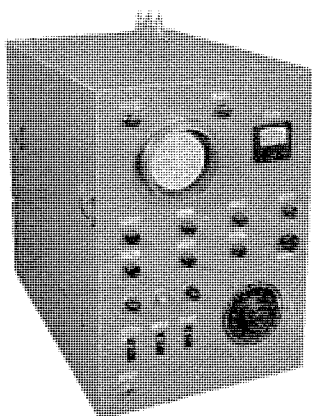
3. 装置の概要

1 図は装置の主要部を示す説明図である。装置の回路は、サージ電圧発生回路、オシロスコープ偏向板回路、オシロスコープ掃引回路、および制御回路の4部から構成される。

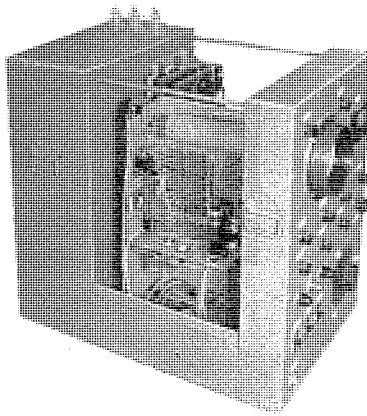
制御回路とはサージ電圧発生の時期とオシロスコープ掃引の時期を同期させるための回路であって、まずこの回路に発生した信号用パルスによってオシロスコープ掃引回路がはたらきサージ電圧発生を待つ状態にする。次にこの準備が完了した時に始めてサージ電圧が発生する。



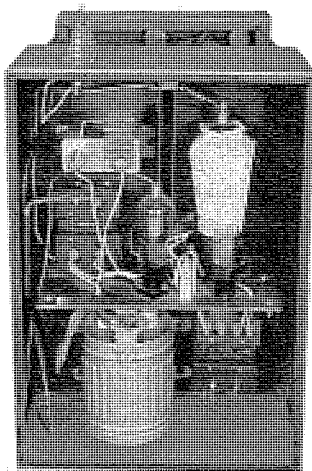
1 図 装置の説明図
Fig. 1. Schematic diagram of explanation of tester.



2 図 装置の正面図
Fig. 2. Front view of tester.



3 図 装置の側面図
Fig. 3. Side view of tester.



4 図 装置の背面図
Fig. 4. Back view of tester.

コンデンサの端子間に充電された電圧をサイラトロンによって周期的に放電せしめ電気エネルギーのパルスを発生せしめるのであるが、この周期は毎秒商用周波数に等しい回数で繰返される。サージの波頭の上昇時間、波尾の長さは、装置の回路および試験されるモータによって決定される。

サージは試験される巻線を通るが、この巻線の端子電圧がオシロスコープ

垂直偏向板に加えられるようになっている。ブラウン管面では制御回路の働きにより常に同一軌跡でサージ電圧波形が繰返し映るので、波形図は全く静止の状態で見られる。なお、ブラウン管面上の輝点は掃引と同時に輝度が上り、したがって現象のみを鮮明に映し他の余分な軌跡は映らないようにして直視に便なるよう工夫されている。

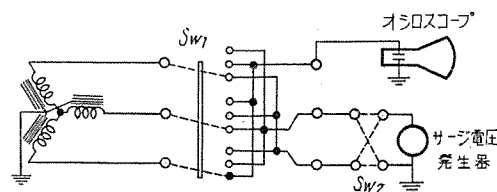
次に切換スイッチにより試験用巻線を取り換えてオシロ波形を見る。この時ブラウン管の残光性により、先の波形は残存して見えるので両者の波形を比較することは容易である。なおこの方法に関しては、別に速い周期で自動的に試験用巻線の接続を切換え、2 つあるいはそれ以上の波形を同時に映像させることもできる。

装置の外観は 2 図、3 図、4 図の写真で示す。

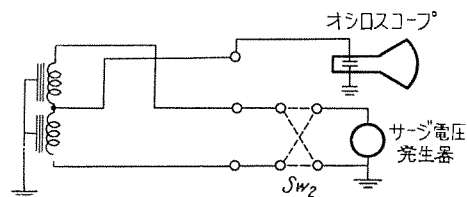
4. 故障の検出法

装置の上部に取りつけられた 3 個の端子に試験用巻線をつなぐ。5 図、6 図に示すように、3 相モータでは 3 本のリード線をそのまま 3 個の端子に、単相モータでは、2 つの巻線を所定の 1 個の端子を共通にして接続する。なお、単相モータにあっても 3 台で Y 結線にし、その 3 端子を装置の 3 端子に接続して使用することができる。

サージテスタによる小形誘導電動機の絶縁試験・大野・梶谷



5 図 3 相モータまたは 3 巻線の試験用接続図
Fig. 5. Connection diagram of three phase motors or three windings.



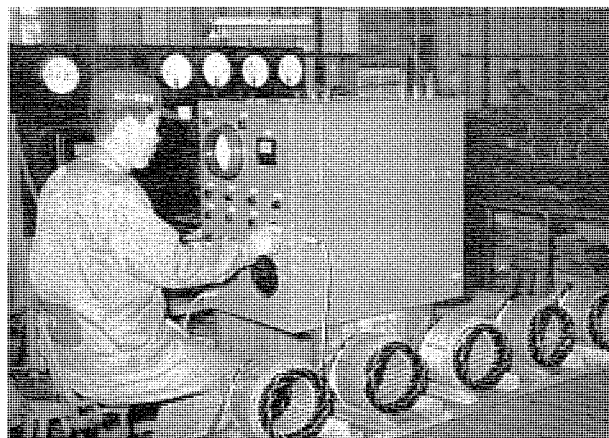
6 図 単相モータまたは 2 巻線の試験用接続図
Fig. 6. Connection diagram of single phase motors or two windings.

試験の際にはモータコアは接地する。

電源を入れ、電圧調整器で規定試験電圧値に電圧を上昇せしめた後試験を行う。3 相モータまたは Y 結線をした 3 個の単相モータでは装置正面に取りつけられた切換スイッチのノッチ SW_1 を 1, 2, 3 の位置に切換えた時、そのおのこのオシロ波形が完全に一致しているならば各巻線はいずれも正常である。オシロの波形がくずれて一致しない時は、その時の切換スイッチ SW_1 ノッチ符号を調べ、その番号と同じ番号の端子に接続されている巻線が短絡故障を起していることがわかるようになっている。この時はまた他のノッチにおいてもオシロ波形が若干くずれる。

故障が相間または 2 台の巻線に及んでいる時は、2 個のノッチで著しくくずれた波形を示すから上記の故障と区別ができる。

次に接地故障の場合は短絡故障と異った現象を呈するので注意を要す。すなわち、この場合は著しく波形の振幅が縮少することが特長であり、切換スイッチのノッチ



7 図 サージテスタによるモータの巻線絶縁試験
Fig. 7. Motor winding insulation test with surge tester or production line.

番号が接地巻線の番号と一致した所で比較的正常に近い波形を、その他のノッチでは著しくくずれた波形を示しちょうど短絡故障の場合と逆の現象を呈することも大きな特長である。

単相モータにおける2つの巻線間の比較試験では切換スイッチ S_{w2} を用いるが、操作および検出法は上記の場合と変りがない。7 図は量産されている3相モータの巻線試験に実際に採用している所を示したものである。

5. 試験結果

サージテストの精度を調べるために、単相モータ 100 W 4P の主巻線と起動巻線について、3 相モータ 1HP 4P の固定子巻線について人為的に短絡故障、接地故障を与えそれらのオシロ波形と良好な巻線のオシロ波形とを比較してみた。その際、抵抗計による抵抗変化をも併せ調べた。

8 図から 12 図までは単相モータの主巻線、13 図から 16 図までは同じモータの起動巻線、17 図から 22 図までは 3 相モータの固定子巻線に対する実験結果である。

サージ電圧はいずれも 3,000 V、サージ発生回数は毎秒 60 回であった。

8 図は良好な巻線のサージ波形で2つの波形は完全に一致し1つに見える。モータ主巻線の抵抗値 2.71Ω と 2.75Ω のものの比較である。

9 図は上記のモータの内の1台 (2.71Ω のもの) について主巻線の同一溝内コイルを1ターン短絡したもので2つの波形は一致せず、これより故障を検出することができる。抵抗値の変化は1ターン短絡によっても見られなかった。

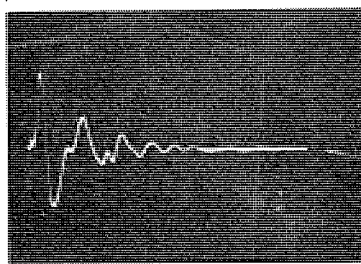
10 図は主巻線の相隣る溝内コイル間短絡の場合である。この場合抵抗値は 2.71Ω から 2.74Ω に変わったがこの程度では製品の抵抗値のバラツキ範囲内にあり抵抗計から故障を探知することは困難である。この装置では2つの波形の差異が認められるので故障が容易に検出できる。

11 図は主巻線が接地故障した場合である。この場合は3個の単相モータの主巻線を Y 結線にして試験したもので、No. 1 端子に接続した No. 1 モータの故障を切換スイッチの No. 1 ノッチと No. 3 ノッチで比較した場合である。検出の項で説明したように故障巻線端子とノッチ番号が一致した時、ここでは No. 1 で比較的正常的なオシロ波形が得られ、No. 3 ノッチで著しく波形がくずれる。

12 図は同上の故障を No. 1 ノッチと No. 2 ノッチで比較したのである。いずれも明確に故障がわかる。

なお短絡故障の際はオシロ波形の振幅が著しく小さくなるので、11 図、12 図の写真は 8 図～10 図のものより装置の増幅度を上げて撮している。

13 図は良好な起動巻線のサージ波形である。2つの波形は完全に一致している。

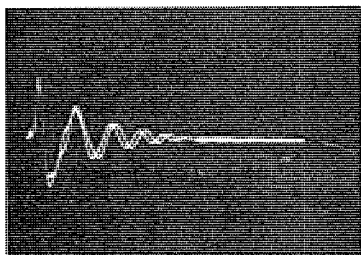
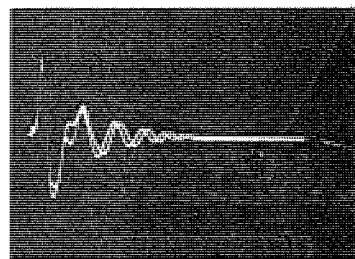


8 図 100 W 4P 単相モータ主巻線 (良好なもの)

Fig. 8. 100 W 4P motor a main winding in a good condition.

9 図 同上巻線の同一溝内コイル1ターン短絡したもの

Fig. 9. The same winding as Fig. 8 with one short circuited turn in a coil in a slot.

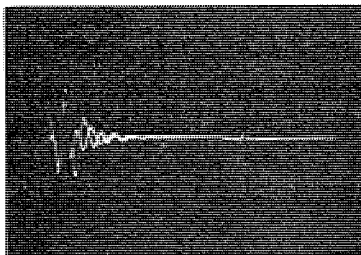
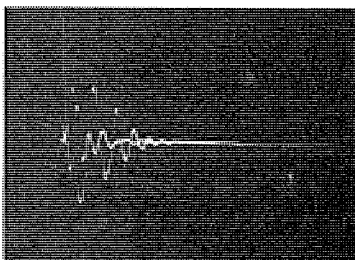


10 図 同上巻線の相隣る溝内コイル間短絡したもの

Fig. 10. The same winding as Fig. 8 with a short circuit between coils in adjacent slots.

11 図 同上巻線の接地故障のもの (その 1)

Fig. 11. The same winding as Fig. 8 with a failure of ground insulation (No. 1).

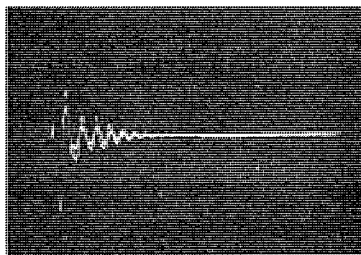
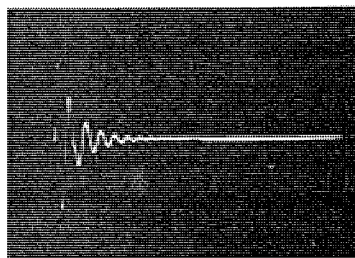


12 図 同上巻線の接地故障のもの (その 2)

Fig. 12. The same winding as Fig. 8 with a failure of ground insulation (No. 2).

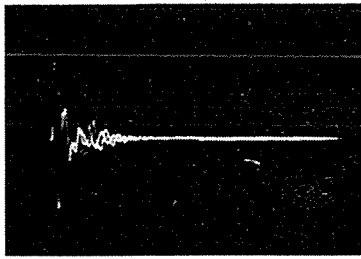
13 図 100 W 4P 単相モータ起動巻線 (良好なもの)

Fig. 13. 100 W 4P 1 ϕ motor with a starting winding in a good condition.



14 図 同上巻線の同一溝内コイル1ターン短絡したもの

Fig. 14. The same winding as Fig. 13 with one short circuited turn in a coil in a slot.

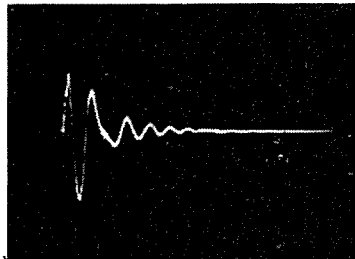
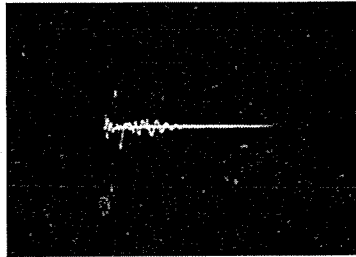


15 図 100 W 4 P 単相モータ起動巻線の相隣る溝内コイル内短絡したもの

Fig. 15. The same winding as Fig. 13 with a short circuit between coils in adjacent slots.

