

MITSUBISHI DENKI

三菱電機



名古屋 大阪間を快走する近畿日本鉄道“新エスタ・カー”

3

VOL 34 1960

沖縄本島と内地を結ぶ 大口経アンテナ



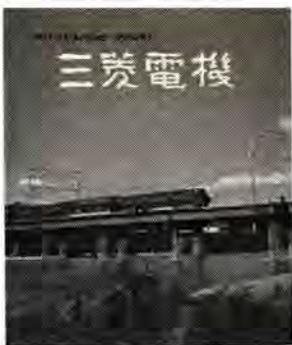
この空中線は沖縄本島と内地間を結ぶ無線通信回線の第一次計画として電電公社が鹿児島島の南端大浦と奄美大島の朝戸に相対向して建設されたものである。

電波がマイクロ波のように短い波長になると通信はおおよそ直視距離内に限られるので、たとえば東京—大阪間 約600 km では途中8か所の中継所を設け電波を増幅しながらつぎつぎと中継を行なっている。しかし近年になってマイクロ波でも送信電力と空中線を大きくすれば大気中の散乱や、山岳・島による回折により見通し外の通信が可能になってきた。

大浦—朝戸間約330 km は見通し外のため途中の島による回折波を利用するが、電波が弱くなるので大きい空中線を利用するわけである。米国などではすでに実用の段階にあるが、わが国でも電電公社・国際電電・郵政省電波研究所など大規模な実験が行なわれ、当社が昭和31年に製作した直径18 mの空中線もこれに使われたものである。今回の空中線はさらに大きく性能的にもわが国で初めての記録的製品であること、わが国で初めての実用回線に使用されることとくに意義がある。

用途……電電公社の鹿児島南端と奄美大島朝戸間の多重回線用の空中線であって、将来この回線は沖縄本島まで延長されるものである。

性能……開口 高さ約16m 幅25m 角形
焦点距離 15m
反射鏡 金属鋼 回転放物面
精度 ± 12 mm
周波数 250 Mc 帯 (将来共用される800 Mc 帯、2,000 Mc 帯にも使用可能)
耐風圧 風速75 m/sec の風圧に耐える
分割 反射鏡9分割
重量 約25トン



表紙説明

昨年 12 月 12 日から営業運転を始めた近畿日本鉄道“新ビスタ・カー”は名古屋線広軌化の完成とともに特急車として登場したもので、36 両新製された。この車両は 33 年 7 月完成のビスタ・カーにさらに改良を加え将来大阪—名古屋間、現行 2 時間 27 分を 2 時間で走りうるよう設計されている。当社は主電動機 98 台（予備 2 台）のほか制御装置、制動装置の主要機器全数を納入したもので、いずれも当社技術の粋をあつめたものである。

三菱電機

昭和 35 年 第 34 卷 第 3 号

目 次

| | | |
|---|----------------------------|-------------------|
| ボイラ用大形通風機 | 宮内貞夫 | 2 |
| 2,000 kW 全閉外扇形誘導電動機 | 藤山辰之・甘粕忠男 | 9 |
| SP-R 形新形単相モートル | 関野 博・小野勝啓・梶谷定之 | 13 |
| 連続亜鉛メッキ用 120 トン低周波誘導炉 | 大浜 侃・小池道義・中村幸雄・荻野 脩 | 20 |
| 工作機械数値制御装置 | 馬場文夫・渡辺文明・小島一男・中島 碧・松本大四 | 28 |
| 新形直流高速度シヤ断器 | 岩垂邦昭・渡辺睦夫 | 35 |
| コンデンサ形計器用変圧器 | 志村 勲・早瀬通明 | 42 |
| 電力系統問題への計数形計算機の応用 | 芝滝寿宏 | 53 |
| MELCOM 繰返形アナログコンピュータ (EA-100 形) | 大鳥羽幸太郎・和田 宏 | 63 |
| 新形ノーヒューズシヤ断器 | 高見 滋 | 71 |
| S バンド 2 kW 進行波管 | 戸田哲雄・建石昌彦・竹延真哉 | 87 |
| MELCOM 精密低速度形アナログコンピュータ (2) | 馬場文夫・大鳥羽幸太郎・柴谷浩二・松本孝郎・桑田 博 | 94 |
| 《技 術 解 説》 | | |
| 火力発電 シリーズ： 蒸気タービン (2) 再熱式蒸気タービンの調速制御機構 | | 105 |
| 《原 子 力 情 報》 | | |
| JRR-2 原子炉 (2) | 荘田勝彦 | 111 |
| 《W 社 文 献 抄 訳》 | | |
| 1960 年代の主要なる直流電源としてのシリコン整流器・新しい半導体装置・ウエストペン電力会社へ納入の半導体 整流器の励磁機方式・航空機用高温トランス—整流器組合わせ装置の新材料・ディズニ—ランドのモジュール・カー | | 120 |
| 《ニュース フラッシュ》 | | |
| 台湾電力谷関発電所向け 57,500 kVA 水車発電機完成・台湾石門発電所 51,111 kVA 水車発電機 2 台受注 ・富士製鉄広畑製鉄所向け 9,000 kW 圧延電動機完成 (世界最大級)・ベトナムへ TM-2 形膨張形救命胴衣 900 個を輸出・西武百貨店ヘリポート用無線通信装置・コナパルス のひん度分布を測定する新しい測定装置・ 超高真空用質量分析計・負荷時タップ切換器付変圧器など大量に受注・レフチフロー 駆動方式の電動機受注 | | 122 |
| 《特 許 と 新 案》 | | |
| (新)回転式電解研磨装置・(新)電気ハンダゴテ | | 125 |
| 《最近における当社の社外寄稿一覧》 | | 8, 19, 41, 62, 93 |

ボイラ用大形通風機

長崎製作所 宮内 貞夫*

Large Draft Fans for Boilers

Nagasaki Works Sadao MIYAUCHI

To cut down the initial and running costs of power plants are used turbines and boilers of large capacity with high temperature, high pressure steam for high efficiency. This calls for larger draft fans of higher efficiency and reliability. The answer for the problem by the writer is the recommendation of the airfoil blade fan, type FA-4000, for the forced draft, the radial tip blade turbovane fan, type ID-1000, for the induced draft, the radial blade fan, type FB-7000, or the special radial tip blade fan, type ID-1000, for the gas recirculation. The company's latest achievement is a boiler fan, the largest of the kind in this country, for Yokohama power station, the Tokyo Electric Power Company. Brief description on the construction and features are made herein.

1. ま え が き

わが国の発電所では火力発電技術の進歩、海外の技術導入と高温高圧高効率の大容量機の採用によって建設費および運転費の低下を計っているがこれに伴う通風設備にもいっそう高効率で信頼度の高い大形通風機が必要になってきた。当社では東京電力横須賀発電所第1号265 MW、908 t/h ボイラ用としてわが国最大の大形通風機3種類を製作した。これらは820 kW 押込通風機、2,000 kW 誘引通風機および670 kW、1,100 kW ガス再循環通風機であってここに各通風機の概要と特長を説明する。

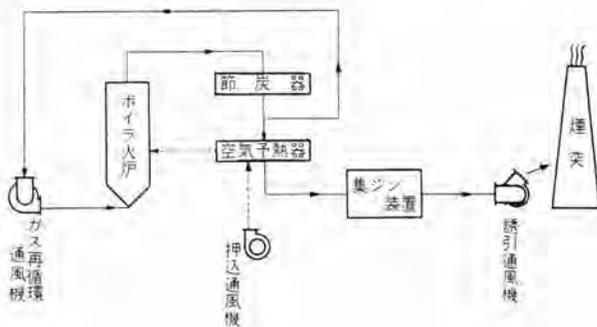


図 1.1 ボイラ通風装置
Fig. 1.1 Boiler draft arrangement.

表 1.1 最近のボイラファン一覧表

| 製作年次 | 納入先 | 発電所名 | 発電力出力 (MW) | ボイラ | | | ファン | |
|------|------|-------|------------|----------|---------------------------|-----------|----------|----------|
| | | | | 容量 (t/h) | 蒸気圧 (kg/cm ²) | 蒸気温度 (°C) | FDI (kW) | IDF (kW) |
| 33 | 関西電力 | 姫路Ⅲ | 125 | 430 | 127 | 538 | 330 | 800 |
| " | " | 大阪Ⅱ | 156 | 543 | 169 | 566 | 450 | 930 |
| " | 住友共電 | 新周浜西 | 75 | 260 | 102 | 538 | 185 | 420 |
| " | 中部電力 | 新名古屋Ⅱ | 220 | 726 | 169 | 566 | 670 | 1,570 |
| " | 九州電力 | 畑田Ⅲ | 156 | 543 | 169 | 566 | 450 | 930 |
| 34 | 関西電力 | 大阪Ⅲ | 156 | 543 | 169 | 566 | 450 | 930 |
| " | " | "Ⅳ | 156 | 543 | 169 | 566 | 450 | 930 |
| " | 中部電力 | 新名古屋Ⅲ | 220 | 726 | 169 | 566 | 675 | 1,550 |
| " | 東京電力 | 横須賀Ⅰ | 265 | 908 | 169 | 566 | 820 | 2,000 |

2. 押込通風機

ボイラの燃焼用空気を供給する通風機を押込通風機といい周囲の新鮮な空気を吸込んで空気予熱器を経て、バーナ部に送り込む役目を持っている。取扱い気体が空気であって摩擦および温度の心配がなく高効率を得るために流線形の航空機翼形羽根を採用した。

この通風機は FA-4089 翼形通風機で主なる仕様は次のとおりである。

- 駆動方式 横軸直結両吸込形
- 風量制御方式 ペンコントロール
- 風量 9,500 m³/min
- 風圧 410 mmAq
- 回転数 740 rpm
- 温度 32°C
- 電動機 820 kW AC 4,000 V 50 c/s 8 P

この通風機の特長曲線は図 2.1 のようである。

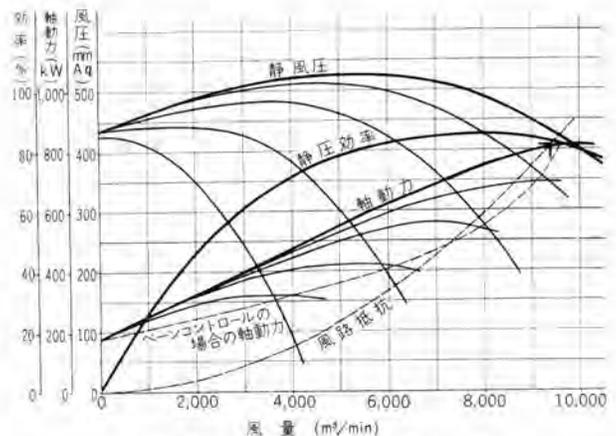


図 2.1 FA-4089 DWDI 特性曲線
風圧 410 mmAq 回転数 740 rpm
風量 9,500 m³/min 電動機出力 820 kW

Fig. 2.1 FA-4089 DWDI characteristic curves.

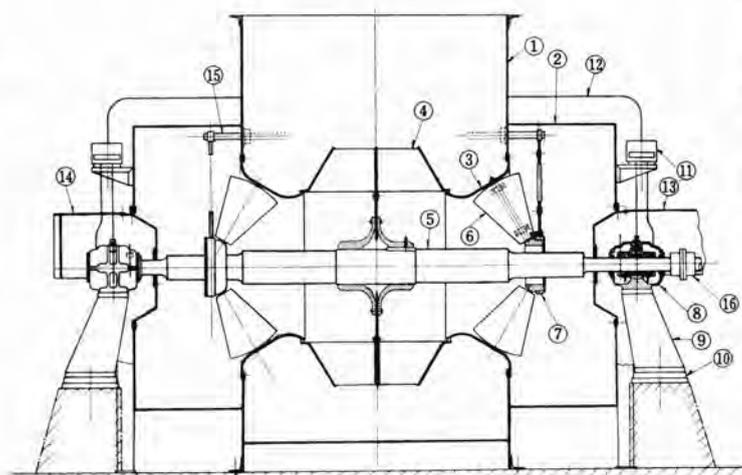


図 2.2 付表

| No | NAME | MATERIAL | NEC No | REMARK |
|----|-------------------|---------------|--------|--------|
| 1 | HOUSING | ASTM-A245-52T | | |
| 2 | INLET BOX | # | | |
| 3 | INLET | # | | |
| 4 | WHEEL ASS'Y | BLADE SAE-950 | | |
| 5 | SHAFT | SAE-1035 | | |
| 6 | INLET VANE | ASTM-A245-52T | | |
| 7 | CONTROL MECHANISM | | | |
| 8 | BEARING | ASTM-A48-30 | | |
| 9 | PEDESTAL | | | |
| 10 | SOLE PLATE | | | |
| 11 | AIR FILTER | | | |
| 12 | PIPE ASS'Y | | | |
| 13 | COVER | | | |
| 14 | COVER | | | |
| 15 | JACK SHAFT | | | |
| 16 | COUPLING | | | |

図 2.2 押込通風機組立図

Fig. 2.2 Construction drawing of forced draft fan.

翼形通風機 FA-4000 シリーズは主としてボイラの押込通風に用いられるもっとも新しい形式の通風機である。

2.1 翼形通風機 FA-4000 シリーズの特長

(1) 効率が高い

扇車羽根は流線形の翼形断面になっていて空気がスムーズに流れるため、気流の衝突、摩擦、あるいは乱れが少なく全圧効率で 92% を得ることができる。

(2) 騒音が小さい

普通に用いられている平板翼とか曲線翼では空気が表面に沿って流れないのでこれが原因で大きな音を発生する。これに反し流線形の翼形断面の羽根を使うと同じ容量でも騒音が 2 ないし 3 ホン下がる。またこれらの原因の音は 200 ないし 300 サイクル以上であるので翼形羽根では騒音の最高値が低いサイクルのほうに移る。

(3) 安定な特性をもつ

使用風量範囲で風圧は直線的に下がり並列運転にも安定な運転ができる。

(4) 無負荷特性をもつ

使用風量範囲で軸馬力は最大になるので電動機容量をそれ以上にとっておくと過負荷をしない上電動機を最大効率の点で運転できる。

2.2 構造上の特記事項

(1) 扇車

この通風機の特長は扇車に含まれている。扇車には 20 ボイラ用大形通風機・宮内

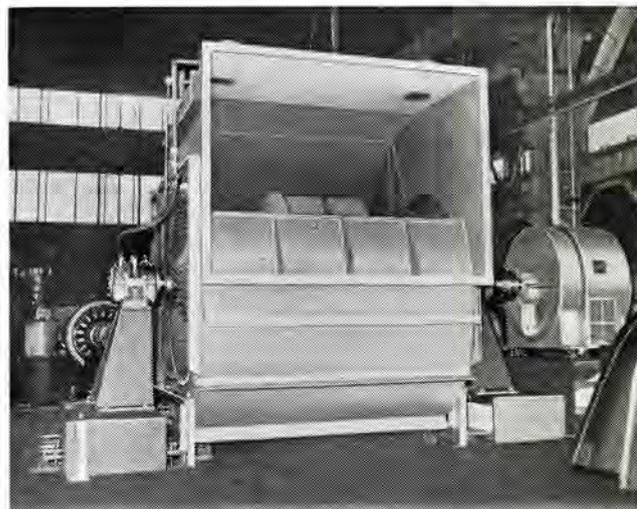


図 2.3 東京電力横須賀発電所向け押込通風機 FA-4089 両吸込 ターボファン 820 kW

Fig. 2.3 Turbo fan.



図 2.4 翼形通風機扇車

Fig. 2.4 Blade type draft fan wheel.

枚の後方傾斜羽根がついており主板および側板に溶接してある。扇車材料は低合金高抗張力鋼板を使い ボスには鋳鋼を用いる。羽根は曲形によって正確な翼形断面に成形し内部に補強を設けてある。側板は特殊曲面に形曲げしてあるので翼形羽根とともになめらかな気流を得ることができる。

(2) 軸受

軸受はリング給油自動調心球面座を有する鋳鉄製円筒軸受で空冷式になっている。

冷却方式は押込通風でケーシング 出口側よりフィルタを通して冷却空気を取り出し軸受空洞部に送り込む。

(3) ペーンコントロール

この装置は通風機吸込口に設けた可動案内羽根作動環およびレバー からなりレバー 仕掛で左右の案内羽根を同時に動かして吸気に旋回運動を与え風量制御を行なうものである。操作が簡単で風量変化の応動が早く効率が良い。すなわち設計風量の約 70% までは流体継手などの可変速継手に比べて効率が良い。ペーンコントロールの漏洩風量は設計風量の約 5% 中間軸における駆動トルクは 72 kgm

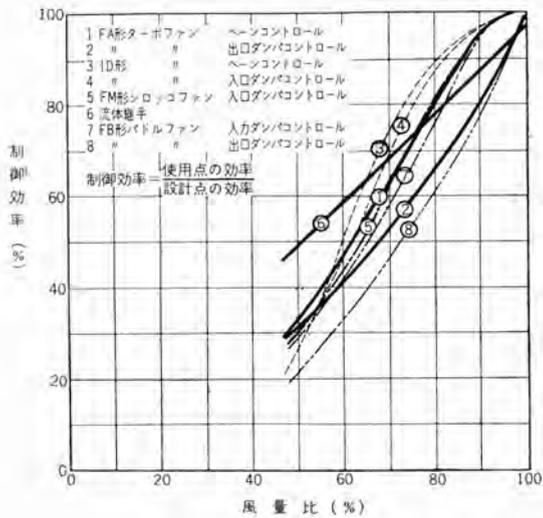


図 2.5 制御効率の比較

Fig. 2.5 Comparison of control efficiencies.

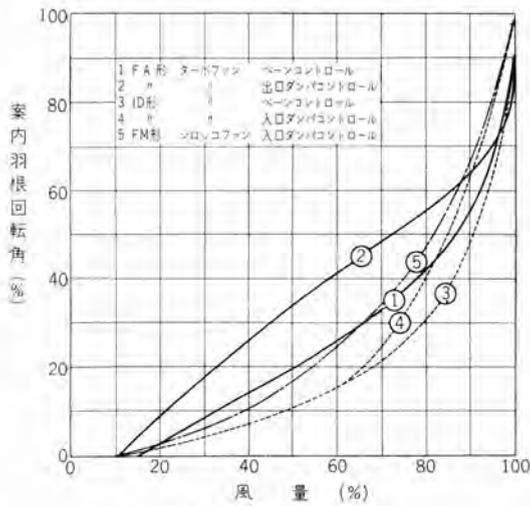


図 2.6 応動曲線の比較

Fig. 2.6 Comparison of response curves.

になった。

(4) 出口 ダンパ

通風機吐出口に設けた多葉対向流れ形 ダンパ で通風機と風道のシャ断に使う。吐出ダンパとベンコンコントロールを並用すると漏洩風量を非常に少なくできる。

3. 誘引通風機

ボイラの燃焼ガスを大気中に排出する通風機を誘引通風機といい灰分を含んだ高温の燃焼ガスを炉室から取出し過熱器・節炭器・空気予熱器・集じん器などをへて煙突に送り込む役目を持っている。取扱い気体は非常に硬い飛灰を含むので石炭中の灰分および集じん器の性能によって ID 形誘引通風機と FM 形誘引通風機の使い分けをする。燃焼ガス中の灰分量が約 $1\text{g}/\text{m}^3$ より大きい場合は耐摩耗性の大きい ID 形ターボファンを使いそれ以下の場合 FM 形シロッコファンを使う。FM 形シロッコファンは耐摩耗性は小さいけれども同容量の通風機中ではいち

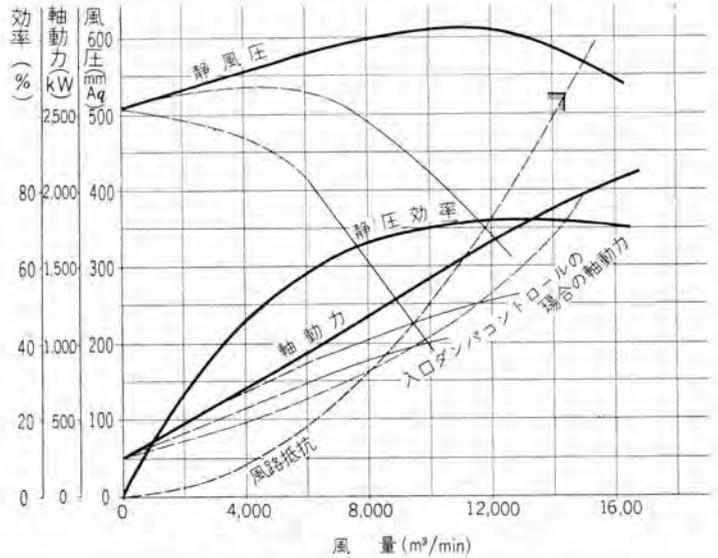


図 3.1 ID-1015 DWDI 特性曲線

風圧 525/595 mmAq ガス温度 130/120°C 風量 14,400/13,000 m³/min
電動機出力 2,000 kW 回転数 590 rpm

Fig. 3.1 ID-1015 DWDI characteristic curves.

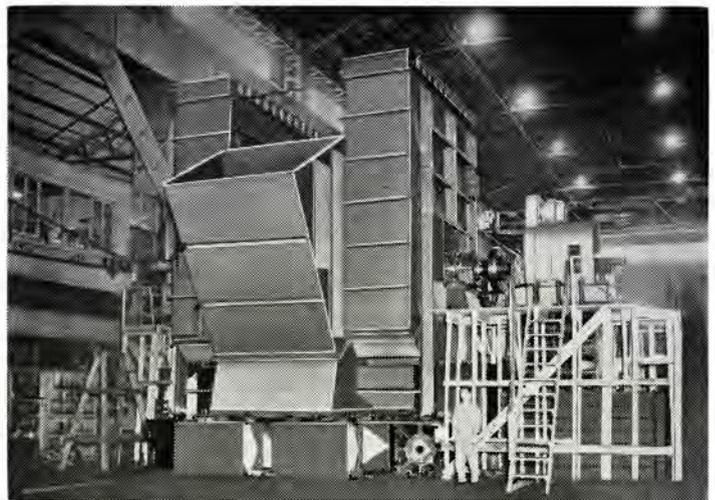
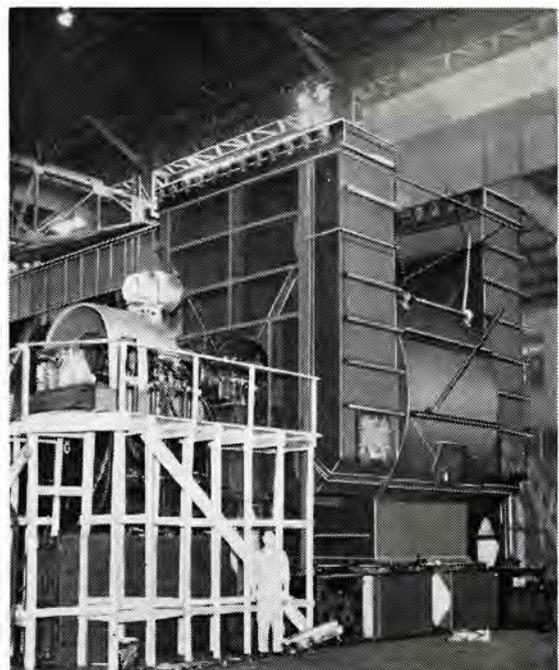


図 3.2 東京電力横須賀発電所向け誘引通風機 ID-1015 両吸込ターボファン 2,000 kW (試験中)

Fig. 3.2 Turbo fan under test.

図 3.3 東京電力横須賀発電所向け誘引通風機 ID-1015 両吸込ターボファン

Fig. 3.3 Turbo fan.



ばん小形軽量でしかも効率も ID 形ターボファンよりすぐれているためである。

横須賀発電所向け誘引通風機としては上記の点を比較検討の上 ID-1015 誘引通風機を選んだ。この通風機はボイラファンとしてわが国最大の容量を持っており扇車外径約 3 m、ケーシングの概略寸法は $7 \times 7 \times 7 \text{ m}^3$ である。

おもなる仕様は次のとおりである。

| | | |
|--------|----------|--------------------------------|
| 駆動方式 | 横軸直結両吸込形 | |
| 風量制御方式 | 入口ダンパ | |
| 設置場所 | 屋外形 | |
| 風量 | 14,400 | 13,000 m^3/min |
| 風圧 吸込側 | -535 | -605 mmAq |
| 吐出側 | -10 | -10 " |
| 回転数 | 590 | rpm |
| 温度 | 130 | 120 $^{\circ}\text{C}$ |
| 電動機 | 2,000 kW | AC 4,000 V 50 c/s 10 P |

この通風機の特性曲線は図 3.1 のようである。

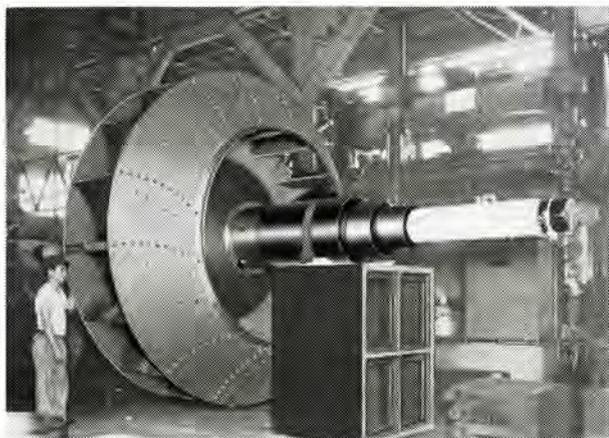


図 3.4 東京電力横須賀発電所向け誘引通風機 ID-1015 両吸込ターボファン扇車
Fig. 3.4 Turbo fan wheel.

図 3.5 東京電力横須賀発電所向け誘引通風機 ID-1015 両吸込ターボファンケーシング
Fig. 3.5 Turbo fan casing.



3.1 特長

(1) 耐摩耗性が大きい

羽根数 ボルトナット類を少なくしステールを取去ったことと主板上に切欠き部を設けて摩耗部分をできるだけ少なくし、扇車羽根側板およびケーシング内側には耐摩耗性ライナを取付けこれを取換え可能な構造としてある。

(2) 回転部分の強度

この扇車は鋼板ビョウ締構造になっていて精選した材料を使い各部の寸法は十分な安全率をとりとくに回転体各部の振動および溶接強度に注意して製作した。

(3) 軸受

屋外形自動調心軸受で軽合金製水切りリングをパネで軸に固定し雨水が軸受に侵入しない構造をとった。

3.2 構造上の特記事項

(1) 扇車

この扇車は耐摩耗形扇車で主板上に切込みがあって両側から吸込まれた灰分は互いに衝突して摩耗を与えること

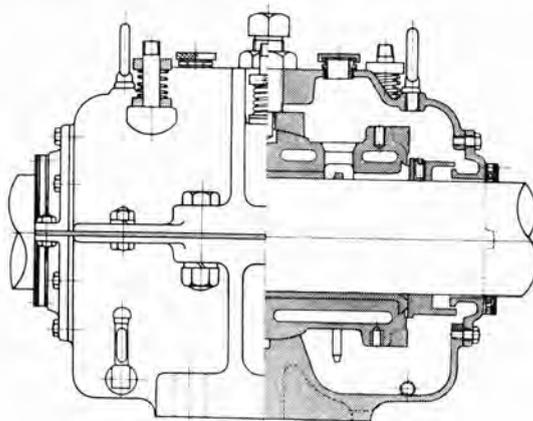
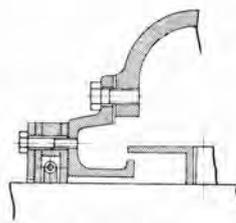


図 3.6 屋外形自動調心軸受

Fig. 3.6 Outdoor type automatic aligning bearing.



水切り詳細図

なく排出される。羽根は前方ワッ曲形で出口において半径方向になっているので後方傾斜形のターボファンに比べて相対速度が小さく摩耗に対して耐えることができる。また羽根ライナには軸方向に凹凸のある鋼板を用い取換え可能な構造となっている。扇車には 32 枚の羽根がついており主板、側板とビョウ締めによって一体とする。

(2) 入口ダンパ

通風機入口に設けた多葉傾斜流れ形でミツ形鋼ワックに軸および軸受を固定し羽根は軸にセン溶接する。これはベーンコントロールに比べて操作部分が外気に出ているだけがんじょうでガス速度が遅いために摩耗を受けることも

図 3.7 東京電力横須賀
発電所向け誘引通風機
ID-1015 両吸込 ターボファン
出口 ダンパ



Fig. 3.7 Damper for
turbo fan outlet.



図 3.8 東京電力横須賀発電所向け誘引通風機
ID-1015 ターボファン 入口 ダンパ

Fig. 3.8 Damper for turbo fan inlet.

少ない。風量制御を行なうときの部分効率が悪いことと操作トルクが大きい欠点があるが漏洩風量はベンコンコントロールとほぼ同じく設計風量の約 6% で故障が少ない利点がある。

(3) 出口 ダンパ

通風機吐出口に設けた多葉対向流れ形 ダンパ で通風機と風道のシ断に使う。吐出口寸法が大きいのでベン中心軸のタワミを小さくし漏洩風量を少なくするために中央に支持板を挿入した。

4. ガス再循環通風機

ガス再循環通風機は火力発電所のうちでいちばん苛酷な条件で運転されるものの一つで回転数 600 rpm くらい ID 形片吸込扇車を片持構造とし 2 個の軸受を駆動側に持ってくるのが望ましい。容量が大きくなって ID 形通風機でまにあわない場合は FB 形誘引通風機を用いる。この通風機は節炭器を出て約 380°C になった熱ガスをふたたび炉内に導き蒸気温度を一定に保つ役目

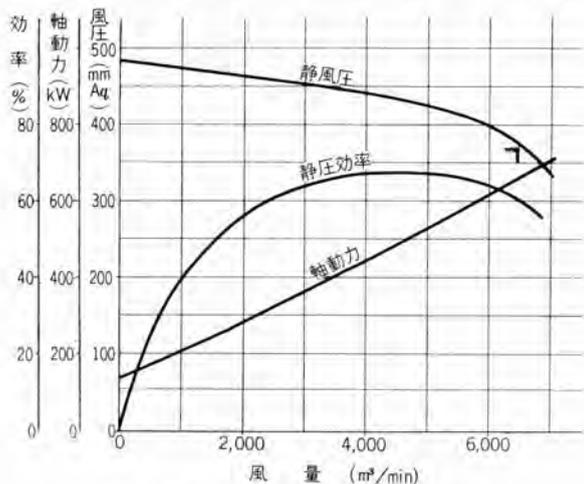


図 4.1 FB-7114 DWDI 特性曲線

風圧 370 mmAq ガス温度 385°C 風量 6,500 m³/min
電動機出力 670 kW 回転数 740 rpm

Fig. 4.1 FB-7114 DWDI characteristic curves.

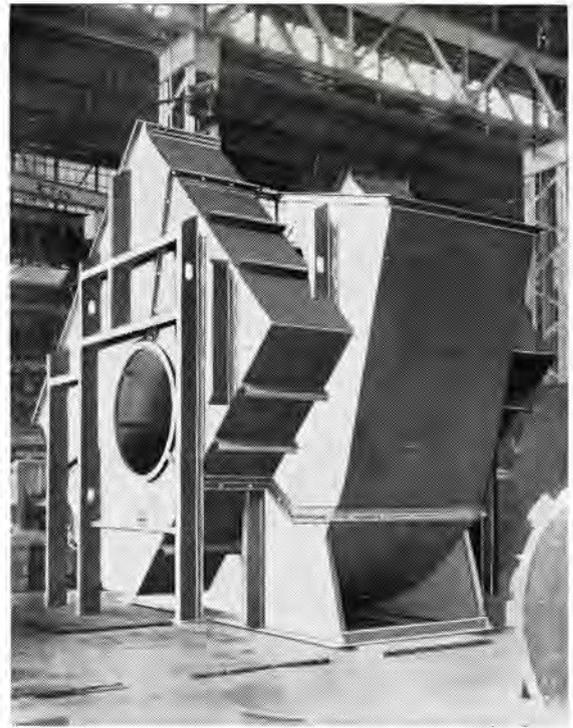


図 4.2 東京電力横須賀発電所向け ガス再循環通風機
FB-7114 両吸込 パドルファンケーシング

Fig. 4.2 Paddle fan casing of gas recirculating fan.

を持っており部分負荷で多く用いられるために起動停止をひんぱんに行なう。

高温ガスを取扱う通風機の起動停止をひんぱんに行なう場合には軸、扇車、ケーシングの変形および熱応力が問題になる。起動停止時の温度コウ配による繰り返し熱応力は非常に大きく扇車各部のジョウ締部分およびはめあい部にゆるみを生じたり溶接部分がはずれたりする場合がある。これらの難点を除去するために当社の ID 形通風機は片持構造とし羽根と主板を特殊な構造で溶接する。すなわち主板は耐摩耗形両吸込扇車と同様に切欠構造としこれに羽根を片持ちさせて溶接する。このようにすれば主板が灰分によって摩耗することがなく熱応力によるジョウのゆるみは問題にならない。またこの通風機のケーシングには灰分による摩耗と起動時の熱応力に耐えるため特別厚いライナを取付ける。この場合軸はほとんど外気にふれているために熱応力を受けることがなく、起動時の異常振動などの発生がない。

横須賀発電所向け通風機ではガス中の灰分量 4 g/m³ で容量が相当大きいために FB-7114 および FB-7120 誘引通風機を選定した。

この通風機のおもな仕様は次のとおりである。

| | スーパーヘータ用 | レヒータ用 |
|------|----------|--------------|
| 駆動方式 | 横軸直結両吸込形 | 横軸直結両吸込形 |
| 設置場所 | 屋内形 | 屋内形 |
| 風量 | 6,500 | 8,500 m³/min |

| | | |
|---------|------|-----------|
| 風 圧 吸込側 | -270 | -310 mmAq |
| 吐出側 | 100 | 120 mmAq |
| 回転数 | 740 | 740 rpm |
| 温 度 | 385 | 374°C |
| 電動機 | 670 | 1,100 kW |

AC 4,000 V 50 c/s 8 P

AC 4,000 V 50 c/s 8 P

パドルファンFB-7,000シリーズはボイラのガス再循環用のほかに焼結炉などにも用いられる新しい形の通風機である。

4.1 パドルファン FB-7000 シリーズの特長

(1) 耐摩耗性

扇車には取換え可能な凹凸のある羽根ライネを用いるのでジヤイが堆積しない耐摩耗性が大きい。

(2) 強 度

扇車には側板がなく開放羽根車となっており羽根断面はテーパになっているので応力が小さく扇車の寿命が長い。

(3) 安定な特性

風圧は使用範囲で安定な垂下特性をもつ。

(4) 風量制御

入口ダンパによって風量を加減できる。

4.2 構造上の特記事項

(1) 扇 車

扇車は8枚の羽根を持っており各羽根は高抗張力鋼板



図 4.3 東京電力横須賀発電所向けガス再循環通風機 FB-7114 両吸込パドルファン扇車 670 kW

Fig. 4.3 Suction paddle fan wheel for gas recirculating fan.

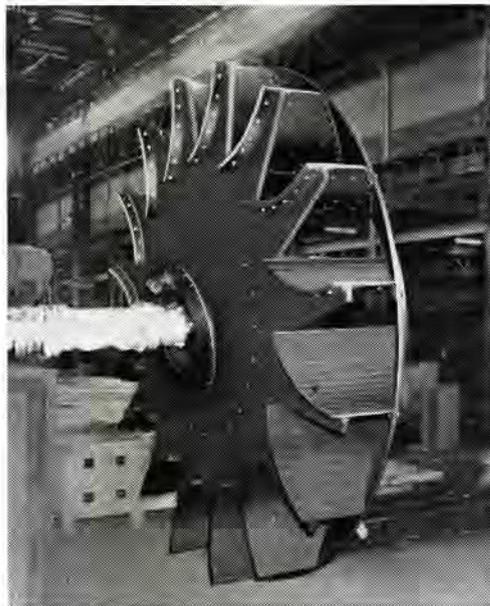


図 4.4 中部電力新名古屋発電所向けガス再循環通風機 ID-1013 片吸込ターボファン扇車 675 kW

Fig. 4.4 Turbo fan wheel for gas recirculating fan.

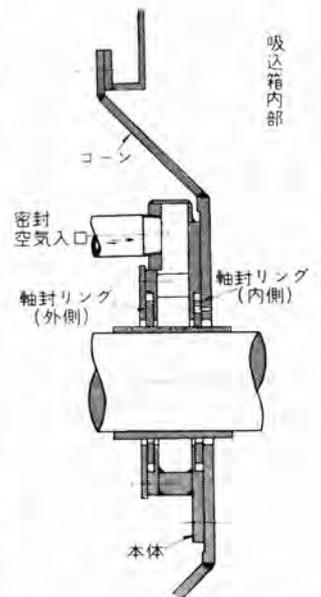


図 4.5 軸封装置 (特許出願中)
Fig. 4.5 Shaft sealing device.

の非常に大きな平板から作り突起付の炭素鋼ボスに溶接する。羽根とボスの溶接部はもっとも大きな応力を受ける部分でとくに入念な溶接を行ない X 線検査およびカラーチェックを行なう。羽根は半径方向に向かっており遠心力は羽根面と平行に働く上、板厚はボス部でいちばん厚く羽根先端でいちばん薄くなるようテーパに削っている。

- a. 慣性モーメント (GD^2) が小さく
- b. 遠心力に対して非常にかんじょうで大きな周速度に耐える。

この扇車には側板がない。その理由は

- a. 側板は弛張応力を受けそのために扇車の周速が制限される。
- b. 側板は大きな慣性モーメント (GD^2) を持っていて起動がむずかしい。

ためである。

この扇車の中央部には扇車外径より小さく羽根に沿って切欠いた主板が設けられ羽根およびボスにそれぞれ溶接してある。これは羽根の補強で羽根の弾性振動を防ぐものである。羽根には凹凸のついた羽根ライネをビョウ締めおよびボルト締めしてあり取換え可能である。

この扇車には側板がなく主板は割合外径が小さい上に羽根断面がテーパしていてバランスウェイトを取付ける場所が制限されているために非常に入念な工作を行なってバランスを行なった。

この通風機は起動時に扇車表面だけが高温になりボスと軸のはめあい温度が温度コウ配のためにゆるむ可能性があ

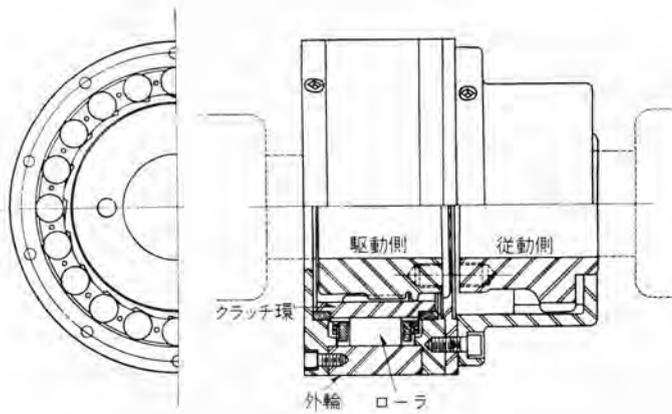


図 4.6 クラッチカップリング断面図

Fig. 4.6 Cross section of clutch coupling.

るので特に細長いボスを作り十分な縮代をとった。ボスの固定方法は普通の誘引通風機と異なり一端をカラーおよび多くのピンで固定し他端はカラーを挿入しておき温度上昇の際だけ動きうる構造とした。

(2) ケーシングおよび吸込箱

厚鋼板溶接製で適当な補強を行ない継目は連続溶接とする。このケーシングは正圧力になることがあるので分割ツパはやや大き目にして連続溶接し、軸貫通部には特別の軸封装置を取付けた。またケーシングライフはセン溶接で取付けてすきまをできるだけ少なくし熱ガスの漏洩を防いだ。

(3) ターニングギヤ

通風機停止中には空気予熱器を出た約 300°C の熱空気をケーシングに導き炉内の熱ガスが逆流するのを防いでいる。軸および扇車を停止させておくとクリープを起したりケーシング内の温度分布が不均一なために異常ヒズミを起したりして通風機起動時に異常振動を起すことがあるので主電動機停止中は低速のギヤードモータで常時回転させておく。主軸とターニングギヤの直結はクラッチカップリングで行なう。

このカップリングは一方だけトルクを伝える性質を持っていてギヤードモータからは駆動トルクが伝わるが高速の主電動機からは駆動トルクが伝わらないので正常運転時ターニングギヤは停止することができる。

主電動機の電氣的故障の場合を想定してこのギヤードモータ容量は通風機起動トルクに耐えるように選定した。通風機および主電動機は高速だけでなく低速でも安全に運転できるため、軸受およびオイルリングの形状寸法には特別の考慮を払った。

5. む す び

発電用ボイラファンの大容量化に伴いこれらに用いられる通風機には押込通風機の場合における FA 形翼形通風機のように高効率のものが最適である。誘引通風機も将来ますます大形になるのでいっそう効率が良く耐摩耗性のあるものが必要である。

FM 形多翼通風機は小形軽量で値段が安く効率が良いけれども耐摩耗性の少ないのが欠点で集じん装置が良くなくては使えない。翼形通風機は誘引通風機としては試作の段階なので現在のところでは ID 形ターボファンがいちばん適当である。

ガス再循環通風機は新しい用途であるために摩耗の程度、熱的ヒズミの程度は不明であるが特殊構造の ID 形ターボファンおよび FB 形パドルファンが適当であろう。

当社ではこれらボイラファンの性能、耐摩耗性および品質を向上させるためよりいっそうの努力を続けているがここに大形ボイラファンの選定方針と大容量機に対する特長を述べ火力技術関係者のご参考に供したいと考える次第である。

最近における当社の社外寄稿一覧

| 寄稿年月日 | 寄稿先 | 題名 | 執筆者 | 所属場所 |
|--------|-----------|---------------------|-------------------|------|
| 34-8-4 | 新生活と電気 | 新しい家庭照明の傾向 | 小堀富次雄 | 本社 |
| "-8-9 | 電気商品 | 住宅照明の近代化 | 佐々木武敏 | " |
| 34-9-4 | 照明普及会 | 工場照明 スライドシナリオ | 小堀富次雄 | " |
| "-9-7 | オーム社 | 巻鉄心形変圧器の製作技術 | 木野崎泰三 | 名古屋 |
| "-9-10 | 電気書院 | 最新形各種避雷器の原理 | 岡田昌治・永井信夫 | 伊丹 |
| "-9-16 | 粉体および粉末冶金 | OP 磁石に関する研究 (第 3 報) | 中村 弘・河合 登 吉田 弘 | 大船 |

2,000kW 全閉外扇形誘導電動機

長崎製作所 藤山辰之*・甘粕忠男*

2,000 kW Totally Enclosed Fan Cooled Induction Motors

Nagasaki Works Tatsuyuki FUJIYAMA・Tadao AMAKASU

There are many cases where induction motors are required to be installed outdoor or used in dusty or injurious gas infested places such as power stations, steel mills, chemical plants and mines. This has brought about the necessity of using totally enclosed fan cooled machines which are protected against dangers arising from surrounding conditions, rain, dust, corrosion and explosion being most of them. To meet increasing demands, Mitsubishi produces motors of the kind and the latest achievement is a 2,000 kW 10 pole 4,000 V 50 cycle totally enclosed fan cooled induction motor supplied to Tokyo Electric Power. This is one of the largest motors built in Japan, and is now operating very successfully. The writers report on this product together with related machines.

1. ま え が き

誘導電動機を、発電所などで屋外に使用したり、製鉄所、セメント工場の一部のように じんアイ の多い場所および、化学工場、鉱山など有害なガスの多量に存在する場所に設置する場合には、屋外、防じん、防食、防爆用として全閉外扇形を用いる場合が非常に多い。さらに全閉外扇形電動機の需要は、ますます増加の傾向にある。また発電所、製鉄所などの大容量化にともない、ここに用いられる電動機も次第に大形になってきた。

出力 265 MW の東京電力横須賀火力に、最近当社が納入した誘引通風機駆動用の電動機は、全閉外扇屋外形の 3 相誘導電動機で、出力 2,000 kW である。これは、国内で製作された外扇形電動機としては、屈指のものである。以下 2,000 kW 誘導電動機を中心として、冷却管付全閉外扇形電動機の構造、特性について紹介することにする。

2. 定格その他

2,000 kW 電動機のおもな要目は下記のとおりである。

| | |
|-------|----------------|
| 出力 | 2,000 kW |
| 形式 | 全閉外扇屋外形三相誘導電動機 |
| 回転子形式 | 深ミジカゴ形 |
| 電圧 | 4,000 V |
| 周波数 | 50 c/s |
| 極数 | 10 |
| 同期回転数 | 600 rpm |
| 定格 | 連続 |
| 絶縁 | B 種 (ダイレジン) |
| ツク番 | 10000 |
| 起動方法 | ジカ入れ |

* 技術部



図 2.1 2,000 kW 冷却管付全閉外扇形誘導電動機
4,000 V 50 c/s 10 P ツク番 10000 誘引通風機駆動用

Fig. 2.1 2,000 kW totally enclosed fan cooled with cooling pipe induction motor.

台数 2台

火力発電所の誘引通風機駆動用の誘導電動機は、従来閉鎖通風屋外形のものが使用されていた。屋外形とは、NEMA Weather Protected Type II に相当するもので、フレームを二重構造にしており、途中に風速のきわめて低くなる部分を設けてあり、侵入しようとした水滴は、この間において、効果的に分離されて滴下し、暴風雨の場合にも、電動機内部に雨滴のはいらぬ構造になっている。通常の屋外使用の電動機は、閉鎖形で十分の信頼性がおけるが、今回東京電力横須賀火力に納入した 2,000 kW 電動機は、設置場所が横須賀の埋立地であり、空気中に含まれる塩分が他の発電所に比しきわめて多く、東京電力のご要望により、とくに全閉外扇屋外形とした。図 2.1 はその外観である。

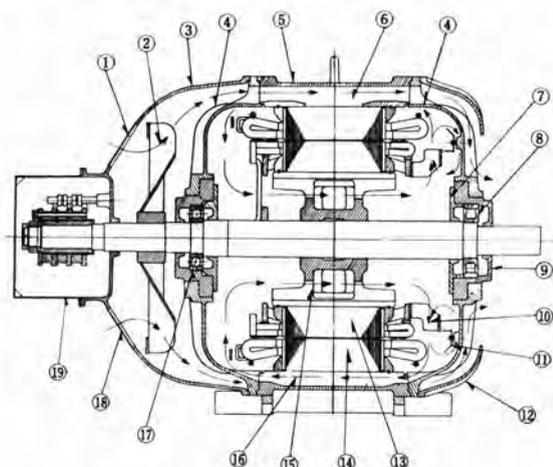
3. 冷却管付全閉外扇形の特長

当社では従来、小形中形の全閉外扇形誘導電動機としては、図 3.1 のように、ステータ外周に放熱ヒレを設け、電動機の軸端にある外部ファンにより、冷却風をフレーム



図 3.1 全閉外扇形誘導電動機
15 kW 200 V
50 c/s 6 P
ワッ番 2031
ポンプ用

Fig. 3.1 15 kW totally enclosed fan cooled induction motor.



① 外部ファンカバー窓 ⑧ 負荷側ロープベアリング ⑬ ステータ鉄心
② 外部ファン ⑨ ハウジング ⑭ スパイダ
③ 外部ファンカバー ⑩ 内部ファン ⑮ 内気通路
④ ブラケット ⑪ 反負荷側ポール・アリアック ⑯ アミカバー
⑤ フレーム ⑫ 内部ファン風受 ⑰ アミカバー
⑥ 外気通路 ⑬ スリップリングカバー
⑦ ハウジングカバー ⑭ ロータ鉄心

図 3.2 巻線形全閉外扇形誘導電動機通風説明図

Fig. 3.2 Ventilation of wound rotor type totally enclosed fan cooled induction motor.



図 3.3 屋外耐圧防爆形全閉外扇形誘導電動機 100 kW
3,300 V 60 c/s 4 P
ワッ番 870 急冷油ポンプ用

Fig. 3.3 100 kW outdoor pressure-resistant explosionproof totally enclosed fan cooled induction motor.



図 3.4 耐圧防爆形冷却管付全閉外扇形誘導電動機 150 kW 3,300 V 60 c/s 12 P エアコンプレッサ用

Fig. 3.4 150 kW pressure-resistant explosionproof fan cooled with cooling pipe induction motor.

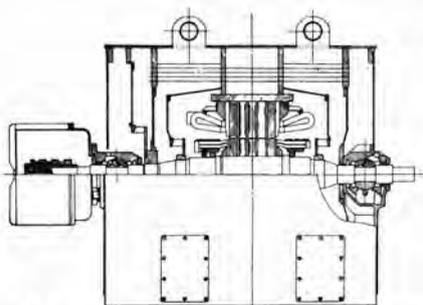


図 3.5 冷却管付全閉外扇形巻線形誘導電動機内部構造説明図

Fig. 3.5 Interior construction of totally enclosed fan cooled with cooling pipe wound rotor type induction motor.



図 3.6 冷却管付全閉外扇形立形誘導電動機 300 kW 3,300 V 60 c/s 12 P
ワッ番 6400 特循環水ポンプ用

Fig. 3.6 300 kW totally enclosed fan cooled with cooling pipe induction motor.

表 3.1 FT 形冷却管付全閉外扇形誘導電動機製作一覧表

| 納入先 | 出力 | 電圧 | 周波数 | 極数 | 回転子 | 台数 | ワッ番号 |
|--------|-------|-------------|-------|-----|-----|----|-------|
| | (kW) | (V) | (c/s) | (P) | | 台 | |
| 三菱油化 | 200 | 3,300 | 60 | 2 | K | 3 | 4802 |
| エジプト政府 | 200 | 380/660 | 50 | 2 | K | 2 | 4802 |
| 三菱石油 | 210 | 3,000 | 50 | 2 | K | 2 | 4802 |
| 昭和石油 | 210 | 3,000 | 60 | 2 | K | 1 | 4802 |
| 大昭和製紙 | 230 | 3,000 | 50 | 2 | K | 1 | 4802 |
| 大昭和製紙 | 230 | 3,000 | 50 | 2 | W | 2 | 4804 |
| 中国電力 | 240 | 3,000 | 60 | 2 | K | 2 | 4802 |
| 千代田化工 | 300 | 3,300 | 50 | 2 | K | 1 | 4800 |
| 住友機械 | 400 | 3,300 | 60 | 2 | K | 1 | 4800 |
| 三菱油化 | 410 | 3,300 | 60 | 2 | K | 1 | 4803 |
| 日本合成ゴム | 500 | 3,000 | 60 | 2 | K | 2 | 4805 |
| 川崎製鉄 | 220 | 3,000 | 50 | 4 | K | 2 | 5000 |
| 三菱油化 | 400 | 3,300 | 60 | 4 | K | 1 | 5603 |
| 東北バルブ | 220 | 3,000 | 50 | 6 | K | 2 | 5002 |
| 中国電力 | 250 | 3,300 | 60 | 6 | K | 4 | 5602 |
| 大昭和製紙 | 200 | 3,000 | 50 | 8 | W | 1 | 5002 |
| 東北バルブ | 220 | 3,000 | 50 | 8 | K | 1 | 5002 |
| 神戸製鋼 | 220 | 3,000/3,300 | 50/60 | 8 | W | 2 | 5603 |
| 八幡製鉄 | 225 | 3,000/3,300 | 50/60 | 8 | K | 1 | 5002 |
| 三菱日本重工 | 200 | 3,300 | 60 | 10 | K | 2 | 5602 |
| 東北バルブ | 220 | 3,000 | 50 | 10 | K | 1 | 5602 |
| 三菱化成 | 220 | 3,300 | 60 | 10 | W | 1 | 5603 |
| 三菱造船 | 525 | 3,300 | 60 | 10 | K | 1 | 8002 |
| 東京電力 | 2,000 | 4,000 | 50 | 10 | K | 2 | 10000 |
| エジプト政府 | 220 | 380/660 | 50 | 12 | W | 1 | 5604 |
| 徳山曹達 | 220 | 3,300 | 60 | 12 | K | 1 | 6402 |
| 東北バルブ | 220 | 3,000 | 50 | 12 | K | 1 | 6402 |
| エジプト政府 | 300 | 380/660 | 50 | 12 | W | 1 | 6403 |
| 大阪瓦斯 | 370 | 3,300 | 60 | 12 | W | 2 | 7203 |
| 関西電力 | 800 | 3,300 | 60 | 12 | K | 2 | 9000 |
| 大阪瓦斯 | 220 | 3,300 | 60 | 16 | K | 2 | 7201 |
| 九州電力 | 260 | 3,300 | 60 | 16 | K | 3 | 7201 |

と、ブラケット 外側表面に吹きつけ、フレームを介して電動機内部を冷却する方式のものを製作している。他の形式としては図 3.2, 3.3 に示す形式のものがある。この形では内部空気は、内部ファン⑩により、フレームに設けられた内部通路⑮を通り、電動機内部を循環する(図 3.2 参照)。一方外気は、軸端に設けられた外部ファン②によって、外気通路⑥に送り込まれ、フレームおよびブラケット④の外表面を冷却する。

上記の二つの形式のものは、放熱面がフレーム表面だけで割合に狭く、その上、内部空気の循環があまり十分でないので放熱効果が悪くなり、一般に次のような欠点を持っている。

- (1) 外形寸法が大きくなる。
- (2) 大形のもので作りにくくなる。
- (3) 保守点検が不便である。

これらの欠点を改善するために製作されたのが冷却管付全閉外扇形で、後述のように多数の冷却管を使用して、冷却面積を増大し、内気の循環を十分に行なわせたものであり、冷却効果をいちじるしく改善するとともに、保守点検の便利な構造として、上記の欠点を解決している。この形の開発によって大形外扇形電動機の製作が可能になった。普通 130～200 kW 程度以上の外扇形電動機は、ほとんどすべて冷却管付となっている。

当社の製作した 200 kW 以上の冷却管付全閉外扇形誘導電動機のおもな製作経歴は表 3.1 のとおりである。

なお、冷却管付全閉外扇形誘導電動機は、屋外用だけでなく、防食用・防爆用としても製作されている。図 3.4 は防爆用とした場合の外観写真である。巻線形として製作する場合には、スリップリング部分は図 3.5 に示すようにオーパングされている。このほか図 3.6 のように、発電所の循環水ポンプ駆動用として、立形冷却管付全閉外扇形電動機を製作した例もある。

4. 構造

4.1 通風方式

冷却管付外扇形の通風方式は、図 4.1 に示すようにフレームの両側板①に、多数の穴をあけ、冷却管②をこれに挿入し、固定している。なお冷却管には、アルミ・銅・黄銅・鉄など電動機の使用条件に最適の材質のものを使用している。軸③に取付けられた外部ファン④によって、外気が点線の矢印で示すように、反負荷側ブラケット⑤の周囲の防じん用アミカバー⑥を通して、冷却管へ送り込まれ、冷却管内部を通りながら熱交換を行ない、他端から排出され、負荷側ブラケット⑦の周囲より外部へ出る。一方内気は、ロータに取付けられた内部ファン⑧および、回転子ダクト⑨のファンアクションにより、実線矢印のように、一部はコイルエンドを冷却し、他の一部はステータ鉄心ダクト

を通り、ステータ鉄心を冷却する。ステータ鉄心背面で、コイルエンドからきた内気と、鉄心側からきた内気と合流し、冷却管群の間を通る。その後、反負荷側と負荷側にわかれ、フレームリング⑩に設けられたエアホールを通して、ふたたび冷却管群を外から内へ通り、内部ファンおよび回転子ダクトへと循環する。このような内気と外気の移動によって、管壁を通じて熱交換が行なわれ、電動機の内部発生熱を外気へ放出する。この場合冷却管群の熱伝達は管の配置形式をちどり形にするか、基盤目形にするかで違い、同じ形式でも、管の外径、前後の距離、左右の間隔によって大いに変ってくる。このほか、内気と外気の熱伝達は、内外気の風速によって異なる。外気の場合は、冷却管内面の熱伝達、内気の場合には気体の流れに直角に置かれた円管群の熱伝達として求められる。管内面の熱伝達の式は層流の場合と乱流の場合とで異なり、実験式によって求めている。それゆえ、冷却管の本数、外部ファン、内部ファンの内外径、羽根幅などは、電動機内部発生損失に対し、内部空気の温度上昇が希望の値になるように、内外気の風速、放熱面積を決め、それによって定めている。

上記のように、冷却管付外扇形は、その放熱面積が、従来の全閉外扇形よりも広くとることができるので、放熱効果はいちじるしく増大し、大容量の電動機も製作することが可能になっている。2,000 kW の場合には、外形寸法をなるべく小さくするために、冷却管の配列はちどり形配列としている。

4.2 軸受

本機は、ブラケット形式の誘導電動機としては、外形が大きく、ブラケットを単体として製作するとブラケットが大きくなり、分解組立に不便であるので、フレームの両端に、鋼板製半円形のブラケットを多数のボルトで取付け、それに鋳鉄製のハウジングを取付ける構造としている。軸受も鋳鉄製で、ホワイトメタルを鑄込み、軸受の分解・点検・取換えなどが容易にできる構造としている。潤滑方式は油輪式給油方式である。

本機は屋外に設置される関係上、ハウジング内に、雨滴が侵入するのを防止するために、ハウジング軸貫通部には二つ割りになったラビリンスを取付けるとともに、軸に段落ちを設け、ラビリンス内部に侵入した水滴は、段落ちにより振り切られ、ハウジング内部にははまらない構造となっている。また反負荷側の軸受は、軸電流を防止するために、軸受外周にマイカシート、その他の絶縁物を焼付けて、ハウジングと軸とを絶縁している。さらに、前記のラビリンスと軸との接触によっても、軸電流が流れる可能性があるため、ハウジング軸貫通部および、反負荷側の内気と外気の仕切り板の貫通部に設けられたラビリンスも、絶

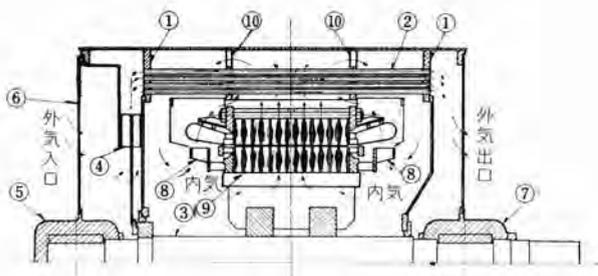


図 4.1 冷却管付外扇形誘導電動機通風説明図
Fig. 4.1 Ventilation of fan cooled with cooling pipe induction motor.

縁板と絶縁ボルトを用いて取付けている。

4.3 組立

本機は外形寸法が大きいために、各部の構造は分解組立が容易にできるようにすることに重点を置いて製作した。前記のように、軸受部はブラケットとハウジングとにわかれ、ハウジング および軸受は上下に二つ割りできる構造となっている。外部ファンは外径が大きく、一体として製作すると取扱いに不便を生じるので、これも鉄板溶接製の二つ割り構造とし、電動機内部を点検する必要が生じたときには、ブラケットとハウジングは、フレームに取付けたままで外部ファンを取はずることができる。その内部にある内気外気の仕切り板も、二つ割りの構造となっており、容易にステータコイル、その他電動機内部を点検することが可能である。

4.4 その他

本機は屋外に設置されるので、内気外気の温度差により、電動機内部に露を生じるのを防止するため、電動機内にスペースヒータを設け、電動機停止中にも、内気を外気よりある一定温度以上に保っている。さらにステータコイルには耐湿性のすぐれたダイアレジン絶縁を施している。

5. 特性

2,000 kW 誘導電動機の負荷は誘引通風機であり、負荷の GD^2 がきわめて大きい。電動機が速度が n_1 から n_2 になるまでに要する時間 t は

$$t = \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{2\pi}{60} \int_{n_1}^{n_2} \frac{dn}{T_A} = \frac{GD^2}{375} \int_{n_1}^{n_2} \frac{dn}{dt} \text{ 秒}$$

ただし GD^2 : (電動機+負荷)のはずみ車効果 $\text{kg}\cdot\text{m}^2$

n : 回転数 rpm

T_A : 加速トルク $= T_M - T_L$ $\text{kg}\cdot\text{m}$

T_M : 電動機発生トルク $\text{kg}\cdot\text{m}$

T_L : 負荷所要トルク $\text{kg}\cdot\text{m}$

である。これでわかるように、電動機を一定速度まで加速するのに要する時間は、 GD^2 に比例している。本機のように、大きな GD^2 の負荷を起動するときには次の点の問題となってくる。

(1) 加速中は回転数が遅く、電動機の冷却が不十分である上、起動電流に近い過大な電流が流れ、その持続時間が GD^2 に比例して長くなるので、ステータコイルの温度が許容値以上に上がり、絶縁材の劣化や鉄心の劣化を招く。

(2) (1)と同様の理由で、ローターバー、エンドリングの温度が上がり過ぎたり、エンドリングの熱膨張によって、ローターバーの機械的破損を生じたりする。

起動停止の回数の多い電動機では、この問題はとくに

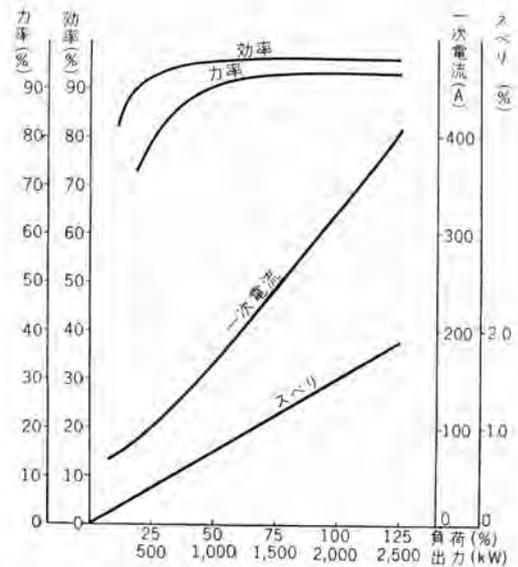


図 5.1 2,000 kW 全閉外扇形誘導電動機特性曲線
Fig. 5.1 Characteristic curves of 2,000 kW totally enclosed fan cooled induction motor.

重要になってくる。この電動機はこれらの点を十分考慮に入れ、誘引通風機駆動用に適した設計を施している。

この電動機の特性曲線は図 5.1 であり、工場試験の際、特殊甲円線図によって求めた特性のおもなものをあげる

| | |
|-------|--------|
| 効率 | 96.0 % |
| 力率 | 93.1 % |
| 起動トルク | 90 % |
| 最大トルク | 250 % |
| 起動電流 | 520 % |

であり、等価温度試験によって得た温度上昇値は

| | |
|---------|------------|
| ステータコイル | 54°C (抵抗法) |
| ステータ鉄心 | 55°C |
| 軸受 負荷側 | 30°C |
| 軸受 反負荷側 | 21°C |

であった。

このほか屋外使用の電動機であるので、3 m 離れて、水頭 10 m の水圧で、電動機に注水して、防水試験を実施し、水滴の侵入のないことを確かめている。

6. むすび

全閉外扇形 2,000 kW 誘導電動機の製作を終り、工場試験も順調に済み、好成績をあげることができた。これによってさらに大容量の全閉外扇形誘導電動機を製作する自信と見通しを得た。これらの経験を小形の電動機にも生かし、いっそうすぐれた全閉外扇形の電動機を製作するよう努力したい。

SP-R 形 新 形 単 相 モ ー ト ル

名古屋製作所 関野 博*・小野勝啓**・梶谷定之**

Type SP-R New Single Phase Motors

Nagoya Works Hiroshi SEKINO・Katsuhira ONO・Sadayuki KAJITANI

Type SP-R single phase motors added to the production in the last fall are of a new type built considerably small in conformity to the new NEMA dimensions frame 48. In addition to the small size they have many new design features such as employment of steel plate frames and a new ventilation system, which insures excellent performance together with rationalized design and construction. The writers have taken up the problem of turning the machine to small sized with description on the point of improvement in manufacturing. Thus novel features derived from new structure and elevated characteristics are expounded in detail in this article.

1. ま え が き

モートルを小形、軽量化し、運搬、すえ付をも含めてその経済性を高めようとすることは、とくにここ数年の国際的すう勢であるが、モートルを小形、軽量化して、なおかつすぐれた性能を維持させることは、モートル製造技術者に対しつねに課せられた問題である。

さきに三相モートルでは、米国電機製造協会による新 NEMA 寸法の制定以来、わが国でもこの国際的標準寸法によるモートルの小形化が真剣に考えられ、まず当社が率先してこの寸法に準拠したスーパーライン A モートルを開発してその口火をつけた。そしてやがてこの新 NEMA 寸法に大体準拠した新 JEM 寸法が日本電機工業会によって制定されるに及んで、各社あいつぐ三相モートルの小形化が行なわれ、今日に至っている。

単相モートルについては、国内では数年前から各社それぞれ小形化を行なっており、かつての JEM 寸法も今ではまったく時代遅れのものとなり、新しい標準寸法の制定が切望されている。

一方米国では、三相と同様に 1955 年に新 NEMA 寸法 48 フレームを制定し、さらに思い切った小形化を行なっているので、当社では単相モートルの国際水準化と輸出振興のためにも、また上記三相モートルにおける新 JEM 寸法制定の経過から見ても、当然これが今後のわが国単相モートルの標準寸法のよりどころになるべきものと考え、早くからこの寸法に準拠した単相モートルの試作研究を重ねてきたが、設計、工作上の各種の困難も克服し昨秋より生産開始の運びとなった。

このモートルは、上記のようないちじるしい小形化のほか、鋼板製フレームの採用、通風冷却方式の改良など、構造にも新しい内容が多く、性能も設計、工作の改良により一段とすぐれたものになっている。



図 1.1 SP-R 形分相起動単相誘導電動機の外観
右より 200 W 4 P, 150 W 4 P, 100 W 4 P

Fig. 1.1 Appearance of split phase start single phase induction motors.

表 1.1 仕様一覧表

| 種類 | 形式 | 出力 (W) | 極数 | 型式承認番号 | 定格 | ワット 番号 | 電 流 | | 全負荷回転数 | | シールド ボールベアリング 番号 | 製品重 量 (P, B なし) |
|----------|----------|-----------|----------|--------|------|-----------|----------------|----------------|--------|-------|------------------------|--------------------------|
| | | | | | | | 100V 50 c/s | 100V 60 c/s | 50c/s | 60c/s | | |
| 分相 起動 | SP-R 100 | 4 | 第9-1911号 | 連続 | 707 | 3.4 | 2.7 | 1440 | 1735 | 6202 | 6.3 | |
| | SP-R 150 | 4 | 第9-1981号 | 連続 | A707 | 4.2 | 3.6 | 1430 | 1715 | 6202 | 7.2 | |
| | SP-R 200 | 4 | 第9-1912号 | 連続 | A707 | 5.1 | 4.4 | 1425 | 1710 | 6202 | 8.1 | |

新形単相モートル系列としては、すでに量産中の分相起動形単相誘導電動機 SP-R 形 200 W, 150 W, 100 W 各 4 P に引続いてそれ以下の出力のもの、および コンデンサ起動形単相誘導電動機 SC-R 形のシリーズを整備しつつあるが、ここでは SP-R 形を中心にその概要を紹介する。図 1.1, 表 1.1 にその外観と仕様を示す。

2. 小形、軽量化

このモートルの外形寸法は、新 NEMA 寸法 48 フレームに準拠し、インチをミリメートルに換算の上その端数を丸めであるが、その一覧表を表 2.1 に示す。この寸法では軸中心高さ (C 寸法) が従来のものに比べていちじるしく縮小されているほか、取付足の寸法 (E, F 寸法) が小さく床面積が非常に節約されていることが目だつ。また 100 W, 150 W, 200 W と同一ワット番号 707 フレームで製作され、ただ出力が大きくなるに従って反負荷側に全長が延びるだけで、取付寸法が変わらないのも大きな特長の一つである。

図 2.1 は 200 W 4 P について従来の SP-A 形と新形 SP-R 形を対比させたものである。図 2.2, 2.3 は新形

* 技術部電動機課長 ** 技術部

モートルの外形および重量の比較を示したものである。

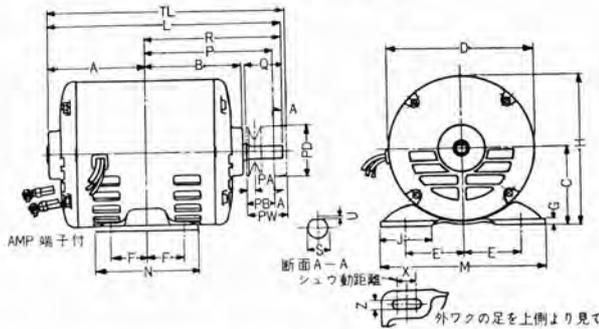
小形化とともに後に述べるように鋼板製フレームの採用により重量もいちじるしく軽減され、従来のものの約70~75%になったのですえ付、運搬がきわめて便利になっている。

3. 保護方式と外観

3.1 保護方式

保護方式は防滴保護形とし、ブラケット前面の吸気用通

表 2.1 外形寸法図



| ワット | 極 | ワット番号 | 電 動 機 | | | | | | | | | | | | | | | | 軸 端 | | ブ ー リ | | | | | |
|-----|---|-------|-------|----|----|-------|----|----|---|-------|----|-----|-----|----|----|---|----|-----|-----|---|-------|---|----|----|----|-----|
| | | | A | B | C | D | E | F | G | H | J | L | M | N | X | Z | Q | R | S | U | P | P | P | P | T | |
| 100 | 4 | 707 | 82 | 92 | 75 | 138.6 | 55 | 35 | 6 | 144.3 | 48 | 212 | 156 | 96 | 18 | 9 | 35 | 130 | 14 | 1 | 121 | 8 | 26 | 50 | 38 | 215 |
| 150 | 4 | A707 | 92 | 92 | 75 | 138.6 | 55 | 35 | 6 | 144.3 | 48 | 222 | 156 | 96 | 18 | 9 | 35 | 130 | 14 | 1 | 121 | 8 | 26 | 50 | 38 | 225 |
| 200 | 4 | B707 | 102 | 92 | 75 | 138.6 | 55 | 35 | 6 | 144.3 | 48 | 232 | 156 | 96 | 18 | 9 | 35 | 130 | 14 | 1 | 121 | 8 | 26 | 50 | 38 | 235 |

備考 ※ 軸中心高の上下寸法差は 0、-0.500 であります。

◎ 軸径の上下寸法差は日本工業規格 (JIS) B 0401 6 級ハメアイ “h6” によります。



図 2.1 SP-R 形と SP-A 形の外形比較 各 200 W 4 P

Fig. 2.1 Comparison between the types SP-R and SP-A each being 200 W 4P.

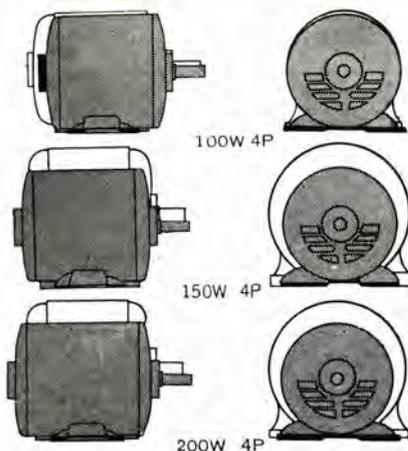


図 2.2 SP-R 形 SP-A 形モートル外形寸法比較表

Fig. 2.2 Comparison between SP-R and SP-A out line dimensions.

風窓はルーパ形状で防滴の役目を果し、フレームの排気用窓は下側部に設けて、いずれにおいても鉛直 15 度以内の角度から落下する水滴がモートルの内部に侵入しないように考慮されている (図 3.1 参照)。

また、保護形の条件に合致させるため、通風窓はすべて細目 12 cm 以下の幅の開口としてあり、指などが誤ってモートルの内部の導電部や回転部に触れる危険がなく、安全な構造となっている (図 3.2 参照)。

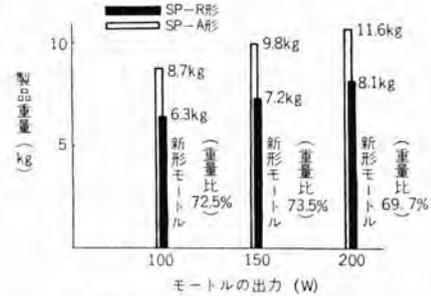


図 2.3 モートル製品重量比較表

Fig. 2.3 Comparison between SP-R and SP-A motor weights.



図 3.1 防滴試験

Fig. 3.1 Drip-proof test.

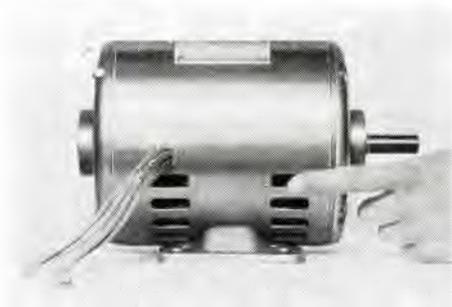
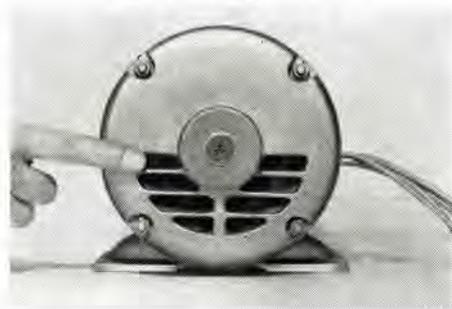


図 3.2 安全な保護形構造を示す

Fig. 3.2 Safe protected type construction indicated herein.

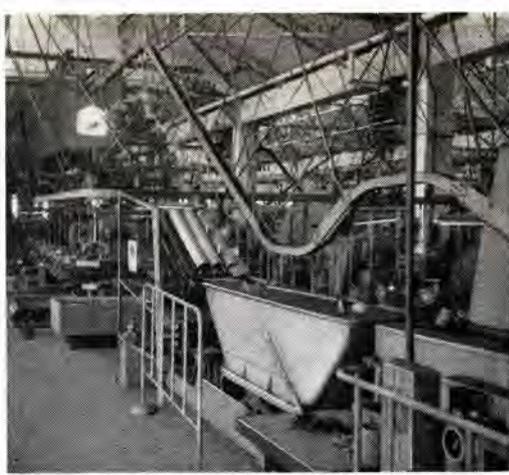


図 3.3 塗装の下地処理

Fig. 3.3 Preparation for undercoating.

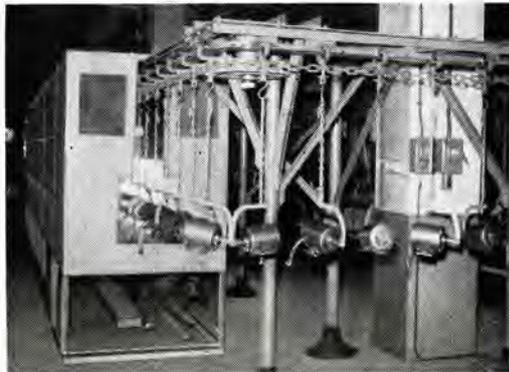


図 3.4 仕上塗装

Fig. 3.4 Finish coating.

3.2 外観

このモートルの外観は、その機能が十二分に生かされた上斬新な感覚をもつようにデザインされ、塗装は図 3.3、3.4 のように防錆効果が完全な下地処理を施した上美しいメタリック塗装で仕上げられているので、いかなる場合にも相手側機械とよくマッチし、顧客の十分な満足が得られるものと思っている。

4. 設計および工作の合理化

4.1 合理化のねらい

小形、軽量化しながらさらに性能を向上させることがこの新形モートル開発の要点であった。そのためにはすぐれた材料の使用と工作法の改良を行なうことが必要であり、また徹底的な設計の合理化を図ることが必要であった。すなわちこの新形モートルでは汎用単相モートルの実用的見地から必要にして十分な性能の目標を明確に定め、むだがなくしかもむりのないすぐれた性能のモートルとすることができた。

この新形モートルの今一つの特長は 100 W、150 W、200 W がいずれも同じ鉄心抜形により設計、製作されているため、出力に応じてフレームの長さが変わるだけで、さきに述べたように取付寸法が同じというほか、ブラケット、取付足、起動スイッチなど、多くの部品はすべて共用され、部品の簡素化とともに生産性の向上に資するところが多い。

これらの詳細については以下項を追って説明を加えて

SP-R 形新形単相モートル・関野・小野・梶谷

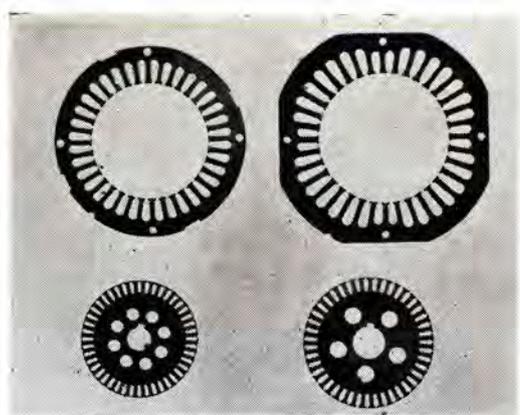


図 4.1 新旧鉄心の比較

左側 新形モートル SP-R 形用

右側 SP-A 形用

Fig. 4.1 Comparison between new and old cores.

いくことにする。

4.2 鉄心

図 4.1 は 200 W 4 P における新旧鉄心抜板の比較を示すもので、新形鉄心抜板は従来のものに比していちじるしく縮小されていることが目だつ。この新形鉄心抜板は、巻線作業法のいちじるしい進歩と、材料の向上に伴うミジ絶縁皮膜の減少による固定子ミジ面積の縮小および回転子アルミダイカスト技術の進歩に伴う回転子ミジ面積の減少により、鉄心の有効磁路が増加したことから、空げき直径、ミジ形状の適正化により固定子と回転子鉄心の磁路の配分が調整され、より少ない鉄心材料で従来のものに匹敵する効果を有するようになったためである。また次項に述べるように巻線法の工夫により、コイルエンドと通しボルトの関係位置を適切にしているのも、しばしば鋼板フレーム使用のモートルで見られるような鉄心背部長の冗長を避けることができた。回転子のミジ形状には通常半閉ミジが多く用いられているがこのモートルでは全閉ミジを採用したのも大きな特長である。この全閉ミジの採用は有効空げき長の減少により無負荷電流を少なくする可能性が生じ、ミジ高調波に起因する磁気音、磁気振動の減少により起動、運転を静粛にさせること、さらに半閉ミジのアルミダイカストロータを加工する際に生ずる漂遊負荷損の増加を防ぎ、効率とトルク特性の低下を防ぐことなど、かすかずの効果をあげている。

4.3 巻線法

単相モートルにおいては、特性上有害な高調波成分を除



図 4.2 コイルエンドと通しボルトの関係位置を示す

Fig. 4.2 Relative positions of the coil end and through bolts.

く理想的な巻線法は正弦波巻線を施すことであるが、これは必ずしも作業上得策ではない。そのため特性をそなわない限りにおいて、より実用的な巻線法に変え、特性的にも、作業性からも十分満足すべき結果を得ている。しかも4カ所の通しボルト位置は図4.2のようにコイルエンドの接近を避けて設けることができるので、巻線の接地故障に対して安全であり、その上前述のように鉄心背部長の冗長をも避けることができた。

4.4 その他

上記のほか、後述のように通風冷却方式の改良により小形化によって生ずる温度上昇過大を防止できたこと、起動スイッチを小形化するとともに巻線作業の工夫によるコイルエンドの縮小などによりできるだけモートル内部の無用なスペースをとり去ったことなどが性能を低下させることなく小形化し得たゆえんである。図4.3はセクションモートルによりその内部構造を示し、表4.1は新旧モートルの主要部分の材料重量比を示している。



図 4.3 SP-R 形 200 W 4P のセクションモートル
Fig 4.3. Cutaway model of type SP-R 200W motor.