16 図 同上巻線の接地故障したもの

Fig. 16. The same winding as Fig. 13 with a failure of ground insulation.

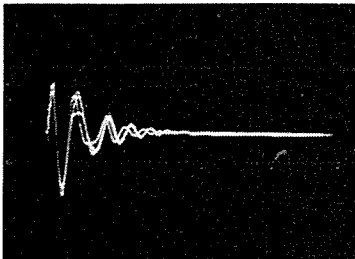
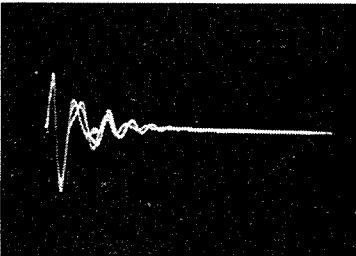


17 図 1 HP 4 P 3 相モータ 3 相すべて良好なもの

Fig. 17. 1 HP 4 P 3 ϕ motor with good three phase windings.

18 図 同上モータが 1 相の同一溝内コイル 1 ターン短絡

Fig. 18. The same motor as Fig. 17 with one short circuited turn in a coil of a phase in a slot.

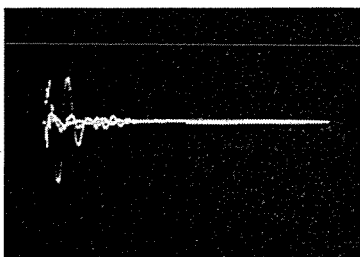
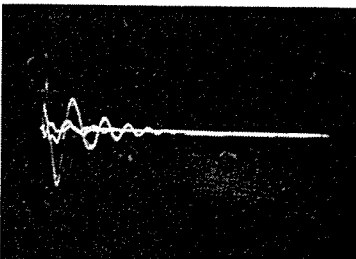


19 図 同上モータが 1 相の相隣る溝内コイル間短絡したもの

Fig. 19. The same motor as Fig. 17 with a short circuit between coils of a phase in adjacent slots.

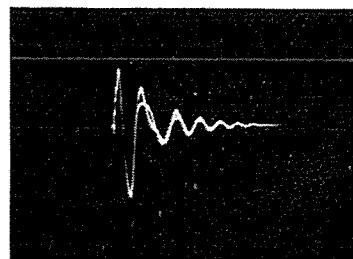
20 図 同上モータが相間短絡したもの

Fig. 20. The same motor as Fig. 17 with a short circuit between phases.



21 図 同上モータが接地故障したもの

Fig. 21. The same motor as Fig. 17 with a failure of ground insulation.



22 図 サージテスタによる製品検査の時に検出された故障例

Fig. 22. An example of insulation fault which is detected during inspection with a surge tester.

14 図は起動巻線の同一の溝内コイルで 1 ターン短絡したものであり、抵抗値は 5.48Ω で変化がなかった。

15 図は起動巻線の相隣る溝内コイル間短絡の場合であり、抵抗値は 5.48Ω から 5.11Ω に変化した。

16 図は起動巻線が接地故障した場合である。

17 図は 3 相モータの各相巻線のサージ波形を比較したもので、良好な巻線ゆえ 3 つの波形は完全に一致した。

18 図は 1 相の巻線について同一溝内コイルに短絡故障を与えたもので、3 つの波形は異っている。抵抗値は 4.7Ω で変化なし。

19 図は同じく 1 相の巻線について相隣る溝内コイル間が短絡故障を起した場合で、端子間抵抗値は 1—2 間 4.69Ω から 4.64Ω に、2—3 間 4.70Ω から 4.65Ω に、1—3 間 4.70Ω が変わらずであった。

20 図は相間巻線短絡の場合である。オシロ波形は著しくくずれ故障の検出もきわめて容易であるが、抵抗値変化も 4.69Ω から 1.14Ω に、 4.70Ω から 4.08Ω に、 4.70Ω から 3.52Ω と激しく変化するので抵抗計によっても明らかに不良であることを発見することができる。しかしながらこの装置の特長として次のようなことが挙げられる。すなわち、不完全な短絡、または短絡しそうな状態にあって抵抗計には抵抗変化が表われないような場合にもこの装置では十分検出することができる。このような場合は、サージテスタによる高いストレスで不完全な絶縁を破壊し、同時にオシロスコープに異常波形を映して検出を容易にする。また短絡しそうな状態にあるものは完全に静止した異常波形を映さなくても、時に正常波形になったり時に異常波形になったりいわゆる不安定な映像をするので、このことから検出は容易である。

21 図は 1 相の巻線が接地故障を起した場合である。波形の振幅が小さくなることは 12 図で説明したとおりである。

以上はいずれも人為的に故障を与えてオシロ波形を調べたものであるが 22 図は製品検査の段階にてこのサージテスタを用い発見せられたものの一例を示すものである。きわめて軽微ではあるがコイルエンドの部分に電線被覆の損傷があり短絡故障を起していることがわかった。

以上のようにサージテスタによる巻線故障の検出は容易であり精度も高いが、とくにターン間コイル間短絡故障にはすぐれた威力を発揮し、この実験から 800~900 ターンの中の 1 ターンの短絡故障をも探知できることがわかった。

サージテストによる故障の検出は絶縁故障に限られたものでなく、モータの巻数の過大、過小、線径の誤り、結線違いおよび高度のコア損失等サージ波形に変化を与える原因を有するものはすべて可能なわけであり、各種の製造誤差を指摘することができる。

しかしながらサージテストを量産されるモータの絶縁試験に用いるに当っては、製品のバラツキをも考慮に入れなければならない。たとえサージを受ける両方のモータが良品であっても、製品が全く正確に同一でないということはオシロ波形にわずかな違いを与えるであろう。

したがってサージテストの使用に際しては多数の実験的資料により可否の基準がきめられるべきであり、この経験的手法とさらに従来から行っている各種の試験の併用によって合、不合格に確実な判断を下すことができる。また故障の種類を識別することも困難ではない。

6. サージ電圧の選定

試験に当ってはサージ電圧の値が重要な要素になる。絶縁破壊の現象は電圧と時間の函数であるから、ほんの数 μsec のサージ電圧と正弦波交流電圧とは絶縁に異った影響を与える。したがってこれらの間に等価的な換算値を求めることが必要である。これに関しては A 種絶縁物の破壊時におけるサージ電圧と 60 サイクル電圧の比は約 1.8 であるという報告が与えられている⁽¹⁾。したがってモータにおける対地絶縁に等価ストレスを与えるために、大地間との 60 サイクル耐圧試験の平均値の約 1.8 倍のサージ波頭値を使用しなければならない。

それ故、サージが通過する時の巻線の各点における大地間電圧を調べ、最小電圧になる点で上記の値すなわち $1,500 \times 1.8\text{ V}$ (または $1,000 \times 1.8\text{ V}$) が確保されるようにサージ発生電圧を調整する。この方法では、対地絶縁のあらゆる部分に商用周波耐圧試験の等価値またはそれ以上のストレスを与え、ターン間コイル間絶縁にもまた十

分高いストレスを与えていることが確信できる。

7. む す び

この装置は精度がよく従来の方法では検出のできなかった軽微な故障も検出できること、検出波および操作が簡単なこと、製品に組立てる前に巻線部分のみでも試験することができること、サージによる耐圧試験を重ねて初期の故障因をあらかじめ取除くことができること、サージのエネルギーが小さいので故障箇所の焼失によって受ける損傷は無視できる程度に小さい等のかずかずの長所が認められた。

現在汎用モータの生産ラインに取り入れ、巻線絶縁度のプロセス・チェックとして品質管理上効果をおさめている。

また単なる故障検出器としてだけでなく、サージによる耐圧試験器としての性能は、新しい絶縁方式を評価するための一道具としてもまた有用である。

われわれは、これによってモータの品質向上に大きな効果を上げ、顧客に対して十分な満足を与えることができるようにと願う次第である。

最後にこの装置の製作に当ってかずかずのご援助を頂いた当社伊丹製作所、堀、岩崎、田口の諸氏に厚く御礼申上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) "Some Aspects of Surge Comparison Testing of Fractional Horsepower Motors" R. A. Strain A. I. E. E. Transaction 1956.
- (2) "Testing Insulation with the Surge Comparator" D. J. Reynolds R. J. Alke L. W. Buchanan Westinghouse Engineer. July 1951.
- (3) "Insulation Tester for the Windings of Large D-C Machine Armatures" F. H. Catlin N. Rohats A. I. E. E. Transaction 1951:

新 型 電 磁 開 閉 器 (EK 型)

名古屋製作所 篠崎 善助*・吉田 太郎**

Type EK Magnetic Switches

Nagoya Works Zensuke SHINOZAKI・Taro YOSHIDA

Excellent as they are, motors can hardly demonstrate their dependability in operation without a good control device to collaborate with. No accidents are also avoided with motors before the selection of proper switches and starters is made. In the application of motors, on the other hand, fairly large capacity units are line-started nowadays, which aggravates the design of related apparatus. For line-start switches are employed, in general, electromagnetic switches consisting of a magnetic contactor and overcurrent relay. The company has newly developed Type EK magnetic switches capable of withstanding severe operation, yet being assured of long life.

1 表 EK 型電磁開閉器の種類と定格

	EK-15	EK-25	EK-55	EK-105	EK-155
電 磁 接 触 器	N-15	N-25	N-55	N-105	N-155
電 気 連 動 子	LI-122	LI-132	LI-142	LI-152	LI-152
過電流継電器	MW-11	MW-11	MW-21	MW-31	MW-41
最高使用電圧 (V)	600	600	600	600	600
定 格 容 量 (200 V)	5HP	7.5HP	15HP	30HP	50HP
(400~550 V)	7.5HP	10HP	25HP	50HP	100HP

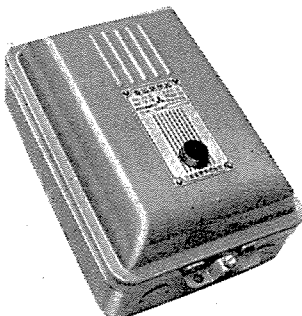
1. ま え が き

優秀な電動機もそれを操作する制御器がよくなければまたその選定が適切でなければ、確実な運転を期待することはできない。また電動機の事故を防止し、取扱者の災害を未然に防ぐ上からも、開閉器や起動器の選定はきわめて重要である。

今日の電動機はかなり大容量のものまで、また大部分のものが直入起動されるので、これに使用する直入起動器はとくにすぐれた性能で、作業の性質によっては頻繁起動に十分耐えるものであることが必要とされる。

一般に直入起動器として、電磁開閉器が使われているが、これは電磁接触器と過電流継電器とからなっている。この電磁接触器は遠方操作ができるとか、自動制御に使用しうるとか、頻繁苛酷な使用にも十分耐えることなどのために電路の開閉用として、今日一般に広く使用されているが、とくに電動機の制御用には非常に多く使用されている現状である。

三菱電機では従来 FL 型または FN 型の交流電磁接触器を製作してきたが、今度 N 型の電磁接触器を開発し、それを応用した EK 型電磁開閉器を完成し、販売することとなったので、ここにこの製品の構造、特長ならびに性能を紹介するとともに、電磁開閉器の適用上の 2, 3 の問題について説明する。



1 図 EK-25 型電磁開閉器
Fig. 1. Type EK-25
magnetic switch.

2. 定 格 の 種 類

EK 型電磁開閉器としての定格の種類は 1 表のようである。

3. 構 造・特長ならびに性能

EK 型電磁開閉器は EK15 より EK155 に至

るまで、同じ構成であって、N 型電磁接触器と MW 型熱動過電流継電器と LI 型電気連動子とを、鋼板製の箱に納めたもので、そのおのおのの構造、特長ならびに性能について説明する。

ア. N 型電磁接触器

N-15 より N-155 に至るまで構造はほとんど同じである。

(1) 動作機構部分

電磁接触器の性能を保証するために、動作機構にかせられる要求には次のものが考えられる。

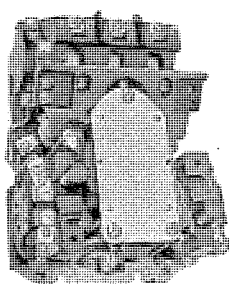
- 動作が常に一定で確実である。
- 使用中、頻繁苛酷な使用に対しても動作に変化を生ぜず、永い寿命をもっている。

a 項を満足することは、1 回 1 回の動作がまったく同じであることが必要であり、また 1 個 1 個の製品において、開閉動作に影響を与える要素に変化がないことが必要とされる。

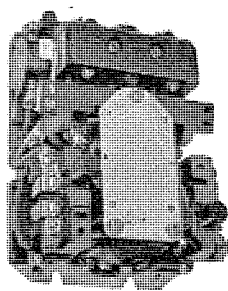
b 項を満足することは、永い間苛酷に使用しても、動作機構に変化を生じないということで、すなわち磨耗したり、あるいは成型品などの枯れなどの経年変化の影響をうけたりしないことが必要とされる。

N 型電磁接触器においては、これらの条件を満足させるために設計上つぎのような考慮がなされている。

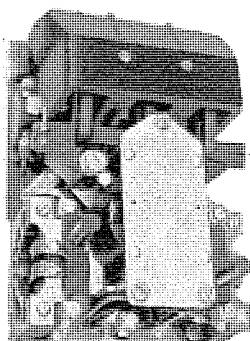
- 可動部分はナイフエッジを支点として、シーツ式



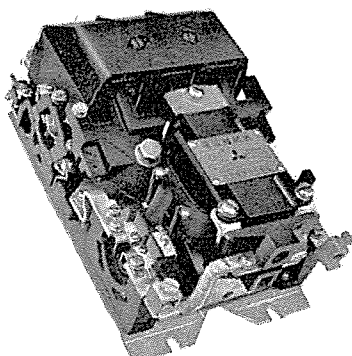
2 図 EK-15 型電磁開閉器の内部
Fig. 2. The interior of type EK-15 magnetic switch.