表 4.1 新旧モートル主要部分材料重量比

| 出力 (W) | 100 | 150 | 200 |
|-------------|------|------|------|
| 鉄心 (kg) | 0.75 | 0.96 | 0.93 |
| 電線 (kg) | 1.34 | 0.76 | 0.61 |
| ヒジ軸受ワタ (kg) | 0.74 | 0.62 | 0.64 |

数値は SP-R (新) : SP-A (旧) の重量比を示す

5. 構造

5.1 鋼板フレームの採用

このモートルの構造上の大きな特長は鋼板製のフレームの採用である。鋼板が鋳物よりも軽くて強靱であり、機械構造用に適していることは周知であるが、ただちにモートルに適用するにはコストや製法で制約を受けるところが多かった。このモートルでは当社独自の方法を用いてこれらが解決され、軽量かつ堅牢化に成功したものである。

フレームは図5.1のような専用溶接機によって、すでに巻線を施した鉄心を抱きながら平らな鋼板を曲げて溶接し、形成されているため、従来のようにフレーム内面の加工と固定子鉄心の押込作業をまったく省くことができ、

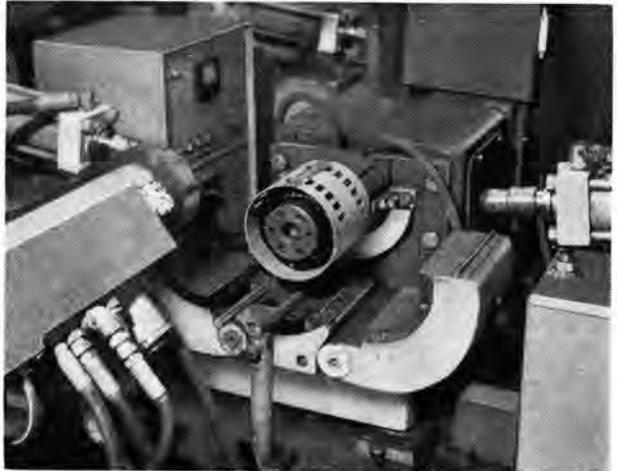
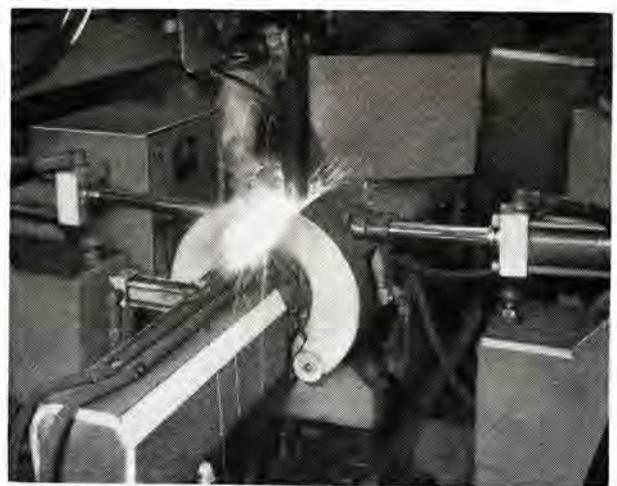


図 5.1 鋼板フレームの溶接

Fig. 5.1 Welding of steel plate frame.

生産能率を高めることができた。

しかもこの専用溶接機は適当な治具によって鉄心をフレームに対する正しい位置にセットするとともに、その内径にヒズミを与えないように工夫されており、さらにフレームのハメアイ面は取付足を溶接後、固定子鉄心の内径を基準にして仕上げ加工されるので、組立後の空げきの不均一がほとんどなくなった。

また固定子鉄心は溶接によりフレームに固定されているので、輸送時などの衝撃によっても移動するようなことはまったくない。

また取付足は治具によってつねに正しい位置に溶接された上裏面は平たんに仕上げられているので、足のガタがなく、軸中心高さも正しく保証されている。

以上のようにこのモートルでは、鋼板フレーム、取付足がきわめて精度よく製作されているので、軽量、堅牢化とともに運搬にすえ付けにいつでも便利なモートルとすることができた。

またこの鋼板製フレームモートルでは、取付足を除いた構造にすることはきわめて簡単であり、そのため容易に需要家のご希望に応じて足なしフラジ形などに変更できるのも大きな特長である。

5.2 通風冷却方式

通風冷却は従来のもートルでは負荷側から吸気して反負荷側から排出する軸流式であったが、この新形モートル

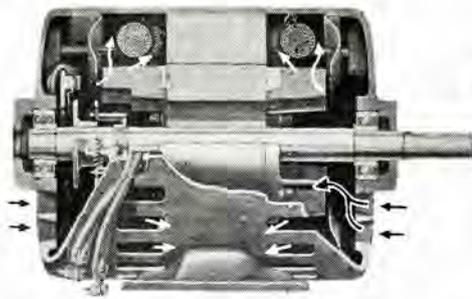


図 5.2 通風冷却方式
Fig. 5.2 Ventilation system.

では図 5.2 に示すように輻流式で、両側のブラケットの通風窓より冷却風を吸入し、ファンガイドに導かれて巻線および鉄心を十分冷却した後、フレーム下部の通風口より排気される方式になっている。この通風方式の改良とともに、通風口の形状と位置、アルミダイキャストファンの形状と枚数、ファンガイドの形状など、ここについても検討を重ね、風量を豊富にし、通風路をスムーズにするとともに、とくに冷却風が熱源の巻線と鉄心を両側から包んで冷却効果をいっそう高め、さらに排出された風がワク表面をも冷却するなど、通風路の構成に特別の工夫をこらしている。

5.3 軸受

従来は片側だけがシールドされたボールベアリングを使用していたが、新たに両側シールドのボールベアリングを採用し、密封効果を完全にしてチリや異物の侵入を防ぐとともに、封入グリスの品質を厳選し、潤滑性はもちろん、耐湿性・耐熱性・耐老化性のすぐれた当社独自のリチウムグリスを使用しているため、保守手入の手間が省け、しかも長い寿命を保つことができる。

また軸受部の構造はベアリング外輪とハウジングのハメアイに適度のすきまを与えてこじれを起さないようにし、負荷側にはプレロードスプリングを装着し、適当な予圧を与えることにより軸方向の遊びを制限し、またベアリングの異常振動や外輪のクリープ現象をも防止している。

5.4 絶縁方式

巻線に使用されている PVF 線は多年にわたりすでにその優秀な特性が実証されているが、その後も改良が重ねられていっそう信頼度の高いものになっている。

ミゾ絶縁に使用しているマイラポリエステルフィルムは機械的強度・電気絶縁性・耐熱・耐湿性など、きわめてすぐれた性能をもっているが、その厚さの選定にあたっては十分な研究と実験の裏付けによって適正を期しているため、その高性能が完全に生かされている。

またコイルをスロットにおさめた後も当社独自のすぐれた絶縁ワニスで処理を行なっているため絶縁性能はいっそう強化されている。

さらに巻線の品質管理には JIS に規定される商用周波数の耐圧試験以外にとくに高感度のサージ試験器によ

SP-R 形新形単相モートル・関野・小野・梶谷

る絶縁試験をプロセスチェックとして生産ラインに入れ、微細な欠陥をも末前に摘出しているため、絶縁には万全が期されている。

5.5 起動用遠心カススイッチ

起動スイッチは分相起動形およびコンデンサ起動形単相モートルにあってはきわめて重要な部品であり、その故障は起動時の障害となるだけでなく、モートルの焼損にまで至るものである。

起動スイッチに要求されることは

- a. 作動が確実なこと
- b. 寿命が長いこと
- c. 構造が簡単で保守点検が容易なこと

などである。当社はこれらの要求に沿った独特の構造をもつ遠心力作動形のもの早くから採用し、多年の実績からその信頼度は十分立証されているのであるが、この新形モートルの起動スイッチは従来の機構に若干の改良を行なって、さらに小形化したもので、50 万回の起動停止による寿命試験によりその信頼性を保証している。

この起動用遠心カススイッチは接点を主とする固定部分と、所定の回転数で接点を開閉させる役目をもった可動部分に分かれているが、可動部分は作動腕の遠心力を利用してシユウ動環を軸方向に移動し、これによって接点を開閉させるもので、構造に若干の改良を行なって作動時のクイックモーションをより良くしたほか、機構は従来のものとほとんど変わらない。

固定部分では可動接触片の形状に工夫があり、図 5.3 のように従来の下半分がとりのぞかれた形になっているため、材料が節減されるとともに、ブラケット前面の通風口の妨げになるようなことがなく、また作動にワイピング作用をもたせているため通電がより確実となっている。さらに可動接触片の形状の改良とともに取付用絶縁板の形

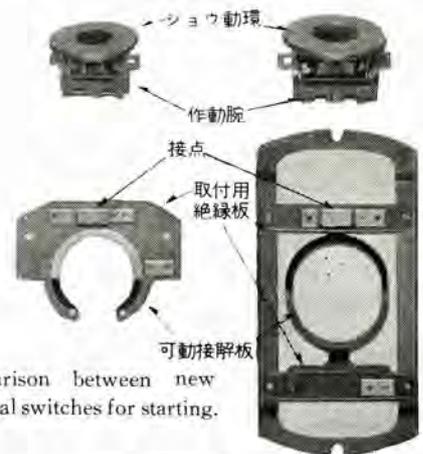


図 5.3 新旧起動用遠心カススイッチの比較

Fig. 5.3 Comparison between new and old centrifugal switches for starting.

左側 新形モートル SP-R 形用 (上側 可動側)
右側 SP-A 形用 (下側 固定側)

状とその支持点にも留意されているので、その変形によって作動に異常をきたすことはない。材料も接点は銀を、可動接触片はリン青銅を、作動腕など金属部分はニッケルメッキを施した黄銅を、取付板は絶縁性もよく変形のおそれがない高級な布入フェノール樹脂板を、シュウ動環は耐湿、耐熱性がよく、さらに十分なシージングを行なって、経年変化のおそれをなくした良質のフェノール樹脂を使用し、パネも防錆処理を完全にするなど、細かい点にまで考慮を払っている。故障がなく長期間の苛酷な使用にも十分耐えるものである。

5.6 組立方式

従来から当社の単相モートルは分解組立が容易であることを特長としているが、この新形モートルについても十分その特長を生かしている。ブラケットには図 5.4 のように取はずしの手がかりとなるように切欠部を設けてあり、ファンガイドは着脱が容易なハメコミ式にしてあり、遠心カスイッチの回転側を軸に取付けたまま取り出せるようになっているので、分解組立が容易であるとともに、再組立の後も遠心カスイッチの精度を正しく保つことができる。



図 5.4 ブラケットの切欠部
Fig. 5.4 Cut way portion of the bracket.

6. 特 性

6.1 トルク特性

トルク特性については、単に起動トルク値、停動トルク値を増強することだけでなく、起動から全速に至るまでの総合的なトルク特性にいっそう合理化をもたせるように努めた。

そのため前述のように空けき直径、ミジ形状など、とくに鉄心抜板の形状に改良を加えたが、回転子に全閉ミジを採用したため半閉ミジに見られるような漂遊負荷損の増加とか、加速トルクのヌルミを防ぐことができた。その結果小形化されているにもかかわらず起動トルク、停動トルク値は JIS 規格に十分余裕をもって合格し、加速トルク

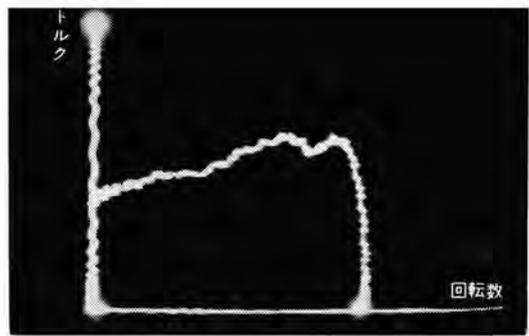


図 6.1 回転数対トルク特性 (200 W 4 P)
Fig. 6.1 Speed vs torque characteristic.

特性もきわめてすぐれたものになっているので、いわゆる“モートルの力”の点でも従来のものに比して決してそんな色がない。

図 6.1 は回転数対トルク特性を示す。横軸に（静止より同期速度に至る）回転数を取り、縦軸はトルクを表わしている。

6.2 温度上昇

小形化と保護方式の強化は、温度上昇を高くする傾向をまぬがれにくいのであるが、このモートルでは前項に述べたような通風冷却方式の改良によって温度上昇を非常に低くすることができた。

なおこのモートルのフレームは鋼板製で、フレームの内面と固定子鉄心外面とが密着しているため、モートル内部の熱が直接フレームに伝わり、フレームとコイルの温度差が少なくなっている。すなわち通常の鋳物フレームのモートルではその温度差が約 15°C に対しこのモートルでは 10°C 内外となっている。元来モートルの温度上昇で問題になるのは内部のコイルであり、それを通常フレームの表面温度をもって目安にされているが、このように比較的フレームとコイルの温度差の大きい鋳物フレームと同じ感覚をもって推定することは誤りであり、このモートルでは、フレームの温度が通常の鋳物フレーム製モートルよりも約 5°C 高くても内部のコイル温度がほとんど同じであるということを理解していただきたい。

また 200 W、150 W、100 W 4 P いずれも同じワット番

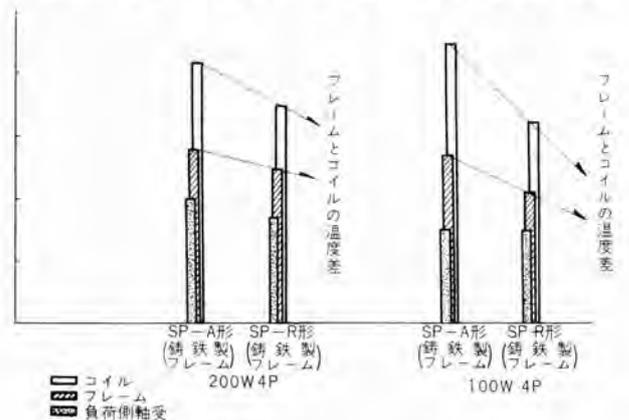


図 6.2 温度上昇の比較図
Fig. 6.2 Comparison between temperature rises of new and old motors.

号におさめられているが、温度特性は出力の大きい 200 W を基準に設計されているため、小出力の 150 W, 100 W では温度上昇はかなりの余裕をもって低く、そのため、100 W については反負荷側の ファンガイドを省略している。

図 6.2 はモートル主要部の温度上昇の比較図である。

6.3 騒音と振動

小形モートルは屋内で使用されることが多く、静かな起動と運転を要求されることが多い。騒音、振動の中でも磁気音と磁気振動はきわめて有害な要素となるが、この問題については当社は実験と理論の両面から十分研究を進め、この結果にもとづいて設計的には最適の固定子対回転子のミジ数組み合わせ、回転子スキュー量を選定し、さらに全閉ミジを採用するなど、その原因の除去につとめ、また工作的にも工作法の改良による空げきの不均一、偏心の抑制、回転子バランスの向上によっていっそう騒音、振動を低減させている。

なお単相モートルでは、元来一定トルクに重畳して電源周波数の倍数で脈動するトルクの脈動分があって、これらは本質的にもさけられないところであり、場合によってはワックとモートル固定側の振動に大きく加算されるのであるが、そのためできるだけ平らでかんじょうな取付台を選んでモートルをセットすることが望ましく、これによっていっそう静かな運転を行なわせることができる。さらに完全に振動の伝わることを防ぐためには、特殊な防振構造にする必要があるが、当社ではまったく同じ取付寸法で防振形をも用意しているからとくに防振精度を高く要求されるときにはご利用いただきたい。

7. 特 長

以上このモートルの内容について説明を加えてきたが、その特長を概括して次のようにいうことができる。

- (1) 国際的標準寸法である新 NEMA 寸法 48 フレームに準拠することによりいちじるしく小形化されている。
- (2) 鋼板製フレームの採用により軽量にして堅牢化されている。
- (3) 設計および工作の合理化により電気特性が向上している。
- (4) 軸受、絶縁材料、起動スイッチが改良され、そのためいっそう故障が少なく、長い寿命を保証できるようになった。
- (5) 保護方式が一段と高度化され、外観がスマートになった。
- (6) 分解組立が容易で、取扱いにも親切な構造となっている。

8. む す び

以上当社の SP-R 形新形単相モートルについて概要を述べたが、かずかずの新しい特長をもち性能も一段とすぐれ、まさに新形の名にふさわしいモートルといえることができる。

このモートルはとくに国際的標準寸法新 NEMA 寸法 48 フレームに準拠し、米国の最新形モートルと同じ寸法でいちじるしく小形化され、特性的にも世界でもっとも高い水準にあるわが国 JIS 規格を十分満足していることは国産単相モートルの国際的な優位性を示すものといえることができるであろう。

当社ではつづいてこの新系列による単相モートルの拡充を図り、広く国内需要家各位のご愛用を願うとともに海外市場への進出をも期待しているのであるが、さらに各位のご指導、ご鞭撻により品質の向上にいっそうの努力をつづけて行きたいと念願している。

最近における当社の社外寄稿一覧

| 寄稿年月日 | 寄 稿 先 | 題 名 | 執 筆 者 | 所属場所 |
|----------|----------|--|-----------|------|
| 34- 9-17 | 交 友 社 | 「DF 50 電機品」のうち 制御装置用電気品 | 山田三男 | 伊 丹 |
| 〃- 9-19 | 精 機 学 会 | 放電の分散および集中について (鋼対四六黄銅の場合) | 斉藤長男 | 研究所 |
| 〃- 9-22 | 電 気 書 院 | 「鉱山用電気設備」のうち 鉱山用機関車 | 小原太郎 | 伊 丹 |
| 〃- 9-25 | 精 機 学 会 | 放電痕の挙動について (鉱対四六黄銅の場合) | 斉藤長男 | 研究所 |
| 〃- 9-29 | 日本物理学会 | Diffusion of Cu into Cds Single Crystal Through Dislocations | 伊吹順章・山下博典 | 〃 |
| 〃-〃-〃 | 日本写真学会雑誌 | 偏光板に関する研究 (第 3 報) (偏光基体の種類と偏光膜の安定性) | 依田 功 | 大 船 |
| 〃-10- 3 | 電 気 書 院 | 精練用電解設備、鉱山電源用半導体整流器 | 小林 凱 | 伊 丹 |
| 〃-10- 6 | 〃 | 静止形周波数変換装置 | 己斐健三郎 | 〃 |
| 〃-〃-〃 | 交 友 社 | DF 50 電機品」のうち高圧補助回路用器具 | 山田三男 | 〃 |

連続亜鉛メッキ用120トン低周波誘導炉

日新製鋼株式会社 大浜 侃*・小池道義**
三菱電機株式会社伊丹製作所 中村幸雄***・荻野 脩****

120-ton Low Frequency Induction Furnace for Continuous Galvanizing

Nisshin Steel Works, Limited Tsuyoshi OHAMA・Michiyoshi KOIKE
Mitsubishi Electric Manufacturing Co., Itami Works Yukio NAKAMURA・Osamu OGINO

A melting furnace for continuous galvanizing recently installed at Osaka plant of Nisshin Steel Mill is not only a record product in Japan but also one of epochal products in the world in reference to the capacity. Already more than a year has elapsed since the inauguration of commercial operation and yet no trouble has been reported up to present such as leakage of melt. This is a rare case even in foreign countries. The furnace consists of a melting pot and a galvanizing pot; the former having a capacity of 10 tons and 300 kW and the latter 120 tons and 1,200 kW. A heating source consists of five groups of 60 cycle induction heaters, each rated at 300 kW.

1. ま え が き

当社は戦前より無鉄心ルツポ形低周波誘導炉を製作、わが国唯一であるのはもちろん、国外でも類例の少ないメーカとして特異な存在を誇り、多数の同誘導炉を製作して産業界に寄与してきた。

誘導炉が他の加熱溶解方式にくらべ

- (1) 均一な成分が得やすい
- (2) 不純物の混入が少ない
- (3) 温度の制御が容易である
- (4) 炉気の制御が容易である
- (5) 操業が容易である
- (6) 金属の酸化、消耗が少ない
- (7) 溶解熱効率が良好である
- (8) 精練が容易である
- (9) 炉の寿命が長い
- (10) 使用上安全である

ことなど、かずかずの利点のあることは広く知られている。

今回日新製鋼大阪工場に国産第1号の連続亜鉛メッキ装置を設置するにあたり、その装置の心臓部になる溶湯量実に120tにおよぶ亜鉛メッキ槽に低周波誘導炉を採用した。これは従来の亜鉛メッキ槽に使用されてきた鉄なべの重油による加熱方式にくらべ、幾多のすぐれた特色を持っている。

この誘導炉は炉の構造上、有鉄心ミツ形低周波炉を採用

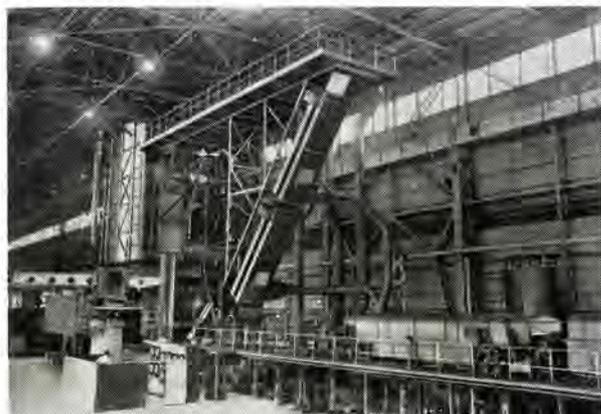


図 1.1 連続亜鉛メッキ装置(亜鉛メッキされた鉄板がメッキ槽より上方に引上げられているのが見える)

Fig. 1.1 Continuous galvanizing line.

したが、連続亜鉛メッキ装置に誘導炉を使用することはもちろんわが国で初めての試みであり、またこの誘導炉はその溶湯容量、電気容量においてわが国に現存する最大容量誘導炉の数倍にあたる大容量炉である。しかも現存する最大容量炉が溶湯容量25tで、輸入されたものであることを思えば、120t低周波誘導炉の製作は、わが国誘導炉製作史上に特筆される画期的なことといえることができる。

この装置は、日新製鋼、三菱造船、三菱電機三者の綿密な共同研究により昭和33年10月完成され、以来好調裏に運転されている。以下この装置に製作した低周波誘導炉の概要を紹介し参考に供する次第である。

2. 連続亜鉛メッキ装置と低周波誘導炉

亜鉛鉄板の生産方式も日進月歩の改革が加えられ、薄板の製造設備がラローバ方式から連続ストリップ方式になったと同様に、世界的に従来の切板メッキ製造方式より連続メッキ製造方式に移行しつつある。

連続メッキ装置には二つの方式があり、それぞれ亜鉛溶解熱源と、ストリップの表面処理が異なり、製品の品質もいくぶん異なった特性を有している。一つはAnnealing in line type と呼ばれるもので、冷間圧延機で圧延されたままの状態で行線内に設けられた酸化炉に入れ表面の油脂などを焼鈍除去してストリップ表面に酸化膜を生成させ、つぎに還元性雰囲気炉に入れてガスピックリングを行ない、適当な温度に冷却してからメッキ浴を通すものである。このばあい浴中の亜鉛はその熔融温度より高温のストリップより熱の供給を受けて連続的に溶解するのである。他の一つはAnnealing out of line type と呼ばれるものできわめて最近の製造法である。これは化学的に酸洗、脱脂処理を行なった後、特殊なフラックスをストリップ表面に焼付け、乾燥予熱してメッキ浴に入れるものである。このばあいストリップの温度は亜鉛溶解温度よりかなり低く、メッキ浴中の亜鉛は誘導加熱装置によって溶解される。

従来より亜鉛メッキに使用される亜鉛槽は、多く鉄なべが使用され、これを重油またはガスで加熱するか、小形のものでは鉄なべの外側にコイルを巻いて、鉄なべを誘導加熱して亜鉛が溶解されていた。しかし鉄なべは、溶解槽の組立、初溶解は簡単であるが、つぎのような欠点がある。

- (1) 鉄なべは亜鉛におかされるため寿命が短い。
- (2) 重油、ガスなどで溶解するばあい、温度の制御が困難で、大形炉になると槽内各部の温度差が大きい。
- (3) 鉄なべの外側から加熱するので、熱効率悪く、加熱能力にも限度があり、製品の生産量もこれによって影響を受ける。

鉄なべにvari、誘導加熱炉を用いれば上記の欠点はすべて解決され、つぎに述べるような利点がある。

- (1) 溶解亜鉛ならびに添加金属は電磁カコハンにより溶解後すみやかに浴全体が均一成分となるので、メッキ製品品質がどの部分でも安定である。
- (2) 誘導炉は周囲炉壁が不溶解性の耐火物であるため寿命が長く、定期的補修、または取換えまでの期間が非常に延長されるので、ラインの停止されることが少ない。また炉壁からのドross生成が皆無であるから経済的である。
- (3) 浴内各部の温度差が少なく、温度制御が容易で

連続亜鉛メッキ用 120 トン 低周波誘導炉・大浜・小池・中村・荻野

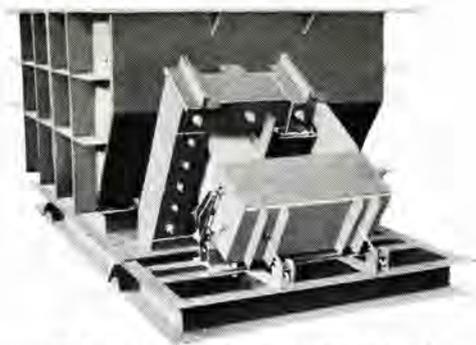


図 2.1 実験用亜鉛溶解炉 (溶湯量 4t)

Fig. 2.1 Induction melting furnace for test plant.

あるので品質が安定である。

- (4) 溶解または負荷の変動に対して敏速に応じられる。
- (5) 加熱容量の大きいものが製作できるので、ライン速度が大きくでき、生産量が増加できる。
- (6) 操業ならびに管理が容易である。
- (7) 熱経済性が高い。

このように低周波誘導加熱炉を用いれば、鉄なべ加熱方式に比べ決定的な幾多の利点があるにもかかわらず現在までほとんど採用されなかったのは、このような大容量炉の製作には技術的に多くの困難があり、とくに亜鉛溶湯は浸透性が強いのでミツ形ブロックの設計、工作は非常に困難なものとされていたからである。

わが国に現在までに設置されていたこの種の亜鉛用大形低周波溶解炉は輸入された溶湯量 25 t、電気容量は 90 kW、6 グルー総計 540 kW のものが 1 基あっただけである。

しかし上述したように連続亜鉛メッキ装置における低周波誘導炉の操業上における優位は絶対的なものであるため、とくにミツ形ブロックの材質、形状、工作法などに綿密な基礎的実験を行ない、さらに模擬セットによる運転実験なども行なって、実用化に確信を得たので、溶湯量 120 t、電気容量 1,200 kW の超大形亜鉛溶解低周波誘導炉の採用を決定し、製作に着手したのである。

3. 低周波誘導炉の原理

ミツ形低周波誘導炉は図 3.1 に示すように鉄心、一次コイル、二次回路を形成する溶湯金属で満たされた耐火物の二次ミツ、および溶湯槽とからなっており、ちょうど変圧器の二次を短絡に近い状態においたのとどうようである。鉄心は水平、垂直、またはある程度傾斜して設置する三つの形があり、したがって二次溶湯ミツは垂直、水平、またはある程度傾斜することになる。今回の炉では炉容量が非常に大きいこと、炉内温度の分布、槽内メッキ機械の配置、ミツ形ブロックの設置の容易性などを考慮して

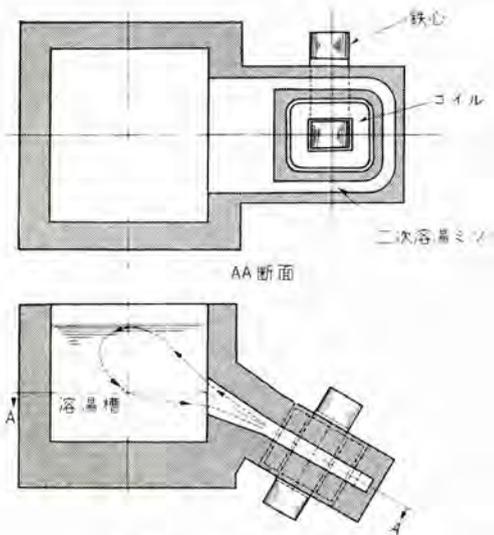


図 3.1 ミゾ形低周波誘導炉

Fig. 3.1 Channel type low frequency induction furnace.

図のように溶湯ミゾを傾斜をもたせて設置した。

さて一次コイルに電圧を加えると二次回路を形成する溶湯に電流が流れ、これによりミゾ中の溶湯そのものが発熱し、一次コイル電流と二次溶湯電流による電磁反発力によって図に示すようにカハン作用が生じる。また発熱による密度の変化とピンチ作用もこのカハン効果を助長することになる。槽内温度はこのカハン作用と熱伝導により各部がきわめて平均して上昇することになる。

なお同方向に電流を通じる導体には相近寄る電磁力が働く。導体が流体であるときはその流体内に平行に流れている電流のため、流体自身は縮小しようとする力が生じる。ところでこの低周波誘導炉のように大電流を通じるものでは、この力が相当大きなものになる。電流密度がある程度以上過大となると、断面縮小とともに、ますます電流密度が増し、ついには電路を開くことになる。電路が開けばもちろん断面が縮小しようとする力もなくなるからまた電路がつながれ上記のことを繰り返す。このような現象をピンチ効果といい、誘導炉ではピンチ効果を起さないよう、二次ミゾ内湯圧を考慮して適当な電流密度以下に電流を押えなければならない。

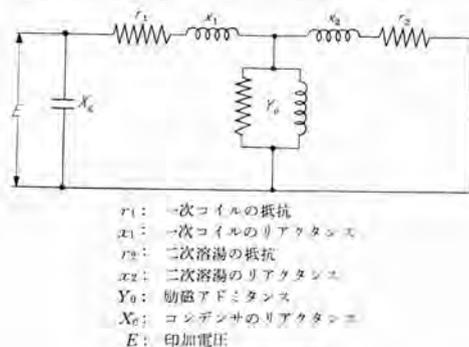
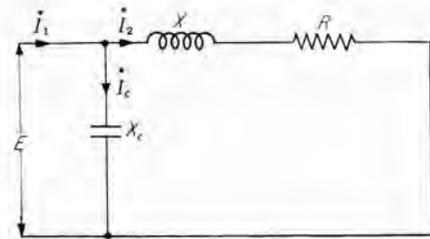


図 3.2 等価回路

Fig. 3.2 Equivalent circuit.



- X : 一次、二次コイルのリアクタンス $=x_1+x_2$
- R : 一次、二次コイルの抵抗 $=r_1+r_2=r_2$ ($r_1 \ll r_2$)
- X_c : コンデンサのリアクタンス
- I_2 : 加熱電流
- I_c : コンデンサ電流
- I_1 : 負荷電流 $=I+I_c$
- E : 印加電圧

図 3.3 等価回路

Fig. 3.3 Equivalent circuit.

この低周波誘導炉の電氣的等価回路は図 3.2 のように表わすことができる。励磁アドミタンスは磁気回路に閉路鉄心を使用するゆえ非常に小さいので無視すると図 3.3 の等価回路となる。

ここにおいて

$$I_2 = \frac{E}{Z} \quad \text{ただし} \quad Z = R + jX$$

$$\text{加熱電力} \quad P = I_2^2 R$$

$$\text{誘導炉の力率} \quad \text{PF} = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

100% 力率に改善するに要する蓄電器容量は

$$P_{e100} = I_2^2 X$$

90% 力率に改善するに要する蓄電器容量は

$$P_{e90} = I_2^2 X - \frac{0.436}{0.9} I_2^2 R$$

となる。

二次回路の実効抵抗は二次ミゾ断面積、および長さによりほとんど決定される。いま電圧 E 、およびリアクタンス X を一定とし、二次回路の抵抗 R を変化して、 R/X に対する加熱電力 P 、および力率 PF を示すと図 3.4 のようになる。誘導炉としては力率の良いほうがもちろん好ましいが、力率特性の低下は多少犠牲にしても、二次ミゾの寿命、冶金学的要求を十分満足させることに重点をおいて、二次ミゾの大きさは決定すべきものである。そして

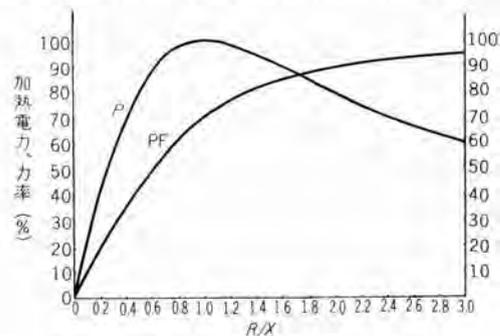


図 3.4 R/X と P , PF の関係 (E, X 一定としたばあい)

Fig. 3.4 Relation between P , PF and R/X .

力率特性の改善には蓄雷器を併置するのが好ましい。

4. 製作した低周波誘導炉の容量

今回製作した低周波誘導炉の主要能力を示すと下記のようなものである。

| | |
|-------------|-------------------------|
| 亜鉛鉄板月産能力 | 6,000 t |
| 板厚 | 0.25~1.0 mm |
| 板幅 | 最大 1,000 mm |
| ライン速度 | 最大 90 m/min |
| 亜鉛付着量 | 最大 300 g/m ² |
| メッキ槽容量 | 120 t |
| 溶解槽容量 | 10 t |
| 溶解槽亜鉛溶解能力 | 7 t/h |
| メッキ槽誘導炉電気容量 | 300 kW×4 組 |
| 溶解槽誘導炉電気容量 | 300 kW×1 組 |
| 自動温度調整装置付 | |

5. 炉 体

5.1 炉 本 体

連続亜鉛メッキ槽の大きさは、中にはいる機械の大きさによってきまってくる。今回製作した炉の全容を図 5.1 に示す。これよりこの炉がいかにか画期的な大容量炉であるかが了解されよう。連続メッキにより亜鉛はつねに消費されるので、インゴットを補給、溶解しなければならない。このためには、メッキ槽に直接インゴットを溶解する方

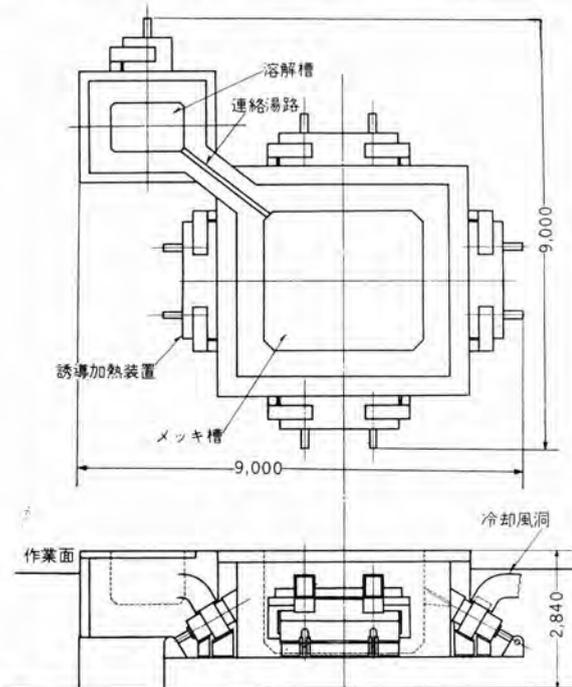


図 5.1 連続メッキ用亜鉛溶解炉外形図

Fig. 5.1 Outline of melting furnace for continuous galvanizing.

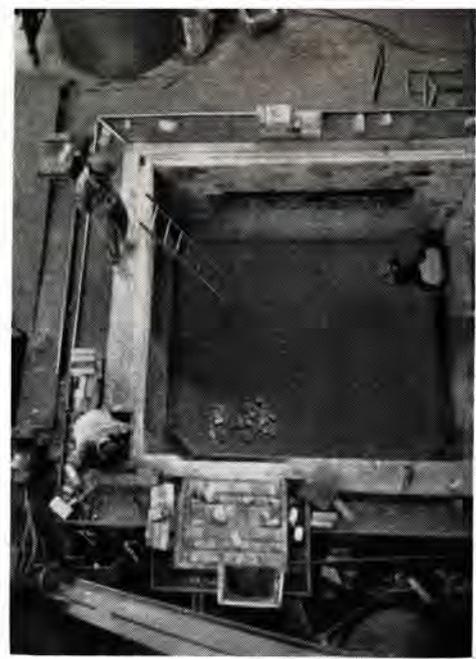


図 5.2 レンガ積中の炉体

Fig. 5.2 Bricking of the furnace body.



図 5.3 メッキ槽内張り

Fig. 5.3 Lining of galvanizing pot.

法と、溶解槽を別に作り、メッキ槽と溶解槽を結ぶ湯路を作って連結し、溶解槽から亜鉛を補給する方法がある。今回採用したのは後者の方法で、溶解槽の大きさはこれに取付ける加熱装置の大きさによって決められる。

メッキ槽には 120 t、溶解槽には 10 t の溶融亜鉛があるので、この溶湯の圧力は耐火物で受けることはできない。炉体の側板はがんじょうな鉄板で囲んで、これで湯の圧力を受けるようにした。外側鉄板の膨張と、内測耐火物の膨張をくらべると、耐火物の膨張のほうが大きいので耐火物には適当な膨張代をとっている。

鉄板の内側には断熱レンガおよび耐火レンガを積み、その内側にスタンプ材をスタンプする方法と、スタンプ材を

使用せずアルミセメントを流し込む方法がある。いずれのばあいも鉄板には適当にアンカを溶接し、内側耐火材の機械的補強をするのがよい。スタンプ材としては最近種々のものが市販されている。アルミセメントを流しこめば、流しこみの型もスタンプするときほどがんじゃないものはいらず、工事も簡単である。これにも種々のものが市販されている。

スタンプ材にしる、アルミセメントにしる製造者により多少性質が異なるので、購入にあたっては良く吟味する必要がある。膨張係数が小さくて 450°C 近辺における強度の大きいものでなければならない。

誘導加熱部の二次ミゾ形ブロックの取付く穴の周囲の部分は、もっとも入念にスタンプしなければならない。ここにクラックがはいると、クラックは二次ミゾ形ブロックの取付面まで成長し、湯漏れの原因となる。また二次ミゾ形ブロックを炉体に取り付けるときに、締付力が炉体側の耐火物にかかるので、アンカの数も増す必要がある。

5.2 加熱電力容量

メッキ槽の加熱電力容量は、亜鉛鉄板の生産量と、炉壁および湯面よりの熱損失により決まる。溶解槽の電気容量は、溶解すべき亜鉛の量と、炉の熱損失によって決まる。

この炉の所要電力容量は非常に大きくなり、また炉体の大きさも非常に大きいので、電力は炉の周囲に分割して供給した。各グループの配置は図 5.1 に示すとおりである。グループあたりの容量をあまり大きくすると、つぎに述べる二次ミゾ形ブロックの製作が困難となり、またその信頼度が減じるので、1 グループあたり 440 V 300 kW 容量とし、メッキ槽には 4 グループを設備、総容量は 1,200 kW とした。またこのように多数グループに分割することにより、なんらかの事情で漏湯などの事故が生じて、その事故グループの運転を中止するだけで、全容量に対する容量減を少なくおさえることができる。

溶解槽の加熱容量には余裕があるが、各グループは同一とするほうが予備品、保守の点から有利であるので、メッキ槽と同じ 440 V、300 kW を 1 台使用、300 kW 容量とした。

5.3 二次ミゾ形ブロック

二次回路を形成し、加熱源となる二次ミゾ形ブロックには図 5.4 のように、U 字形のミゾを持ったブロックを炉体とは別個に製作した。二次ブロックは本体と連続して同時に形成してもよいが、別にしておけば、ブロックだけの取換えができて便利である。

二次ブロックは 1 個の異形レンガとして焼成するか、またはスタンプ材でスタンプする。二次ブロックが大形となると造形焼成技術が相当困難となり、初溶解に注意しないとクラックがはいりやすい。今回のように大きな一つ

の槽の周囲に二次ブロックを多くつけるばあいは、乾燥が進んで湯入れを行なうばあい、一つでもクラックがはいったりすると、そのユニットは使用することができず、それだけ加熱能力を減ずることになる。

この炉では二次ミゾ形ブロックは、鉄板でケースを作り、U 字ミゾ部には特別の考慮をはらってスタンプ材でスタンプしたものを使用した。図 5.5 にこのブロックの写真を示す。

5.4 加熱コイル

加熱コイルは単相 60 c/s 二脚鉄心一脚コイルで占積率の良好な角筒形コイルを採用した。導体絶縁にはガラス繊維およびマイカテープを使用している。鉄心絶縁および層間絶縁にはマイカおよびガラスクロスを使用、コイル内には特殊アスベスト板を用いて十分な通風間げきを設け、冷却効果を良好にするとともに、外周は二次ミゾ形ブロックよりの熱輻射に対する考慮を払っている。以上のような材料構成を用いているので、コイルは 225°C の高温まで連続使用できる。

鉄心は特性の良好な冷間圧延方向性ケイ素鋼帯を使用しているため磁束密度を高くとっても特性は良く、鉄心

断面積が小さくてすむので、コイル外形も小さくでき、漏洩磁束を減少するとともに、二次ミゾ形ブロックの大きさも同一容量に対して小さくできるので、製作が容易となり、クラックに対する信頼度も向上することができた。

鉄心は炉体への取付けの便宜を考慮して、下部ヨークと、レグの継ぎ目でパットジョイント

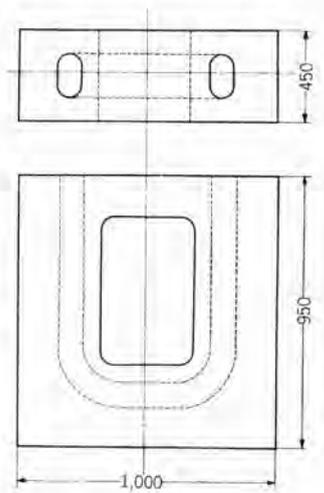


図 5.4 二次ミゾ形ブロックの形
Fig. 5.4. Shape of secondary block.

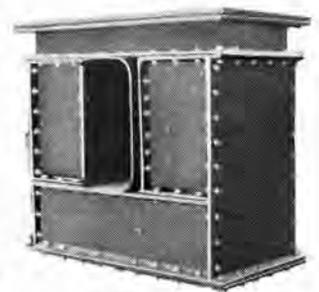


図 5.5 二次ミゾ形ブロック
Fig. 5.5 Secondary block.



図 5.6 加熱コイルおよび鉄心
Fig. 5.6 Heating coil and core.



図 5.7 炉体に取付けた二次ブロック

Fig. 5.7 Secondary blocks mounted on furnace body.

した。すなわち炉体への二次ブロック、コイル、鉄心の取付けは、まず二次ブロックを炉体に取付け、ついで下部ヨークを所定の位置に固定する。コイル、鉄心レグおよび上部ヨークは別に組立て、さきに取付けられた二次ブロックコイル窓内を通して下部ヨーク上に定置、締付ける。

図 5.7 は炉体に取付けられたこれらの状態を示す。上部に風洞を設け、別に設けた送風機によりコイル、鉄心を風冷している。この加熱部は作業面より下のピット内にあるので、冷却風はピット外より吸い込み、コイル冷却後ピット内に吐き出している。この排気と、炉体側面よりの放熱でピット内温度が上昇するので、ピット内の高温空気は別に設けた送風機でピット外に排出している。

5.5 乾燥・溶解

この炉はすでに述べたように、二次U字ミジが溶湯で満たされ、二次電気回路ができていなければ通電加熱することができない。すなわち自力だけで溶解開始はできないわけである。しかも二次ブロックは図 5.1 でわかるように熱出力の都合上、炉壁の中段についており、容湯量 120t にも及ぶので、正常運転にはいるまでには、かなりの日数と細心の注意が必要である。乾燥、運転にはいるまでの方法には、いろいろの方法、順序が考えられるが、以下に一般的な方法を参考までに述べる。

耐火材、加熱部の取付けが終れば十分自然乾燥を行なう。ついで加熱乾燥にうつる。加熱乾燥は薪炭を用い、送風機を併用して行なうのもよいが、とくに誘導加熱部の二次ブロックのミジなどはニクロム線を用いて乾燥すれば、加熱容量の制御が容易で便利である。加熱乾燥にも十分の日数をかけ、徐々に加熱容量を増加してゆくことが大切で、けっして耐火物の温度を急速に上げたり、局部温度上昇をおこすような加熱を行なってはならない。

乾燥をはじめると、炉壁には大小のクラックがどうしても発生する。なにぶん炉壁が大きく、二次ミジの開口もあるので、クラックがはいらないように乾燥するのはひじょうに困難である。しかし炉壁にはクラックがはいっても、クラックに進入した溶湯は外側の鉄板に達するまで

にレンガ層で凝固して止まるのでなんらさしつかえはない。注意しなければならないのは、二次ブロックおよび二次ブロック取付部分のクラックで、ここにクラックがはいると、湯漏れを生じそのブロックだけ運転を止めなければならないこともある。

乾燥が十分進めば溶解作業をはじめ、乾燥の終りに二次ミジ内温度は、溶湯がはいったとき急激な温度変化をおこさないように、正常運転のときとできるだけ近い状態まで加熱して上げておかなければならない。二次U字ミジを溶湯で満たすためにはあらかじめ別に溶湯をつくる必要がある。これには他の溶解槽で溶解してもよく、また直接に槽の中でパーナで溶解してもよい。

炉体が小さいときは直接槽内で溶かし、湯面が二次ミジ開口部まで上がってから二次ミジに溶湯をくみ込んだほうが、亜鉛溶解の熱を二次開口部の加熱にも使用できるし、また二次ミジに溶湯を入れてからミジ内湯面と槽中の湯面が早く連なりつごうがよい。

しかし炉体が大きいときは、二次ミジ内の加熱、清掃、湯入れ作業などに槽内床面を作業面として使うと、ひじょうに作業がやりやすいので、別の溶解槽で溶湯をつくるほうがよい。このときは二次ミジ内に溶湯を入れてから槽内湯面が上がるまで相当の時間を要し、きわめて熱容量の小さい二次ミジだけでの運転時間が長いので、その運転にはとくに注意が必要である。

さて二次ミジ内温度も十分に上がり、溶湯温度も十分に上がったなら、各二次ミジグループずつ順次に湯入れを行なう。湯をくみ入れたとき、湯の温度は二次ミジ内で若干下がっても、なお十分流動性があるようはじめに温度をあげておかなければならない。くみこんだ湯で二次電気回路が形成されたら、低い電圧で電源を入れる。二次ミジの入口にサーモカップルを突込んで、二次ミジだけで運転をつづけるわけである。全部の湯入れが終ったら、槽内には急いでインゴットを追加し、パーナで溶解して槽内湯面を上げる。

二次ミジ内と槽内の湯面が連なったら、二次ミジ内の高温の溶湯は槽内に流れ出るから、電圧を上げて熱出力を増して運転してもよい。しかし電圧を急速に上げてゆくことは、耐火物の保護という点から好ましくない。

湯面が連なってしまうとまず成功である。あとは加熱電力で徐々に湯面を上げればよい。このばあいいちばんおそく溶けるのは底である。湯面が規定まで上がったなら、槽内の二次ミジ付近にサーモカップルを入れ、自動温度制御を行ない、保温電力で運転する。湯入れ直後および運転初期には、炉体まわりの点検を十分に行ない、漏湯の有無、また熱による各部のゆるみ、ヒズミなどに注意しな

なければならない。

以上のようにして、すべての加熱グループが完全に運転に成功するためには、乾燥方法、溶解方法に十分注意することはもちろんであるが、操業のしやすい耐火材を選択使用することがきわめて重要なことである。

乾燥にはいってから 120t の亜鉛を溶解し終り、メッキ機械を入れて作業開始までに要する期間は約20日である。

この炉は 120t の溶湯を擁する大形槽であるが、二次ミジ内の電磁的なカクハン作用と自然対流により、槽内のカクハンは

十分に行なわれ、正常自動温度調整運転時深さ方向および水平方向に測ったときの温度差は 450°C 付近で 5°C 以内におさまっている。また有害なピンチ効果や、U字ミジ内の局部的異常温度上昇は見られない。

6. 電気設備

電気設備は電源変圧器、電磁開閉器、単巻変圧器、静電蓄電器、自動温度調節装置および制御盤などよりなっている。

加熱コイルは単相であるが、数多くのグループに分割しているので、電源変圧器は三相器とし、各相平衡するように負荷をとった。また二次電圧は 440V/220V の切換えとして初溶解、保温電力まで加熱電力を低く調整するのに便利とした。

メッキ槽内で、被メッキ鉄板の入口付近は、とくに加熱電力を大きく必要とすること、槽内温度の均一化をいっそう容易にするため、各加熱コイルグループごとに、加熱電力調整用の単巻変圧器および電磁開閉器を設備し、おの

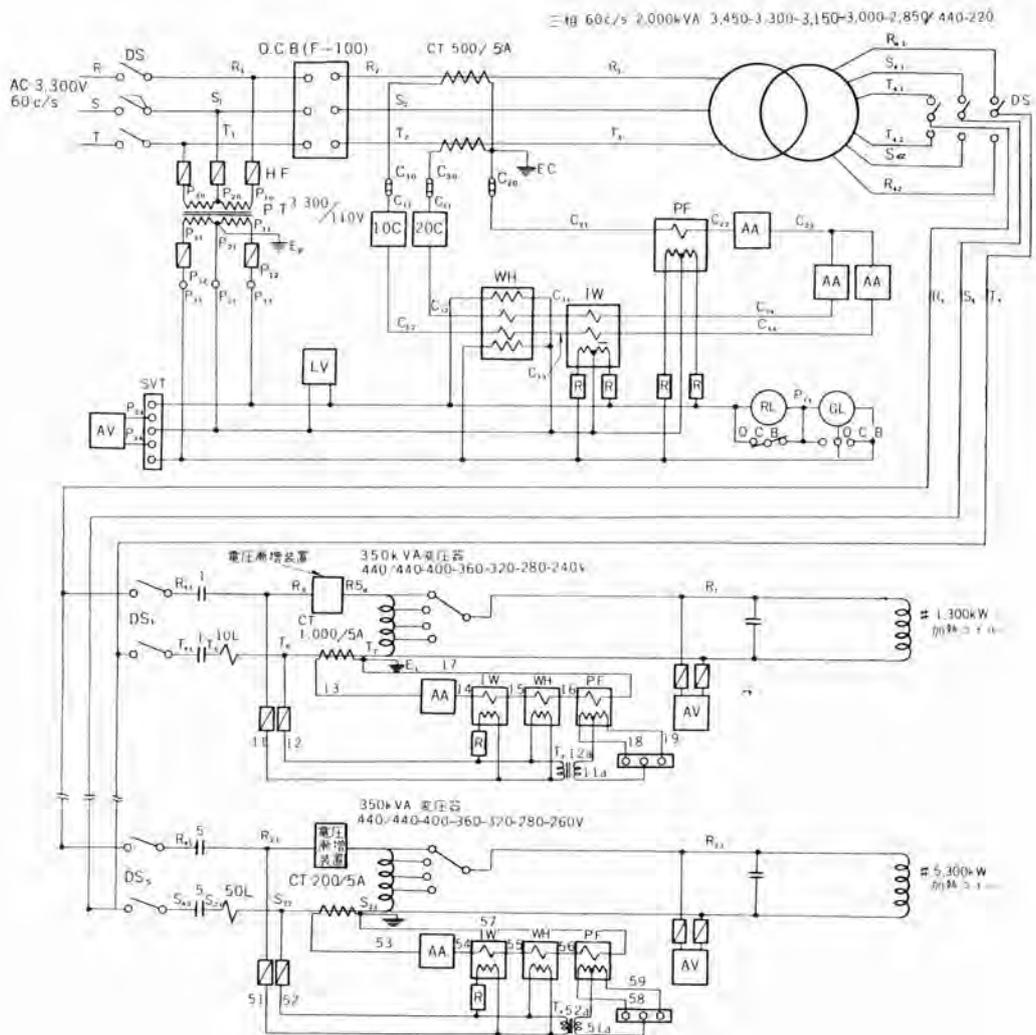


図 6.1 主回路結線図

Fig. 6.1 Connection diagram of main circuit.

おの別個に加熱電力の調整および開閉制御ができるようにした。

また力率調整用コンデンサ、およびコイル、鉄心冷却用の送風機も各グループごとに設備し、各グループとも同一電気設備としている。

槽内の二次ミジ出口付近に設けた、サーモカップルで自動温度調整を行ない、自動温度記録も行なっているので運転にはまったく人手を必要としない。

自動温度調節のための加熱電力の調整は、メッキ量の変化に応じ広範囲に行なわなければならない。これには電源を常時切ることなく、自動電圧調整器により電圧を調整して行なう方法と、単巻変圧器により適当な電圧を設定し、多少の出力の調整は電源の開閉によって行なう方法とがある。今回は後者の方法を採用したので、電源開閉時、二次ミジに衝撃的機械力のかかるのを防ぐため単巻変圧器一次側に電圧漸増装置を設けた。

参考までに主回路、制御関係の概要を図 6.1、6.2 に示す。なおこの炉は長時間の停電では、120t もの亜鉛の

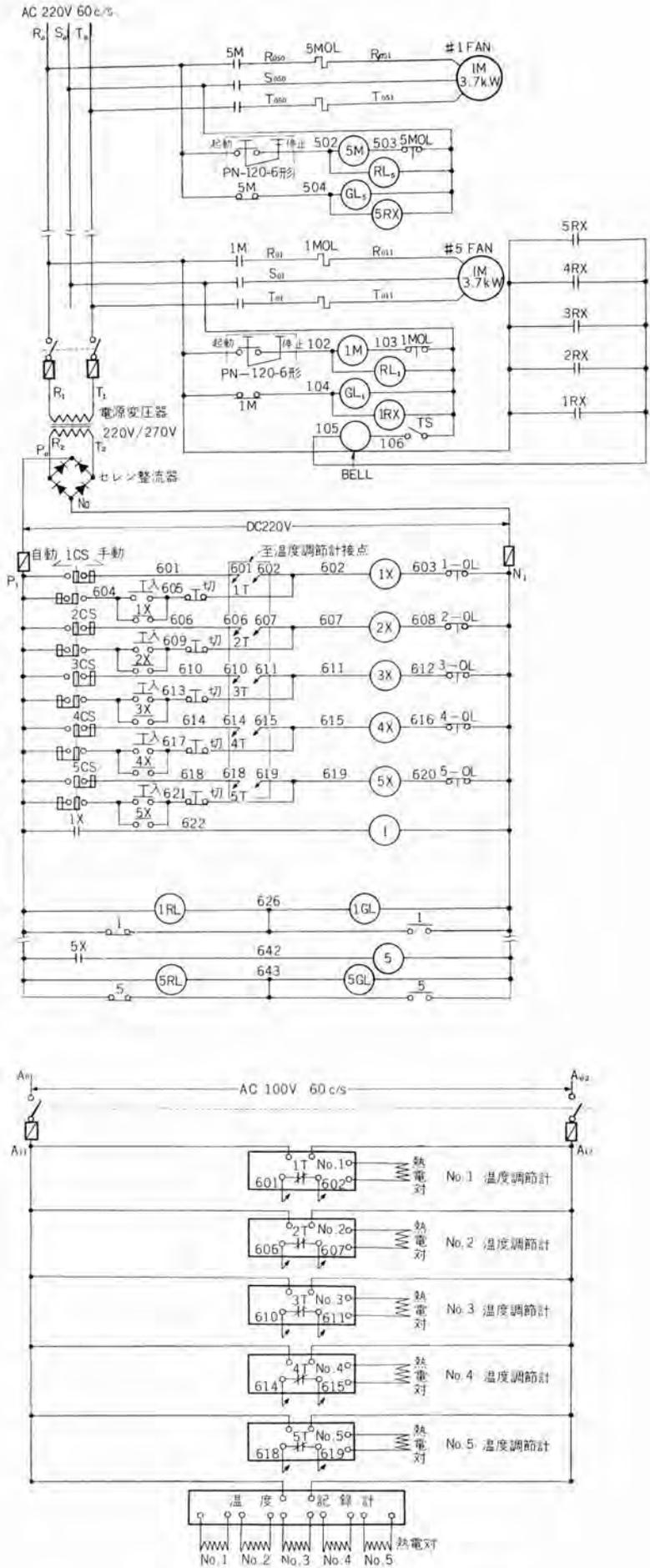


図 6.2 制御回路
Fig. 6.2 Connection diagram of control circuit.

凝固となり、そのまま再溶解は不可能で、炉の破壊、再組立てを行わなければならないので、図示されていないが保温電力用の自家発との切り換えが設備されている。

7. む す び

この炉は昭和 33 年 10 月運転にはいつてから現在まで全然亜鉛漏れもなく、きわめて好調裏に昼夜連続して亜鉛鉄板の製造に重要な役割を果している。

当社は無鉄心低周波炉の製作に関しては、わが国のパイオニア的役割を果してきたが、今回わが国はもちろん国外でも例の少ないマンモス容量の有鉄心ミウ形低周波炉の製作を行ない、わが国の低周波誘導炉製作技術に一大躍進をもたらすことのできたことは、大きな喜びとするところである。

またかかる大容量亜鉛溶解設備が国内の技術だけで十分可能であることを実証し得たことは、わが国におけるこの種溶解炉の現況から見て、今後の設備計画に大いに参考になるものと確信している。

炉の採用、製作には、炉使用工場の実情、炉の構造、とくに二次ブロックの造形、成形技術、制御方式などに有機的な考慮を払わなければならないので、ご使用者のご協力をせつてお願いする次第である。

この炉の製作にあたっては、三菱造船、日新製鋼、三菱電機の有機的な共同研究のもとに苦心の末完成したもので、種々ご指導賜った三菱造船田辺課長、亀田課長ならびに三菱造船、日新製鋼、三菱電機の関係各位、および耐火材料、築炉組立に関し熱心にご協力いただいた関係会社の方々に厚く御礼申し上げます。

工作機械数値制御装置

無線機製作所

馬場文夫*・渡辺文明**・小島一男**
中島 碧***・松本大四***

Machine Tool Numerical Controllers

Electronics Works

Fumio BABA・Fumiaki WATANABE・Kazuo KOJIMA
Midori NAKAJIMA・Hiroshi MATSUMOTO

Automation is coming into practice of all sorts of industries. As a result automatic control of machine tools counts among the subject of study as a link in the chain of the automation. Mitsubishi has developed a continuous cutting controller, a point to point controller, an automatic line tracer etc. However, the present conditions of industry hardly justify the employment of numerical control equipment because of its high price compared with machine tools, and the drawback must be overcome by taking pains in the reduction of the cost of apparatus. The writers elucidate their view on various aspects together with the description of the devices.

1. ま え が き

工作機械の自動制御は、一種のプログラム制御であり、図面よりの数値情報をテープにサン孔して、このテープにより工作機械のサーボ機構に所要の運動を行なわせている。

制御の方式としてはフライス盤、旋盤のように連続切削制御を要する場合と、ボール盤、中グリ盤のように位置決め制御だけを必要とする場合と二つに大別できる。

またテープを媒体とせず図面を直接光学系などを使用してピックアップして、図面にならって自動的に曲線を追跡する装置もあり、これはガスカッティングマシンに使用される。

これらの装置の効用は他のオートメーション機器と同様に生産性の向上、品質の向上、コストの切下げなどにある。すなわち従来のテンプレート、モデルなどが不要になり、サン孔テープがこれに代ること、人間の熟練を要せずいつも均一化されたものが製作されること、アイドル時間が少なくなることなど例示できる。

しかしながらテープ作成するにも手数がかかること、人間の熟練度で補ってきた機械の精度が期待できないこと、数値制御装置は工作機械に比して一般的に高価であることなどの欠点と同時に存在する。

したがってこれらの欠点を補ってあまりある効用がある場合だけ、数値制御が実用化されることになり、応用の選択に十分な考慮をはらうことが必要である。現在考えられる有効なる応用範囲は次のようなものである。

(1) 非常に複雑な3次元の切削(航空機工業にその例が見られる)

(2) 非常に工数の多いホーリング(管板の穴あけなど)

(3) 一般に多種少量生産でない装置では型の数が多くなりすぎる場合

これらの範囲は将来数値制御装置の改良と使用者のこれら新しい技術の受入体制の改善とによりさらに広くなることが期待できる。

2. 連続切削制御装置

連続切削制御装置は図面よりカット軌跡を求め、さらにこれを誤差範囲で直線に近似する。この直線の起点、終点の座標差 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 、ならびにこれを進むに要する時間 ΔT をサン孔テープにサン孔して、このテープでカットを所要の運動をするよう制御する装置である。この装置の方式として種々の方法が考えられるが、当社において試作した装置につきその概要を記述する。

2.1 装置の構成ならびに機能の概要

この装置の構成は大別すると、指令テープ作成に必要な機器・テープ読取装置・指令装置・駆動系・位置検出系に分けられる。



図 2.1 連続切削制御装置系統図

Fig. 2.1 Block diagram of continuous cutting controller.

その系統図は図2.1のとおりである。図面よりプロセス・シート、コントロール・シートを作りこれをサン孔タイプライタで指令テープを作成する。複雑な形状のものに関してはデジタル計算機を使用する。このようにして作られた指令テープはテープ読取装置で読取指令装置に送られる。指令装置は約1,800個のパラメロン論理回路によりこの指令情報をパルス列に変換して、さらにアナログ量に変換してサーボ増幅器に指令をあたえる。増幅器の出力は駆動モータを動かし、カッタ位置を連続的に変化させる。一方位置検出器により移動量に比例した信号が帰還される。各部の詳細な動作については順次記述する。

2.2 指令テープ作成方法

指令テープを作成するには加工図面よりプロセス・シートをまず作成しなければならない。プロセス・シートとは指令精度、カッタ径、切削速度、曲線の交点の座標、曲線の種類(円弧の場合その曲率半径)切削の径路を表にしたもので図2.2の加工図面のプロセス・シートは表2.1のようになる。

プロセス・シートを基としてコントロール・シートを作成する。コントロール・シートは直線切削の場合はプロセス・シートの座標の差を順次記入すればよいが、曲線の場合はこれを折線で近似することが必要となる。すなわち半径 r mm の円弧を折線で近似するとき、その許容誤差を δ mm とすれば折線は $\sqrt{8r\delta}$ mm 以下のいくつかの折線近似をするを要し、これらの計算にはデジタルコンピュータを用いる。このようにしてカッタが1ブロック進む座標差 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$

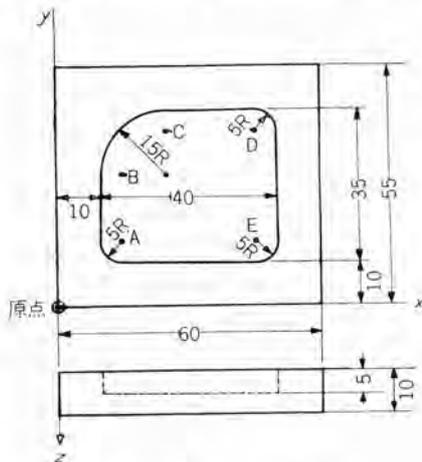


図2.2 加工図面
Fig. 2.2 Drawing of sample.

表2.1 プロセス・シート

| 位置 | 座標 (mm) | | | 曲率半径 | 切削速度 |
|--------|---------|--------|---------|------|-------------|
| | x | y | z | | |
| 原点 | 0 | 0 | 0 | | 速送 5 mm/sec |
| A | 15 | 15 | 10~12.5 | 直線 | 切込 1 mm/sec |
| B | 15 | 30 | 12.5 | # | 3 mm/sec |
| C | 25 | 40 | 12.5 | 10R | 1 mm/sec |
| D | 45 | 40 | 12.5 | 直線 | 3 mm/sec |
| E | 45 | 15 | 12.5 | # | 3 mm/sec |
| A' | 15 | 15 | 12.5 | # | 3 mm/sec |
| A'' | 15 | 15 | 15 | # | 切込 1 mm/sec |
| B'~A'' | | B'~A'' | B'~A'' | 直線 | 速送 5 mm/sec |
| 原点 | 0 | 0 | 0 | | |

カッタ 径 10 mm

表2.2 コントロール・シート

| Δx | Δy | Δz | $1,000/\Delta T$ | 備考 |
|------------|------------|------------|------------------|------------|
| 1,500 | 1,500 | 1,000 | 250 | A まで早送り |
| 0 | 0 | 250 | 400 | 切込み |
| 0 | 1,500 | 0 | 200 | A→B 直線送り |
| 12 | 156 | 0 | 600 | B→C 曲線を |
| 37 | 153 | 0 | 600 | 10 分間の折線近似 |
| 64 | 145 | 0 | 600 | をした。 |
| 83 | 134 | 0 | 600 | |
| 102 | 114 | 0 | 600 | |
| 114 | 102 | 0 | 600 | |
| 134 | 83 | 0 | 600 | |
| 145 | 64 | 0 | 600 | |
| 153 | 37 | 0 | 600 | |
| 156 | 12 | 0 | 600 | |
| 2,000 | 0 | 0 | 140 | C→D 直線送り |
| 0 | -2,500 | 0 | 120 | D→E 直線送り |
| -3,000 | 0 | 0 | 100 | E→A 直線送り |
| 0 | 0 | 250 | 400 | A にて切込 |
| 0 | 1,500 | 0 | 200 | 前の繰り返し |
| 12 | 156 | 0 | 600 | |
| 37 | 153 | 0 | 600 | |
| 64 | 145 | 0 | 600 | |
| 83 | 134 | 0 | 600 | |
| 102 | 114 | 0 | 600 | |
| 114 | 102 | 0 | 600 | |
| 134 | 83 | 0 | 600 | |
| 145 | 64 | 0 | 600 | |
| 153 | 37 | 0 | 600 | |
| 156 | 12 | 0 | 600 | |
| 2,000 | 0 | 0 | 140 | |
| 0 | -2,500 | 0 | 120 | |
| 0 | 0 | -1,500 | 330 | 原点に早送り |
| -1,500 | -1,500 | 0 | 220 | # |

を順次記入する。また1ブロックを進む時間 ΔT は切削速度ならびに $\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$ とにより定まり、指令装置の論理回路の構成を簡単にするためその逆数で記入する。また距離の単位は 0.01 mm、時間の単位は 1,000 をとっているためたとえば $\Delta x = 13.5$ mm $\Delta T = 10$ sec の場合は 1,350, $1,000/10 = 100$, として記入する。表2.2は図2.2のコントロール・シートである。

コントロール・シートをサン孔タイプライタで指令テープに変換する。テープコードは図2.3のような6単位パリティチェックのコードを使用し、数字は No. 2, No. 3, No. 4, No. 5 の4字で2進法10進法であらわす。順序は $\Delta x, \Delta y, \Delta z, 1/\Delta T$ で各数値の終りに TAB を打ち、1ブロックの終りに

| 文字 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | U | V | W | X | Y | Z | SPACE | MINUS | CR | TAB | STOP | / | WALT | A | B | C | D | E | F | G | H | |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|-------|----|-----|------|---|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No. 1 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| No. 2 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 符 | ○ | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 号 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| F | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| E | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| D | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| C | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| B | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| A | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| No. 6 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |

図2.3 符号表
Fig. 2.3 Code table.

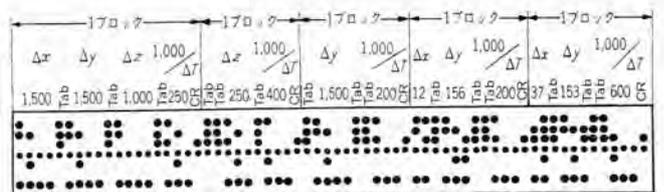
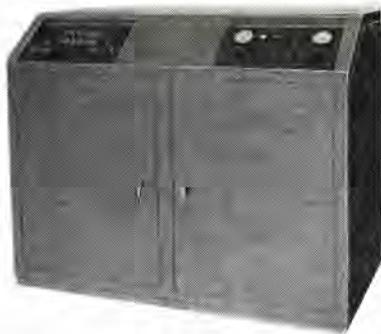


図2.4 指令テープ
Fig. 2.4 Control tape.



(a) 指令装置正面



(b) 指令装置背面

図 2.5 連続切削数値制御装置外観 (3 軸フライス盤用)

Fig. 2.5 Numerical controller of 3 dimensions milling machine.

CR を打つ。また数字が負であるときは数字の前に MIN US の符号を打つ。図 2.4 は指令テープの一例を示したものである。

2.3 指令装置

指令装置は指令テープの情報をアナログの連続指令に変換する装置である。その外観は図 2.5 に示す。その構成は図 2.6 のように、入力論理回路、誤差検出回路、制御回路、10 進 2 進変換回路、分配ゲート、入力レジスタ、機能レジスタ、スケールゲート、および D-A 変換装置、電源、クロックパルス発振器などからなる。

機能の概要は次のとおりである。まずテープリーダー(光電式で読取速度 200 字毎秒)で読まれた指令テープの情

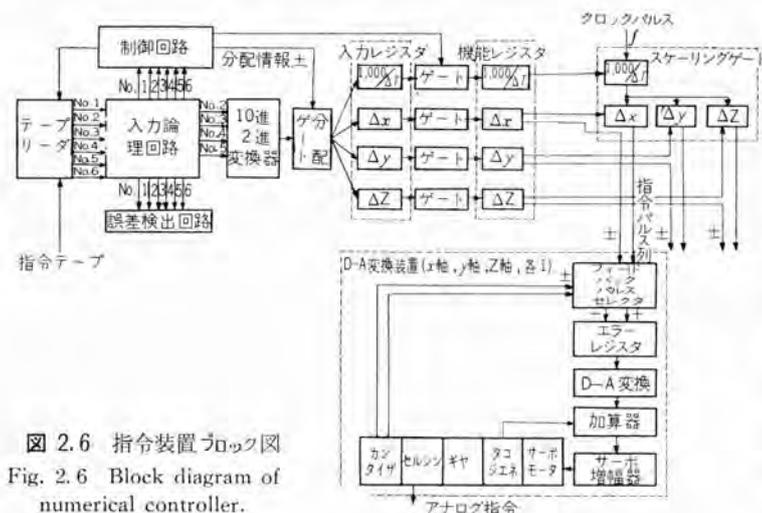


図 2.6 指令装置ブロック図
Fig. 2.6 Block diagram of numerical controller.

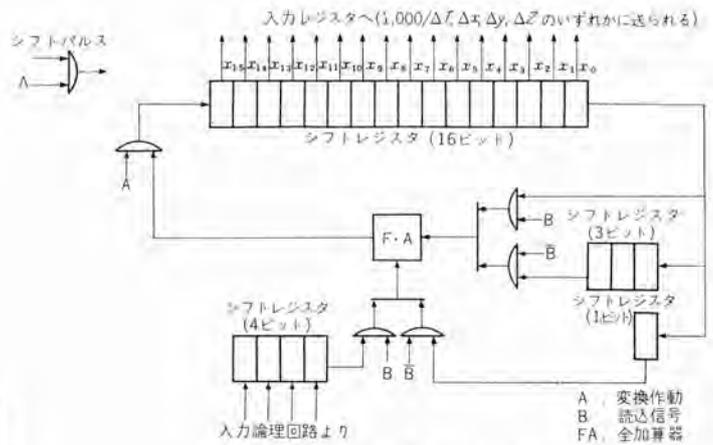


図 2.7 10 進 2 進変換回路

Fig. 2.7 Block diagram of decimal to binary converter.

報は入力論理回路にはいる。この情報は読取の誤差がないかどうか誤差検出回路でチェックされる。これは指令テープのコードが奇数個のマークであるので、マークの数が奇数でないとき(ただしオールマークは除く)信号がでて自動的に読取を停止するようにしてある。

正しく読取られた情報の数字は 10 進 2 進変換回路にはいり、分配ゲートを通して $1,000/\Delta T, \Delta x, \Delta y, \Delta z$ の四つの入力レジスタに 2 進法で記憶される。数字以外の情報は制御回路にはいり、テープリーダーの停止、起動、分配ゲートへの制御信号など各回路の制御信号に変換される。

10 進 2 進の変換回路は図 2.7 に記したように、最高ケタの 4 ビットが読込まれ、これが順次 1 ビットずつ FA を通り、16 ビットのシフトレジスタにはいる。この状態では $B=0$ となるので FA には 3 ビット、および 1 ビットおくらせておのおのが加算される。すなわち 2^3+2^1 倍 (10 倍) されることになる。つぎのケタ 4 ビットが読込まれるときは、 $B=1$ であるから、先に 10 倍されたものがそのまま加算される。このようなことがケタの数だけ行なわれ、2 進数に変換される。

このように入力レジスタが 2 進数で記憶が完了すると、ゲートが開いてこの情報が機能レジスタに移り、つぎの情報をテープより読取る。一方機能レジスタの情報によりスケールゲートが制御されて D-A 変換装置にパルス列が送られる。

スケールゲートのブロック図は図 2.8 に示す。 $1,000/\Delta T$ スケールゲートは 13 個の 2 進計数器とそのおのおのに結合する 13 個の AND ゲートがある。クロックパルスは $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ に記憶される数字の大きさにより FF13 か FF10 か FF7 がいずれかより加えられる。いま $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ がともに 2^{10} 以下 (10.23 mm 以

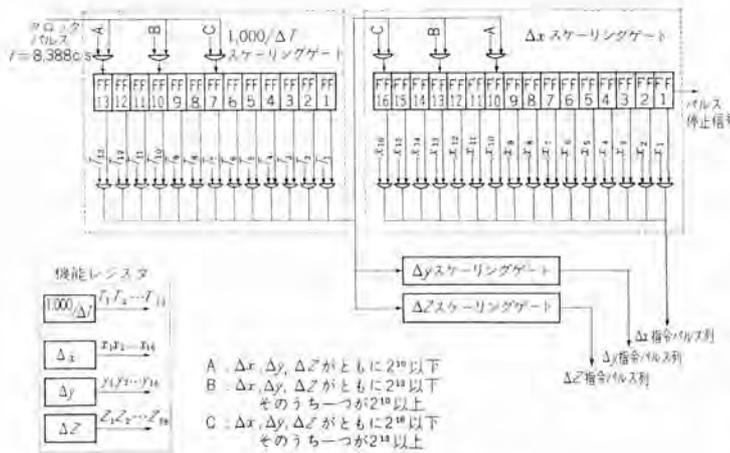


図 2.8 スケーリングゲートブロック図

Fig. 2.8 Block diagram of scaling gate.

下) のときは, FF13 よりパルスがはいり, FF13 の出力はクロック周波数 f の $\frac{1}{2}$, FF12 は f の $\frac{1}{4}$, 以下 $\frac{1}{2}$ ずつの周波数のパルス列が得られる. $1,000/\Delta T$ の機能レジスタでこのパルス列をゲートして加え合わせるとその周波数は大略次のようになる.

$$f' = f \times \frac{1}{2^{13}} \times \frac{1,000}{\Delta T}$$

同様な原理により Δx スケーリングゲートの出力パルス列の周波数は

$$f'' = f' \times \frac{\Delta x}{2^{10}} = \frac{1,000 f \Delta x}{2^{23} \Delta T}$$

$f = 8,388 \text{ c/s}$ に選ぶと $1,000 f' = 2^{23}$ となり $f'' = \frac{\Delta x}{\Delta T}$ となる.

また FF1 の 2 度目のパルスで指令パルスを停止させるから, パルス数は Δx 個出ることになり, ΔT 時間にはほぼ一定の間隔で Δx 個のパルスが出たことになる. このパルス列は位置指令ならびに速度指令の両方の意味をもっている.

上記指令パルス列をアナログに変換する回路が, D-A 変換装置である. この装置はフィードバック・パルスセレクタ, エラーレジスタ, D-A 変換器, 加算器, サーボ増幅器, サーボモータ, タコジェネ, ギヤ, セルシユ, カンタイザなどからなり図 2.6 のように結線される.

指令パルス列はフィードバック・パルスと同期しないようにエラーレジスタにはいる. エラーレジスタは 2 進の可逆計数器であり 7 ビットからなり最高位は符号ビットになっている. このレジスタの数値をアナログ電圧に変換してこれを増幅し, 400 c/s のサーボモータを駆動する. カンタイザはサーボモータにギヤで結合されており, 1 回転で 300 パルスを出し, かつその回転方向の正負を判別することができるようになっている.

指令パルスが n 個はいるとエラーレジスタに記憶され, アナログ電圧に変換されモータが回転して, カンタイザより n 個

のパルスがフィードバックしエラーレジスタが 0 になる所でモータは停止する. したがってセルシユ 1 回転は 300 パルスすなわち 3 mm に相当するアナログ指令となる.

2.4 駆動部, 位置検出装置

指令装置の連続アナログ指令信号 (セルシユ発信器の角度指令) によりテーブルを忠実に動かす装置が駆動部であり図 2.9 にそのブロック図を示した. 動作の概要は指令装置よりの角度指令がセルシユトランスにはいる. その出力が検波, 増幅されてサーボモータを駆動し, 送りネジを回転させてテーブルを動かす. テーブルに取付けられた検出ヘッドは図 2.10 に示すような E 形のコアが検出ネジの軸と平行に取り付けられた構造のもので

あり, テーブルが動くことにより検出ネジの歯面と E 形コアの先端面との関係位置が変わる. その結果信号電圧が発生して, これを増幅し検出ネジ用のサーボモータを回転させ, したがって検出ネジが回転して検出ヘッドとの関係位置がもとにもどる. すなわちテーブルの変位量がそれに比例した角変位量となってセルシユトランスに帰還されたことになる. なお検出系の応動時間を補償するため検出ヘッドの出力電圧を加算器に加えている.

このような検出方法は, テーブル送りネジのピッチ誤差ならびにバックラッシュに無関係に正確に位置信号を帰還できる特長をもっている.

位置検出装置についてその原理構造は図 2.10 に示す.

図 2.10 (a) の結線図で L_1, L_2 は (b) のように E 形

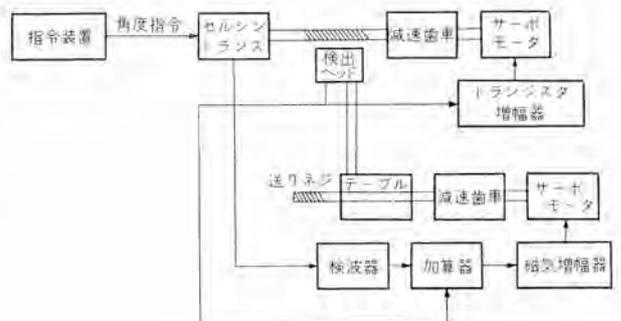


図 2.9 駆動部ブロック図

Fig. 2.9 Block diagram of servo amplifier.

コアに巻かれている. 検出ネジとの関係が (b) のようなときは, $L_1 = L_2$ となり互に相殺して出力電圧零である. この位置が Δx だけずれると $L_1 \neq L_2$ となり不平衡電圧が生ずる. 不平衡電圧の値 V_R は微小変位量の場合はほぼ次のようになる

$$V_R = \frac{L_1 - L_2}{L_1 + L_2} V_c \quad (V_c \text{ は励磁電圧などで定まる一定電圧})$$

L_1, L_2 が Δx の変位のために生じた変化インダクタンスを

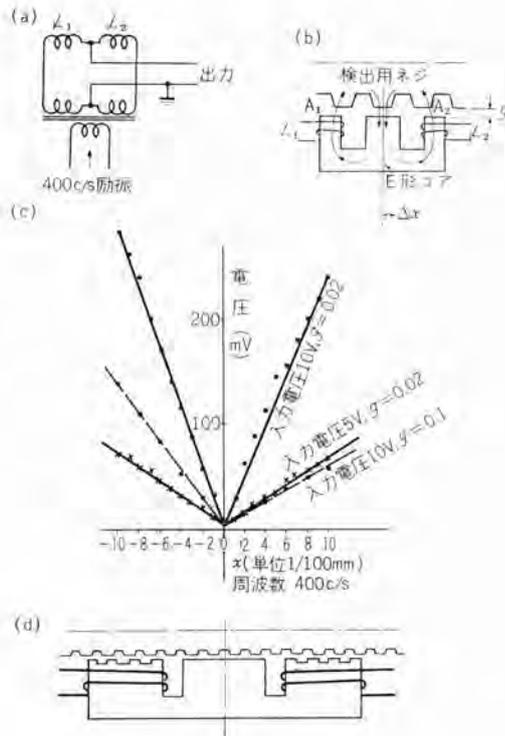


図 2.10 位置検出装置原理図

Fig. 2.10 Principle of position detector.