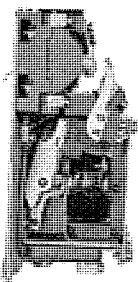
3 図 EK-25 型電磁開閉器の内部
Fig. 3. The interior of type EK-25 magnetic switch.



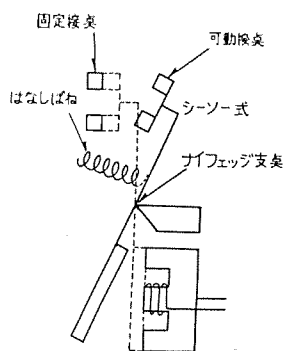
4 図 EK-55 型電磁開閉器の内部
Fig. 4. The interior of type EK-55 magnetic switch.



5 図 EK-155 型電磁開閉器の内部
Fig. 5. The interior of type EK-155 magnetic switch.



6 図 N-25 型電磁接触器
(消弧室を取りはずしたもの)
Fig. 6. Side view of type N-25 contactor (arc box removed)



7 図 N 型電磁接触器のシーソー式機構部分
Fig. 7. Seesaw mechanism of contactor.

に動作する。したがって可動部分は常に一定の経路で動く（たとえばブランジャ式の電磁接触器においては一定の経路で動かない）。

- ii. 支点がナيفエッジであるため、磨擦がない。したがってまた、磨耗変化する部分がない。
- iii. 合成樹脂の成型品は電氣的絶縁のためのもので、動作機構の主構成要素にはなっていないので、たとえ成型品が経年変化して枯れても、動作には支障を来す危険性がない。（たとえば、合成樹脂の成型品が動作のガイドになっているような構造のものではこういう危険性もありうる。）
- vi. 開く場合ははなしばねにより、積極的に接点を開くようにして、動作が重力によってあまり影響を受けないように、すなわち取付位置が、たとえ傾斜し

ても誤動作する恐れがないようになっている。

以上のような点を考慮して設計してあるので、永い間いつも変わらない信頼性ある動作をすることができる。

(2) 接触子部分

電磁接触器は電動機負荷をその使用によっては、かなり頻繁に開閉を行い、また時には拘束電流を遮断することもある。かような苛酷な使用に対して、もっとも問題になるのは接触子部分で、電磁接触器の電氣的寿命は主としてこの部分の消耗によって決まる。

電磁接触器は普通カゴ形電動機の直入起動用に使用されるので、この使用状態を標準として考えると、全負荷電流の約 5 倍の起動電流を投入し、全負荷電流を遮断する。接点の消耗は、この投入、遮断いずれの場合にも起きるのであるが、投入の場合の方が一般に消耗は大きい。

遮断の場合は電動機の回転子に発生する磁束によって 1 次巻線に電圧が誘起され、実効的には遮断する電圧は電源電圧の数分の 1 程度となるので、規格 (JIS8325 交流電磁開閉器) で定めている開閉条件よりは、実際の使用状態では遮断条件ははるかに楽になる。

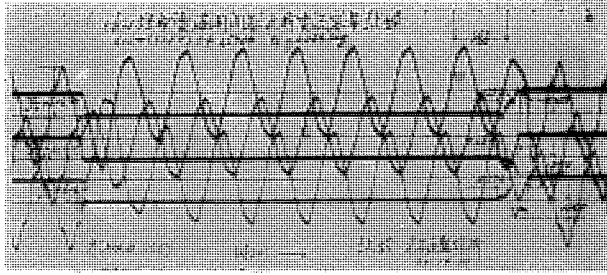
投入の際の接触子の消耗は主として接触子の跳りによって起きるので、電氣的寿命を長くするためには、この跳りを少なくすることが望ましい。接触子の跳りというのは、一般的には非常に複雑で難しい問題であるが、N 型電磁接触器においては、可動部分の運動がナيفエッジにより規正され、常に一定の経路を通り、したがって可動接触子の運動も一定に規正され、可動接触子の動きが、可動接触子支え等の動きによって、乱されないで、可動接触子の運動は単純な衝突運動となり、跳りが非常に少なくなるよう考慮されている。

前述したように、電磁開閉器はその作業によっては、たとえばインテュング等のように電動機の起動電流を遮断することがある。規格では A 級として全負荷電流の 10 倍の電流を遮断することになっており、CO—15 秒—CO …という動作責務で CO を 5 回連続して行い、遮断性能を確めることになっている。

投入および遮断性能をすぐれた確実なものにするために、N-55、N-105、N-155 等比較的容量の大きいものはとくに接触子の接触圧力、接点の材質、接触子の跳りなど投入容量に影響を与える要素について考慮が払われている。また遮断については、遮断の際に発生する電弧をできるだけ速かに消滅するために、デアイオングリッドを設け、電弧を寸断、冷却して、消イオンし、消弧するいわゆるデアイオン消弧方式を採用している。

8 図は N-155 電磁接触器の 600 V、1,590 A の遮断試験のオシログラムで約 1/2 サイクル位で確実に遮断しており、しかもこの際電弧はアークボックス内で消弧され、音響もまた従来のものに比べてはるかに小さい。

定格容量の大きいものは、概念的にいえば、電弧を速く引きのばし、電弧の抵抗を速く大きくして消弧しようというのが消弧原理であるが、定格容量の小さいもの、

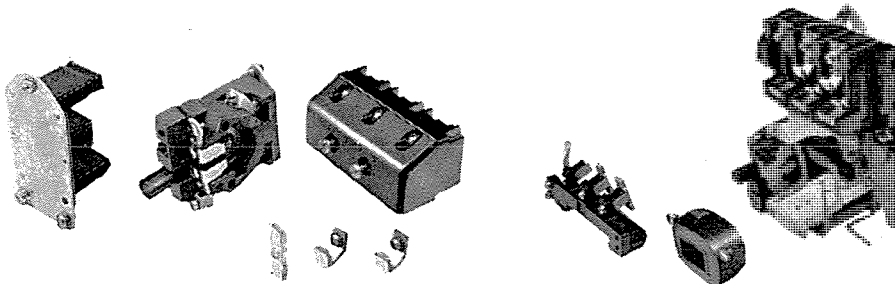


8 図 EK-155 型電磁開閉器遮断電流量試験
Fig. 8. Making and breaking test of type EK-155 magnetic switch.

たとえば 5HP 程度のものにおいては、この考え方は問題である。大容量のものに比べると同じような考え方で、電弧を速く引きのばすとかえって電弧は大きくなり、電弧エネルギーも大きくなり、場合によっては、たとえばインチャングをするような場合、とくに小型の遮断速度の速い電磁開閉器においてはアークショートにまで発展することもありうる。実験結果によれば遮断速度はむしろ遅い方がよく、適当な速度で開くときはもっとも電弧の発生が少なくなる。N-15, N-25 電磁接触器においては、こういう点にも考慮してあり、苛酷な使用によく耐えるようになっている。

(3) 保守その他

電磁開閉器自体の性能がよく、使用中磨耗変化、あるいは劣化する部分がなく、寿命が長いならば、原則的には点検保守は必要ないこととなる。しかしたとえば使用場所によっては塵がはいるとか、締め付けねじが使用中にゆるむとか、いうことはありうることであり、その他不慮の不具合に対して、事故を未然に防ぎ、運転制御の完全を期するためには、適時点検保守をすることはきわめて望ましいことである。そのためには電磁開閉器としては点検保守が容易に行えるということが必要で、N 型電磁接触器においてはこの点とくに考慮を払っている。たとえばアークボックスの取付けねじを 2 本外すのみで、接触子部分はまったく露出され、点検を容易にしている。また、電磁石の取付けねじを 3 本外すだけでコイルが取り出せる。なお接触子その他ほとんどどの部品が箱に取り付けたままで、前面より取外し、取付けができ、ほとんどの締め付けねじは前面より締め付けられるようになっている。



9 図 EK-25 型電磁開閉器分解図
Fig. 9. Components of type EK-25 magnetic switch.

(4) LI 型電気連動子

N 型電磁接触器は主接触子の両側に必要に応じ、それぞれ 2 個まで電気連動子を取り付けられるようになっていいる。これらは追加して取り付けることができるとともに部品の交換なしで、常時開、常時閉のいずれにも変更できるようになっている。

接触子は主接触子と同じように、2 重遮断で銀接点を使用しており、定格は 600 V 5 A である。

イ. MW 型熱動過電流継電器

電磁開閉器の過電流継電器は主として電動機の過負荷状態あるいは拘束状態における巻線の焼損あるいは絶縁劣化を防ぐためのもので、過電流に対して反時限の動作特性をもつべきで、一般に熱動式とくにバイメタル式のものを使用されている。

過電流継電器は熱を発生する加熱子とその熱を受けて動作するバイメタルとバイメタルの動きによって開閉する接触子部分とからなっている。

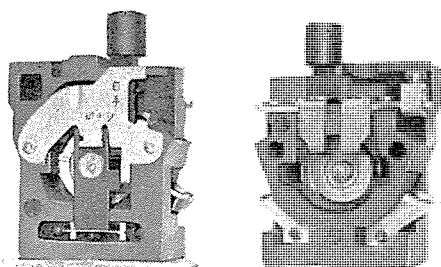
継電器が一定の動作特性を保つためには、①加熱子が規定の熱量を発生し、②加熱子よりバイメタルへの熱の移動係数（主として加熱子とバイメタルとの間の間隙による）が一定であり、③バイメタルが一定の温度で動作すること、この 3 つのものが一定であるように製作され、また使用中変化しないような構造機構であるとともに、製作、試験、検査がこういう規準で行われるべきである。

MW 型熱動過電流継電器はこういう考えかたに基いて製作されている。

バイメタルはある一定の温度に達すると急激に反転する円板型のバイメタルを使用しているので、動作機構の摩擦などによって影響を受けず、つねに一定の反転温度で動作する。また熱動過電流継電器は一般に上記の作動要素は絶縁物の取付台に取り付けてあるが、熱を発生し、温度が高くなる所であるから、とくに絶縁物の経年変化に対しては注意を要する。また電磁開閉器の故障のうち比較的多いものに、加熱子ならびにその接触部分の過熱から起る絶縁台の焼損事故があるが、MW 型熱動過電流継電器はこの点とくに考慮して、絶縁台は数百度の高温にも耐え、かつ熱による経年変化しない無機質の成型品をとくに新しく開発して使用している。

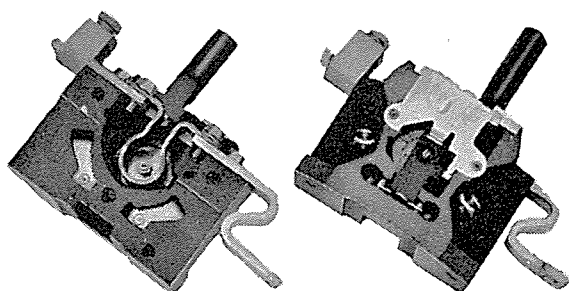
4. 適用上の諸問題

電動機の運転制御を完全なものにし、かつ電動機の過負荷保護を確実なものにするためには、すぐれた性能の電磁開閉器を選定すると共に、その定格の選定を適切に行わなければならない。また特殊な使用条件において



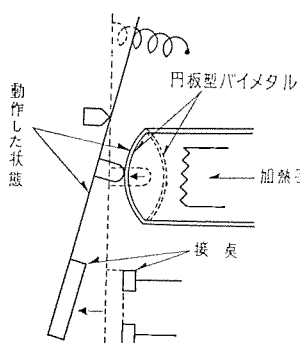
10 図 MW-11 型熱動過電流継電器

Fig. 10. Type MW-11 thermal overcurrent relay.



11 図 MW-41 型熱動過電流継電器

Fig. 11. Type MW-41 thermal overcurrent relay.



12 図 MW 型熱動過電流継電器の操作機構

Fig. 12. Tripping mechanism of thermal overcurrent relay.