$\Delta L_1, \Delta L_2$ とする。E 形コア ならびに検出ネジの磁路抵抗が空けきの磁路抵抗に比し十分小さいときは、(b)の A_1, A_2 部分の対抗面積に比例すると考えてよいから、 $\Delta L_1, \Delta L_2$ は $\Delta x, -\Delta x$ にそれぞれ比例する。

したがって V_R は

$$V_R = \frac{2\Delta x}{L_1 + L_2} V_c'$$

となり Δx に比例する。(c)は上記のような検出装置の変位量 Δx と出力電圧との実験結果である。

なお (d) は検出ネジピッチ誤差を平均化するための、改良形の検出コアの構造を示したものである。

2.5 連続切削制御の特長

当社において試作した連続切削制御装置の概要につき記したが、この装置の特長を要約すれば次のとおりである。

(1) 論理素子としてパラトロンを使用しているの、寿命が半永久的で信頼度が高い。

(2) 検出器としてテーブル送りネジとは別に検出ネジをもうけ、差動変圧器を使用しサーボ方式で検出する方法を

採用しているの、送りネジのピッチ誤差ならびにバックラッシュに無関係に精度高く検出可能なること。

(3) 駆動方式として電気サーボを使用しており、増幅器には磁気増幅器を使用して保守が簡単である。

(4) 指令テープは安価な紙テープを使用し、そのコードも2進10進法を採用し、電子計算機を使用しなくてもテープ作成可能である。

(5) 逆転可能な光電式テープ・リーダーを使用すれば、繰り返し切削を行なうとき前の情報を繰り返して読むよう指令することができ、テープ作成が簡易にできる。

3. 位置決め制御装置

位置決め制御装置は前項の連続切削制御と異なり、テーブルまたはカッタの位置だけを制御するもので、その位置に到達する経路は制御するを要せず装置として簡単になる。その回路構成に連続制御の場合と類似するところもあり、以下この装置の異なるところを重点的に記すこととする。

3.1 構造および機能の概要

この装置の構成は図 3.1 のとおりである。指令テープは前項で説明したと同じ方式であたえられる。この指令テープはメカニカル・リーダーで読みこまれて、入力回路、2進10進変換回路を通り x レジスタ、y レジスタに2進数で記憶される。この数値が x エラーレジスタ、y エラーレジスタに移される。このエラーレジスタは可逆の2進計数器でありテーブル移動量に比例する帰還パルスにより、最初記憶した数値が減算されるようになっている。

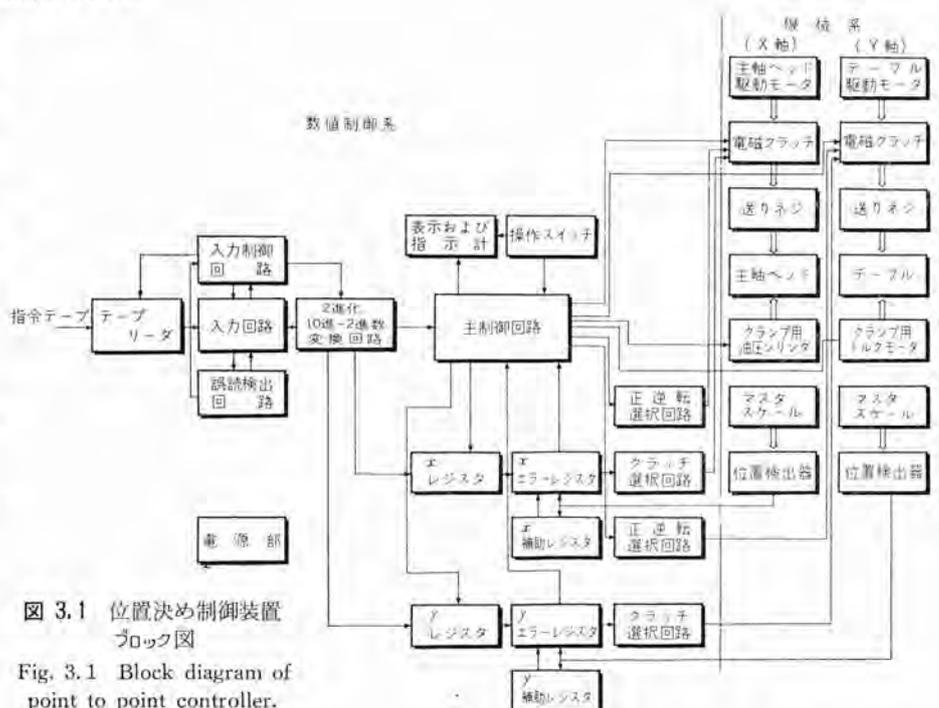


図 3.1 位置決め制御装置ブロック図

Fig. 3.1 Block diagram of point to point controller.

クラッチ 選択回路は高速・中速・低速と 3 段階の クラッチをエラーレジスタの残留数値により選択できるようになっている。たとえば最初記憶されている数値が 5,000 (0.01 mm を 1 パルスとすれば 50 mm 進めという指令) であるときは最高のクラッチを選択し、その値が 1,000 (目標値の 10 mm 手前の位置にきたとき) になったとき、中速クラッチに切換えられ、さらに 100 になったとき低速クラッチに切換えられ、0 のときブレーキがかかるようになっている。その場合慣性により若干行き過ぎがあるので、その分は補助レジスタに記憶させて、つぎの情報がはいったときその内容を減算する回路を付加してあり、誤差が積算しないよう考慮されている。

また同じ移動量を繰り返して移動させる場合は、テーブルに繰り返し回数をパンチすれば、主制御回路にその情報がはいり、x,y レジスタの内容を所要数だけエラーレジスタに送られてテーブルが制御される。なお正負の方向は主制御回路に情報がはいり、ここから制御される。

3.2 位置検出装置

この装置の位置検出装置は位置決め精度により種々のものが使用される。ジコポラのようにマイクロ単位の位置決めには主尺、副尺とを併用し副尺として回折格子を使用しなければならない。1/100~2/100 の程度のもの、すなわち中グリ盤の位置決めなどでは前項で説明した差動変圧器を使用したサーボシステムのもので、セルシンの代わりにパルス発生装置を使用したものも使用できる。またラックピ

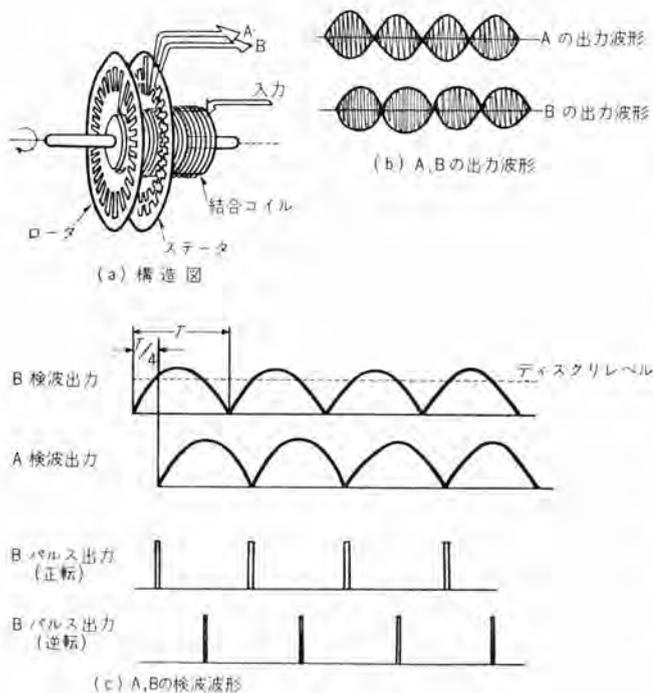


図 3.2 インダクション形パルス発生器構造図

Fig. 3.2 Principle of induction type pulse generator.

コンにより直線変位を回転に直して、その誤差をテンプレートで補正し、その回転をパルス化する方法も採用できる。

回転をパルス化する方法はいくつもあるが、当社においては図 3.2 のようなインダクション形のものを使用している。これは約 2 Mc の高周波電圧を結合コイルによりロータの coils に印加する。ステータの coils と同相の位置ではステータに高周波が印加され、逆相では印加されない。したがってロータが回転すればステータの出力は (b) のようになり、これを検波しパルス化すれば回転に比例したパルスが得られる。また正逆回転を判別するため、ステータに二つの coils が 90 度位置をずらして巻いてあり、A コイルからの正パルスのでるときの B コイルに高周波出力があるか否かで判別している。

4. 自動曲線追跡装置

この装置はアナログ制御方式による曲線追跡制御装置であり、原図上に画かれた曲線を光学的制御系により自動的に追跡し、フレームカッタまたは他の機械的切断機により加工物を原図上に画かれた曲線と相似関係に加工するものである。

図 4.1 はその外観であり、走査ヘッド・支持テーブル・制御装置などから構成される。

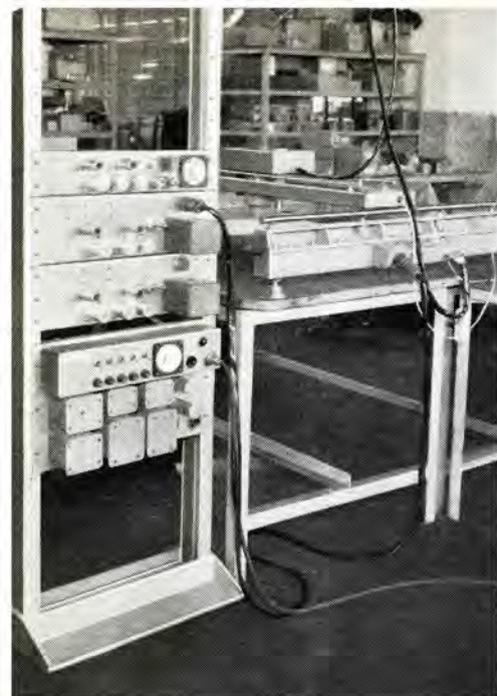
走査ヘッドは図 4.2 のように駆動モータで動かされている駆動輪、その方向をあたえるサーボモータ、これと連動する光学的検出ヘッドからなる。

その動作系統図は図 4.3 のとおりで、図面上の曲線の像が光電体面上に結びせ、この曲線が光学の中心より右または左にずれることにより二つの光電体の光量に不平衡が生ずる。したがってブリッジの平衡がくずれて信号電圧が出て、これがサーボ増幅器で増幅されサーボモータが回転して、進行の方向を補正して光軸と図面上の曲線が一致するようになる。

図 4.1 の装置は有効画面 594×841 mm、曲線の線幅は 0.2~1.2 mm、追跡は曲線の中心が基準となっている。追跡速度は 1.2~9.6 mm/sec、追跡精度は ±0.25 mm である。光電体には硫化カドミウム光導電セルを使用している。

この装置を「フレームカッタ」に使用するとモデル形を必要としないから、複雑な形状のものを切断する場合とか、また多種少量生産をするときにきわめて有効である。

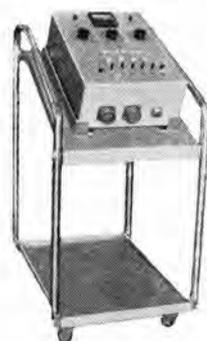
フレームカッタ以外にミリング加工などにもこの装置が採用できるよう、精度その他の点につき改良することも考慮中である。



(a) 外 観



(c) サーボ増幅器



(d) 制御箱

図 4.1 自動曲線追跡装置
Fig. 4.1 Automatic line tracer.



(b) 走査ヘッド構造

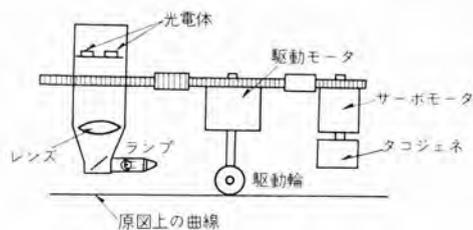


図 4.2 自動曲線追跡装置構造図

Fig. 4.2 Construction of automatic line tracer.

5. む す び

以上当社が最近に製作した工作機械数値制御装置の概要につき記述したが、現況では数値制御装置が工作機械に比して高価であることが大きな障害となるように考えられるので、この種装置が広く利用されるために装置価格の低減に最大の努力をしたい。そのためステップイングモータの実用化とか、市販のテープレコーダを使用するとか、あるいはまた円と直線による新しい近似方法とか、いろいろの点で今後も研究をつづけ、広い範囲に実用化されることを期待している。

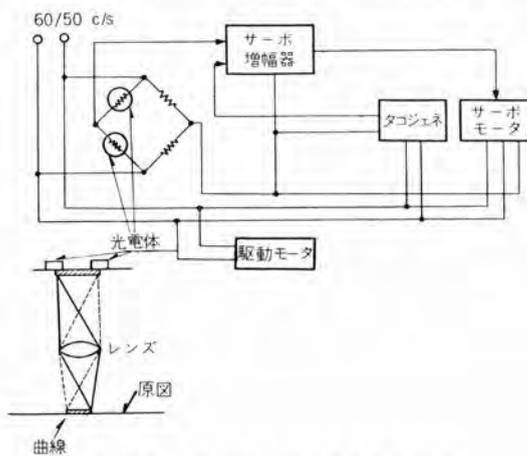


図 4.3 自動曲線追跡装置動作系統図

Fig. 4.3 Block diagram of automatic line tracer.

新形直流高速度シヤ断器

神戸製作所 岩垂邦昭*・渡辺睦夫*

New Type Direct Current High Speed Air Circuit Breakers

Kobe Works Kuniaki IWADARE・Mutsuo WATANABE

Along with the concentration of inhabitants to a large city and its environment, traffic capacity of urban railways is demanded to become much larger. This in turn brings about the increase of substations of electric railways to cope with the enlargement of transportation facilities, thus the burden for high speed air circuit breakers becoming ever higher and severer. Mitsubishi has developed new high speed air circuit breakers rated at 1,500 volts 3,000 amperes DC, having interrupting capacity of 50 kA (expressed in a short circuit current sustained value) at the rate of current increase 3×10^6 amp. per second. With their diversified design features such as employment of a new tripping mechanism, moving parts of low inertia, and high capacity arc chute, the new breaker has proved very effective in the current limiting performance when subjected to the short circuit interrupting tests on DC and AC test circuits.

1. ま え が き

最近大都市およびその近郊への人口の集中化にともない、その輸送を担当する都市近郊電気鉄道は、急速に輸送力を増強することが要請されつつある。このためこれら直流電鉄回路では変電所の新增設があいついで行なわれ、また新形車両の採用、電車編成単位の増大化、列車運転時隔の短縮などが逐次実施に移されつつある。

この結果これら電鉄直流回路の保護に使用される直流高速度シヤ断器についても最近、とくにそのシヤ断容量および動作電流目盛などについて従来を上回る仕様のものが必要とされるようになってきた。これらの問題については、電気学会高速度シヤ断器特別標準委員会での電気鉄道変電所用直流高速度シヤ断器標準規格作成のための審議を通じて、また鉄道電化協会高速度シヤ断器専門委員会での高速度シヤ断器性能向上についての研究を通じて検討されてきたが、今回それらの検討結果を骨子として鉄道技術研究所において、キ電用直流高速度シヤ断器試作仕様書が作成され試作品が発注された。

当社ではこの仕様書に基づいて、新機構を採用したAHF-30形正方向直流高速度シヤ断器を開発し、その試作、試験ともに好成績で終了したので、以下にその定格、構造、性能の概要について述べる。

まず新しい仕様のおもな特長について述べると

(1) 定格シヤ断容量が電鉄回路の現状に則し、突進率 3×10^6 A/s の回路で推定短絡電流最大値 50,000 A と規定されたこと。

(2) 電車区間など運転電流の大きい線区での使用に適するように、最高電流目盛が、定格電流 3,000 A のシヤ断器に対し、10,000 A と規定されたこと。

(3) 単位変電所などで、シヤ断器の操作、制御に必要な蓄電池容量を減らすため、常時制御電流は 1 A 以下に制限され、投入操作方式を空気操作としたこと。

(4) 通勤時と閑散時などの負荷変動の大きい線区の保護に使用するため、遠方制御で動作電流目盛の切換えが行なえるように規定されたこと。

(5) 従来事故電流の選択シヤ断が目的と考えられていた高速度シヤ断器の選択性を、シヤ断器が大電流を限流シヤ断するための自衛的手段と考え、故障選択のために必要なばあいには ΔI 形選択シヤ断装置など別個の選択シヤ断装置を別途付加する考え方が導入されたこと。などである。

2. 定 格

新形高速度シヤ断器の定格はつぎのとおりである。

| | |
|----------|---|
| 形 式 | AHF-30 形 |
| 定格電圧 | DC 1,500 V |
| 定格電流 | 3,000 A 連続および 3,000 A 1 時間後 10,000 A 1 分間 |
| 方 向 性 | 正方向性 |
| 定格動作電流目盛 | 6,000 A, 8,000 A, 10,000 A |
| 定格シヤ断容量 | 突進率 3×10^6 A/s の回路において推定短絡電流最大値 50,000 A |

* 技術部

| | |
|----------|-----------------------------|
| 標準動作責務 | O-30秒CO |
| 定格投入操作圧力 | 5 kg/cm ² (空気操作) |
| 定格保持電圧 | DC 100 V |
| 定格保持電流 | 0.6 A |

3. 特 長

(1) 電磁保持衝撃開放形の新機構の採用および軽量な可動部分構成と適切な構造の大容量消弧室の使用により、 Σ 断容量が大きく、限流特性にすぐれ、 Σ 断特性は安定している。

(2) 主回路部分と制御回路との混触防止にはとくに留意し、特殊構造のコイル巻ワクおよびイオン化ガス阻止隔壁など形造絶縁物を多く使用することにより、低圧制御回路は主回路電位から十分に保護されている。

(3) 自己保持電流は 20,000 A 以上であるから手動 Σ 断、継電 Σ 断のばあいにもただちに開放動作を行なうことができる。

(4) 投入操作はきわめて安定しており、投入のときにも保持電磁石の強励磁を行なわず、接触子閉合のさいの衝撃も保持機構にまったく影響しない構造になっているので、故障回路を投入したときにも正確な電流目盛値で動作する。

(5) アーク接触子は可動接触子側でフォローをもたせる構造としたため、その動作は安定、確実であり、したがって主接触子の溶損もほとんどない。

(6) 本体機構を利用した小電流 Σ 断用空気吹消装置を備えているので、小電流 Σ 断も確実にこなされる。

(7) アーク接触子近傍の消弧室壁には特殊耐弧性絶縁板を使用しているが、これは機械的に強く、アークによる焼損もきわめて軽微であり、長い寿命を期待することができる。

(8) Σ 断器構造は軽量小形であり可搬性にすぐれ、保守点検に便利な構造である。

4. 構造および動作

図 4.1 に外形写真を、図 4.2 に外形図を、図 4.3 に構造説明図を示す。図 4.3 からあきらかなように、可動接触子は Σ 断器閉合状態において接触パネにより固定接触子側に付勢され固定接触子と接触している。可動接触子アームの下端と間げき G を隔てて保持電磁石、接極子、接極子レバーおよび引はずしパネからなる引はずし機構があり、引はずしパネにより開放力を与えられている接極子は Σ 断器閉合状態では保持コイルによる磁束で、保持電磁石接極面に吸着保持されている。引はずしコイルを流れる故障電流により保持磁束が打ち消されると、接極



図 4.1 AHF-30 形直流高速度 Σ 断器 DC 1,500 V 3,000 A

Fig. 4.1 Type AHF-30 direct current high speed air circuit breaker DC 1,500V 3,000A.

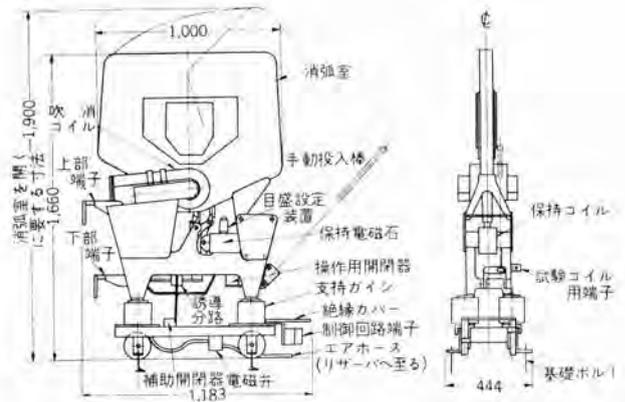


図 4.2 AHF-30 形直流高速度 Σ 断器 外形図 定格 DC 1,500V 3,000A

Fig. 4.2 The outline of type AHF-30 high speed circuit breaker DC 1,500 V 3,000A.

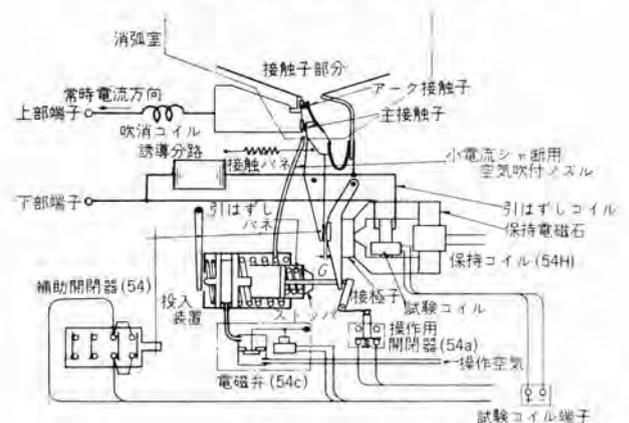


図 4.3 構造説明図

Fig. 4.3 Construction diagram.

子は引はずしパネの力により接極面を離れ接極子レバーは時計方向に回転する。このとき接極子レバーはまず間げき G を運動し、そのうち可動接触子アームに衝突する。この衝突により可動接触子アームは、接極子系が衝突前にもっていた運動量を与えられ、大きい初速をもって運動を開始し接触子の開離をはじめ、このように可動接触子が相当の初速をもって開離をはじめるとは、 Σ 断過程においてアークのこう着時間を短くし、アーク電圧の上昇時期をはやめ故障電流を早期に限流するのに役だっているほか、接触子の焼損を減少するのにも寄与している。

(1) 通電部分

電流は下部端子からはいり、引はずしコイルと誘導分路の並列回路を通して主フレームに流れる。誘導分路は十分な鉄心積厚をもち、したがって高い選択特性をもたせることができる。主フレームからの電流は、その上部に接続された可とう導帯を経て可動接触子に流れ、固定接触子から接触部両側に巻かれた並列の吹消コイルを経て上部端子に至る。接触部は主接触子とアーク接触子とから構成され、主接触子には銀接点を使用し、主接触子におくられて開離するアーク接触子には銀タングステン耐弧合金の接点を使用した。アーク接触子は可動接触子側で、フォロウをもたせる構造とし、アーク接触子自体の慣性を接触子開離のさいの追従動作に利用したため、従来一般に行なわれていた固定接触子側でフォロウをもたせる構造に比較してその追従動作は安定、確実なものとなっている。このことは主接触子の溶損をいっそう確実に防止することになる。

(2) 消弧装置

消弧装置に要求される性能は、アーク接触子からのシ断アークをすみやかに伸長冷却しアーク電力、アークエネルギーの大きいときにも安定した妥当な高さのアーク電圧を、全シ断過程にわたって継続維持することである。このシ断器の消弧室は大電流シ断を考慮して、比較的ひろい消弧室間げきと大きい消弧壁寸法をもっている。消弧室中央には二次吹消コイルがあり、消弧室長手方向には数個のスプリッタを設けた。また接触子近傍は主吹消コイルによる吹消限界を強めるために消弧室間げきを狭くした。なおこの部分の消弧室壁には特殊耐弧性絶縁板を使用した。これは機械的強度および耐電圧特性にすぐれているとともに、接触子近傍の大電流アークによっても焼損が少なく、従来のアスベスト板に比べて長い寿命を期待することができる。

(3) 動作

図4.4についてこのシ断器の動作を説明する。

図4.4(a)にこのシ断器の閉合状態を、図4.4(b)に開放状態を、図4.4(c)に投入過程の状態をそれぞれ示す。

図4.4(a)において、接触子アーム1の上端にある可動接触子2は、接触パネ3によって左方に付勢され固定接触子4と接触している。保持電磁石5は保持コイル6の付勢により接極子7をその接極面に吸着保持している。接極子レバー8にはその下端においてロッド9を介して引はずしパネ10による開放力が作用している。

主回路に故障電流が流れると、保持電磁石の保持コイルによる保持磁束は打ち消され保持電磁石はもはや接極子を保持し得なくなってシ断器は開放動作を行なう。すなわち、保持電磁石5の保持力が引はずしパネ10によ

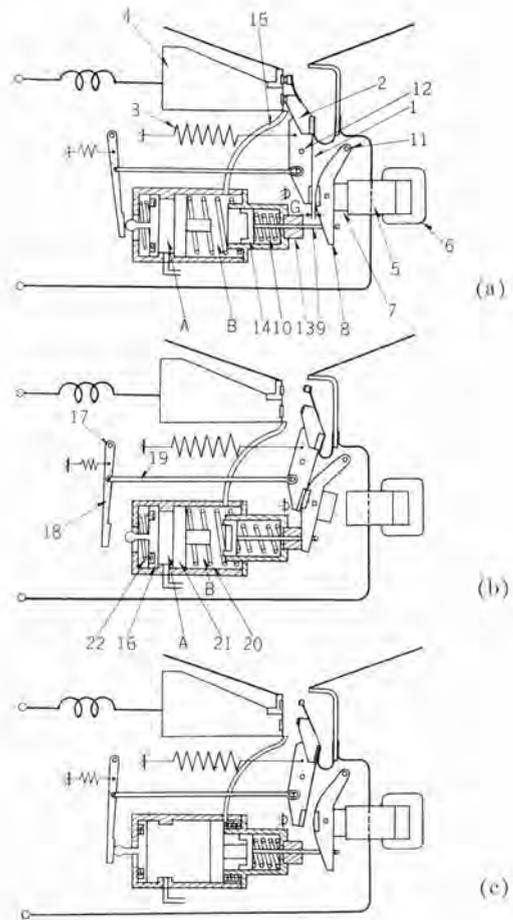


図 4.4 動作説明図

Fig. 4.4 Diagram showing operating cycle of type AHF-30 high speed circuit breaker.

て接極子に働く引はずし力を下回ると接極子7は接極面を離れ、接極子レバー8は軸11のまわりに引はずしパネ10により与えられる開放力によって時計方向の回転運動を開始する。このとき、シ断器閉合状態では接極子レバー8と接触子アーム1の下端に図示のような間げきGがあるから、接極子レバーはその開放過程においてまず単独で間げきGを運動し、そののち接触子アーム1の下端に衝突する。接触子アームはその衝突およびそれに続く接極子レバーの左方への運動により、おなじく軸12のまわりに時計方向に回転してまず主接触子が離れ、つぎにアーク接触子が離れる。接極子レバーは引はずしパネによりストップ13にあたるまで運動し、これにともない可動接触子2は全シ断距離を運動して、図4.4(b)の開放位置にもってこられる。

なおこのとき、引はずしパネ受け14の左方への移動は空気室B内の空気を圧縮する。圧縮された空気はパイプにより接触子下方のノズル15に導かれ、小電流シ断のさいの空気吹消に有効に使用される構造とした。

つぎに図4.4(b)、図4.4(c)によって投入動作を説明する。

シ断器投入のとき、電磁弁(図4.3参照)を付勢することにより操作空気が空気室 A 内に導入されると、まず空気室 A の左方にあるピストン 16 が図4.4(b)の位置から左方、図4.4(c)の位置へ移動する。このピストン 16 の左方への運動は軸 17 を支点とするレバー 18 を拘束し、レバー 18 と接触子アームの下端を結ぶリンク 19 を通して接触子アーム 1 を開放位置にとどめておくことになる。空気室 A 内の圧力の上昇とともに、それまで強力な復帰バネ 20 により運動を阻止されていた右側のピストン 21 が右方への運動を開始する。このピストン 21 の右方への運動は、その右側にある引はずしバネ受け 14 およびロッド 9 を右方へ押し引はずしバネ 10 を圧縮しながら両者を図4.4(c)に示す付勢位置にもってくる。一方このロッドの運動とともに接極子レバー 8 はロッド 9 の動きに追従してピン 11 のまわりに自重で反時計方向に回転し、接極子は保持電磁石接極面に吸着保持される。このときロッド 9 の運動に連動する操作用補助開閉器(図4.3参照)が動作し、電磁弁は消勢され、操作源よりの空気は断たれる。電磁弁の消勢により空気室 A 内の空気は徐々に排出されるが、空気圧の減少とともにまず右側のピストン 21 は強力な復帰バネ 20 により付勢されすみやかに図4.4(a)に示す原位置に復帰し、接極子を開放可能な状態におく。空気室 A 内の空気圧のいっせいの減少とともに比較的弱い復帰バネ 22 をもった左側のピストン 16 が復帰を開始し、これとともにリンク 19 による拘束を解かれた接触子アーム 1 は軸 12 を中心として接触バネ 3 により反時計方向に回転して接触部を閉合し投入動作が完了する。

以上説明したように、このシ断器の機械的引はずし自由機構は、電磁保持衝撃開放形の引はずし機構に、操作シ断器を共有し順序作動する二つの操作ピストンをたくみに組み合わせることにより、きわめて小形に構成されている。また引はずしバネも多重圧縮バネを操作シ断器延長部に配置し、さらにそのバネ受けをそのまま小電流シ断器用空気吹消装置のピストンに使用するなど機構各部はコンパクトに設計されている。衝撃開放形引はずし機構は一般にシ断器開放のときフレームに与える衝撃が小さいことを特長としているが、衝撃開放形引はずし機構に、これらのコンパクトに設計された機構部をたくみに組み合わせることにより、このシ断器のフレーム構造はきわめて小形軽量に構成することができた。

(4) 操作

図4.5に制御回路接続展開図を示す。同図について、操作方式を説明する。

a. 投入動作

制御開閉器 3-54 を閉に回すと、54XX が付勢され、

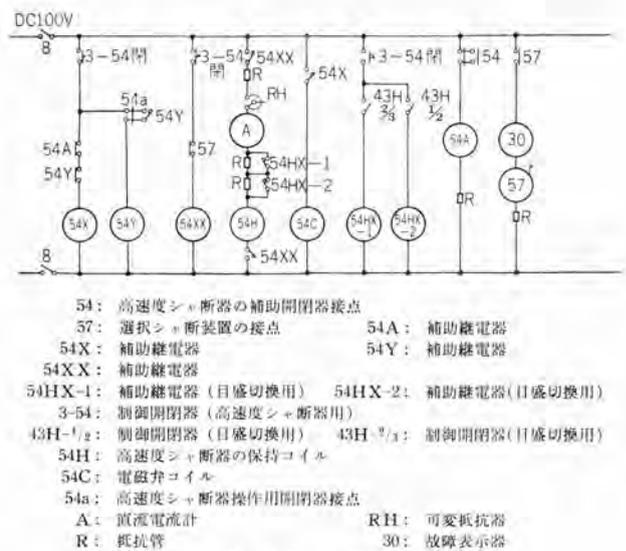


図 4.5 制御回路接続展開図

Fig. 4.5 Schematic diagram of control circuit.

保持回路に電流が流れる。一方これと同時に 54X が励磁され、電磁弁コイル 54C を励磁してシ断器内に操作空気を導入する。操作空気の導入により、動作の項で説明したように、接極子は保持電磁石に吸着保持される。同時に補助開閉器 54a が動作し、54Y を励磁する。54Y の動作により 54X は励磁を解かれ、電磁弁 54C の回路を開いて電磁弁は復帰する。このとき 54Y は自己保持されているので故障回路を投入しても反復動作は行なわれない。

電磁弁 54C が復帰すると、シ断器内の操作空気は排出され、シ断器は接触部を閉じ投入動作は完了する。

b. 手動開放

制御開閉器 3-54 を閉に回すと、54XX は消磁され、保持回路を開いて、シ断器は開放する。

c. 目盛切換え

目盛切換用制御開閉器 43H-2/3 および 43H-1/2 を操作することにより、保持回路の抵抗値が変更され、動作電流目盛は磁路調整による設定値 10,000 A のそれぞれ 2/3 および 1/2 に切換えられる。

d. 故障選択継電シ断

別個の選択シ断器電装置を設けたばあいには、その接点 57 の動作により保持回路を開き、シ断器は開放される。

5. 性能

AHF-30 形正方向直流高速度シ断器のおもな特性および試験結果について以下に述べる。

5.1 引はずし特性

(1) 漸進電流に対する引はずし特性

保持電磁石磁路調整により 6,000 A, 8,000 A, 10,000 A

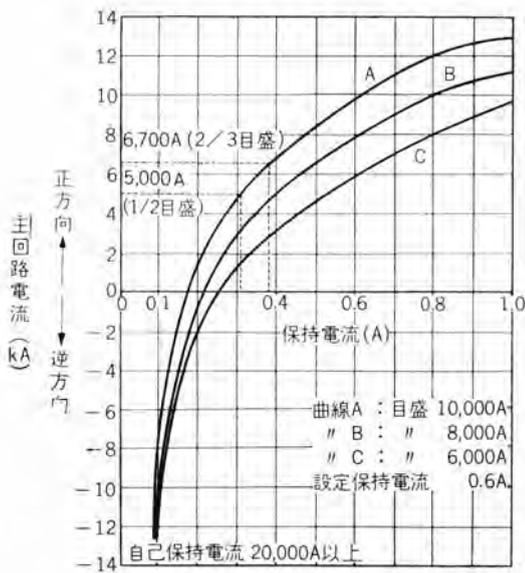


図 5.1 AHF-30 形高速度シ断器の動作特性曲線
Fig. 5.1 Calibration curve of type AHF-30 high speed circuit breaker.

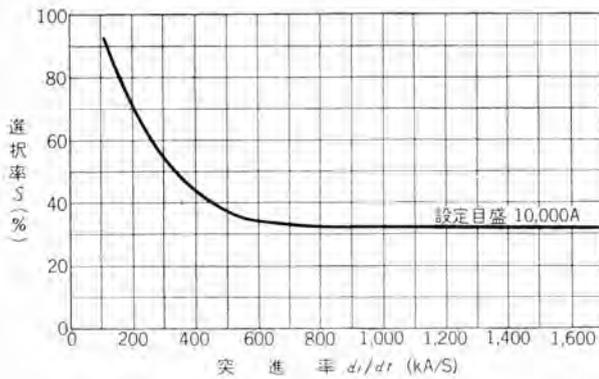


図 5.2 AHF-30 形高速度シ断器の選択特性
Fig. 5.2 Fault discriminating characteristics of type AHF-30 high speed circuit breaker.

の各電流目盛に設定したばあいの保持電流対動作電流特性曲線を図 5.1 に示す。図からみられるように、このシ断器は保持回路に抵抗を挿入し、保持電流設定値を変更することにより遠方からの目盛変更が可能である。

最高動作電流目盛が 10,000 A の高い値であるにもかかわらず、各電流目盛での目盛誤差は 400 A 以下であった。また自己保持電流は 20,000 A 以上であり、キ電線用シ断器として考えられる逆流値を大きく上回っている。

(2) 選択特性

このシ断器は誘導分路の鉄心積厚を十分に持ち、高い選択率をとりうることは前に述べた。最終選択率を 33% に調整したばあいの突進率と選択率の関係を図 5.2 に示す。

5.2 温度上昇

表 5.1 に温度上昇試験結果を示す。表に示されるように、このシ断器は十分な通電容量を持っている。

表 5.1 温度上昇試験結果

| 測定部分 | 温度上昇 (°C) | | |
|---------|-----------|------|-----|
| | A | B | 規格値 |
| 下部端子 | 23 | 22.5 | 40 |
| 引はずレコイル | 9 | 6.7 | |
| 主接触部 | 48 | 64 | 75 |
| 上部端子 | 26 | 21 | 40 |

(注) A: 3,000 A 連続
B: 3,000 A 1 時間通電後、9,000 A 1 分間通電時の最大温度上昇値

表 5.2 絶縁耐力試験

| 測定部 | 試験電圧 | |
|-----------------------|----------------|-----------|
| | 商用周波 (kV 1 分間) | 衝撃電圧 (kV) |
| 主接触部相互間 | 5.5 | 12 |
| 主導電部と操作装置の導電部および接地部の間 | 5.5 | 20 |
| 操作装置の導電部と接地部の間 | 1.5 | 5 |

5.3 絶縁耐力

絶縁耐力試験は、商用周波絶縁耐力試験および衝撃電圧試験を表 5.2 の値で行ない、いずれも問題なく合格した。

5.4 シ断試験

(1) 直流シ断試験

直流大電流シ断試験が国鉄技術研究所二宮実験所で行なわれた。この試験でシ断器は突進率 3×10^6 A/s 推定短絡電流最大値 50,000 A の回路を実シ断電流 20,500 A に限流シ断し、その限流特性のすぐれていることを立証した。

一連の試験での代表的な試験結果を表 5.3 に、突進率

表 5.3 直流シ断試験結果

| 給与電圧 (V) | 推定短絡電流最大値 (A) | 回路インダクタンス (mH) | 実シ断電流 (A) | アーク電圧最大値 (V) | アーク電圧上昇までの時間 (mS) | 全シ断時間 (mS) | 摘要 |
|----------|---------------|----------------|-----------|--------------|-------------------|------------|-------|
| 1,520 | 10,000 | 0.5 | 9,150 | 1,730 | 7.5 | 15.9 | O動作 |
| 1,510 | 20,000 | 0.5 | 13,400 | 2,130 | 7.8 | 16.0 | |
| 1,520 | 30,000 | 0.5 | 17,400 | 2,350 | 7.3 | 15.3 | |
| 1,530 | 40,000 | 0.5 | 20,250 | 2,480 | 7.1 | 16.0 | |
| 1,530 | 50,000 | 0.5 | 20,500 | 2,450 | 6.6 | 15.5 | |
| 1,490 | 10,000 | 0.5 | 8,900 | 1,960 | 7.8 | 14.5 | |
| 1,500 | 20,000 | 0.5 | 13,400 | 2,190 | 7.1 | 14.9 | |
| 1,490 | 30,000 | 0.5 | 17,150 | 2,330 | 7.3 | 15.6 | |
| 1,500 | 40,000 | 0.5 | 19,450 | 2,430 | 6.6 | 15.0 | |
| 1,490 | 50,000 | 0.5 | 21,000 | 2,610 | 6.8 | 15.5 | |
| 1,500 | 10,000 | 2 | 7,300 | 2,450 | 18.1 | 33.0 | C/O動作 |
| 1,500 | 20,000 | 4 | 8,300 | 2,900 | 30.8 | 58.4 | |

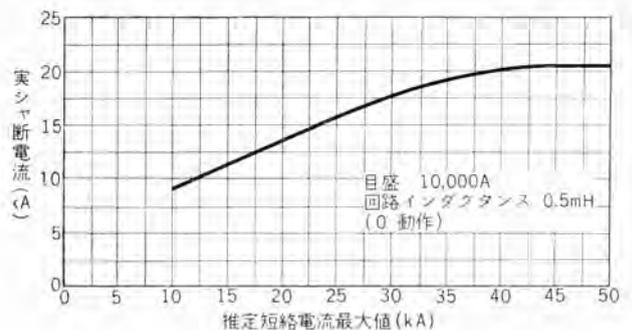


図 5.3 推定短絡電流最大値と実シ断電流の関係
Fig. 5.3 Current limiting characteristics of type AHF-30 high speed circuit breaker.

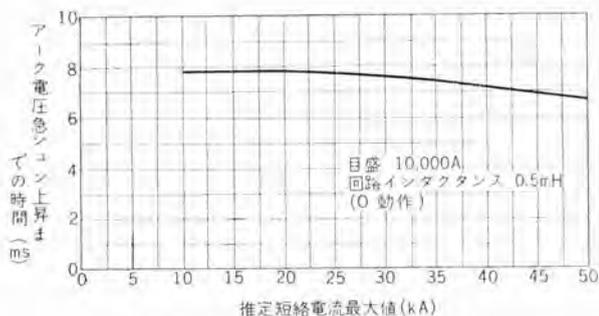


図 5.4 推定短絡電流最大値とアーク電圧急シユン上昇までの時間の関係

Fig. 5.4 Relation between final current and time to the rapid rising of arc voltage.

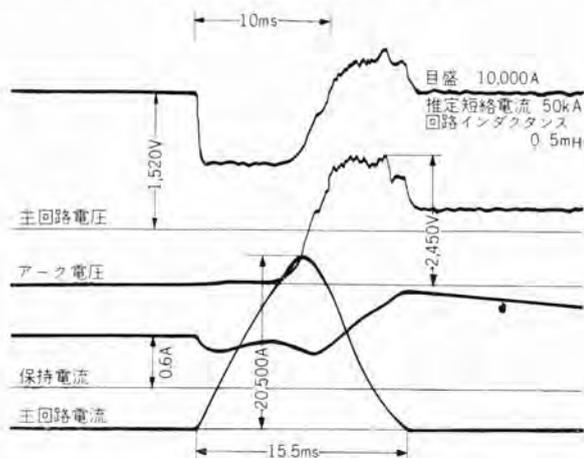


図 5.5 直流シユ断試験オシログラム

Fig. 5.5 Oscillogram of DC interrupting test.

3×10^6 A/s ($L=0.5$ mH) のときの推定短絡電流最大値と実シユ断電流の関係を図 5.3 に、おなじくアーク電圧が急シユンに上昇するまでの時間との関係を図 5.4 に、また突進率 3×10^6 A/s 推定短絡電流最大値 50,000 A をシユ断したときのオシログラムを図 5.5 に示す。

(2) 交流等価試験

前記の国鉄技術研究所二宮実験所の設備は、直流 1,500 V シユ断試験電源として、現在わが国最大容量のものである。このシユ断器について、さらに大電流に対するシユ断性能を確認するために、当社伊丹製作所の 50 MVA 交流短絡発電機を使用して交流等価試験を行なった。直流シユ断器の交流等価試験法としては、現在数種の方法が提案されているが、そのうち交流発電機を低速運転し、その電圧波の波高値付近を直流とみなして試験を行なう方法がもっともその等価性が高いと考えられる。今回の試験では短絡発電機を約 10 c/s で低速運転を行ない、十数回のシユ断試験を行なった。またその回路条件は電鉄回路の実情を考慮して、とくに電流上昇率の高い所について試験を行なった。

この試験の試験回路を図 5.6 に示す。また同試験結果のおもなものを表 5.4 に、電流突進率 2.9×10^6 A/s 推定

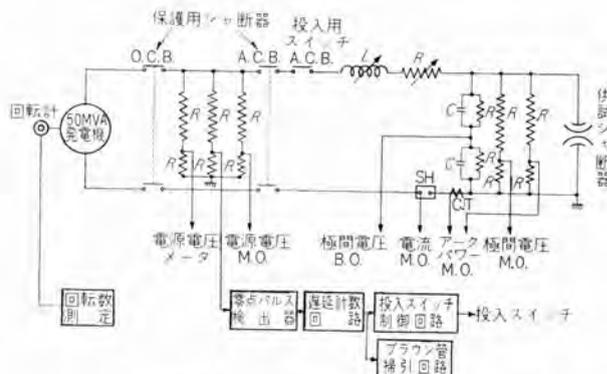


図 5.6 交流等価シユ断試験回路

Fig. 5.6 The circuit of AC equivalent interrupting test.

表 5.4 交流等価シユ断試験結果

| 推定短絡電流最大値 (A) | 電流突進率 (A/s) | 試験電圧 (V) | | 実シユ断電流 (A) | アーク電圧最大値 (V) | 全シユ断時間 (mS) |
|---------------|--------------------|----------|-------|------------|--------------|-------------|
| | | 投入電圧 | 回復電圧 | | | |
| 51,000 | 2.75×10^6 | 1,530 | 1,580 | 22,100 | 3,100 | 18.6 |
| 73,000 | 2.75×10^6 | 1,500 | 1,580 | 23,700 | 3,100 | 18.8 |
| 93,000 | 2.75×10^6 | 1,460 | 1,580 | 25,400 | 3,100 | 20.0 |
| 136,000 | 2.9×10^6 | 1,450 | 1,470 | 27,000 | 3,250 | 19.5 |

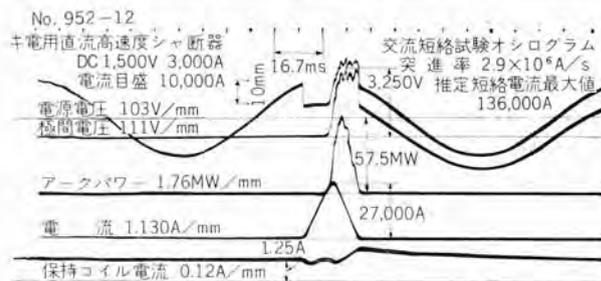


図 5.7 交流等価シユ断試験オシログラム

Fig. 5.7 Oscillogram of AC equivalent interrupting test.



図 5.8 交流等価試験のシユ断状況 (回路条件; 突進率 2.9×10^6 A/s 推定短絡電流最大値 136,000A)

Fig. 5.8 AC equivalent interrupting test.

短絡電流最大値 136,000 A のときのシユ断試験オシログラムを図 5.7 に、この試験のときのシユ断状況の写真を図

コンデンサ形計器用変圧器

伊丹製作所 志村 勲*・早瀬 通明**

Capacitor Potential Devices

Itami Works Isao SHIMURA・Michiaki HAYASE

Capacitor potential devices have come into greater use lately because of their reliability in insulation and of their low costs, as well as their adaptability as coupling units in carrier frequency system when built in a coupling capacitor type. Mitsubishi has been manufacturing two types of them: the PCA-1 coupling capacitor potential device and the PBA-1 condenser bushing potential device, the latter being a condenser bushing used for the capacitor voltage divider. However, the company has recently added new models to the production: PCA-2A coupling capacitor potential device, PBA-3A and PBA-2A condenser bushing potential devices. They have features of high accuracy, large outputs and negligible transient effect. This makes the devices widely applicable to relaying, metering, synchronizing and carrier relay schemes.

1. ま え が き

コンデンサ形計器用変圧器(以下PDと略称する)は電磁形計器用変圧器にくらべて回路電圧が高くなるほど安価となり、絶縁の信頼度が高く、また結合コンデンサ形であれば搬送用結合コンデンサにも共用できるなどの特長があるため、計器、継電器あるいは計量用の電圧要素として盛んに使用されるようになった。当社は昭和12年以來シト断器や変圧器のコンデンサブッシングの静電容量を利用するコンデンサブッシング形PDを多数製作してきたが、戦後のめざましい電力需要の増大は新鋭水力発電所や送電線の新設を促し、その結果PDの需要もとみにふえてきたため、回路電圧により二次負担に制限のあるコンデンサブッシング形よりも負担の大きくとれる結合コンデンサの静電容量を利用する結合コンデンサ形PDをも開発し需要に応じてきた。その後改良研究を重ねてきたが、このほどPCA-2A形結合コンデンサ形PDと、PBA-3AとPBA-2A形コンデンサブッシング形PDを完成した。以下にその特性と構造の概要を説明する。

2. 結合コンデンサ形PD

結合コンデンサと分圧コンデンサの和の静電容量と共振リアクタのインダクタンスを系統周波数で直列共振させた共振形で、コンデンサの静電容量を適当に選ぶことにより任意の二次負担を取りうる。

2.1 形式

標準として計器および継電器用と、搬送用結合コンデンサと共用するものに分けている。

計器および継電器用

PCA-2A形

搬送用結合コンデンサと共用のもの PCA-2AC形

2.2 定格

定格電圧と定格負担は表2.1を標準としている。PCA-2A形とPCA-2AC形はPDとしての定格は同様である。定格負担はとくに指定があれば500VAのものも製作する。周波数は50c/sと60c/sを標準とする。

表 2.1 結合コンデンサ形PDの定格

| 形式記号 | 定格一次電圧 (kV) | 定格二次電圧 (V) | 定格三次電圧 (V) | 定格二次負担 (VA) * | 定格三次負担 (VA) |
|-----------|----------------|----------------|---------------|---------------------|----------------|
| PCA-2A-6 | 66 $\sqrt{3}$ | 110 $\sqrt{3}$ | 110/3 | 200 | 200 |
| PCA-2A-7 | 77 $\sqrt{3}$ | 110 $\sqrt{3}$ | 110/3 | 200 | 200 |
| PCA-2A-10 | 110 $\sqrt{3}$ | 110 $\sqrt{3}$ | 110/3 | 200 | 200 |
| PCA-2A-14 | 154 $\sqrt{3}$ | 110 $\sqrt{3}$ | 110/3 | 200 | 200 |
| PCA-2A-20 | 220 $\sqrt{3}$ | 110 $\sqrt{3}$ | 110/3 | 200 | 200 |
| PCA-2A-25 | 275 $\sqrt{3}$ | 110 $\sqrt{3}$ | 110/3 | 200 | 200 |

とくに指定があれば、500VAのものも製作する。

* 二次と三次の両巻線に同時に負荷できる最大負担を示す

2.3 変成特性

結合コンデンサ形PDの二次と三次電圧の誤差限度は表2.2と表2.3のようにPD規格JEC-140の1.0級を無調整で満足する。PDは直列共振を利用しているため系統の周波数変化の影響を受ける。この周波数特性は負担誤差とPD回路のQすなわち $\omega L/R$ に比例して悪くなるから、負担誤差を減少させるとともにQを小さくしてその改善を計った。

表 2.2 結合コンデンサ形PDと1.0級コンデンサブッシング形PD二次電圧誤差限度

| 規格 | JEC-140 | 誤差限度 | | 誤差変化 |
|-----|---------|-----------|-----------|-----------|
| 条 件 | 周波数(%) | 100 | 100 | 95~105 |
| | 電圧(%) | 80~120 | 5~10 | 100 |
| | 負担率 | 25~100 | 25~100 | 100 |
| 比 例 | 誤差(%) | 0.8遅れ | 0.8遅れ | 0.8遅れ |
| | 相角(分) | ± 1.0 | ± 2.0 | ± 2.0 |
| 位 相 | | ± 4.0 | ± 120 | ± 80 |

(三次巻線開放の場合)

表 2.3 結合 コンデンサ PD とコンデンサブッシング PD の三次電圧誤差限度

| 規格 | JEC-140 | 誤差限度 |
|----|---------|---------|
| 条件 | 周波数 (%) | 100 |
| | 電圧 (%) | 100~173 |
| 比位 | 負担 (%) | 25~100 |
| | 負担率 (%) | 0.8 遅れ |
| 位置 | 誤差 (%) | ±5 |
| | 相角 (分) | ±300 |

(二次巻線開放の場合)

2.4 絶縁耐力

PD の絶縁耐力試験は表 2.4 の PD 規格 JEC-140 により試験する。もし搬送用結合コンデンサに共用するときは JEC-123 により試験する。

表 2.4 PD の絶縁耐力試験電圧

| 定格一次電圧 (kV) | 絶縁階級 号 | AC1 分間 (kV) | 衝撃波標準全波 (kV) | 変圧器二次側 AC1 分間 (kV) |
|-------------|--------|-------------|--------------|--------------------|
| 66/√3 | 60 | 140 | 350 | 2 |
| 77/√3 | 70 | 160 | 400 | |
| 110/√3 | 100 | 230 | 550 | |
| 132/√3 | 120 | 275 | 650 | |
| 154/√3 | 140 | 320 | 750 | |
| 187/√3 | 170 | 390 | 900 | |
| 220/√3 | 200 | 460 | 1,050 | |

表 2.5 PD の温度上昇限度

| 場所 | 温度測定法 | 温度上昇限度 (°C) |
|----|-------|-------------|
| 巻線 | 抵抗法 | 55 |
| 鉄心 | 温度計法 | 50 |
| 端子 | 温度計法 | 25 |

2.5 温度上昇

PD の温度上昇は PD 規格により、定格負担をつないで定格電圧の 120% で温度上昇させて飽和後、√3 倍の電圧で 30 分間引続き試験する。試験後の温度上昇は表 2.5 の限度以下である。これは系統 1 線地絡時健全相につないだ PD は 30 分以上使用できることを意味する。

2.6 構造



図 2.1 結合コンデンサ形 PD 外観
Fig. 2.1 Coupling capacitor potential devices.

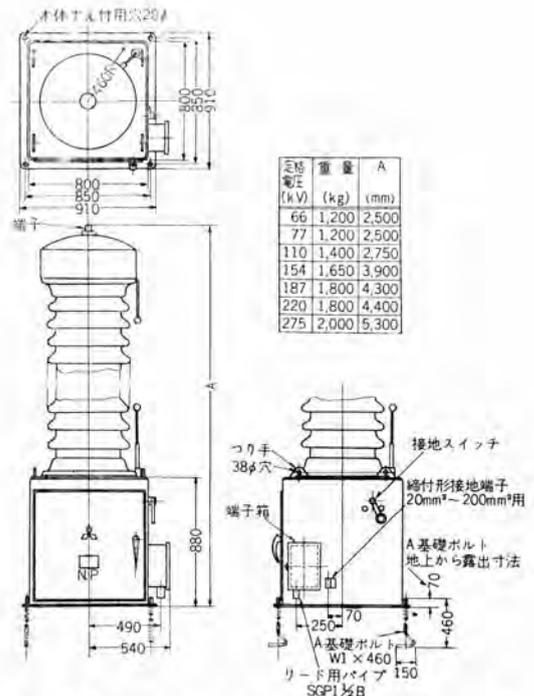


図 2.3 PCA-2A 形結合コンデンサ形 PD の寸法図
Fig. 2.3 Dimensions of type PCA-2A coupling capacitor potential devices.

図 2.1 は結合コンデンサ形 PD の外観を、図 2.2 は内部構造を、図 2.3 は寸法図を、また図 2.4 は回路図を示す。構造は結合コンデンサと分圧コンデンサを封入したガイ管と PD 本体から構成されていて、風速 50 m、震度 0.5 G に耐えるように設計している。PD 本体は屋外用防水キャビネットに入れてあり、保護間げき・接地開閉器・漏洩リアクタ付主変圧器・可変空げきリアクタ・保護ヒューズ・固定負担・および電熱器より構成されている。搬送用に結合コンデンサを共用するときはチョークコイルを取付ける。

以下各部の構造および特長につき説明する。

(1) 結合コンデンサと分圧コンデンサ

コンデンサには約 0.03%/°C の温度係数があるから結合コンデンサと分圧コンデンサを別置き構造とすれば、両者の温度変化が異なるため分圧比が変化する。したがって結合コンデンサと分圧コンデンサを同一ガイ管に入れてガイ管下部より分圧端子と接地用端子を出している。頭部には油量調整装置を

図 2.2 PCA-2A-6 形結合コンデンサ形 PD の内部
Fig. 2.2 Interior view of the type PCA-2A-6 coupling capacitor potential device.

大きく取れないのが欠点とされていた。しかし新製品では $275/\sqrt{3}$ kV 用で 180 VA の負担がとれる上、その性能も結合コンデンサ形とほぼ同様までに向上してきたから、最近の超高压送電線の建設とともにふたたび大きくフォローアップされるようになった。コンデンサラッシングの静電容量は絶縁階級によりちがうから、二次と三次の定格負担は絶縁階級により異なる。たとえば一次電圧が $275/\sqrt{3}$ kV のとき 180 VA、 $110/\sqrt{3}$ kV で 40 VA の定格二次負担となる。一次電圧が $110/\sqrt{3}$ kV 以下では二次負担が小さくなるからこれまで取付けられなかったが、100 号コンデンサラッシングを使用する場合だけ 15 VA の最大定格負担が取れるようになった。また $110/\sqrt{3}$ kV 用以上の OT 形コンデンサラッシングであれば、既設のものにでも PD を追加取付けできる。

3.1 形式

計器および継電器用……PBA-3A 形

既設の OT 形コンデンサラッシングに追加取付けする場合は……PBA-2A 形

3.2 定格

定格電圧と負担は表 3.1 を標準とする。ただし既設の OT 形コンデンサラッシングに追加取付けする場合は、分圧タップ電圧が PBA-3A 形と異なるため、表 3.2 を定格とする。周波数はいずれも 50 c/s と 60 c/s を標準とする。

3.3 変成特性

コンデンサラッシング形 PD はコンデンサラッシングの静電容量に制限があるため共振リアクタンスが大きくなる。しかし分圧タップ電圧を大きくし、また共振リアクタの Q を大

表 3.1 コンデンサラッシング形 PD の定格

| 形式記号 | 定格一次電圧 (kV) | 定格二次電圧 (V) | 定格三次電圧 (V) | 2.0 級のときの定格二次負担 (VA) | 1.0 級のときの定格二次負担 (VA) | 定格三次負担 (VA) |
|-----------|----------------|----------------|------------|----------------------|----------------------|-------------|
| PBA-3A-10 | $110/\sqrt{3}$ | $110/\sqrt{3}$ | 110/3 | 40 | 20 | 40 |
| PBA-3A-12 | $132/\sqrt{3}$ | $110/\sqrt{3}$ | 110/3 | 60 | 35 | 60 |
| PBA-3A-14 | $154/\sqrt{3}$ | $110/\sqrt{3}$ | 110/3 | 80 | 45 | 80 |
| PBA-3A-17 | $187/\sqrt{3}$ | $110/\sqrt{3}$ | 110/3 | 100 | 60 | 100 |
| PBA-3A-20 | $220/\sqrt{3}$ | $110/\sqrt{3}$ | 110/3 | 150 | 80 | 150 |
| PBA-3A-25 | $275/\sqrt{3}$ | $110/\sqrt{3}$ | 110/3 | 180 | 100 | 180 |

* 二次と三次の両巻線に同時に負荷できる最大負担を示す

表 3.2 既設の OT 形コンデンサラッシングに追加取付けされるコンデンサラッシング形 PD の定格

| 形式記号 | 定格一次電圧 (kV) | 定格二次電圧 (V) | 定格三次電圧 (V) | 定格二次負担 (VA) | 定格三次負担 (VA) |
|-----------|----------------|----------------|------------|-------------|-------------|
| PBA-2A-10 | $110/\sqrt{3}$ | $110/\sqrt{3}$ | 110/3 | 25 | 25 |
| PBA-2A-12 | $132/\sqrt{3}$ | $110/\sqrt{3}$ | 110/3 | 35 | 35 |
| PBA-2A-14 | $154/\sqrt{3}$ | $110/\sqrt{3}$ | 110/3 | 45 | 45 |
| PBA-2A-17 | $187/\sqrt{3}$ | $110/\sqrt{3}$ | 110/3 | 60 | 60 |
| PBA-2A-20 | $220/\sqrt{3}$ | $110/\sqrt{3}$ | 110/3 | 80 | 80 |
| PBA-2A-25 | $275/\sqrt{3}$ | $110/\sqrt{3}$ | 110/3 | 100 | 100 |

* 二次と三次両巻線に同時に負荷できる最大負担を示す。

表 3.3 PBA-3A 形コンデンサラッシング形 PD の 2.0 級定格負担時、および PBA-2A 形コンデンサラッシング形 PD を既設 OT 形ラッシングに追加取付けするときの二次電圧誤差限度

| 規格 | JEC-140 | 誤差限度 | | 誤差変化 |
|----|---------|---------|--------|--------|
| 系統 | 周波数 (%) | 100 | 100 | 95~105 |
| | 電圧 (%) | 80~120 | 5~10 | 100 |
| | 負担 (%) | 25~100 | 25~100 | 100 |
| 特性 | 負担力率 | (0.8)遅れ | 0.8 遅れ | 0.8 遅れ |
| | 比位 | 誤差 (%) | ±2.0 | ±4 |
| | 相角 (分) | ±80 | 240 | ±160 |

きくして変成特性の改善を計った。ただし周波数特性は結合コンデンサ形にくらべて悪くなる。これまで製作していた旧形は二次調整形であったが、現在では無調整形としてある。たとえば $275/\sqrt{3}$ kV 用では 100 VA で 1.0 級、180 VA のとき 2.0 級を保証できる。負担の範囲により二次電圧誤差限度が異なるが、1.0 級のときの二次電圧誤差限度は表 2.2 に、2.0 級のときの二次電圧誤差限度を表 3.3 に示す。もし負担範囲に対してタップを当社指定値に接続変更すればもちろん 1.0 級になる。コンデンサラッシング形 PD は $275/\sqrt{3}$ kV 用のときは JEC-140、25 VA、0.5 M 級の変成特性を保証できる。既設の OT 形コンデンサラッシングに PBA-2A 形 PD を追加取付けするときの二次電圧誤差限度は PBA-3A 形用と分圧タップがちがうから変成特性は PBA-3A 形にくらべて悪くなる。このときの誤差限度は表 3.3 による。もちろんこの場合も負担範囲に対して当社指定値にタップを接続変更すれば誤差限度を 1.0 級とすることも容易である。

3.4 絶縁耐力

結合コンデンサ形 PD と同様に表 2.4 の JEC-140 により試験する。

3.5 温度上昇

結合コンデンサ形 PD と同様に表 2.5 の JEC-140 の限度以下である。

3.6 構造

図 3.1 はコンデンサラッシング形 PD を油シヤ断器に取付けるところを示す。図 3.2 は外観を、図 3.3 は寸法図を、また図 3.4 は回路図を示す。構造は PD 本体と、コンデンサラッシングのタップと PD 本体を接続する接続ケーブルより構成されている。PD 本体は屋外用防水キャビネットに入れてあり、保護間げき・接地開閉器・漏洩リアクタ付主変圧器・可変空げきリアクタ・電熱器・および保護ヒューズより構成されている。キャビネットの外形寸法は一次電圧のいかんにかかわらず一定である。

(1) コンデンサラッシング

絶縁階級 80 号以上の三菱 OT 形コンデンサラッシングには、接地側より 2 層目からすべて分圧タップが出してあるが、PBA-3A 形 PD と組み合わせるときだけ 3 層目より分圧タップを出す。したがって分圧電圧と静電容量が 2 層目



図 3.1 コンデンサブッシング形 PD を油シタ断器に取付けた写真

Fig. 3.1 Condenser bushing potential device mounted on the oil circuit breaker tank.

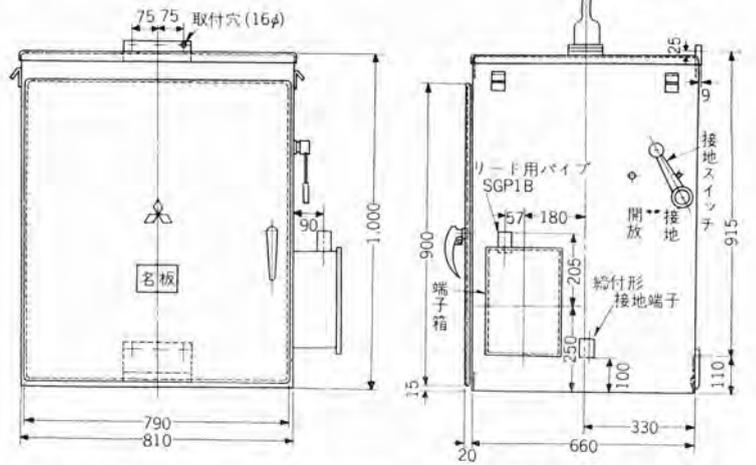


図 3.3 PBA-3A 形と PBA-2A 形 コンデンサブッシング形計器用変圧器の寸法図
Fig. 3.3 Dimensions of type PBA-3A and PBA-2A condenser bushing potential devices.



図 3.2 PBA-3A 形 コンデンサブッシング形 PD の内部

Fig. 3.2 Interior view of the type PBA-3A condenser bushing potential device.

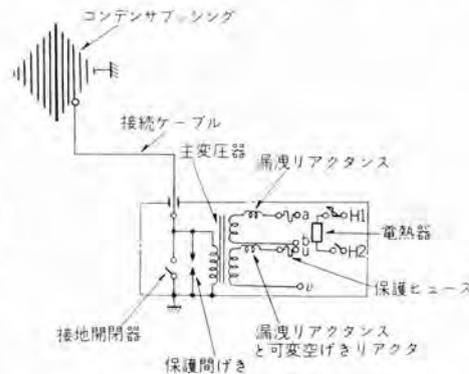


図 3.4 コンデンサブッシング形 PD の回路図

Fig. 3.4 Schematic diagram of the condenser bushing potential device.

用に コンデンサブッシングは使用されないまた分圧タップの衝撃波分圧電圧は静電容量だけによる分圧電圧よりも小さくなるため、結合コンデンサ形 PD ほど保護間げき放電値は高くある必要はない。したがってこの衝撃波放電開始電圧は分圧タップ電圧波高値の3倍で放電するように設定している。この保護間げきには 50 mm の標準球間げきを使用している。

と 3 層目のもので異なるから PBA-3A 形と PBA-2A 形では定格負担と誤差限度が異なる。おのおのの形では絶縁階級が変わると分圧タップ電圧は同様であるが、静電容量は異なる。OT 形 コンデンサブッシングには線路側端子と接地側フランジ間に球間げきが入れてあり一定の絶縁保護レベルに保っている。この OT 形 コンデンサブッシングはすでに本誌に発表⁽³⁾されているから、詳細はここでは割愛する。

(2) 接続ケーブル

コンデンサブッシングの分圧タップと PD 内部の主変圧器一次側を接続する鉛被ケーブルで、PD 側端子はトウ管で出している。

(3) 保護間げき

結合コンデンサ形 PD と同様にすべて保護間げきを採用し、線路より襲来するサージに対して PD 回路を保護すると同時に、二次と三次側の短絡に対しても放電保護する。結合コンデンサ形 PD とちがってコンデンサブッシング形 PD はコンデンサブッシングの静電容量が小さいから、搬送

(4) 接地開閉器、漏洩リアクタ付主変圧器、可変空げきリアクタおよび電熱器
結合コンデンサ形と同様である。

(5) 保護ヒューズ

前述のように保護間げきは二次と三次側の短絡に対しても放電保護するが、二重保護の意味で二次と三次側には FL 形低圧ヒューズを入れている。二次短絡電流は一次電圧と変成特性によりその大きさがちがってくるから、ヒューズの定格は一次電圧と変成特性により異なる。

4. 波 形

原理的に PD は基本波で直列共振しているため、高調波に対して高インピーダンスとなるから一次電圧波形よりも二次電圧波形のほうがヒズミは少なくなる傾向がある。そして PD 回路の Q が小さいほどまた負担が小さいほどヒズミは少なくなり、無負担では一次電圧波形と二次電圧波形はほとんど等しくなる。

5. 過渡特性

共振形 PD の等価回路は RLC の直列回路で表わされるから一次側の過渡現象に対してわずかではあるが記憶作用 (memory action と呼ばれている) がある。この記憶作用と継電器との関係は アメリカ を始めわが国でも種々検討されているが、この程度の記憶作用はたいていの高速度継電器に対してほとんど問題にならないことが判明している。以下に一次側投入、急増、開放、および接地時の過渡特性につき述べる。

5.1 一次側投入開放時の過渡特性

図 5.1 は結合コンデンサ形 PD, 図 5.2 はコンデンサブッシング形 PD の一次側投入開放時の過渡現象を示す。

I_{PD} は PD 二次電流を, E_{PT} は一次側に接続された PT の二次電圧を, E_{PD} は PD の二次電圧を示す。投入時は PT と PD の波形はまったく同様であるが、開放時の PD

二次電圧 E_{PD} は分圧コンデンサの放電現象であるから負担が大きいほど過渡現象は早く消滅する。PT 二次電圧 E_{PT} は結合コンデンサの線路側に接続した PT の二次電圧であるから結合コンデンサの放電現象を示す。しかしこの一次側の開放は継電器には無関係であるから問題にする必要はない。

5.2 一次側急増時の過渡特性

図 5.3 は結合コンデンサ形 PD, 図 5.4 はコンデンサブッシング形 PD の一次側電圧を約 30% 急増したときの過渡現象を示す。PT と PD はまったく同様である。

5.3 一次側完全接地時の過渡特性

継電器にはこの場合がもっとも重要である。図 5.5 は結合コンデンサ形 PD, 図 5.6 はコンデンサブッシング形 PD の一次側完全接地時の過渡現象を示す。結合コンデンサ形 PD の記憶作用は、残留電圧の波高値で 10% 以下、故障発生後 1 サイクル以内には消滅して電磁形 PT とほとんど変わらない。コンデンサブッシング形では波高値で 20%

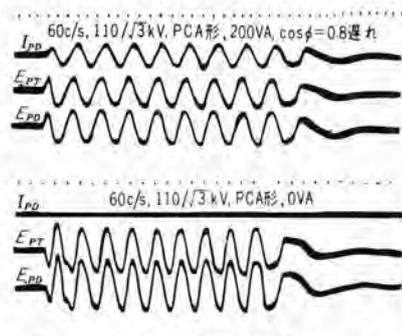


図 5.1 結合コンデンサ形 PD の一次側投入開放時の過渡特性

Fig. 5.1 Primary circuit switch on and off transient test for C. P. D. (C.P.D.=Coupling capacitor potential device).

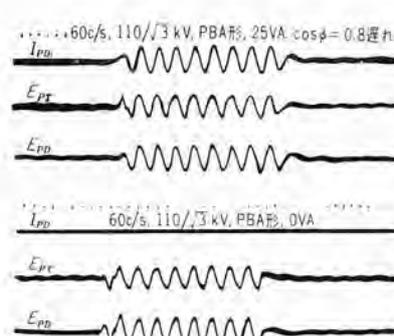
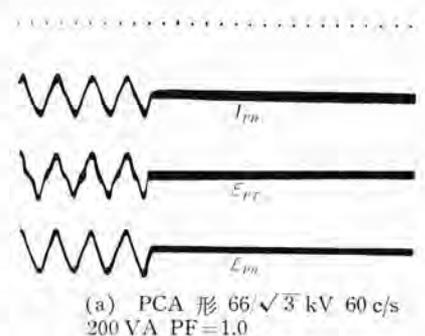
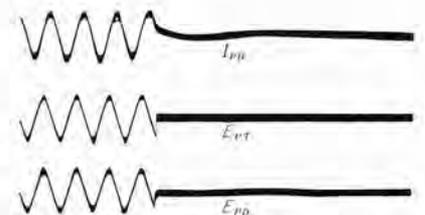


図 5.2 コンデンサブッシング形 PD の一次側投入開放時の過渡特性

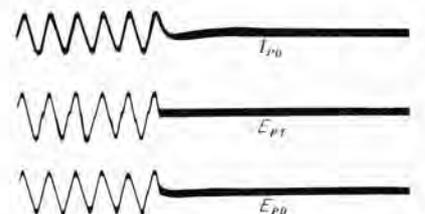
Fig. 5.2 Primary circuit switch on and off transient test for B. P. D. (B.P.D.=Condenser bushing potential device).



(a) PCA 形 $66/\sqrt{3}$ kV 60 c/s 200 VA PF=1.0



(b) PCA 形 $66/\sqrt{3}$ kV 60 c/s 200 VA PF=0.8 遅れ



(c) PCA 形 $66/\sqrt{3}$ kV 60 c/s 200 VA PF=0.2 遅れ

図 5.5 結合コンデンサ形 PD の一次側完全接地時の過渡特性
Fig. 5.5 Primary line to ground fault transient test for C.P.D.

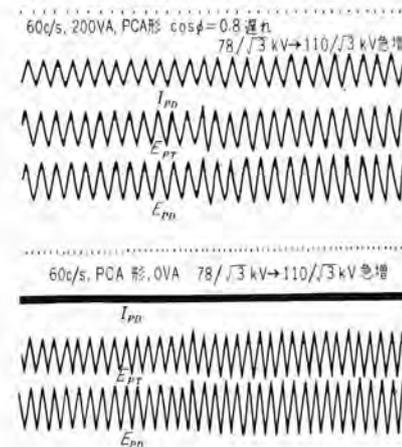


図 5.3 結合コンデンサ形 PD の一次電圧急増時の過渡特性

Fig. 5.3 Transient test for the sudden increase of the primary voltage(B.P.D.).

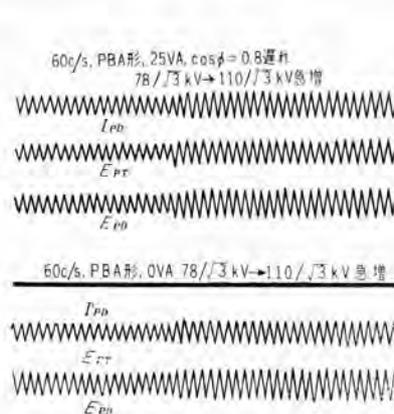


図 5.4 コンデンサブッシング形 PD の一次電圧急増時の過渡特性

Fig. 5.4 Transient test for the sudden increase of the primary voltage (B.P.D.).

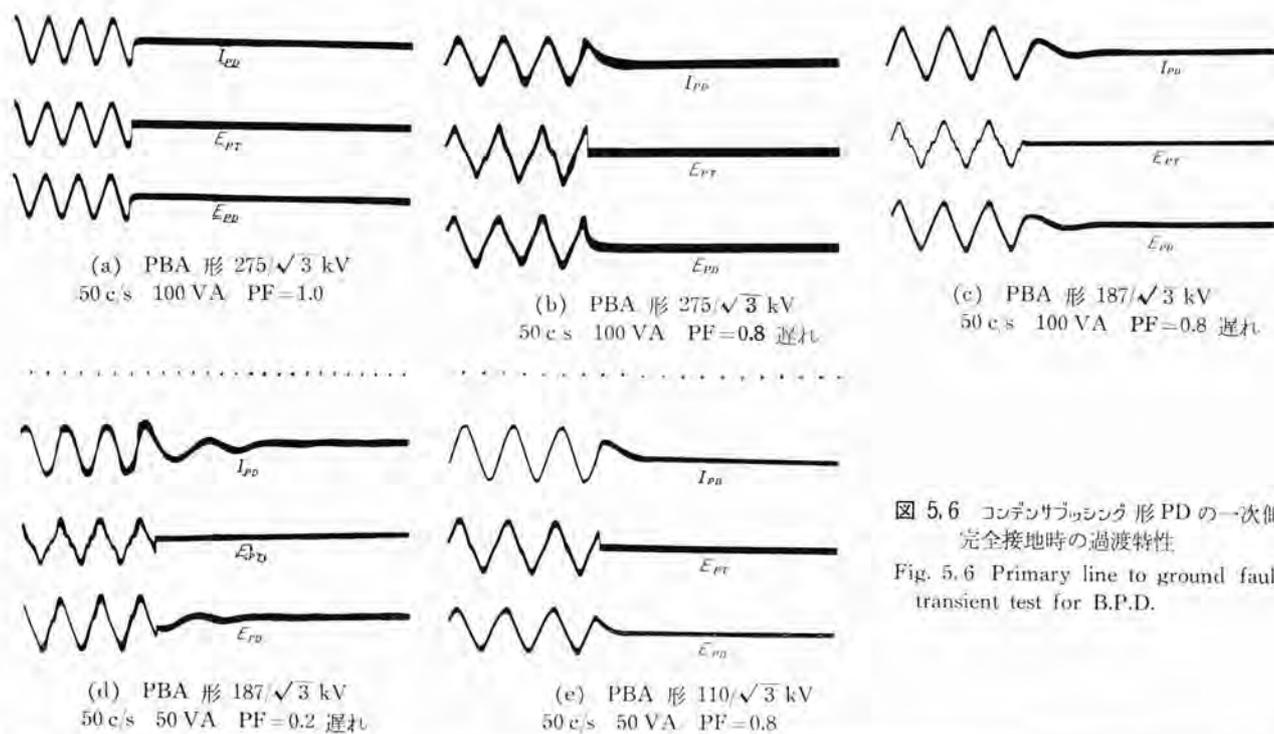


図 5.6 コンデンサブッシング形 PD の一次側完全接地時の過渡特性
Fig. 5.6 Primary line to ground fault transient test for B.P.D.

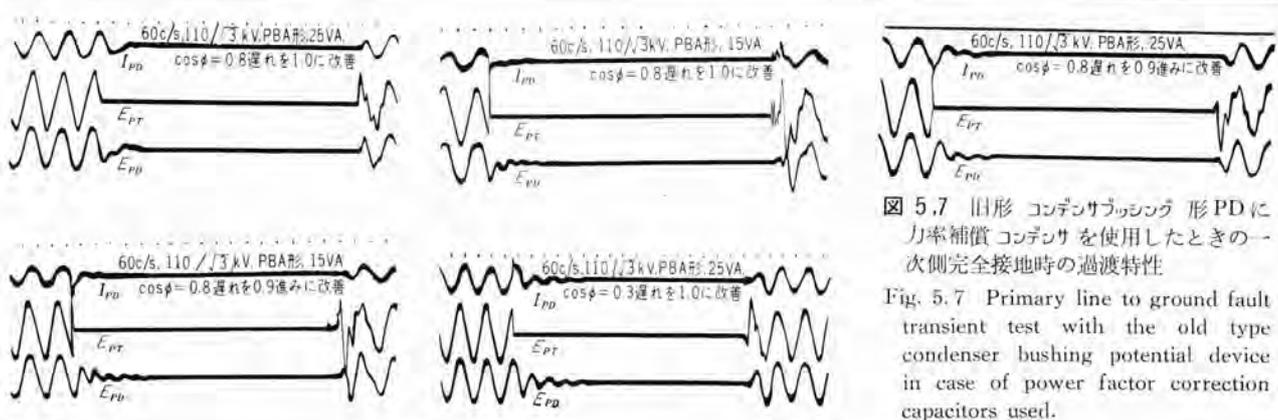


図 5.7 旧形 コンデンサブッシング形 PD に
力率補償コンデンサを使用したときの一次側完全接地時の過渡特性
Fig. 5.7 Primary line to ground fault transient test with the old type condenser bushing potential device in case of power factor correction capacitors used.

以下、故障発生後1サイクル以内で消滅しているが、187/√3 kV以上のものは結合コンデンサ形とほとんど変わらない。すなわち結合コンデンサ形では制動的であるが、コンデンサブッシング形では回路電圧が高いほど制動的で低くなれば振動的になる傾向がある。一次側接地時の過渡現象はPD回路の定数、負担の大きさと力率、および故障時の電圧位相により左右される。したがって負担の力率が悪くなれば振動的になり、また故障発生時の電圧位相が零度のときに最大となる。この過渡現象は筆算でも、電子管式アナコンでも、また同期スイッチ式アナコンでも容易に解析できる。AIEE規格で製作するときだけPDは負担に並列に力率補償用コンデンサを取付けているが、この力率補償の影響につき旧形のコンデンサブッシング形PDで一次側接地過渡現象試験を行なったときの波形を図5.7に示す。この場合はPD回路のMain-transientと、

負担と並列の力率補償コンデンサよりなる回路のSub-transientが重畳するDouble energy transientsとなる。一般にPDの一次側接地時の過渡特性は、固有周波数が系統周波数にはほぼ等しいが時間遅れのあるものと、周波数が変化するものの二つに分けて考えることが必要である。力率補償コンデンサを用いたときの過渡特性は振動的になり故障発生位相が90度のときに最大波高値となる。残留電圧の固有周波数は力率補償の程度により変るから継電器の種類につき検討することが必要である。AIEEのCommittee reportによれば継電器用としてPDに最大抵抗負担を与えて後に約10度の進みに力率補償を行なうことを推奨している。

6. 異常現象

PDは変圧器の励磁特性の非直線性とコンデンサとによ

り軽負担時に接地開閉器の開閉、保護間げきの放電復帰、二次回路の短絡復帰などの電氣的衝撃を与えると、衝撃の程度により鉄共振を発生することがあると考えられている。PD の鉄共振は分数調波振動でこの鉄共振現象が

発生すれば励磁電流の異常増大、継電器誤動作、計器誤指示などの障害を招くおそれがある。PD の鉄共振現象は変圧器の励磁特性、二次負担の大きさと種類、静電容量、動作電圧、および系統の周波数により決まる。したがっ

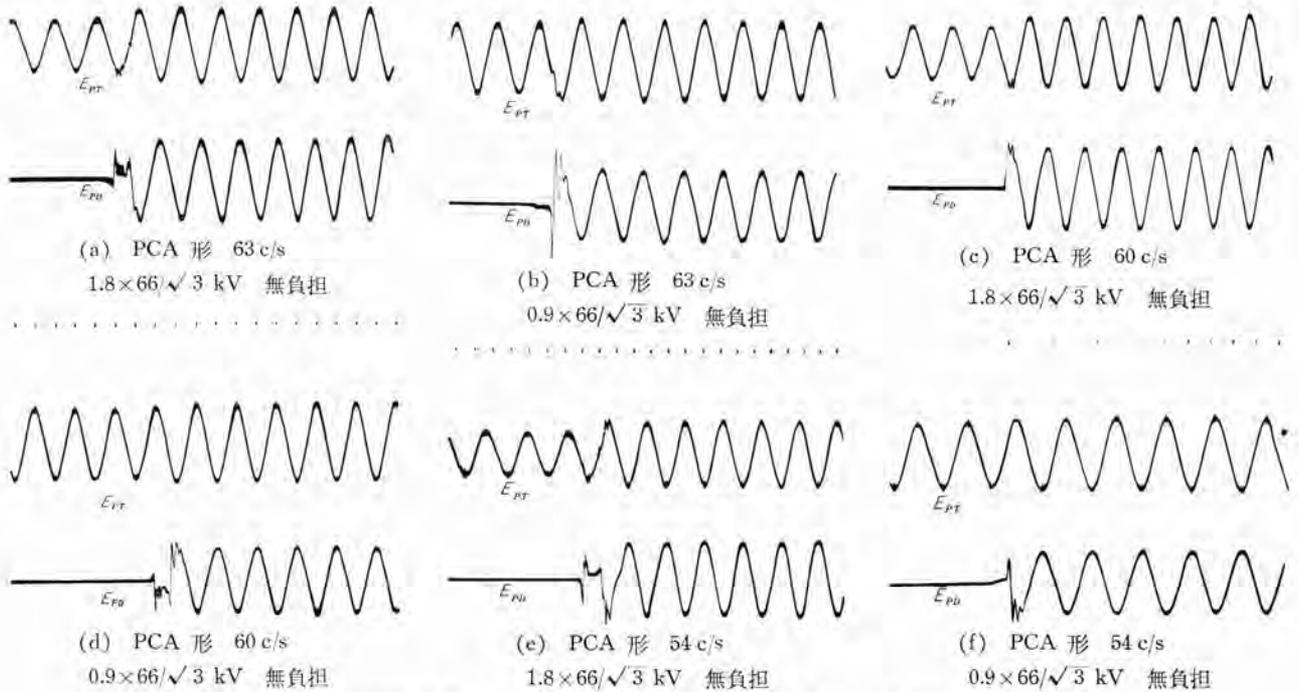


図 6.1 結合コンデンサ形PDの変圧器一次回路をシタ断器で接地開放したときの過渡特性

Fig. 6.1 Transient test by grounding and clearing the primary circuit of the main transformer of C.P.D. with a circuit breaker.