はとくに考慮を払う必要があるが、これらの適用上の問題について一般的な適用規準を説明するとともに、その限界について述べ、その場合の考慮のしかたについて一般的な考えかたを述べる。

ア. 規格と適用の関係

電磁開閉器はそれ自体の動作性能について、規格によって規定されており、規格に定められた試験条件において性能が確かめられている。したがって規格で定められている標準の使用条件において使用する場合は、別に考慮することなく、そのまま定格の選定を行えばよい。しかし必ずしも常にそういう使用状態であるとは限らないので、そういう場合には定格の選定において適当に考慮する必要がある。

過電流継電器については、特性の規準が規格に定められているので、その定格の選定はこの定められた特性に適合するように、使用条件を考慮して行わなければならない。以下開閉器部分と過電流継電器部分とに分けて、具体的に説明する。

イ. 開閉器部分の定格ならびにその選定

開閉器部分に対し、規格では定格容量を定めている。

すなわち適用される電動機の最大容量 (HP あるいは kW) で表わしており、この定格容量は主として下記の条件によって定められる。

- 通電容量……温度上昇試験
- 遮断および閉路電流容量……級別
- 開閉頻繁度……号別
- 寿命……種別

これらの条件の中の最低のものによって定格は決められる。このうち主として (a)(b) によって決められることが多いので、これについて説明する。

(1) 通電容量について

適用最大全負荷電流の 110% の電流を通電した場合、各部の温度上昇が 2 表に示す値以下であること。この試験は新しい状態と 1,000 回の開閉試験後の状態と 2 回試験を行うことになっている。

2 表 温度上昇限度

種 別	温度計法	抵抗法
接触子 銅	65	—
“ 銀	75	—
接続線、母線、端子	50	—
コイル A 種絶縁	65	85

熱を発生する部分は、接触子部分、電磁石部分、加熱子部分に分けられるが、発生熱量は大体同程度位と考えられる。このうち最初のもの、すなわち接触子部分の発生熱量はかなり不安定であることがある。

JIS ではこの試験条件については詳細には規定していないが、NEMA や IEC 等を参考にして一般的な考え方を述べれば、

温度上昇試験を行う場合は接点の表面は清浄な状態において行うものと考えられている。

もちろん電弧による荒れは汚損とは見られず、むしろ電弧によって接点の表面は清浄な状態にされる。

実験結果によれば、清浄であった接点をしばらく放置し、電流を遮断投入することなく、接点を閉じて通電した場合、かなりの温度上昇を示す場合でも、電流を遮断投入して行くと数十%温度上昇が下ることがある。

このように接点は開閉することによって清浄にされると考えてよい。

電磁接触器の普通の用途を対象としたものに対して、NEMA では 8 時間定格が採用されているが、これは 8 時間ごとに接点の表面が清浄にされるという意味でもあり、すなわち 8 時間に 1 回以上の割で電流の開閉が行われる場合を、標準使用状態と考えるのが適当である。したがってそれ以上たとえば 1 週間とか 1 カ月とか連続に使用する場合は特殊な状態であると考えられる必要がある。

こういう場合はできるだけ 1 日に 1 回位でも開閉することが望ましいが、できなければ定格容量に対して、幾分余裕を見て使用するとよい。

大体の規準としては 85% 位に低減するとよい。銀接点の場合は余裕は見なくてもよいともいわれているが、同様に考慮する方がよい。

(2) 遮断および閉路電流量, および開閉試験

遮断電流量は最大適用電動機の全負荷電流の倍数によって A 級 (10 倍), B 級 (5 倍), C 級 (2 倍), となっているが, 直入起動, スターデルタ起動, 起動補償器による減圧起動の場合は約 5 倍位の電流の投入遮断が行われることがありうるので, A 級の遮断および閉路電流量試験を行い, 10 倍の電流を投入遮断して性能を確かめ, 定格容量を定めている。この試験の規準としては 5 倍までの電流は常時投入する。そしてごくまれには 5 倍までの電流を遮断することがありうる, という考えかたをしている。

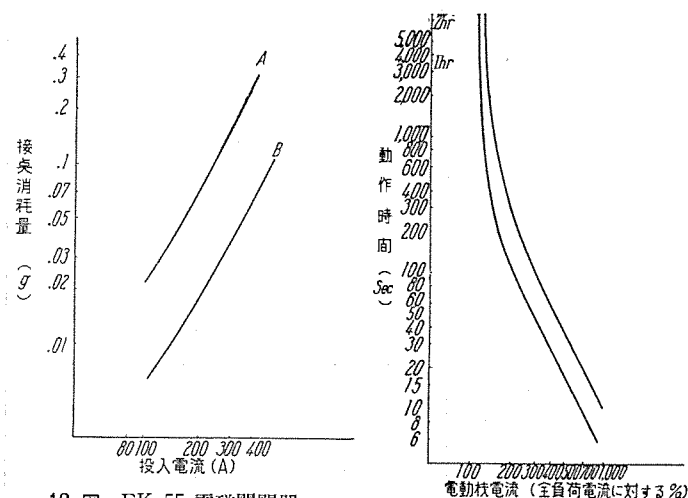
こういう使用条件はもっとも普通で, たいていの電動機がそうである。

開閉試験では 5 倍の電流を投入して, 1 倍の電流を遮断することになっており, 寿命試験も同様な条件において行う。これは電動機を直入起動して, 運転状態で遮断することを原則としているのであって, 通常の使用状態では運転途中で遮断することはしないと考えている。

しかし作業の種類によっては, かかる運転途中で遮断を行うインチャージとか, 運転中逆相制動をかけ停止したとき遮断するブラギングを行う場合もあり, こういう使用に対しては十分考慮を払う必要がある。

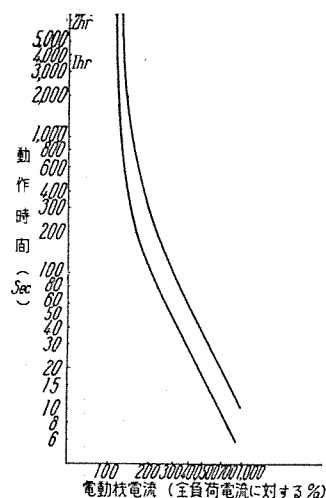
これについては, 電磁接触器自体の性能に余裕があるかないかによっても異なるが, 一般的な考えかたを述べると,

電磁開閉器の電氣的寿命は主として接触子の消耗によるものと考えられる。接触子の消耗量と開閉電流との間の関係は電磁接触器自体の特性, すなわち消弧機構, 接点の開閉の速さ, 接点の跳り等によって影響され, 一概には関係は求められないが, EK-55 について行った実



13 図 EK-55 電磁開閉器
20,000 回開閉試験

Fig. 13. Wearing of contacts
after 20,000 operations of type
EK-55 magnetic switch.



14 図 EK 型電磁開閉器
過電流継電器の動作特性曲線(周囲温度
40°C コールドスタートの場合)
Fig. 14. Characteristic curve of
thermal overcurrent relay.

験結果からは 13 図に示すようである。すなわち曲線 A は閉路遮断共, 同じ電流を開閉した場合, 曲線 B は閉路電流の 5 分の 1 の電流を遮断した場合の接点の減量を比較したものである。これを見ると曲線 A も B もいずれも大体電流の 2 乗に比例している。また曲線 A は B に対し, 大体 4 倍位であり, すなわち電流を 2 分の 1 位にすれば接点の消耗量は同じ程度になる。こういう点を考慮して, また NEMA 等も参考にして考えると大体 70% 位に低減することが望ましい。

ウ. 過電流継電器の定格の選定

過電流継電器は電動機が過負荷あるいは拘束状態になった場合, 電流の増加によって巻線が過熱焼損することを防止するためのもので, 巻線の温度がある規定の温度に達する前に電源を開放する。

規格では 40°C において電動機の全負荷電流の 110% では動作せず, 125% で動作することとなっている。

これを基準として, すなわちこの特性に適合するように加熱子の定格を選定する。規格ではさらに 200% のホットスタートでは 4 分以内, 500% のコールドスタートでは 45 秒以内に動作するよう規定しているが, これらは 110%, 125% 特性が適合すれば, 自動的に適合するようになっている。

電動機の巻線の達する温度は周囲温度+温度上昇値であって, 保護すべきは温度上昇値ではなく, 巻線の達する温度である。したがって周囲温度が高い場合は温度上昇は低く押える必要があるが, 反対に周囲温度が低い場合は温度上昇は高くなってよいことになる。

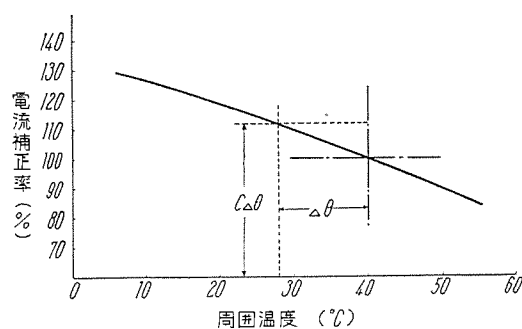
過電流継電器の動作特性もこれと同じように周囲温度によって変化した方がむしろ適当である。

これには, 動作要素 (バイメタル) の動作温度を電動機の保護すべき温度近くに選定し, その動作温度をつねに一定に保つことが望ましい。すなわちこのような動作要素をもった過電流継電器においては使用状態で周囲温度 40°C において規格に適合するように選定すれば, 周囲温度が変化した場合も同じように保護できる。すなわち周囲温度が変わっても電動機の巻線温度は大体一定の温度に保護されるということになる。

標準の EK 型電磁開閉器として使用する場合は 3 表にしたがって加熱子を選定すれば, 上記のような適切な保護ができる。

しかし電動機の周囲温度と電磁開閉器の周囲温度とがかなり相違している場合は, 標準の選定では不適當で, 適当に補正する必要がある。

EK 型電磁開閉器の場合は大体 1°C の差に対して, 動作電流は大体 1% 位変化する。厳密には 15 図のような変化を示し, この図から温度補正率 ($C\Delta\theta$) を求め, (電磁開閉器の周囲温度が $\Delta\theta$ だけ低い場合) つぎに電動機電流をこの $C\Delta\theta$ で割った値を電動機電流として, 標準の加熱子選定表



15 図 周囲温度補正曲線

Fig. 15. Correction curve of ambient temperature.

で選定すればよい。

大体の基準は 10°C 以上低い場合は 1 段下の定格の加熱子を、20°C 以上低い場合は 2 段下の定格の加熱子を選定すればよい。

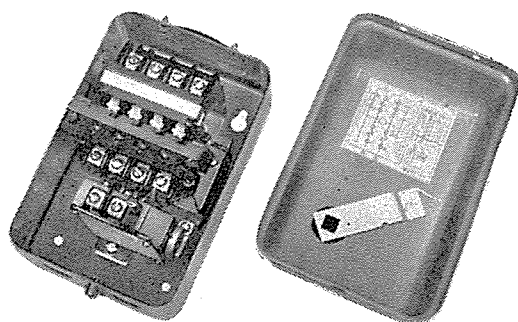
また標準の箱に入れた場合は 3 表の選定表で選定すればよいが、大きな箱の中に入れた場合、あるいは開放状態で使用する場合は標準に比べて過電流継電器自体の周囲温度は低くなることとなり、前記の周囲温度の変化と同じような考えかたをする必要がある。大体の基準は大きな箱に納めた場合とか開放状態で使用する場合は、3 表で選定した加熱子より一段定格の低い加熱子を選定すればよい。

また紡績のカードとか遠心分離機、あるいは送風機など、慣性の大きい負荷を回転する場合には電動機が全速に達するのに数十秒かかることがある。こういう用途においては、普通の基準で加熱子の選定を行うと起動中に過電流継電器が動作してしまうことがある。したがってこういう場合には適当に過電流継電器の動作時間を延ばす必要があり、加熱子の定格の 2 段ないし 3 段上のものを使用することがもっとも簡単な方法であるが、少ない持続的な過電流の保護が十分でないので、特別に加熱子と並列に適当な巻線の飽和リアクタを使用する必要がある。

5. む す び

以上 EK 型電磁開閉器の製品紹介をすると共に、一般的に電磁開閉器の性能の主要点を述べ、さらに適用上の問題について説明した。

電磁開閉器を選定使用されるに当って、以上述べた事



16 図 ES-10 型電磁開閉器 (内部)

Fig. 16. Type ES-10 magnetic switch (interior).

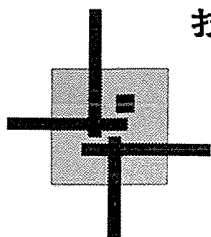
項等を参考にされ、適切な選定が行われ運転上未然に事故を防止しまた制御上の支障をあらかじめなくし、さらには負荷機械の故障によって起きる電動機の焼損に対する適切な保護が行われることを願う次第である。

なお三菱電機では EK 型電磁開閉器が標準の電磁開閉器であるが、新たに 3HP 以下の小型電動機用の電磁開閉器として ES-10 型を開発し、販売することになった。

これは一般の単独使用の電動機を対象としたもので、主要特長は EK 型と大体同じようであるが機構的に簡素化し、小型化しており、従来の EF-10 型に置き換えられる。

3 表 EK 型電磁開閉器加熱子選定表

	加熱子称呼	適用電動機電流
EK-15 EK-25	0.56	0.39~0.43
	0.63	0.44~0.49
	0.72	0.50~0.56
	0.8	0.57~0.62
	0.9	0.63~0.69
	1.0	0.70~0.75
	1.1	0.76~0.83
	1.2	0.84~0.93
	1.4	0.94~1.03
	1.5	1.04~1.15
	1.7	1.16~1.29
	1.9	1.30~1.44
	2.2	1.45~1.61
	2.4	1.62~1.79
	2.7	1.80~2.00
	3.0	2.01~2.24
	3.4	2.25~2.49
	3.8	2.50~2.78
	4.2	2.8~3.1
	4.7	3.2~3.4
	5.3	3.5~3.8
	5.9	3.9~4.2
	6.6	4.3~4.7
	7.4	4.8~5.3
	8.3	5.4~5.9
	9.4	6.0~6.7
EK-25	11	6.8~7.5
	12	7.6~8.4
	13	8.5~9.3
	15	9.4~10.4
	16	10.0~11.0
EK-55	18	11.1~12.3
	20	12.4~13.5
	22	13.6~14.8
	24	14.9~15.9
	26	16.0~17.1
	28	17.2~18.6
	31	18.7~20.5
	34	20.6~22.3
EK-105	37	22.4~24.3
	41	24.4~26.7
	31	23.1~25.0
	34	25.1~27.0
	37	27.1~29
	43	29.1~31
	48	31.1~34
	53	34.1~37.5
EK-155	58	37.6~41
	64	41~45
	58	44~48
	64	48~54
	81	55~61
	92	61~68
	114	68~74
	122	75~81
EK-155	139	81~90
	154	90~100
	114	70~75.4
	122	75.5~84
	139	85~95
	154	96~104
	166	105~112
	182	113~124
EK-155	206	125~139
	225	139~152



研究用原子炉 (I)

原子力 技術部 川 口 修

第1章 総 論

1. ま え が き

現存する原子炉は大別すると生産炉 (Production Reactor)、動力炉 (Power Reactor) および研究用原子炉 (Research Reactor) の3つの型に分類される。生産炉は主として軍事用の目的のための核分裂性物質の生産を目的とするものであって、炉から生ずる熱は冷却装置により系外にとり出し多くの場合捨てられる。動力炉は生産炉とは逆に炉から発生する熱を利用して蒸気を発生しタービンを動かすもので、その目的により発電用および推進用原子炉に分類される。研究用原子炉はそれから生ずる中性子およびγ線を利用して