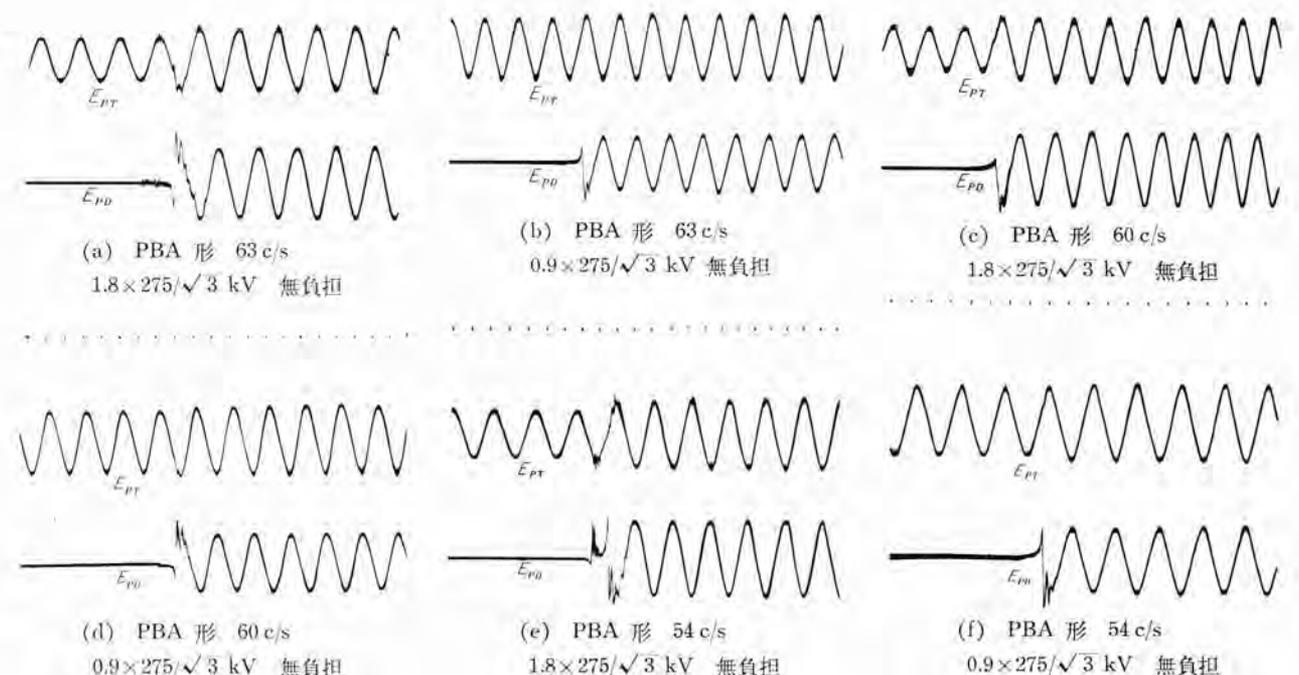


図 6.2 コンデンサバypassing形PDの主変圧器一次回路をシタ断器で接地開放したときの過渡特性

Fig. 6.2 Transient test by grounding and clearing the primary circuit of the main transformer of B.P.D. with a circuit breaker.

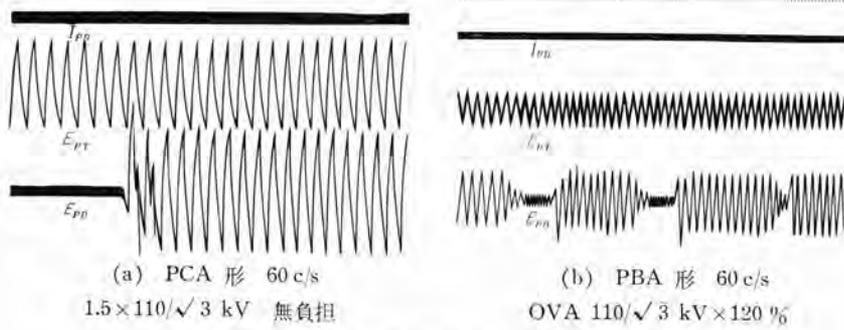


図 6.3 接地開閉器で開閉したときの過渡特性
Fig. 6.3 Transient test by closing and opening a grounding switch.

て当社では変圧器の励磁特性について十分に検討し、前述のように方向性ケイ素鋼板を用いてとくに低磁束密度に設計してある。その上結合コンデンサ形ではとくに固定負担を二次回路に挿入している。図 6.1 は結合コンデンサ形 PD の主変圧器一次回路を接地開閉器の代りにシタ断器で接地開放したときのオシロであるが鉄共振を発生していない。コンデンサブッシング形 PD はその静電容量が小さいため鉄共振発生可能領域が非常に狭いから固定負担は取付けてないが、いまだかつて鉄共振現象の発生を経験したことはない。また工場試験でも発生しなかった。図 6.2 は 275 / sqrt(3) kV 用と 110 / sqrt(3) kV 用コンデンサブッシング形 PD の主変圧器一次回路をシタ断器で接地開放したときのオシロであるがぜんぜん異常は認められなかった。図 6.3 は接地開閉器で開閉したときのオシロである。図 6.3 (b) は開閉を繰り返したときのオシロである。

7. 過負荷特性および二次側短絡

共振形 PD の過負荷特性は変成特性を犠牲にすれば、各部の端子電圧と温度が上昇するだけで 2 倍程度の過負荷には耐えるものである。PD の二次側が短絡したときの短絡電流は PD 内部インピーダンスと短絡インピーダンスにより決まる。したがって変成特性、定格負担、系統周波数、および短絡地点により左右される。当社の例では、200 VA、1.0 級結合コンデンサ形 PD が 60 c/s で完全短絡

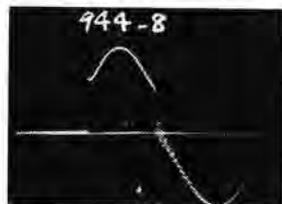


図 7.1 FL 形ヒューズで短絡電流をシタ断したときのヒューズ電圧オシロ
Fig. 7.1 Fuse voltage oscillogram of short circuit interruption test with the type FL fuse.

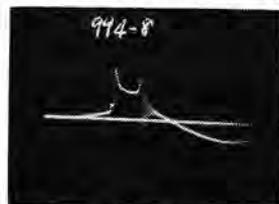
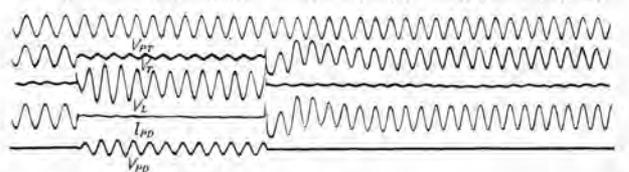


図 7.2 普通の低圧ヒューズで短絡電流をシタ断したときのヒューズ電圧オシロ
Fig. 7.2 Fuse voltage oscillogram of short circuit interruption test with the ordinary low voltage fuse.

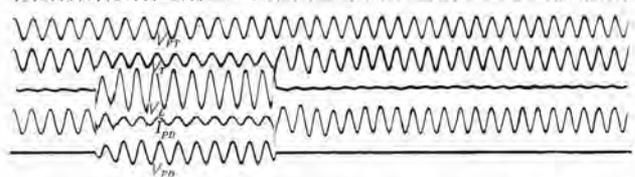
したときの短絡電流は 70 A であった。この二次短絡に対する保護は次のようにして行なっている。

7.1 結合コンデンサ形 PD

短時間の短絡に対しては PD は十分に耐えるが、短絡が永続するときには二次側保護ヒューズにより保護する。当社共振リアクタはリアクタンスがそれぞれ漏洩リアクタンスと、可変空けきリアクタに分担される。したがって二次短絡時でも可変空けきリアクタ端子電圧は数十 V であるから絶縁破壊の心配はまったく不用である。つぎに、変圧器類の熱容量が問題になるが、当社変圧器はダイヤレジンによる乾式モールド形で 120°C まで常用できるから二次短絡に対してかなりの時間耐える。保護ヒューズが溶断したときはその電氣的衝撃により鉄共振の発生が考えられる。この鉄共振抑制手段としては主変圧器の特殊設計や固定負担の使用のほか、前述のように FL 形ヒューズを採用している。三菱 FL 形ヒューズのシタ断時のオシロを図 7.1 に示すが、シタ断時の異常電圧は回復電圧以上に上昇してない。すな



(a) 60 c/s PCA 形 66 / sqrt(3) kV 固定負担 50 VA
短絡電流 50 A 短絡抵抗 R=0



(b) 60 c/s PCA 形 66 / sqrt(3) kV 固定負担 50 VA
短絡電流 20 A 短絡抵抗 R=3.1 ohm

図 7.3 コンデンサ形 PD の二次側をシタ断器で短絡シタ断したときの過渡特性

Fig. 7.3 Transient test by shorting and interrupting the secondary circuit of C.P.D. with a circuit breaker.

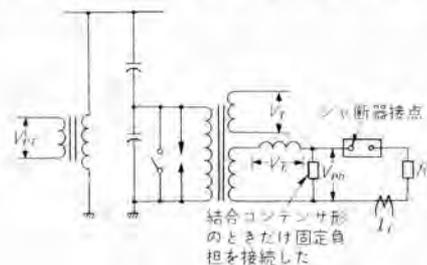
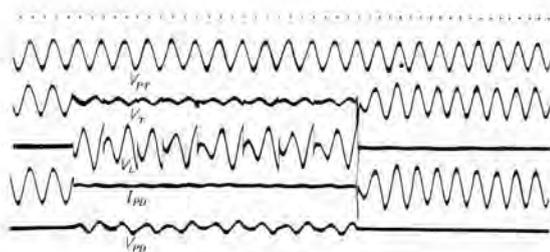


図 7.4 二次短絡シタ断試験時の試験回路図
Fig. 7.4 Test circuit diagram of secondary short and interruption test.

わちシ断時に PD 回路に与える電氣的衝撃は非常に小さい。参考までに普通の低圧 ヒューズ のシ断時の オシロ を図 7.2 に示すが、異常電圧は相当大きくこのようなヒューズを使用すれば PD 回路に与える電氣的衝撃は FL 形ヒューズにくらべてはるかに大きい。図 7.3 は図 7.4 の回路で二次側をシ断器で短絡開放したときの オシロ を示す。\$V_{PT}\$ は電源電圧波形、\$V_T\$ は漏洩リアクタンス巻線を結線していない主変圧器三次巻線電圧、\$V_L\$ は可変空げきリアクタ 電圧、\$V_{PD}\$ は PD 二次電圧、\$I_{PD}\$ は PD 二次短絡電流および \$R\$ は短絡電流調整抵抗である。\$V_T\$ の二次短絡波形の振幅は変圧器のインピーダンス電圧を示すが、位相はコンデンサ電圧降下の影響を受けて短絡電流が大きいほど、電源電圧より進む。図 7.3 では短絡時間が短いから、定格の大きい保護ヒューズは溶断してない。シ断器で二次回路を開放したときは相当異常電圧が出ているが、PD 回路には分数調波振動の発生は認められない。

7.2 コンデンサプッシング形 PD

コンデンサプッシングの静電容量が小さいから共振リアクタンスが大きくなり、内部インピーダンスは結合コンデンサ形にくらべて大きくまた定格一次電圧の低いものほど大きい。実測によれば二次短絡電流は 275/\$\sqrt{3}\$ kV 用で最大 40 A、110/\$\sqrt{3}\$ kV 用で最大 20 A であった。コンデンサプッシング形 PD では前述の保護間げきの項で説明したような理由により、またコンデンサプッシング保護の意味で二次短絡時にはこの保護間げきが放電して保護するが、二重保護の意味で FL 形ヒューズを取付けている。保護間げきの放電復帰あるいはヒューズ溶断後考えられる鉄共振現象は、この形では発生可能範囲が非常に狭く、また FL 形ヒューズの採用によりまたその発生を経験したこともなく工場試験でも発生しなかった。図 7.5 は図 7.4 の回路で二次側をシ断器で短絡シ断したときのオシロを示す。このオシロでは保護間げきが放電して短絡



PBA 形 60 c/s 110/\$\sqrt{3}\$ kV 固定負担なし
短絡電流 20 A 短絡抵抗 \$R=0\$

図 7.5 コンデンサプッシング形 PD の二次側をシ断器で短絡シ断したときの過渡特性

Fig. 7.5 Transient test by shorting and interrupting the secondary circuit of the main transformer of B. P. D. with a circuit breaker.

電流を抑制している。短絡時間が短いからヒューズは溶断してないが、短絡が永続するときは FL 形ヒューズがシ断して二次回路を開放する。シ断器のシ断時には相当異常電圧が出ていて電氣的衝撃は大きい、PD 回路には鉄共振が発生してない。

8. 温度特性

PD の変成特性が良くなるほどわずかな特性変化が問題になる。電磁形 PT では巻線や負担インピーダンスの抵抗変化や励磁インピーダンス変化が温度特性として考えられているが、PD ではわずかではあるが PD 固有の温度特性が考えられる。すなわち

8.1 分圧タップ電圧

結合コンデンサと分圧コンデンサは結合コンデンサ形とコンデンサプッシング形のいずれも同一ガイ管内に密封してあるから、分圧電圧の温度による変化は問題にならない。

8.2 コンデンサの静電容量

結合コンデンサとコンデンサプッシングの静電容量温度係数はほぼ同様である。周囲温度が変わると静電容量が変化するから、共振がずれて変成特性に影響することが考えられる。この誤差変化分 \$\delta\$ は式 (8.1) により表わされる。

$$\delta = \alpha_0 \Delta t Q (\beta - j\varepsilon) \dots\dots\dots (8.1)$$

- ただし \$\alpha_0\$ = 静電容量温度係数
- \$\Delta t\$ = 変化温度
- \$Q\$ = PD 回路の \$\omega L/R\$
- \$\varepsilon\$ = 負担誤差中の電圧比誤差
- \$\beta\$ = 負担誤差中の位相角誤差

誤差変化分 \$\delta\$ は PD の設計により左右されるが 0.5 M 級、50 VA、110/\$\sqrt{3}\$ kV 用で 20°C の温度変化に対して位相角変動は 1.5 分以下である。比誤差変化は問題にならないくらい小さい。

9. 適用

PD は電磁形 PT と同様に同期検定、電圧指示、継電器、および計量用で使用される。以下に結合コンデンサ形 PD とコンデンサプッシング形 PD の新しい適用方法について述べる。

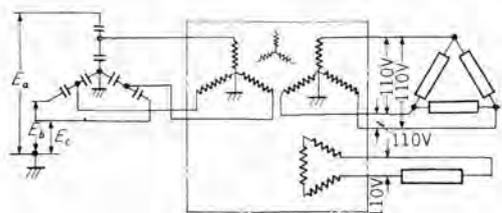


図 9.1 零相電圧を検出するときの PD 回路

Fig. 9.1 Three potential devices used for obtaining zero sequence voltage.

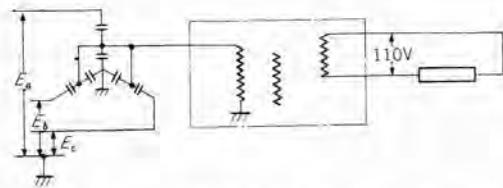


図 9.2 3 台のコンデンサと 1 台の PD 本体を用いる
零相電圧検出回路

Fig. 9.2 One potential device and three capacitor
assemblies used for obtaining zero sequence voltage.

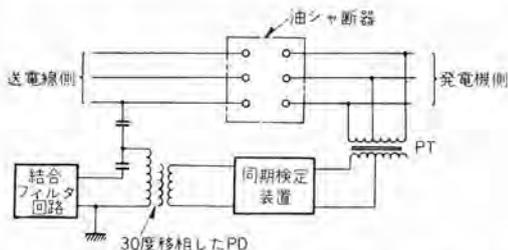


図 9.3 線間電圧測定用 PT と 1 台の PD で同期検定する
ときの回路

Fig. 9.3. Wound type line-to-line potential transformer
and a 30 degree phase shifted potential device used
for synchronizing.

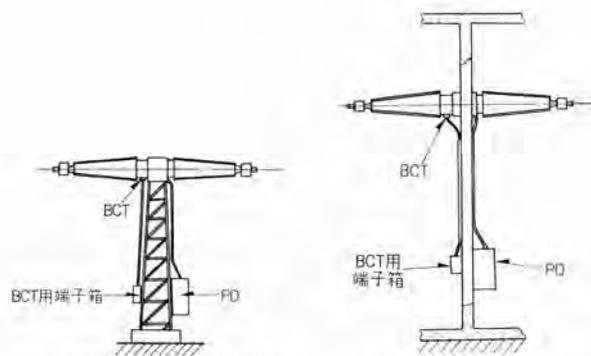
9.1 結合コンデンサ形 PD

結合コンデンサ形 PD を零相電圧検出用に用いるときはこれまで図 9.1 のように 3 台の PD の三次巻線を開放三角結線に使用していた。しかし図 9.2 のように 3 台の結合コンデンサの分圧 ヲツプ を接続し、1 台の PD 本体を用いれば容易に零相電圧を得ることができる。PD は 1 台だけでほかの 2 相は結合コンデンサだけであるから相当に安価となる。つぎに図 9.3 のように油断器の発電機側に PT があり、線路側に PD を接続して同期検定をする場合を考える。このときは PD の二次電圧位相を一次電圧より 30 度進めた PD とすれば線間電圧測定用 PT と同期を検定することができる上、1 台の PD で済む。

9.2 コンデンサブッシング形 PD

同期検定用に用いるときは油断器の両側のブッシングに取付ければ容易に 2 系統の同期をとることができる。また図 9.2 や図 9.3 のように使用できることはもちろんである。もし二次負担がコンデンサブッシング形 PD の定格をこえるときは、油断器の 1 相の 2 本のコンデンサブッシングからエネルギーを取り PD を並列に用いれば負担は 2 倍まで許せる。しかしこれは油断器が開いているとき並列になっている PD の二次側が開路できる場合に限る。もし開路できないといずれか一方だけに加電されているとき、これが他方に加電されることになる。

しかし変圧器のコンデンサブッシングと油断器の変圧器側コンデンサブッシングとを並列に用いることは可能である。コン



(a) 鉄骨上に取付けたとき (b) 壁貫ブッシングとして
使用したとき

図 9.4 コンデンサブッシングの応用取付法

Fig. 9.4 Condenser bushing installed on the steel
structure on a wall horizontally.

デンサブッシング形 PD を超高圧系統に使用すると二次負担は 180VA 取れることには改めて注目すべきである。すなわち節油タンク形超高圧油断器にトウ管形変流器と組合わせて用いれば、すえ付面積少なく非常に経済的な電圧電流要素を得ることができる上、電力需給用にも使用できる。275/√3 kV 用では 25 VA、0.5 M 級が保証できる。コンデンサブッシングは前述のように変圧器や油断器に取付けられているものを利用できるが、応用としてコンデンサブッシングを図 9.4 のように架台の上に取付けて引込線用にこのコンデンサブッシングを用いればガイシの節約となり安価な電圧電流要素を得ることができる。もちろん壁貫ブッシングでも同様に使用できる。

10. む す び

今日のように超高圧送電線が続々建設されつつあるとき、PD の絶縁的信頼度や特性および経済的に有利である事実を改めて認識され、とくにコンデンサブッシング形 PD は超高圧では負担が大きく取れるから継電器用あるいは計量用に需要家各位の応用方面の拡張と活用を期待するものである。

終りに、製作、試験に関して伊丹製作所の関係各位より多大のご協力をいただいたことに対して深く感謝するものである。

参 考 文 献

- (1) 南角・神谷：最近の三菱静電コンデンサ「三菱電機」32, No. 10 (昭 33).
- (2) 権沢・大野：ダイヤレン 含浸計器用変圧器「三菱電機」31, No. 4 (昭 32).
- (3) 広尾・堀・南角・印藤：“OT”形密封式油入コンデンサブッシング「三菱電機」31, No. 10 (昭 32).
- (4) AIEE Committee Report 2089 (1951).
- (5) 栗松：電誌彙報 第 22 巻 第 7 号.

電力系統問題への計数形計算機の応用

研究所 芝 滝 寿 宏*

Applications of Digital Computers to Problems of Electric Power Systems

Research Laboratory Toshihiro SHIBATAKI

AC network calculators had been the primary device for analyzing the problems of electric power systems until recently when digital computers came in to shoot ahead of them with ability of versatile applications; the major sphere of it covers technical and economical calculations and also problems related to OR. The writer herein makes an account of the technical calculation as the chief topic because of a limited space assigned to him, looking forward to another opportunity to describe other matters. The writer believes in the time will come when the calculation will be made automatically by making use of the electronic computers which are at present operating only, so to speak, for auxiliary means of human brain.

1. ま え が き

電力系統問題の解析に対する主たる計算機は、ごく最近までは交流計算機 (AC Network Calculator) であったが、最近の計数形計算機 (Digital Computer) の急速な進歩によって、電力系統問題の広い範囲にわたって、計数形計算機が応用されるようになってきた。

いま、その応用分野を大別してみると下記のようなになる。

- (1) 技術計算
 - a. 電力潮流問題 (損失計算)
 - b. 短絡故障計算
 - c. 安定度問題
 - d. 過渡現象の解析 (開閉サージ、雷サージ問題)
 - e. 系統定数の計算
- (2) 経済問題
 - a. 経済負荷配分問題
 - b. 系統計画問題
- (3) OR 関係の問題

予備容量の計算その他

この報告においては、紙数の関係上、技術問題に重点をおいて記し、経済問題、OR関係の問題への応用については稿を改めて述べたい。

2. 技 術 計 算

2.1 電力潮流問題

電力潮流の計算は、系統の拘束条件、すなわち、発電機出力、負荷の電力、無効電力、系統主要点の電圧の関数として、系統中の電力と無効電力流および母線電圧を

定めることである。計数形計算機によって電力潮流問題を解く方法は、ここ数年間に、数多く報告されているが、いずれも所望の精度が得られるまで計算を繰り返して行なう反復法によるもので、大別すると、

- (1) Loop and Track Method
- (2) Nodal Iterative Method

に分けられる。前者は、系統の Loop の数と同じ次数の行列の変換を必要とするので、取扱う系統の大きさにいちじるしい制限をうける。この方法の一つに Loop Balancing Flow 法⁽¹⁾がある。後者は J.B. Ward, H.W. Hale⁽²⁾ によって開発されたもので、系統の方程式を回路網の接続点 (node) に注目して導き、これを Gauß-Seidel の反復法に基づいて解いてゆくものである。現在この方法がもっともすぐれたものと考えられ、したがってもっともよく用いられているので、ここではこの方法について今少し詳しく述べることにする。

一般に n 個の接続点を有する回路網の電力潮流問題は、数学的には下記の式を解くことである。すなわち、接続点 k の電圧を E_k 、接続点 k に流入する電力を P_k 、無効電力を Q_k とすると、

$$P_k + jQ_k = E_k I_k^* \dots\dots\dots (2.1)$$

$$I_k = \sum_m Y_{km} E_m \dots\dots\dots (2.2)$$

ここに、* は共役数を示し、遅れ電力を正とする。

Y_{kk} = 自己アドミタンス = 第 k 番目の接続点に終止するすべての枝路のアドミタンスの総和
 Y_{km} = 相互アドミタンス = 第 k 番目の接続点と第 m 番目の接続点との間に接続される枝路のアドミタンスの総和の符号を逆にしたもの

* 電気第一研究室

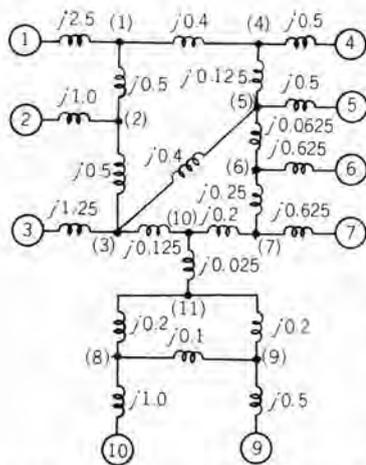


図 2.1 モデル系統
Fig. 2.1 Model system.

拘束条件として、発電所においては電力 P_k と母線電圧の大きさ $|E_k|$ 、(ただし Swing Generator においては母線電圧の大きさ $|E_k|$ だけ)、負荷においては電力 P_k と無効電力 Q_k を与えるものとする。

式 (2.1), (2.2) 両式を実部と虚部に分けて示せば、

$$\left. \begin{aligned} a_k &= \sum_m (G_{km} e_m - B_{km} f_m) \\ b_k &= \sum_m (G_{km} f_m + B_{km} e_m) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\left. \begin{aligned} P_k &= a_k e_k + b_k f_k \\ Q_k &= a_k f_k - b_k e_k \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$|E_k|^2 = e_k^2 + f_k^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\text{ただし } I_k = a_k + j b_k, \quad E_k = e_k + j f_k$$

$$Y_{km} = G_{km} + j B_{km}$$

これを解くには次の手順による。

(1) すべての電圧 $E_k = a_k + j b_k$ の第1近似を仮定する。たとえば、電圧の指定されている Swing Generator 以外の電圧を $1.0 + j0$ とする。

(2) この第1近似を用いて、式 (2.3) により電流 $I_k = a_k + j b_k$ を求める。

(3) 式 (2.4) によって、電力 P_k 、無効電力 Q_k を求める。

(4) 母線 k における電力 P_k 、無効電力 Q_k (あるいは電圧の大きさ $|E_k|$) の予定値と計算値を比較して、この差が zero になるように E_k に補正 $\varepsilon_k + j \xi_k$ を施す。このとき E_k 以外の電圧には補正を施さない。(項別反復法)

(5) E_k の補正值 E'_k と $E_j (j > k)$ の第1近似とから、式 (2.3) によって母線電流 I_{k+1} を求め、上と同じ方法によって E_{k+1} の補正を求める。

(6) 上の方法によってすべての母線の電圧の補正值を求め終れば、次式によって電圧の第2近似を求める。

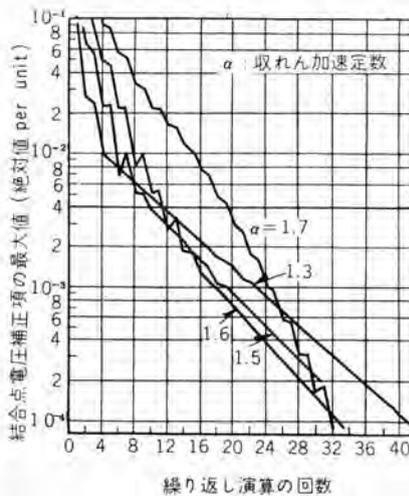


図 2.2 収れんの様相
Fig. 2.2 Aspect of convergence.

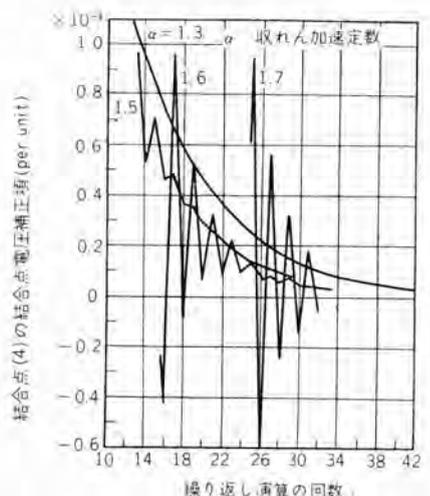


図 2.3 収れんの様相
Fig. 2.3 Aspect of convergence.

$$E_{k2} = E_{k1} + \alpha(E_k - E_{k1}) \dots\dots\dots (2.6)$$

E_{k2} : E_k の第2近似

E_{k1} : E_k の第1近似

α : 収れん加速定数

(7) この方法を繰り返して、所望の精度が得られるまで計算を続行する。

電圧の補正項 ε_k, ξ_k は $\varepsilon_k^2, \xi_k^2 \ll 1$ として次の式から求める。発電所においては P_k と $|E_k|$ とが与えられるから、

$$\begin{aligned} \varepsilon_k (e_k G_{kk} + f_k B_{kk} + a_k) + \xi_k (-e_k B_{kk} + f_k G_{kk} + b_k) \\ = P_{ks} - P_k = \Delta P_k \dots\dots\dots (2.7) \end{aligned}$$

$$2e_k \varepsilon_k + 2f_k \xi_k = |E_{ks}|^2 - |E_k|^2 = \Delta(|E_k|^2) \dots\dots\dots (2.8)$$

$P_{ks}, |E_{ks}|$ はそれぞれ母線における $P, |E|$ の指定値である。負荷においては P_k と Q_k が与えられるから

$$\begin{aligned} \varepsilon_k (e_k G_{kk} + f_k B_{kk} + a_k) + \xi_k (-e_k B_{kk} + f_k G_{kk} + b_k) \\ = \Delta P_k \dots\dots\dots (2.9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_k (-e_k B_{kk} + f_k G_{kk} - b_k) + \xi_k (-e_k G_{kk} - f_k B_{kk} + a_k) \\ = \Delta Q_k \dots\dots\dots (2.10) \end{aligned}$$

収れん加速定数の選定は計算速度向上の点からきわめて重要である。加速定数によって解の収れんの様相がどのように影響されるかを、図 2.1 に示すような発電機 9 機、結合点 11 の系統の短絡電流について演算した結果を図 2.2 および図 2.3 に示してある。これらの図からわかるように、 α が小さすぎると誤差は単調に減少して収れん速度が遅く、逆に α が大きすぎても誤差は振動的になって収れん速度は遅い。結局、収れん加速定数としては 1.6 程度が適当であろう。

2.2 短絡故障計算

短絡故障計算は、遮断器の遮断容量やリレーの整定値を定めるために必要なものである。同期機を含む系統

の短絡電流の計算においては、界磁回路の時定数は制動回路あるいは電機子回路の時定数に比べて十分大きいので、短絡電流 I_s は近似的に次式で表わすことができる⁽³⁾。

$$I_s = F(t) \cos t - F(0) e^{-t/T_0} \dots\dots\dots (2.11)$$

ここに、 $F(t)$ は電機子回路の過渡現象および回路の抵抗分を無視した直軸の電流 I_d に等しく、いわゆる短絡電流の交流分に相当し、 T_0 は短絡点からみた系統の X/R に等しく、これは直流分 $F(0)$ の減衰時定数を与える。したがって短絡電流の計算は交流分 $F(t)$ と X/R の計算に帰着する。本文では、同期機の界磁回路、制動回路の影響および AVR の動作をも考慮して計算する方法について述べる。

(1) 交流分 $F(t)$ の計算

a. 系統の方程式

系統の同期機に関しては、制動回路を1個の回路で表示できるとすれば、その直軸の磁束、電流に関して次の式が成り立つ⁽⁴⁾。

$$\left. \begin{aligned} \varphi_a &= -x_d i_d + x_{ad} i_{fd} + x_{ad} i_{kd} \dots\dots\dots \text{電機子磁束} \\ \varphi_{fd} &= -x_{ad} i_d + x_{ffd} i_{fd} + x_{ad} i_{kd} \dots\dots\dots \text{界磁磁束} \\ \varphi_{kd} &= -x_{ad} i_d + x_{kd} i_{fd} + x_{kkd} i_{kd} \dots\dots\dots \text{制動回路磁束} \\ d\varphi_{fd}/dt + r_{fd} i_{fd} &= e_f \dots\dots\dots \text{界磁回路} \\ d\varphi_{kd}/dt + r_{kd} i_{kd} &= 0 \dots\dots\dots \text{制動回路} \\ de_f/dt &= \mu \dots\dots\dots \text{AVR} \end{aligned} \right\} (2.12)$$

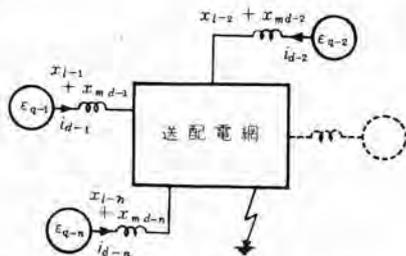


図 2.4 同期機を含む電力系統の等価回路
Fig. 2.4 Equivalent circuit of power system including synchronous machines.

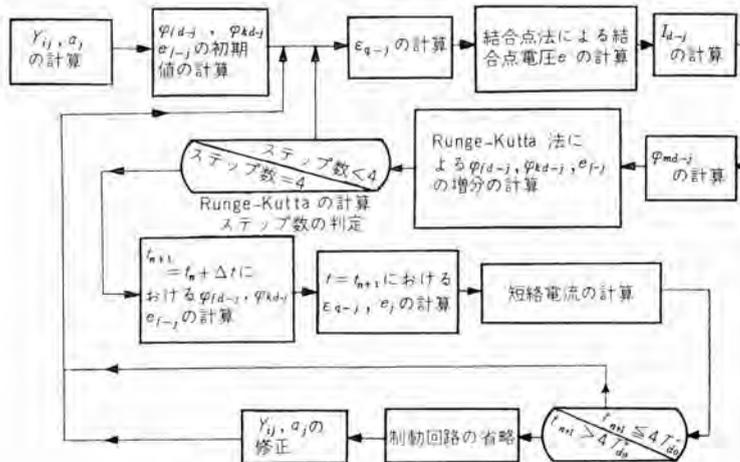


図 2.5 短絡電流計算のフロー・チャート
Fig. 2.5 Flow chart of short circuit current calculation.

μ : 速応比に比例した定数

これを計数形計算機にかけやすい形にするために

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{md} &= x_{ad} (-i_d + i_{fd} + i_{kd}) \\ x_{md} (\varphi_{fd}/x_f + \varphi_{kd}/x_{kd}) &= E_q \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.13)$$

の関係を導入すると、 n 機の同期機を含む系統の方程式は次のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} d\varphi_{fd-j}/dt + (r_{fd-j}/x_{fd-j})(\varphi_{fd-j} - \varphi_{md-j}) &= e_{f-j} \\ d\varphi_{kd-j}/dt + (r_{kd-j}/x_{kd-j})(\varphi_{kd-j} - \varphi_{md-j}) &= 0 \\ de_{f-j}/dt &= \mu_j \\ E_{q-j} &= x_{md-j} (\varphi_{fd-j}/x_{fd-j} + \varphi_{kd-j}/x_{kd-j}) \\ \varphi_{md-j} &= E_{q-j} - x_{md-j} i_{d-j} \end{aligned} \right\} (2.14)$$

ただし $j=1 \sim n$

同期機の電流 i_{d-j} は図 2.4 の等価回路によって求められる。

b. 方程式の解法

前節に導いたところにより、短絡電流の交流分 $F(t)$ を求めるには、式 (2.14) で示される多元連立1階微分方程式と、図 2.4 の等価回路で与えられる回路網に関する式を解けばよいことがわかる。前者に対しては Runge-Kutta 法⁽⁵⁾を、後者に対しては電力潮流の計算に広く用いられている結合点法(電力潮流問題の項参照)を適用するのがよいと考えられる。このときの計算のフロー・チャートは図 2.5 のようになる。

(a) 結合点法による電流の計算

結合点法によって系統の電圧、電流分布を求めるには、まず系統の結合点に番号をつけるのであるが、この場合、発電機に至る枝路をもつ結合点から順次番号付けしてゆくと、計算技術上便利である。 n 機の発電機を有する回路網の式は次のようになる。

発電機に至る枝路をもつ結合点について

$$y_{11}e_1 + y_{12}e_2 + \dots + y_{1n}e_n = a_1 E_{q-1}$$

$$y_{21}e_1 + y_{22}e_2 + \dots + y_{2n}e_n = a_2 E_{q-2}$$

$$\dots\dots\dots$$

$$y_{n1}e_1 + y_{n2}e_2 + \dots + y_{nn}e_n = a_n E_{q-n}$$

発電機に至る枝路を持たない結合点について

$$y_{n+1,1}e_1 + y_{n+1,2}e_2 + \dots + y_{n+1,n}e_n = 0$$

$$\dots\dots\dots$$

$$y_{s,1}e_1 + y_{s,2}e_2 + \dots + y_{s,n}e_n = 0$$

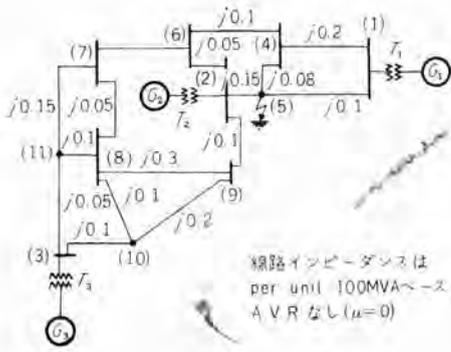
ただし、式 (2.15) 中短絡点に相当する結合点の電圧は零としなければならない。

同期機の電流は

$$i_{d-j} = a_j (E_{q-j} - e_j), \quad j=1 \sim n \dots\dots (2.16)$$

短絡電流 $F(t)$ は

$$F(t) = \sum y_{kj} e_j, \quad (e_k=0, j=1) \dots\dots (2.17)$$



(a) モデル系統

| 容量 (MVA) | x_e | x_d | x_d' | x_d'' | $T_{d0}'(s)$ | $T_{d0}''(s)$ | $T_d'(s)$ | $T_d''(s)$ | |
|----------------|-------|-------|--------|---------|--------------|---------------|-----------|------------|-------|
| G ₁ | 100 | 0.05 | 1.50 | 0.25 | 0.15 | 3.0 | 0.04 | 0.5 | 0.024 |
| G ₂ | 200 | " | 1.20 | 0.20 | 0.10 | 6.0 | 0.05 | 1.0 | 0.025 |
| G ₃ | 100 | " | 1.50 | 0.30 | 0.20 | 5.0 | " | " | 0.033 |

図 2.6 モデル系統

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----|------|------|---|-------|-------|-------|-------|------|-----|------|----|
| 1 | 19 | | | -5 | -10 | | | | | | |
| 2 | 46.6 | | | -6.6 | -20 | | | | -10 | | |
| 3 | | 33.3 | | | | | | | | | |
| 4 | -5 | | | 27.5 | -12.5 | -10 | | | | | |
| 5 | -10 | -6.6 | | -12.5 | 29.16 | | | | | | |
| 6 | -20 | | | -10 | | 42.5 | -12.5 | | | | |
| 7 | | | | | | -12.5 | 39.16 | -20 | | | |
| 8 | | | | | | -20 | 43.3 | -3.3 | -10 | -10 | |
| 9 | | | | | | | -3.3 | 18.3 | -5 | | |
| 10 | | | | | | | -10 | -5 | 25 | | |
| 11 | | | | | | | | | | 36.6 | |

故障点
per unit 100 MVA ベース
(空欄は 0)

(b) モデル系統のアドミタンス行列

| 変圧器 | 容量 (MVA) | T_1 | T_2 | T_3 |
|-----|----------|-------|-------|-------|
| | x_l | 100 | 200 | 100 |
| | | 0.1 | 0.1 | 0.1 |

Fig. 2.6 Model system.

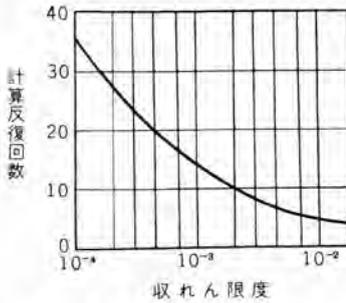


図 2.7 取れん限度と計算回数
Fig. 2.7 Convergence limit vs the number of calculations.

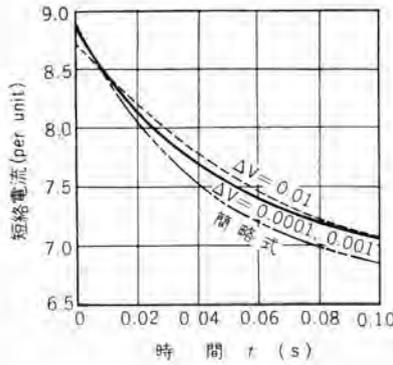


図 2.8 取れん限度と計算精度
Fig. 2.8 Convergence limit vs calculation accuracy.

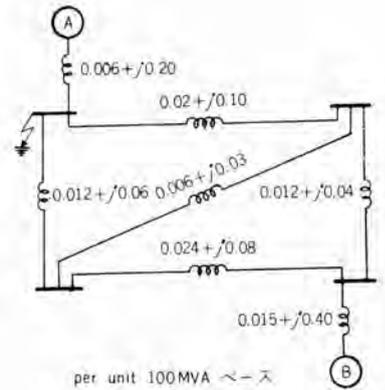
で与えられる。

(b) 取れん限度

系統の電圧分布は Runge-Kutta 法による数値計算の各段階において求める必要があるが、電圧の取れん限度として Δe_k がいかなる値以下になればよいかを決めなければならない。 Δe_k を小さくすればそれだけ計算精度が向上するが計算時間が増大する。これについて図 2.6 に示すような発電機 3 結合点 11 のモデル系統について示すと図 2.7 のようになる。また、このモデル系統について取れん限度 Δe_k を 0.0001, 0.001, 0.01 とした場合の短絡電流の交流分 $F(t)$ を計算した結果を図 2.8 に示してあるが、これより取れん限度は 0.01 を用いて十分であると考えられる。

(c) 数値計算における時間間隔

式 (2.14) で示される連立微分方程式は、一次遅れの形の式 $T \cdot dx/dt + x = E$ であるが、この形式のものに対して Runge-Kutta 法により数値計算を行なう場合の時間



per unit 100 MVA ベース
図 2.9 モデル系統
Fig. 2.9 Model system.

間隔 Δt は、時定数 T 以下に違ふと、計算誤差は 1% 以下に収まる。(安定度問題の項参照)したがって、短絡電流の計算においては、 T として n 機の同期機の制動回路の短絡時定数 T_d'' のうち最小のものをとればよい。

(2) X/R 簡略計算法

短絡電流の直流分 $F(0)$ の減衰を定める X/R の計算は、回路網のインピーダンスの抵抗分を含めて、結合点法により正確に計算することができる。しかし、回路網の各枝路の X/R が比較的均一な場合には、抵抗分を無視して電流分布を求め、

$$X/R = (\sum I_i^2 X_i) / (\sum I_i^2 R_i) \dots \dots \dots (2.18)$$

によって計算しても大きな誤差を招かない。ただし、 I_i は第 i 番目の枝路の電流、 X_i は同リアクタンス、 R_i は同抵抗である。

このようにすれば、インピーダンス用の記憶容量は半減し、演算速度はほぼ 1/4 に短縮される。実際に図 2.9 のモデル系統⁽⁶⁾について計算した結果を示すと、X/R の正しい値が 0.041912 であり、上記の簡略計算では 0.040898 となって、きわめてよく一致している。

2.3 安定度問題

電力系統の安定度とは、系統にじょう乱が発生したときに系統の各機器に平衡状態にもどろうとする回復力が働くことと定義され、普通、定態安定度と過渡安定度に大別して考えられている。本文では、過渡安定度について述べることにする。

(1) 系統の方程式

電力系統における回転機の方程式は、従来、系統の駆

動点および伝達インピーダンスを用いて次式のように表現されている。

$$P_i = \frac{E_i^2}{Z_{ii}} \sin \alpha_{ii} + \frac{E_i E_j}{Z_{ij}} \sin(\theta_{ij} - \alpha_{ij}) + \dots + \frac{E_i E_n}{Z_{in}} \sin(\theta_{in} - \alpha_{in}) \dots \dots (2.19)$$

P_i : 第 i 号機の出力, E_i : 第 i 号機の内部電圧の大きさ, Z_{ii} : 第 i 号機の駆動点インピーダンス, Z_{ij} : 第 i 号機と第 j 号機間の伝達インピーダンス

しかし, 系統の方程式を, 接続点形式で表現すると,

a. 電力動揺方程式の初期条件である動揺直前の電力潮流計算を, 計数形計算機で行なうときに都合なこと⁽²⁾.

b. 駆動点および伝達インピーダンスの計算に比べて, 自己および相互アドミタンスの計算がはるかに容易なこと.

c. 動揺時の電圧電流計算が容易なこと.

などの利点があるので, 系統の方程式は接続点形式で表現するのが望ましい。

また, 計数形計算機では, 交流計算盤と異なり, 複素量をそのまま扱うことができないから, 系統の式は, すべて実数で表わされなければならない。そこで, 系統の複素量は, これを実数部 (添字 d) と虚数部 (添字 q) とに分けて示すと, 電力動揺の式は次のように示される。

(a) 同期機の式

同期機に関しては, 従来と同様に次の仮定を施す。

1. 過渡時の凸極性を無視する。
2. 界磁時定数 T_{ao}' は無限大とする。

$$\left. \begin{aligned} de_a/dt &= \omega s e_q \\ de_q/dt &= -\omega s e_d \end{aligned} \right\} \dots \dots (2.20)$$

ここに $e_a + j e_q$: 過渡インピーダンス x_d' 背後の起電力
 ω : 系統の角周波数 s : スベリ

(b) 誘導機の式⁽⁷⁾

誘導機に対しては, その次過渡効果を無視する。

正相分に関して,

$$\left. \begin{aligned} \frac{de_{a1}}{dt} &= s \omega e_{q1} - \frac{1}{T_0'} [e_{a1} + (x-x') i_{q1}] \\ \frac{de_{q1}}{dt} &= -s \omega e_{d1} - \frac{1}{T_0'} [e_{q1} - (x-x') i_{d1}] \end{aligned} \right\} \dots (2.21)$$

逆相分に関して,

$$\left. \begin{aligned} \frac{de_{a2}}{dt} &= (2-s) \omega e_{q2} - \frac{1}{T_0'} [e_{a2} + (x-x') i_{q2}] \\ \frac{de_{q2}}{dt} &= -(2-s) \omega e_{d2} - \frac{1}{T_0'} [e_{q2} - (x-x') i_{d2}] \end{aligned} \right\} (2.22)$$

ただし $e_d + j e_q = V - j x' I$, $i_d + j i_q = I$
 $x = x_s + x_m$, $x' = x_s + x_r x_m / (x_r + x_m)$, $T_0' = (x_r + x_m) / 2\pi f r$, V : 誘導機端子電圧, I : 誘導機電流, x_s : 誘導機固定子漏洩リアクタンス, x_r : 同回転子漏洩リ

アクタンス, x_m : 同励磁リアクタンス, r : 回転子抵抗,
 s : スベリ, f : 周波数, (添字 1 は正相分, 2 は逆相分を示す)

(c) 回路網の式

接続点形式で表現すれば, 第 k 号機の電流 $I_k = i_{ka} + j i_{kq}$ は,

$$\left. \begin{aligned} [i_a] &= [y_d][e_d] - [y_q][e_q] \\ [i_q] &= [y_q][e_d] + [y_d][e_q] \end{aligned} \right\} \dots \dots (2.23)$$

ここに, $[i_a]$, $[i_q]$, $[e_d]$ などは, それぞれ各機の電流, 電圧および回路網のアドミタンスの実数部または虚数部を要素とする行列である。

(d) 各機の運動の方程式

$$\frac{H_i}{\pi f} \frac{dS_i}{dt} = (e_{ia} i_{ia} + e_{iq} i_{iq}) - T_{mi} \dots \dots (2.24)$$

ここに, $S = -d\theta/dt = -\omega s$, f : 周波数, t : 時間
 θ : 回転子の電気角偏位, T_m : 機械的シャフトトルク,
 H : 単位貫性定数, 添字 i : 機器番号

(2) 数値計算における時間間隔の選定

a. 数値計算法

過渡安定度問題は, 式 (2.20)~(2.24) を解くことであるが, これは, 多元連立 1 階微分方程式である。これを数値計算するには, つぎの理由によって Runge-Kutta 法を用いるのがよい。

(a) 従来計算盤で用いられてきた Euler 法が $(\Delta t)^2$ の程度の誤差を持つのに対し, 本法では $(\Delta t)^3$ 程度の誤差である。

(b) 故障, 開閉に伴う系統定数の変化, あるいは時間間隔 (Δt) の変更に対しても, まったく同一形式で計算を進めることができる。

この方法による計算時間は, ほぼ誘導機同期機合わせたの機数 n の 2 乗に比例する。

b. 時間間隔の選定

Runge-Kutta 法は, 計算精度が高く, 便利な数値計算法であるが, たとえば Bashforth-Adams とか Milne の方法のように, その精度を計算過程において検証できる手段を持たないという欠点がある⁽⁸⁾。このため計算に用いるべき時間間隔を選定する基準を作っておくことが必要である。電力動揺の式をみると各回転機の内部電圧が正確に求められていれば, 正確な動揺曲線が得られることがわかる。

同期機の式は,

$$de_a/dt = S e_q, \quad de_q/dt = -S e_d$$

で与えられるから, 時間間隔の選定は, 同期機のスベリに関する量 S によって行なうべきである。上式において, S が一定の場合には

$$e_a + je_q = |E|e^{-j\delta}$$

となり、これと、時間間隔を種々に変化して、計算機によって上式を解いた結果とを比較することにより、振幅 $\sqrt{e_a^2 + e_q^2}$ および位相 $\tan^{-1}e_q/e_a$ の誤差を調べることができる。これを示したのが図 2.10 である。ここでは、過渡安定度は、多くの場合電力動揺の半周期間における動揺曲線によって判定され、(いわゆる First Swing Transient Stability) かつ多くの系統では、この動揺周期が約 1 sec であることから、誤差の検討は 0.5 sec までとしてある。この図によると、たとえば振幅、位相誤差をそれぞれ、ほぼ 1% 以下、1 度以内に収めるには、時間間隔を次のように選べばよいことがわかる。

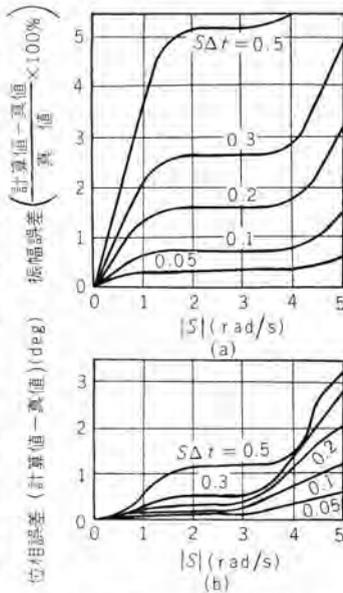
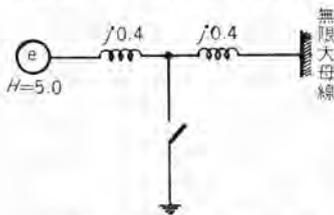


図 2.10 時間間隔と計算精度 (同期機)

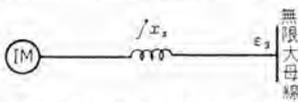
Fig. 2.10 Time interval vs calculation accuracy. (synchronous machine)



故障条件: 三相短路, 故障除去時間: 0.15 sec, 計算機による極限電力: 0.98828 per unit, 等面積法: 0.98 と 0.99 per unit の間 誤差 1% 以下

図 2.11 モデル計算

Fig. 2.11 Model calculation.



x_s : 誘導機の接続点よりみた系統のインピーダンス (抵抗分無視)
 E_s : 無限大母線の電圧

図 2.12 誘導機を含む系統
Fig. 2.12 System including an induction machine.

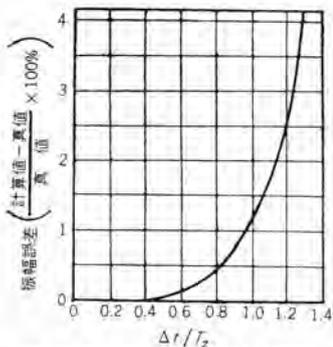


図 2.13 時間間隔と計算精度 (誘導機)

Fig. 2.13 Time interval vs calculation accuracy. (induction machine)

それぞれ、ほぼ 1% 以下、1 度以内に収めるには、時間間隔を次のように選べばよいことがわかる。

$|S| < 1$ のとき

$$\Delta t = 0.1$$

$1 < |S| < 3$ のとき

$$\Delta t = 0.05$$

$3 < |S| < 5$ のとき

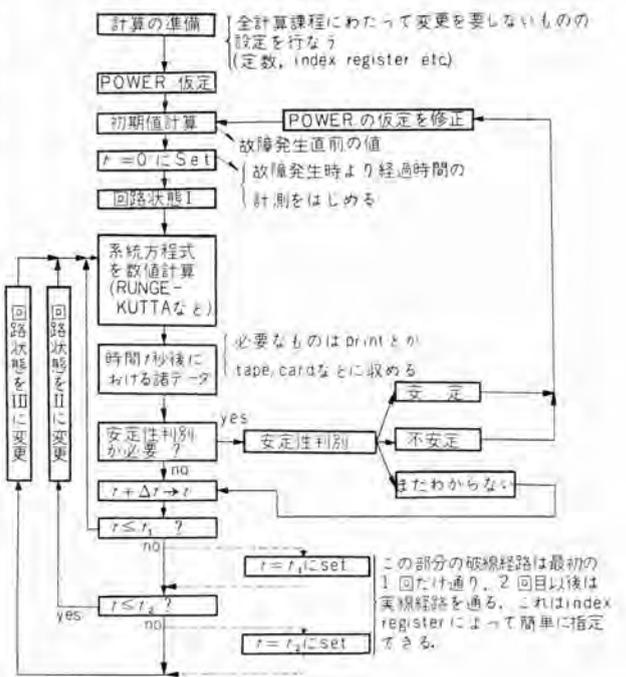
$$\Delta t = 0.02$$

この方法で極限電力を計算した実例を示すと図 2.11 のようである。

つぎに誘導機の場合は図 2.12 のような系統を考える。この系統に対しては、適当な変換を施すことにより

$$T_s' \frac{dE_1}{dt} + E_1 = \varepsilon_s \left(1 - \frac{x_s + x'}{x_s + x} \right) e^{j\omega \int \delta dt} = f(t)$$

なる形の式が得られる。いま $f(t)$ としてもつ



(注) 回路状態 I 故障時間中
" II 無電圧時間中
" III 再閉路後
 t_1 故障除去時 (0 sec より t_1 sec まで故障継続時間)
 t_2 再閉路時 (t_1 sec より t_2 sec まで無電圧時間) (t_2 sec 以後再閉路後)

図 2.14 過渡安定度計算 フロー・チャート

Fig. 2.14 Flow chart of transient stability study.

とも急激な変化を考え、単位関数的なものを取り、かつ $t=0$ で $E_1=0$ とすれば

$$T_s' \cdot dE_1/dt + E_1 = 1$$

この式の解は

$$E_1 = 1 - e^{-t/T_s'}$$

であるが、これを種々の時間間隔について計算した値と比較することによって、図 2.13 に示すような誤差-時間間隔の曲線が得られる。これによると、 Δt は、ほぼ T_s' 程度のものを選んでおけばよいことがわかる。普通の誘導機は $T_s' \approx 1.0$ sec 程度で、 $x' = 0.2$, $x \approx 4.0$ であるから $T_s' \approx 0.05$ 程度、したがって時間間隔は $\Delta t = 0.05$ sec をとればよいと考えられる。

(3) 極限電力の計算方法

計数形計算機によって極限電力を計算するには図 2.14 に示すようにする。

まず、任意の電力 P_{10} および P_{20} を考え、 P_{10} では系統は必ず安定、 P_{20} では系統は必ず不安定であるように選ぶ。つぎに $P_1 = (P_{10} + P_{20})/2$ なる電力に対して系統の電力動揺を計算し、安定性を判断する。系統の安定性は、いわゆる First Swing Transient Stability によるが、たとえば、2 機系では故障中発電機は加速し、電動機は減速するから、両者の相対速度が、正から負に移行すれば安定と判定し、機器間の位相差が 180 度以上、すなわち $|\theta| = \left| \int \omega s dt \right| > \pi$ となれば不安定と判定す

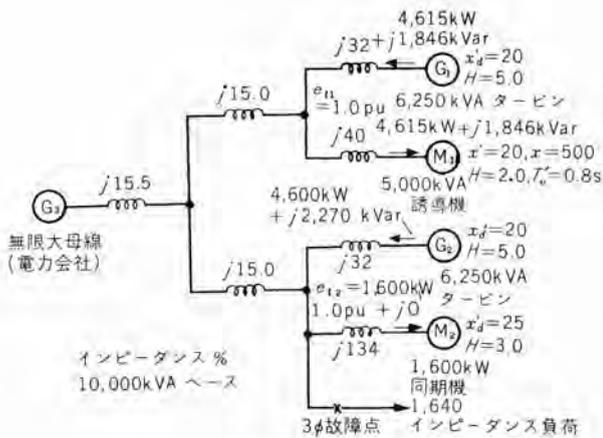


図 2.15 等価回路

Fig. 2.15 Equivalent circuit.

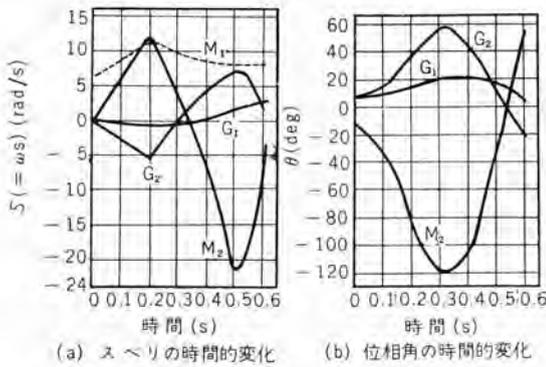


図 2.16 過渡動揺

Fig. 2.16 Transient surging.

る。誘導機は、そのスベリが過大になって停止することなく運転できるかどうかによって判定する。このようにして P_1 で安定なら P_{10} を P_1 におきかえ、不安定なら P_{20} を P_1 におきかえて、 $P_2 = (P_1 + P_{20})/2$ あるいは、 $P_2 = (P_{10} + P_1)/2$ として計算を繰り返して進め、 $|P_{unstable} - P_{stable}|$ が、あらかじめ与えられた許容誤差 (たとえば 0.01 per unit) 以下になれば、計算を終了し、極限電力として

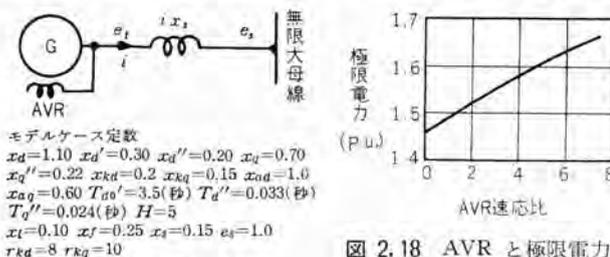
$$P = (P_{stable} + P_{unstable})/2$$

をとる。

(4) 過渡安定計算例

a. 過渡動揺

図 2.15 に示すような誘導機を含む某工場配電系統の故障時における過渡動揺を示す。この系統の故障前の潮



モデルケース定数
 $x_d=1.10$ $x_d'=0.30$ $x_d''=0.20$ $x_q=0.70$
 $x_q'=0.22$ $x_qd=0.2$ $x_qd'=0.15$ $x_{ad}=1.0$
 $x_{aq}=0.60$ $T_{d0}'=3.5$ (秒) $T_{d0}''=0.033$ (秒)
 $T_{q0}''=0.024$ (秒) $H=5$
 $x_l=0.10$ $x_f=0.25$ $x_s=0.15$ $e_s=1.0$
 $r_{kd}=8$ $r_{kq}=10$

図 2.18 AVR と極限電力
 Fig. 2.18 AVR vs limit power.

流状態は

- G_1 の出力 4,615 kW + j1,846 kVar
- G_2 の出力 4,600 kW + j2,270 kVar
- M_1 の入力 4,615 kW + j1,846 kVar
- M_2 の入力 1,640 kW (PF=1.0)

故障回線除去は、発生後 0.2 sec である。

この結果は図 2.16 に示すとおりであって、同図 (a) はスベリ、(b) は位相の時間的変化をみるものである。これから各機のスベリの変化をみると、同期発電機 G_1, G_2 は負から正に、同期電動機 M_2 は正から負になっており、さらに誘導機 M_1 のスベリも、過大なる値には達せず、もとの値にもどっているため、この系統は安定であると判断される。

b. 極限電力

つぎに、AVR の速応比が同期機の極限電力 (電動機の場合は脱出トルク) に与える効果について計算した例を示す。モデル系統は、図 2.17 を考える。この結果は図 2.18 に示してあるが、AVR の速応比が増すに従って、極限電力が増大するのは当然ながら、その増加率が下がっているのは、励磁機の頂上電圧の影響によるものである。

2.4 過渡現象問題

雷サージ、開閉サージ問題など、電力系統の過渡現象の digital 解法として、まず念頭に浮かぶのは、Frequency Response 法であろう。しかし、この方法では、電力系統の式を接続点形式で与えたときに、そのマトリクスがあまりよくない。すなわち、主対角要素 (Diagonal element) が大きくないことである。そこで、たとえば、 $\cos \omega t = p^2 / (p^2 + \omega^2)$ であるが、 $p = \sqrt{s}$ とおけば、 $s / (s + \omega^2)$ が $E^{-\omega t}$ となって、抵抗分が出てきて、接続点形式で書いたときのマトリクスの体質が改善される。しかし $\sum E^{-\omega t}$ の解から、指数を分離することはきわめてむずかしい。

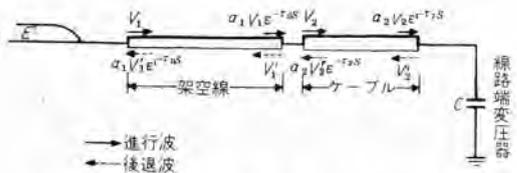


図 2.19 架空線とケーブルからなる回路

Fig. 2.19 Circuit consist of overhead line and cable.

表 2.1 モデル定数 (図 2.19 参照)

| | 架空線 | ケーブル |
|-------------|------------------------------|-----------------------|
| コウ長 | 60 m | 45 m |
| サージ・インピーダンス | $W_1=500 \Omega$ | $W_2=50 \Omega$ |
| 進行波の伝播速度 | 300 m/ μ -sec | 150 m/ μ -sec |
| 同上伝播時間 | $\tau_1=0.2 \mu$ -sec | $\tau_2=0.3 \mu$ -sec |
| 同上減衰定数 | $\alpha_1=1.0^*$ | $\alpha_2=1.0^*$ |
| 線路端変圧器 | C=4,000 pF $\times 2$ * 減衰なし | |

筆者は、進行波の概念を用い、送電線を時間遅れ要素として取扱い、系統の微分方程式をたてて解く方法が、系統の方程式を接続点形式で表わすことができ、もっとも実用的なものとする。つぎに例をあげて説明しよう。

図 2.19 に示すように、架空線とケーブルより成る系統を考えると、この回路の方程式は下記のとおりである。

$$V_1(t) + a_1 V_1'(t - \tau_1) = 1 - \varepsilon^{-t/T} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$a_1 V_1(t - \tau_1) + V_1'(t) = V_2(t) + a_2 V_2'(t - \tau_2) \dots\dots\dots (2.26)$$

$$\frac{a_1}{W_1} V_1(t - \tau_1) - \frac{V_1'(t)}{W_1} = \frac{V_2(t)}{W_2} - \frac{a_2}{W_2} V_2'(t - \tau_2) \dots\dots\dots (2.27)$$

$$c \frac{d}{dt} [a_2 V_2(t - \tau_2) + V_2'(t)] = \frac{a_2}{W_2} V_2(t - \tau_2) - \frac{V_2'(t)}{W_2} \dots\dots\dots (2.28)$$

ここに W_1 、 W_2 は、それぞれ架空線路、ケーブル線路のサージインピーダンスである。式 (2.26)、(2.27) 両式において、

$$\left. \begin{aligned} -a_1 V_1(t - \tau_1) + a_2 V_2'(t - \tau_2) &= A(t) \\ a_1 V_1(t - \tau_1) + \frac{W_1}{W_2} a_2 V_2'(t - \tau_2) &= B(t) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.29)$$

とおけば、

$$V_1'(t) = \frac{W_1 A(t) + B(t)}{1 + \frac{W_2}{W_1}} \dots\dots\dots (2.30)$$

$$V_2(t) = \frac{-A(t) + B(t)}{1 + \frac{W_1}{W_2}} \dots\dots\dots (2.31)$$

式 (2.28) を書き直すと

$$\frac{d}{dt} V_2'(t) = \frac{1}{c W_2} [a_2 V_2(t - \tau_2) - V_2'(t)] - a_2 \frac{d}{dt} V_2(t - \tau_2) \dots\dots\dots (2.32)$$

これを、modified Euler 法で数値積分すれば、結局、計算機で解くべき方程式は、つぎようになる。

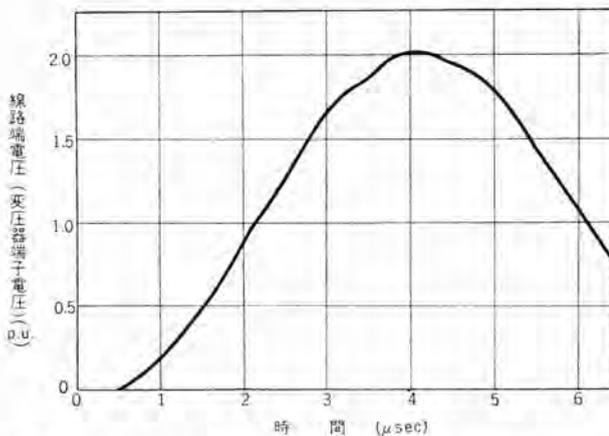


図 2.20 線路端電圧 (変圧器端子電圧) (図 2.19 表 2.1 参照)
Fig. 2.20 Receiving-end voltage.

$$\left. \begin{aligned} V_1(t + \Delta t) &= 1 - \varepsilon^{-(t+\Delta t)/T} - a_1 V_1'(t + \Delta t - \tau_1) \\ V_1'(t + \Delta t) &= \frac{(W_1/W_2)A(t + \Delta t) + B(t + \Delta t)}{1 + W_1/W_2} \\ V_2(t + \Delta t) &= \frac{-A(t + \Delta t) + B(t + \Delta t)}{1 + W_1/W_2} \\ V_2'(t + \Delta t) &= V_2'(t) + (\Delta V_2')_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.33)$$

ただし

$$\left. \begin{aligned} A(t + \Delta t) &= -a_1 V_1(t + \Delta t - \tau_1) \\ &\quad + a_2 V_2'(t + \Delta t - \tau_2) \\ B(t + \Delta t) &= a_1 V_1(t + \Delta t - \tau_1) \\ &\quad + \frac{W_1}{W_2} a_2 V_2'(t + \Delta t - \tau_2) \\ (\Delta V_2')_1 &= \left(1 - \frac{\Delta t}{2cW_2}\right) (\Delta V_2')_0 \\ (\Delta V_2')_0 &= \frac{\Delta t}{cW_2} \\ &\quad \left[\frac{a_2}{2} \frac{V_2(t + \Delta t - \tau_2) + V_2(t + \Delta t)}{2} \right. \\ &\quad \quad \left. - V_2'(t) \right] \\ &\quad - a_2 [V_2(t + \Delta t - \tau_2) - V_2(t - \tau_2)] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.34)$$

この方法によって、表 2.1 の系統を解析した結果を、図 2.20 に示す。

2.5 系統定数の計算

電力系統問題には、電力潮流、短絡故障計算、安定度問題など、駆動点および伝達インピーダンス、もしくは、自己および相互インピーダンスを用いて解析されるものがきわめて多い。これらは、従来、交流計算盤などのアナログ計算機で求められていたが、精度の高い解が要求される場合には、計数形計算機によることが必要となる。

計数形計算機によって、駆動点および伝達インピーダンス、あるいは、自己および相互インピーダンスを計算する方法として、つぎの三つが知られている⁽⁹⁾。

- (1) 系統回路網のマトリクスによる方法
- (2) 電流源接続による方法
- (3) 母線電圧の繰り返し計算による方法

(1) は、定常回路網の解析に関する Kron の方法⁽¹⁰⁾ を応用したもので、系統回路網の枝路および母線に関して、インピーダンスのマトリクスを作り、これを計算してゆくものであり、(2) は、従来計算盤に用いられているものと類似の方法で、基準となる母線を接地し、系統の各母線に $1+j0$ なる電流源を接続して計算するものである。(3) は、いわゆる反復計算法に基づくもので、計数形計算機には、これがもっとも適していると考えられている。したがって、ここでは、(3) の方法によって、自己および相互インピーダンスを計算する場合について述べる。

母線 P に流入する電流の総和は、キルヒホッフの法則によって zero でなければならないから、

$$\sum_q Y_{pq} (E_q - E_p) = 0 \dots\dots\dots (2.35)$$

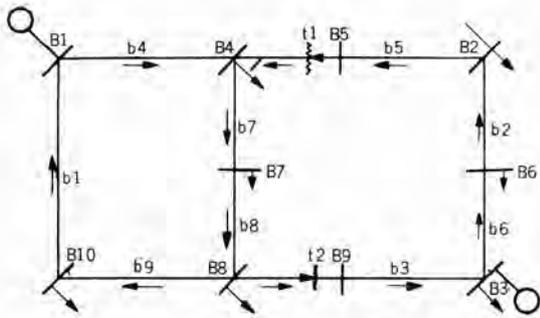


図 2.21 簡単な回路例
Fig. 2.21 Example of simple circuit.

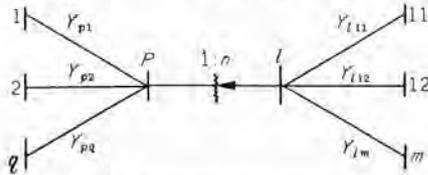


図 2.22 off-nominal turn ratio 変圧器を有する場合の計算法説明図
Fig. 2.22 Explanation of calculation in case of having off-nominal turn ratio transformer.

$$\therefore E_p = \frac{\sum_q Y_{pq} E_q}{\sum_q Y_{pq}} \quad \dots\dots\dots (2.36)$$

ここに、 E_p, E_q は、それぞれ、母線 p, q の電圧であり、 Y_{pq} は、二つの母線 p, q 間のアドミタンスであって、たとえば、図 2.21 に示す系統については、

| $p \backslash q$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | | | | | 3.371 -j 10.714 | | | | | 2.361 -j 7.143 |
| 2 | | | | | 0.273 -j 8.322 | 2.967 -j 27.077 | | | | |
| 3 | | | | | | 2.967 -j 27.077 | | | 0.306 -j 7.130 | |
| 4 | 3.371 -j 10.714 | | | | | | 3.571 -j 10.714 | | | |
| 5 | | 0.971 -j 8.322 | | | | | | | | |
| 6 | | 2.967 -j 27.077 | 2.967 -j 27.077 | | | | | | | |
| 7 | | | | | 3.371 -j 10.714 | | | 3.571 -j 10.714 | | |
| 8 | | | | | | | 3.571 -j 10.714 | | | 1.786 -j 5.357 |
| 9 | | | 0.306 -j 7.130 | | | | | | | |
| 10 | 2.361 -j 7.143 | | | | | | | 1.786 -j 5.357 | | |

..... (2.37)

となる。

系統の母線電圧のほとんどが、式 (2.36) によって計算できるが、系統中に off-nominal turn-ratio の変圧器を有する場合には、これの、母線 p に流入する電流への影

表 2.2 母線電圧計算例

| 母線 | 最初の仮定 | 繰り返し回数 | | | |
|----|-------|------------|------------------|------------------|------------------|
| | | 第 1 回目 | 第 2 回目 | 第 3 回目 | 第 4 回目 |
| 1 | 1+j0 | 1+j0 | 1+j0 | 1+j0 | 1+j0 |
| 2 | 0 | 0+j0 | 0.18294+j0.01071 | 0.21909+j0.00310 | 0.22819+j0.00862 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0.65+j0 | 0.54819+j0.04894 | 0.65969+j0.02483 | 0.64391+j0.05506 |
| 5 | 0 | 0.60747+j0 | 0.51232+j0.04573 | 0.61653+j0.02320 | 0.60178+j0.05145 |
| 6 | 0 | 0+j0 | 0.11889+j0.00695 | 0.10673+j0.00408 | 0.11484+j0.00382 |
| 7 | 0 | 0.42250+j0 | 0.46755+j0.03179 | 0.64173+j0.05469 | 0.55687+j0.06173 |
| 8 | 0 | 0.36615+j0 | 0.54340+j0.07400 | 0.47295+j0.07921 | 0.46216+j0.07462 |
| 9 | 0 | 0.33591+j0 | 0.49853+j0.06788 | 0.43389+j0.07266 | 0.42399+j0.06845 |
| 10 | 0 | 0.94685+j0 | 0.76154+j0.04121 | 0.77789+j0.03174 | 0.76760+j0.03279 |

駆動点 母線 1 基準母線 母線 3

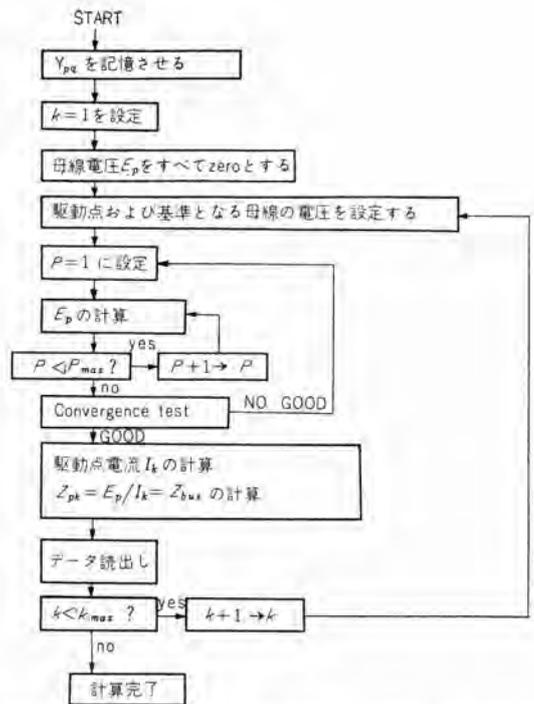


図 2.23 反復計算法による自己および相互インピーダンス計算のフロー・チャート
Fig. 2.23 Flow chart of self and mutual impedance calculation according repetition calculation.

響も考えなければならない。この場合には、off-nominal turn-ratio を $1:n$ とすると、

$$\sum_q Y_{pq} (E_q - E_p) + n_{pl} \sum_m Y_{lm} (E_m - E_l) = 0 \quad (2.38)$$

したがって

$$E_p = \frac{\sum_q Y_{pq} E_q + n_{pl} \sum_m Y_{lm} (E_m - E_l)}{\sum_q Y_{pq}} \quad \dots\dots\dots (2.39)$$

となる。(図 2.22 参照)

系統の各母線電圧は、すべて、式 (2.36) もしくは式 (2.39) のいずれかによって計算されるのであるが、そのとき、駆動点となる母線の電圧は $1+j0$ に、基準となる母線の電圧は $0+j0$ に保ち、他の母線電圧を仮定して、各母線電圧の繰返し計算を行なう。その方法は、たとえば、図 2.21 の系統において、母線 1 を駆動点、母線 3 を基準母線とした場合について示すと、表 2.2 のようになる。この計算では、取れん加速定数を 1.3 として、

$$E = 1.3(E_{\text{new}} - E_{\text{old}}) + E_{\text{old}} \quad \dots\dots\dots (2.40)$$

表 2.3 論文分類表

| | 一般 | 電力潮流 | 短絡計算 | 過渡安定度 | 系統定数 | 経済問題 | 配電系統 | その他 | 計 |
|---------|----|------|------|-------|------|------|------|-----|-----|
| 1952 以前 | 2 | | | 1 | | | | | 3 |
| 1953 | | | | 1 | 1 | 3 | | | 5 |
| 1954 | 3 | 1 | | | | 6 | | | 10 |
| 1955 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | | 1 | 12 |
| 1956 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | | 5 | 15 |
| 1957 | 6 | 5 | 7 | 5 | 2 | 7 | 2 | 8 | 42 |
| 1958 | 4 | 5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 7 | 1 | 25 |
| 1959 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 4 | | 11 |
| 計 | 21 | 15 | 15 | 13 | 8 | 23 | 13 | 15 | 123 |

として、母線電圧を計算している。

このようにして、全母線の電圧が、所定の限度まで収れんし、繰り返し計算が終ると、次式によって、駆動母線 k への入力電流が計算される。

$$I_k = \sum_q Y_{kq}(1-E_q) + \sum_m n_{km} Y_{km}(E_l - E_m) \quad (2.41)$$

入力電流と、母線電圧が全部わかると、自己および相互インピーダンスは、母線電圧を入力電流で除して得られる。

図 2.23 に、計算のフロー・チャートを示す。

2.6 論文リスト

第二次大戦後における計数形計算機の進歩は、めざましいものであり、それに伴って、電力系統問題の解析にも、広く用いられるようになったことは、すでに述べたところであるが、今後、ますます、その適用範囲が拡張されることが予想される。

表 2.3 は、ここ数年間に発表された、計数形計算機の応用に関する論文のうち、電力系統問題への応用について論じたおもなるものを、年号別に分類したものである。論文リストは、紙面の都合上、この報告に必要なものだけに限った。

3. む す び

数章にわたって、電力系統の技術計算に対する計数形計算機の応用について述べた。これらの問題における、今後の研究課題としては、つぎのようなものがあげられる。

- (1) 系統の方程式を接続点形式で表現したときに、多元連立一次方程式を解く場合の、収れん加速定数の研究。
- (2) 系統の方程式を Loop 形式で表現するときに、Loop や Branch など、計算機によって、自動的にこなす Topological な手法の研究。

- (3) 送電線のように、分布回路を含む系（数学的には偏微分方程式で表わされる系）のより進んだ解析方法。

現在の電子計算機の応用は、もっぱら、計算機の算術的計算能力の面を活用しているのであって、本質的には、人間の計算労働の補助手段として用いているにすぎない。しかし、電子計算機の真の機能は、パタン認識、学習機能、創造的思考のような、論理機能であろう。これらの機能を十分に活用することによって、たとえば、系統のもっとも経済的な潮流制御などの問題も、まったく、自動的にこなすことができるであろう。この方面への計算機の活用によって、人間の決断 (Decision) を機械に委譲することが今後の大きな研究課題と考える。

(35-1-11 受付)

参 考 文 献

- (1) J. M. Henderson: AIEE Trans. 73, 1696~1702 pt III-B, Feb. (1955).
- (2) J. B. Ward & H. W. Hale: AIEE Trans. 75, 398-404 pt III, June, (1956).
- (3) C. Concordia: Synchronous Machines. (a book) 66. (1951).
- (4) Rothe: An Introduction to Power System Analysis. (a book) 76. (1953).
- (5) H. Levy & E. A. Baggott: Numerical Solutions of Differential Equations. (a book) 106 (1934).
- (6) L. W. Coombe & D. G. Lewis: AIEE Trans. 75, 1394-1397. pt III, Feb. (1957).
- (7) 馬場: 電力系統における誘導機の過渡現象, 「三菱電機」32, No. 11, 24 (昭 33).
- (8) A. D. Booth: Numerical Methods (a book) (1955). [宇田川・中村両氏共訳 コロナ社 (昭33)]
- (9) A. F. Glimm, R. Habermann, Jr., J. M. Henderson & L. K. Kirchmayer: AIEE Trans. 74, 1285-1296 pt III, Dec. (1955).
- (10) Gabriel Kron: Tensor Analysis of Networks. (a book) (1939).

最近における当社の社外寄稿一覧

| 寄稿年月日 | 寄稿先 | 題名 | 執筆者 | 所属場所 |
|----------|---------|--------------------------------|---------------------------------|------|
| 34-11-10 | 質量分析 | 高真空質量分析計の試作 | 後藤正之・藤永 敦 甲斐潤二郎・川崎弘司 杉田利男 | 研究所 |
| 〃-11-11 | 電気学会 | 非整数階積分制御系について | 真鍋舜治 | 〃 |
| 〃-11-13 | 機械設計誌 | 簡略図法による図期の短縮 | 松尾 準一 | 本社 |
| 〃-11-17 | 電気学会 | 抵抗形点弧子における形状と点弧特性との関係について | 岡田 武夫 | 研究所 |
| 〃-11-18 | 鉱山用電気設備 | 巻上機関係「第 33 図 スキュー 積込設備および放荷設備」 | 熊本 永 | 長崎 |

MELCOM 繰返形アナログコンピュータ (EA-100 形)

無線機製作所 大鳥羽幸太郎*・和田 宏*

MELCOM Repetition Type Analog Computers (Type EA 100)

Electronics Works Kōtarō ŌTOBA・Hiroshi WADA

Electronic analog computers are in the lime-light of the scientific and engineering field. MELCOM repetition type analog computers, type EA-100, simple in handling, have been brought completion by Mitsubishi following the low speed computer already on the market. They have distinctive features of high speed in computation and of direct viewing of the solution appearing at once on the cathode ray oscilloscope. This permits the adaptation of the repetitive computer with great advantage to problems of analysis and synthesis of a general automatic control system which asks for the solution when parameters are varied or inversely determines the values of parameters from the waveforms of the solution.

1. ま え が き

電子管式アナログコンピュータが航空工学、機械工学、電気工学をはじめ、ひろく理工学分野で線形非線形微分方程式の解析機として、またシミュレータとして賞用され、さらに近來リニア・プログラミングなど理工学方面以外にも応用されつつあることはあらためて多言を要しないところである。当社では従来の低速度形アナコン EA-1 形⁽¹⁾に引続き、昨年大規模な精密級の MELCOM 低速度形アナコン (EA-22 形)⁽²⁾⁽³⁾の完成をみたが、今回さらに取扱い簡便な繰返形アナコン MELCOM (EA-100 形)の製作を完了した。

電子管式アナログコンピュータはその演算解の指示方式により大別すると

- a. 低速度形
- b. 繰返形 (高速度形ともいう)

の2種になる。低速度形は解記録装置としてペン書オシロを使用し、その演算時間は数秒ないし数分にわたるものである。これに対し繰返形は解指示装置としてブラウン管オシロを使用するもので演算時間は普通数十ms以下である。(繰返形では、解のサンプリングを行なってペン書オシロに描かせることもできるが、これはむしろ特別な使用方法というべきであろう。)このように繰返形は演算時間が低速度形といちじるしく異なるが、その構成要素の種類や演算回路の構成法については低速度形と大きな違いはなく、取扱いは低速度形に準じて行なうことができる。

2. 概 要

EA-100 繰返形アナログコンピュータは、各種の伝達関数を構成できる線形演算器を、解指示装置や電源などとともにまとめて取扱い簡便なよう設計されたもので、最高8階までの線形微分方程式を解くことができる。

繰返形アナコンの特色は、演算が高速で行なわれ、演算解がブラウン管面上に直視できる点である。したがって解の波形をみながら、系のパラメータや初期条件を変えても、解の変化を瞬時に観測できるから、時間と手数をいちじるしく省くことができる。したがって繰返形は、解析結果から逆にパラメータの値を決定するいわゆるシソシスの問題にとくに適しているといえる。これは演算時間に数秒以上を要し、ペン書オシロによって解を記録する低速度形では望めない利点である。

一方繰返形の演算精度は、後に述べるように演算周波数が高域に及ぶことによって制約を受け、また演算器を高精度となし得ても、ブラウン管を使用する以上その読みの精度はおのずから限度がある。したがって最終的に高精度を必要とする計算は低速度形の使用を待たなければならない。

図 2.1 は繰返形アナコンの動作原理説明図であり、演算を繰り返して行なうために、図のような電源周波数に同期したゲート電圧によって演算の制御を行なっている。すなわち演算期間とリセット期間とが一定周期ごとに交互に現われ、1回の演算が終了すると、リセット期間中に各部電圧が初めの値にリセットされ、つぎに初めの演算

* 機器製造部

と同じ演算を行ない、以下これを繰り返す。演算解はブラウン管オシロ装置で掃引すれば、1個の静止波形として観測できる。

3. 構成

本機は演算要素を含む演算部、演算解を表示する解指示部、演算制御用の矩形波電圧を発生する制御電源部、および装置全体の電圧供給源である主電源部よりなっている。演算部、解指示部、制御電源部は図3.1写真のように机上部に一括配置され、また箱体内部の主電源の接続を行なうスイッチは制御電源に取付けられていて、操作はすべて机上で行なえるようになっている。

本機はまた移動および運搬に便利な構造となっている。すなわちテーブルおよびその支持板は折込みが可能であり、箱体は車つきであるから室内を自由に移動できる。各部は接センまたは特殊スイッチで接続されているので、電気回路の切離しおよび分解運搬が簡単である。

3.1 演算部

演算部は演算増幅器(8台)、加算器(4台)、ポテンシオメータ(16個)より構成され、それぞれの入出力端子はパネル全面に一括して配列されている。

演算増幅器および加算器は、前者がロータリ・スイッチによって演算インピーダンスを切換えて使用するいわゆる汎

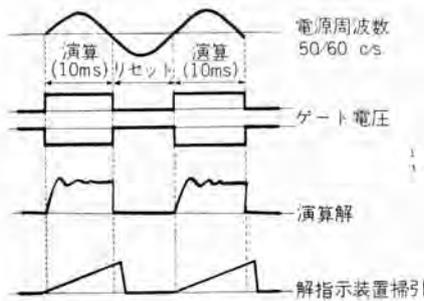


図 2.1 動作原理説明図
Fig. 2.1 Wave forms showing the operation of the repetitive computer.



図 3.1 MELCOM 繰返形 アナログコンピュータ (EA-100 形)
Fig. 3.1 Appearance of a MELCOM repetition type analog computer. (Type EA-100)

用形であるに対し、後者は加算または符号変換用として単能化されている違いはあるが、増幅器自体の特性は同一である。(したがって以下演算増幅器の特性に関する記述は、加算器をその特別の場合として包含するものと

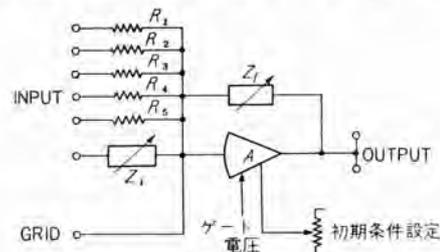


図 3.2 演算増幅器のブロック図
Fig. 3.2 Block diagram of the operational amplifier.

表 3.1 伝達関数表

| | 演算回路 | 演算関係式 | 入 力 | 出 力 | | 演算回路 | 演算関係式 | 入 力 | 出 力 |
|---|------|---|-----|-----|----|------|--|-----|-----|
| 1 | | $e_o = -e_i$ | | | 10 | | $e_o = -\frac{C_1}{C_f} \frac{1 + PC_f R_1}{1 + PC_f R_1} e_i$ | | |
| 2 | | $e_o = \frac{R_f}{R_1} e_i$ | | | 11 | | $e_o = -\frac{R_f}{R_1} \frac{1 + PC_f R_1}{1 + PC_f R_f} e_i$ | | |
| 3 | | $e_o = -R_f \left(\frac{e_1}{R_1} + \frac{e_2}{R_2} \right)$ | | | 12 | | $e_o = -\frac{C_1}{C_f} (1 + PC_f R_1) e_i$ | | |
| 4 | | $e_o = -\frac{1}{PC_f R_1} e_i$ | | | 13 | | $e_o = -\frac{1 + PC_f R_1}{PC_f R_1} e_i$ | | |
| 5 | | $e_o = -PC_f R_f e_i$ | | | 14 | | $e_o = -\frac{C_1}{C_f} \frac{e_i}{1 + PC_f R_f}$ | | |
| 6 | | $e_o = -\frac{R_f}{R_1} \frac{e_i}{1 + PC_f R_f}$ | | | 15 | | $e_o = -\frac{PC_f R_f}{1 + PC_f R_f} e_i$ | | |
| 7 | | $e_o = -\frac{R_f}{R_1} \frac{PC_f R_1}{1 + PC_f R_f} e_i$ | | | 16 | | $e_o = -\frac{PC_f R_f}{(1 + PC_f R_1)(1 + PC_f R_f)} e_i$ | | |
| 8 | | $e_o = -\frac{1 + PC_f R_f}{PC_f R_1} e_i$ | | | 17 | | $e_o = -\frac{C_1 R_f}{(1 + PC_f R_1)(1 + PC_f R_f)} e_i$ | | |
| 9 | | $e_o = -\frac{R_f}{R_1} (1 + PC_f R_1) e_i$ | | | | | | | |

R_1, R_f, R_1 ; 0.01 ~ 0.6MΩ
 C_1, C_f ; 0.001, 0.002, 0.005, 0.01, 0.02μF
 POTENTIOMETER; 0.01MΩ

する。)

演算増幅器は、3 段の クランプ 回路を有する交流増幅器を基本として構成されている。後述のように、この回路は初期条件設定が簡単であり、同時に使用演算 インピーダンスの制限を緩和し、リセット 誤差を軽減する利点をもつ。本器の増幅器利得は低域において 74 db 以上、最大出力電圧、電流はそれぞれ $\pm 50\text{V}$ 、 $\pm 10\text{mA}$ である。

図 3.2 に演算増幅器のブロック図を示す。図において Z_i 、 Z_f はそれぞれ入力および帰還 インピーダンスでロータリ・スイッチの切換えによって演算用抵抗およびコンデンサの組合わせ(単独または直並列回路)をつくり、種々の伝達関数を構成するようになっている。表 3.1 に本器により実現できる伝達関数の形を、その代表的波形とともを示した。

なお、図 3.2 における グリッド 端子は、リミッタなどの特殊回路と併用する場合に便なるよう設けられているものである。

図 3.3、3.4 に、演算増幅器および加算器の外観を示す。

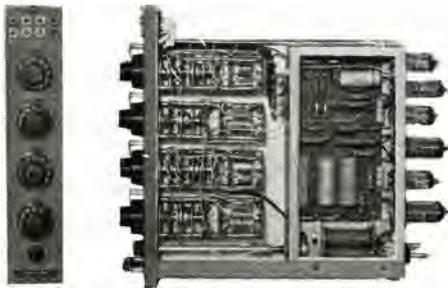


図 3.3 演算増幅器の外観

Fig. 3.3 Appearance of the operational amplifier.



図 3.4 加算器の外観

Fig. 3.4 Appearance of the adder.

3.2 解指示部

演算解を表示するブラウン管オシロ装置で、解の観測に適する設計となっている。ブラウン管は 5UP1F を使用し、前面には写真撮影用座金、解読取用目盛板を付属している。

3.3 制御電源部

前節で述べたように繰返形アナログコンピュータでは、演算制御のためのゲート電圧を必要とする。すなわち 1 回の演算の終りにおいては、演算コンデンサおよび交流増幅器の結合コンデンサには、演算の初めとは異なる電荷が



図 3.5 ゲート電圧波形
Fig. 3.5 Wave form of the gate voltage.

蓄積されるから、演算を繰り返すためにはいったんこの電荷の放電、すなわちリセットを行わなければならない。このために、コンデンサの放電回路にダイオードを使用したクランプ回路を設けて、これをゲート電圧で制御する。ゲート電源はマルチバイラータを基本として構成され、電源に同期した周波数の矩形波を発生する。この波形は図 3.5 に示される。

なお演算に使用する単位電圧もゲート電源より派生的に得られている。

3.4 主電源

出力電圧 $\pm 250\text{V}$ 、変動率 0.1% 以下の直流増幅形定電圧電源をもつ。全消費電力は約 500 VA である。

4. 演算増幅器の設計

3.1 項で演算増幅器の概略を述べたが、図 3.2 および表 3.1 で示されるように、本器は入力および帰還インピーダンス Z_i 、 Z_f が広範囲に変化する一種の負帰還増幅器である。したがって増幅器はその利得を大きくすることはもちろん必要であるが、一方安定性からの制約によって周波数特性はおのずからきまるものである。

また繰返形では初期条件の挿入を、低速度形の場合のように機械接点で行なうことは困難であるから、いかなる挿入法によるかにより増幅器の形式に多少の差を生じる。

本節ではこのような演算増幅器設計上の要点について述べる。

4.1 増幅器周波数特性

演算増幅器は図 4.1 のような一般形で表わされる。図で A 、 Z_o 、 Z_0 および Z_L はそれぞれ増幅器の利得、グリッド入力インピーダンス、出力インピーダンスおよび負荷インピーダンスである。図の a 点に流れ込む電流の総和が零であることから、入出力の関係は

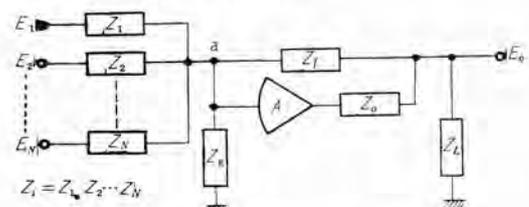


図 4.1 演算増幅器の一般形

Fig. 4.1 Generalized form of the operational amplifier.

$$E_0 = - \sum_{i=1}^n \frac{Z_f}{Z_i} \cdot \frac{E_i}{1 - \frac{1}{A} \left\{ \left(\frac{1 + Z_0/Z_f + Z_0/Z_i}{1 + Z_0/(AZ_f)} \right) \left(1 + \frac{Z_f}{Z_0} + \sum_{i=1}^n \frac{Z_f}{Z_i} \right) \right\}} \quad (4.1)$$

ここで $A \rightarrow \infty$ のとき

$$E_0 = - \sum_{i=1}^n \frac{Z_f}{Z_i} \cdot E_i \quad (4.2)$$

となり、周知のような理想的演算式が成立する。

したがって式 (4.1) 分母第 2 項は、 A が有限なる場合の誤差を与えるものであるが、一方図 4.1 の一巡利得を AB とするとき、同項は $1/AB$ で表わされることが容易に証明され、同項 { } 内は帰還回路の周波数特性 $1/\beta$ を表わすものであることがわかる。

さて帰還 ルーパ系の安定性の判別は、一巡利得 AB を周波数 ω に対してプロットする。いわゆる Bode 線図によるのが便利である。これは $|AB|=1$ となる周波数の位相推移を検討するものであるが、 β の特性が大幅に変化する可能性のある場合はむしろ $|A|=1/|\beta|$ なる形で解析するのが有利である⁽⁴⁾。(付録 1 参照)

表 3.1 に示される各回路に対して $1/|\beta|$ を求めた場合、Bode 線図において最大 +20 db/dec の傾斜をもち、とくに微分器の場合、この傾向は広い周波数帯にわたるから、増幅器利得 $|A|$ の周波数特性は少なくとも -20

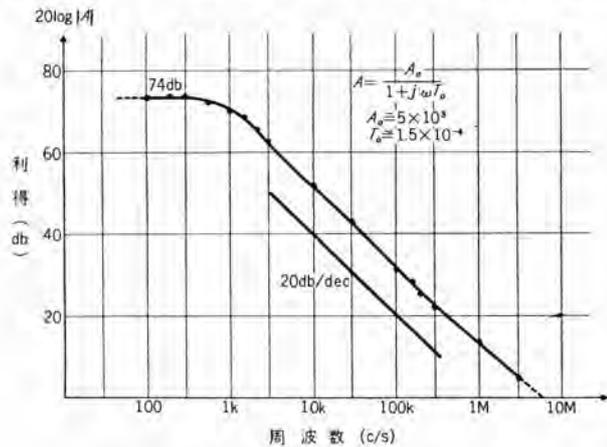


図 4.2 増幅器周波数特性

Fig. 4.2 Frequency characteristics of the amplifier.

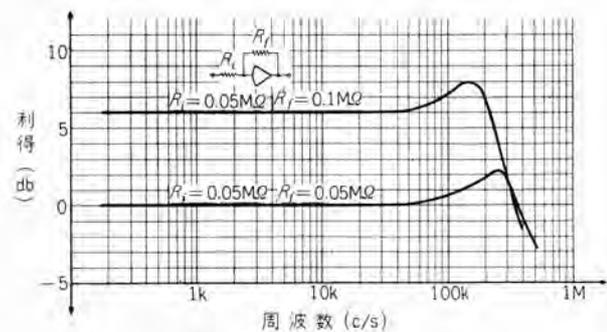


図 4.3 係数器周波数特性

Fig. 4.3 Frequency characteristics of the coefficient multiplier.

db/dec 以上の傾斜をもたないことが必要となる。

一方増幅器利得とバンド幅の関係は、増幅器の Figure of Merit によりきまるから低域での利得 $|A_0|$ の平坦部分を少なくすることなく、 $|A_0|$ の値を大きくすることはできない。

以上の諸点と周波数補償の容易さを考慮し、本器の周波数特性は低域での利得約 74 db、傾斜 -20 db/dec、利得 1 となる周波数約 5 Mc に設計されている。図 4.2 に増幅器周波数特性を、図 4.3 に係数器として用いた場合の周波数特性の測定結果を示す。

4.2 初期条件挿入法

従来、繰返形 アナログコンピュータ では、初期条件の挿入は演算器の出力電圧に加算器を用いて初期電圧を加算するか、または増幅器出力回路に電圧加算用真空管を付属するかの方法がとられてきたが、本機では直流再生出力段 クランプ 回路の帰路に電圧を与えることにより、演算器出力電圧を初期電圧に設定する新しい方式がとられている。

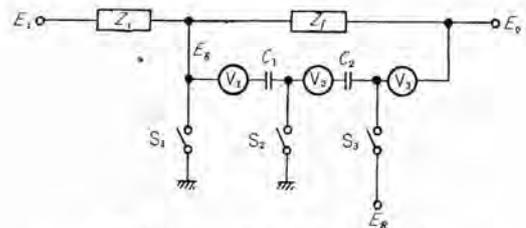


図 4.4 クランプ回路のブロック図

Fig. 4.4 Block diagram of a clamping circuit.

図 4.4 にこの方式のブロック図を示す。図において S_1, S_2, S_3 がダイオードを用いたクランプであり、 S_3 の帰路には電圧 E_R が与えられている。この回路の特色はグリッドにもクランプが付加されていることであり、これによってリセット時間中、グリッド電圧は零に保持されるから、 E_R により出力回路に初期電圧を与えても演算時間の初めに残留電圧の影響が現われることはない。すなわち E_R により初期条件の設定が可能となる。

また従来の演算器では、演算インピーダンスのリセットは、その自然放電を利用するからリセット時間が小さい場合、 Z_i, Z_f の組合わせに制限を生じることになるが、この回路ではその懸念がない。

なお、この方式は現在特許出願中である。

5. 演算精度

5.1 演算器の総合精度

アナログコンピュータの演算精度は、一般に 2 次の自由振動系を、図 5.1 に示すような演算回路で解いて得られる特性根の推移により、論じるのが普通である (Circle

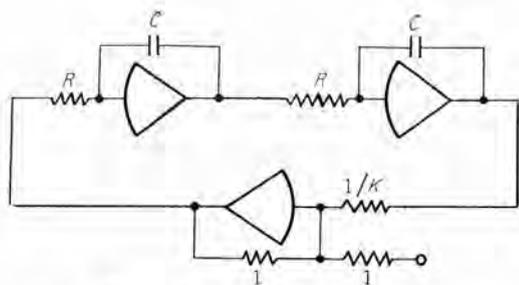


図 5.1 Circle test のブロック図
Fig. 5.1 Block diagram of circle test.

test). これはこの系の一巡伝達関数を構成する演算器の特性が、解を定める特性根にいかなる影響を与えるかを、吟味することに帰着する。演算器の特性としては、とくに増幅器自体の特性および各演算抵抗のもつ浮遊容量にもとづく浮遊時定数の影響を考慮しなければならないが、繰返形の場合演算周波数が高域に及ぶため、後者の影響がきわめて大きい。以下簡単な解析によってこれを検討する。

いま加算器および積分器の伝達関数をそれぞれ $K(p)$ および $I(p)$ とし、その位相角成分は $e^{j\phi_K}$ および $e^{j\phi_I}$ なる形で含まれるものとする。一方図 5.1 の回路の一巡伝達関数より、その特性方程式は

$$1 + K(p) \cdot I(p) = 0 \dots\dots\dots (5.1)$$

である。この関係を用いて特性根の推移を求めれば、演算周波数 ω_0 における振幅誤差 ε は、位相推移の関数として次式で与えられる。

$$\varepsilon \cong -\omega_0 \left[\frac{1}{2} \phi_K + \phi_I \right] \dots\dots\dots (5.2)$$

さて加算器および積分器の浮遊容量を、図 5.2 および図 5.3 のような形で表わし、それぞれの伝達関数を算出し、

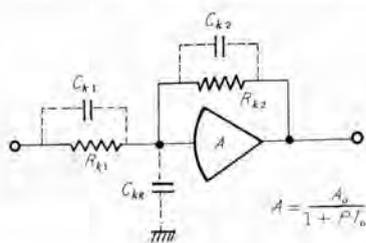


図 5.2 加算器の等価回路
Fig. 5.2 Equivalent circuit of the adder.

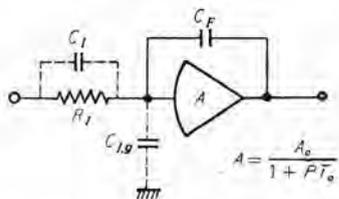


図 5.3 積分器の等価回路
Fig. 5.3 Equivalent circuit of the integrator.

ω_0 における位相角 ϕ_K, ϕ_I を求めると、(付録 2 参照)

$$\phi_K \cong \omega_0 \left\{ R_{K1}C_{K1} - R_{K2}C_{K2} - (1+K) \frac{T_0}{A_0} \right\} \dots\dots (5.3)$$

$$\phi_I \cong \omega_0 R_I C_I + \frac{1}{\omega_0 A_0 R_I C_F} - \frac{\omega_0 T_0}{A_0} \dots\dots\dots (5.4)$$

式 (5.3), (5.4) と式 (5.2) より

$$\begin{aligned} \varepsilon &\cong -\omega_0 \left[\frac{1}{2} \phi_K + \phi_I \right] \\ &\cong \omega_0^2 \left[\frac{1}{2} (R_{K2}C_{K2} - R_{K1}C_{K1}) - R_I C_I \right] \\ &\quad + \omega_0^2 (2+K) \frac{T_0}{A_0} - \frac{1}{A_0 R_I C_F} \dots\dots\dots (5.5) \end{aligned}$$

一方 ω_0 における増幅器の位相推移 θ は

$$\theta \cong \omega_0 T_0 \dots\dots\dots (5.6)$$

で与えられるから

$$\begin{aligned} \varepsilon &\cong \omega_0^2 \left[\frac{1}{2} (R_{K2}C_{K2} - R_{K1}C_{K1}) - R_I C_I \right] \\ &\quad + \frac{(2+K)\omega_0\theta}{A_0} - \frac{1}{A_0 R_I C_F} \dots\dots\dots (5.7) \end{aligned}$$

式 (5.7) における第 1 項は加算器および積分器演算抵抗のもつ浮遊時定数で表わされる誤差を表わし、第 2 項は増幅器の位相推移にもとづく誤差、第 3 項は積分器の増幅器利得にもとづく誤差を表わすものである。同式から明らかのように、増幅器特性による誤差はいずれも $1/A_0$ なる因子をもつに対し、浮遊時定数による誤差はこのような因子をもたず、 ω_0^2 の直接的影響を受けるから、たとえ時定数が微小でも、その絶対値は ω_0 の増加とともに急激に増大する傾向をもつことになる。

以上述べたところから、演算抵抗の浮遊容量は極力小さくされなければならないことがわかる。本機の場合はとくに演算増幅器が汎用形であるから、演算インピーダンス切換用ロータリ・スイッチの構造、回路構成さらに部品配置に関して特別の配慮がなされた。実測の結果によれば、

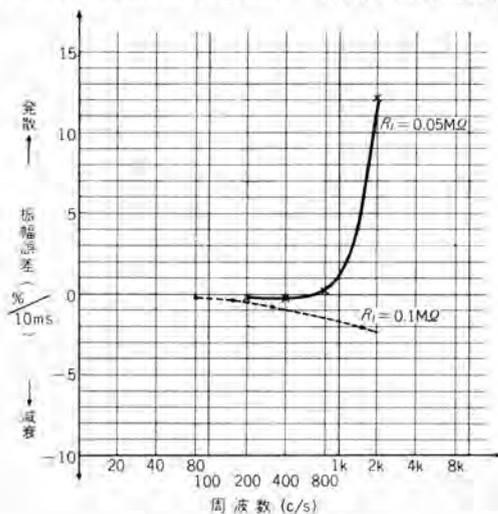


図 5.4 Circle test 特性
Fig. 5.4 Circle test characteristics.

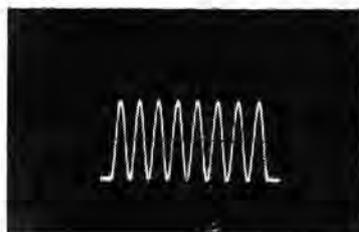


図 5.5 800 c/s 正弦波
Fig. 5.5 Sine wave of
800 c/s circle test.



図 5.6 2,000 c/s 正弦波
Fig. 5.6 Sine wave of
2,000 c/s circle test.

浮遊容量の値は最大数 pF 以下となっている。

さて本機の Circle test の結果は図 5.4 に示される。縦軸に示す発散または減衰率は演算時間 10 ms に対するものであり、周波数数百 c/s にあたり 2% 以下である。周波数 1,000 c/s 付近からしだいに誤差が顕著となる。

図 5.5、5.6 に示す写真は 800 c/s および 2,000 c/s の Circle test 波形である。

5.2 使用上における誤差軽減策

与えられた微分方程式を演算器で解く場合、いかなる演算回路構成を採用すべきかは、検討を要するところであり、これに対する詳細な報告もすでに発表されている⁽⁶⁾。

ここでは演算誤差補償の一般的な便法について述べるにとどめる。前項で図 5.1 に示すような 2 次系の自由振動解を求める場合の振幅誤差は、演算器の位相回転の関数であることを示したが、一般に減衰係数 ζ を有する 2 次の常微分方程式

$$(p^2 + 2\zeta\omega_0 p + \omega_0^2)y = F \dots \dots \dots (5.8)$$

を演算回路で解く場合、位相誤差は減衰係数 ζ の変化として評価できるものである。したがって式 (5.8) の ζ の値を演算回路に設定する際に、演算器の位相誤差にもとづく ζ の変化分だけあらかじめ差し引いて設定すれば、位相誤差を補償できることになる。図 5.7 にこのよ

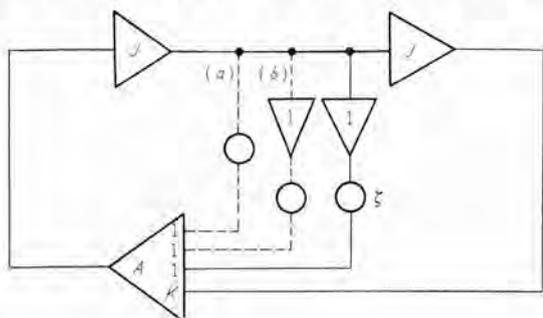


図 5.7 誤差補償回路 (2 次系)
Fig. 5.7 Computing circuit compensating
for errors. (2nd order system)

うな補償演算回路を示す。まず $\zeta=0$ として、その自由振動解を求め、結果が減衰的であれば (a) 回路、発散的であれば (b) 回路を付加し、おのおのポテンショメータを調整する。(解指示器に示される $y-py$ 軌跡が一定楕円上に乗るように調整すればよい。) その後改めて ζ を与えられた値に設定して解を求めるようにすれば、誤差は大幅に軽減される。

なお多自由度振動系の問題の場合、これを連立方程式として取扱うようにすれば、2 次系の集合として演算回路を組立てることができる。

さて前項で演算抵抗の浮遊時定数の影響について述べたが、設計上かような浮遊容量の値を零にすることは不可能であるから、演算増幅器を精度良く使用するためには、一方演算抵抗の値を下げて使用する配慮もつねに必要となる。たとえば、図 5.1 で $f_0=800$ c/s を実現するためには、積分抵抗およびコンデンサの値を、 $R=100$ k Ω 、 $C=0.002$ μ F に選んでもよいが、さらに $R=40$ k Ω 、 $C=0.005$ μ F とするほうが高精度を期待できる。ただし低抵抗を使用する場合は、前段演算器の過負荷を招かないようつねに留意しなければならない。

6. 演算例

EA-100 形 アナログコンピュータによる演算例を次に示す。電圧係数変換、時間係数変換に関しては、一般のアナログコンピュータ同様の配慮が必要である。

6.1 2 次振動系

代表的な 2 次振動の例として図 6.1 (a) のような直列 $L-C-R$ 回路に電圧を印加した場合の過渡現象がある。機械系では図 6.1 (b) のようなバネ質量系の振動がこれに対応し、周知のとおり減衰係数の変化により種々の damping の姿態が現われる。

さて図 6.1 において回路方程式を電荷 q についてかくと

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} \cdot q = E \dots \dots \dots (6.1)$$

上式の計算解は

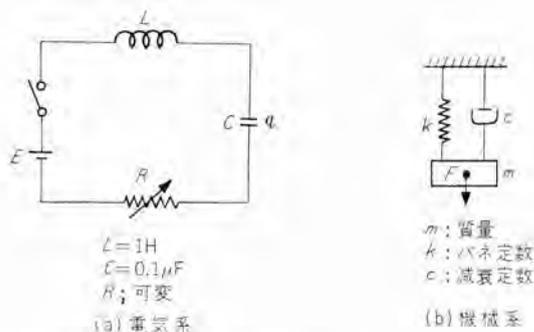


図 6.1 2 次振動系
Fig. 6.1 Vibrating system.

$$q = A_1 e^{\alpha_1 t} + A_2 e^{\alpha_2 t} \dots (6.2)$$

なる形で与えられる。ただし A_1, A_2 は回路の初期条件によってきまる定数、また α (α_1 および α_2) は

$$\alpha = -\frac{R}{2L} \pm \frac{\sqrt{D}}{2L} \dots (6.3)$$

ただし、

$$D = R^2 - 4L/C$$

$D < 0$ の場合系は振動的となり、 $R \rightarrow 0$ なる場合振動周波数 $\omega \rightarrow 1/\sqrt{LC}$ となる。いま回路定数を図 6.1 (a) のとおりであるとして式 (6.1) に代入し、 $\frac{d}{dt} = p$ とかき整理すると

$$p^2 q = E - R \cdot p q - 10^7 q \dots (6.4)$$

これを解く演算回路のブロック図を図 6.2 に示す。

damping の状態は R の値すなわちポテンシオメータ r の設定値を変えることにより連続的に観測できる。図 6.3, 6.4, 6.5 にそれぞれ $D < 0, D = 0, D > 0$ の解波形を示した。

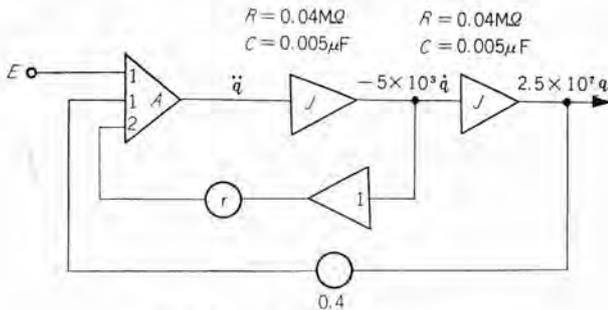


図 6.2 演算回路のブロック図

Fig. 6.2 Block diagram of the computing circuit for example 6.1.

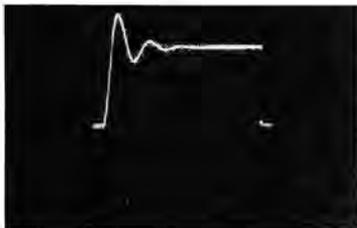


図 6.3 解波形 ($D < 0$)
Fig. 6.3 Solution wave form ($D < 0$) of example 6.1.

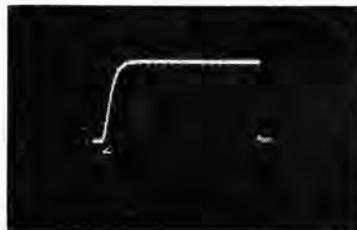


図 6.4 解波形 ($D = 0$)
Fig. 6.4 Solution wave form ($D = 0$) of example 6.1.



図 6.5 解波形 ($D > 0$)
Fig. 6.5 Solution wave form ($D > 0$) of example 6.1.

6.2 連成振動系

つぎに図 6.6 (a) 示すような直列 $L-C-R$ の結合振動回路の過渡波形を求める。機械系での対応は図 6.6 (b) で示される。

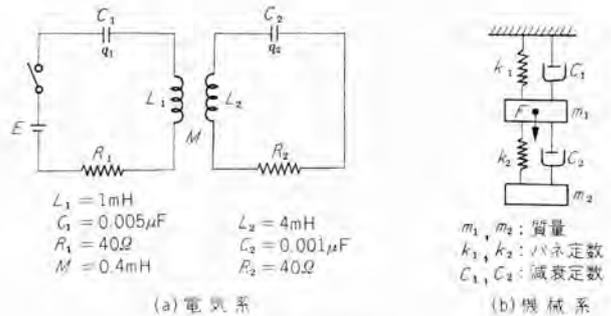


図 6.6 連成振動系

Fig. 6.6 Coupled vibrating system.

図 6.6 (a) の一次および二次回路において、それぞれ電荷 q_1, q_2 について方程式をたてると

$$\left. \begin{aligned} L_1 \frac{d^2 q_1}{dt^2} + R_1 \frac{dq_1}{dt} + \frac{1}{C_1} q_1 + M \frac{d^2 q_2}{dt^2} &= E \\ L_2 \frac{d^2 q_2}{dt^2} + R_2 \frac{dq_2}{dt} + \frac{1}{C_2} q_2 + M \frac{d^2 q_1}{dt^2} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots (6.5)$$

を得る。まずこの計算解 q (q_1 または q_2) を求めると

$$q = \sum_{i=1}^4 A_i e^{\alpha_i t} \dots (6.6)$$

ただし α_i は回路定数できまる係数をもつ 4 次の代数方程式の根であり、 A_i は回路の初期条件によってきまる定数である。回路抵抗が大きい場合は q は対数的に減衰するだけであるが、抵抗分が小なる場合 q は振動的となる。簡単のため式 (6.5) において R_1, R_2 を微小としてこれを閑却し α_i を求めると、

$$\alpha_i = \pm \sqrt{\frac{(\omega_1^2 + \omega_2^2) \pm \sqrt{(\omega_1^2 + \omega_2^2)^2 - 4\omega_1^2 \omega_2^2 (1 - k^2)}}{2(1 - k^2)}} \dots (6.7)$$

ただし

$$\omega_1 = 1/\sqrt{L_1 C_1}, \quad \omega_2 = 1/\sqrt{L_2 C_2}, \quad k = M/\sqrt{L_1 L_2}$$

式 (6.7) より明らかなように、 k が小さく零に近い場合は、一次および二次回路にそれぞれ ω_1, ω_2 に近い周波数の固有振動を生じるが、 k が大なる場合、各回路の固有周波数の和および差に相当する周波数の振動を生じる。

さて図 6.6 (a) において回路定数を図示のとおりであるとすると、前述のところから数十 kc の振動を生じることが予測される。したがってこれをコンピュータで解く場合、コンピュータに適する 1~2 kc くらいの振動に変えるため時間係数を変換する。すなわち

$$\tau = \alpha t \cdot t = 50 t$$

とすれば

$$\frac{d}{dt} = 50 \frac{d}{d\tau} \equiv 50 P$$

$$\frac{d^2}{dt^2} = 50^2 \frac{d^2}{d\tau^2} \equiv 50^2 P^2$$

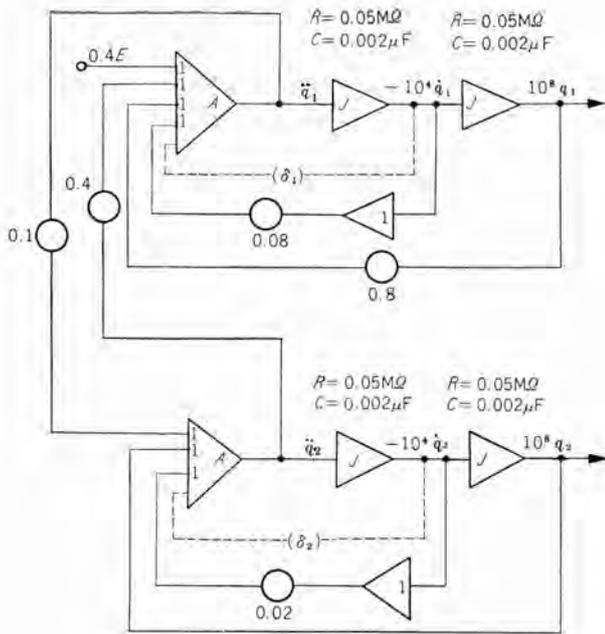


図 6.7 演算回路のブロック図
Fig. 6.7 Block diagram of the computing circuit for example 6.2.

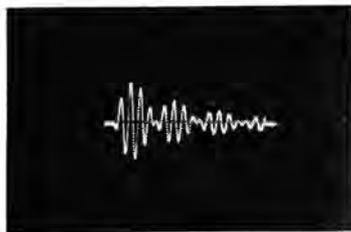


図 6.8 解波形
Fig. 6.8 Solution wave form of example 6.2.

式 (6.5) に上の関係を用い、また回路定数を代入して整理すると

$$\left. \begin{aligned} P^2 q_1 &= -(8 \times 10^2 P q_1 + 8 \times 10^7 q_1 + 0.4 P^2 q_2) + 0.4 E \\ P^2 q_2 &= -(2 \times 10^2 P q_2 + 8 \times 10^8 q_2 + 0.1 P^2 q_1) \end{aligned} \right\} (6.8)$$

を得る。これを解く演算回路のブロック図を図 6.7 に示

す、図で破線の回路 (δ_1), (δ_2) は、5.2 項で述べた誤差補償を行なう場合に挿入する回路の位置を示すものである。解の波形は図 6.8 のようになる。

7. む す び

以上 EA-100 繰返形アナログコンピュータの概要を述べ、あわせて演算器設計上ならびに使用上における問題点につき簡単に触れた。また演算例および波形写真により、繰返形紹介の一助になればと拙文を記述したが、大方のご参考になれば幸いである。

また繰返形 アナコン に使用する非線形要素を引続き開発中であり、これについてはいずれ稿を新たに紹介する予定である。

おわりに、本稿の発表は執筆者名で行なっているが、本機の基礎設計には研究所電気第二研究室のご尽力に負うところ多大であり、ここに深甚なる謝意を表す所である。

参 考 文 献

- (1) 馬場・大鳥羽・柴谷：電子管式アナログコンピュータ「三菱電機」31, No. 12 (昭 32).
- (2) 馬場・大鳥羽・柴谷・松本：NELCOM 精密低速度形アナログコンピュータ (1)「三菱電機」33, No. 12 (昭 34).
- (3) 馬場・大鳥羽・柴谷・松本・桑田：MELCOM 精密低速度形アナログコンピュータ (2)「三菱電機」34, No. 3 (昭 35).
- (4) 中塚・倉橋：アナログ計算機の演算器の安定性「三菱電機」33, No. 8 (昭 34).
- (5) 野村：電子管式アナログコンピュータ (繰返形) の研究, 東京大学「生産技術研究所報告」34-3, 第 8 巻 第 5 号.

付 録 1

演算器の安定性については文献 (4) に詳しい。Bode 線図によれば、 $|AB|=1$ となる周波数における $20 \log |AB|$ の傾斜が 40 db/dec 以内であれば安定である。同様に $|A|=1$ 、 $|B|$ とかきかえた場合の安定条件は、 $|A|=1$ 、 $|B|$ となる周波数、すなわち $20 \log |A|$ と $20 \log |1/B|$ を表す 2 本の曲線の交点における両者の傾斜の差が、40 db/dec 以内であればよいということによって与えられる。

付 録 2

$K(p) = K \cdot e^{pT} \cdot I(p) = \frac{I}{p} \cdot e^{pT}$ とし、式 (5.1) に代入して特性根を求め、理想的な場合の特性根との差を求めると、式 (5.2) を得る。また図 5.2, 5.3 におけるそれぞれの伝達関数を求め、その位相角を算出し、近似条件として

$$\begin{aligned} \omega_0 R_{K1} C_{K1}, \omega_0 R_{K2} C_{K2}, \omega_0 R_I C_I \ll 1, C_{I0} \ll C_F \\ \omega_0 A_0 R_I C_F \gg 1, \omega_0 T_0 A_0 \ll 1 \end{aligned}$$

などを用いると、式 (5.3), (5.4) を得る。

新形ノーヒューズシャ断器

名古屋製作所 高 見 滋*

New Style No-fuse Breakers

Nagoya Works Shigeru TAKAMI

New style no-fuse breakers have been developed by Mitsubishi. In the basic construction, they are mostly the same as the type NF nofuse breakers. They have, however, many outstanding features such as; the frame sizes have been considerably diversified and made smaller in dimensions, magnetic tripping current has been made adjustable and the tripping characteristic and interrupting capacity have been improved. No-fuse breakers having so high an interrupting capacity as 40,000 A are of marked achievement, while the JIS defines 10,000 A as a limit at present. New style no-fuse breakers are designed in conformity to the NEMA Pub. No. AB 1-1959 molded case circuit breakers.

1. ま え が き

近年、消費、電源設備容量の拡大にともないノーヒューズシャ断器はあらゆる低圧回路保護装置として発達普及されてきた。1955年、日本工業規格 JIS C 8370 “配線用シャ断器”の制定と前後して、使用者各位から多くの新製品の開発が要望されてきた。

その代表的なものを列記すれば、

(1) 三相四線式 254/440 V (負荷端子電圧) 配電に適する分岐回路シャ断器

(2) 比較的需用数の多い工業動力回路用として、小形で、シャ断容量の大きい 100 A および 225 A フレームシャ断器

(3) 設備容量の大きくないばあいに適する(シャ断容量 AC 250 V 5,000 A 級)小形で安価な 100 A フレームシャ断器

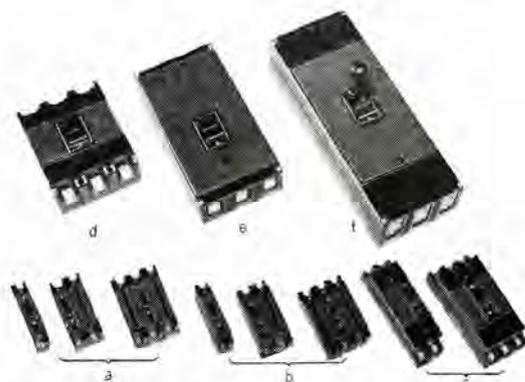
(4) JIS 規格(1955)に規定はないが、設備容量の大きなばあいに適する 400 A および 800 A フレームシャ断器

(5) 電磁引はずし電流の調整可能なシャ断器などの開発で技術的に多くの飛躍的要素が含まれている。

当社はこのような要望にこたえるため、Westinghouse 電機会社の新しい技術、ならびに当社、長年の製作経験にもとづく独自の技術とによって、いち早く開発に着手し、研究を重ねてきた結果、相前後して NF 形ノーヒューズシャ断器系列の新形機種を大量に完成した。

すなわち

- a. (1) 項に対して 50 A フレーム B 形シャ断器
- b. (2) 項に対して 100 A フレーム B 形および 225 A フレーム D 形シャ断器



a: 50A frame type B (1, 2 & 3 pole).
b: 100A frame type C (1, 2 & 3 pole).
c: 100A frame type B (2 & 3 pole).
d: 225A frame type D (3 pole)
e: 400A frame (3 pole).
f: 800A frame (3 pole).

図 1.1 新形、NF 形 ノーヒューズシャ断器の外観
Fig. 1.1 Front view of new no-fuse breakers.

- c. (3) 項に対して 100 A フレーム C 形シャ断器
- d. (4) 項に対して当社としては新しい 400 A フレーム、ならびにわが国では最初の 800 A フレームシャ断器
- e. (5) に対しては 225 A フレーム D 形、400 A フレームおよび 800 A フレームシャ断器

などが新製品で 50 A フレーム B 形シャ断器を除いては、国内における記録的製品である。

以下これら、新製品の構造および特性を中心にして紹介する。

2. 新形シャ断器の構造

新形シャ断器の基本構造はこれまでの NF 形ノーヒューズシャ断器と変りはない、すなわち、早入—早切開閉機構、引はずし装置および消弧装置などをモールドケースに収容してなりたっている。

表 1.1 新形, NF 形ノーヒューズシヤ断器定格一覧

| 形式記号およびフレームの大きさ | | NF-50B 形 | | | NF-100B 形 | | | | NF-100C 形 | | | NF-225D 形 | | NF-400 | | NF-800 | | |
|----------------------|--------------|----------------------------|-------|-------|-------------------------------------|--------|--------|--------|-------------|----------|----------|---|--------|---|--------|----------|-----------------------|-----------------------|
| 極数 | | 1 | 2 | 3 | 2 | | 3 | | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | |
| 定格電流 (A) | 周温度 25°C | 15, 20, 30, 40, 50 | | | 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 90, 100 | | | | 70, 90, 100 | | | (70)†, (90)†, (100)†, 125, 150, 175, 200, 225 | | (125), (150), (175), (200), (225), 250, 300, 350, 400 | | 700, 800 | | |
| | 50°C | 10, 15, 20, 30, 40, 50 | | | 15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 100 | | | | — | | | (75)†, (100), 125, 150, 175, 200, 225 | | 250, 300, 350, 400 | | — | | |
| 定格電圧 (V) | AC | 300 | 500 | 500 | 250 | 600 | 250 | 600 | 300 | 250 | 250 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | |
| | DC | 125 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 125 | 125, 250 | 125, 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | |
| 規格シャ断容量 (A) | AC | ※ ₁ 250V (300V) | 5,000 | 5,000 | 5,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 5,000 | 5,000 | 5,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | ※ ₂ 25,000 | ※ ₂ 25,000 |
| | | ※ ₁ 500V | — | 5,000 | 5,000 | — | — | — | — | — | — | — | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | ※ ₂ 25,000 | ※ ₂ 25,000 |
| | | ※ ₁ 600V | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | ※ ₂ 25,000 | ※ ₂ 25,000 |
| | | ※ ₁ 250V (300V) | 5,000 | — | — | — | — | — | — | 5,000 | — | — | — | — | — | — | 35,000 | 35,000 |
| | | ※ ₁ NEMA (500V) | — | 5,000 | 5,000 | — | — | — | — | — | — | — | 20,000 | 20,000 | 20,000 | 20,000 | 30,000 | 30,000 |
| | | ※ ₁ 600V | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 20,000 | 20,000 | 15,000 | 15,000 | 30,000 | 30,000 |
| | DC | ※ ₁ 250V | — | 5,000 | 5,000 | — | — | — | — | — | — | — | 20,000 | 20,000 | 20,000 | 20,000 | — | — |
| | | ※ ₁ 500V | — | 5,000 | 5,000 | — | 15,000 | — | 15,000 | — | — | — | 20,000 | 20,000 | 20,000 | 20,000 | — | — |
| | | ※ ₁ 125V | 5,000 | 5,000 | 5,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 5,000 | 5,000 | 5,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | ※ ₂ 20,000 | ※ ₂ 20,000 |
| | | ※ ₁ 250V | — | — | — | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | — | — | — | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | ※ ₂ 20,000 | ※ ₂ 20,000 |
| | | ※ ₁ 125V | 5,000 | 5,000 | 5,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 5,000 | 7,500 | 7,500 | — | — | — | — | 50,000 | 50,000 |
| | | ※ ₁ 250V | — | 5,000 | 5,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | 10,000 | — | 7,500 | 7,500 | 40,000 | 40,000 | 40,000 | 40,000 | 40,000 | 40,000 |
| 外形寸法 (mm) | 深さ | 81 | 81 | 81 | 97 | 97 | 97 | 97 | 81 | 81 | 81 | 103 | 103 | 103 | 103 | 140 | 140 | |
| | 幅 | 35 | 70 | 105 | 70 | 70 | 105 | 105 | 35 | 70 | 105 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | |
| | 長さ | 152 | 152 | 152 | 238 | 238 | 238 | 238 | 152 | 152 | 152 | 257 | 257 | 407 | 407 | 560 | 560 | |
| 製品重量 (kg) (表面接続形) | 0.52 | 0.94 | 1.36 | 1.92 | 2.17 | 2.77 | 3.14 | 0.5 | 0.95 | 1.30 | 6.1 | 6.6 | 10.6 | 12.8 | 19.3 | 23.2 | | |
| 標準仕 | デアイオン消弧装置 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 早入早切閉閉機構 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 共通引はずし機構 | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | — | ○ | ○ | — | — | — | — | — | — | |
| | 熱動調整電磁引はずし装置 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 熱動電磁引はずし装置 | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 取換形引はずし装置 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 非取換形引はずし装置 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 表面接続形 (ソルダーレスターミナル付) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 裏面接続スタッド | ○ | ○ | ○ | — | — | — | — | — | — | — | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |

注: (1) ※₁ は JIS, NEMA, NK 規格の試験方法を示す (2) ※₂ の定格シャ断容量は JIS 規格の試験方法による
 (3) () 内定格電流は特殊品とす (4) †印シャ断器の定格シャ断容量はこの表によらない

しかしながら新形シャ断器は各フレームサイズともそれぞれの目的にかなう新しいアイデアによる開閉機構や引はずし装置ならびに消弧装置などをとり入れ、さらに特性向上に必要な重要材質の開発改良とあいまってなりたち、慎重な試験研究を終って完成されたものでつぎに示す画期的な成果を得た。

- (1) フレームサイズを充実した。
- (2) 小形化した。(図 2.1 参照)
- (3) 電磁引はずし電流を可調整とした。
- (4) 動作特性ならびにシャ断容量を向上した。
- (5) 安価とした(全機種ではない)。

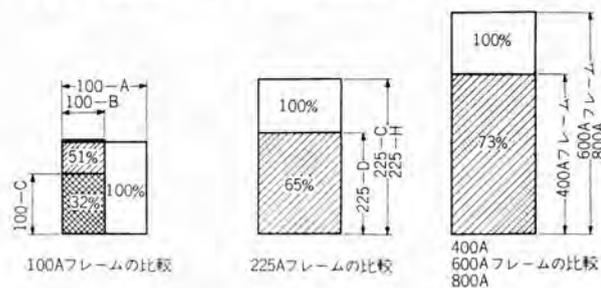


図 2.1 新形シャ断器取付面積の比較

Fig. 2.1 Comparison of mounting space among new type no-fuse breakers.

以下新形シャ断器の各フレームサイズの新しい構造を中心に述べる。

2.1 50A フレーム B 形

電力消費の拡大にともない使用電圧は高くなり、また設備容量も増大してこれに適する分岐回路シャ断器が要望されてきた。そこで当社ではこれまでの 50A フレーム (A 形と呼ぶ) を改造して単極, AC 300V, 二および三極, AC 500V, 定格電流 15~50A でシャ断容量 5,000A (A 形では 2,500A) のシャ断器を完成した。

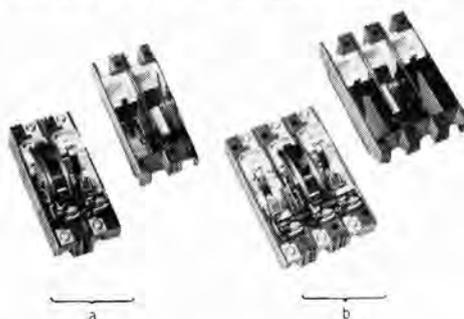


図 2.2 50A フレーム B 形ノーヒューズシャ断器 (カバーをはずしたもの)

Fig. 2.2 50A frame type B, no-fuse breakers.

a: 2 pole breaker. (cover off)
 b: 3 pole breaker.

50 A フレーム B 形は 50 A フレーム A 形に対してつぎのように改造されている。

(1) カバーに熱ガスの放出穴と冷却用金網を設け、かつこれにともなってアークのシヤ断効果を増した消弧装置とした。

(2) 主接触子は安定した接触と耐久力の大きい焼結銀合金を採用し、また固定接触子側にアークラッチをそなえて接触子の耐久力および消弧効果を増した。

(3) 低定格用 (20 A 以下) 熱動引はずし要素のバイメタルは、電磁引はずしで操作する短絡接触子機構によって大電流シヤ断のさいバイメタル自体に流れる電流を減らして大電流による熱衝撃を軽減し、動作特性の安定とシヤ断容量の増大を計った。(図 2.3 参照)

短絡接触子は主接触子のように直接回路電流を閉閉することなく、また焼結銀合金の使用とあいまって接触は良く、寿命は長い。

2.2 100 A フレーム B 形

このシヤ断器は当社が長年にわたって製作してきた 100 A フレーム A 形と置き換えるため開発した工業動力回路用シヤ断器である。新しい設計による機構やこれに必要な、主要材質の開発など長い間の研究によって完成されたもので、100 A フレーム A 形と同じシヤ断容量を有しているにもかかわらず画期的な小形化に成功した。

このシヤ断器が 100 A フレーム A 形に比べて異なっている新しい構造はつぎのとおりである。

(1) 外形寸法をいちじるしく縮小した。とくに取付面積は二および三極シヤ断器とも約 50% である。これによって分電盤、配電盤および制御盤類はいちじるしく小形にまとまるので設備面積は節約でき、また経済的である。

(2) 開閉機構は図 2.5 に示すように新しい設計にな

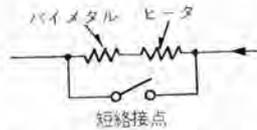
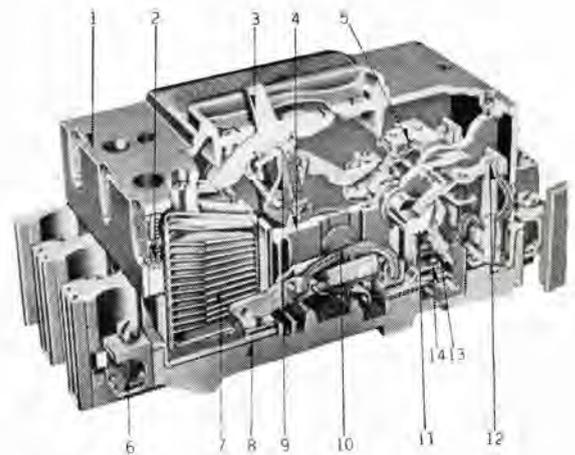


図 2.3 50 A フレーム B 形シヤ断器のバイメタル短絡接点
Fig. 2.3. Short circuit contacts of bi-metal and heater of 50 A frame type B breaker.



1: Molded cover
2: Arc screen
3: Molded handle
4: Toggle mechanism
5: Trip mechanism
6: Solderless terminal
7: De-ion arc chute
8: Contacts
9: Cradle
10: Cross-bar
11: Trip bar
12: Thermal trip
13: Magnetic trip
14: Short circuit contact (shunt contact)

図 2.5 100 A フレーム B 形、三極 ノーヒューズシヤ断器の内部
Fig. 2.5 Interior of 100A frame type B 3 pole no-fuse breaker.

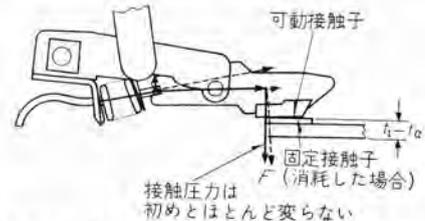


図 2.6 (a) 100 A フレーム B 形シヤ断器の接触子機構
Fig. 2.6 (a) Contacts mechanism of 100A frame type B breaker.

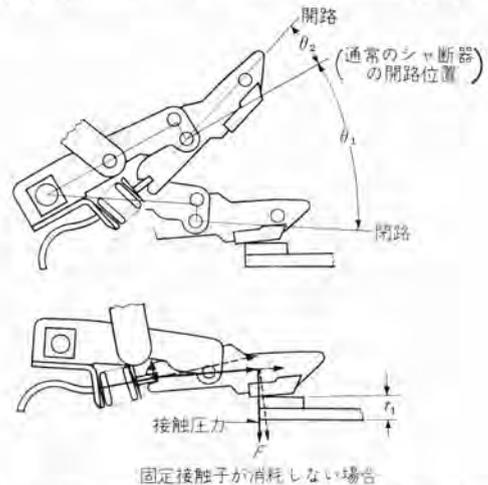


図 2.6 (b) 100 A フレーム B 形シヤ断器の接触子機構
開離距離は θ_2 相当分だけ拡大される
Fig. 2.6 (b) Contacts mechanism of 100A type B new breaker.

る早入—早切式で、各 부품の形状、使用材質や工作上的の処理など十分な考慮を払い製作されている。したがって小形にもかかわらず十分な開閉能力と電氣的、機械的の耐久力をもっている。

接触子機構は閉路状態で十分な接触圧力を与え、また接触子が極端に消耗してもほぼ一定の接触圧力を維持するようになっており (図 2.6 (a)) さらに開離状態におい

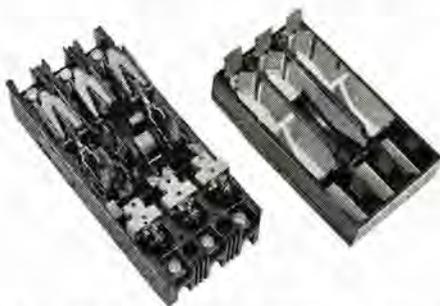


図 2.4 100 A フレーム B 形、三極 ノーヒューズシヤ断器
(カバーをはずしたもの)
Fig. 2.4 Type B, 100 A frame 3 pole no-fuse breaker
(cover off).

ては急速な開放運動とともにシ断距離の拡大動作を行なう(図2.6(b)). したがって接触子の接触状態はつねに安定に維持されるとともにすぐれたシ断性能をもっている。

接触子材質は焼結銀合金で可動, 固定接触子の異質材料の組合せと上述の接触子機構の使用とあいまって接触部の温度は接触子の荒れにほとんど影響されない。したがって熱動引はずし特性に悪影響をおよぼすことはない。さらに大電流の投入, シ断に対しては上述のシ断距離の拡大機構とフェイオン原理に基づく有効なアーク消し装置の使用によって接触子の溶着やいちじるしい溶損を生じることがない。したがって長い寿命を保証できる。

(3) 引はずし装置は新しい機構の熱動—電磁形で1個のモールドケースに開閉機構と一体に小形に組合せるため取換えのできない構造となっており, 較正後カバーをかぶせ一体に封印される(図2.5参照)

熱動引はずし要素は各極に備え, 電線の熱容量の有効な利用と適切な過電流保護のできる特性を付与するため定格15~40 A まではバイメタルに直接回路電流を通じ加熱するいわゆる直熱式とし, 40 A をこえ100 A までの定格のものに対しては適当な材質からなる加熱子によって間接的にバイメタルを加熱する傍熱式を採用している。直熱式の熱動引はずし要素は50 A フレームB形と同じように大電流通電時に生ずる熱衝撃を軽減するため, バイメタルならびに電磁引はずしの電磁コイルを短絡する一対の短絡接触子を備えている。(図2.7) これによって定格シ断電流(AC 500 V で15,000 A) をシ断後, 熱動引はずし特性に狂いを生ぜず, また電磁コイルの焼損, 溶断のおそれもない。

新しい電磁引はずし構造は交直両用の簡単な電磁石要素からなる固定調整形で, 熱動定格の10~20 倍の範囲内の電流で瞬時に応動する(図2.5参照)

以上の熱動—電磁引はずし機構は各極に設け, いずれの極に故障電流が流れても共通引はずし杆に応動し, 開閉部を全極同時にシ断しうることや, 引はずし特性が重力に影響されない, すなわちどんな取付位置でも動作の

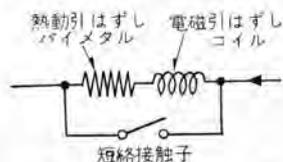


図2.7 100 A フレーム B 形シ断器のバイメタルおよびコイルの短絡接点
Fig. 2.7 Short circuit contacts of bimetal and coil of 100A frame type B breaker.

変わらないことはこれまでのノーヒューズシ断器の特長と変りはない。

(4) 定格電圧 AC 600 V, DC 250 V (船用) のモールド材質は新しく開発した特殊のフェノール樹脂系で, その成形品は機械的衝撃値がいちじるしく大きくまた



| | frame | type | C | use |
|----|-------|------|---------------------|-----|
| a. | 100 A | " | B | " |
| b. | 100 A | " | D | " |
| c. | 225 A | " | " | " |
| d. | 400 A | " | " | " |
| e. | 600 A | " | (250~400 A Rating) | " |
| f. | 600 A | " | (450~600 A Rating) | " |
| g. | 800 A | " | (700, 800 A Rating) | " |

図2.8 新形ノーヒューズシ断器用ソルダーレスターミナル
Fig. 2.8 Solderless terminals for new no-fuse breakers.

耐熱性(連続使用 165°C に耐える)に富むので, 大電流の投入シ断時に生ずるガス圧力によく耐え, かつ熱変形を生ずるおそれはない。したがってこのモールドの開発はこのシ断器の小形化と特性保持の成果に寄与するところが大きい。

(5) 各端子はシ断器の中心線に対して対称位置にあり, また50 A フレームシ断器の幅寸法と同じであるから盤の製作に便利である。

(6) 二極シ断器の取手の位置は小形化のため右極中心線にある。

(7) 表面接続の端子は電線を直接ネジで止めない押しネジ式のソルダーレスターミナルで2.0 mm~38 mm² の電線を確実に締め付けることができる。シ断器の標準仕様は表面接続形であるから, 裏面接続や分電盤使用(電源側を裏面で母線と締め付ける)のばあいには, ソルダーレスターミナルの押しネジ部分を取り除かなければならない(図2.8参照)

2.3 100 A フレーム C 形

このシ断器は50 A フレームと同じ外形寸法で, 通電容量を50 A から一挙に100 A に格上げしたものである。わが国における100 A フレーム級ノーヒューズシ断器のなかでは最小の寸法で完成された記録的製品である。

シ断容量はAC 250 V で5,000A であるから電源設備容量の大きくないばあいに限られるが, 取付面積はいちじるしく節約できるので, 分電盤, 配電盤および制御盤などの分岐または主回路用シ断器の普及形に好適である。



図2.9 100 A フレーム C 形, 三極ノーヒューズシ断器(カバーを外したもの)
Fig. 2.9 100 A frame type C, 3 pole, no-fuse breaker (cover off).

このシヤ断器の 50 A フレーム B 形と異なる点はずつぎのとおりである。

(1) 通電部分の増強にともない開閉機構や接触子機構を強化している。

(2) 接触子は焼結銀合金を使用し、適度の接触圧力を与えて、十分な通電能力および開閉能力を持たせ、また寿命も長い。

(3) 表面形の端子構造は 100 A フレーム B 形と同じ形式のソルダーレスターミナルで、 $1.6\text{ mm} \sim 38\text{ mm}^2$ の電線を十分に締め付けできる。

(4) 引はずし装置は取換えのできない熱動—電磁形で、熱動引はずし要素は直熱式を使用し、また電磁引はずしは 50 A フレームと同じ構造で定格電流の 7~20 倍の範囲の電流で瞬時に動作する。

2.4 225 A フレーム D 形

このシヤ断器は当社が 100 A フレーム A 形とどのように長年にわたって製作してきた 225 A フレーム H 形と置換えるため開発したものである。

新しい機構によって 100 A フレーム A 形とほぼ同じ大きさに小形化されたにもかかわらず大なるシヤ断容量

図 2.10 225 A フレーム D 形 三極、ノーヒューズシヤ断器(カバーをはずしたもの、裏面接続スタッド付)

Fig. 2.10 225A frame type D, 3 pole, no-fuse breaker. (cover off, with rear connecting studs).



(AC 600 V で 20,000 A, AC 250 V で 25,000 A) を有するので、電源設備容量の大きい工業動力回路シヤ断器に適する。

新しい構造

(1) 開閉部、消弧装置および引はずし装置を互にコンパクトに組合わせて外形寸法を縮小(幅寸法は 225 A フレーム H 形三極シヤ断器と同じ)し、取付面積を 225 A フレーム H 形の 65% とした。

(2) 開閉機構は構造簡素な新しい設計で可動部の重量を軽くして高速開閉を可能とし、かつ接触子の開離距離を大きくしてシヤ断容量の増大を計った。

(3) 接触部は アーク および主接触子を一体とし接触安定にして耐弧性ある焼結銀合金を使用している。閉路状態の接触はかがと部で、接触開離はつま先で行なうようにして主接触部の損傷を防ぐ。

(4) 消弧装置は ティアイコン原理にもとづく簡素な構造
新形ノーヒューズシヤ断器・高見



図 2.11 225 A フレーム D 形、三極、ノーヒューズシヤ断器の引はずし装置

Fig. 2.11 Trip unit of 225 A frame 3 pole no-fuse breaker.

で、小形化し、通電部の形状とあいまって消弧効果が大きい。

(5) 引はずし装置は熱動—可調整電磁形で、その機構は耐熱性の大きい専用のモールドベース(トリップベースと呼ぶ)に組まれる。構造は取換可能であるがシヤ断器を小形にまとめるため、専用のモールドカバーを設けないのでシヤ断器のカバーによって開閉機構や消弧装置とともに封印する。したがってこの引はずし装置は非取換形である。

a. 熱動引はずし

開閉機構と引はずし装置の機械的結合機構を合理化してバイメタルに加わる荷重を減らし、熱変形小なるモールドの使用とあいまって安定した熱動引はずし特性を有している。

熱動引はずし要素は傍熱式で大電流通電時の熱衝撃や電磁力に対して十分な強さを有する。

b. 可調整電磁引はずし

この電磁引はずし装置は図 2.12 に示すように簡単な

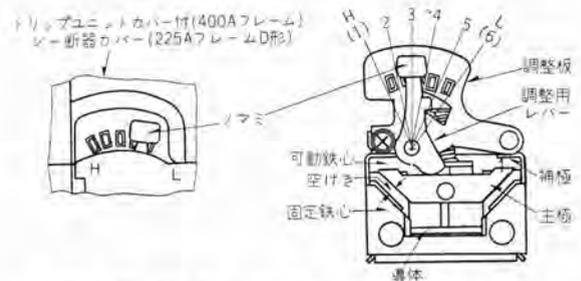


図 2.12 225 A フレーム D 形および 400 A フレーム可調整式電磁引はずし装置

Fig. 2.12 Adjustable magnetic trip device.

構造の電磁石要素は 225 A フレーム H 形と本質的なちがいはないが、可動、固定鉄心とも主極と反対側に補極を備え、また可動鉄心はレバーの回転によって上下に移動でき固定鉄心との空けきを変えることのできる点が新しい構造である。

この電磁引はずしの動作は調整用レバーが最高整定(符号 H の位置)では各熱動定格電流の 10 倍の電流で瞬時に引はずす。また調整用レバーの位置を記号 L 側に移動すれば、逐次電磁引はずし電流は小さくなり最低位置の記号 L では約 3.5 倍の電流で動作する。この調整はシヤ断器のカバーの外部から見えるモールド製ツマミで操作で



図 2.13 225 A フレーム D 形二極ノ
ーヒューズシ断器 (カバー をはずし
たもの)

Fig. 2.13 225A frame type D, 2
pole no-fuse breaker (cover off).



図 2.14 400 A フレーム、ノヒューズシ断器の外観

Fig. 2.14 Front view of 400 A frame
no-fuse breaker.



図 2.15 400 A フレーム、三極、ノヒューズ
シ断器 (カバー をはずしたもの)

Fig. 2.15 400 A frame, 3 pole, no-fuse
breaker (cover off).

きる。調整は ノッチ 式で6段階に行ないうる。

この電磁引はずし電流の調整を円滑に行なうため、上述の電磁石の補極は主極の吸引力に対して差動的な作用をするよう考慮されている。(新形シ断器の動作特性曲線図 3.1 参照)

(6) 表面接続形端子は電線を直接ネジで押えつけない押しネジ式の ソルダレス・ターミナル・ブロック からなり 14~125 mm² の電線を確実に締めつける。

裏面接続とするばあいには上記 ターミナル・ブロック を取除き裏面接続 スタッド と取換えればよい。

(7) 二極シ断器は三極用 モールドケース と共用であるから中央極の導電部分、消弧装置を取除いた構造となっている。(図 2.13 参照)

2.5 400 A フレーム

このシ断器は 225 A フレーム と 600 A フレーム の中間のフレームの大きさとして新しく開発したもので、JIS-C8370-1955 配線用シ断器にはないが、NEMA Standard AB-1-1959 の Molded case circuit breakers に規定されているものである。

機構は新しい設計で 225 A フレーム H 形とはほぼ同じ大きさに小形化され、またシ断容量が大きいので 225 A フレーム D 形とどのように設備容量の大きな工業動力回路

用シ断器に適する。

新しい構造と特長はつぎのとおりである。

(1) 取付面積は 600 A フレームの 73% である。シ断器の幅寸法は 600 A フレームや 225 A フレーム D 形と同じである。

(2) 開閉機構は簡素な構造であるが、早

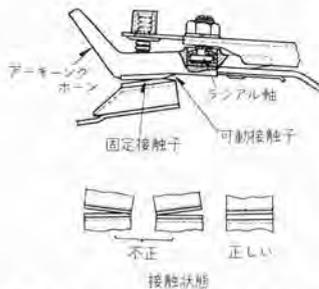


図 2.16 400 A フレームシ断器の
可動接触子部構造

Fig. 2.16 Moving contact
construction of 400 A frame
breaker.



図 2.17 400 A フレームシ断器の引はずし装置
(熱動—可調整電磁引はずし形)

Fig. 2.17 Trip unit for 400 A frame no-fuse breaker.
(Thermal—adjustable magnetic tripping type).

入—早切で、機械的にじょうぶで、耐久力が大きい。接触子の開離距離は大きく、また図 2.16 に示すように接触状態はつねに良好な状態に維持できる構造である。

接触子は 225 A フレーム D 形と同じように焼結銀合金を使用している。

(3) 引はずし装置は熱動—可調整電磁形で取換可能である。この引はずし装置は専用のモールド製カバー(トリップカバーと呼ぶ)をかぶせて封印されており、シ断器のカバーをかぶせても表面から熱動定格電流がわかるようになっている。

熱動引はずしおよび可調整電磁引はずし要素の構造、特長などは 225 A フレーム D 形と同じであるが、電磁引はずし電流の調整範囲は熱動定格電流の最低整定(記号 L)で約 3 倍、最高整定(記号 H)では 10 倍である。

(4) 表面接続形の端子構造は 600 A フレーム とどうような押しネジ式の ソルダレス・ターミナルで、80 mm²~2×(60~100 mm²) の電線を締めつける。

この ソルダレス・ターミナル を取はずし裏面接続 スタッド を取付ければ裏面接続に使用できる。

(5) 二極シ断器は 225 A フレーム D 形と同じで三極シ断器のケース と共用する。

(6) 消弧装置は 600 A フレーム と同じ形式のものを使用している。その他、取手機構の引はずし自由形、全極同時シ断のための共通引はずし機構、“入”、“切”、“トリップ”の表示、“リセット”操作、動作特性が重力に影響されないなどの構造、特長を有していることは従来の

図 2.18 800 A フレーム、三極 ノーヒューズシヤ断器 (カバーをはずしたものの)

Fig. 2.18 800 A frame, 3 pole no-fuse breaker (cover off).

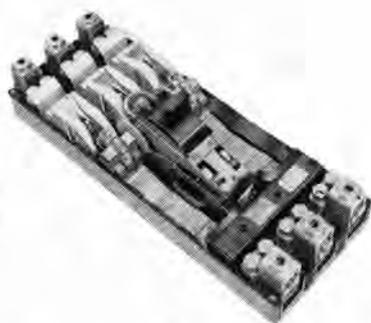


図 2.19 800 A フレーム、三極、ノーヒューズシヤ断器の引はずし装置 (熱動一可調整電磁形、取換形)

Fig. 2.19 Trip unit for 800 A frame, 3 pole no-fuse breaker. (Thermal-adjustable magnetic type, interchangeable type).

ノーヒューズシヤ断器と変りはない。

2.6 800 A フレーム

このシヤ断器は 400 A フレームと同じように JIS 規格には規定されていないが、NEMA 標準には 1959 年に追加された フレーム である。わが国では当社で初めて完成された最高電流容量の ノーヒューズシヤ断器でまたシヤ断容量が大きいので工業動力回路用に適する。

構造と特長

(1) 600 A フレームシヤ断器の通電容量を 800 A に改造したものである。600 A フレームシヤ断器の基本構造ならびに特長についてはすでに発表⁽¹⁾されているので 800 A フレームのそれについては説明を割愛する。

ただし 800 A フレームシヤ断器として NEMA 標準に適合する性能を有することはいうまでもない。

(2) 引はずし装置は熱動一可調整電磁形で、取換可

図 2.20 信号 スイッチ 付 100 A フレーム B 形三極 ノーヒューズシヤ断器

Fig. 2.20 100 A frame type B, 3pole, no-fuse breaker, with alarm switch.



能であり、電磁引はずしは熱動定格に対しての最高整定で 10 倍、最低整定で約 3 倍で 7 段階に調整しうる。

(3) 表面接続形の端子構造は 600 A フレーム と類似している押しネジ式のソルダーレス・ターミナルで $2 \times (150 \sim 350 \text{ mm}^2)$ の電線を確実に締め付けうる。

裏面接続使用には、とくに定めた裏面接続 スタッド と取換えればよい。

(4) 二極シヤ断器は 225 A、400 A および 600 A フレーム とどうように三極形 ケース と共用する。

2.7 特殊品および付属装置

新形シヤ断器の標準仕様の確立にともないその特殊品ならびに付属装置は現在製作中の機種とどうように製作できる。それらの内容については多言を要しないので単に種類を列記すればつぎのとおりである。

- (1) 特殊品
 - a. 高周囲温度用
 - b. 電磁引はずし
 - c. DC 600 V 用
 - d. テイオンスイッチ
- (2) 付属装置
 - a. 補助 スイッチ

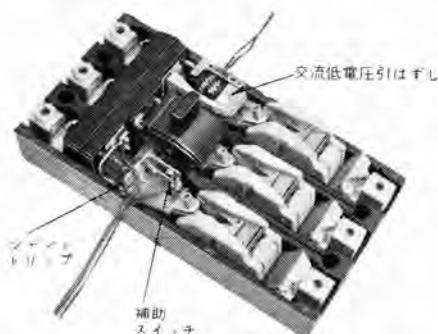


図 2.21 補助 スイッチ、分路引はずしおよび低電圧引はずし付 400 A フレーム ノーヒューズシヤ断器

Fig. 2.21 400 A no-fuse breaker, with aux. switch, shunt trip and low-voltage trip.

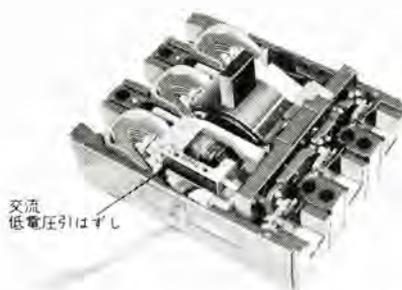


図 2.22 交流低電圧引はずし付 225 A フレーム D 形 ノーヒューズシヤ断器

Fig. 2.22 225 A frame no-fuse breaker, with AC low-voltage trip.

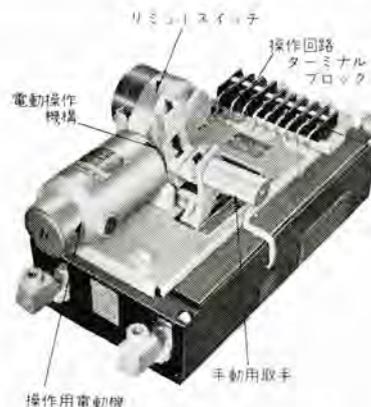


図 2.23 NFM-400 電動操作式 ノーヒューズシヤ断器

Fig. 2.23 Type NFM-400A frame, motor operated no-fuse breaker.



a: 50A frame use b: 100A frame use
c: 225A frame use d: 400A frame use
e: 800A frame use (800, 600, 400A use)

図 2.24 裏面接続用スタッド

Fig. 2.24 Rear connecting studs.

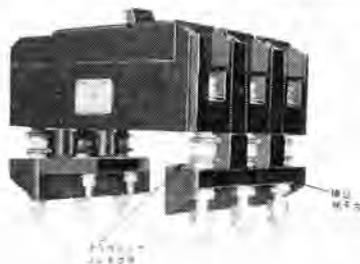


図 2.25 挿込接続器付 225 A フレーム D 形三極、ノーヒューズ シャ断器

Fig. 2.25 225 A frame, 3 pole no-fuse breaker, with plug-in terminal connectors.

図 2.26 埋込ワウ、フラッシュプレート付 100 A フレーム B 形 ノーヒューズ シャ断器

Fig. 2.26 Flush mounting, 100 A frame type B, no-fuse breaker.



- b. 信号スイッチ(警報スイッチとも呼ぶ)
- c. 分路引はずし(電圧引はずしまたはシャントトリップとも呼ぶ)
- d. 低電圧引はずし
- e. 電動操作式(遠方制御用)
- f. 裏面接続スタッド
- g. 挿込接続器
- h. 中間スタッド(センタスタッドとも呼ぶ)
- i. 埋込ワウ、フラッシュプレート付
- j. 機械連動子

以上の付属装置の使用個数や組み合わせ使用はスペースに限界があつて制約される。

3. 適用規格と特性

3.1 適用規格

ノーヒューズシャ断器に関する国内規格には

- (1) 日本工業規格 JIS C 8370-1955 配線用シャ断器
- (2) 日本鋼船規則(略称 NK) 第五付属規定 埋込シャ断器

のあることは衆知である。

しかしながら新形シャ断器の開発にあたって、上記の規格だけに準拠することは、フレームの大きさ、諸特性およびシャ断容量などの観点から十分でない。

表 3.1 新形シャ断器と適用規格

| 新形シャ断器 形名、フレームの大きさ | 適用規格 | | | |
|-----------------------|----------------|-----------|---------------|--|
| | JIS C8370-1955 | NK 埋込シャ断器 | NEMA ABI-1959 | |
| NF-50-B | ○ ※1 | ○ ※12 | ○ ※2 | |
| NF-100-B | ○ ※3 | ○ ※13 | ○ ※4 | |
| NF-100-C | ○ ※5 | — | ○ ※6 | |
| NF-225-D | ○ ※7 | ○ ※14 | ○ ※8 | |
| NF-400 | ○ ※9 | ○ ※14 | ○ ※10 | |
| NF-800 | — | — | ○ ※11 | |

- 注: (1) ○印は適用可能を示す。
 (2) ※1 AC500 V, DC125 V 以下でシャ断容量 5,000 A のシャ断器に適用
 (3) ※2 DC250 V で # # #
 (4) ※3 AC250 V, DC250 V 以下で # 10,000 A の # # #
 (5) ※4 AC500 V で # 15,000 A の # # #
 (6) ※5 AC250 V, DC125 V 以下で # 5,000 A の # # #
 (7) ※6 AC250 V/DC250 V で # 5,000/7,500 A の # # #
 (8) ※7 AC600 V, DC250 V 以下で # 10,000 A の # # #
 (9) ※8 AC600 V/DC250 V で # 20,000A/40,000A の # # #
 (10) ※9 AC500 V, DC250 V 以下で # 10,000 A の # # #
 (11) ※10 AC500V/AC600V/DC250V で # 20,000A/15,000A/40,000A の # # #
 (12) ※11 AC600V/AC250V/DC250V で # 30,000A/35,000A/40,000A の # # #
 (13) ※12 AC500 V, DC250 V で # 5,000 A の # # #
 (14) ※13 AC500 V/DC250 V で # 15,000A/10,000A の # # #
 (15) ※14 AC500 V/DC250 V で # 20,000A/40,000A の # # #
 (16) 適用規格と定格シャ断容量の関係は表 1.1 の定格欄を参照されたい。

当社ではこれを補うためアメリカの NEMA Standard である Molded case circuit breakers PUB. NO. AB 1-1959 を上記の規格に加えて適用規格とした。

新形シャ断器と適用規格の関係を表 3.1 に示す。

NEMA Standard AB 1-1959 に規定された定格シャ断容量を表 3.2 に示す。

3.2 新形シャ断器の特性

ここでいう新形シャ断器の特性とは、2 項で述べた各シャ断器の熱動引はずし特性、固定調整式電磁引はずし特

表 3.2 AB 1-3.09 定格シャ断電流(交流 60 c/s および直流)

| フレーム サイズ | 定格 電流 (A) | 1 極 | | 2 および 3 極 | | | | 1, 2 および 3 極 | | | | | | | | | |
|-------------|-----------------|---------|-------|-----------|--------|-------------|-------|--------------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|------|-------|--------|
| | | AC 120V | | AC 277V | | AC 120/240V | | 600V AC | | 480V AC | | 600V AC | | DC | | | |
| | | 対称 | 非対称 | 対称 | 非対称 | 対称 | 非対称 | 対称 | 非対称 | 対称 | 非対称 | 対称 | 非対称 | 125V | 250V | | |
| ※1 50 | 15 | 50 | 5,000 | 5,000 | 10,000 | 10,000 | 5,000 | 5,000 | | | | | | | | 5,000 | |
| ※1 100 | 70 | 100 | | | | | 5,000 | 5,000 | | | | | | | | | |
| ※1 100 | 15 | 100 | 7,500 | 7,500 | 10,000 | 10,000 | 7,500 | 7,500 | 18,000 | 20,000 | 14,000 | 15,000 | 14,000 | 15,000 | | 5,000 | 10,000 |
| ※1 225 | 70 | 225 | | | | | | | 22,000 | 25,000 | 18,000 | 20,000 | 14,000 | 15,000 | | | 10,000 |
| ※2 225 | 70 | 225 | | | | | | | 25,000 | 30,000 | 22,000 | 25,000 | 22,000 | 25,000 | | | 10,000 |
| 400 | 125 | 400 | | | | | | | 35,000 | 40,000 | 25,000 | 30,000 | 22,000 | 25,000 | | | 20,000 |
| 600 | 125 | 600 | | | | | | | 42,000 | 50,000 | 30,000 | 35,000 | 22,000 | 25,000 | | | 20,000 |
| 800 | 125 | 800 | | | | | | | 42,000 | 50,000 | 30,000 | 35,000 | 22,000 | 25,000 | | | 20,000 |

※1 非取換形トリップユニット

※2 取換形トリップユニット

性ならびに可調整式電磁引はずし特性の紹介である。

熱動引はずし特性については、各規格とも電線の保護を対象として、各定格電流に対する動作時間が決められている。新形シャ断器の熱動引はずし特性はもちろん、いかなる規格に対しても合格するように設計されている。各フレームの大きさ別の最大一最小引はずし動作特性曲線を図 3.1 の(a)~(h)に、また周囲温度に対する定格の補正曲線の一部を(h)~(j)に示す。

電磁引はずし特性については、現状ではとくにまとまった規格はない。わずかに NK, アメリカの U. L 規格に許容差と若干の規定が設けられているに過ぎない。

新形シャ断器の電磁引はずし電流の基準を表 3.3 に示す。このうち 50 A フレーム B 形, 100 A フレーム B 形, お

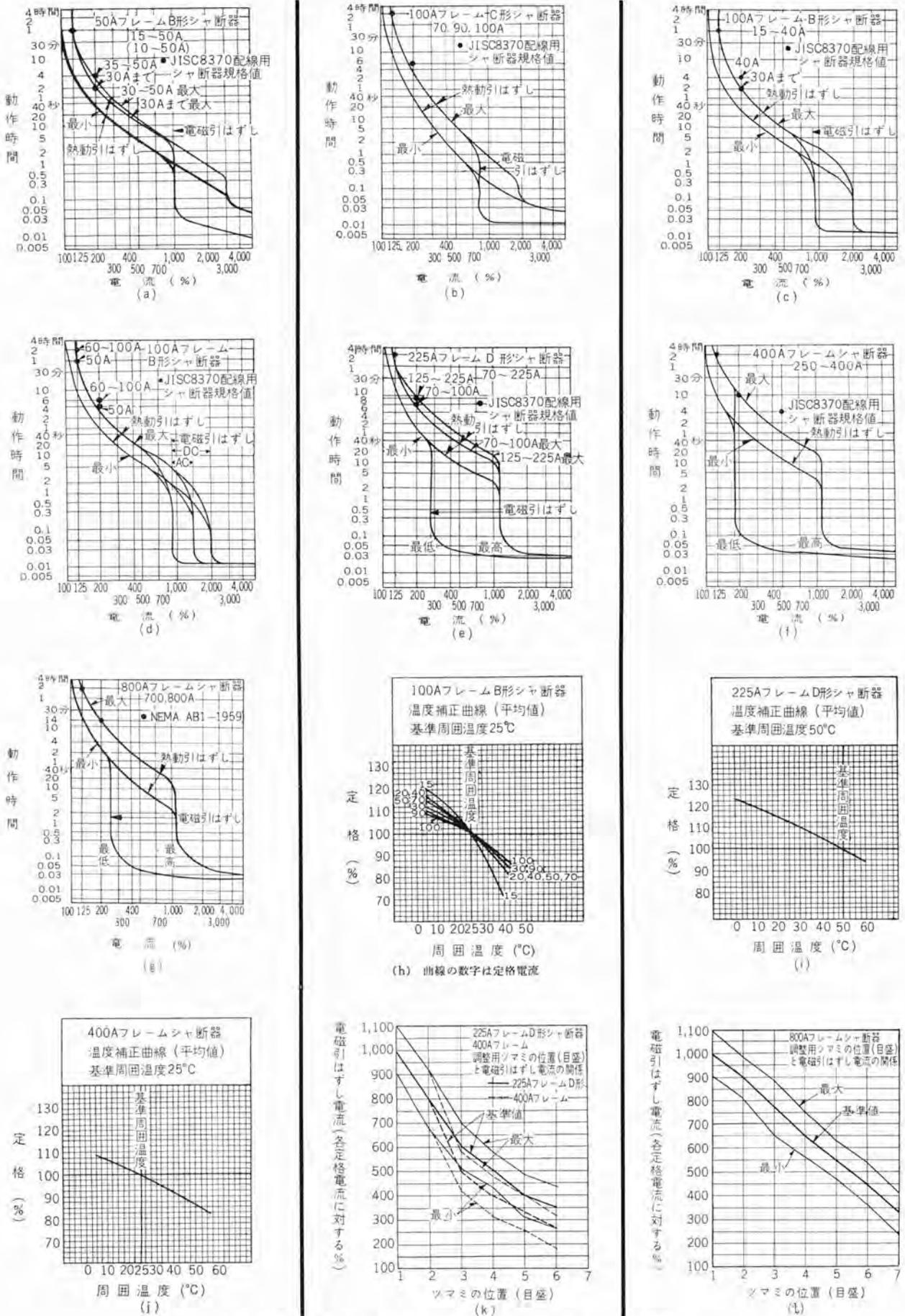


図 3.1 新形, NF 形 ノーヒューズシャ断器引はずし動作特性曲線
Fig. 3.1 Tripping characteristic curves of new type NF no-fuse breaker.