- (1) 基礎科学の研究
- (2) 原子炉工学の教育および研究
- (3) 放射線源として医学、生物学、工学上の研究
- (4) 放射性同位元素の生産

等に用いられ、原子力利用のため欠くべからざるものである。日本原子力研究所が米国の NAA (North American Aviation,

Inc.) および AMF (American Machine and Foundry, Co.) からそれぞれ輸入する湯沸し型原子炉 (WBR) および CP-5, 同じく原子力研究所による天然ウラン重水型の国産1号炉、宇治に設置の問題がおこっている大学研究用のスイミングプール型原子炉などは型は互いに異なるけれどもいずれも研究用原子炉に外ならない。

2. 実験装置 (Experimental Facilities)

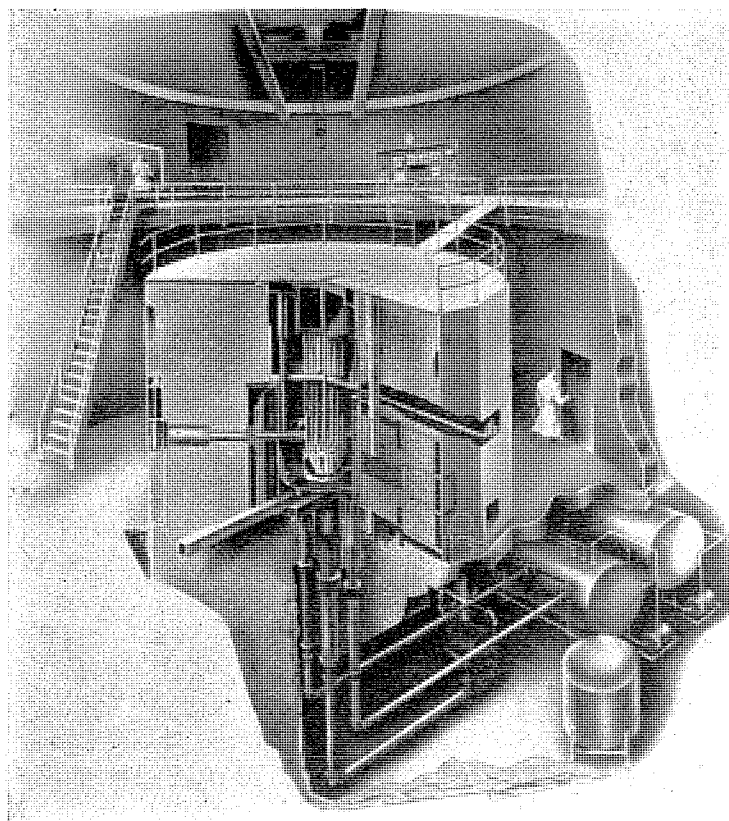
研究用原子炉につけられる実験装置は、大体つぎの4種類に分けられる。(Fig. 1 参照)

ア. ビームチューブ (Beam Tube)

これは通常遮蔽壁と反射材とを貫通して炉心のタンクに達するもので、中性子やγ線を炉心から直接にとりだす装置である。この装置により高いレベルの放射線をもちいた実験をおこなうことができる。

イ. 熱中性子柱 (Thermal Column)

減速材、主としてグラファイトをもちいて炉心からの高速中性子を減速して熱中性子とし、炉心からの熱中性子と



写真は AMF および三菱グループにより東海村に建設される CP-5 型原子炉の断面図である。

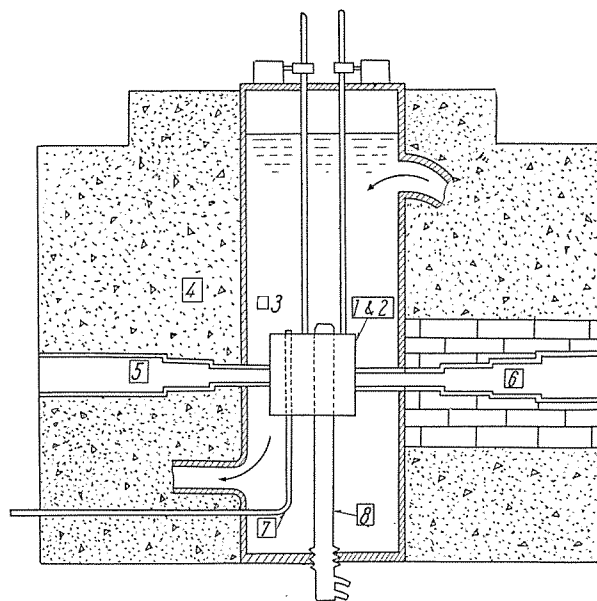


Fig. 1. Research reactor (研究用原子炉の概念図)

1. 炉心 (core)
2. 減速材 (moderator)
3. 反射材 (reflector)
4. 遮蔽 (shield)
5. ビームチューブ (beam tube)
6. 熱中性子柱 (thermal column)
7. ニューマチックチューブ (pneumatic tube)
8. 中央実験孔 (central thimble)

共に取り出す装置である。

ウ、ニューマチック・チューブ (Pneumatic Tube)

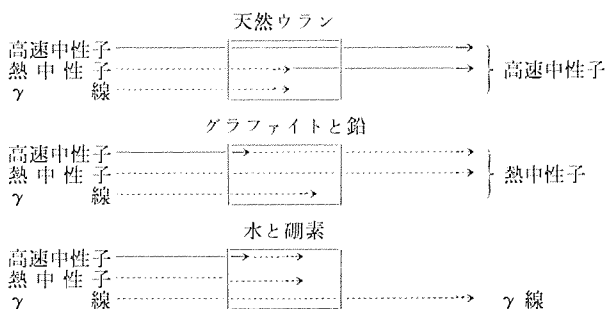
ラビット (Rabbit) またはシャトル・チューブ (Shuttle Tube) ともいわれ、原子炉の奥深く小さい試片をカプセルのようなものに入れて挿入するもので、きわめて短時間に試片を出し入れすることができ、したがって寿命の短い放射性同位元素の実験には欠くことのできないものである。ビーム・チューブとちがって彎曲しているのは遮蔽の効果を最大ならしめるためである。

エ、実験孔 (Thimble)

最高の中性子束をもつ炉心の中央を貫通するものを中央実験孔 (Central Thimble) というが、中央以外にもいくつかつけられる。実験孔内は通常高温高圧のもとで放射線損傷および燃料要素の開発試験を行えるように設計されている。これらの目的のためには実験孔の直径が大きいほど好ましいが、他方この要求は炉の安全性および正または負の大きい反応度をもつものを挿入するときの中性子束の大きな変化という点から制限をうける。

オ、フィルタ

原子炉から出てくる放射線のうち、いずれか1種類のものをとり出して実験をしようとするときには次に述べるようなフィルタが用いられる。



3. 研究用原子炉の応用

研究用原子炉は非常に多くの分野の研究に用いられるが、以下にその中のいくつかの例をあげる。なお括弧内の数字はその実験に必要な中性子束をあらわす。

ア、基礎科学的研究

- (1) 原子核分裂の研究
- (2) 中性子断面積の測定 ($>10^{18}$ n/cm², sec)
- (3) 中性子回折 ($>10^{12}$)中性子の波動性を利用して結晶構造をしらべる。また X 線とちがって磁性をもった原子により散乱されるから分子構造の研究に利用される。
- (4) Activation Analysis ($10^{10} \sim 10^{13}$)組成のわからない物質を原子炉内で照射し、その得られた放射能の特性から定量分析を行うことができる。その感度は化学的なし分光的分析よりきわめてよく 10^{-9} 程度は可能といわれている。

イ、原子炉工学の教育および研究

(1) 教育

原子炉の起動、制御棒の Calibration、遮蔽の実験、原子炉停止後の放射能、Xe その他の毒作用、原子炉内中性子束密度分布

の測定、温度係数の測定などの教育に用いられる。日本では大学の教育および研究用の原子炉として宇治にスウィミングプール型原子炉設置の問題が起っているが、米国では North Carolina State College および Pennsylvania State University ではすでに運転され、University of Michigan, University of Buffalo, Massachusetts Institute of Technology など近い将来運転が開始される筈である。

(2) 研究

α) 燃料体の開発試験 ($>10^{13}$)

とくに高温高圧高い中性子束の照射のもとにおける燃焼率の測定

β) 原子炉構造材料の寿命の試験 ($>10^{14}$)

アイダホ州アーコにある MTR (Materials Testing Reactor) は動力用原子炉の材料の受ける放射線損傷を試験するためにつくられた世界最初の高中性子束 ($\sim 5.5 \times 10^{14}$ n/cm², sec) の材料試験炉である。

ウ、放射線源としての医学、生物学ならびに工学上の研究

(1) 医学および生物学 ($>10^{10}$)

癌 ($>10^{12}$) および腫瘍の治療などに用いられる。最近米国では医学専用の原子炉も計画されている。

(2) 工学 ($\sim 10^{14}$)

γ 線照射により大きな分子の build up, または切断し、新しい性質のプラスチック開発研究に用いられる。MTR の spent fuel から出る γ 線を利用したゴムの加硫などある程度の成功を収めている。金属に中性子をあてると中子と結晶格子中の原子との入れ換えが起り、金属の熱抵抗、硬度、引張り強さ、電気抵抗など変化する。

エ、放射性同位元素の生産 ($10^{10} \sim 10^{13}$)

4. 研究用原子炉の型式

研究用原子炉を選定するに当たって考慮すべき条件の主なものを以下にあげる。ただしこれらはいずれも独立なものではなく互いに競い合うものもある。

(1) Inherent Safety

熱中性子の寿命が長く (重水減速炉では軽水炉より 10 倍長い) かつ温度係数が負で絶対値が大きい場合は炉の制御は容易になり、炉は安全で、人口の稠密な都市の近くに置ける。

(2) 炉の運転および保守が容易で簡単なこと。

(3) 燃料の取替え操作が簡単で短期間に行えること。

(4) Experimental Facility に利用できる余裕が多く、かつその flexibility が大きいこと。

(5) 中性子束密度が大きく、熱出力は小さいこと。平均熱中性子束を ϕ (n/cm², sec), 熱出力を P (kW), U²³⁵ の質量を M (gr.) とすると

$$\phi = 2.6 \times 10^{13} P/M$$

が成立つ。濃縮の高いウランを用い、また良い減速材を用いるほど臨界質量を減らすことができ、一定の熱出力に対して ϕ が大きくなる。

(6) 総価格が安いのがよいことはもちろんであるが

cost/neutron flux

および

cost/useful experimental facility

が小さいことが望ましい。

(7) 炉固有の容積、建家および付属設備ができるだけ小さいこと。

現在利用されている熱中性子研究用原子炉をその使用されている燃料、減速材および均質か不均質かにより分類すれば次のようになる。

燃 料	減 速 材	均 質 性	名称または例
天然ウラン	グラファイト	非均質	CP-1, X-10, BNL,
	重 水	非均質	NRX, 国産1号炉
濃縮ウラン	軽 水	均 質	WB (Water Boiler)
		非均質	スウィミング・プール型
	重 水	均 質	タンク型
		非均質	HRT-1
	重 水	均 質	CP-5, DIDO, NRU
		非均質	NTR, TTR

以下において上の各型の原子炉の概略および特色を述べる。

ア. 天然ウラン・グラファイト炉

U^{235} や重水の同位元素分離プラントが未だ十分利用できない時代につくられた世界最初の原子炉 CP-1 はこの型に属するものである。現在運転中のものに X-10 (オークリッジ), BNL (ブルックヘブン), GLEEP (ハーウェル) および BEPO (ハーウェル) などがある。「この型の炉は臨界量が大きくなるため、高い中性子束をうるためには容積および出力が大きく、値段が高くなる欠点がある。」

たとえば X-10 では臨界量 27.2 トン U (190 kg U^{235}), インベントリー 50 トン U (350 kg U^{235}), 減速材のグラファイト 500 トン, 熱中性子束 1.1×10^{12} n/cm² sec, 熱出力 3,500 kW, グラファイトと燃料との間に空気を通して冷却している。炉心の大きさは一辺が 25' の立方体で建設費は 520 万ドルである。今後も Pu 生産と研究用の 2 重目的炉としての可能性が残されている。

イ. 天然ウラン重水非均質炉

CP-3 (シカゴ), NRX (チョークリバー, カナダ), わが国で建設予定の国産 1 号炉などはこの型に属するものである。

「重水はグラファイトよりはるかに良好な減速材で、このため臨界量は天然ウラン・グラファイト炉にくらべてずっと小さくなり、高い中性子束が得られ中性子束密度当りの値段は安くなる。」

たとえば NRX では臨界量 ~8 トン U (56 kg U^{235}), インベントリー 10.5 トン U (73 kg U^{235}) で中性子束は 6.8×10^{13} n/cm² sec, 熱出力は 40MW, 炉心の大きさは 8.75'φ×10.5'ht, 建設費は 1,000 万ドルである。

ウ. ウォーター・ボイラ

SUPO (ロスアラモス), NCSR (North Carolina State Reactor), 日本原子力研究所に輸入、建設中のもの等はこの型に属する。この型の炉心には高濃縮ウラン (80~90% 濃縮, 日本向けは 20%) の硫酸ウラニルまたは硝酸ウラニルの水 (減速材) 溶液を入れる。

「このため臨界量はきわめて小さく、低出力でかなりの中性子束が得られ、比較的値段が安いことは研究用として魅力的なものである。ただこの型の炉の欠点は出力密度がある程度以上あげることがむずかしいことである。」

たとえば SUPO では 88.7% 濃縮ウランの $UO_2(NO_3)_2$ の水溶液を用い、臨界量は 0.777 kg U^{235} , インベントリーは 0.870 kg U^{235} , 出力 45 kW, 熱中性子束 1.7×10^{12} max, 炉心は 1'φ の不銹鋼の球形容器で中のコイルに水を通して冷却される。建設費は HYPO を改造したものではっきりわからないが、50 万ドルを上回る位であろう。水溶液の水として重水を用いれば、同じ熱出力で中性子束を高めることができる。