表 3.3 新形シヤ断器の電磁引はずし電流の基準

| フレームの大きさ および 形 | 極数 | 定格 電流 (A) | 基準開 閉温度 (°C) | | 電磁引はずし電流 (A) | | 備 考 |
|----------------------|-----|-----------------|--------------------|----|----------------------------|----------------------------|---|
| | | | 25 | 50 | 交 流 | 直 流 | |
| 50-B 形 | 1 | 15 | ○ | ○ | 300~450 | 300~450 | |
| | | 20 | ○ | ○ | 400~600 | 400~600 | |
| | | 30 | ○ | ○ | 600~900 | 600~900 | |
| | | 40 | ○ | ○ | 600~1,000 | 600~1,000 | |
| | | 50 | ○ | ○ | 750~1,250 | 750~1,250 | |
| | 2,3 | 10 | ○ | ○ | 150~250 | 150~250 | |
| | | 15 | ○ | ○ | 300~450 | 300~450 | |
| | | 20 | ○ | ○ | 400~600 | 400~600 | |
| | | 30 | ○ | ○ | 600~900 | 600~900 | |
| | | 50 | ○ | ○ | 600~900 | 750~1,000 | |
| 100-C 形 | 1 | 70 | ○ | ○ | | | |
| | | 100 | ○ | ○ | | | |
| | 2,3 | 70 | ○ | ○ | 800~1,000 | | |
| | | 100 | ○ | ○ | 800~1,300 800~1,500 | | |
| 100-B 形 | 2,3 | 15 | ○ | ○ | 135~300 | 135~300 | 1. かく極 ごとに通電 した場合 |
| | | 20 | ○ | ○ | 180~400 | 180~400 | |
| | | 30 | ○ | ○ | 270~600 | 270~600 | |
| | | 40 | ○ | ○ | 360~800 | 360~800 | |
| | | 50 | ○ | ○ | 360~560 | 360~560 | |
| | | 70 | ○ | ○ | 450~700 | 450~700 | |
| | | 90 | ○ | ○ | 540~840 | 540~840 | |
| | | 100 | ○ | ○ | 630~980 | 630~980 | |
| | | | ○ | ○ | 675~1,050 | 675~1,050 | |
| | | | ○ | ○ | 810~1,200 | 810~1,200 | |
| 225-D 形 | 2,3 | (70) | ○ | ○ | 目盛(ツマミ の位置) Low High | 目盛(ツマミ の位置) Low High | 1. 可調整 電磁引は ずし 2. 各極ご とに通電 した場合 |
| | | (90) | ○ | ○ | ±25% ±10% | ±25% ±10% | |
| | | (100) | ○ | ○ | 400~1,250 | 400~1,250 | |
| | | 125 | ○ | ○ | 500~1,500 | 500~1,500 | |
| | | 150 | ○ | ○ | 500~1,750 | 500~1,750 | |
| | | 175 | ○ | ○ | 600~2,000 | 600~2,000 | |
| | | 200 | ○ | ○ | 600~2,250 | 600~2,250 | |
| | | 225 | ○ | ○ | | | |
| | | (125) | ○ | ○ | ±25% ±10% | ±25% ±10% | |
| | | (150) | ○ | ○ | 700~2,500 | 700~2,500 | |
| 400 | 2,3 | (200) | ○ | ○ | 800~3,000 | 800~3,000 | 1. 可調整 電磁引は ずし 2. 各極ご とに通電 した場合 |
| | | (225) | ○ | ○ | 900~3,500 | 900~3,500 | |
| | | 250 | ○ | ○ | 1,000~4,000 | 1,000~4,000 | |
| | | 300 | ○ | ○ | ±25% ±10% | ±25% ±10% | |
| | | 350 | ○ | ○ | 2,300~7,000 | 2,300~7,000 | |
| | | 400 | ○ | ○ | 2,600~8,000 | 2,600~8,000 | |
| | | | ○ | ○ | | | |
| | | | ○ | ○ | | | |
| 800 | 2,3 | 700 | ○ | ○ | | | 1. 可調整 電磁引は ずし形 2. 各極ご とに引は ずし電流 |
| | | 800 | ○ | ○ | | | |

注：上表は熱動-電磁引はずしで2または3極は各極に同時通電の場合を示す
また()は特殊定格である。

および100AフレームC形は、いずれも固定調整式であるが、225AフレームD形、400Aフレームおよび800Aフレームは可調整式である。

可調整式電磁引はずしのシヤ断器では、2項で述べたように調整用ツマミの位置を変えることによって、電磁引はずし電流を段階的に変化しうるので、他の装置と一貫特性の協調を保つばあいに好適である。

表 3.4 ツマミ(目盛)の位置と電磁引はずし電流の関係

| 目盛(ツマミ の位置) No. | フレームの大きさ | | | 備 考 |
|-----------------------|------------|------------|------------|---|
| | 225-D | 400 | 800 | |
| 1(High) | 1,000±100% | 1,000±100% | 1,000±100% | } 225A フレーム D形 400A フレーム 800A フレーム |
| 2 | 800±100 | 800±100% | 900±100% | |
| 3 | 600±90% | 500±80% | 770±100% | |
| 4 | 500±90% | 400±70% | 650±100% | |
| 5 | 400±90% | 330±70% | 550±90% | |
| 6(Low) | 350±90% | 260±70% | 450±90% | |
| 7(Low) | — | — | 325±80% | |

注：上表の電磁引はずし電流はシヤ断器の定格電流に対する百分率(%)で示す

例 各定格電流の各目盛に対する電磁引はずし電流 (A)

| フレームの 大きさ | 定格電流 (A) | 目盛(ツマミの位置) | | | | | | |
|--------------|-------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1(H) | 2 | 3 | 4 | 5 | 6(L) | 7(L) |
| 225-D | 200 | 2,000 | 1,600 | 1,200 | 1,000 | 800 | 700 | — |
| 400 | 300 | 3,000 | 2,400 | 1,500 | 1,200 | 1,000 | 800 | — |
| 800 | 800 | 8,000 | 7,200 | 6,150 | 5,200 | 4,400 | 3,600 | 2,600 |

ツマミの位置と電磁引はずし電流の関係を表3.4に、その変化を示した曲線を図3.1の(k)および(l)に示す。これらの図や表で示すように、各フレームのシヤ断器とも、ツマミの最高調整位置では熱動定格電流の1,000%の電流で動作するように設計されている。

4. 試験基準と試験結果

4.1 試験基準

新形シヤ断器の品質、特性の良否を確認する試験基準は3項の適用規格で定めている形式試験による。

規格別の形式試験は目的により多少の違いはあるが電氣的試験項目および試験順序について比較すれば表4.1に示すとおりである。

表 4.1 適用規格、形式試験の試験項目および試験順序

| 試 験 項 目 | JIS C8370 1955 | NK 埋込シヤ断器 | NEMA AB1-1959 |
|---------------------------|-------------------|-----------|------------------|
| 200% 電流引はずし試験 | (1) | (1) | (1) |
| 125% 電流引はずし試験 | (2) | (2) | (2) |
| 電磁引はずし試験 | — | (3) | — |
| 100% 電流試験 | (3)※1 | (3) | (4) |
| 過負荷試験 | (4) | — | (3) |
| 絶縁試験 | (5) | — | — |
| 温度試験 | (6) | (4) | (4) |
| 耐久試験 | (7) | (5) | (5) |
| 200% および 125% 電流引はずし試験 | (8) | — | (6) |
| 絶縁抵抗試験 | (9) | (8) | — |
| 絶縁耐力試験 | (10) | (9) | (9) |
| 短絡およびコード保護試験 | (11)※2 | (6)※3 | (7)※3 |
| 200% 電流引はずし試験 | (12) | (7) | (8) |

注：1 ※1 温度試験で代行してもよい。
2 ※2 コード保護試験は50Aフレーム30A以下のシヤ断器に適用される。
3 ※3 コード保護試験の規定はない。
4 NK規格埋込シヤ断器では認定試験という。また耐久試験は連続閉閉試験という。

4.2 試験結果

前項の試験基準にもとづき代表的な新形シヤ断器について形式試験を行なった試験結果の要点を紹介する。

(1) 200% および 125% 電流引はずし試験

この試験は過負荷試験前、耐久試験後および短絡試験後(200%電流引はずし試験だけ行なう)の3回について行なった結果を表4.2に示す。各シヤ断器ともいづれのはあいも規格(JISおよびNEMA)に合格し、また当社の保証値である熱動引はずしの最大-最小動作特性曲線(図3.1(a)~(g)参照)内にもあり、さらに各試験前後の変化もわずかで満足な結果を示している。

(2) 過負荷試験

(1)項の試験に引続き表4.3に示す条件で過負荷試験を行なった結果、各シヤ断器とも接触子の損傷やその他、電氣的、機械的に異状を認めなかった。

(3) 100% 電流試験および温度試験

100%電流試験はJIS規格では温度試験で代行することを認められているので(2)項の試験に引続いて行なった。

100Aフレーム以下のシヤ断器では規格に規定はないが

表 4.2 200% および 125% 電流引はずし試験結果

| フレームの大きさ | 極数 | 定格電流 (A) | 試験結果 | | | | | | 規格値 (JIS および NEMA) | |
|----------|---------|-------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|--------------------|-------------|
| | | | 200% 電流引はずし | | | 125% 電流引はずし | | | 200% 電流引はずし | 125% 電流引はずし |
| | | | 過負荷試験前 | 過負荷試験後 | 短絡試験後 | 過負荷試験前 | 過負荷試験後 | 短絡試験後 | 引はずし (分) 以内 | 引はずし (分) 以内 |
| 50 (B) | 3 | 50 | 1m46s~2m02s | 1m34s~1m47s | 1m13s~1m43s | 16m25s | 18m30s | 4 | 60 | |
| | | 100 | 1m35s~2m33s | 1m32s~2m16s | 1m31s~2m38s | 26m30s~1h30m | 25m~1h30m | 6 | 120 | |
| | 15 | 1m36s~1m39s | — | 1m44s~1m40s | 21m43s | — | 2 | 60 | | |
| 100 (B) | 3 | 30 | 52.5s~55s | — | 1m16s~1m41s | 19m40s | — | 2 | 60 | |
| | | 50 | 1m26s~1m32.5s | — | 1m31s~2m08s | 21m21s | — | 4 | 60 | |
| | 100 | 1m48s~2m09s | 1m55s~2m06s | 1m56s~2m06s | 1h00m05s | 59m30s | 6 | 120 | | |
| 100 (C) | 2 | 100 | 1m34s~2m09s | — | 1m5s~1m28s | 34m06s~1h26m40s | — | 6 | 120 | |
| | | 100 | 1m36s~2m09s | 1m39s~2m07s | 1m18s~2m22s | 27m15s~41m35s | 21m30s~38m45s | 6 | 120 | |
| | 225 (D) | 3 | 225 | 5m10s~5m16s | 4m55s~5m00s | 4m30s~5m20s | 38m~1h22m35s | 40m30s~1h25m30s | 8 | 120 |
| 400 (D) | 3 | 400 | 7m50s~7m57s | 7m40s~8m30s | 7m05s~8m50s | 1h18m30s | 1h20m | 10 | 120 | |
| | | 800 | 12m50s~13m13s | 13m10s~13m30s | 13m20s~13m40s | 47m30s | 59m00s | 14 | 120 | |

注: (1) h: 時間 m: 分 s: 秒
 (2) 規格 JIS とは JIS C8370 1955 配線用シャ断器のことで上表では 400A フレーム以下、NEMA とは NEMA ABI-1959, molded case circuit breakers のことで 800A フレームに適用する。

表 4.3 過負荷試験条件 (試験基準 NEMA)

| フレームの大きさ | 極数 | 定格電流 (A) | 回路条件 | | | | | | | | |
|----------|----|-------------|------------------|-----------|---------|-----|------|--------------------|----|-----|---|
| | | | 試験電流 | 試験電圧 | 試験回路の | | 開閉回数 | 開閉の割合 (フレームの大きさ/分) | | | |
| | | | | | 力率 (遅れ) | 時定数 | | | 手動 | 自動 | |
| 各フレームとも | | 最高最高定格電流の6倍 | 交流 60c/s の定格電圧 ※ | 0.45~0.50 | — | 35 | 15 | 50 | 50 | 6 | |
| | | | | — | なるべく無誘導 | — | — | — | — | 225 | 5 |
| | | | | — | — | — | — | — | — | 400 | 4 |
| | | | | — | — | — | — | — | — | 800 | 2 |

注: ※ JIS 規格は定格電圧より低い値で行なう。

耐久試験後および短絡試験後についても行なったが、いずれのばあいも表 4.4 に示すとおり満足な結果を得た。

この試験で各シャ断器とも、各部の温度が一定となるまで通電して“トリップ”することは認めなかった。

(4) 耐久試験

二極シャ断器は直流電源、三極シャ断器は三相交流の定格電圧で表 4.5 に示す試験を行なったが、接触子の消耗はわずかで、その他電氣的、機械的に異状を認めなかった。

表 4.4 温度試験結果 (試験基準付)

| 供試シャ断器 | 試験電流 (A) | 過負荷試験後 | | | 耐久試験後 | | | 短絡試験後 | | | 接続電線の太さ | |
|-----------|-------------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|--------------------|------|
| | | 端子温度 (°C) | 接点温度 (°C) | ベース温度 (°C) | 端子温度 (°C) | 接点温度 (°C) | ベース温度 (°C) | 端子温度 (°C) | 接点温度 (°C) | ベース温度 (°C) | | |
| NF 50B | 50 | 30 | 44~50 | 74~76 | — | 25 | — | — | — | — | 14 mm ² | |
| NF100B | 100 | 3 | 100 | 31.5~48 | 63.5~64 | — | 26 | 61~68 | 84~86 | 26.5 | — | 38 # |
| | | | 100 | 53.7~74.2 | 84.7~95 | — | 25 | 54.2~72.9 | 81.3~98.9 | 25 | — | 38 # |
| NF100C | 100 | 3 | 100 | 53.5~59 | 74.5~77.5 | — | 41 | 30 | — | — | 125 # | |
| NF225D | 225 | 3 | 225 | 40 | 50~65 | 81~91 | — | 40 | 25 | — | 2×100 # | |
| NF400 | 400 | 3 | 400 | 63~67 | 86~90 | — | 45 | 25 | — | — | 2×325 # | |
| 試験基準 (規格) | JIS C-8370 (1955) | 75 | 105 | — | ※ 25 | — | — | — | — | — | — | |
| | NEMA ABI-1959 | rise 50 | 銀合金は規定なし | — | ※ 25 | — | — | — | — | — | JIS 規格は上記の通り | |
| | NK | rise 35 | 65 | — | ※ 50 | — | — | — | — | — | — | |

注: (1) 温度の測定は銅-コンスタンタン熱電対 (冷接点付) を使用する
 (2) 接続電線の長さは各端子ごとに 1.5 m
 (3) ※ 基準周囲温度

表 4.5 耐久試験条件

| 回路条件 | 試験電圧 | 試験電流 | 力率 (遅れ) | 電源の電圧変動率 | 試験条件 | |
|----------------------|-------------------|----------|---------|-------------------------|----------|-----------------------------|
| | | | | | 開閉回数 (分) | 開閉回数 |
| 三相交流 60c/s シャ断器 定格電圧 | 供給シャ断器の各端子の大きさ最高導 | 0.75~0.8 | — | 225A をこえて 800A まで 5% 以下 | 50 | 20(6)(6,000)(4,000)(10,000) |
| | | | | | 100 | 20(6)(6,000)(4,000)(10,000) |
| | | | | | 225 | 20(5)(4,000)(4,000)(8,000) |
| 直流 シャ断器 定格電圧 | 供給シャ断器の各端子の大きさ最高導 | なるべく無誘導 | — | 225A をこえて 800A まで 5% 以下 | 400 | 20(4)(1,000)(5,000)(6,000) |
| | | | | | 《800》 | 20《2》《500》《3,500》《4,000》 |

注: (1) () 内は JIS C8370 1955
 (2) 《 》 内は NEMA ABI-1959

表 4.6 絶縁抵抗および絶縁耐力試験結果

| 試験項目 | 試験基準 | | | 試験結果 | 備考 |
|-----------|--------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | JIS 規格 | NEMA 規格 | NK 規則 | | |
| 絶縁抵抗試験 ※1 | 耐久試験後 | 5 以上 | — | 100 以上 | 1,500 V / マガにて測定する 2. 単位 MΩ |
| | 短絡試験後 | 0.1 以上 | — | 1 以上 | — |
| 絶縁耐力試験 ※2 | 耐久試験後 | 2×定格電圧 +1,000V に 1 分間耐えること | — | — | 2×定格電圧 +1,000 V に 1 分間耐える |
| | 短絡試験後 | — | 2×定格電圧 +1,000V に 1 分間耐えること | 250V をこえて 500V 以下: 2,000 V 1 分間 | — |

注: (1) ※1 各端子間および充電部と大地間
 (2) ※2 閉または引はずし位置で電源と負荷側端子間、閉の位置で異極端子間および閉および開の状態充電部と大地間

(5) 絶縁抵抗および絶縁耐力試験

表 4.6 に示すとおり各規格に合格した。

(6) 短絡試験

表 4.7 の短絡試験基準によって各シャ断器とも交流および直流短絡試験を行なったところ、所期の目的を満足する定格シャ断容量(表 1.1 参照)を確認した。

これらの代表的な試験結果を表 4.8 および表 4.9 に、またそれらのうち代表的な短絡試験 オログラム を図 4,

表 4.7 各規格別短絡試験基準の要点

| 規格 | 定格電圧 (V) | 試験電圧 (V) | 短絡回路条件 | | 動作電流 (A) | 時定数 (sec) | シャ断試験回数 |
|------------------|----------|----------|-------------|-------------------|-------------------|-----------|---------|
| | | | 交流 | 直流 | | | |
| JIS C8370 (1955) | 交流 | 125 | 110 | 2,500 | 0.45~0.5 | — | O-2分CO |
| | | 250 | 220 | 5,000 | — | — | |
| | 500 | 440 | 10,000 | — | — | | |
| | 600 | 550 | — | — | — | | |
| 直流 | 125 | 125 | — | — | 2,500 | なるべく無誘導 | |
| NK | 交流 | 125 | 125 | 2,500 (1種) | 0.5 以下 | — | O-2分CO |
| | | 250 | 250 | 5,000 (2種) | 0.4 # | — | |
| | 500 | 500 | 10,000 (3種) | 0.35 # | — | | |
| | — | — | 20,000 (4種) | 0.3 # | — | | |
| | — | — | 40,000 (5種) | 0.25 # | — | | |
| 直流 | 125 | 125 | — | — | 2,500 (1種) | 0.003 以上 | |
| NEMA ABI-1959 | 交流 | 120 | 120 | 表 3.2 の定格シャ断電流による | 0.45~0.5 | — | O-2分CO |
| | | 240 | 240 | — | — | — | |
| | 480 | 480 | — | — | — | | |
| | 600 | 600 | — | — | — | | |
| | 125 | 125 | — | — | 表 3.2 の定格シャ断電流による | なるべく無誘導 | |
| | 250 | 250 | — | — | — | — | |

注: ※ 三相回路では各相の平均値、単相回路では引線3回測定した平均値

表 4.8 新形、NF 形 ノーヒューズシナ断器の代表的な交流短絡試験結果

| 供試シナ断器 | | 短絡試験回路条件 | | | | | | | 短 絡 試 験 結 果 | | | | | | | | | | | | 適用規格 | | | | | | | | |
|----------|----|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|---------------|------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------|------------------|-----------------------|------------------|---------------|--------------|--------------|----------------|--------------|-------------------------|----------------------|----------------|-------------------------|------------|
| フレームの大きさ | 極数 | 定格電圧 (V) | 定格電流 (A) | 試験電圧 (V) | 周波数 (c/s) | 短絡電流 (A) | | | 力率 (遅れ) | オンログラム No. | 回路電圧 (V) | シナ断電流ピーク値 (A) | | | 全シナ断時間 60c/s ベース (c/s) | | | アーク時間 60c/s ベース (c/s) | | | | 最大アーク電圧 (V) | | | 動作直後 O-2 分 CO | | | | |
| | | | | | | 平均値 | R | S | | | | T | R | S | T | R | S | T | R | S | | T | R | S | | T | No. | | |
| 50 B | 1 | 300 | 15 | 284 | 60 | 5,160 | ←3 回の平均値 | | | 0.445 | ※1726 1727 1728 | 296 294 294 | 6,600 6,540 | — | — | 0.711 0.64 | — | — | 0.49 0.47 | — | — | 137 198 | — | — | ※1730 1730 1731 | O CO | JIS | | |
| | | | | 3 | 512 | 60 | 5,400 | 5,330 | 5,440 | 5,440 | 0.456 | 12117 | 514 514 | 6,610 6,740 | 5,590 5,590 | 5,290 7,750 | 0.787 0.441 | 0.584 0.634 | 0.715 0.63 | — | — | 246 156 | 248 234 | 251 242 | 12119 12120 | O CO | | | |
| | 3 | 500 | 50 | 449 | 60 | 5,050 | ←3 回の平均値 | | | 0.49 | 12144 12145 12146 | 445 445 445 | 7,000 5,190 — | — | — | 0.524 0.793 | — | — | — | — | — | — | — | 211 223 | — | — | | 12148 12149 12150 | O CO |
| | | | | 1 | 449 | 60 | 5,050 | ←3 回の平均値 | | | 0.49 | 12144 12145 12146 | 445 445 445 | 7,000 5,190 — | 7,210 5,540 | — | — | 0.72 0.407 | — | — | — | — | — | — | — | — | | 251 187 | — |
| 100-B | 3 | 500 | 50 | 267 | 60 | 20,000 | 21,800 | 20,990 | 17,500 | 0.25 | 11042 | 251 251 | 18,120 19,900 | 11,830 13,480 | 13,370 13,480 | 0.38 0.452 | 0.333 0.357 | 0.424 0.443 | 0.37 0.32 | 0.33 0.35 | 0.28 0.44 | 247 251 | 103 251 | 369 251 | 11056 11057 | O CO | NEMA | | |
| | | | | 3 | 500 | 15 | 3 | 508 | 60 | 15,600 | 16,000 | 16,100 | 14,700 | 0.354 | ※504 11089 | 499 | 11,400 16,800 | 10,250 10,500 | 15,400 14,350 | 0.35 0.46 | 0.43 0.57 | 0.46 0.58 | 0.35 0.57 | 0.28 0.58 | 0.46 0.5 | 107 384 | | 498 413 | 360 384 |
| | 2 | 250 | 100 | 1 | 263 | 60 | 10,150 | ←3 回の平均値 | | | 0.312 | 12962 12972 12982 | 250 248 249 | 15,200 10,010 | — | — | 0.715 0.765 | — | — | 0.375 0.72 | — | — | 279 268 | — | — | 1300 1301 1302 | | O CO | |
| 100-C | 3 | 600 | 100 | 617 | 60 | 5,530 | 5,480 | 5,700 | 5,430 | 0.36 | ※632 12557 | 635 | 7,720 7,800 | 8,480 5,860 | 5,760 8,850 | 0.756 0.537 | 0.53 0.707 | 0.756 0.707 | 0.36 0.28 | 0.31 0.4 | 0.31 0.31 | 250 200 | 215 249 | 226 180 | 12568 12569 | O CO | NEMA (参考試験) | | |
| | | | | 3 | 254 | 60 | 5,390 | 5,240 | 5,440 | 5,490 | 0.476 | 12341 | 254 255 | 5,720 4,150 | 6,050 2,350 | 5,720 8,060 | 0.605 0.592 | 0.484 0.592 | 0.605 0.482 | 0.22 0.23 | 0.2 0.2 | 0.25 0.2 | 217 259 | 164 255 | 203 181 | 12342 12343 | | O CO | |
| | 3 | 250 | 100 | 258 | 60 | 5,070 | ←3 回の平均値 | | | 0.50 | 12354 12355 12356 | 257 258 259 | 5,860 6,110 | — | — | 0.8 0.48 | — | — | 0.4 0.32 | — | — | 250 298 | — | — | 12334 12335 12336 | O CO | | | |
| | | | | 1 | 258 | 60 | 5,070 | ←3 回の平均値 | | | 0.50 | 12354 12355 12356 | 257 258 259 | 5,860 6,110 | 7,640 8,270 | — | — | 0.5 0.76 | — | — | 0.12 0.14 | — | — | — | — | 202 219 | | — | — |
| 225 D | 3 | 600 | 225 | 619 | 60 | 24,200 | 21,400 | 26,200 | 25,100 | 0.206 | ※590 11382 | 590 | 27,100 37,500 | 34,600 36,400 | 39,300 39,200 | 0.795 0.94 | 0.795 1.21 | 0.68 1.21 | 0.28 0.4 | 0.26 0.6 | 0.16 0.7 | 332 310 | 340 281 | 298 274 | 11440 11441 | O CO | NEMA | | |
| | | | | 3 | 259 | 60 | 26,520 | 25,900 | 31,100 | 22,550 | 0.2 | 12271 | 259 259 | 37,500 27,100 | 33,300 44,200 | 30,700 37,000 | 0.623 0.683 | 0.635 0.683 | 0.623 0.563 | 0.32 0.28 | 0.4 0.32 | 0.24 0.4 | 260 268 | 247 161 | 321 122 | 12272 12273 | | O CO | |
| 400 | 3 | 600 | 400 | 523 | 60 | 23,850 | 23,500 | 25,300 | 22,750 | 0.271 | ※532 12243 | 532 | 33,150 27,100 | 37,650 35,300 | 21,800 30,250 | 0.772 0.85 | 0.972 0.85 | 0.772 0.802 | 0.32 0.28 | 0.28 0.32 | 0.6 0.32 | 281 312 | 196 268 | 390 475 | 12248 12249 | O CO | NK (NEMA) | | |
| | | | | 1 | 575 | 60 | 10,340 | 10,200 | 10,400 | 10,420 | 0.445 | 11724 11725 11726 | 580 577 575 | 14,400 — — | 16,000 13,530 | — | — | 1.235 0.894 | — | — | 0.4 0.1 | — | — | 435 162 | — | — | | 11740 11741 11742 | O CO |
| | 3 | 627 | 60 | 30,830 | 31,600 | 28,300 | 32,600 | 0.16 | ※627 11779 | 627 | 51,500 44,000 | 60,400 58,600 | 34,100 48,800 | 1.72 1.62 | 1.58 1.76 | 1.72 1.76 | 0.48 0.48 | 0.4 0.6 | 0.43 0.48 | 292 406 | 282 323 | 410 352 | 11780 11781 | O CO | | | | | |
| 800 | 3 | 600 | 800 | 275 | 60 | 57,900 | 54,200 | 63,800 | 55,700 | 0.35 | 12186 | 275 275 | 67,500 75,000 | 96,900 86,500 | 86,000 72,400 | 1.895 1.75 | 1.895 1.71 | 1.72 1.75 | 0.8 0.81 | 0.72 0.81 | 0.42 1.4 | 111 103 | 1174 207 | 82 324 | 12189 12190 | O CO | NEMA | | |

注：※印オンシログラムは図 4.1～図 4.6 に示す

表 4.9 新形、NF 形 ノーヒューズシナ断器の代表的な直流短絡試験結果

| 供試シナ断器 | | 短絡試験回路条件 | | | | | 試 験 成 績 | | | | | 標準動作直後 O-2分 CO | オンシログラム No. | 適用規格 | |
|----------|----|----------|----------|----------|----------|-----------|-------------|----------|-----------|-------------------------|------------------------|----------------|-------------|-------|-------------|
| フレームの大きさ | 極数 | 定格電圧 (V) | 定格電流 (A) | 試験電圧 (V) | 短絡電流 (A) | 時定数 (sec) | オンシログラム No. | 回路電圧 (V) | シナ断電流 (A) | 全シナ断時間 c/s (60 c/s ベース) | アーク時間 c/s (60 c/s ベース) | | | | 最大アーク電圧 (V) |
| 50B | 2 | 250 | 50 | 250 | 5,200 | 0.00657 | 11254 | 250 | 3,160 | 0.711 | 0.385 | 275/252 | O | 11256 | NEMA |
| | | | | | | | | 250 | 2,300 | 0.517 | 0.235 | 287/254 | | | |
| 100C | 2 | 250 | 70 | 250 | 8,360 | 0.0043 | 12103 | 250 | 5,100 | 1.57 | 0.905 | 245/260 | O | 12104 | " |
| | | | | | | | | 250 | 3,960 | 1.31 | 0.91 | 237/246 | | | |
| 100B | 2 | 250 | 100 | 250 | 10,500 | 0.012 | 11248 | 250 | 4,750 | 0.763 | 0.345/0.37 | 388/379 | O | 11250 | " |
| | | | | | | | | 250 | 4,050 | 0.767 | 0.41/0.384 | 359/350 | | | |
| 225D | 2 | 250 | 225 | 250 | 48,000 | 0.0226 | 12456 | 250 | 17,100 | 1.084 | 0.567/0.675 | 437/394 | O | 12463 | " |
| | | | | | | | | 250 | 17,400 | 1.101 | 0.66/0.67 | 446/410 | | | |
| 400 | 2 | 250 | 400 | 250 | 48,000 | 0.0226 | 12456 | 250 | 19,300 | 1.33 | 0.724/0.737 | 383/404 | O | 12461 | " |
| | | | | | | | | 250 | 18,850 | 3.46 | 0.69/0.722 | 505/383 | | | |
| 800 | 2 | 250 | 800 | 250 | 48,000 | 0.0226 | 12456 | 250 | 30,500 | 2.65 | 1.16/1.157 | 302/302 | O | 12457 | " |
| | | | | | | | | 250 | 30,400 | 2.34 | 0.859/0.878 | 431/620 | | | |

注：オンシログラムは図 4.7～図 4.12 に示す

新形 NF 形 ノーヒューズシヤ断器の代表的な交流短絡試験 オシログラム
 Typical AC short circuit test oscillograms of new type NF no-fuse breaker.

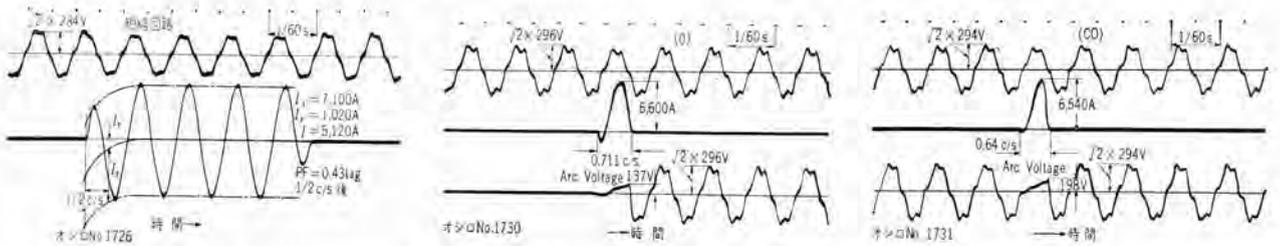


図 4.1 50A フレーム B 形, 単極, 300 V, 15A シヤ断器单相交流 284 V, 5.160A 短絡試験

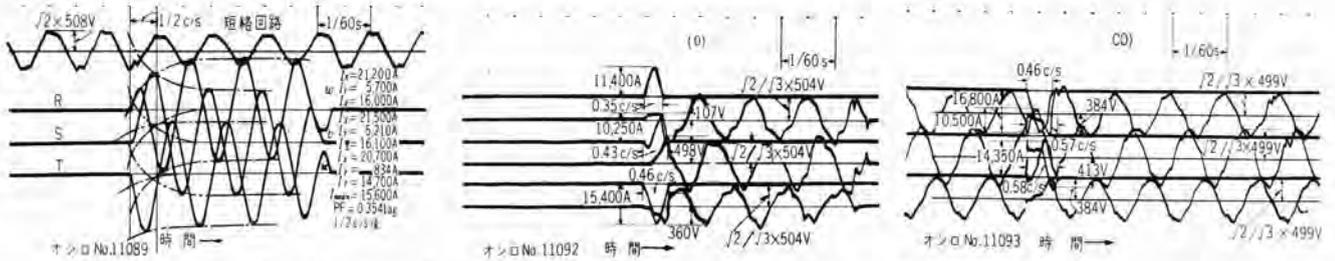


図 4.2 100A フレーム B 形, 三極, 500 V, 15A シヤ断器三相交流 508 V, 15.600A 短絡試験

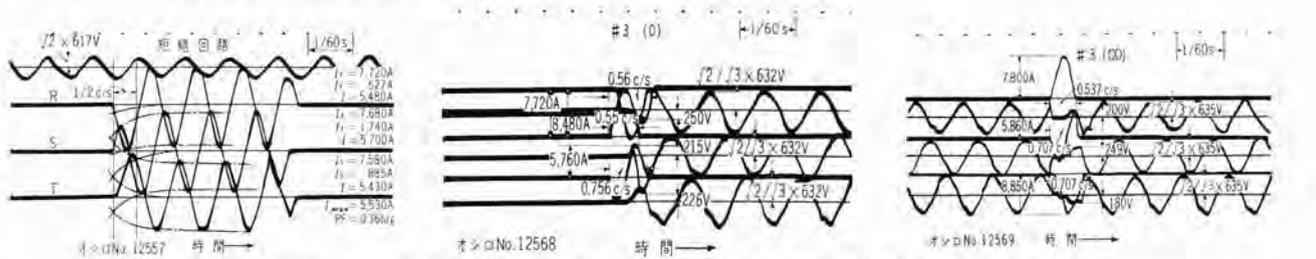


図 4.3 100A フレーム C 形, 三極, 600 V, 100A シヤ断器三相交流 617 V, 5.530A 短絡試験

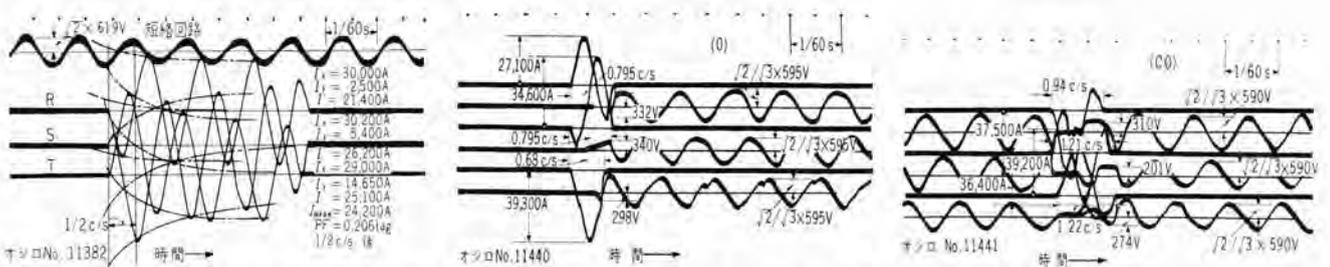


図 4.4 225A フレーム D 形, 三極, 600 V, 225A, シヤ断器三相交流 619 V, 24.200A 短絡試験

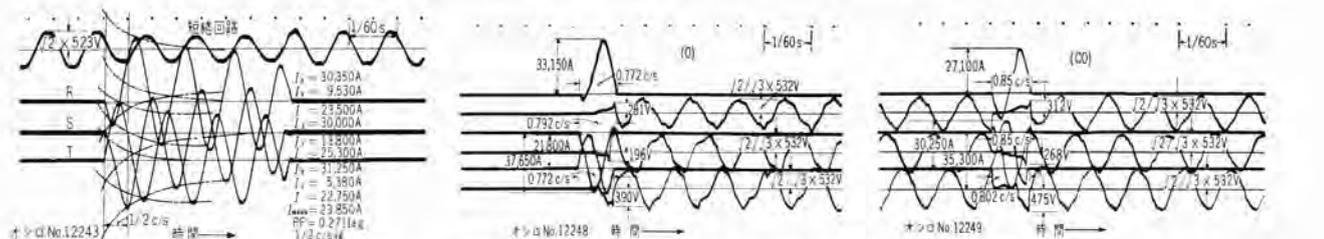


図 4.5 400A フレーム, 三極, 600 V, 400A シヤ断器三相交流 523 V, 23.850A 短絡試験

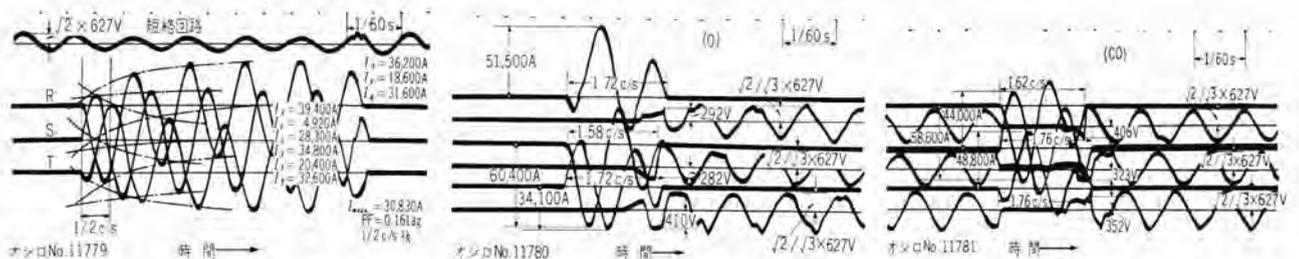


図 4.6 800A フレーム, 三極, 600 V, 800A シヤ断器三相交流 627 V, 30.830A 短絡試験

新形, NF 形 ノーヒューズシヤ 断器の代表的な直流短絡試験 オシログラム
 Typical DC short circuit test oscillograms of new type NF no-fuse breaker.

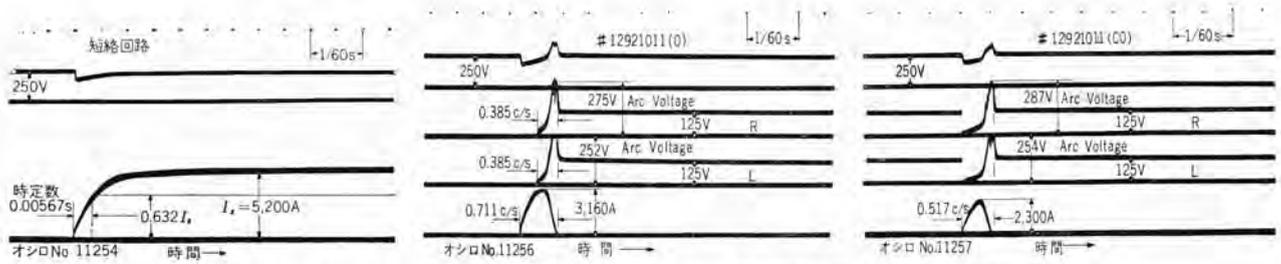


図 4.7 50A フレーム B 形, 二極, 250 V, 50A シヤ 断器直流 250 V, 5,200A 短絡試験

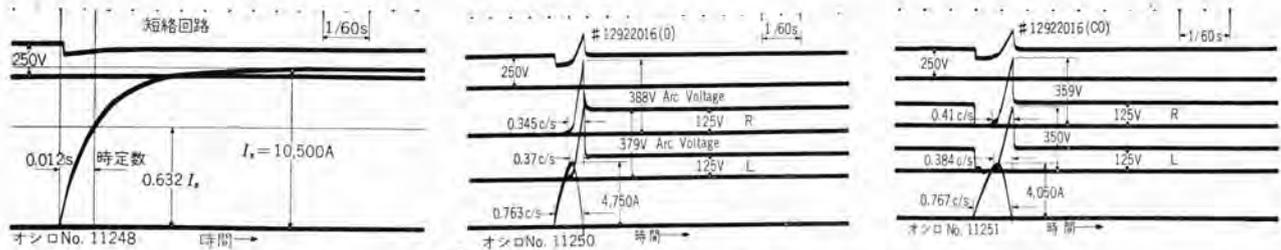


図 4.8 100A フレーム B 形, 二極, 250 V, 100A シヤ 断器直流 250 V, 10,500A 短絡試験

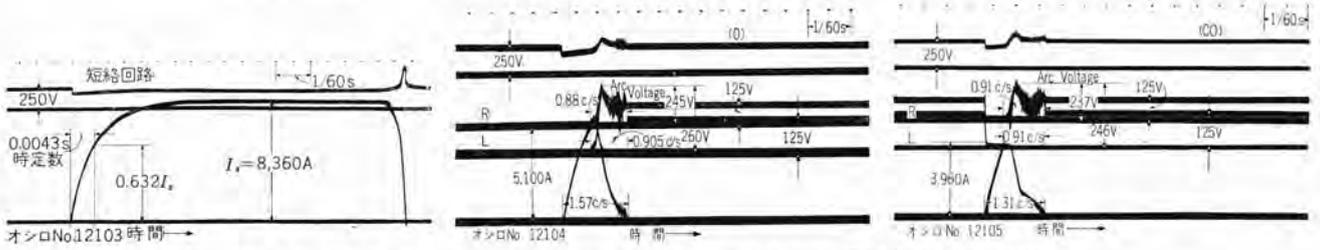


図 4.9 100A フレーム C 形, 二極, 250 V, 70A シヤ 断器直流 250 V, 8,360A 短絡試験

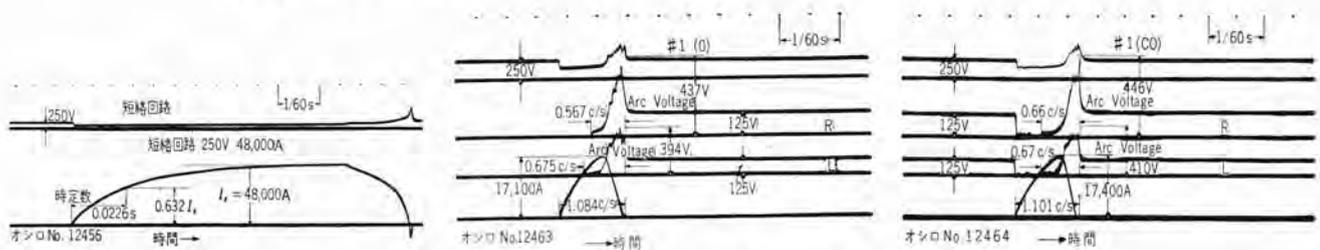


図 4.10 225A フレーム D 形, 二極, 250 V, 225A シヤ 断器直流 250 V, 48,000A 短絡試験

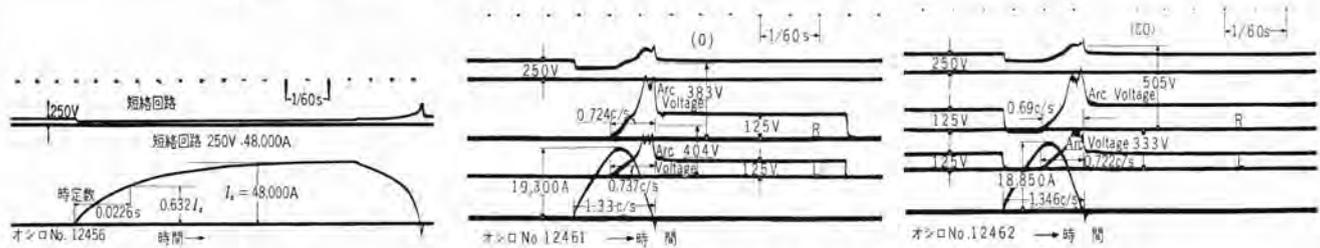


図 4.11 400A フレーム, 二極, 250 V, 400A シヤ 断器直流 250 V, 48,000A 短絡試験

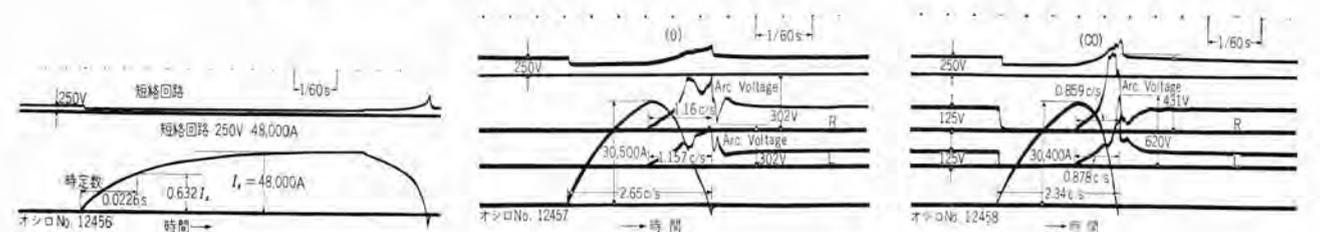


図 4.12 800A フレーム, 二極, 250 V, 800A シヤ 断器直流 250 V, 48,000A 短絡試験

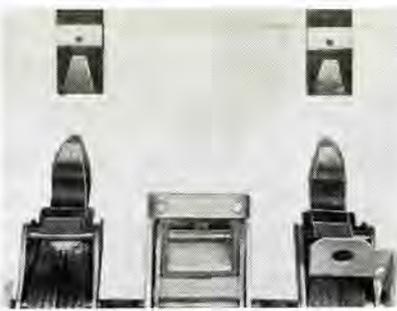


図 4.14 225 A フレーム D 形シ断器の接触子(耐久, 短絡試験後)
Fig. 4.14 Contacts of 225 A frame type D, no-fuse breaker. (after endurance and short circuit tests).

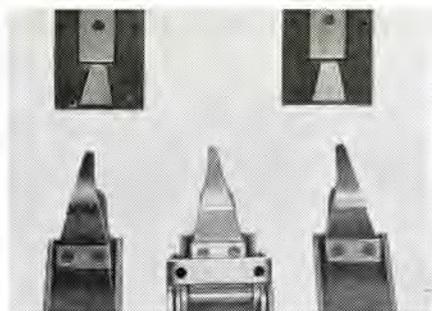


図 4.15 400 A フレームシ断器の接触子(耐久, 短絡試験後)
Fig. 4.15 Contacts of 400 A frame no-fuse breaker. (after endurance and short circuit tests).

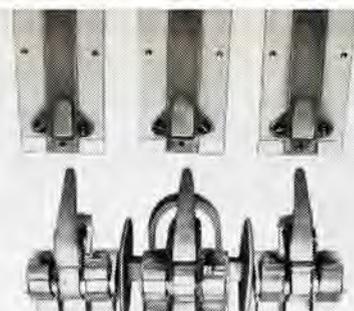


図 4.16 800 A フレームシ断器の接触子(短絡試験後)
Fig. 4.16 Contact of 800 A frame no-fuse breaker. (after short circuit test).



図 4.13 100 A フレーム C 形シ断器の接触子(耐久, 短絡試験後)
Fig. 4.13 Contacts of 100 A frame type B, no-fuse breaker. (after endurance and short circuit tests)

1~4.6 および図 4.7~4.12 に示す。

この試験でシ断器の取手開穴部や排気穴に接しておいた ホータイ に点火することなく、接続電線の絶縁被覆を損傷せず、実用上支障のない特性を有していることは既述のとおりである。また短絡試験後の接触子の損傷はわずかで、この状態を図 4.13~4.16 に示す。

5. 適用上の問題

新形シ断器を使用するにあたってその特長のうち、小

形化の効果例ならびに可調整電磁引はずしの適用例について簡単に紹介する。

5.1 小形化の効果

新形シ断器の取付面積が大幅に縮小されたことはすでに述べたとおりであるが、新旧シ断器で構成されたノーヒューズ分電盤についてその効果を比較検討してみよう。

配電方式：三相三線式、200 V

主回路端子および母線容量：400 A

分岐回路シ断器：三極、100 A フレーム、10 回路

上記仕様で分岐回路シ断器に、100 A フレーム A 形(現標準)、100 A フレーム B 形および 100 A フレーム C 形を使用したばあいの分電盤(壁掛形)の取付面積および主要材料について比較検討すれば表 5.1 ならびに図 5.1 に示すとおりである。新形シ断器を用いた分電盤がいかに取付面積を節約し、また主要構成材料も少なく、経済的で

表 5.1 新旧シ断器を用いた分電盤の比較一例

| 分岐回路シ断器 | 分電盤の箱寸法 (mm) | 箱の取付面積比 (%) | | | 分電盤主要材料の重量比 (%) | | 図 5.1 |
|---------|--------------|-------------|-------|-----|-----------------|-----|-------|
| | | 幅 | 高さ | 深さ | 銅材 | 鋼材 | |
| 100-A 形 | 10 | 760 | 1,590 | 220 | 100 | 100 | (a) |
| 100-B 形 | 10 | 760 | 1,100 | 220 | 69 | 57 | (b) |
| 100-C 形 | 10 | 510 | 1,050 | 145 | 44 | 38 | (c) |

新形ノーヒューズシ断器・高見

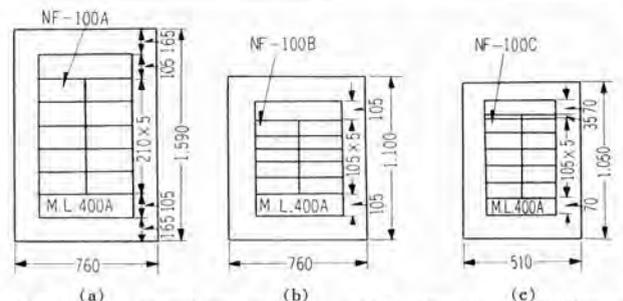


図 5.1 新旧シ断器を用いたノーヒューズ分電盤の寸法比較(単位mm)
Fig. 5.1 Comparison of dimensions between no-fuse distribution panels with new and old breakers.

あることがわかる。

5.2 可調整電磁引はずしシ断器の適用

固定調整式の電磁引はずしを備えたノーヒューズシ断器は、同一系統に接続される電磁開閉器や他の保護装置(ACB, OCB またはヒューズ)と望ましい協調を維持させることは困難であるが、可調整式の電磁引はずしを持つ新形シ断器ではこのような問題を容易に解決できる。

(1) 電磁開閉器との協調⁽²⁾

低圧カゴ形誘導電動機のシカ入レ起動器として用いる電磁開閉器は、その開閉部の閉路およびシ断電流容量がその定格容量(最高適用電動機容量)の 10 倍、すなわち最高適用電動機全負荷電流の 10 倍が限界である。したがってその限界をこえる故障電流を電磁開閉器で開閉する能力はなく、電源開閉器でこれに応ずるのが常識である。

このような電源開閉器として可調整式の電磁引はずしを持つノーヒューズシ断器は適切なものである。すなわちそのノーヒューズシ断器の電磁引はずし電流を電動機全負荷電流のほぼ 10 倍に整定することは図 5.2 に示すようにきわめて容易に行ないうる。

一方、電磁開閉器の過電流継電器は電動機の過負荷ならびに拘束状態によって生ずる巻線の過熱を防止するための保護装置であるが短絡保護の能力はない。このようなばあいにも可調整式の電磁引はずしを持つシ断器の使用が適切である。とくに定格容量以下に電磁開閉器の過電流継電器を選んだばあいには、その熱的限界内にノーヒューズシ断器の電磁引はずしを整定することができる。

コンビネーションライnstター や コントロールセンタ など用い

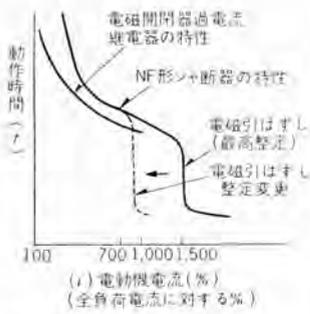


図 5.2 新形シヤ断器と電磁開閉器との $i-t$ 特性の協調
Fig. 5.2 Coordination of $i-t$ characteristics of new breaker and magnetic switch.

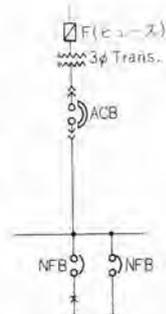


図 5.3 代表的な系統例
Fig. 5.3 Typical example of system.

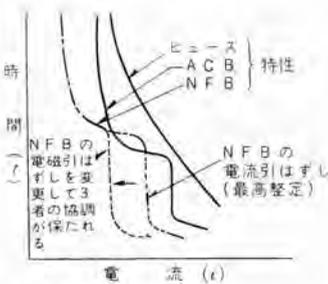
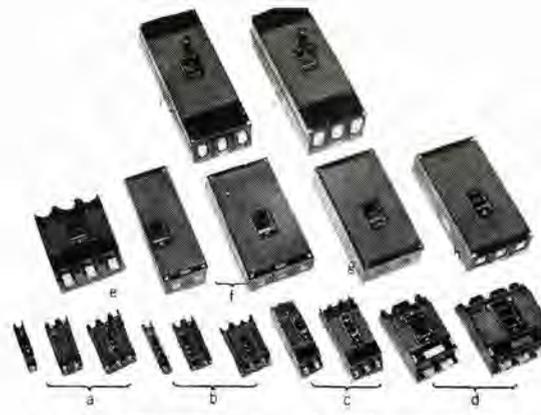


図 5.4 ヒューズ、ACB および NFB の $i-t$ 特性の協調
Fig. 5.4 Coordination of $i-t$ characteristic among fuse, ACB and NFB.



a. 50A frame type A & B. f. 225A frame type H.
b. 100A " " C. g. 225A " " C.
c. 100A " " B. h. 400A " " C.
d. 100A " " A. i. 600A " " C.
e. 225A " " D. j. 800A " " C.

図 6.1 現在製作している
ノーヒューズシヤ断器群
Fig. 6.1 A group of no-fuse breakers now in production.

るノーヒューズシヤ断器は、上述のような考え方をとり入れて定格を選ぶことが望ましい。

(2) 他の保護装置との協調

同一系統にある保護装置はそれぞれ他の保護装置と協調関係を保つことが望ましい。

図 5.3 の系統において、ヒューズ、ACB および ノーヒューズシヤ断器 (NFB) の各特性は互に協調関係になければならない。この系統の各保護装置の $i-t$ 特性が図 5.4 に示す関係にあれば、ACB と NFB は協調するように是正しなければならない。このばあい NFB が可調整式電磁引はずしのものであれば、両者間の協調は点線の位置に NFB の電磁引はずしを調整し直せばよい。

6. 新形シヤ断器と現標準シヤ断器との関係

新形シヤ断器の完成にともない現在までの NF 形 ノーヒューズシヤ断器の系列は大きな変化を及ぼす。

当社としては早急に新形を主体とした系列で生産すべきであるが、使用者各位の便宜を考慮し、当分の間新旧シヤ断器を並行して生産する。しかしながら適当な機会に表 6.1 に示すような新形シヤ断器を主体とした系列に切替える。

表 6.1 新形シヤ断器と現標準シヤ断器の関係

| フレームの大きさ | 現在生産中の NF 形ノーヒューズシヤ断器の種類 | 近き将来、標準系列化する NF 形ノーヒューズシヤ断器の種類 |
|----------|--|--------------------------------|
| 50 | ※ NF-50 A ※ NF-50 B | ※ NF-50 A ※ NF-50 B |
| 100 | ※ NF-100 A ※ NF-100 B ※ NF-100 C | ※ NF-100 B ※ NF-100 C |
| 225 | ※ NF-225 H ※ NF-225 C ※ NF-225 D | ※ NF-225 D |
| 400 | ※ NF-400 | ※ NF-400 |
| 600 | ※ NF-600 | ※ NF-600 |
| 800 | ※ NF-800 | ※ NF-800 |
| 図 | 6.1 | 1.1 参照 |

注：※ 新形シヤ断器

7. むすび

当社が多年の懸案としてきた新形シヤ断器の大量な完

成は、NF 形 ノーヒューズシヤ断器の系列強化を計ったものであり、また国内における配線用シヤ断器、製造技術の飛躍的な進歩を示すものである。

とくに、今日の社会情勢から電気的な装置は複雑多岐となっており、これに使用される器具類の小形化、特性の改善や選択に十分な種類の増加などは必然的に歓迎されることである。この意味において新形シヤ断器の出現はまことに時宜を得たものといえよう。

定格シヤ断容量は AC 600 V で、30,000 A、DC 250 V で 40,000 A まで完成したので、当面の低圧回路における故障電流をシヤ断するに足る能力は有しているものと考えられる。しかしながら、低圧回路の設備容量は今後さらに増強されうると思われるので、その故障電流も一段と大きくなってこれを満足にシヤ断する大容量 ノーヒューズシヤ断器か、これに類するモールドケース低圧シヤ断器の開発が必要となってくるであろう。

新形シヤ断器の適用規格については、JIS 規格が定格シヤ断容量 10,000 A までのものである関係上、大定格シヤ断容量 (AC 250 V、25,000 A) まで規定している アメリカの NEMA 標準 (AB 1-1959) に準拠したが、わが国においても使用者、製造者の立場を考え、これに類する規格を早く制定することが必要である。

新形シヤ断器は開発後、各方面に多数納入し、好評を得ているが、さらにこの種シヤ断器をより良くするため、使用者各位のご批判を賜うよう切望するとともに、開発にさいし良くご指導、ご協力下された社外、社内の各位に対し厚く感謝する次第である。

参考文献

- (1) 高見 滋・大野寛孝：最近の大形ノーヒューズシヤ断器「三菱電機」29, 669 (昭 30)。
- (2) 篠崎善助：化繊工場用低圧配電および制御装置「三菱電機」21, 460 (昭 32)。

Sバンド 2kW 進行波管

研究所 戸田哲雄*・建石昌彦*・竹延真哉*

2kW Traveling Wave Tube for S-Band

Research Laboratory Tetsuo TODA・Masahiko TATEISHI・Shinya TAKENOBU

Large power level klystrons of the S-band MW class are most extensively employed for the electron linear accelerator and the radar. For a pre-amplifier of them an output ranging from several hundred W to several kW is required. Mitsubishi has developed a 2 kilowatt helix type traveling wave tube of special construction to meet the requirements. The success in this manufacture is due to the result of newly developed gain calculation method. The writer's report covers the above method, the helix specially made and experiments conducted on the behavior of the traveling wave tube.

1. ま え が き

線形電子加速器 (Electron Linear Accelerator) などには S バンド MW 級の大出力 パルスクライストロン 増幅器が良く使用される。その前置増幅器には数 100 W～数 kW 程度の出力が必要となるが、使用できる真空管としてはクライストロン、進行波管が考えられ、そのうちでも進行波管がもっともすぐれている。高出力進行波管の遅波回路としては熱損失および結合 インピーダンス の点より ヘリックス 以外の遅波回路が使用されている。2 kW 程度の進行波管においてはまだ螺旋回路 (ヘリックス) の使用が可能であり、特殊構造のヘリックスを製作して熱放散を増加させることに成功した。また小信号利得の計算は G.B. Brewer and C.K. Birdsall⁽¹⁾ の計算結果を整理し抵抗部内における利得の計算をも可能とした。

この結果実測される小信号利得は計算と非常に良く一致した⁽²⁾。なお同程度の進行波管は米国においては 2, 3 の発表⁽³⁾⁽⁴⁾を見るにすぎずわが国においては最初の製品である。(図 1.1)



図 1.1 2kW 進行波管
Fig. 1.1 2kW traveling-wave tube.

2. 諸定数の決定

進行波管の設計に関してはすでに J.R. Pierce⁽⁵⁾ C.C. Cutler⁽⁶⁾ J.E. Rowe⁽⁷⁾ などによって発表されている。前 2 者は大振幅理論は加味されておらずまた QC , C に制限がある。後者においては大振幅理論より出発しているが抵抗部における利得の推定をするにはデータが不十分である。進行波管を実用する場合においては実用目的に

もよるが位相ヒズミの点より飽和出力で動作することはすくない。筆者らは能率、ビーム半径 r_0 、空間電荷パラメータ Q 、利得パラメータ C の算出にあたって大振幅理論を参考とし、小信号利得の計算においては G.B. Brewer and C.K. Birdsall⁽¹⁾ によって解かれた伝播定数の膨大な結果を整理し、最大利得を得るように設計することとした。

遅波回路としては大電力の場合にはその熱放散および結合 インピーダンス の点より ヘリックス 以外の回路が使用されるが筆者らはデータ豊富なヘリックス回路を採用し、ガラス圧着形ヘリックスの開発により、熱放散効果を上げ中出力進行波管の製作に成功したので以後ヘリックスを遅波回路とする中出力進行波管について述べることにする。

2.1 能率の推定

電力増幅器用進行波管を設計するにあたっては、その到達すべき最大能率を知る必要がある。進行波管の最大出力はビーム半径 r_0 、空間電荷パラメータ Q 、利得パラメータ C 、ヘリックスの損失などの複雑な関数であることはすでに実験的に示されている⁽⁸⁾。この理論解析は L. Brillouin⁽⁹⁾ のものが最初でまた実際計算は $QC=0$, $C \ll 1$ の場合に A. Nordsieck⁽¹⁰⁾ によるものが初めてで、続いて P.K. Tien et al.⁽¹¹⁾, P.K. Tien,⁽¹²⁾ J.E. Rowe⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾, P. Parzen⁽¹⁵⁾ によって計算された。また実験的に C.C. Cutler⁽¹⁶⁾ は実験に便利な低い周波数に普通使用される進行波管などの寸法を拡大して各種パラメータに対する能率の変化を求めている。同実験結果によると利得最大の場合には $0.5 < \gamma r_0 < 0.8$, $0.15 < QC < 0.35$ の範囲で η/C は最大となりその値は $\eta_{\max}/C=3$ となる。

またビーム電圧を上げ、出力最大とすると $0.4 < \gamma r_0 < 0.6$, $0.1 < QC < 0.25$ の範囲で η/C は最大となりその値 $\eta_{\max}/C=3.5$ を得ている。また C を変化した場合におい

* 物理第二研究室

では $C=0.14$ 付近で $(\eta/C)_{\max}=3.8$ を得ている. J. E. Rowe の計算⁽¹⁴⁾ によると $QC \doteq 0.125$ 付近に η/C が最大の QC の値がある. これは C. C. Cutler の実験⁽¹⁶⁾ の QC による η/C の変化過程と定性的には一致する, (図 2.3 参照) がその値 $(\eta/C)_{\max}=5.5$ は実験値をはるかに上回る. P. K. Tien⁽¹²⁾ の結果を見ると $QC=0.2$ の η/C より $C=0.1$ で η/C の最大値 $(\eta/C)_{\max}=3.2$ であってこの場合の J. E. Rowe⁽¹⁴⁾ の結果の $QC=0.2$ では $(\eta/C)_{\max} \doteq 5.0$ である.

これらの実測値と計算との相違は大振幅理論においては軸方向電界がビームの内方まで均一と仮定して計算した結果によるものと考えられる. また J. E. Rowe⁽¹²⁾ の計算の非常に異なる点は速度パラメータ $b \doteq 2.0$ 付近より大きい値において η/C が急激に低下することであって他の計算者では示されていない.

以上が計算機を使用した大振幅理論による飽和能率値の計算結果であるが, とともに実験値と一致するまでには至っていない. 筆者らは能率, r_0 , QC , C の値としては C. C. Cutler の実験結果⁽¹⁶⁾ による値を目標として選ぶことにする.

2.2 小信号理論による利得の計算

進行波管の小信号動作を解するには J. R. Pierce⁽¹⁵⁾ による遅波回路と電子流の相互作用を等価回路で解析する方法と, L. J. Chu & J. D. Jackson⁽¹⁷⁾ による field theory によるものがある. 前者は計算が容易なため良く使用されている. この方法は次の伝播定数方程式を解くことにある.

すなわち

$$(\Gamma_0 - I^2)[(j\beta_e - I)^2 - 4QC^2\Gamma^2] = j2\beta_e\Gamma_0C^2\Gamma^2 \dots (2.1)$$

ただし Γ_0 : 電子流のない場合の回路の伝播定数

Γ : 電子流のある場合の未知の伝播定数

β_e : 電子流の伝播定数

Q : Pierce の空間電荷のパラメータ

C : Pierce の利得パラメータ

式 (2.1) は Γ に関して 4 次式であるので, 波は四つ存在する. すなわち増大波, 減衰波, fast wave および backward wave であってこのうち増大波が進行波管の増幅作用をつかさどる. 式 (2.1) をそのまま解くのは困難であって J. R. Pierce⁽¹⁵⁾ によって $C \rightarrow 0$ で, QC が有限の場合の解が最初に発表された. ついで G. R. Brewer & C. K. Birdsall⁽¹⁾ は J. R. Pierce 流のパラメータにより, $C=0.1, 0.2, 0.3, QC=0, 0.025, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, d=0.025, 0.125, 0.5, 1.0$ の場合に解いた膨大な結果を報告している. また最近になって, 別のパラメータを使用し式 (2.1) の解が G. S. Kino により発表された.

われわれは J. R. Pierce のパラメータがそのまま使用できるので G. R. Brewer の結果を使用しやすいように整理して利得計算を行なう.

(1) 利得, 空間電荷パラメータ C および Q

ビームと遅波回路の結合を表わす利得パラメータは次式で表わされる.

$$C = \left(\frac{FK_s I_0}{4V_0} \right)^{1/3} = 0.05 \times P_u^{1/3} \times (1+bC)^{1/3} \times (FK_s')^{1/3} \dots (2.2)$$

ただし F : インピーダンス軽減係数

K_s : 自由空間における Sheath helix のインピーダンス

I_0 : ビーム電流

V_0 : ビーム電圧

P_u : ビームパービアンس (μ パービアンス)

b : 速度パラメータ $= \frac{u_0 - v_1}{v_1} \cdot \frac{1}{C}$

$K_s' = K_s \frac{\beta_0}{\gamma} \left(1 + \frac{\beta_0^2}{\gamma^2} \right)^{3/2} \doteq K_s \frac{\beta_0}{\gamma}$

$u_0 = \sqrt{2\eta V_0}$: 電子ビームの速度

v_1 : ビームのない場合の電波の速度

インピーダンス軽減係数 F は誘電体にかこまれた Tape helix のインピーダンスの自由空間における sheath helix のインピーダンスに対する比であって空間高調波の影響をも考慮して P. K. Tien⁽²⁰⁾ によって計算され, この結果は実測と良く一致することが C. C. Cutler ら⁽¹⁶⁾ により示されている.

Q の計算には種々な方法が提案されているがここでは

$$QC = \frac{1}{4C^2} (\omega_q/\omega / 1 + \omega_q/\omega) \dots (2.3)$$

によることとする.

ただし $\omega_q = R_h \omega_p$: reduced plasma frequency

ω_p : プラズマ角周波数 $= 1.033 \times 10^5 \frac{\sqrt{P_u V_0}}{r_0}$

R_h : Reduction factor⁽²¹⁾

(2) 最大利得の算出

C. K. Birdsall & G. R. Brewer の膨大な計算結果より最大利得が計算される値 $\left(\frac{x_1}{1+bC} \right)_{\max}$ およびこれを与える $(bC)_{\text{opt}}$ の値を算出し QC に対して書けば図 2.1 のようになる.

QC が大きくなれば $\left(\frac{x_1}{1+bC} \right)_{\max}$ の値は減少し, C が大きくなれば $\left(\frac{x_1}{1+bC} \right)_{\max}$ の値は大きくなる. したがって前節に述べた C および QC が回路定数およびビームより計算されれば, 図 2.1 によって $\left(\frac{x_1}{1+bC} \right)_{\max}$ を与える $(bC)_{\text{opt}}$ の値が決定される. その値より b が判明しよって最大利得を与えるビーム電圧または v_1 が求められる. また横軸に $\frac{\sqrt{4QC}}{1-\sqrt{QC}}$ を取りこの QC に対応する b の値を書けば図 2.2 のようになり, QC のある値の間にお

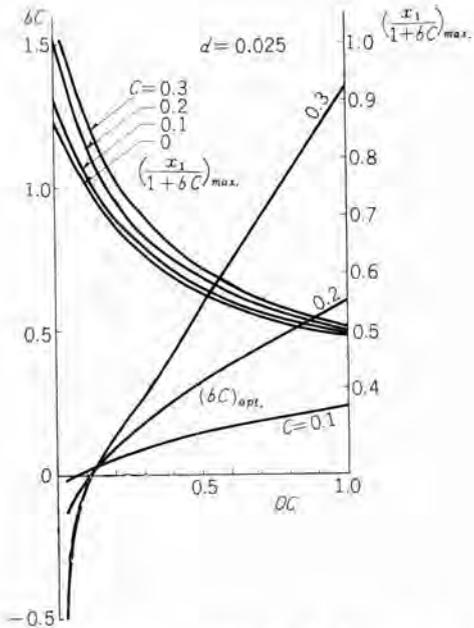


図 2.1 QC に対する $\left(\frac{x_1}{1+bC}\right)_{\max}$ および $(bC)_{\text{opt}}$ の値

Fig. 2.1 $\left(\frac{x_1}{1+bC}\right)_{\max}$ and $(bC)_{\text{opt}}$ values for QC .

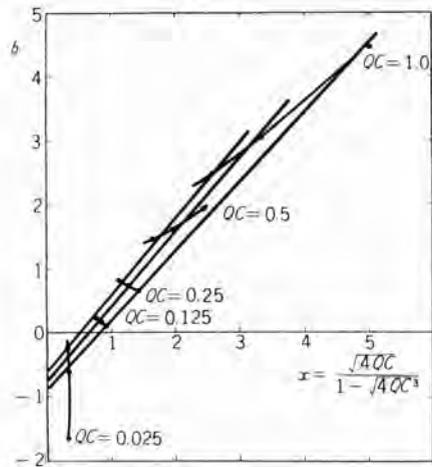


図 2.2 QC に対する速度パラメータ b の近似

Fig. 2.2 Approximate value of velocity parameter b for QC .

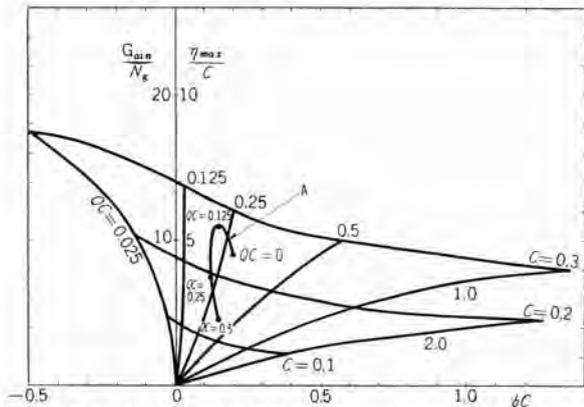


図 2.3 bC に対する単位波数あたりの利得, 大振幅理論よりの $\frac{\eta_{\max}}{C}$ の値

Fig. 2.3 Gain for a unit wave number and $\frac{\eta_{\max}}{C}$ value from larg signal theory for bC .

いては直線で近似できることが判明した。

したがって設計すべき進行波管について C, QC が決定されれば図 2.1 によって $\left(\frac{x_1}{1+bC}\right)_{\max}$ の値およびそれを与える $(bC)_{\text{opt}}$ が求められ, したがって無損失部の最大利得は次のようにして与えられ, また $(bC)_{\text{opt}}$ より最大利得を与える ビーム 電圧が計算できる。

$$G_1 = A + 54.6 \times \left(\frac{x_1}{1+bC}\right)_{\max} \times CN_{\eta_1}(\text{db}) \quad (2.4)$$

ただし A : total loss (db)

N_{η_1} : 無損失回路波数 $= l/\lambda_0$

λ_0 : 電子流のない場合の管内波長

l : 無損失 Helix 長

A は大体一定の値を取るのて bC に対して C, QC をパラメータとして単位波数あたりの利得を書けば図 2.3 のようになる。同図中に示した A 曲線は Rowe⁽⁷⁾ による $C=0.1$ の場合の η_{\max}/C を示す。

2.3 諸定数の選定

周波数特性を良くするには $\gamma a' = 1.5$ とするのが普通である⁽⁵⁾。大電力ヘリックス進行波管においては $\gamma a'$ を大きく選ぶと空間高調波の励振による悪影響が大きくなる。

P.K. Tien⁽²⁰⁾ によると $\beta_0 a' < 0.2$ とすべきことを述べている。 $\gamma a'$ を一定として $\beta_0 a' < 0.2$ を満足するビーム電圧を計算すると V_{0e} となり図 2.4 に示す。すなわち V_{0e} より高い電圧で進行波管を設計することは良くない。

C.C. Cutler の実験によると能率は 38% まで高めうることを示している。能率が 20, 25, 30% であったとすると, 要求出力より入力が計算でき, したがってビーム電圧に対するビームパービアンスが求められる。その値を図 2.4 に示す。電子銃製作上よりガンパービアンスの上限を 2μ とするとたとえ 30% 能率が実現できててもその場合のビ

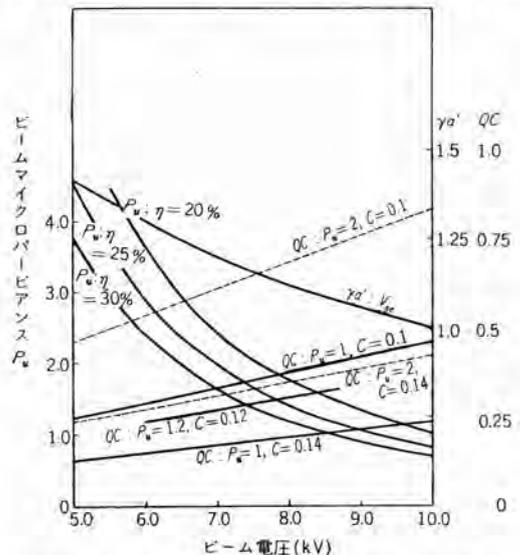


図 2.4 ビーム電圧に対する $P_w, QC, \gamma a'$ の値

Fig. 2.4 Values of P_w, QC and $\gamma a'$ for beam voltage.

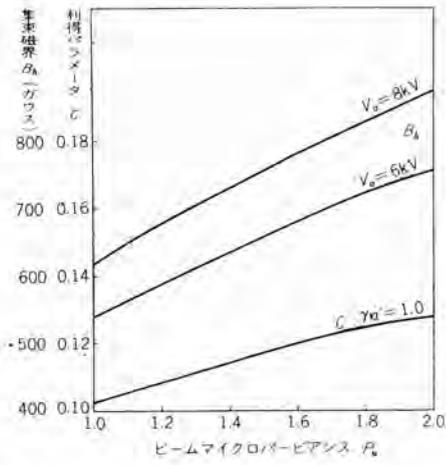


図 2.5 ビームパーベアンスに対する B_0, C の値
Fig. 2.5 Values of B_0, C for beam perveance.

— Δ 電圧は 6.5 kV であって前述の $\gamma a'$ に対する制限より $\gamma a'$ の値は 1.25 以上と選ぶのは良くない。逆に $\gamma a' = 1.25$ とするとビーム電圧は 6.5 kV より上昇しないほうが良い。 $\gamma a'$ を小さくするとヘリックス半径も減じビーム集束は困難となる。

したがってビーム電圧の上昇をも考慮して $\gamma a' = 1.0$ と選ぶ。

γ は V_0, bC の関数であるが小信号利得を最大とするには C および QC が計算できれば bC は求められることは前述した。ところが QC は式 (2.3) に示すようにビーム半径 r_0 の関数であって、 r_0 は a' を決定しなければ計算できない。したがって bC に適当な値を仮定して $a' = 2 \text{ mm}$ とし $\gamma r_0 = 0.6$ と選び $r_0 = 1.2 \text{ mm}$ とした。したがって、 C および QC 、リリアン磁界値 B_0 が計算されその値を図 2.5 に示す。実際のビーム集束の場合にはリリアン磁界値の数倍の値を必要とする。直流磁界、交番磁界集束のいずれの集束を行なうにしても磁界は低いほうが良い。したがって磁界の点よりは P_u を下げるか、 r_0 、すなわち a' を大きくする必要がある。また図 2.5 に示す C の値は $D, L, F = 75\%$ とし $(1+bC)^{\frac{1}{3}} \approx 1$ と近似したので実際はこの値よりは大きい。

図 2.5 より $P_u = 1.2$ では $C = 0.11$ で多少正確に計算すれば増加するので図 2.4 の $P_u = 1.2, C = 0.12$ の曲線より上に近いところにくる。動作電圧は任意に選ぶから一応 7 kV とすると $C = 0.12$ として $QC = 0.27$ を与える。図 2.1 より $QC = 0.27, C = 0.12$ では $(bC)_{opt} = 0.1$ となる。これより電子流のない場合の電波の速度 v_1 が決定される。

すなわちビーム電圧が 7 kV, $\gamma a' = 1, \gamma r_0 = 0.6, a = 2 \text{ mm}$, ビームパーベアンス = 1.2, $C = 0.12$ で $(bC)_{opt} = 0.1$ より求められる電子ビームのない場合の電波の速度を有する

ヘリックスではビーム電圧 7 kV で小信号利得は最大となる。

2.4 抵抗部における利得の算定

進行波管の入力と出力部を分離する必要上、入力部と出力部との間に減衰器を付加する。付加減衰器の位置および長さはその進行波管の最大出力および利得に影響を持つ⁽⁸⁾⁽²²⁾。このうち小信号利得に対する影響を考える。J.J. Caldwell⁽²³⁾ によると単位波長に対するヘリックスに付加された抵抗膜による減衰はある表面抵抗の値に対して最大となる。

その場合の電波の位相速度の変化はその表面抵抗の値以下では減少しそれ以上の表面抵抗においてはあまり変化しないことを示している。われわれの小信号利得計算においては一応、位相速度の変化はわずかで、無視できるものと考えることとする。G.R. Brewer & C.K. Birdsall の結果を整理すると $\left(\frac{x_1}{1+bC}\right)_{max}$ を与える $(bC)_{opt}$ の

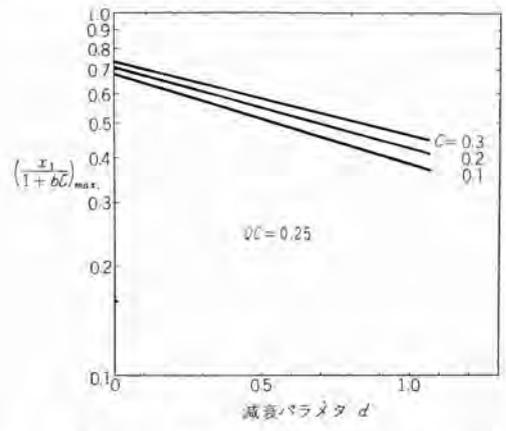


図 2.6 減衰パラメタ d に対する $\left(\frac{x_1}{1+bC}\right)_{max}$ の値

Fig. 2.6 Values of $\left(\frac{x_1}{1+bC}\right)_{max}$ for attenuation parameter d . d に対する変化はほとんどない。同様なことは J.E. Rowe⁽⁷⁾ も証明している。したがって損失のない部分が最大利得を示す $(bC)_{opt}$ において減衰部における利得も最大となる。G.R. Brewer & C.K. Birdsall の結果を整理して QC, C に対して d を変化した場合の $\left(\frac{x_1}{1+bC}\right)_{max}$ を d に対してセミログ紙に書くと、非常に良く直線に近似できることが判明した。一例を示すと図 2.6 となる。したがって d に対する $\left(\frac{x_1}{1+bC}\right)_{max}$ の変化を次式のように近似できる。

$$\left(\frac{x_1}{1+bC}\right)_{max} = x_{10} e^{-\alpha_{02} d} \dots \dots \dots (2.5)$$

したがって減衰部における利得 G_2 は

$$G_2 = 54.6 \times C \times \int_0^{N_{g2}} x_{10} e^{-\alpha_{02} d} dN_{g2} \dots \dots (2.6)$$

で表明される。すなわち d の分布状況が N_{g2} の関数として表明されれば式 (2.6) は簡単に積分可能となる。

したがって減衰部の小信号利得も考えた進行波管の総

合利得は次式で表わされる。

$$G = G_1 + G_2 + A$$

$$= 54.6 \cdot C \cdot \left(\frac{x_1}{1 + bC} \right)_{\max} \cdot N_{q1} + 54.6 \cdot C \cdot x_{10} \int_0^{N_{q2}} e^{-\alpha N_{q2}} dN_{q2} + A \dots \dots \dots (2.7)$$

3. 諸 特 性

3.1 ガラス圧着形ヘリックス

ガラス圧着形ヘリックスとはヘリックスをモリブデン線で製作し、その真空外周器をヘリックスに圧着させたもので、ヘリックス全周がガラスでつつまれている。圧着しないヘリックスに比してその熱伝導は良いと考えられる。これにつ

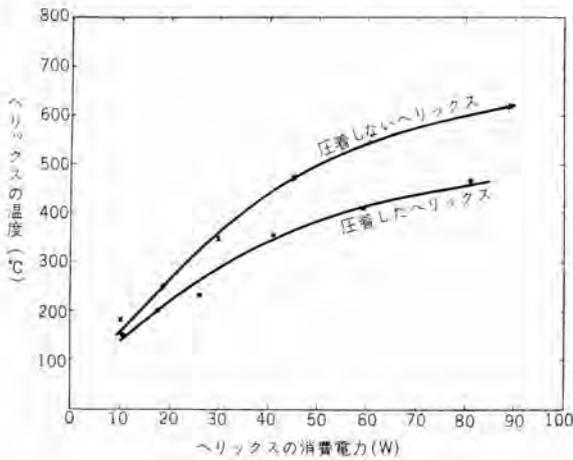


図 3.1 ヘリックスの温度上昇
Fig. 3.1 Temperature rise of helix.

いては計算中であるが実験的にはヘリックスに外部より電流を流しそのヘリックスの温度上昇を測定すれば実際の場合作の予想ができる。図 3.1 にヘリックス自身の温度上昇をその抵抗変化より計算したものを入力電力値に対して示す。同寸法のヘリックスを圧着前のガラス管に封入し水平に置いた位置で測定を行なうと同図に示すように同じ入力に対して、圧着しないヘリックス温度は約 30% 高い。

誘電体をヘリックス外周に有するゆえ電波の位相速度は減少する。この影響を表わすものが Dielectric Loading Factor (D.L.F.) であり主として厚みの関数であって、大体 75% 程度になる。3 本ロッド支持のヘリックスで D.L.F. ≒ 95% 程度であって、インピーダンス軽減係数 F は大体 2 倍以上大きいが利得パラメータ C は 26% 低下するに過ぎない。かかる構造においては進行波管に必要な抵抗減衰部も真空管外部にもうけることも可能となりその大きさ、位置を自由に調整できる利点がある。

3.2 電子銃およびビーム集束

Pierce 形電子銃ではパービアンスは最高 2μ 程度である。それ以上になるとアノードのレンズ作用により良好なビーム形成はできない。2.3 において述べたが、集束

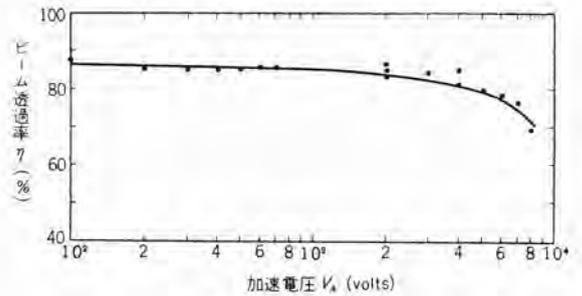


図 3.2 ビーム透過率
Fig. 3.2 Beam transmission of this tube.

磁界の点ではパービアンスは低いほうが良い。しかしあまり低過ぎると入力小さくなりまた C , QC に適当な値を与えることができない。また大出力では高周波電界の半径成分により透過率は低下する。十分の余裕を見てわれわれは電子銃ビームパービアンスとして 2μ を選定した。パービアンスが大きい集束比も大きくなりまたウェスト位置はきわめてカソードに近い。ビーム集束に必要な磁界はこの位置に入れる必要がある。したがって遷移界の立上りを急にする必要がある。そこで直流磁界集束を採用し、かつカソード側には逆磁界を付加して遷移界立上りを急にする方法をわれわれは取った。透過率の一例を図 3.2 に示すが一定磁界で測定しており、電圧の高い所では透過率は低下を見るが、集束磁界を増加すると透過率は良くなる。

3.3 動作特性

(1) 実測値

Line 形パルスでパルス幅 $3\sim 4\mu\text{sec}$ 、繰り返し 200 c/s の負パルスをカソードに印加した。図 3.3 にビーム電圧を一定とし入力レベルを変化しそれに対応する出力特性を測定した結果を示す。7 kV において最大小信号利得、約 47 db を示しており、7.6 kV 付近より飽和値に近づきさらにビーム電圧を上げ、8.2 kV とすると小信号

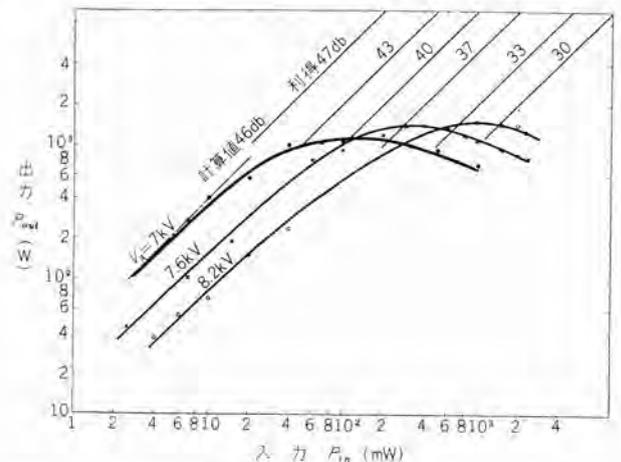


図 3.3 入出力特性
Fig. 3.3 Input and output characteristic for beam voltage.

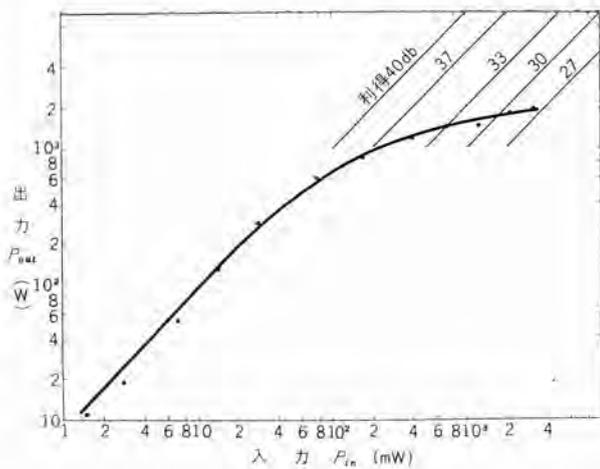


図 3.4 飽和特性
Fig. 3.4 Saturation characteristic.

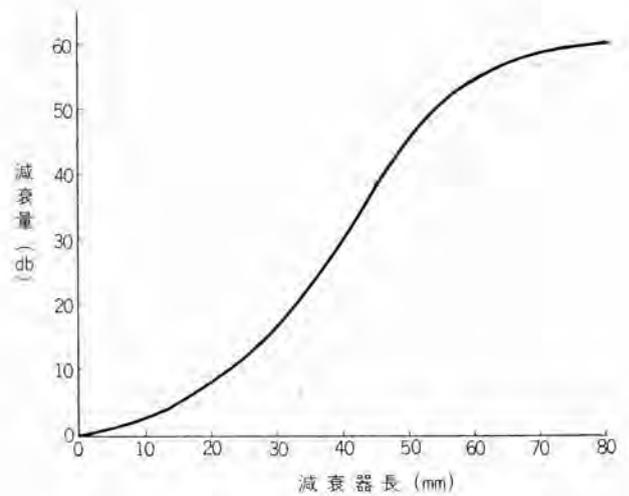


図 3.6 減衰器減衰特性
Fig. 3.6 Attenuator characteristic.

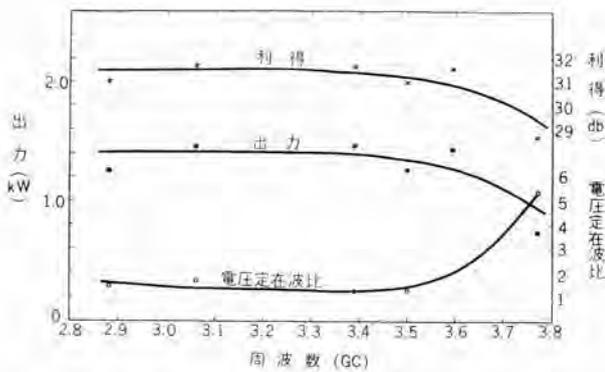


図 3.5 周波数特性
Fig. 3.5 Frequency characteristic.

利得は低下するが飽和出力は 1.5 kW である。利得 37 db 付近で出力は飽和すると考えれば最大小信号利得と飽和時の利得の差は 10 db となる。図 3.4 に他の静特性の多少異なる進行波管において入力を一定とし電圧を変化して最大出力の点を測定した結果を示す。最大小信号利得は 40 db で飽和出力は 2 kW に達する、また 30 db 付近で飽和が始まっているとすると小信号利得との差は 10 db 程度となる。図 3.5 に出力周波数特性を示す。入出力回路は導波管回路を使用しており、広帯域整合が十分でないで周波数の高いところでは定在波比が相当ある。したがって出力も減少を示している。広帯域整合を取るか、同軸入出力回路を使用するとさらに周波数特性は改善されると考える。

(2) 減衰器の減衰特性および利得の計算

付加減衰器の減衰特性は定在波測定器の探針よりの信号をスペクトラムアナライザに入れ、導波管形精密級減衰器でその挿入損失を測定して求めた。付加減衰器の減衰特性を図 3.1 の進行波管について求めると図 3.6 に示すようになる。この減衰曲線より単位長あたりの減衰を求め式 (2.6) により減衰器内の利得は計算される。

同じ進行波管について減衰器のない部分のヘリックスに定在波をたてその管内波長 λ_g を定在波測定器で測定すると $\lambda_g = 12.87$ mm (周波数 3,500 Mc) となる。これより電子流のない場合の波の位相速度 v_1 が計算できて $v_1/c_0 = 0.150$ となる。また実験結果より最大小信号利得を与える電圧は 7.0 kV であるのでこれより $u_0/c_0 = 0.1655$ を得る。したがって $u_0/v_1 = 1.103$ となり $bC = 0.103$ となる。 $\gamma a'$ を求めると $\gamma a' = 0.976$ である、これより 7.0 kV でのインピーダンス軽減係数を求め、さらにビームパービアンスは 1.2 であるのでこれらの値を式 (2.2) に代入して C を求めると $C = 0.113$ となる。図 2.1 より、 $(bC)_{opt}$ と C から QC を求めれば $QC = 0.29$ である。以上の値から式 (2.3) にしたがって reduction factor を $b/a \rightarrow \infty$ の場合の値を使用して QC を求めると $QC = 0.31$ となり、非常に良く一致していることがわかる。

式 (2.7) により無損失部の利得を計算すると 42 db、損失部の利得が 11 db となる。G. R. Brewer の結果より総損失を求めると 7 db であるゆえ当進行波管の小信号利得は 46 db である。図 2.3 に示すが非常に良く一致する。

4. む す び

中出力進行波管においてヘリックスの許容熱損失を特殊な構造として増加することに成功し、螺旋回路が使用できることを示した。またその利得計算は新しい方法を採用し減衰部の利得の計算も可能とし、その結果総合利得計算が実験結果と非常に良く一致することを述べた。

終りにのぞみこの研究は文部省試験研究の一環として阪大工学部電子工学教室、菅田研究室一同のご指導を賜ったので記して感謝したい。(35-1-12 受付)

参 考 文 献

- (1) G.R. Brewer and C. K. Birdsall: Normalized Propagation constants for Traveling Wave Tube for Finite Values of C, Hughes Aircraft Co. Technical Memo No. 331 & No.396.
- (2) 菅田・寺田・裏: 高出力進行波管の試作, 連大予稿 894 (昭 34).
戸田・建石・竹延: S バンド 2kW 進行波管の試作, マイクロ波真空管専委資料 (昭 34 年 7 月).
戸田: S バンド 2kW 進行波管, 関西支部連大予稿 345. (昭 34 年 10 月).
- (3) J.J. Caldwell and O.L. Hoch: Large Signal Behavior of High Power Traveling Wave Amplifier, Trans. of I.R.E. ED-3 (No.1) 6 (1956).
- (4) S. F. Kaisal and W. L. Rorden: Wide-Band, High-Power Traveling Wave Tubes at S Band, I.R.E. conv. Record. 3, 39 (1955).
- (5) J.R. Pierce: Traveling Wave Tube (1950).
- (6) C.C. Cutler: The Calculation of Traveling-Wave Tubes Gain, I.R.E. 39 914 (1951).
- (7) J.E. Rowe and H. Sobol: General Design Procedure for High-Efficiency T.W. Amplifier, Trans. of I.R.E. ED-5 No.4 288 (1958).
- (8) C. C. Cutler and D. J. Brangaccio: Factors affecting Traveling-Wave Tube Power capacity, Trans. of I.R.E., ED-3. 9 (1953).
- (9) L. Brillouin: The Traveling-Wave Tube (Discussion of Wave for Large Amplitudes) J. A. P. 20 1196 (1949).
- (10) A. Nordsiek: Theory of the Large Signal Behavior of Traveling Wave Amplifiers, I. R. E. 41 630 (1953).
- (11) P. K. Tien, L. R. Walker and V. M. Wolontis: A Large Signal Theory of Traveling-Wave Amplifiers, I. R. E. 43 260 (1955).
- (12) P. K. Tien: A Large Signal Theory of Traveling Wave Amplifiers, B. S. T. J. 35 749 (1956).
- (13) J.E. Rowe: A Large-Signal Analysis of the Traveling-Wave Amplifier Theory and General Results, Trans. of I.R.E. ED-3 No. 1 39 (1956).
- (14) J.E. Rowe: Design Information of Large-Signal Traveling-Wave Tubes, I.R.E. 44. 200 (1956).
- (15) A. Kiel and P. Parzen: Nonlinear Wave Propagation in Traveling-Wave Amplifiers, Trans. of I.R.E. ED-2 No.4 26 (1955).
- (16) C. C. Cutler: The Nature of Power Saturation in Traveling Wave Tubes, B.S.T.J. 35 841 (1956).
- (17) L.J. Chu & J.D. Jackson: Field Theory of Traveling-Wave Tubes, I.R.E. 36 853 (1948).
- (18) D.A. Dunn, G.S. Kino and G.W.C. Mathers: Traveling-Wave Tube Propagation Constants for Finite Values of Gain per Wavelength, Trans. of I. R. E. ED-5 No. 4 243 (1958).
- (19) R. C. Fletcher: Helix Parameter used in Traveling-Wave-Tube Theory, I.R.E. 38 413 (1950).
- (20) P.K. Tien: Traveling-Wave Tube Helix Impedance, I.R.E. 41 1617 (1953).
- (21) A.H.W. Beck: Space Charge Wave, 106 (1958).
- (22) C. K. Birdsall and C. C. Johnson: Traveling-Wave Tube Efficiency Degradation due to Power Absorbed in an Attenuator, Trans. I.R.E. ED-6 No. 1 6 (1959).
- (23) J. J. Caldwell: High Power Traveling-Wave Tube Gain and Saturation Characteristics as a Function of Attenuator Configuration and Resistivity, Trans. of I.R.E. ED-4 28 (1953).

最近における当社の社外寄稿一覧

| 寄稿年月日 | 寄 稿 先 | 題 名 | 執 筆 者 | 所属場所 |
|----------|---------------|-----------------------------|-------------------|-------|
| 34-11-18 | 電 気 学 会 | 高圧シタ断器の再起過酷度に関する新しい考察 | 潮 恒 郎 | 研究所 |
| "-"-" | " | 交流大電流自然アークの電流零点近傍の特性 | 伊 藤 利 朗 | " |
| "-11-21 | 産 業 と 電 気 | 自家用変電設備の近代化 | 井 上 八 郎 | 本 社 |
| "-"-"- | 火 力 発 電 | 火力発電機への自動方式の適用 | 甲 斐 高 | 長 崎 |
| "-11-26 | 静 岡 汽 罐 士 会 | 当工場の地下水について | 長 谷 川 武 男 | 静 岡 |
| "-"-"- | 交 友 社 | DF 50 電機器のうち高圧付属回路器具 | 山 田 賜 | 伊 丹 |
| "-11-28 | 電 波 時 報 | ドラムナビゲータ | 山 下 精 一・洪 谷 裕 | 無 線 機 |
| "-11-30 | 日 刊 工 業 新 聞 社 | ダイヤモンド成形材料 (ポリエステル系ダイレジン製品) | 村 山 三 郎 | 研 究 所 |
| 34-12- 2 | 原 子 力 工 業 | 三菱電機における核融合に関する研究と将来の見通し | 安 藤 安 二 | " |
| "-12- 7 | 電 気 学 会 | ホール増幅器の原理とこれが設計上の課題 | 加 藤 又 彦 | 伊 丹 |
| "-12-19 | " | 自動最適化について | 福 永 圭 之 介・芝 滝 寿 宏 | 研 究 所 |
| "-12-21 | 電 気 商 品 連 盟 | 電気スタンドの使い方 | 小 堀 富 次 雄 | 本 社 |

MELCOM 精密低速度形アナログコンピュータ (2)

無線機製作所

馬場 文夫*・大鳥羽幸太郎**・柴谷 浩二**
松本 孝郎**・桑田 博**

MELCOM Precision Low Speed Type Analog Computers (Part 2)

Electronics Works

Fumio BABA・Kōtarō ŌTOBA・Kōji SHIBATANI
Takao MATSUMOTO・Hiroshi KUWATA

Under the same title, Part 1, in the former issue, the writers made an account for the types EA21 and 22 analog computer with regard to the features, performance, composition, construction, parts and linear operation elements in brief. Herein they describe, close on the heel of them, the non-linear operation elements, various oscillographs and composite performance of the computers. The fact that it is feasible to handle non-linear problems with so simple as linear problems is one of marked features of this device. The analog computer now excels the digital computer in the field of calculation on the automatic control and other scientific and technical matters because of the above merits.

1. ま え が き

当社で完成した精密低速度形アナログ計算機 EA21 形および 22 形については、先に (1) として、装置の特長・性能・構成・構造・使用部品および線形演算要素の概要について紹介したが、本文は、これに引続き非線形演算要素、解記録装置および装置の総合性能について概略紹介するとともに、このアナログ計算機（以下アナコンという）を用いて解いた演算例の 2, 3 を示すこととする。

2. 非線形演算要素の概要

アナコンが非線形問題を線形問題と同じように簡単に取扱えるということは、この装置の大きな特色である。

自動制御を始めとする理工学方面の計算分野において、アナコンが、デジタル計算機を凌駕している最大の理由もここに存することは、周知のところであろう。この場合に必要要素が非線形演算要素である。

しかし、一般に非線形演算要素は線形演算要素に比べて、精度および応答速度の点で劣っており、これを改善することはアナコン製作者にとって、最大の課題である。筆者らもこの点の研究に鋭意精進してきたが、(1) ですでに述べたように、このアナコンでは非線形演算要素を全部電子管式で製作することに成功し、これにより従来のアナコンに通常用いられてきた、いわゆるサーボ式に比べ、応答速度の点で飛躍的な改善をなすことができた。このことは、このアナコンの大きな特長の一つに数えられる。以下、これら特色のある、非線形演算要素につい

て概要を説明する。

2.1 関数乗算器

上述のようにアナコンの一つの特長は非線形微分方程式が簡単に模擬できることであるが、このためには関数乗算器はなくてはならない要素である。従来高精度の関数乗算器としては、主としてサーボ式のものを用いられてきたが、構成要素として機械系を含むため、周波数特性が非常に悪く（たかだか 1 c/s 以下）、使用時にいちじるしい制限が課せられている現状である。これに反し、この関数乗算器は時分割形で精度の点でサーボ式に匹敵し、しかもはるかに速い演算速度をもった全電子管式のものである。時分割形関数乗算器とは原理的には電圧 U, X の中の一変数、たとえば U によって U 形波パルスの幅を制御し、他方の X によってその振幅を制御すれば、ここに得られるパルスの面積は U, X の積に比例することを利用してのもので、高精度の電子管スイッチ、電圧比較器、スイッチ駆動回路および補助演算増幅器などから構成されている。その外観を図 2.1、回路図を図 2.2、各部電圧波形を図 2.3 に示す。

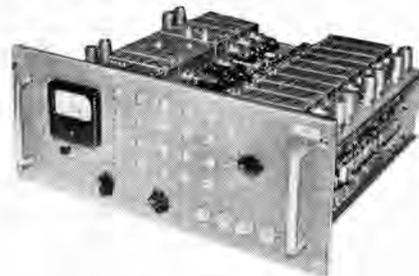


図 2.1 関数乗算器の外観

Fig. 2.1 Appearance of the function multiplier panel.

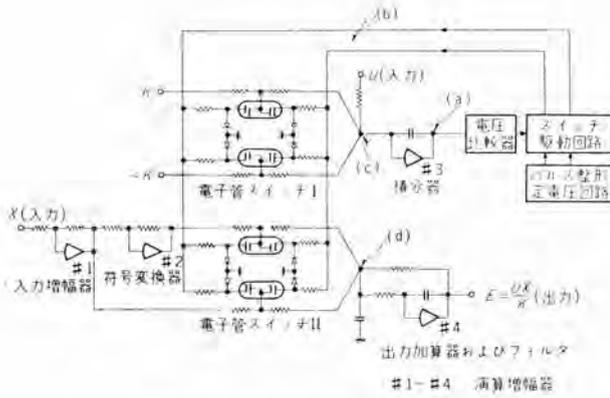


図 2.2 時分割形乗算器回路図

Fig. 2.2 Circuit diagram for the electronic time division multiplier.

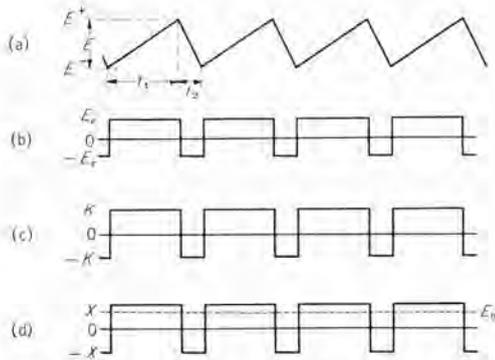


図 2.3 各種電圧波形 (a)~(d) は図 2.2 と対応している
Fig. 2.3 Voltage wave forms for elements of the multiplier

図 2.2, 2.3 にもとづいて原理を詳述する. 電子管スイッチ I は, 基準電圧 $\pm K$ をおのおの時間 t_1, t_2 だけオン・オフし, 入力電圧 U とともに積分器に加える. (図 2.3 (c)) この出力は電圧比較器を動作させる. 電圧比較器として入出力特性が

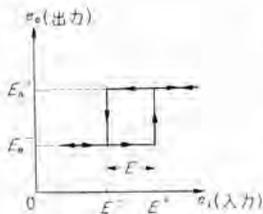


図 2.4 電圧比較器の入出力特性

Fig. 2.4 Input-output characteristics of comparator.

図 2.4 に示すように, ヒステリシス特性をもった二安定マルチバイラレータを用いると, 積分器の出力はヒステリシスの電圧幅を振幅とする三角波形となり (図 2.3 (a)), 電圧比較器出力はそれにおうじたパルスになる. この場合 t_1, t_2 に

$$t_1 = \frac{A}{K-U} \quad t_2 = \frac{A}{K+U} \quad \dots (2.1)$$

ただし A : 定数

$$\therefore \frac{t_1 - t_2}{t_1 + t_2} = \frac{U}{K} \quad \dots (2.2)$$

なる関係をもたせるよう, 電子管スイッチ I を駆動するパルス を制御し (図 2.3 (b)), 他方, 入力増幅器および符号変換器を通った入力電圧 $\pm X$ を, この電子管スイッチ I に連動せる電子管スイッチ II によって, 同時に オン

・オフすれば (図 2.3 (d)), 出力加算器およびフィルタの出力の平均値は,

$$E_0 = \frac{Xt_1 - Xt_2}{t_1 + t_2} = X \frac{t_1 - t_2}{t_1 + t_2} = \frac{UX}{K} \quad \dots (2.3)$$

となり乗算ができるのである.

この関数乗算器の特長を列記すれば,

(1) 電子管式時分割形であるから演算速度がきわめて早く, たとえば, 航空機や GM の シミュレーションに要求される高い周波数特性をもつ演算素子として好適である.

(2) 高精度の電子管 スイッチ など, 各素子に設計上十分な考慮が払われているので精度がきわめて高い.

(3) 同一時分割チャンネルに対して, 4 個の振幅チャンネルを設けて, 入力変数 U, W, X, Y, Z に対し, 独立に UW, UX, UY, UZ の 4 種の積を得ることができ, また入出力端子を適当に接続することにより, U^2W, U^3W, U^4W のような演算が 1 パネルの乗算器で可能になり, 取扱上すばらしく汎用性に富んでいる.

(4) 各素子をユニット化しており, またパネル面に調整用の切換スイッチ, およびメータを有し, とくに調整の便をはかっている.

この装置のおもな性能は次のとおりである.

- (1) 静的精度 最大出力電圧に対し UW, UX, UY, UZ とも $\pm 0.5\%$ 以内 (ただし精密調整により $\pm 0.3\%$ 以下となる)
- (2) 周波数特性 100 c/s まで $\pm 3\text{db}$ 以内
- (3) 入 力 U, W, X, Y, Z 5 変数いずれも $\pm 100\text{V}$
- (4) 出 力 $\frac{UW}{100}, \frac{UX}{100}, \frac{UY}{100}, \frac{UZ}{100}$ いずれも $\pm 100\text{V}$
- (5) 最大出力電流 10 mA
- (6) ドリフト 入力 0 V のとき 50 mV/h 以内

2.2 任意関数発生器

関数発生器とは, 入力電圧 X に対し, ある関数関係をもった出力電圧, $Y=f(X)$ を発生する装置である. この装置は時分割方式を応用した折線近似の関数発生器で, 折点の座標だけで関数形を設定でき, しかもその関数形を簡単に, 任意に変えることができるものである.

従来関数発生器としては, サーボ式, 二極管折線近似式などが用いられてきたが, この装置は, それらとまったく異なる方式によるもので次のような特長を持っている.

(1) 関数を発生させるとき, 設定しなければならないのは折点の座標だけで, 折線の傾斜のことは考える必

要がない。

(2) 折点の座標はダイヤル目盛で設定するので、関数形の設定が非常に容易であるばかりでなく、設定値を記録することができる。

(3) 折点の座標は、隣接する折点の座標とは無関係に設定することができるので、関数形の設定、変更が非常に容易である。(二極管式では中間の値を変更するとそれより大きい X の値に対して、全部設定し直さなければならない。)

(4) 原理上折点の数を増しても誤差の増大を招かない。(二極管式では増幅器の利得が有限であることにより、折点の数の増加に伴い、誤差が大きくなる。)

(5) 折線の最大傾斜は装置の最大出力電圧によって制限されるだけである。(二極管式のものでは、増幅器の利得によって最大傾斜が制限される。)

(6) 折点の横座標も可変となっているため、設定する関数形の近似度を高めることができる。

(7) 全電子管式であるため使用周波数範囲が広い。

図 2.5 は装置の原理をブロック図で表わしたものである。電圧比較器は、図 2.6 のような特性をもつもので、入力 e が増大しながら、 e_i^+ になると出力は位置 $i+1$ を表わす信号 u_{i+1} となり、 e が減少しながら、 e_i^- になると出力は u_{i+1} から u_i になる。この信号によって、電子管スイッチ (x) および (y) が制御され、 u_i という信号によって、それぞれ X_i 、 Y_i を発生する。

積分器出力 e は電圧比較器の出力が u_i のとき、

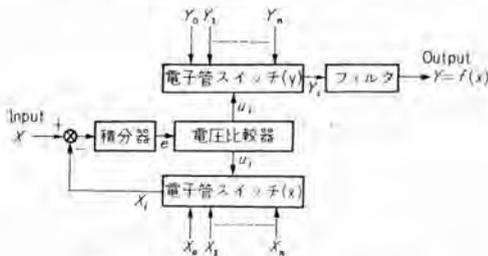


図 2.5 任意関数発生器ブロック図

Fig. 2.5 Block diagram of the arbitrary function generator.

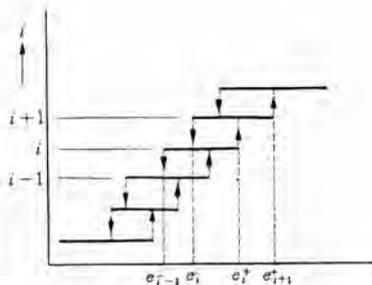


図 2.6 電圧比較器の特性

Fig. 2.6 Characteristics of voltage comparator.

$$e = k \int^t (X - X_i) dt + E \dots \dots \dots (2.4)$$

E : 積分器の初期値

となる。 $X > X_i$ ならば、 e は増大し、 $e = e_i^+$ となった瞬間に X_i は $X_{(i+1)}$ に切換えられる。もし $X < X_i$ ならば e は減少し、 $e = e_i^-$ に達したとき、 X_i は $X_{(i-1)}$ に切換わる。このようにして入力 X が

$$X_{i-1} < X < X_{(i+1)}$$

の範囲にあれば積分器の出力は e_i^+ と e_i^- の間で振動状態にあることがわかる。

いま $X = \text{const.}$ であれば、各部の信号波形は図 2.7 のようになる。電圧比較器の出力が u_i である時間を T_i とすると、

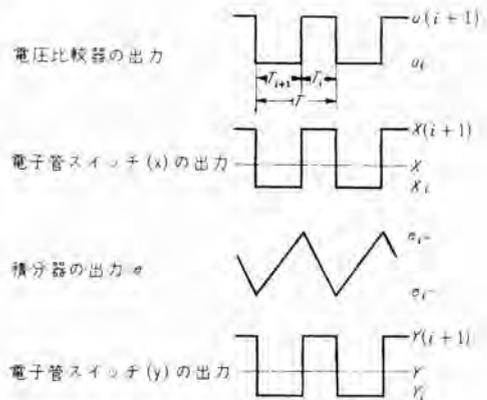


図 2.7 各部信号波形

Fig. 2.7 Voltage wave forms for elements of the arbitrary function generator.

$$\begin{aligned} e_i^+ &= k \int_0^{T_i} (X - X_i) dt + e_i^- \\ &= k T_i (X - X_i) + e_i^- \dots \dots \dots (2.5) \end{aligned}$$

ゆえに

$$T_i = \frac{e_i^+ - e_i^-}{k(X - X_i)} \dots \dots \dots (2.6)$$

が得られる。同様にして電圧比較器の出力が $u_{(i+1)}$ である時間 $T_{(i+1)}$ は

$$T_{(i+1)} = \frac{e_i^- - e_i^+}{k(X - X_{(i+1)})} \dots \dots \dots (2.7)$$

となる。この二つの状態を繰り返しているときの電子管スイッチ (y) の出力平均値 Y は

$$\begin{aligned} Y &= \frac{T_i Y_i + T_{(i+1)} Y_{(i+1)}}{T_i + T_{(i+1)}} \\ &= Y_i + \frac{X - X_i}{X_{(i+1)} - X_i} (Y_{(i+1)} - Y_i) \dots (2.8) \end{aligned}$$

となる。すなわち、 X と Y の関係は 2 個の折点 (X_i , Y_i), ($X_{(i+1)}$, $Y_{(i+1)}$) の間を直線補間したものとなる。

この装置の性能は次のとおりである。

- (1) 入出力電圧 0 ~ ±100 V
- (2) 折線の数 13 セグメント

入出力の電圧の範囲は切換スイッチにより、それぞれ独立に下記の3位置に切換えて使用できる。

- (a) 正負全範囲に対して 13 セクション
- (b) 正側だけに対して 13 セクション
- (c) 負側だけに対して 13 セクション

(3) 折点の可変範囲

各折点の横座標は上記3位置に対し、前面パネル上で51個のタップ位置から任意に選択して設定できる。縦座標は隣接する折点の座標には無関係に上記3位置の任意の値に設定できる。

(4) 最大出力電流 10 mA

(5) 周波数特性 関数形のいかんにかかわらず 100 c/s まで ± 3 db 以内

(6) 精度 出力関数を $Y=f(X \pm \epsilon_x) \pm \epsilon_y$ と表わすとき、 ϵ_x, ϵ_y はいずれも最大電圧に対して、0.5% 以内

(7) フリット (入力換算値)、 $f(X)$ のいかんにかかわらず入力電圧が零のときフリットは 10 mV/h 以内

(8) 残留リップル 隣接する折点の縦座標の差が 25 V のとき 20 mV 以内

図 2.8 にこの装置の外観を示す。前面パネルのポテンショメータは折点の縦座標を設定するもので、それぞれ折点番号 0~13 に対応している。その下部には各折点に対応した 14 個のつまみがあり、折点の横座標を設定す



図 2.8 任意関数発生器の外観

Fig. 2.8 Appearance of the function multiplier panel.

る。このポテンショメータはとくにこの装置のために開発されたものである。左右のロータリスイッチは、それぞれ入力および出力の電圧範囲を切換えるためのスイッチである。

2.3 簡易関数発生器

アナコン演算中には、関数形の近似度はさして重要ではないが、1個の独立変数に対し、多数の関数電圧が必要とされるといった場合がしばしばある。このような要求を経済的に満足させるために作られたのが、この装置である。

2.2 項で図 2.5 において、電子管スイッチ (y) とフィ

ルタの部分を多数置けば、一つの時分割ブロックに対し、同時に多数の関数を発生することができる。

この装置はこのようにして、入力 X に対し、 $f(X)$ 、 $g(X)$ および $h(X)$ の3変数を発生するもので、つぎに述べる点以外の性能は任意関数発生器と同じである。

(1) 折線数 各チャンネルに対して5セクション

(2) 折点の横座標は固定で、入力電圧の全範囲を5等分する。

図 2.9 はこの装置の外観で、 $f(X)$ 、 $g(X)$ および $h(X)$ の各チャンネルに対し、各6個のポテンショメータ、ならびに入出力電圧の範囲を切換えるスイッチが前面パネルに取付けてある。

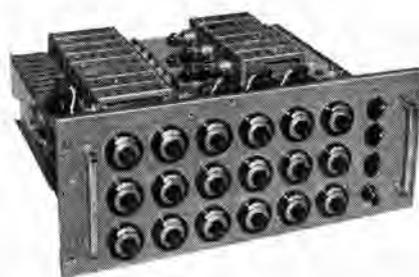


図 2.9 簡易関数発生器の外観

Fig. 2.9 Appearance of the multi-output function generator panel.

2.4 むだ時間発生器

むだ時間 (Time delay or Transport delay) はプロセス制御には必要な素子である。たとえば、ボイラの自動制御とか、動力用原子炉の制御がそれで、一般に入力 $e_i(t)$ に対して、出力 $e_o(t)$ は

$$e_o(t) = e_i(t - \tau) \dots \dots \dots (2.9)$$

ただし τ : むだ時間

であらわされる関係をいう。

このむだ時間をアナコンで模擬する方法には、磁気テープ、コンデンサなどを用いる直接形と、むだ時間の伝達関数 $e^{-\tau s}$ を S に関する有理式に展開して近似する間接形とがある。前者は一般にすぐれた特性をもつが機構が複雑で構造上大きくなるおそれがある。間接形は過渡特性に難点があるが、一般に自動制御系は安定条件よりおのずから周波数帯域に制限があるものが多いので、このような問題の解析には、定常特性のよい間接形で十分満足すべき特性が与えられる。

このむだ時間発生器は演算増幅器4台を用いて4階の模擬を行っており、1パネルに2要素実装されている。その外観は図 2.10 に、回路図は図 2.11 に示した。

* 1] 式 (2.9) のラプラス変換式は $E_o(S) = e^{-\tau s} E_i(S) \dots \dots \dots (2.9')$

ただし S : ラプラス演算子

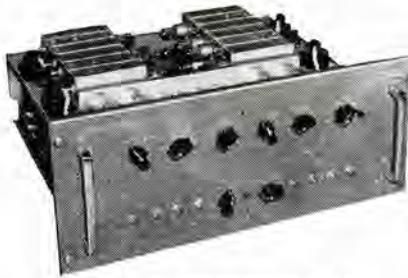


図 2.10 むだ時間発生器の外観

Fig. 2.10 Appearance of the transport delay panel.

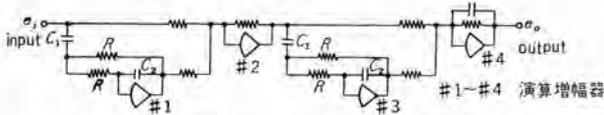


図 2.11 むだ時間発生器の回路図

Fig. 2.11 Circuit for the transport delay.

$e^{-\tau s}$ の近似式としては Padé の近似式がある。

すなわち

$$2 \text{ 階 } e^{-\tau s} = \frac{12 - 6\tau s + \tau^2 s^2}{12 + 6\tau s + \tau^2 s^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$4 \text{ 階 } e^{-\tau s} = \frac{1680 - 840\tau s + 180\tau^2 s^2 - 20\tau^3 s^3 + \tau^4 s^4}{1680 + 840\tau s + 180\tau^2 s^2 + 20\tau^3 s^3 + \tau^4 s^4} \dots\dots\dots(2.11)$$

式 (2.10), (2.11) をアナコンで解くことは、しばしばアナコンの演算の練習問題として取り上げられるのであるが、近似度を良くすることは増幅器の数がそれとともに増加することを意味する。すなわち、階数を u とし、増幅器数を a とすると、

$$a = u + 2 \dots\dots\dots(2.12)$$

の関係がある。

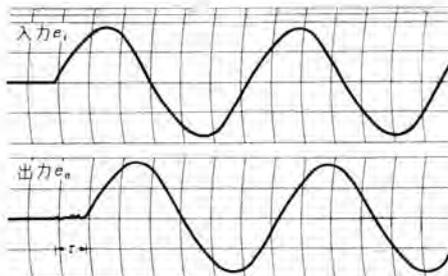


図 2.12 正弦波に対する応答 ($\tau=2$ 秒)
Fig. 2.12 Response for sine-wave. ($\tau=2$ sec)

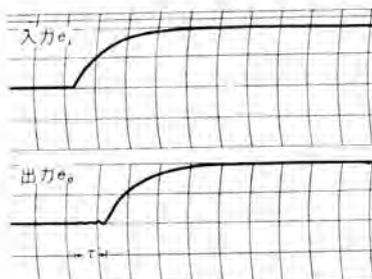


図 2.13 一次遅れ波形に対する応答 ($\tau=2$ 秒)
Fig. 2.13 Response for the first lag wave. ($\tau=2$ sec)

したがって、むだ時間発生器というように、単能器で使用する場合は、調整が簡単で、むだ時間 τ の変更が容易であり、増幅器がすくなくて高階の近似ができ、位相特性も良好であるものが望まれる。このむだ時間発生器の特長を列記すれば、

(1) 増幅器 2 台で 2 階の近似式を作り、これをカスケード接続して 4 階の近似を行ない、大きなレンジはコンデンサ C_1, C_2 で、小さなレンジは抵抗 R でステップ状に切換えている。

(2) 1 パネルに 2 要素含まれるので、これをさらにカスケード接続して、8 階近似のむだ時間を簡単に模擬できる。

(3) むだ時間を含む系で、系の応答にむだ時間のないときと比較したい場合がおこる。このため“Through”なる押しボタンスイッチを設けて、入力と出力とを直結することができるようにしてある。 ($\tau=0$)

おもな性能は次のとおりである。

- (1) 遅れ時間範囲 0.001~10 秒
- (2) 遅れ時間の設定 切換スイッチにより簡単に設定できる。3.2, 6.7 などのように有効数字 2 ケタ (小数点中央)。
- (3) 静的精度 0.1 %
- (4) 動的精度 入力波形の時定数と遅れ時間との比に関係する。
- (5) 出力電圧 0~±100 V
- (6) 最大出力電流 10 mA
- (7) ドリフト 100 μ V/8h 以下



図 2.14 正弦波発生器の外観

Fig. 2.14 Appearance of the sine-wave generator panel.

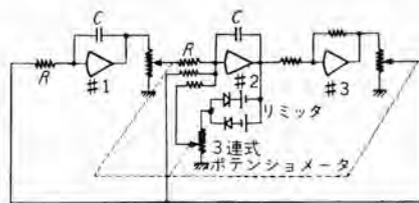


図 2.15 正弦波発生器回路図

Fig. 2.15 Circuit diagram for the sine wave generator.

正弦波に対する応答を図 2.12 に、一次遅れ波形に対する応答を図 2.13 に示す。

2.5 正弦波発生器

アナコンの非線形要素の一つとして、正弦波発生器は非常に重要で、自動制御系の周波数特性の測定や、外力駆動関数として使用される。また 1 サイクル波発生装置を内蔵しているので、制御系の外乱としても使用でき、きわめて広範囲にわたる用途をもっている。一方周波数範囲から分類すると超低周波発振器でもある。図 2.14 に外観を、図 2.15

に回路図を示す。

積分器 2 台, 符号変換器 1 台を用いて, 非減衰振動方程式

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0 \dots\dots\dots (2.13)$$

をアナコンで解くことはよく知られている。またこれはアナコン、とくに演算増幅器の総合性能をみるサークルテストとしても使用されている。このサークルテストでは解として、非減衰正弦波がえられるはずにもかかわらず、実際は積分器の帰還インピーダンスとして用いられるコンデンサの吸収特性や、符号変換器の倍率など、その他使用したコンポーネントの影響などで、周波数により減衰または発散の正弦波になり、大いに議論の的になっている。この正弦波発生器は、図 2.15 に示すように、主ループの種々のコンポーネントの影響による振幅の減衰発散に対して積極的に正および負帰還をほどこして、あらゆる周波数に対して振幅を一定に保つようにしたものである。

内蔵した 1 サイクル波発生回路 (特許出願中) は、図 2.16 のブロック図のように、三つの部分からなり、入力の正弦波は電圧比較器によって零位相が検出され、つぎの波形整形マルチバイブレータを駆動して、演算リレーを制御するスイッチを動作させている。

図 2.17 に発生した 1 サイクルの正弦波の実例をかかげる。

この正弦波発生器の特長を列記すると、

- (1) 演算回路方式であるため、始動の立上がり時間は皆無である。
- (2) 正負両帰還はリミッタを使用して、非線形的に行っており、帰還量はポテンショメータと連動させて周波数とある関係をもたせ、周波数のいかににかかわらず、振幅は一定である。(特許出願中)
- (3) 周波数は積分コンデンサと三連式特殊構造ポテンショメータを組合わせて、0.1~100 rad/sec まで連続可変である。
- (4) 出力は $\sin \omega t$ と $\cos \omega t$ を同時に取り出し可能



図 2.16 1 サイクル波発生回路ブロック図

Fig. 2.16 Block diagram for the one cycle wave device.

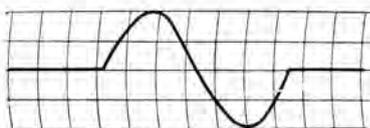


図 2.17 1 サイクル正弦波形

Fig. 2.17 One cycle sine-wave form.

で、“1 サイクル”、“連続”の切換えもできる。

- (5) パネル表面のスイッチで、アナコン本体の演算開始とは無関係に起動、停止ができる。
- (6) 電圧比較器などの演算制御回路と組み合わせると、本体の演算開始後、任意の時間に自動的に起動することもできる。
- (7) 起動停止は表示灯で表示される。
- (8) 演算制御盤からの制御によりホールド操作を行なうこともできる。
- (9) 回路自体非常に簡単で調整要素が少なく、取扱いも容易である。

おもな性能は次のとおりである。

- (1) 出力波形 $\sin \omega t$ および $\cos \omega t$
- (2) 出力電圧 振幅 100 V $\pm 0.5\%$
- (3) 最大出力電流 20 mA
- (4) 周波数範囲 0.1~100 rad/sec (3レンジ切換)
- (5) 周波数設定精度 $\pm 1\%$

2.6 自乗、平方根発生器

非線形演算で変数 X の自乗 X^2 、および平方根 \sqrt{X} がしばしばあらわれることは周知のことと思う。この種の模擬については、演算増幅器とリミッタを組み合わせたり、乗算器や割算器を組み合わせたりして実現できるが、これ自体の模擬が調整上、取扱上はなはだやっかいな問題であり、リミッタや割算器などの要素を多く使用することで問題全体の解法に支障をきたす恐れがあるので、経済的な観点からも、これら自乗、平方根要素の単能化が要望されてきた。この自乗、平方根発生器は絶対値回路と直流バイアスを与えた二極管で構成される折線近似方式の自乗要素と、演算増幅器とを組合わせたものである。折線近似方式では、実曲線と折線(折点)とをいかに選ぶかが問題であるが、必要な精度をだすため最小折点数(13個)で最高の近似度をあげるよう、設計上十分なる考慮が払われている。折線近似方式の詳細については、ここでは省略する。その外観は図 2.18 に、回路図を図 2.19 に示す。この自乗平方根発生器の特長は、

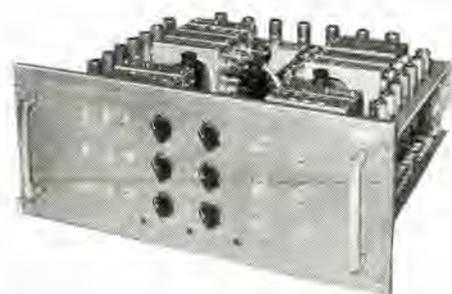


図 2.18 自乗平方根発生器外観

Fig. 2.18 Appearance of the square and square root generator panel.

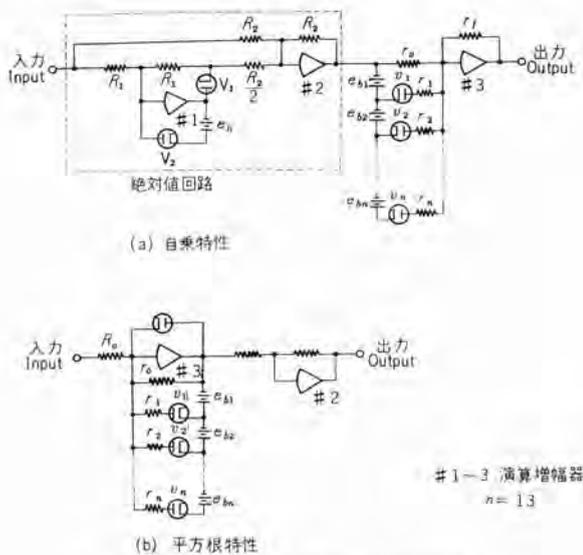


図 2.19 自乗, 平方根発生器回路図

Fig. 2.19 Circuit diagram for the square and square root generator.

(1) リミッタ要素を有する折線近似方式の自乗特性を利用した単能器で, 調整が簡易で, 精度, 安定度にすぐれている。

(2) 1 パネルに 3 要素実装され, 各チャンネル独立に自乗および平方根の切換えができる。

(3) 平方根発生器として使用する場合, 入力が増えればネオランプによって表示され, そのとき出力は零となる。また入力が $0V \leq X \leq 25V$ の範囲では, 出力の倍率をあげることができる。

おもな性能は次のとおりである。

(1) 入力 X, Y, Z とも $0 \sim 100V$

(2) 出力 $\frac{X^2}{100}, \frac{Y^2}{100}, \frac{Z^2}{100}$
 または
 $10\sqrt{X}, 10\sqrt{Y}, 10\sqrt{Z}$
 $20\sqrt{X}, 20\sqrt{Y}, 20\sqrt{Z}^{[*]}$
 いずれも $0 \sim 100V$

(3) 最大出力電流 $10mA$

(4) 周波数特性 $100c/s$ まで $3db$ 以内

(5) 精度 0.5% 以内

(6) ドリフト $10mV/8h$

3. 解記録装置

米国 SANBORN 社製または国産の熱ペン書オシロ装置と, 国産インク書オシロ装置とを必要台数用いている。チャンネル数は, 2, 4 または 6 を標準としている。熱ペン書オシロと, インク書オシロとの長短を比較すれば, 大体表 3.1 のようで, 一長一短がある。一般に熱ペン書オシロ

表 3.1 熱ペン書オシロとインク書オシロとの比較

| 項目 | 熱ペン書 | インク書 |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------|
| 1 記録の形 | 直角座標 | 円筒座標 |
| 2 感度 | 大差ない | 大差ない |
| 3 直線性 | 大差ない | 大差ない |
| 4 周波数特性 | 大差ない | 大差ない |
| 5 安定性 | 熱ペン温度によって高周波応答が変化する。 | 安定である |
| 6 摩擦 | 熱ペン温度によって大幅に左右される。 | 少ない |
| 7 記録速度の影響 | あまり速い速度また遅い速度での記録が困難である。 | ほとんど影響ない。ただしあまり高速になるとインクが飛び散る。 |
| 8 取扱い | 記録速度によって熱ペンに流れる電流を調節する必要がある。 | 相当範囲にわたって一律な記録が得られる。 |
| 9 記録波形 | 比較的遅い速度で現象の速さが一緒であれば細いキレイな記録が得られる。 | 左のような場合でもきほど細いキレイな記録は得られない。 |
| 10 保守 | ペン圧が一定であるように注意する必要がある。 | 消精を怠るとペン先にインクがつまる。 |
| 11 記録のコピー | 不可能 | 可能 |
| 12 記録紙 | 輸入 高価 | 国産 安価 |

のほうが, 記録が直角座標上に描けるという点で, それが円筒座標になるペン書オシロよりも, はるかにすぐれているというふうに考えられがちであるが, 実際には構造上, ガルバノメータの振れを直角座標に変換するとき, 本質的に誤差ははいるほか, (ペン長 $100mm$, 記録の振れ $25mm$ のときに $0.3mm$ の誤差がある。) 記録紙とペン先との摩擦がペンの温度により大幅に変ること, および記録速度が遅いと記録が太くなり, 反対に速いとかすれるので, いちいちヒータ電流を調節しなければならない欠点があり, また, 記録紙が非常に高価であるから, あまり便利なものとはいえないようである。

以下例として, SANBORN 社製 4 エLEMENT 熱ペン書オシロ装置と, 国産の 4 エLEMENT インク書オシロ装置について性能の概要を述べる。

3.1 サンボーン熱ペン書 4 エLEMENT 記録計

SANBORN 154-5460 形 4 チャンネル記録計に 150-1000 形 AC-DC preamplifier 4 台を, 駆動増幅器として収容したものである。図 3.1 に外観を示す。

主要性能は次のようである。



図 3.1 サンボーン熱ペン書オシロ記録装置外観
 Fig. 3.1 Appearance of SANBORN heated stylus type oscillograph.

- (1) プリアンプの性能
- 感度
 - AC $1mV/cm \sim 2V/cm$
 - DC $1mV/mm \sim 2V/mm$
 - 周波数応答
 - AC $1 \sim 100c/s$
 - DC $0 \sim 100c/s$
 - 応答時間 5 ミリ秒
 - 較正
 - 自蔵 AC $2mV \pm 1\%$
 - DC $20mV \pm 1\%$
 - ドリフト (DC 位置の場合)
 - 入力値に換算して $1mV/h$ 以下
 - 入力 インピーダンス

[* 2] この場合は入力が $0 \sim 25V$ の範囲である。

DC 10 M Ω (大地に対し, おのおの 5 M Ω)

AC 各直列 0.1 μ F 後, 大地に対し 5 M Ω

入力信号 プッシュプル または シングルエッジ

(2) 各 チャンネル に対し, 上記交直両用の駆動増幅器を有する.

(3) 電源は各 チャンネル の駆動増幅器に対し, 互に独立に ON-OFF できる.

(4) 各熱ペン は独立に温度調整ができる.

(5) 記録紙の送り速度 0.25, 0.5, 1.1, 2.5, 5, 10, 25, 50, 100 mm/sec

(6) 記録紙送り速度最大誤差 1% 以内

(7) キャビネット は車付で移動できる. 寸法は (高さ) 約 1,800 mm \times (幅) 約 560 mm \times (奥行) 約 635 mm

(8) 記録器部は記録紙の充填, テータ の書き込みなどのため引き出し可能である.

(9) 直線性 最大誤差 中央 4 cm に対し 0.25 mm

全幅 5 cm に対し 0.5 mm

(10) ガルバノメータ の周波数特性

正弦波に対し臨界制動のとき 27 c/s で 3 db 低下

42 c/s で 6 db 低下

正弦波に対し 71% 臨界制動のとき

42 c/s で 3 db 低下

56 c/s で 6 db 低下

3.2 国産インク書4エレメント記録計

アナコン 本体とは別の電源自蔵の可動キャビネットに收容し, 使用する場合には適当な位置に移動することができる.

おもな性能は次のようである.

(1) 各 チャンネル とも, 専用の駆動増幅器を有する

(2) 記録ペン の最大振幅 ± 20 mm

(3) 直線性 最大誤差は記録紙中心より

± 15 mm の間 1% 以内

± 20 mm の間 2% 以内

(4) 周波数特性 0~20 c/s の間の振幅変化 $\pm 1\%$ 以内

(5) バックラッシュ 1% 以内

(6) 感度 20 mm/V, 各エレメント微調ボリューム付

(7) 入力減衰器倍率 上記の最大感度に対し, 1, 1/2, 1/5, 1/10, 1/20, 1/50, 1/100 の7段切換え

(8) 入力減衰器最大誤差 1% 以内

(9) 入力インピーダンス 10 k Ω /V

(10) ドリフト 最大振幅に対し 1/20 mm/h 以下

(11) 校正切換えスイッチにより, どの入力倍率で



図 3.2 インク書オシロ記録装置外観

Fig. 3.2 Appearance of the ink-writing recording apparatus.

も, フルスケール 相当の電圧をペン先に描かせるられる.

(12) パイアス 入力倍率に関係なく, 正または負の最大振幅だけ, あらかじめペン先を振らせておくことができる.

(13) 記録速度 0.25, 0.5, 1, 2.5, 5, 10, 25, 50, 100 mm/sec 9 段切換え

(14) 記録紙送り速度最大誤差 1% 以内

(15) 記録紙 円筒座標 セクション 印刷 1 巻 40 m

(16) 記録紙の送りモータの始動停止は, 遠隔操作することができる.

(17) 寸法 (高さ) 1,010 \times (幅) 570 \times (奥行) 450 mm

図 3.2 はこの装置の外観を示す.

4. 装置の総合性能

装置の性能については, 主要事項はすでに (1) で述べたが, さらに若干補足すれば, つぎのようである.

(1) 真空管所要数

EA21 形 800 本

EA22 形 1,800 本

(2) 冷却

各ラック いずれも 30 cm 排気扇 1 台と 20 cm 吸気扇 3 台の強制通風方式

(3) 温度上昇

各ラック とも約 10°C 程度

(4) 計算室の必要条件

室内温度 20°C \pm 3°C

相対湿度 70% 以下

このため, 所要容量を有する恒温恒湿装置を使用する必要がある.

5. 演算例

このアナコンを用いて解析できる問題は非常に多種多様であるが, ここでは, ごく簡単な 2, 3 の演算例だけについて述べる.

5.1 Van der Pol の方程式の解析

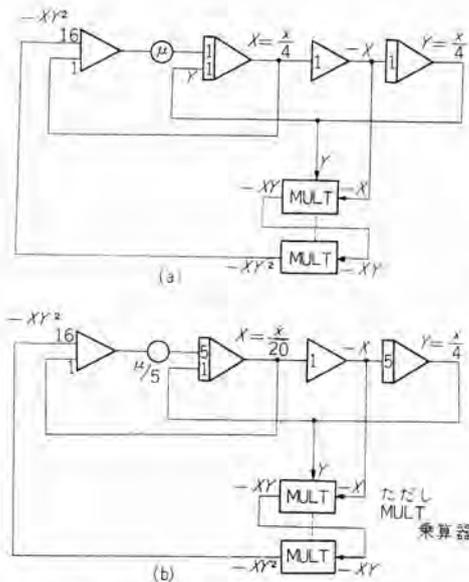


図 5.1 Van der Pol の方程式を解く アナコン 接続図

(a) $\mu \leq 0.5$ の場合 (b) $\mu \geq 0.5$ の場合

Fig. 5.1 Connection diagram for solving a Van der Pol's equation.

(a) $\mu \leq 0.5$ (b) $\mu \geq 0.5$

Van der Pol の方程式は電気回路その他の面で重要な方程式であり、また、その解析は関数乗算器を用いてアナコンで解ける好適な非線形微分方程式であるので、ここにその一例を示すこととする。

Van der Pol の方程式は、次式で表わされる。

$$\ddot{x} + \mu(x^2 - 1)\dot{x} + x = 0 \quad \dots\dots\dots(5.1)$$

(1) $\mu \leq 0.5$ のとき

$$\dot{x} = 4X, \quad x = 4Y \quad \dots\dots\dots(5.2)$$

の変数変換を行なうと、式 (5.1) は、

$$\left. \begin{aligned} PX &= -\mu(16Y^2 - 1)X - Y \\ Y &= \frac{X}{P} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5.3)$$

となる。これよりアナコン 接続図として図 5.1 (a) を得る。

(2) $\mu \geq 0.5$ のとき

$$\dot{x} = 20X, \quad x = 4Y \quad \dots\dots\dots(5.4)$$

の変数変換を行なうと、式(5.1) は

$$\left. \begin{aligned} PX &= -\mu(16Y^2 - 1)X - 0.2Y \\ Y &= 5\frac{X}{P} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5.5)$$

となる。これよりアナコン 接続図として、図 5.1 (b) を得る。

ブロック図より明らかに、関数乗算器の出力は、 XY^2 であるが、これは式 (5.2) および式 (5.4) からみて、相当小さい値となることが推察され、関数乗

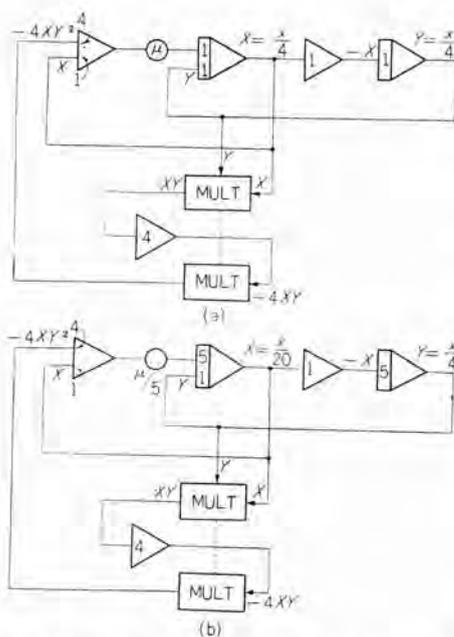


図 5.2 Van der Pol の方程式を解くアナコン 接続図 (改良形) (a) $\mu \leq 0.5$ (b) $\mu \geq 0.5$

Fig. 5.2 Improved connection diagram for solving a Van der Pol's equation.

(a) $\mu \leq 0.5$ (b) $\mu \geq 0.5$

算器の少しの誤差が、解析結果に大きな誤差を及ぼすおそれがある。これを避けるには、図 5.2 (a), (b) のように、アナコン 接続図を少し修正してやればよい。

$\mu = 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5$ の場合についての アナコン 解の例を示すと、図 5.3 (a)~(f) のようである。記録器としては、熱ペン書オシロを用いた。

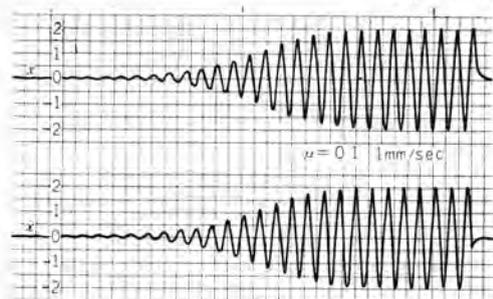
5.2 自動ボイラ制御(むだ時間を含む制御系)

むだ時間を含む制御系の解析の一例として、自動ボイラ制御系について考察する。この系の方程式は次の式で表わされる。

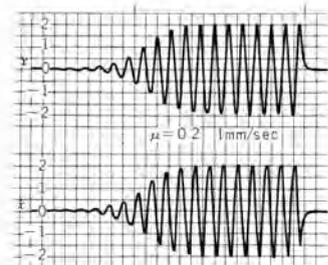
$$\left. \begin{aligned} T_B s p &= r - g \\ r &= e^{-Ls} f \\ f &= -K \left(1 + \frac{1}{T_S} \right) p \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5.6)$$

ここに

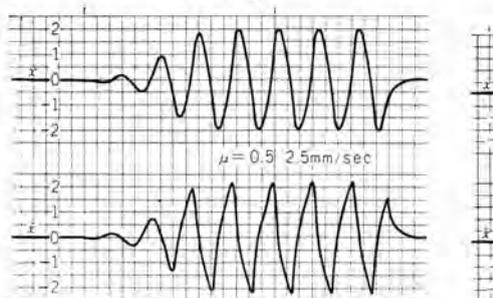
- f : 炉内への熱供給率 p. u.
- r : ボイラ への熱供給率 p. u.
- g : 蒸気流量 p. u.
- p : 圧力 p. u.
- L : 炉のおくれ時間 sec
- T_B : ボイラ の時定数 sec



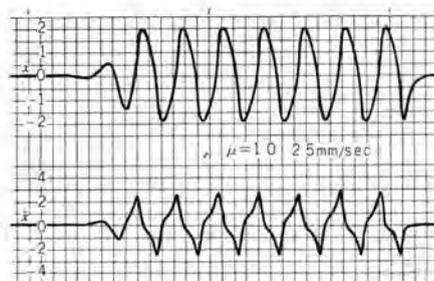
(a)



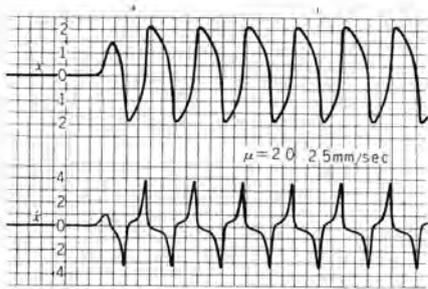
(b)



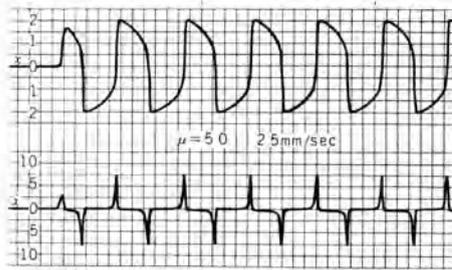
(c)



(d)



(e)
 (a) $\mu=0.1$ 記録速度 1 mm/sec
 (b) $\mu=0.2$ " 1 mm/sec
 (c) $\mu=0.5$ " 2.5 mm/sec



(f)
 (d) $\mu=1.0$ 記録速度 2.5 mm/sec
 (e) $\mu=2.0$ " 2.5 mm/sec
 (f) $\mu=5.0$ " 2.5 mm/sec

図 5.3 Van der Pol の方程式のアナコン解

Fig. 5.3 Solutions for Van der Pol's equation, solved by the analog computer.

(a) $\mu=0.1$ recording speed 1 mm/sec (d) $\mu=1.0$ recording speed 2.5 mm/sec
 (b) $\mu=0.2$ " 1 mm/sec (e) $\mu=2.0$ " 2.5 mm/sec
 (c) $\mu=0.5$ " 2.5 mm/sec (f) $\mu=5.0$ " 2.5 mm/sec

K: 制御装置の利得
 T: 積分制御の時定数 sec
 s: ラプラスの演算子

である。p. u. (per unit) は各変数について、ある基準値を 1 とした場合の比率である。この系をブロック図で示すと、図 5.4 のようである。いま

$$L=30 \text{ sec}, \quad T_B=30 \text{ sec}$$

$$K=1, \quad T=150 \text{ sec}$$

の場合について、実際の系の 30 sec を機械変数では 1 sec にとって、アナコン接続図を構成すると、図 5.5 が得られる。蒸気流量を 0.5 p. u. だけ階段状に変化した場合の p, f, r の解の一例を、図 5.6 に示した。

5.3 電力系統における直列コンデンサ回路の分数調波振動の解析

直列コンデンサを有する電力系統において無負荷の変圧

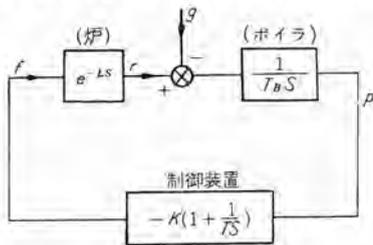


図 5.4 自動ボイラ制御系ブロック図

Fig. 5.4 Block diagram for an automatic boiler control system.

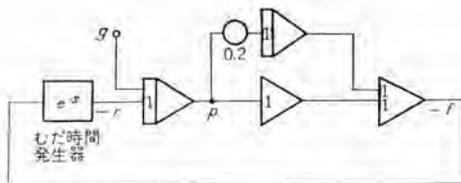
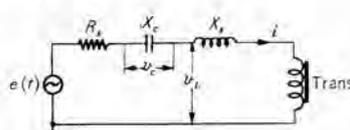


図 5.5 自動ボイラ制御系アナコン接続図

Fig. 5.5 Connection diagram of the analog computer for solving the automatic boiler control system.



$e(t)$: 電源電圧
 R_s : 線路抵抗
 X_l : 線路リアクタンス $=\omega L_s$
 X_c : 直列コンデンサ容量によるリアクタンス $=1/\omega C$
 i : 線路電流

図 5.7 系統の等価回路

Fig. 5.7 Equivalent circuit for a power transmission line system.

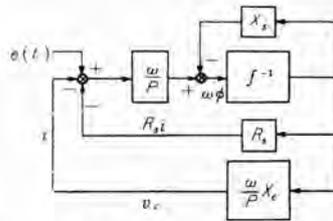


図 5.8 系統のブロック線図

Fig. 5.8 Block diagram for fig 5.7.

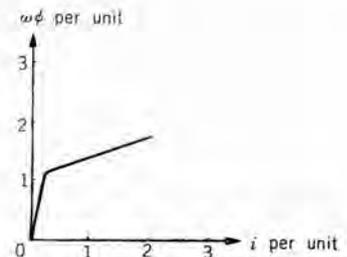


図 5.9 変圧器の飽和模擬曲線

Fig. 5.9 Approximate curve for the saturation of the transformer.

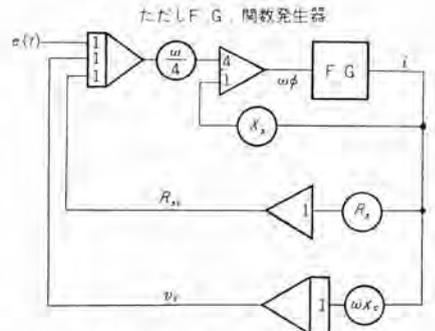


図 5.10 系統のアナコン接続図

Fig. 5.10 Connection diagram for Fig. 5.7.

器を投入したときに、変圧器の飽和のために分数調波振動が発生し、しばしば問題となる。以下に、アナコンでこの問題を解析した一例を示す。

図 5.7 はその等価回路であり、回路方程式としては次のものが得られる。

$$\left. \begin{aligned} e(t) &= R_s i + v_c + v_L \\ v_c &= \frac{\omega}{p} X_c i \\ v_L &= \frac{p}{\omega} (\omega \phi) + \frac{p}{\omega} X_l i \\ i &= f(\omega \phi) \\ e(t) &= e_m \sin \omega t \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5.7)$$

ただし $t=0$ で直列コンデンサの電荷および線路電流は 0 とする。ここに

p : $\frac{d}{dt}$ (微分演算子)

ϕ : 変圧器磁束

f : 飽和を示す関数

である。式 (5.7) をもとにしてブロック図を描けば、**図 5.8**

のようになる。常数としてはたとえば

基準 kVA : 3,750 kVA

基準電圧 : 33 kV (1 p. u.)

基準電流 : 114 A (1 p. u.)

基準インピーダンス: 290 Ω (1 p. u.)

$R_s = 5.4\%$

$X_s = 7.32\%$

$X_c = 10.3\%$

$\omega = 2\pi f = 377 \text{ rad/sec}$ (60 c/s)

を使用する。

変圧器の飽和を示す関数 f は、**図 5.9** のようなものである。

このように、kVA、電圧、インピーダンスなどを p. u. 表示することにより、スケール変換がきわめて簡単になり、 R_s 、 X_s 、 X_c の値はそのまま使用できる。

図 5.8 のブロック図をもとにして、**図 5.10** のアナコン接続図をえる。ただし、時間軸は 100 倍に低速化 ($\omega = 3.77 \text{ rad/sec}$) し、1 p. u. を 10V に選んである。アナコン解析結果を **図 5.11** (a)~(d) に示す。図より明らかに、線路電流 (**図 (b)**) は電源周波数に対して、1/3 分数調波振動を発生している。

この解析では、**図 5.9** の変圧器飽和特性の模擬に、簡易関数発生器を使用した。この程度の特性格擬には、もちろんリミッタも使用できる。

6. む す び

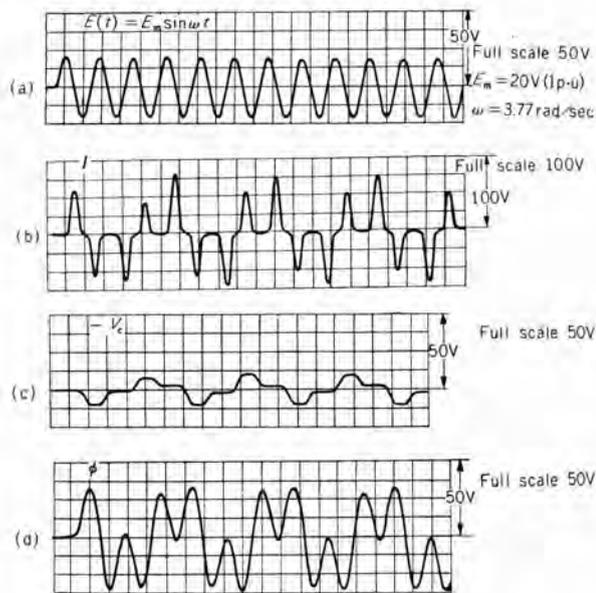


図 5.11 系統のアナコン解

Fig. 5.11 Solutions for a power transmission line system by the analog computer.

以上、MELCOM 精密低速度形 アナログ 計算機の全般について概略の説明を行なったが、各部の詳しい説明や解析などは別の機会に譲ることとしたい。冒頭でも述べたように、このアナコンは非線形要素に、他に類を見ない独創的なものが多く用いられており、この方面に関心をお持ちの読者には、興味深いと思われるので、さらに独特なものと思われる三角関数発生器や、関数乗除算器、対数関数発生器などについては、稿を改めて報告したいと思う。

近年、わが国におけるアナコン関係技術の進歩は真にめざましく、またきわめて順調に発達してきたというべきであろう。しかし、まだまだ満足すべき状態には達していないということもまた、同時にいえることである。第一に問題にすべきは、アナコンの性能の向上が演算部品の改良にかかっているにもかかわらず、この方面の部品は、性能の面でも小形化の面でも、わが国はかなり立遅れていることである。したがって、将来これら部品の性能向上とともにアナコンが進歩してゆくことは疑う余地がない。さらに、米国においては、すでにデジタル入出力装置や演算制御の自動化方式がアナコンに取り入れられており、わが国においても最近ようやくこの問題が関心呼び始めた。わが国のアナコンは今後この方面で大いに進歩するものと期待される。このことは、単にアナコンの使用の簡便化という面ばかりではなく、計算能率の向上、計算内容の拡大および計算結果に対する信頼性の増大という面からも、大いに意義深いことである。

筆者らとしては、これらの点に着目して今後とも、アナコンの改良研究に最大の努力を惜しまない所存であるが、これらアナコンが、わが国産業界のいっそう広い分野において、科学者や技術者の頭脳の一部として、ますます奨用される日の一日も早からんことを期待して、この稿を終ることとする。

なお回路の基本的解析について指導を得た当社研究所電気第一、第二研究室の各位に対して謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) G. A. Korn and T. M. Korn: Electronic Analog Computers, 2nd Edition, McGraw-Hill Book Co. Inc. (1956).
- (2) C. L. Johnson: Analog Computer Techniques, McGraw Hill Co. Inc. (1956).
- (3) G. W. Smith and R. C. Wood: Principles of Analog Computation, McGraw-Hill Book Co. Inc. (1959).
- (4) 山下 他: 電子計算機 アナログ 計算機編 日科技盟, オーム社.
- (5) 倉橋: 関数発生の一方式 電子計算機研究専門委員会資料
- (6) 真鍋: むだ時間要素の原理と応用 電気四学会連合大会 204, (昭 34).
- (7) 馬場・大鳥羽・柴谷: 電子管アナログコンピュータ「三菱電機」31, No. 12 (昭 32).
- (8) 馬場・大鳥羽・柴谷・松本: MELCOM 精密低速度形アナログコンピュータ (1)「三菱電機」33, No. 12 (昭 34).