エ. スウィミング・プール型

BSR (オークリッジ), ペンシルバニア大学の炉, LIDO (ハーウェル), わが国では宇治に設置の問題が起っているもの、その他世界各地に多く建設されつつある現状である。この型の炉はいずれも高濃縮 (≥20%) ウランの MTR 型の燃料体の集りを軽水のプール中に沈めたもので、軽水は減速、冷却および反射の 3 通りの役目をする。出力 300 kW 位まではプールの水の対流だけで炉心の冷却には十分であるが、それ以上になると強制循環が必要となり、またプールの表面における放射線レベルの増加に対する対策が必要となる。

「臨界量は小さく、構造は簡単で、炉心も容易に移動できるので各種の実験に対する flexibility が大きく、また低い中性子のバックグラウンドと高いγ線源をもつプールの水が大量にあるので、γ線照射実験にも適し、値段も他の非均質の研究用原子炉にくらべるとはるかに安い等、大学程度の教育、研究用にはもっとも適するものの 1 つである。」

たとえば BSR では 90% 以上の濃縮ウランを用い、臨界量は水の反射材のときは 3.5 kg, BeO のときは 2.3 kg で、中性子束 10^{13} , 熱出力 1,000 kW, 炉心は軽水反射材に対しては 15'×18'×24' ht, BeO に対しては 12'×15'×24' ht, 建設費は 50 万ドルである。

オ. タンク型

MTR (アイダホ), ETR (アイダホ), WTR (ペンシルバニア), LITR (オークリッジ) などはこの型に属する。

「この型の炉のスウィミング・プール型と異なる主な点は、炉心が固定され、密閉したタンクにスウィミング・プールより比較的小さい水を入れてこれを強制循環し、反射体およびコンクリートの遮蔽を厚くするなど中性子の洩れを少なくし、安全かつ大きい熱出力のもとに 10^{13} n/cm² sec. 以上の高い中性子束を出しうることである。したがって総建設費は増大するが、中

性子束当りの建設費はかなり安い。」

MTR に例をとると、燃料は 90% 濃縮 U，臨界量は 3 kg，インベントリ 4.5 kg U^{235} ，熱中性子束は 5.5×10^{14} n/cm² sec.，熱出力 40 MW，炉心は 15"×27"×24" max.，建設費は 1,800 万ドルである。

カ. 濃縮ウラン重水非均質炉

CP-5 (アルゴンヌ)，DIDO (ハーヴェル)，MITR (マサチューセッツ工業大学)，日本原子力研究所が三菱グループの手を経て AMF から購入する CP-5 型原子炉などはこれに属するものである。

「この型は天然ウラン重水非均質型と構造は同じであるが、濃縮ウランを用いているため臨界量は小さく核設計は非常に楽になり、同じ熱出力でも容易に高い中性子束をうることができ実験に利用しうる中性子束もさらに多くなる。中性子当りの建設費も比較的安くなる。」

アルゴンヌの CP-5 では燃料は 90% 濃縮ウランでインベントリは 1.7 kg U^{235} ，平均熱中性子束 1.5×10^{13} n/cm² sec.，熱出力 1,000 kW，炉心 2'φ×2'ht，建設費は 225 万ドルである。

キ. 濃縮ウラン・グラファイト炉

TTR (シェネクタディ，ニューヨーク)，NTR (オハイオ) および Argonaut (アルゴンヌ) 等の原子炉はこの型に属する。

「この型の炉は天然ウラン・グラファイト型にくらべて臨界量が小さくなる。」

Argonaut では燃料は 20% 濃縮ウランの U_3O_8 ，インベントリは 4 kg U^{235} ，熱中性子束は 5×10^{11} n/cm² sec.，熱出力は 10 kW max.，炉心は 2'ID, 3'OD, 2'ht, Experimental facility の flexibility が非常に大きいことが特色である。

以上で研究用原子炉の概略の説明を終えるが、いままで述べてきた建設費には重水および燃料の費用は含まれていないことに注意しておく。

最後に現存あるいは建設中の研究用原子炉について、(安全性の一面をあらわす) 温度係数 (Fig. 2)，臨界質量 (Fig. 3) および中性子価格指数 (Fig. 4) を掲げる。

図で各記号はそれぞれ次の型の原子炉をあらわすものである。

- † 天然ウラン炉
- ‡ 天然ウラン重水非均質炉
- △ ウォーター・ボイラ
- スウィミング・プール
- × タンク型
- + 濃縮ウラン重水非均質炉
- * 濃縮ウラン・グラファイト炉

なお Fig. 4 で中性子束は max. の値しかデータのないものがあるので、大体定性的傾向を示す程度のもつと見なければならぬ。またいたずらに煩雑になるのを避けて図中には各炉の名称を付けなかったが、各型の炉の詳細については今後順をおって説明してゆくことにする。

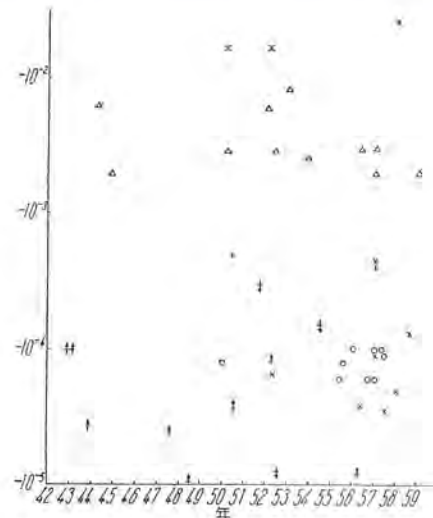


Fig. 2 Temperature coefficient (温度係数)

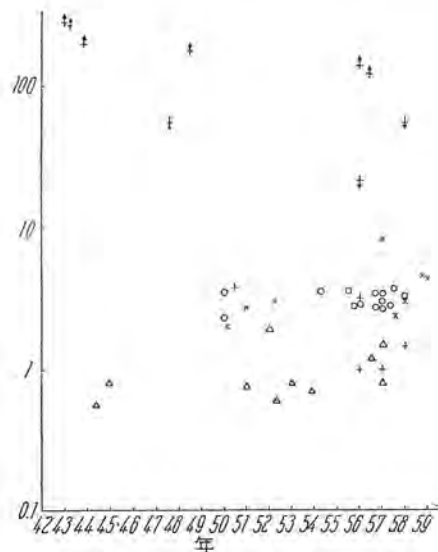


Fig. 3 Critical mass (臨界質量)

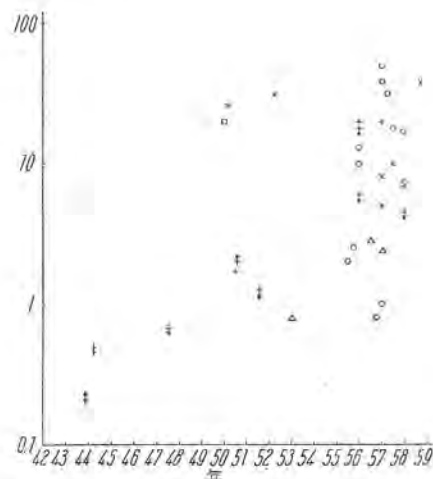


Fig. 4 ϕ (10^{12} n/cm² sec)/cost (¢ 10^3)

WTR—W 社材料試験炉

M. A. Schultz: Westinghouse Testing Reactor. (Westinghouse Engineer, Vol. 16, No. 5, Sept. 1956, p. 138~142)

W. T. R. (Westinghouse Testing Reactor) と呼ばれる原子炉が 1957 年末に運転を開始されることになった。この炉は高温高圧かつ高中性子束の下での各種材料の照射実験用として特長のある設計がなされている。

金属類は速中性子の照射を受けるとその構造が変り物理的性質が変る。プラスチックや絶縁物やある種の有機液体は熱中性子や γ 線でもかなり影響を受ける。照射を適当にやれば、硬さ、強度、温度変化に対する耐性などを増大させることもできるわけである。

この炉の出力は 20 MW であるが、60 MW まで上げることでもできるよう設計してある。各種実験孔での熱中性子束は 10^{13} n/cm²·sec から 10^{14} n/cm²·sec までである。

炉建物は 32' の深さのコンクリート地下室の上に直径 70', 高さ 72' の金属殻でできており、地下室には炉の真下から幅 7' の水溝が掘ってある。放射能をおびた燃料や実験孔内の試料はこの水中を通過して隣のホットセルまで遠隔操作機で運搬される。炉心は直径約 50", 高さ 44" の円筒型で多数のアルミニウム管が密につまっている。これらは燃料、制御棒ならびに実験孔用ガイドになる。燃料要素は 3 重の同心円筒で高濃縮ウラン—アルミニウム合金をアルミニウムで被覆したものである。上下対称に作られ上下を入れ換えて燃焼率を高めるよう考慮されている。U-235 充填量は実験孔に入れる試料によって異なるが 10 kg から 12 kg 程度。制御棒はアルミニウム被覆をしたカドミウム円筒。スクラムは重力による落下と冷却水の下向き圧力によって行わせている。

1 次冷却水最高圧力は 112 psi となるので圧力容器は 150 psi に設計した。容器は外径 8', 高さ 33', 厚さ 1" のステンレスで作る。炉心部分の周囲にはステンレスの熱遮蔽がある。減速材も兼ねた冷却水は圧力容器の上方から入り、燃料要素、実験孔を流下し、熱遮蔽を下方から上方へ流れ出る。

この原子炉にはその目的にしたがって多種多様な実験孔が設けられた。高圧用実験孔としては炉の中心に直径 6" のものが 1 本、2 $\frac{3}{4}$ " のものが炉心内に 6 本あり、これらには最高 600°F で 2,000 psi の圧力をかけることができる。燃料要素の円筒内部の空間も小さい試料の照射用に使える。また炉心周辺部には 5~6 本の水圧型ラビット式実験孔があり、また燃料要素を充填していないアルミニウムガイド管内も照射実験孔となる。さらに炉心側面に直径 8" の水平実験孔 1 個がコンクリート遮蔽を貫いてあけられてある。(研究所 宮下恭一訳)

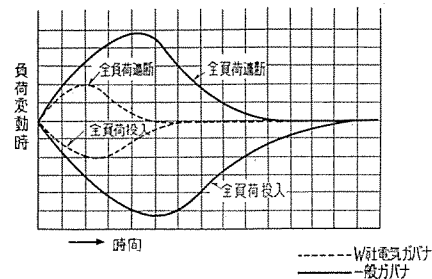
速度および周波数制御についての新しい考え方 電 気 ガ バ ナ

J. G. Gable: A New Concept in Speed and Frequency Control—the Electric governor. (Westinghouse Engineer, Vol. 16, No. 5, Sept. 1956, p. 156~157)

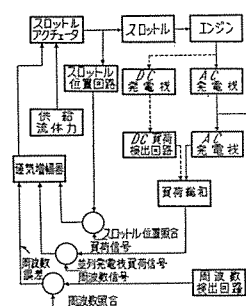
速応ガバナはエンジン発電機セットが厳密に制御された電力

を発生するためには必須のものである。新しい電気ガバナは原動機の負荷に応じての速度変動を予期するという全く新しい考え方によってこの高速応性に達した。すなわち負荷の変動を感じたとき、電気ガバナは直ちに周波数変動の機先を制するように働く。その結果系統を定常状態に戻すに要する時間は最小になり、周波数変動は 1 図に示すように狭い範囲に保たれる。さらにこの電気ガバナは同期運転している 2 台以上のエンジン発電機の自動負荷配分を可能とする。

この新しいガバナは電気制御要素と流体操作要素の 2 つの基本要素からなり、前者は発電機周波数、発電機負荷、エンジンスロットル位置の 3 つの変動量を測定し、それに比例して極性逆なる信号を発する。これら信号の電気的和は増幅されて後者の流体操作要素に加えられる。ここでその信号はそれに比例した流体の力に変換されピストンを動かし、スロットルを位置せしめる。ガバナの中核である電気制御要素は全く静的なもので通気性箱に収められている。LC 回路によって検出された周波数と照合周波数との差は磁気増幅



1 図



2 図

器入力誤差信号となる。また総負荷のうちの大きな比率として直流発電機を含んでいる結合型 400 c/s エンジン発電機セットに対しては直流負荷は直流電流計測トランスダクタによりその信号を発し、磁気電力計と変圧器により測定され、発せられた交流負荷信号に加えられる。第 3 の信号であるスロットル位置信号はスロットル復原系統によって伝えられる。これらの信号は正しいスロットル位置に達したとき中和する。流体操作要素は 2 つのポートをその両側にもつ閉ループ流体系のサーボピストンで定常ではピストンの両側の供給圧力は等しく平衡して動かないが、信号が入ると供給圧力の差はピストンを動かすに至る。そしてこのピストンの位置はその働きに何の効果も持たないで移行の限度内でも等しくなり得る。

運転上の利点は 2 台以上の要素の並列運転がある。この際、総負荷の何パーセントが特別の機械にかかっているかを示す負荷検出回路を用いることにより、各機はその予定された総負荷に対する割合を配分される。これは系統の最大負荷変動が最大機の定格をしのぐ所だとか、またしばしば負荷増大における垂下特性が望ましくない所では重要である。並列運転中の電気ガバナからの信号が比較されるときその不平衡は個々のセットが希望する関係に戻るよう働く。また電気ガバナは手動操作によって個々の機械を 0~5% の速度調定率に調節できる。この調節によって W 社電気ガバナを備えた機械は一般に用いられているガバナを備えた機械との並列運転が可能となる。さらにその高速応性は全負荷の投入または遮断時でスロットルの移動は約 0.015 秒後に始まり、全変移は 0.1 秒以内に完了する。良く

設計された高速のエンジン発電機セットではその速応性は 1.5% 以下という典型的な最大過渡変動率になっている。そして全負荷の投入または遮断後 1 秒以内に定常状態に復する。

(神戸製作所 天藤憲二訳)

W 社 計 器 の 新 し い 進 歩

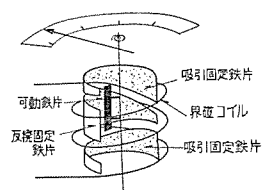
J. C. Nycz, R. C. MacIndoe and U. L. Smith: New Developments in Instrumentation. (Westinghouse Engineer, Vol. 16, No. 6, Nov. 1956, p. 170 ~174)

広 角 度 計 器

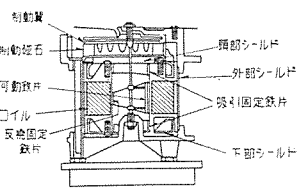
250° 計器の交流電流計、電圧計 (誤差 1.0%) は完全な再設計を行い、性能を向上した。その動作原理は可動鉄片反撥、吸引型を用いている。可動部の部品数を少くし、ダイキャストを用い、重量を軽くした。磁気回路を能率よく設計したので回転力が増した。その結果、回転力と重量の比が従来より 100% 増した。5 ガウスの外部磁界による誤差の変化は 0.8% にすぎない。そして 400 サイクルでも使用できる。

Transducer 型周波計

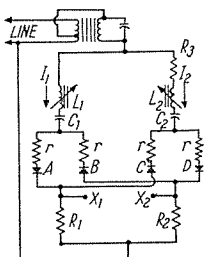
4 個の transducer unit を用いて、周波数に比例した直流電圧を得て、直流電圧計によって周波数をよむものである。1-a 図にその結線図を示す。図の X_1 , X_2 端子に直流電圧計を接続する。2-b 図に 2 つの同調回路の同調特性を示している。 I_1 の回路は 48 c/s で、 I_2 の回路は 72 c/s で同調する。50—70 c/s 目盛の周波計では、中央零の 0.5 mA 全振の両振直流電圧計を用い、計器の直列抵抗は 6,000 Ω である。電圧変動による誤差



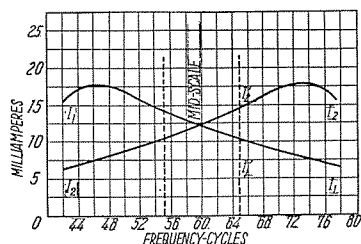
1-a 図
可動鉄片型電流計、電圧計の原理図



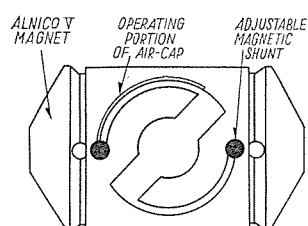
1-b 図
可動鉄片型電流計、電圧計の断面図



2-a 図
Transducer 型周波計結線図



2-b 図
同調回路の電流と周波数の関係



3 図
1 枚ものの抜板の積層板と可変磁気分路をもつ新しい磁路

を防ぐために飽和型の電圧調整装置を用い、100~130 V の範囲で電圧を一定にしている。この周波計は種々の目盛のものが得られ 50-70 c/s, 380-420 c/s のもの等製作できる。また直流電圧計を種々の形の計器、記録計を用いることができるので、周波計の外形寸法を任意に選択できる。

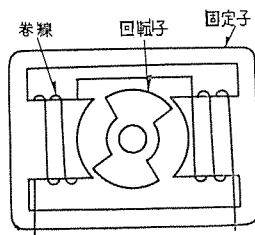
記 録 計

(1) 直流記録計

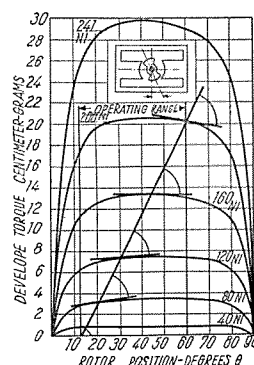
これは永久磁石可動コイル型である。磁気回路を高効率に設計した。3 図に磁気回路を示している。Alnico-V の磁石を用い、極片と空隙部分は 1 枚ものの抜板を積層したものである。このため組立が容易でかつ精度が高い。全振の感度は従来の 0.025 W に対し、新型のは 0.0025 W である。このため分流器は従来 100 mm ボルトを要したのが、50 mm ボルトですむようになった。また電圧計は 1,000 Ω /V の感度となった。なお渦巻ばねを弱めて 0.001 W のものも作ることができる。

(2) 交流記録電流計

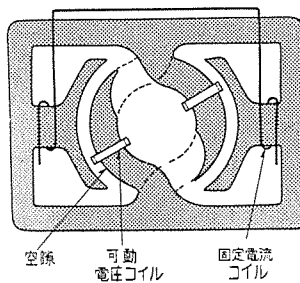
これは可動鉄片型である。その動作原理を 4-a 図に示している。全振目盛でのインダクタンスと、零目盛でのインダクタンスの差を、前者で除した値を、可動鉄片機構の磁気能率というが、従来の記録計は磁気能率 10~25% であったのが、新設計



4-a 図
可動鉄片吸引型の交流記録電流計、電圧計の原理



4-b 図
種々のアンペアターンに対する吸引鉄片機構の回転力



5 図
電流計型記録計の新しい磁気回路

のものは 35% である。可動鉄片は飽和値からはるかに低いところで動作しており、波形が変わっても指示誤差を生じない。過負荷で発生する極端に大きい回転力による可動軸の衝撃を防ぐために、可動鉄片と、可動軸の間に補助スプリングをいれてあり、急に全振したときはまず可動鉄片が全振し、やがて可動軸がそれについて全振するようになっている。

(3) 交流記録電力計

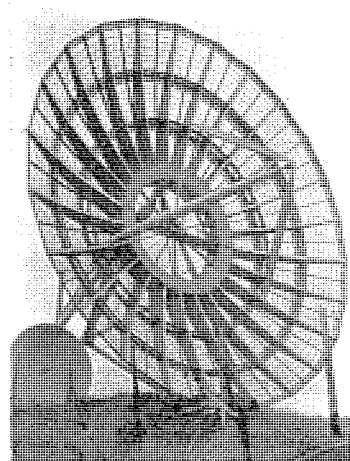
これは鉄心をもった電流計型で、その磁気回路を 5 図に示している。図のように鉄心を積重ねて可動コイルは 2 つにわかれている。電圧回路のみ付勢したときの計器のふれ、すなわち電圧誤差は小さい。また均一漂游磁界による影響は打ちけされる。

(神戸製作所 岡本孝治訳)

■ 世界最大級の空中線完成

国際電々公社よりの注文で、かねて製作中であつた見透し外伝播用の大口径空中線は、昨年末、門司の風師山に掘付けられ、本年 2 月、同社により現地での電気試験が行われた。

本空中線の性能、諸元は下記のとおりであり、世界最大級のものである。強度、重量の点から高張力鋼を使用し、移設を可能にするため、反射鏡部を 28 個、支柱部を 12 個に分割して



大口径空中線

ある。また大電力で送信しながら方向調整を行うために、饋電には途中に一部同軸ケーブルを採用した。

開口径 18 m

焦点距離 7 m

曲面精度 ±14 mm 以下

方向調整 上下、左右 ±1° 以上可能

周波数 1,250~1,350 Mc

利得 約 44 db

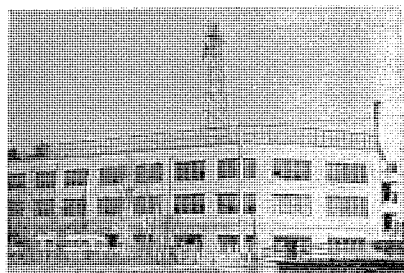
入力インピーダンス

V.S.W.R < 1.3

■ 2,000 Mc 帯 AM-FM 多重無線通信装置

東武鉄道株式会社では、同社通信回線網総合計画の第一着手として、東京—赤城山間(距離 107km)において、当社 2,000 Mc AM-FM 多重無線通信装置を用いて、既設局との混信その他の資料をうるための実験を続行されているが、現在までに得られた結果はきわめて満足すべきものであると共に、本装置の実用機としての優秀性が証明された。使用開始後数ヶ月間に生じた故障は真空管 12AU7 および 12AT7 各 1 本の不良のみであった。本装置はマイクロ波真空管 2C39A の寿命も長く、長期にわたり動作はきわめて安定しているから、オートメーション時代にマッチした機器として推奨できるものである。

写真は東武鉄道本社屋上鉄塔に装備された赤城山向け直径 3 m パラボラ空中線である。

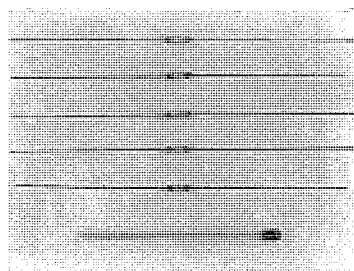


2,000 Mc
AM-FM 多重
無線通信装置の 3 m
パラボラアンテナ

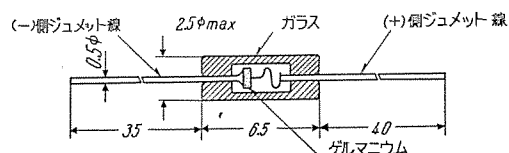
■ 超小型ゲルマニウム・ダイオード

最近、通信機・電子装置、あるいはテレビ・ラジオにゲルマニウムダイオードの利用がますます盛んになりつつある。とくにこれらの機器の小型化が進むに伴ってダイオードの小型化が一層強く要望されてきた。研究所では従来のガラスとコパールの封着によるハーメチックシール型の試作に引続いて、さらに小型の新構造のものを開発中であつたが、このほど試作に成功し量産に移行した。

これは図および写真のように、直径約 2.5 mm、すなわち太さはマッチの軸程度の超小型である。その構造はリード線としてジュメット線を用い、これに直接ゲルマニウムと針を接着してガラス小管に直接溶封したものである。一見極めて簡単な構造であるが、製作には従来のものと比較して種々の困難な問題があつた。



超小型ゲルマニウム・ダイオード



外形寸法

これらは解決され、量産工程が確立された。その結果、材料費の低減と相まってさらに生産価格の引下げが可能になった。

その特長は小型軽量で、完全なハーメチックシールがえられるのみならず、全体が一体化しているため機械的にも強いことである。現在テレビ用 MD 60 をはじめとして各品種のものが製作されつつある。

■ 火力発電プラント映画の完成

国内および海外販路に新偉力！

昨年 2 月以来当社と新三菱との共同製作になる“火力発電プラント”の記録映画がこのほど最終撮影を終り、去る 3 月 5 日、6 日の両日にわたり英語版、日本語版ならびに音楽効果の録音を無事に終了し、ようやく今春 5 月中旬頃には全巻完成を見て発表することになった。

本映画は、関西電力姫路発電所および新東京発電所に製作納入した新鋭タービン発電機 (75,000kW) およびこのプラントの製作工程をテーマとして、当社長崎製作所、神戸造船所および同機据付け現場の姫路発電所においてクランクインしたもので、



長崎製作所ロケ風景



録音風景 作曲指揮箕作秋吉氏による N 響メンバー

この種の技術映画としては関係者間でも高評を博したものである。

本映画の製作には約1ヵ年の歳月を要し、その製作は電通シェウ・タグチプロの優秀スタッフが当り、総天然色映画3巻で、主機のボイラ、タービン、発電機の三部門から構成されている。上映時間は約30分で、近く公開発表ともなれば、国内はもちろんのこと、海外に日本の高い技術水準を紹介することになり、その効果も大きなものとして多大の期待が寄せられている。

なお、目下これに継ぐものとして“田子倉発電所向水力発電プラント”の映画製作も新三菱とのタイアップの下に予定されている。

■ 電子線加速用ベルト起電機

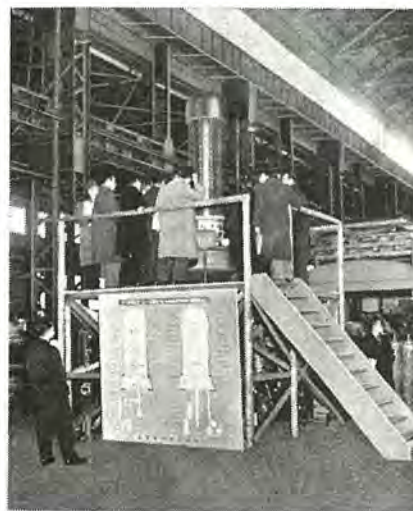
当所研究所では電子線加速用ベルト起電機（ファン・デ・グラフ静電発電機とも呼ばれている）を完成し、2月27日展示会を開催した。当日は官庁、学校関係および、繊維工業、化学工業の各会社から約100名見学にこられるほどの盛況であった。

本装置の仕様は、つぎのとおりである。

最高電圧	2 MV
電子流	250 μ A
高圧タンク	1,280 mm ϕ
(縦型)	3,450 mm (高さ)
全長	5,000 mm

ベルト幅	280 mm
ベルト駆動	5 HP 2 極誘導電動機
プーリ直径	100 mm
最大回転数	3,000 rpm
絶縁柱の高さ	1,500 mm
充填ガス	窒素ガス 9 気圧

この装置の工業的応用の1つとしては高分子化学がある。高分子物質に 1 MeV 程度の電子線を適量照射すると、普通の化学的方法では起らなかった新しい変化が起り、その強度・伸び・耐熱性等が改善され、またあらゆる溶剤に対して不溶性のもの



電子線加速用ベルト起電機

のが得られる。これは工業的には新しい型の高分子製造方法の可能性を示すもので、今後ますますこの方面の発展が予想される。

■ 世田谷工場は JIS 電機バインド用燐青銅線の表示許可工場となった

電機バインド用燐青銅線が JIS. C2508 (1953) として、昭和 28 年 3 月 28 日規格化され、昭和 29 年 3 月、指定品目となったが、今回日本工業規格表示許可書をうけることができた。

本品目について許可工場となったものは、現在のところ当世田谷工場のみである。



最近における当社の社外寄稿一覧

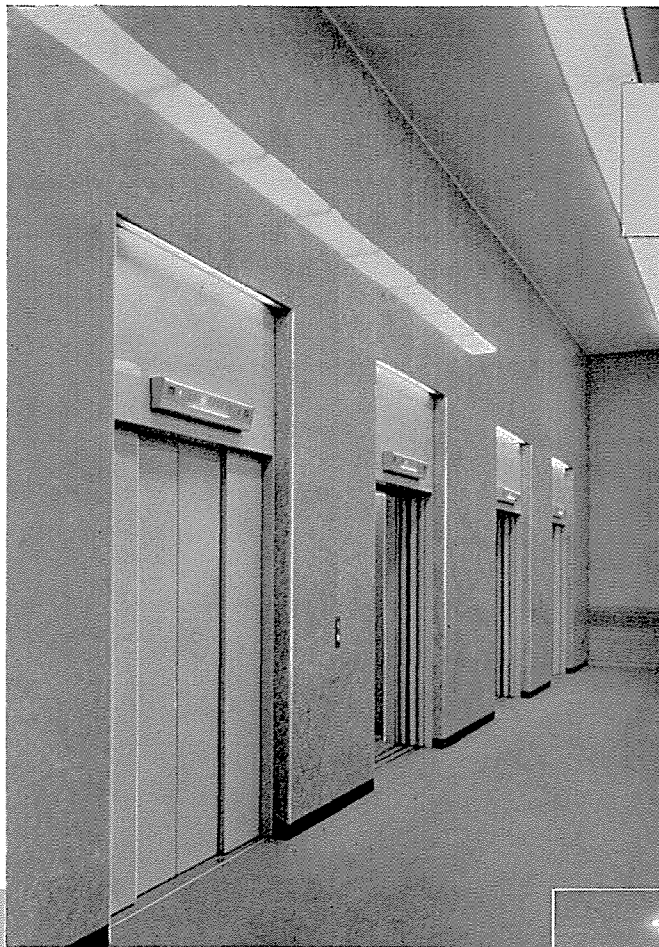
寄稿先	掲載号	題名	執筆者	所属
ケミカルエンジニアリング	2月号	密封電動ポンプについて	潮 恒 郎	研究所
照明学会誌	1月号	蛍光水銀燈のみによるテニスコートの照明	小 椋 義 正	研究所
電気計算	4月号	三菱配電盤結線図の見方	清 水 正 巳	神戸
電気計算	3月号	最近の電鉄変電所用配電盤	小 滝 喜 久 二	神戸
オーム	臨時号	柱上変圧器を倒した写真あるいは Bushing の写真と説明	吉 野 敏 夫	名古屋
溶接界	1月号	3 相溶接機におけるロールスポット及断続シーム溶接装置	岸 田 公 治	伊 丹
オーム	4月号	新高圧負荷断路器	新 井 正 元	伊 丹
火力発電	1月号	水素冷却発電機の高圧冷却器について	志 岐 守 哉	長崎
電設工業	1月号	蛍光燈照明工事と保守	吾 郷 源 一 郎	本 船
エレクトロニクス	季 刊	トランジスタの四端子網パラメータ	山 下 源 三 郎	大 無 線
ダイジェスト	3月号	アメリカの照明をみる	中 塚 正 三 郎	本 社
電気計算	1月号	農村と照明	小 堀 富 次 雄	"
電通経済	4月号	電鉄事故時の選択遮断装置の改良	木村久男・迎久雄・田淵哲男	"
電気学会誌	1月号	三菱電機の超高圧用機器	木村久男山田栄一	"
電力発電	1月号	原子力発電の諸方式とその長短	木 村 久 男	本 社
オーム	臨時号	軸電流の発生とその防止法	潮 恒 郎	研究所
産業機械	特集号	ボイラ用誘引強圧送風機	岩 原 二 郎	長 崎
オーム	2月号	原子力シリーズ (4) 加圧水型原子炉の設計とその問題点 (1)	小 倉 正 美	研究所
オーム	3月号	原子力シリーズ (5) 加圧水型原子炉の設計とその問題点 (2)	小 倉 正 美 郎 長 沼 辰 二 郎	研究所

最近における当社の社外講演一覧

講演月日	主 催	演 題	講 演 者	所 属
11月16日	名古屋大学	航空電子機器の動向について	小 田 達 太 郎	無 線 機
11月20日	電気通信学会	ミリ波レーダ	吉 田 武 彦	"
11月22日	"	誘電体入の 1/4 波長板の広帯域化	喜 連 川 隆	"
12月7日	航空電子機器研究専門委員会	航空機用 Radome の試作研究	"	"
"	"	航空機中の電波障害と抑制	黒 田 忠 光	"
"	照明学会40周年記念講演	デラックスランプの演色性について	伊 吹 順 章	研 究 所
1月13日	日本学術会議第1回原子力シンポジウム	P. W. R. 発電用原子炉の設計	小 倉 成 美	"
1月18日	住友電工本社	OR の考え方	和 田 鼓	生産技術部
1月19日	半 導 体 談 話 会	cds の光伝導性	伊 吹 順 章	研 究 所
1月25日	火力発電技術協会(四国支部)	原子力発電について	横 須 賀 正 寿	"
1月28日	CCS 経営講座(大阪女子大クラブ)	統制について	前 田 幸 夫	生産技術部
2月7,8日	合 成 樹 脂 工 業 会	ポリエステル樹脂絶縁コイルの性質	石 黒 克 己	研 究 所
2月14日	照 明 学 会	米国の照明施設	小 堀 富 次 雄	本 社
2月19日	住宅配線適正化委員会	新しい家庭照明について	"	"
3月19日	照明学会蛍光放電燈調査委員会	米国照明視察図	"	"
4月3日~5日	電気四学会連合大会	カゴ形誘導電動機の溝数組合せとトルク異状現象	関 野 博 一 白 田 長 一 梶 谷 定 之 紙 谷 鉄 男	名古屋 神 戸
"	"	差動歯車式速度調整器による抄紙機運転	横 須 賀 正 寿	研 究 所
"	"	P. W. R. 発電所について	長 沼 辰 二 郎	"
"	"	S. G. R. 型原子炉	加 藤 又 彦	伊 丹
"	"	液冷式密封型イグナイトロン整流器	田 村 良 平	"
"	"	電力用単巻変圧器の電位振動	大 木 正 路	"
"	"	磁器円筒の衝撃沿面閃絡電圧特性	永 田 秀 次	"
"	"	超高圧節油タンク型遮断器	富 永 正 太 郎	"
"	"	磁気遮断器耐熱磁気板の試験	亀 山 三 平	"
"	"	VLB 型負荷断路器	岩 崎 行 夫	"
"	"	コンデンサブッシングの誘電体正切の限界値	東 正 義	"
"	"	油漬紙使用コンデンサブッシングの特性について	鎌 田 隆 好	"
"	"	6 kV 配電線用放出型避雷器 (第2報)		

区 別	名 称	特許または 登 録 日	特許または 登 録 番 号	発 明 考 案 者	所 属 場 所
特 許	記録装置	32- 1-18	228465	加 藤 義 明	福 山
"	高周波ミシンの電極装置	"	228466	馬 場 文 夫	無 線 機
"	速度調整装置	"	228467	尾 畑 喜 行	神 戸
"	自動増幅発電機の回転数変化補償装置	32- 1-28	228620	"	"
"	自動増幅発電機の回転数変化補償装置	"	228621	"	"
"	相数変換装置	"	228622	奥 田 文 一	名 古 屋
"	ラジオ同調指示装置	"	228623	中 村 弘	大 船
"	高周波損失小なる酸化物磁心	32- 2-13	229317	"	"
"	電動機速度自動制御装置	32- 2-14	229354	武 田 英 夫	長 崎
"	陰 極	"	229406	立 原 芳 彦 前 川 卓 夫	研 究 所
"	電気トースタ	32- 2-20	229482	奥 田 文 一 増 谷 良 久	名 古 屋
"	充電・流補償式保護継電方式	"	229483	藤 井 重 夫 森 健	神 戸
"	超音波探傷用探傷子	"	229484	近 藤 敬 吉	無 線 機
"	同期機の内部相差角検出装置	"	229485	森 健	神 戸
新 案	着火断続器	31-12- 7	454815	品 川 朝 一	姫 路
"	着火断続器	"	454816	大 村 半 弥	"
"	着火断続器	"	454817	"	"
"	電気トースタ	"	454818	奥 田 文 一 増 谷 良 久	名 古 屋
"	蛍光灯照明器の天井吊金具	31-12-17	454921	小 笠 原 善 丸	大 船
"	プログラム制御装置送量器	"	454922	岡 本 孝 治	神 戸
"	高速度遮断器	"	454923	小 路 誠 春 藤 森 嘉 門	"
"	刷子保持器の取付装置	"	454924	大 村 半 弥	姫 路
"	着火用断続器の進角調整装置	31-12-18	455036	高 松 茂 利 荒 川 利 弘	"
"	パイロットランプ	31-12-26	455727	江 口 末 次	長 崎
"	回転ビームアンテナ	32- 1-12	456147	上 村 康 雄	無 線 機
"	油連続脱気装置	32- 1-16	456207	森 本 治 夫	伊 丹
"	手動制動装置	"	456208	熊 本 永	長 崎
"	内燃機関用着火用自動進角装置	"	456209	大 村 半 弥	姫 路
"	シリング給油装置	"	456210	高 松 茂 利	福 岡
"	発 電 機	"	456211	大 村 半 弥	姫 路
"	着火用断続器の進角調整装置	"	456212	宮 崎 秀 夫	"
"	電気アイロン	32- 1-17	456300	祖 父 江 常 雄	名 古 屋
"	内燃機関用着火用自動進角装置	32- 2- 9	457443	大 村 半 弥	姫 路
"	タイムスイッチ	"	457444	加 藤 義 明	福 山
"	扇風機の旋回首振装置	32- 2-14	457550	今 井 進	中 津 川
"	磁気選鉱機	"	457551	柳 下 儀 兵 衛	大 船
"	耐衝撃電鉄接触器	"	457552	吉 田 太 郎	名 古 屋
"	超音波探傷器の探傷子	32- 2-15	457659	平 田 利 卯	長 崎
"	断続電流伝送装置	"	457660	加 藤 義 明	福 山
"	3 相変圧器	"	457661	谷 中 頼 朝	伊 丹
"	始動用電動機の安全装置	"	457662	森 本 保	姫 路
"	耐熱絶縁電線	32- 2-18	457764	中 野 雅 行 田 中 修	伊 丹 大 日 電 線
"	縦軸電機の油漏れ止め装置	32- 2-22	457904	小 池 義 郎	神 戸
"	極致交換誘導電動機	32- 2-23	457968	小 倉 幸 作	長 崎

もっとも信頼できる・・・



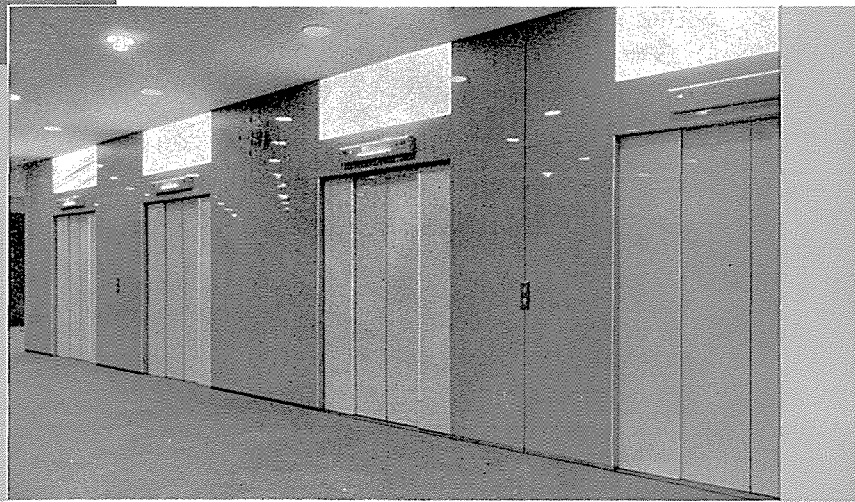
三菱エレベータ

最近の建築意匠は複雑な装飾から明るくスポーティーなスタイルに変わりつつありますが、上野松坂屋百貨店に納入したエレベータも同じ考えによって正面を全面鋼板のラッカ焼付塗装によるフラッシュパネルスタイルとし、きわめて軽快な感じを出した好例であります。

また出入口枠の上部に特殊縞目ガラスおよびアクリライト蛍光板を取付け、内部に蛍光灯による光源を置き、一種のひかり壁としたのも特色の1つであります。

客用エレベータ (1 階乗場)

客用エレベータ (各階乗場)



昭和 32 年 5 月 8 日 印刷 昭和 32 年 5 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	大石	久保	謙	常任委員	宗	村	平
副委員長	浅井	辰次	雄	委	石	橋	樹
常任委員	荒井	徳	郎	員	岡	屋	二
〃	安藤	安	二	〃	進	藤	和
〃	菅野	正	雄	〃	立	原	彦
〃	木堀	武	雄	〃	津	村	隆
〃	小堀	次	郎	〃	松	尾	一
〃	高井	一	雄	幹	井	上	市
〃	中野	郎	夫	〃	市	村	明
〃	馬場	文	市	〃			
〃	松田	新					

(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
印刷者	東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目	本	刷	株	式
発行所	三菱電機株式会社内	長	久	保	慶
		「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			