蒸気タービン (2)

— 再熱式蒸気タービンの調速制御機構 —

1. まえがき

近時火力発電設備の効率向上を期して、使用蒸気の高圧高温化、再熱サイクルの採用、タービン出力の大容量化などその進歩の跡はまことに目まぐるしいものがあるが、これに関連して、タービンの調速制御機構もまた、極度の高性能が要求されるようになった。本稿では三菱ウエスチングハウス再熱式蒸気タービンに採用されている全油圧式調速制御機構について、各装置の機能を説明するとともに、回転制御、負荷制御などの諸特性を明らかにしておきたいと思う。

2. 調速制御装置の機能

再熱式蒸気タービンの制御装置としては、タービン入口蒸気管に主蒸気止弁、蒸気加減弁が、また再熱蒸気管には、レヒートストップ弁とインタセプト弁が設けられており、このうち、蒸気加減弁とインタセプト弁は調速装置により開閉を制御され、主蒸気止弁およびレヒートストップ弁は危急シ断装置の作動に応じて、急速にタービンへの蒸気供給をシ断する機能を有している。これ

ら4種の制御弁はいずれもタービン翼車軸端に取付けられた遠心式油ポンプの作る油圧によって作動されるので、以下この形式の油圧系統について説明を加えながらその作動を具体的に述べることにする。

3. 高圧油

高圧タービン調速機軸受台内部において、翼車端に2個の油インペラポンプが取付けてあり、その1個は主油ポンプで吐出圧力は約10 kg/cm²G、他の1個は調速油インペラポンプでその吐出圧力は3,600 rpm のとき2.1 kg/cm²Gとなっている。調速油インペラポンプ吐出圧力はタービン回転数の2乗に比例して変化するため、このポンプ油圧を検出することにより、タービンの回転変化を迅速確実に把握することが可能である。

主油ポンプにより作られた10 kg/cm²Gの高圧油は次の個所に送られそれぞれ作動油としてその役割を果たしている。

3.1 油エゼクタ

油エゼクタは一種の噴射ポンプであり、油タンクより油を吸揚げ油コシ器を通して主油ポンプ吸込側に送油する。この場合主油ポンプ吸込側油圧は約1.5 kg/cm²Gに保たれる。

3.2 主蒸気止弁およびレヒートストップ弁

高圧油はオリフィスを経て、左右それぞれ2個の主蒸気止弁およびレヒートストップ弁操作機構に供給されるとともに、逆止弁を経て危急シ断装置トリップバルブに連絡しているから、もし危急シ断装置が作動しトリップバルブが開くと、上記操作機構シリンダ内の油圧が低下し、主蒸気止弁およびレヒートストップ弁を迅速確実に閉じる。

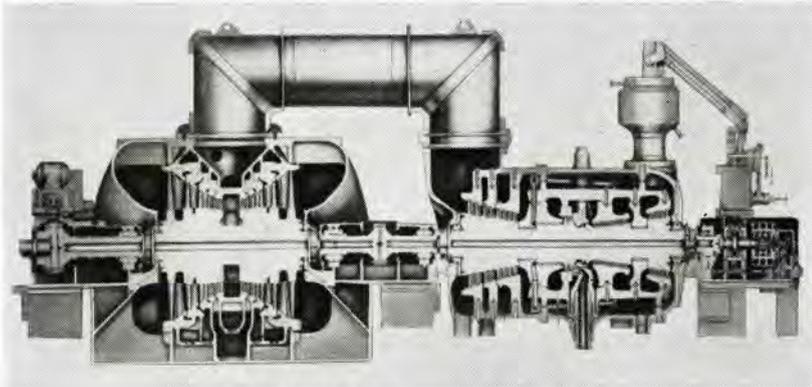


図 1.1 156 MW 再熱式蒸気タービン

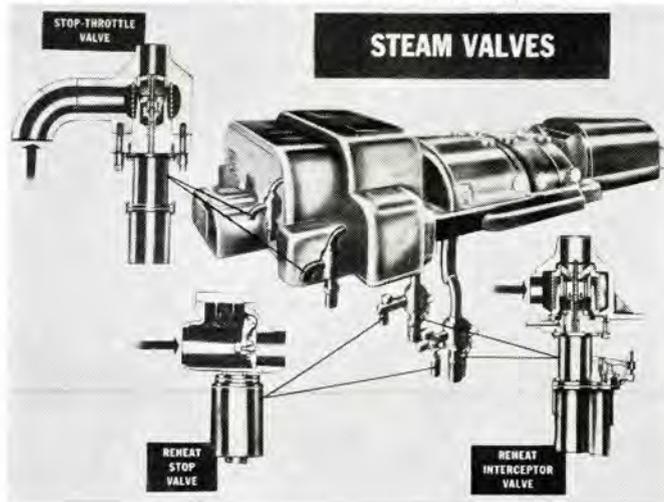


図 2.1 主蒸気止弁



図 2.2 スロットルバルブ

3.3 再熱蒸気インタセプト弁

高圧油はオリフスを経て、左右2個のインタセプト弁操作機構に供給されるとともに、逆止弁を経て危急シャ断装置トリップバルブに連絡しているから、もし危急シャ断装置が作動し、トリップバルブが開くと、操作機構シリンダ内の油圧が低下し、インタセプト弁を迅速確実に閉じる。このほか負荷の急激な変動に伴い、タービン回転数が上昇し補助調速機が作動した場合も急速に閉じタービンの過速を防止する。

3.4 蒸気加減弁

高圧油はそれぞれ3~4個の蒸気加減弁を内蔵する左右2個の蒸気室サーボモータへ供給され、負荷に応じて蒸気加減弁の開閉を行なう。

3.5 潤滑用

高圧油はまた適当に減圧されて各軸受の潤滑用ならびに励磁機車噴油用として供給される。

3.6 その他

このほか高圧油はそれぞれオリフスを経て次の各装置に供給される。

- (1) 調速油インペラポンプ
- (2) 主調速機(主油圧変換装置)
- (3) 補助調速機(補助油圧変換装置)
- (4) 負荷制限弁
- (5) 初蒸気圧力調整装置
- (6) 真空低下ならびに油圧低下危急装置
- (7) グランド蒸気圧力調整装置

4. 潤滑系統

主油ポンプから吐出された $10 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ の高圧油の一部は調整可能なオリフスおよび油冷却器を経て軸受、推力軸受、ターニングギヤ、ならびに励磁機車へ送られる。軸受潤滑油圧は油圧調整弁により普通 $0.8\sim 1 \text{ kg/cm}^2\text{G}$ に調整され、多少余分の油が調整弁を経て油槽にもどされるよう上記オリフス面積を調整しておく。これにより制御油として瞬間的に多量の油を必要とした場合でも確実に所要の軸受油圧を確保することができる。

タービンの起動ならびに停止時に必要な油量は、交流電動補助油ポンプにより供給される。このポンプは逆止弁を経て油管系統に接続しており、軸受油圧が規定値より下がった場合、自動的にラッシュスイッチが作動したときにこのポンプを起動する。またこの補助油ポンプ吐出側には調整可能な逆止弁があり、主油ポンプ吸込側に連絡している。この逆止弁は最初のすえ付の際または大分解後の最初の起動の際調整を行ない、タービンが低速で回転しているとき主油ポンプ吸込側油圧を約 1.5 kg/cm^2 に保つようにしておく。

このほか交流および直流の同容量電動油ポンプを各1台備え、タービンをターニングギヤにより微速で運転中軸受とターニングギヤに潤滑油を供給する。またこのポンプは軸受油圧が低下しても上記補助油ポンプが起動しない場合、ラッシュスイッチによりまず

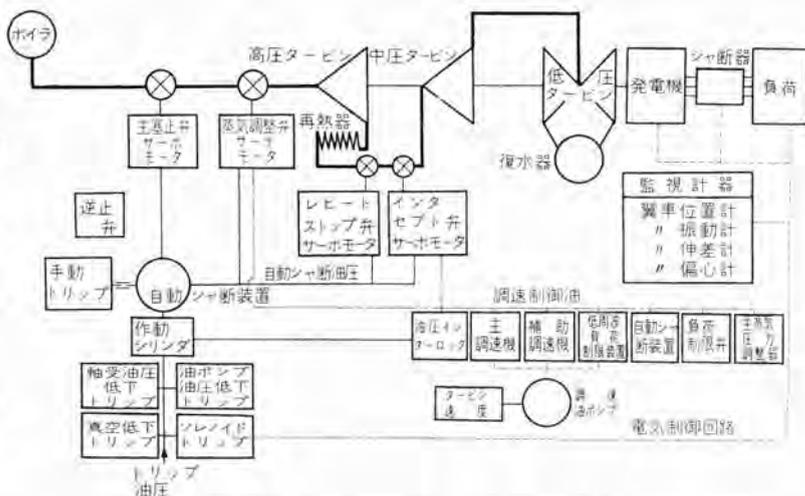


図 5.1 再熱式蒸気タービン制御機構線図

交流電動油ポンプ、つぎに直流電動油ポンプの順で起動しタービンが停止するまで必要な油を供給する。もちろんこれら2台のターニング用補助油ポンプはタービンがターニングギヤにより微速で回転中および危急シャ断後タービンが停止するに至るまで所要の潤滑油量を供給するものであって、タービンを起動するとき、各蒸気弁を開くに必要な油圧を有していないことは申すまでもない。なおこれらの油ポンプに付着のラッシュスイッチは油圧低下時の起動にだけ働き油圧が上昇しても自動的にポンプを停止させる機能はない。したがってポンプを停止させるためには手動により電源を切らなければならない。

5. 制御系統

再熱式蒸気タービンの場合、ボイラ過熱器を出た高圧蒸気は主蒸気止弁、蒸気加減弁を経て高圧タービンに流入し、高圧タービンで所定の仕事をした蒸気はボイラ再熱器へ送られて規定温度まで再熱された後、ヒートストップ弁、インタセプト弁を経て中圧タービン、低圧タービンを通り最後に復水器へ送られる。図 5.1 はこの再熱式タービンの制御装置作動の基本概念を示すものであるが、これら制御装置はタービンへの流入蒸気量の加減とタービン自身の保安を目的としている。

流入蒸気量を制御する装置としては蒸気加減弁の開閉を行な

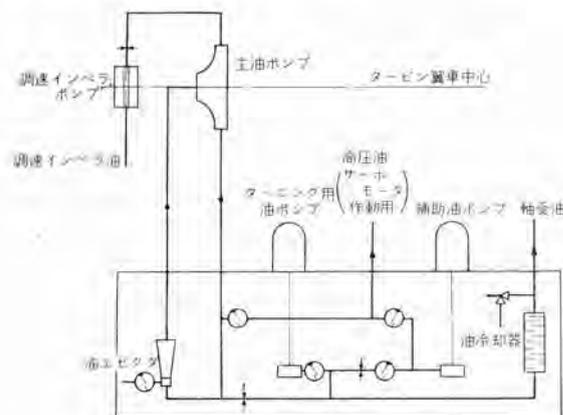


図 5.2 油圧系統基本図

うサーボモータ、タービンの回転速度を制御する主調速機および調速機がサーボモータを動かす速度範囲を変える変速装置ならびに負荷変動時のタービン過速を防止する補助調速機などがあげられる。このほか蒸気加減弁の開度にある任意の値に制限する負荷制限弁やボイラの圧力が低下した場合負荷を制限する初蒸気圧力調整装置がある。

タービンの保安装置としてはタービンの過速、油圧低下、真空低下などの危急事態の生じたとき急速に主蒸気止弁、ヒートストッパ弁、さらには蒸気加減弁、インタセプト弁を閉じ、タービン流入蒸気を遮断する危急遮断装置のほか軸受油圧またはサーボモータ作動油圧がなんらかの原因で突然低下した場合、プレシナスイッチにより自動的に起動する補助油ポンプがある。

6. 油圧式制御装置の基本概念

図 6.1 (a) は主油ポンプから吐出された高压油がオリフィスを通して流れるところを示すものであるが、オリフィス以外に大気への流出量を制限する針弁が設けられている。この場合針弁を調整することによりオリフィスと弁との間の油圧は 0 からポンプ吐出圧力まで任意に変化させることができるわけで、これが全油圧調速制御機構における制御油圧の基本原理である。

図 6.1 (b) は負荷制限弁に用いられる簡単な制御機構で、バネを有するカップ弁が前述の針弁にとって代り安定した圧力とリフトの関係が得られる。すなわちバネの圧縮量を加減することにより、カップ弁からの油漏洩量が制御され、これによってカップ弁の下に所定の制御油圧が作られる。この制御装置ではごく簡単な操作で任意の圧力に設定できるから、通常タービン最大負荷を制限する目的に使用される。

図 6.1 (d) は主調速機の原理を示すものである。この方法によれば、タービンの回転速度は調速インペラ油圧として検出され、この油圧はペローを介してカップ弁に向上の力を与える。一方バネにより反対方向の力が与えられるから、結局カップ弁に作られる油圧は上記調速インペラ油圧とバネ力との差によって定

められることになり、これがサーボモータに対して作用する“調速二次油”となる。この二次油圧に対しインペラ油圧を普通“一次油”と呼んでいる。なおバネの力は手動または中央操作室から遠隔操作のできる小形電動機によってネジを回転すれば容易に変換可能である。この速度変換バネを一定にしておいた場合、タービン回転の変化に伴い調速二次油圧は通常 0.7~2.5 kg/cm² の間を変化し、蒸気加減弁は全開から全閉まで動くことができる。またタービンが 3,600 rpm すなわち 60 サイクルで運転されているとき、周波数 1 サイクルの変化は一次油に対し 0.072 kg/cm² 二次油に対してはその 5 倍すなわち 0.36 kg/cm² の圧力変化を与えることになる。

図 6.1 (c) は初蒸気圧力調整装置の作動原理を示しており、タービン入口蒸気圧力は図に示すとおりペロー室にかかっている。したがってこの蒸気圧力が低下するとペローによって作られるレバーに働く向上の力は減じ、カップ弁下の制御油圧が上昇し、このため蒸気加減弁は閉じ負荷が減少するのである。

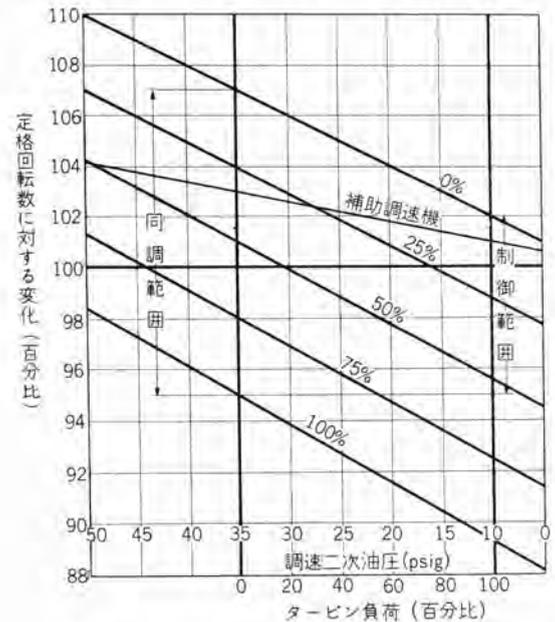


図 7.1 主および補助調速機速度制御特性

7. 主調速機の構造

主調速機は以下に述べる主要部分より構成され、負荷の変化に伴う回転に応じ調速油インペラポンプ吐出油圧変化を油圧変換装置により拡大して調速二次油圧とし、これをサーボモータ機構のパイロットカップ弁上部に働かせ、これによりサーボモータを動かして高圧油をサーボピストンの上または下に供給して蒸気加減弁の開閉を行ない、タービンへの蒸気流入量を調整するものである。

7.1 調速油インペラポンプ

主油ポンプ前端に取付けられた炭素鋼製のポンプで、主油ポンプから出た高圧油が針弁を通して供給される。この油圧はインペラの回転の自乗に比例して増減するから、これにより調速作用を行なわせることができる。

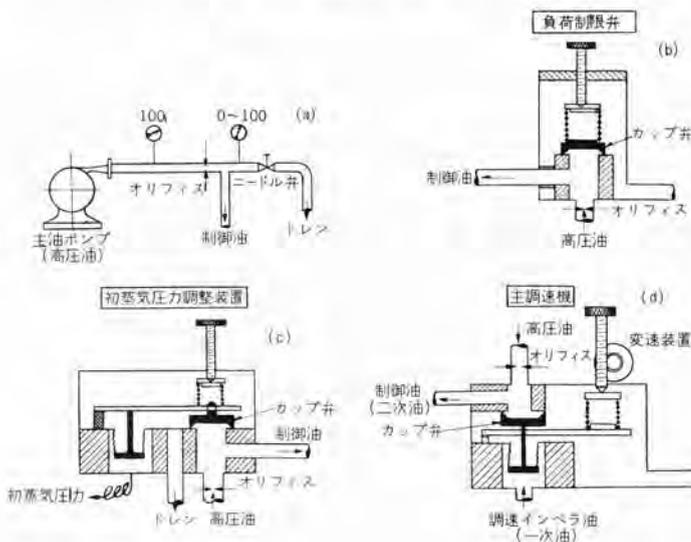


図 6.1 全油圧式制御装置の基本線図

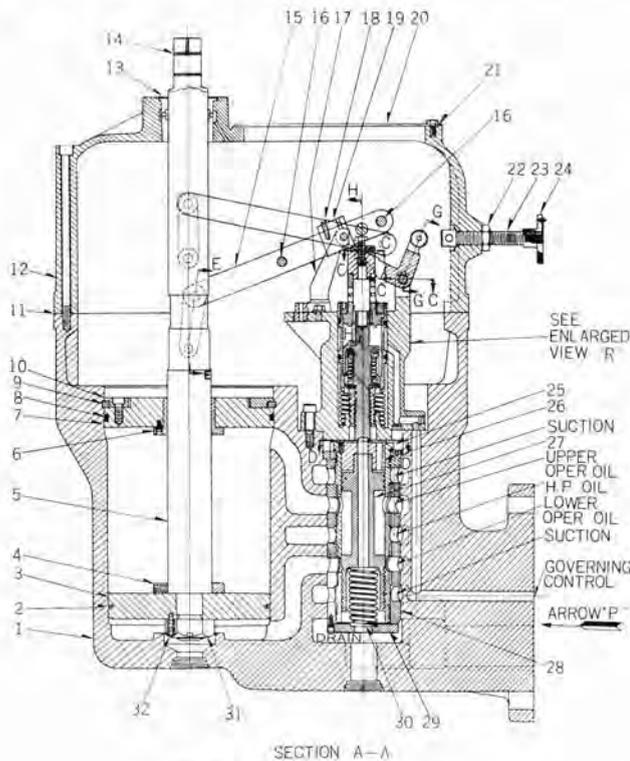


図 7.2 蒸気加減弁 サーボモータ

7.2 油圧変換装置

カップ 弁、パネ、ペロー から成るこの装置は前述のとおり調速油インペラにより検出された比較的微小な油圧変化を拡大し、サーボモータリレーを作動させるものである。

7.3 サーボモータパイロットカップ弁

油圧変換装置で拡大された調速二次油圧変化によりサーボモータリレーを上下に動かすものである。

7.4 サーボモータリレー

パイロットカップ 弁により上下に動かされ、サーボモータピストンの上または下へ高圧油を供給する。

7.5 サーボモータピストンおよび蒸気加減弁

サーボモータピストンの動きはレバーを介して加減弁に伝達される。このピストンはその作動を確実にするため十分な面積を有し、ハンチングの原因となる摩擦を極力小ならしめるような構造を採用している。

7.6 手動および電動変速装置

歯車装置を介して手動および電動により油圧変換装置の パネの圧縮量を加減し、タービン回転数を無負荷において定格速度の上 6%、下 6% の範囲で変更することができる。またこの装置は並列運転中すなわちタービンの回転速度を変えないで、負荷の増減を行なうことができる。

7.7 蒸気加減弁危急シャ断装置

危急シャ断装置が作動したときは高圧油がサーボモータパイロットカップ 弁上部に働き、急速に蒸気加減弁を閉じタービンへの流入蒸気をシャ断する機構を備えている。

以上述べたように主調速機は全油圧式であるからガタやこじれがなく、作動は迅速確実にきわめてすぐれた制御特性を有し

ているほか調速機以外の各種制御装置油圧をそれぞれ逆止弁を介して上記サーボモータリレーに働かせることが可能である。

8. 補助調速機の作動

補助調速機は主調速機に比し 1/5 の“調速率”を有するきわめて鋭敏な機能を有し、逆止弁を経て蒸気加減弁サーボモータならびにインタセプト 弁トリップリレーに接続している。

したがって定格回転速度においては主調速機による調速二次油圧が蒸気加減弁サーボモータリレーを支配しているが、全負荷で定格速度より約 1% 速度上昇すると、この補助調速機の制御油圧が主調速機のそれに打勝ち、3% 速度上昇で加減弁を全閉しさらにそれ以上回転が上昇するとトリップリレーを作動させて迅速にインタセプト 弁を閉じる。すなわちこの補助調速機は正常な負荷運転中は全然作用せず、なんらかの原因で負荷が減少し、タービンの回転速度が急上昇した場合主調速機に代って、蒸気加減弁ならびにインタセプト 弁を閉じ、タービンの過速を防止するのがその役割である。

9. その他の制御装置

前述のように、サーボモータが油圧式であるため、とにかく制御油圧が作用すれば、タービンへの蒸気流入を加減することができるので、各種の制御油圧装置をそれぞれ逆止弁を介してサーボモータリレーに連結しておき、これらの圧力源中最高のものが実際に作動する制御油圧として供給され、他の圧力源は逆止弁によって殺されることになる。これらの制御装置にはいずれも圧力計が備えられているからそれを見れば運転者は今日の装置がタービンの制御をしているか容易に判断することができる。

9.1 負荷制限弁

負荷制限弁の役割は並列運転中調速機サーボモータリレーピストン上部にかかる油圧の最低値を制限して、タービンにかかる最大負荷をある一定値に制限するものであるが場合によってはこの負荷制限弁制御油圧を主調速機二次油圧よりつねに高く保持し、負荷制限弁によりタービンにかかる負荷を調整することも可能である。

このほか比較的水車発電機を多くもった系統において応急用として使用されるタービンの負荷制限弁は高負荷弁と低負荷弁とから成り、系統の周波数がある定められた値以下に低下した場合迅速に低負荷弁から高負荷弁に切換えられ、タービン負荷は高負荷弁の設定値まで急激に増加するようになっている。

9.2 初蒸気圧力調整装置

ボイラの燃料系統の故障でボイラ圧力が低下した場合は、負荷を急速に減じ、ボイラドラム内の急速蒸発により水分がタービン内へ流入するのを防止しなければならない。このため前述の図 6.1 (c) に示す原理に基づく制御装置を設け、初蒸気圧力の減少に応じて負荷を次第に制限するよう制御油圧を設定し、蒸気加減弁サーボモータリレーに供給している。

9.3 ロードアンチシベータ

タービンが負荷運転中、なんらかの故障で突然負荷が減少するかまたは無負荷になると、タービンは過速しようとする傾向にあ

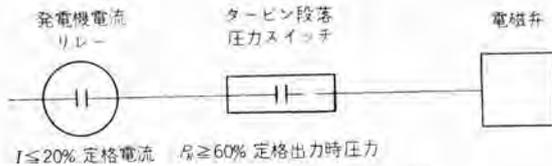


図 9.1 ロードアンチペータの作動原理

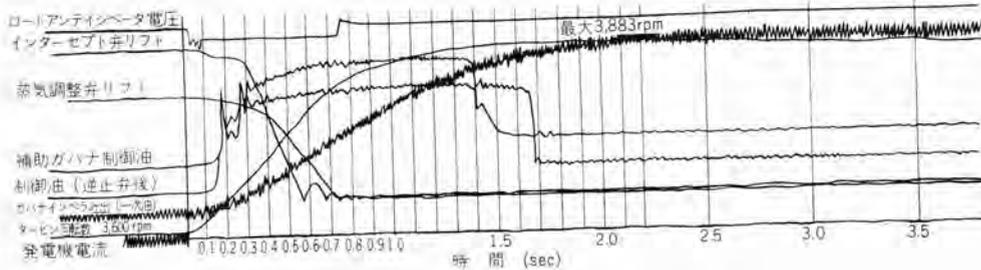


図 9.2 156,250 kW 再熱蒸気タービンガバナテスト (オシロ)

るが、このとき補助調速機が作動して蒸気加減弁ならびにインタセプト弁を閉じて過速防止を行なっていることは前述のとおりである。ロードアンチペータはこの補助調速機とは別にもっと短時間で作動しタービンの過速をより効果的に防止しようとするものであり、発電機電流により作動する電流継電器とタービン内部の特定の段落の圧力により作動するプレッシャスイッチより構成されている。この場合電流継電器は発電機電流が定格の20%以下になると閉じ、プレッシャスイッチはタービンのインタセプト弁後の圧力が約60% 負荷相当以上になると閉じるようにしてある。したがって60%以上の負荷で運転中、急激なる負荷変動が起り20% 負荷以下になると瞬間的に両方のスイッチがはいり、これと直列に接続されている電磁弁が開き、高圧油が制御油系統にはいり、蒸気加減弁ならびにインタセプト弁を急速に閉じる。これらの弁が閉じるとタービン内の残圧も急速に下がるので、電磁弁回路が開き、速度制御は自動的に調速機に切換えられる。

普通定格出力から急激に負荷を取除いた場合、ロードアンチペータの作動開始までの時間は0.02秒また作動継続時間は約1秒程度である。

10. 保安装置

この場合タービンの保安装置とはタービンの過速、油圧低下、真空上昇といった危急事態の発生した場合、間髪を入れず蒸気の供給をつかさどるすべての装置をシャ断するものをいう。したがってこの保安装置には主蒸気止弁、蒸気加減弁、レヒートストップ弁、インタセプト弁、抽気逆止弁が含まれる。これらの弁はいずれも油圧により開閉が行なわれ、油圧が失われるとバネの力またある場合には不つりあいの蒸気力によって急速に閉じられる。以上諸弁の操作油圧を支配する危急シャ断用トリップシリンダは次のいずれかの場合作動するようになっている。

10.1 過速度

過速度危急装置はタービン軸端に偏心して取付けられた飛錘より成り10% 過速するまではバネの力とつりあっているが、

タービン回転数が10%以上過速すると飛錘の遠心力はバネの力に打勝って飛出しレバーを強打してトリップシリンダの弁を開き高圧油をドレンに連絡することにより急速に主蒸気止弁その他を閉じる。

10.2 油圧低下

オリフィスを通った高圧油は危急装置オイルシリンダへ送られピス

トンを通じてバネとつりあいを保っているが、なんらかの原因でこの油圧がなくなるとバネの力によりオイルシリンダ内のピストンが動き同じくレバーを強打してトリップシリンダの弁を開き高圧油をドレンに逃すことにより急速に主蒸気止弁その他を閉じる。このほか軸受油圧とつりあう今一つのオイルシリンダがあり、軸受油圧がある定められた値以下になると先に述べた高圧油オイルシリンダ内の高圧油を逃すことにより同様経路を経て主蒸気止弁その他を閉じる。

10.3 真空低下

この装置はペローとバネより成り、ペロー室は復水器真空に連絡されている。したがってもし復水器真空がある定められた値以下(通常380 mmHg ないし500 mmHg)に低下すると、バネの力によりレバーが作用し軸受油圧低下時と同様経路をたどって主蒸気止弁その他を閉じる。なお起動時真空の低い場合を考慮し、手動の掛金を設けてこの装置が作動しないよう殺しておくが、回転が上昇して真空が正規の値に達するとただちにこの手動の掛金のかみ合いが自動的にはずれ、この真空低下危急装置はいつでも作動しうる状態に切換えられるようになっている。

10.4 ソレノイド

ソレノイドに電流が通じると、同じくレバー機構を動かして主蒸気止弁その他を閉じる装置があるが、これは中央操作室からの遠隔トリップ、または発電機回路の保護リレーの作動によりタービンを危急停止するのに使用される。

11. 最近の開発

蒸気条件の向上ならびにタービン出力の大容量化の傾向は近年ますますいじめるしいものがあり、これに対応して調速制御装置の特性改善についてもあらゆる努力が払われている。

11.1 300 psig 油圧の採用

タービン出力の大容量化に伴い、タービンの調速制御機構に使用される作動油圧も、従来の10 kg/cm² (150 psig) から21 kg/cm² (300 psig) に切換えられつつある。

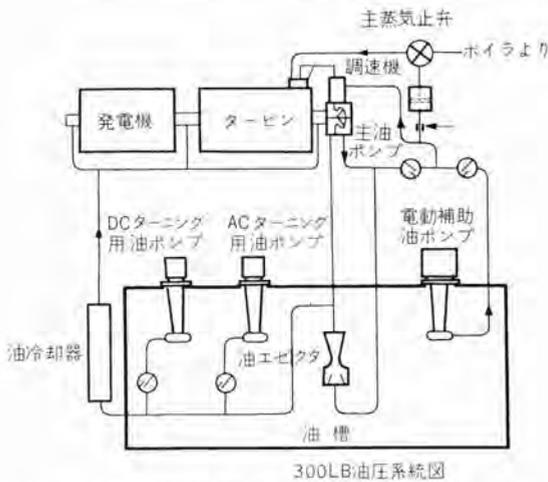
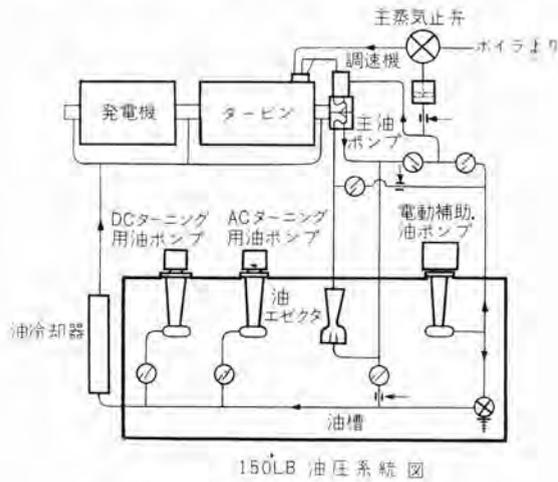


図 11.1 150 LB および 300 LB 油圧系統図

かかる高圧油を採用する利点は申すまでもなく、サーボモータを小さくすることができる上、调速制御機構の作動の迅速化をはかるためであるが、高圧油の採用に伴う主油ポンプ駆動損失を極力制限するため、軸受潤滑用の油量は従来のように主油ポンプの吐出側から供給されず油エゼクタ出口側、すなわち主油ポンプの吸込側から送られている。

11.2 加速度式補助调速機の採用

従来 10 kg/cm² (150 psig) 油圧採用の调速制御機構において、タービン負荷が急激に減少、または無負荷となった場合、タービンの過速を抑制する装置として補助调速機が備えられてい

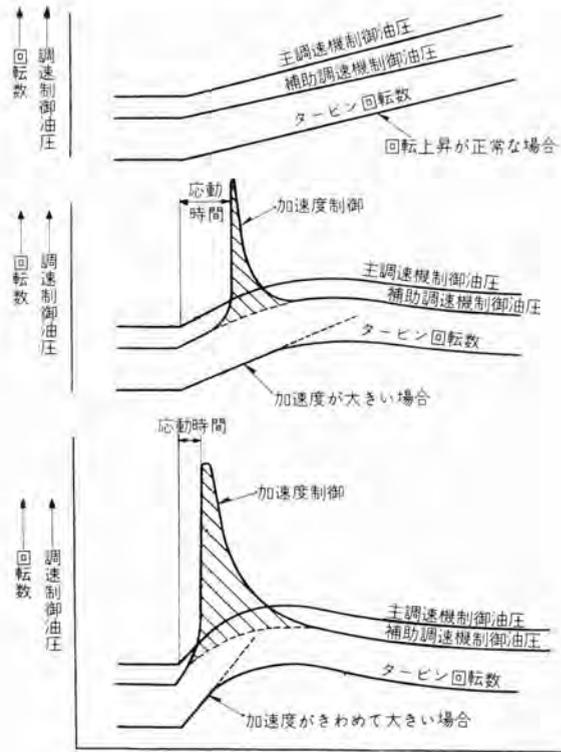
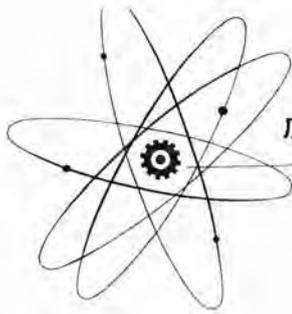


図 11.2 加速度式補助调速機作動特性

ることは前述のとおりであるが、在来の補助调速機はタービン回転数が定格速度より約 3% 上昇してはじめて蒸気加減弁、ついでインタセプト弁を閉じるに必要な油圧を作っていた。これに対し新しく開発された加速度式调速機は、タービンの回転数変化の割合を検出して蒸気加減弁やインタセプト弁を急速に閉じるものでその作用例は図 11.2 に示すとおりである。普通この補助调速機はタービンの回転変化が 120 rpm/sec 以上の場合作動し、回転変化の割合の大きいほど、応動時間が短く迅速に加減弁やインタセプト弁を閉じることができるようになっている。

12. むすび

以上再熱式タービンに使用されている调速制御機構の要につき説明したが、今後予想されるタービンラントの進歩につれて、调速制御ならびに保安装置の改善、さらには運転のオートメーション化といった問題がますます深く追求されていくものと思う。
(新三菱重工神戸造船所 飯田庸太郎)



JRR-2 原子炉 (2)

三菱原子力工業株式会社 庄田勝彦*

10. 実験装置

10.1 熱中性子柱

熱中性子柱は幅 5ft, 高さ 5ft, 奥行 4ft 4in で重水タンクから 8in のところまでとどいている。外部は 6061 のアルミニウムの溶接構造でできており、内側にはボロン・カーバイドをアルミニウムでサンドイッチにしたボラール板がはられている。内部には reactor grade AGOT のグラファイト・ブロックがつかまれる。このグラファイトは全部 AMF から素材を支給され三菱電機の伊丹製作所で加工した。内部にはヘリウム・ガスが入れられる。この熱中性子柱と重水タンクとの間には鉛シヤッタとボラール・カーテンとがあり、 γ 線と熱中性子を必要に応じてシヤヘイする。

重水タンクと熱中性子柱との間の軽水の層は最大 1/8in 以下である。鉛シヤッタは炉の外板まで軸が出ておりモータによって駆動され、ボラール・カーテンは内部にある空気シリンダによって駆動される。

熱中性子柱のシヤヘイは 6ft 角、奥行 3ft 5in の比重 $5g/cm^3$ の重コンクリートと 8in 厚の鉛を入れたドァでなされる。このドァはレールの上を前後に動かすことができる。この熱中性子柱には炉の上板からアクセス・チューブが入れられ、炉上面でも実験ができる。熱中性子柱のまわりには 2組のアルミニウムの細い管を埋込んだ $3\frac{1}{2}$ in 厚の鉛ブロックでおおわれ、この管の中を流れる純水によって γ 線によって生ずる約 40kW の熱を取除くことができる。このアルミニウムの管 1組は予備になっている。熱中性子柱は軽水タンクに現地で溶接でつけられる構造になっているが、軽水タンクの一部に大きな穴をあけた形ではヒズミが生じる恐れが多いので、この熱中性子柱を二つの部分に分けて、一部を前もって軽水タンクに溶接しておき、現地でこの二つの部分を溶接して組立てる方法をとった。とくに内部にボラールを張る工事はボラールが特殊な材料であり、さらに熱中性子柱にヘリウム・ガスをつめるためにヘリウム・タイトにしなければならないので相当な苦心がなされた。

10.2 水平実験孔

水平実験孔は次の 11 本であり、全部伊丹製作所で製作された。

| | |
|---------------------|-----|
| 4in 径 | 4 本 |
| 6in 径 | 3 本 |
| $7\frac{1}{2}$ in 径 | 2 本 |
| 11in 径 | 2 本 |

これらの実験孔の高さは同一平面ではなく炉中心線から 3in 上・下の高さにある。この実験孔は外板から生体シヤヘイ内の埋込まれたライネを通り軽水タンク、熱シヤヘイ板を通過して重水タンクの thimble にはいり込む。実験孔はアルミニウム製のチューブであり、その内部に実験の試料や装置が入れられる。この実験孔の組立はこの設計では心出しが非常にむずかしいものであった。実験孔の軽水タンク内には 2in 厚の鉛のカラーがはめこ

まれここに生ずる空げきのシヤヘイの役目をしている。また外板には 10in 厚の 24in 4角の鉛シヤッタが取付けられ、モータによって駆動され実験孔で生ずるボイドをすくなくするシヤヘイの役目をする。さらに実験孔には冷却用のパイプを埋込んだ重コンクリートのはいったプラグが一つずついれられる。このプラグは重量が非常に重く、出し入れがむずかしいので特殊の操作装置がつくられることになっている。

この実験孔に用いられたチューブは通常のアルミニウム・チューブの規格より厳格なために、米国アルコア社でも製作がなかなか思うようにならなかった。さらにこの取付けも水平度が 1ft につき $\frac{1}{32}$ in の精度を要求された。

実験孔の内部の空気は放射線のレベルが高いためかなりの放射能を有するようになると考えられるので空気排気系で排気され、プラグをぬいたときに外部にもれないようにしている。プラグをぬきさしする場合、プラグもビーム・チューブも外側はアルミニウム製なので摩擦が考えられるのでステンレス・スチール製のシムをひいて摩擦を防ぐようにしている。

10.3 グレーズング・チューブ

グレーズング・チューブと呼ばれる内径 6in のチューブが炉の中心の上 11in および下 14in のところを炉心をかすめて貫通している。このチューブは貫通しているので重水タンクを貫いている部分には軽水がはいり込んでくる。このために重水タンクとの間の間隔が問題になる。すなわちあまり大きいと中性子吸収の大きい軽水の量が多くなることになり、また小さいと間隔がなくなる恐れがある。

10.4 アイソトープ・トレーン

2本の 8×12in のアルミニウム製のアイソトープ・トレーンが重水タンクの下を貫いて通っている。ここでアイソトープを生産することができる。

10.5 気送管

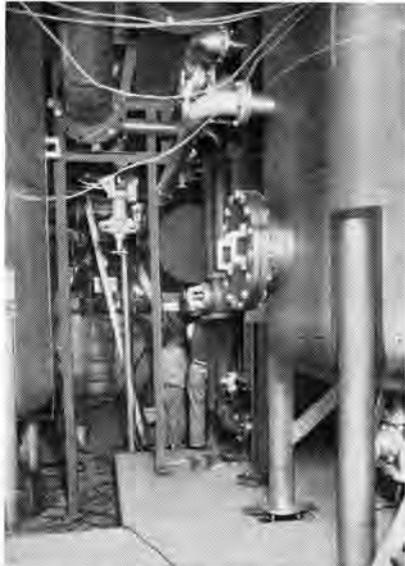
重水タンクを貫いて 2in と 1in の気送管がある。これは真中でしぎられて 1本が 2本に用いられる。これは試料を特別のカプセルに入れ炉が運転中でも外部から送り込むことができ、必要なときに取り出せる装置である。気送管はアルミニウム製の二重管で真空で試料を出し入れする。装置は詳細の図面がもらえず結局アメリカの専門メーカーであるエアマティック社製のものを用了。この装置で炉から出た試料は地下のポンプ・ルームの横におち、ここから別の装置でホット・セルやホット・ラボラトリーなど希望の場所に送り込むことができる。この気送管は簡単に見えるが肉薄の二重管であるために作業には特別の神経が使われた。

10.6 垂直実験孔

4in 径の 9本の垂直実験孔が炉の上面から重水タンクにはいっている。この中の 1本は炉の中心にあり非常に高い中性子束が得られることを期待されている。さらにこの実験孔は中心実

* 技術部工務課長

験孔としては径が大きいために核設計の面でかなりむずかしいことになる。この実験孔にはまるラグは水平実験孔のものと同様に冷却用パイプを埋込んだ比重 5g/cm^3 の重コンクリートでできている。重量が重いのでやはり特殊の取扱装置で出し入れしなければならない。



左側 重水貯槽 右側 軽水貯槽
図 11.1 ポンプ室

11. 冷却系

11.1 重水冷却系

この原子炉は減速機・反射機の重水の一部分が冷却の役目をする。重水は全部で9トンあり、これが5,000 gpmで循環している。重水系全体の概要は図11.2に示してある。炉から出た重水は主重水ポンプを通り主重水熱交換器に送り込まれる。ここで軽水により冷却され炉にもどる。主重水ポンプはAMF社より支給されたもの2台、補助ポンプ1台がある。主熱交換器もAMF社支給のもので材料はアルミニウム・クラッド製である。重水の主循環系の一部はバイパスされてDeminerlizerで純化される。Deminerlizerは通常のイオン交換樹脂塔である。重水系には必要によって重水タンクから重水を落すことができる重水貯槽がある。重水系はこの炉のもっとも重要な部分の一つでありバルブ類はほとんどAMF社から支給された。重水は非常に高価で1ポンド28ドル以上であり、また運転中に放射性をおびるので漏洩には細心の注意が払われ前に述べたヘリウム・リーク・テストを実施した。さらに常時重水の漏洩を検知するための漏洩検知器が30個所につけられている。

重水は通常の運転時には重水タンク内の定まったレベルにある。もし方がそれより1inレベルが下がると炉は停止するようになっている。また重水のレベルをダウリさせて炉を停止させたり、主重水ポンプが動かない場合には補助ポンプを動かし、

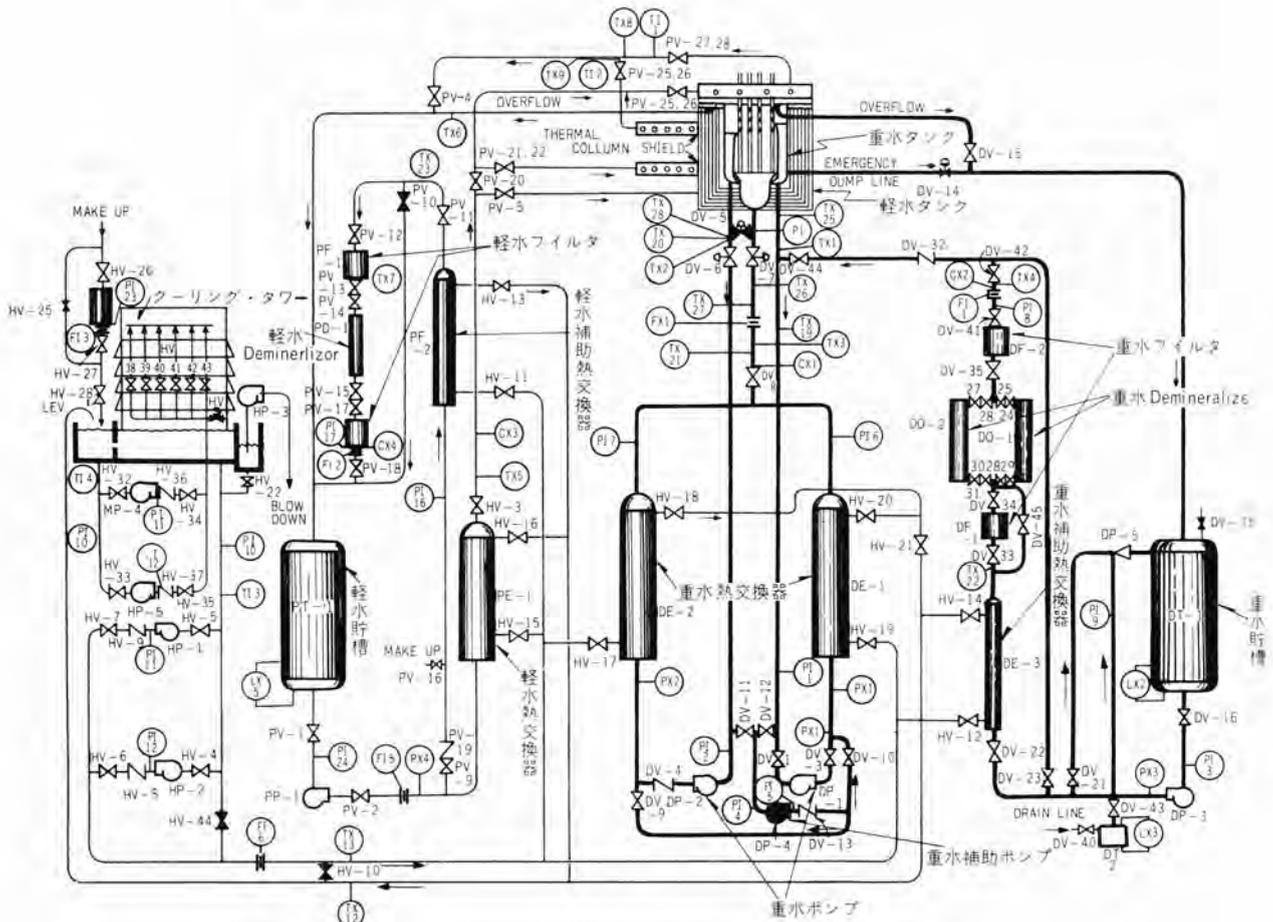


図 11.2 重水系、熱シフト系、二次軽水系

さらに補助ポンプが止まった場合にはバルブを切換えて自然循環が行なわれるようになっている。これらについては後章で述べることにしよう。とにかく再三述べるように重水系はもっとも重要な系であるのでクリーニング一つをとっていても通常の常識を乗り越した最高度の清浄さを要求される。すなわち最後にはDemineralized Waterを流しその水の純度を検査して清浄度をみてこれを完全に乾燥させることになる。重水の温度は華氏115度から128度で温度としては高くない。重水の表面はヘリウム・ガスにおおわれているために重水系はヘリウム系につながっている。

パイプは全部6061-T6のアルミニウム製である。フィッティングはSchedule 40のものを用いたがアルミニウム製のフィッティングの規格は米国でも定まっておらず各メカの規格により実施している。さらに曲管の半径の最小をどれくらいにするかなど一見ごくつまらないと思われるものでも規格が決定されていないので了解を得るためにも相当の苦心が払われた。重水バルブは100個以上あるが大部分はAMF社の支給品であったが現物はわが国でも十分製作できる程度のものである。

重水タンク・軽水タンクの底部から出て地下のポンプ室にはいるパイプにはポンプ室にはいったところで10個のエキスパンション・ジョイントでつながれている。このエキスパンション・ジョイントは321のステンレス・スチール製でありこれらのパイプの熱膨張をにげている。

重水系には種々の機器類があるがこれらの概略の仕様をあげると次のとおりである。

| | |
|---------------|------------------------------|
| (1) 主重水ポンプ 2台 | DP-1, DP-2 |
| Suction 条件 | 9 psig 128°F |
| 流量 | 3,000 gpm |
| T. D. H. | 100 ft |
| 流体 | 重水 (比重 1.1) |
| 材料 | Impeller, Shaft, Casing は不銹鋼 |
| モータ | 125 HP 200 V 50 c/s. |

(AMF 社支給品)

| | |
|----------------|------------------------------|
| (2) 重水補助ポンプ 1台 | DP-3 |
| Suction 条件 | 1.3 psig 128°F |
| 流量 | 15 gpm |
| T. D. H. | 80 ft |
| 流体 | 重水 (比重 1.1) |
| 材料 | Impeller, Shaft, Casing は不銹鋼 |
| モータ | 1½ HP 200 V 50 c/s |

(AMF 社支給品)

| | | |
|----------------|----------------------------------|------------------|
| (3) 主重水熱交換器 2台 | DE-1, DE-2 | |
| 1台 5 MW | 17,065,000 BTU/h | |
| 設計条件 | | |
| | Shell 側 | Tube 側 |
| 流体 | (Cooling tower) H ₂ O | D ₂ O |
| 流量 | 1,700 gpm | 2,500 gpm |
| 入口温度 | 89°F | 128°F |
| 出口温度 | 109°F | 115°F |
| 設計圧力 | 75 psig | 75 psig |
| 材料 | ASTM B234, B178 の clad Al および | |

B247 など使用

(AMF 社支給品 Adscoc 社製)

| | |
|----------------------|---|
| (4) 重水貯槽 | DT-1 |
| 大きさ | 直径 6 ft 高さ 12 ft 円筒状 |
| 材料 | Al-5052 |
| 設計圧力 | 15 psig |
| 設計温度 | 250°F |
| (5) 重水ドレーン・タンク | DT-2 |
| 大きさ | 内径 1 ft 長さ 3 ft |
| 材料 | 6061-T6 Al |
| 設計圧力 | 15 psig |
| 設計温度 | 250°F |
| (6) 重水 Demineralizer | 2 個 DD-1, DD-2 |
| 大きさ | 径 10 in 長さ 5 ft |
| 材料 | 6061-T6 Al |
| 設計圧力 | 15 psig |
| 設計温度 | 140°F |
| 流量 | 5 gpm |
| レジン | 0.8 ft ³ Polystyrene cation 1.7 ft ³ Polystyrene anion |
| (7) 重水フィルタ | 2 個 DF-1, DF-2 |
| 材料 | 6061-T6 Al |
| 設計圧力 | 30 psig |
| 設計温度 | 250°F |
| 流量 | 5 gpm |
| (8) 重水補助熱交換器 | DE-3 |
| 容量 | 49,500 BTU/h |
| 設計条件 | |

| | | |
|------|----------------------------------|------------------|
| | Shell 側 | Tube 側 |
| 流体 | (Cooling tower) H ₂ O | D ₂ O |
| 流量 | | 5 gpm |
| 入口温度 | 89°F | 128°F |
| 出口温度 | 109°F | 105°F |
| 設計圧力 | 75 psig | 75 psig |
| 材料 | 6061-T6 Al | |

(AMF 社支給 DE-1, 2 と同様)

| | |
|---------------|-------------------|
| (9) 重水緊急冷却ポンプ | DP-4 |
| Suction 条件 | 9 psig 128°F |
| 流量 | 200 gpm |
| T. D. H. | 40 ft |
| モータ | 5 HP 200 V 50 c/s |

(AMF 社支給)

11.2 ヘリウム系

重水タンクの内部の重水は直接空気に接触しないように 2½ in 水柱圧のヘリウム・ガスでおおわれている。これは空気中の水蒸気が重水にはいたり、γ線によって重水が分解し重水素と酸素ガスとなってヘリウム・ガス中にまざるのを図11.3に示してあるような系で再結合させる。ヘリウム再結合装置ではD₂ガス0.3% O₂ガス0.15% N₂0.1%以下になる。ヘリウム・ガスの圧力2½ in 水柱圧はアルゴンのCP-5とまったく同じである。ヘリウム・ガスは米国では価格が非常に安いのでその漏洩にはあ

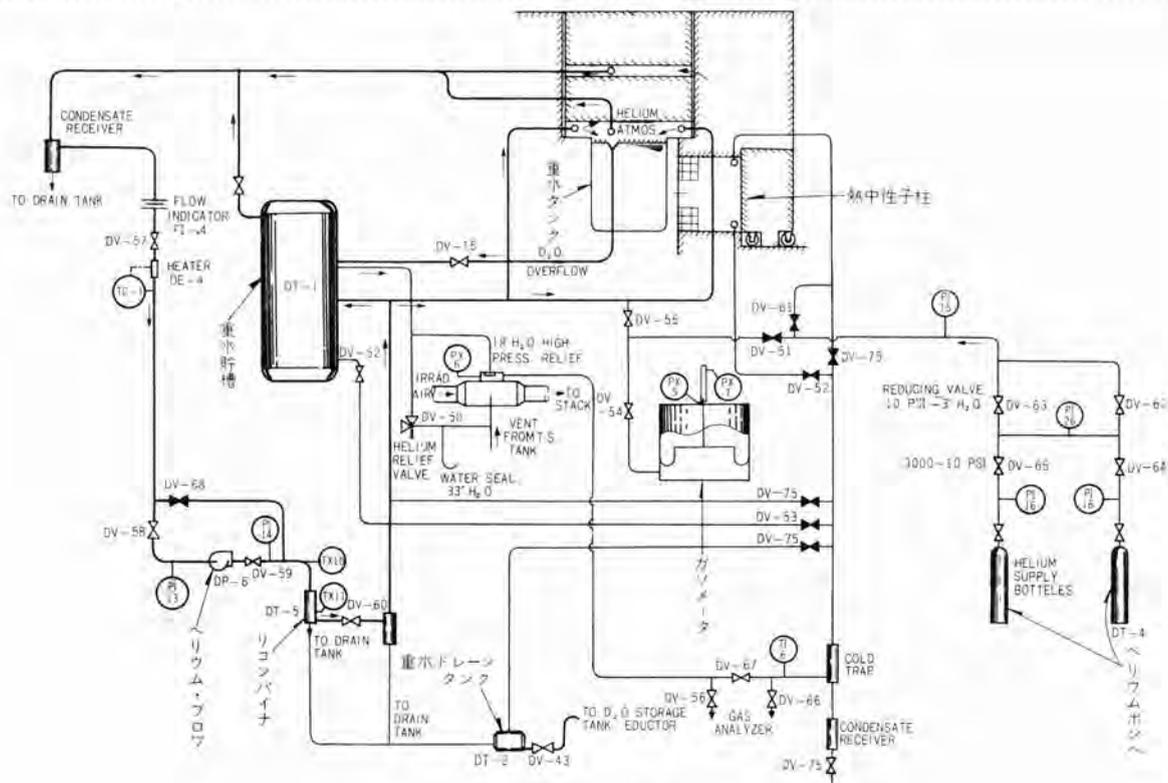


図 11.3 ヘリウム系

まり神経を用いず、たとえばアルゴン・CP-5 では月間 2,000ft³ くらいの漏洩がゆるがされていると聞いている。しかし日本ではヘリウム・ガス の価格もばかにできないので漏洩には十分注意をして組立を実施した。前にも述べたようにヘリウム系は重水系とつながっているのをこれを判然と区別することはできない。たとえば重水貯槽には通常の運転時には重水は底部 6in くらいで上部の大部分はヘリウム・ガスで満たされている。したがって試験検査の規格は重水系とまったく同様である。ヘリウム系の機器のおもなものをあげると次のとおりである。

- (1) ヘリウム・ポンプ 2 個 DT-3, DT-4
通常のヘリウム・ポンプ ヘリウム・ガス 補給用
- (2) ヘリウム・フロア DP-6
流体 ヘリウム・ガス
Suction 条件 2 1/2 in 水柱圧
流量 10 cfm
Head 10 in 水柱圧
材料 Casing Cast iron Shaft Carbon Steel

(AMF 支給品)

- (3) ヘリウム・ガス・ホルダ
大きさ 径 6 ft 高さ 6 ft 100 ft³
温度 50°F から 230°F
材料 6061-T6 Al
常用圧力 2 1/2 in 水柱
- (4) D₂O Recombiner DT-5
常用温度 140°F
流体 ヘリウム・ガス
材料 6061-T6 Al

(5) ヘリウム・ガス・ヒータ

温度 入口 95°F 出口 135°F
流量 10 cfm

11.3 熱シャヘイ系 (一次軽水系)

この系は軽水タンク内にある熱シャヘイ板を純軽水で冷却する系で概要は図 11.2 でみられる。この系の内容は重水系に似ており、主熱交換器は Head load 1.9×10⁶ BTU/h である。材料は重水の場合と異なりステンレス・スチール製で三菱で製作された。主ポンプは重水系に比べると非常に小さいものである。この系も重水系と同様一部をバイパスして純化している。この系は熱交換器の場合をみても一次も二次側も同じ軽水であり、漏洩に対しては重水系ほどやかましくない。しかし相当放射線レベルの高いところにはいるので器材の試験・検査・水の管理はかなり厳密にする必要がある。パイプは重水・ヘリウム系と同様 6061-T6 のアルミニウム製である。バルブ類は全部国産のものを使用した。軽水系は重水系と異なり表面は大気につながっており、この空気はダクトを通じて排気され、γ線によって生ずる水素・酸素ガスがたまらないようにしてある。

おもな機器は

- (1) 軽水貯槽 PT-1
大きさ 5 ft 径 高さ 11 ft
設計圧力 15 psig
設計温度 175°F 使用温度 140°F
材料 5052 Al
- (2) 軽水熱交換器 PE-1
Shell 側 Tube 側
流体 (Demineralized)H₂O (Cooling tower)H₂O

| | | |
|------|-----------------|---------|
| 流量 | 137 gpm | 204 gpm |
| 入口温度 | 140°F | 89°F |
| 出口温度 | 112°F | 109°F |
| 設計圧力 | 75 psig | 75 psig |
| 材料 | Stainless Steel | |

(3) 軽水補助熱交換器 PE-2

| | Shell 側 | Tube 側 |
|------|---------------------------------|---------------------------------|
| 流体 | (Demineralized)H ₂ O | (Cooling tower)H ₂ O |
| 流量 | 3 gpm | |
| 入口温度 | 140°F | 89°F |
| 出口温度 | 105°F | 109°F |
| 設計圧力 | 75 psig | 75 psig |
| 材料 | Stainless Steel | |

(4) 軽水ポンプ PP-1

| | | |
|----------|--|--------------|
| 入口条件 | 1.5 psig | 140°F |
| 流量 | 150 gpm | |
| T. D. H. | 70 ft | |
| 材料 | Casing, Impeller, Shaft, Stainless Steel | |
| モータ | 5 HP | 200 V 50 c/s |

(5) 軽水 Demineralizer PD-1

| | | |
|------|-------------------------|--------------------|
| 大きさ | 10 nominal pipe 長さ 5 ft | |
| 材料 | 6061-T6 Al | |
| 設計圧力 | 30 psig | |
| 設計温度 | 140°F 常用温度 105°F | |
| 流量 | 3 gpm | |
| レジン | 0.8 ft ³ | Polystyrene cation |
| | 1.7 ft ³ | Polystyrene anion |

(6) 軽水フィルタ PE-1, PE-2

| | | |
|------|------------------|--|
| 材料 | 6061-T6 Al | |
| 設計圧力 | 30 psig | |
| 流量 | 3 gpm | |
| 設計温度 | 250°F 常用温度 105°F | |

11.4 二次冷却系

重水系も熱シャヘイ系も熱交換器の二次側は軽水によって冷却されており、その軽水は Cooling tower で冷却されて循環する。その様子は図 11.2 に示されてある。Cooling tower は写真に見られるようなもので 3,800 gpm の流量で湿球 77°F のときにも 109°F の水を 89°F にさげることができる。構造は



図 11.4 クーリング・タワー

6 個のセルから成り立っており検製でそれぞれの上部にはファンがあり風速は 0 から 120 mph になる。Cooling tower は原子炉の建家から少し離れたところにあり、この系に用いられるポンプ類は、Cooling tower のそばにあるポンプ室におさまられる。とにかくこの Cooling tower で炉で発生する 1 万 kW の熱を取除く役目をする。

11.5 空気排気系

原子炉においてある炉室は外気より低圧にしてある。これは万が一放射性物質が炉外に排出されてもこれが外部に漏れ出ないためである。これとは別に炉自体に空気排気系もっている。軽水の上部、実験孔の内部、炉の上面などの容易に放射性をおびる恐れのある空気をフロアによって排気している。フロアは遠心形で 800 cfm の容量をもち、空気は炉室から地下のポンプ室に下り、フィルタを通してメイン・ダクトにつながり、炉室の空気といっしょになって建家の後方 Cooling tower のそばの高さ 40 m の煙突から排気される。とくに燃料交換の際に Refueling Cask の排気はこの系につながれ、Cask 内部の燃料を冷却した空気を排気するようになっている。またヘリウム系の一部は安全弁をかいしてこの系につながっている。

12. 計測計器

12.1 核的計測計器系

核的な計測計器系を大別すると次の四つに分けられる。

- (1) Log N と Period Channel
- (2) Linear Power Level Channel
- (3) Automatic Control Channel
- (4) Safety Channel

これらの系のおおのには中性子測定器、動力源、増幅回路、指示装置、記録装置から成り立っている。中性子の測定装置は炉心の両側を軽水タンクをかすめて通っている 4in の Instrument tube の中に入れられる。この tube は γ 線のレベルを 2 ヶおとすのに十分な鉛のシャヘイをもっており、中性子の減衰を防ぐために軽水の部分には熱シャヘイ板を貫いてグラファイトのつまった窓を有している。これらの系の Block Diagram を図 12.2 ないし図 12.5 に示しておく。

この Compensated Ion Chamber の回路は原子炉制御上もっとも重要な回路なので、停電時においても作動するよう 600 ボルトのバッテリーが用意されている。もっとも原子力研究所の電源そのものも停電がほとんどなく、さらに JRR-2 の建物には停



図 12.1 コントロール室とコントロール・コンソール

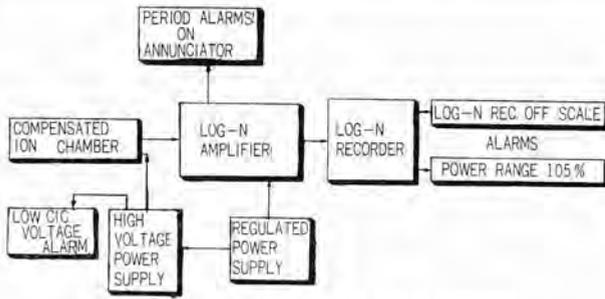


図 12.2 Block diagram of log-N channel.

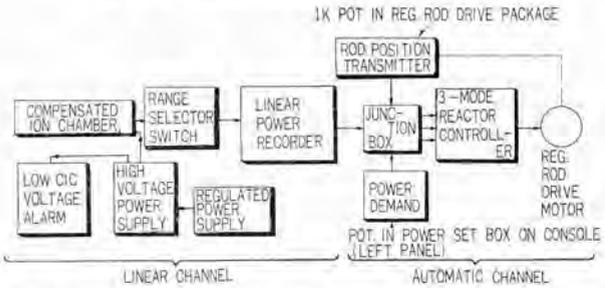


図 12.3 Block diagram of linear/automatic control channel.

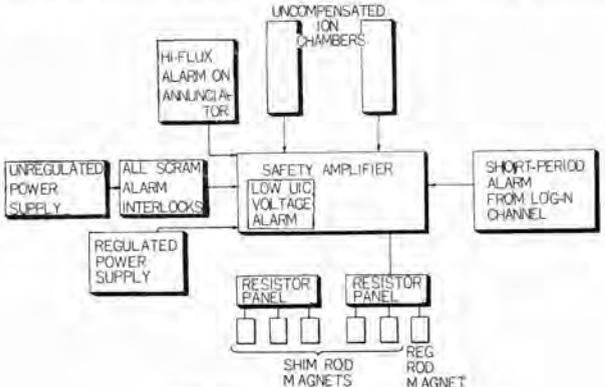


図 12.4 Safety channel.

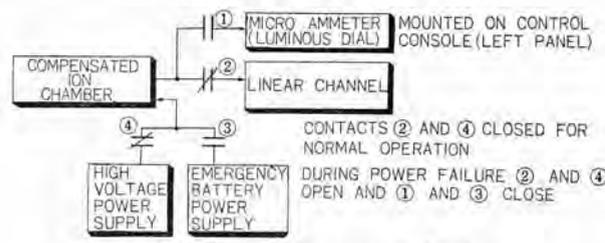


図 12.5 Emergency power indication.

電時に起動するディーゼルの緊急発電機もあるがもっとも短時間で切換えられるようにバッテリーが用意されている。

12.2 一般の計器

原子炉には一般の機械装置におけると同様な流量計、圧力計、温度計などの一般計器が用いられ重要なものは制御室で指示が見られるようになっている。流量計は重水系では重水タンクの入口、demineralizer の出口、熱シャヘイ系は demineralizer の出口、循環ポンプの出口、二次冷却系、ヘリウム系など7個所で測定される。温度計は重水系は重水タンクの出・入口など11個所、軽水系では軽水タンクの出、demineralizer の入口など、ヘリウム系では recombiner の出・入口など合計28個所で測定さ

れる。

圧力計は重水系では循環ポンプの出・入口、熱交換器の入口、軽水系ではポンプの出入口など、ヘリウム系ではフオーの出入口など31個所で測定される。

さらに Level の測定を重水タンク、重水貯槽、フレーションタンク、軽水貯槽など13個所で測定している。

Conductivity は重水のフレーションの入口、純化装置出口、熱シャヘイ水の入口、および純化装置の出口4個所で測定される。

12.3 特殊計測器

一般の計測器以外に特殊なものとして重水漏洩検知器、放射線モニタリングがある。重水は非常に高価であるし放射性もおびるのでこれの漏洩を極力さげなければならない。この漏洩検知器は重水ポンプ・Mechanical seal 部分、熱交換器のドレイン部、Expansion joint、重要なバルブなど計30個所につけられ制御室で漏洩が検知できる。放射線モニタリングは原子炉室の壁3個所、放射線空気ダクト、および重水サンプリング系1個所計5個所で測定し制御室の計器に指示される。すなわちなんらかの故障でこれらの放射線のレベルが上がれば制御室でただちにわかるようになっている。さらに地震に対する安全性のための地震計すなわち0.02gと0.1gとで働く2種類のものがそなえられ、0.02gの地震では警報ならびにランプがつき0.1g以上の地震では炉が停止する。

13. 安全装置

JRR-2は重水炉なので中性子の平均寿命が長く、負の温度係数をもっているので炉自体安全な炉ではあるが起りうる種々の条件を仮定してこれに十分対処できるように装置をそなえている。逆に連鎖装置を有し数種の条件を満足しなければ炉を起動できないようにしてある。

この条件は大別して三つに分けられる。第一はもっとも重要なもので警報がなり、ランプがつき炉がスクラム(緊急停止)するもの、第二は警報がなりランプはつくがスクラムはしないもの、第三はランプだけつくものの三段階に分けられている。

第一のものは炉を停止させる条件であり逆にこれらの条件の一つでもあれば炉は起動できない。これらの条件を列挙すれば次のとおりである。

(1) Manual Scram

炉は制御室の Consol および原子炉の外板に取付けてある緊急用のボタンをおすと炉はただちにスクラムする。

(2) Rod off magnets

どの制御棒でもマグネットがはずれれば炉はスクラムする。

(3) High Flux From Safety Amplifier

全出力の flux の 110% になると炉はスクラムする。

(4) Short Period

炉の原子炉周期が3秒になったとき。

(5) Low CIC Voltage

CIC の電源の電圧が低下して CIC が正規に働かなくなったとき。

(6) Low UIC Voltage

(5) と同様 UIC の電源の電圧が低下したとき。

(7) Log-N Recorder Off-scale
出力が全出力の $2 \times 10^{-4} \%$ 以下になるか 110 % 以上になったとき。

(8) Rotary Plug Unlocked

炉の燃料の取換えは、炉上部のカバーを取除き Rotary plug を回転して実施する。Rotary plug の位置によっては上部のシナハイが薄くなるので上部のカバーを取除くとスクラムする。

(9) Earthquake

ポンプ室の壁に取付けてある地震計によって 0.1g 以上の加速度をもつ地震が起きたとき。

(10) D₂O ポンプ DP-1 の事故

10MW の出力で運転するためには2台の重水ポンプが動いてないと熱がとれないのでどちらか1台でも止まればスクラムする。もしポンプ1台で運転したいときはこの系をバイパスしておけばよい。

(11) D₂O ポンプ DP-2 の事故

DP-1 とまったく同じ。

(12) D₂O Flow Main Line

もしなんらかの原因、たとえばポンプの Impeller の故障、パイプの破損などで主重水の流れが正常でない場合。

(13) D₂O Reactor Low Level

重水はクローズドの強制循環系をなしているのどこからか重水が漏洩しなければ重水量は減せずしたがってコア・タンクの重水レベルも一定である。もしどこからか漏洩してコア・タンク内の重水レベルが 1 in 低下するとスクラムする。もちろん炉がスクラムし主重水ポンプが止まっても重水が燃料をおおっている間は補助重水ポンプあるいは最悪の場合でも自然循環でコアを冷却するようにしている。

(14) Extreme Low D₂O Level Reactor

さらに重水レベルが低下してタンク・ラインより下までさがるとうたたびスクラムが働く。(すでに 1 in 降下でスクラムするので二重になっている。)このような緊急の場合にも燃料要素が重水面上に顔を出すような場合には緊急冷却系のバルブをひらいて高架水槽からコアの中に水を落としコアの溶けるのを防いでいる。さらにこの落した水はポンプ・ルームのサンク・ピットからふたたびコアにくみ上げることのできるようになっている。

(15) Delta-T Greater Than 110 % of Full Power

10 MW の運転に見合う重水の温度上昇が 10 % 高くなったとき。

以上の 15 項目についてはどの条件が生じても炉はスクラムし大きな事故を起さないようにする。

つきにもう少し軽度の条件で炉はスクラムしないがランプがつき警報のブザーが鳴って注意を喚起するものがある。すなわち次の 17 の条件である。

(1) Period Reverse

炉の周期が 10 秒以下になった場合。

(2) Servo Error

自動運転の場合に Powder demand に対する Servo Error が 10% 以上になった場合。

(3) Power Range 105 %

中性子束が全出力のときの中性子束の 105 % になった場合。

(4) Rod Jam

制御棒が正規に落込んでないとき。

(5) D₂O Leak Detector

前に述べた重水漏洩検知器が働いた場合。

(6) D₂O Storage Low Level

重水貯槽のレベルが正規のレベルより 1 in 低下した場合。これはコア・タンクのレベルが 1 in 低下するより早い。

(7) D₂O Drain Overflow

重水のドレーン・タンクのレベルが中心より 3 in 上昇した場合。

(8) Sump High Level

Sump pit のレベルが正規のレベルより上昇した場合。

(9) D₂O Inlet High Temperature

コア・タンクにはいる重水の入口温度が 130°F 以上になった場合。

(10) D₂O Outlet High Temperature

重水の出口温度が 150°F 以上になった場合。

(11) Thermal Shield Tank Low Level

熱シナハイのはいつている軽水タンクの軽水のレベルが正規のレベルより 3 in 低下した場合。

(12) Cooling Tower Low Level

Cooling Tower の Basin の水のレベルが底から 6 in 以下になった場合。

(13) Helium High Pressure

He の圧力は通常水柱 2 $\frac{1}{2}$ in に保たれているがこれが 18 in 以上になった場合。

(14) Low Intensity Tremor

0.1g 以下のある加速度たとえば 0.04 g に set しそれ以上の地震が生じた場合。

(15) High Building Radiation

放射線レベルを場所により 0.01 から 10 mR/h の間に set してこれをこした場合。

(16) High Stack Radiation

(15) と同様 Stack の放射線レベルが set した値をこえた場合。

(17) Fission Product Activity

重水素のある部分で monitor して放射線レベルが或る値をこえた場合。

さらに軽度の条件の場合はランプだけが点灯し注意を与える。

(1) Period Inhibition

原子炉周期が 30 秒より短くなった場合。

(2) Rod Reversal

原子炉周期が 10 秒以下になって制御棒が下がる場合か落込んでいる制御棒をむかえにゆく場合。

(3) D₂O Demineralizer High Temperature

D₂O の Demineralizer の入口温度が 120°F をこえる場合。

(4) D₂O Demineralizer High Conductivity

重水の Conductivity が 1 micromho をこえた場合。

- (5) Thermal Demineralizer High Temperature
軽水の Demineralizer の入口温度が 120°F 以上の場合.
- (6) Thermal Demineralizer High Conductivity
軽水の Conductivity が 2 micromho をこえた場合
- (7) Low Helium Pressure
He の圧力が低下した場合
- (8) Gasometer High Pressure
He を追加しているときなどに Gasometer の diaphragm が最高の位置にきた場合.

(9) Low Air Pressure D₂O Valve Operator
空気作動バルブ系の空気圧が標準 140 psi から 133 psi に低下した場合.

以上の場合には制御室の制御盤に赤ランプが点灯しこれによって作業者が適当な処置をしこれらの条件を除くとランプは緑色に変ずる.

今までは制御棒がコアの中に落込んでスクラムする場合やさらに軽度の状態で警報やランプが点灯する場合について述べてきた. JRR-2 にはこれ以外に緊急時のために後備的な装置や機構がそなわっている. それぞれについて述べよう.

(1) D₂O Dump Valve

緊急時には制御棒を落して炉をスクラムするのであるがそれ以外に重水のレベルを 24 in 下げることによって炉をスクラムできるように Dump Valve がそなえてある.

(2) 自然循環系

重水系の主重水ポンプや補助重水ポンプが全部停止した場合

にはバルブを適当に開閉して炉心内の熱を重水の自然循環によってとれるようにしている.

(3) Sump pump による緊急冷却

重水系のパイプが破損したりして重水のレベルが下がり燃料要素が露出しないためにポンプルームの Sump pit に落ちた水をポンプによりくみ上げてコア・タンクに入れる系ができています. これは図 13.1 に示してある.

(4) 軽水緊急冷却系

さらに破損がひどく燃料要素が溶ける恐れがある場合には炉の建家の横にある高架水槽から軽水をコア・タンクに流し込む装置がある. これも図 13.1 に概要が示されている.



図 13.2 緊急用高架水槽と空気排気系の煙突

14. 平常の運転時の安全対策

原子炉の安全対策は大別すると二つある. 一つは平常の運転時における安全対策と他は何か事故が生じた場合の安全対策である. 平常の運転時の安全対策としては, 係員が許容量以上の放射線を受けないことが第一である. これは前に述べてあるように原子炉自体は重コンクリートの生体シャハイでおおわれており

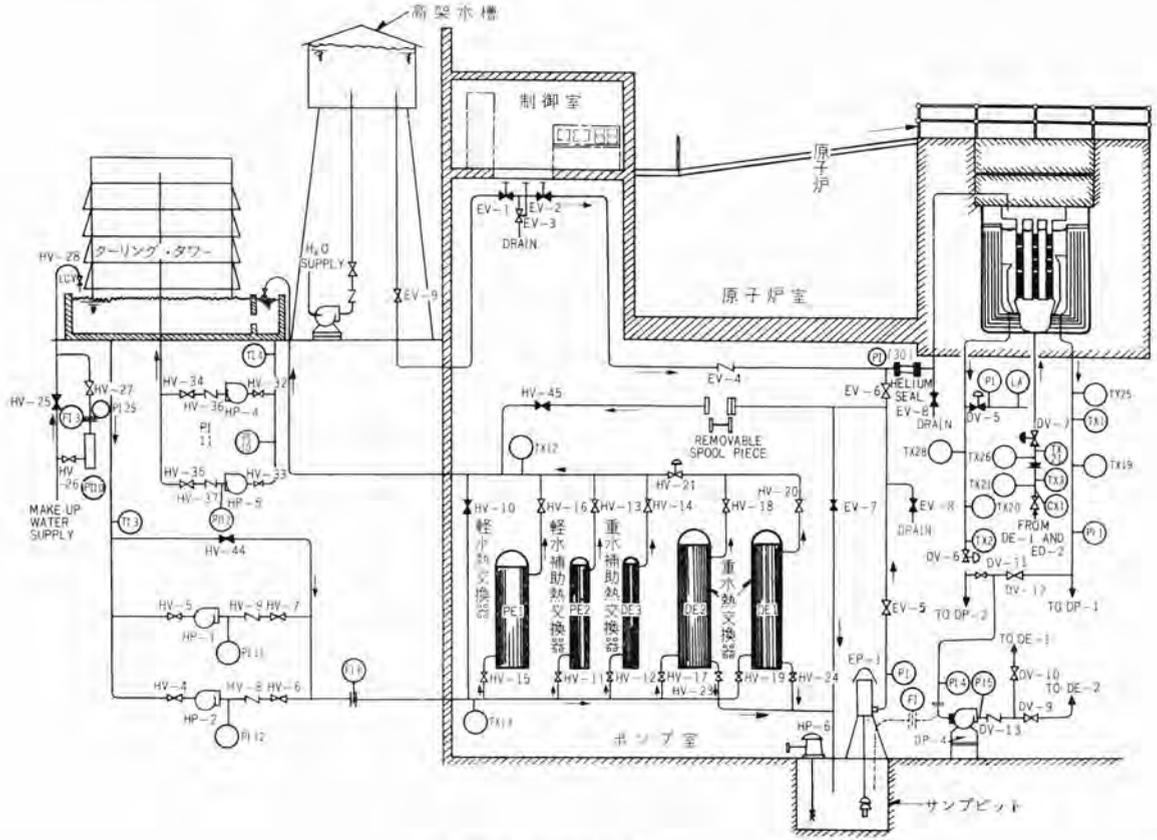


図 13.1 緊急冷却系

その周辺では放射線は許容量よりはるかに少なくなるように設計されている。また炉の付帯設備のうち放射線のシールドの必要のあるものは皆この程度のシールドを考慮している。ただ地下のポンプ室はその壁の周辺は十分シールドされているが室内には運転停止後 18 時間たたないと許容量以下のレベルにはならないが、ポンプ室には何か故障が起る以外にははいることなくまたたとえはいてもごく短時間である。しかし交換するとき問題になる D₂O Demineralizer などには別に鉛のシールドがつけられている。またポンプ室には運転時にまちがえてはならないよう入口のドアをあけると炉がスクラムするようになっている。

その他原子炉室および、実験孔などからの排気は原子炉建家の横にある煙突から排出されるが、この放射性的空気は多くの空気で薄められるので自然放射能の 1/10 以下の量にしかならない。さらに原子炉室 3 箇所ではたえず放射線量をモニタしており平常運転の場合十分安全であるようにしている。

15. 事故と安全対策

現在設置されている原子炉のうち事故が起ったものはごく少数にすぎない。すなわち原子炉には二重三重の安全装置がほどこされてあり十分安全が保証されているとはいえもし万が一事故が生じた場合にその対策を誤ると人体に対して悪影響を残すので対策には十分注意しなければならない。そのために事故の解析が必要となってくる。たとえば今まで述べた種々の安全装置のうち一つしか作動せず他は全部作動しなかったと考え、運転者はすべての計測器を無視して制御棒を引きぬいた場合果して燃料が溶融するか否かを計算しているが、JRR-2 の場合では高出力のスクラム (11 MW) だけが働いたとし全制御棒が最大引きぬき速度で引きぬかれたとしても燃料が溶融という事態は起らないことが計算されている。

このほか実験孔が破壊して重水が浸入した場合、あやまって燃料を炉心に落した場合、冷却材の温度が急激に冷えた場合など多々の状態を仮定してこれによって生ずる事故の解析を行なっている。これによると JRR-2 は非常に安全にできており燃料が溶融するというような大きな事故はほとんど生じないことが計算されている。

このように JRR-2 は原子炉自体安全に十分注意されているが万が一の場合をおもんばかって原子炉を入れてある原子炉室は外気より減圧されており、原子炉からたとえ放射性ガスが排出されても建家から外部に漏れないようにしている。

16. JRR-2 の建設工事

JRR-2 の建設工事は一昨年 4 月に三菱電機・三菱日本重工・三菱化工機の手によって茨城県東海村の原子力研究所で開始された。建設工事は現在最終段階にはいり昨年 9 月には Functional Test にはいり、臨界に達する日も間近になっている。

建設工事は原子炉建家と平行して実施されたために手順に頭を悩ましたり、AMF 支給部品に不合格品が出て米国に送り返したり、途中で設計変更があったり、とくに配管工事では相当個所に干渉が生じたりして現場での苦労は並大抵のものではなかった。さらに工事末期に近くなると原子炉として極度の清浄

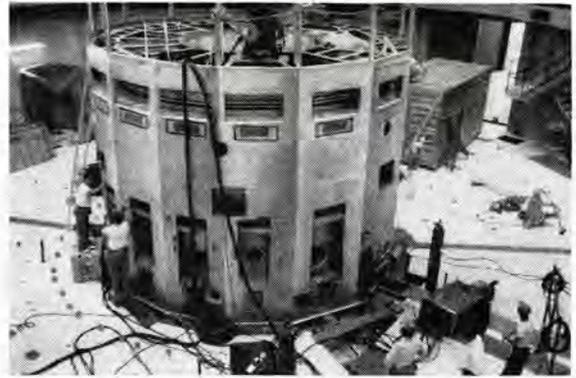


図 16.1 建設中の原子炉全景



図 16.2 (a) コンクリート 打建設時の炉の内外の補強



図 16.2 (b) コンクリート 打建設時の炉の内外の補強

さを要求されるので清浄に対しては特別の神経と人工を使った。

さらにこの仕事は三菱は AMF の下請として契約をむすんでおり、AMF は原研と別個の契約をむすんでいるので、一つの問題が生じた場合の解決がつねに複雑になってしまった。

これらの建設の経過を述べるだけで数十ページになってしまうことと思うが、この経過は別の機会にゆずることにはしたい。ただ JRR-2 工事はどの一社でも単独でやれる程度の工事を三菱グループ 6 社で実施し、すえ付工事にしても三社の工具がいりまじって今日まで実施してきたことはその間に小さな問題はあったとしても大きな意味があったと思う。

最後に数ヶ月をまたずしてこの炉が動き出し世界最初の 10 MW の濃縮ウラン・重水炉となる日が 1 日も早かれと祈ってやまない次第である。

1960年代の主要なる直流電源としてのシリコン整流器

A. P. Colaiaco, C. S. Hague: The Silicon Rectifier—Principal Source of d-c Power for the 60'S (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 6, Nov. 1959, p. 167-171)

アメリカでの電力使用量の20%以上は直流電力で、1940年から現在まで800万kWの水銀整流器がこれにあてられていた。1970年までに、もう1千万kWの直流電力が必要と思われるが、その主体は水銀整流器ではなくシリコン整流器となるであろう。

図1は、電気化学用のシリコン整流器の発展を示す。2年半まえまでは400V以上の電圧にはほとんど水銀整流器が用いられていたが、最近では750V以下ではほとんど用いられなくなっている。その代りがシリコン整流器である。化学用だけでなく、圧延機や工場電源、さらに600Vの電鉄用としてもとって代ろうとしている。しかしながら、水銀整流器はその格子制御能力のゆえに、電圧制御に必要な大容量圧延機や、粒子加速用衝撃電流発生装置として大電力トランジスタができるまでは有効である。

シリコン整流器がこのように急速に進出した理由は、静止機器でしかも接触変流機に等しい効率を有し、ゲルマニウム整流器の2倍の温度、3倍の逆電圧に耐え、水銀整流器と比較して、効率・床面積・構造・建設費・信頼度の点ですべて優れているからである。図2に建設費の比較を示す。

整流回路はほとんどブリッジ結線であるので、二重星形結線に比べて、変圧器の容量が25%小さくてすみ、整流体の短絡事故は、変圧器の二次側短絡となるだけで直流アスの短絡となら

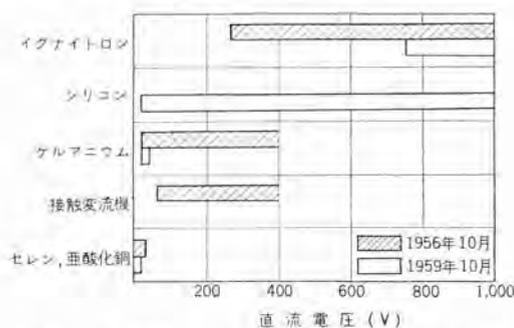


図1 電気化学用整流器の電圧による応用分野区分

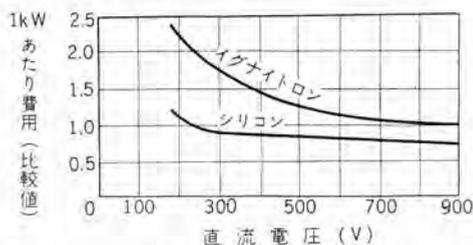


図2 電気化学用イグナイトロンとシリコンの建設費の比較

ず、直流遮断器が楽になる。

整流体の製作方法は、hard soldering法であるので熱サイクルにも疲労しない。実際回路のPIVと整流体のPIVの比は、NEMAでは1:2.5となっている。

冷却法はほとんどが直接風冷で、場合によっては水冷再冷却付循環風冷式、水冷式などが採用される。

整流体の破損検出法は高級にすると複雑になり、全体として検出回路の事故のほうが多くなるので、非常に簡素化し、単にランプ表示だけとしている。また整流体の直並列接続法、電圧調整法、冷却法一般などについて述べてある。

(伊丹製作所 横島洋志訳)

新しい半導体装置

What's New in Engineering: Miniature Transistor Oscillator (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 5, Sept. 1959, p. 144)

写真のように目よりも小さいシリコンの結晶小片が、下の写真に示すような市販品中最高級の部品を用いた小形トランジスタ発振器と同等の機能をもっており、しかも構造が簡単のために信頼度はこのほうが大きい。

このようなまったく新しい半導体装置は赤外線探索、通信、テレメータ、飛しょう体制御その他の軍用に空軍との協力のもとに試験的に製作されている。

これは過去4年間の研究の結果、ある種の材質の分子運動が、通常の電気回路の基礎的機能を約1/1,000の体積でしかもより大きな信頼度で遂行しうることが発見されたものである。

(研究所 中塚正三郎訳)



ウエストペン電力会社へ納入の半導体整流器の励磁機方式

Semiconductor Excitation System for West Penn Power Company (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 6, Nov. 1959, p. 189)

6ヵ年間の開発研究後、180kW 250V回転式整流器形(シリコンダイオード使用)励磁機がWest Penn Power Co.へ納入する交流発電機に使用された。この方式は交流発電機と回転する整流器とからなり、交流タービン発電機の軸に取付けてある。交

流励磁機の電機子出力は回転するシリコン整流器の軸にそってキ電される。とともに逆に整流器の出力は交流タービン発電機の界磁を励磁している。交流励磁機の界磁をかえる調整器は交流タービン発電機の界磁の強さを制御することになっている。よって集電ブラッシュは不必要であり、在来の交流発電機界磁の集電環、整流子はなくてよいものである。

交流励磁機は回転子と界磁との設計を改良したものであって420サイクルの三相電力を出して整流器にキ電される。この励磁機は単独にそれぞれ励磁されるかまたは永久磁石で励磁される。交流パイロット励磁機の出力は整流器で整流されている。この場合整流器はすべてシリコンダイオードを使っており、その出力はタービン発電機の界磁に必要な性能をもっている。シリコン整流器は過負荷、各相の30%の不均衡に対しても十分耐えうる容量をもたせてある。
(伊丹製作所 加藤又彦訳)

航空機用高温トランス—整流器組合わせ装置の新材料

J. G. Hoop and D. K. McI. Ivaine: New Materials for Transformer—Rectifier Unit High-Temperature Aircraft (Westinghouse Electric Corp. Lima., Ohio. Transactions Paper 59-883)

24,400 mの高高度で多種のマッハ速度で飛行する航空機用電気品としての発電機・開閉器類・CT・コンパタなどは幾多の課題を提起したが本文は直流変換装置としてのトランス—整流器組合わせ装置について記述してある。本器は1ユニットとなっており、周囲温度315°C、24,400 mの高高度で三相200 V 400サイクルの交流を28 V 50 Aの直流電力に変換する装置で図1の回路方式が効率、電圧変動率、巻線方式その他から適切なものとして選定された諸理由が述べてありさらにこれを構成した諸要素の材質的検討と研究結果が項目別に記述してある。すなわち

(1) 磁気材料

変圧器鉄心材料が-60~500°Cの温度範囲内で研究されたが27%コバルト入りのオリエント鉄心が採用された。これも核兵器関係を使用しない限りこの材料で適切とみなされている。

(2) 電線材料およびこれの絶縁

高温の状況下で連続使用する時間は約20時間であり、そのため高級なる耐酸化力を有する巻線をもちいる必要性はないとしている。0.015 mm(0.0006 in)のニッケル箔で被覆した銅線

200V 400サイクル
三相交流電源

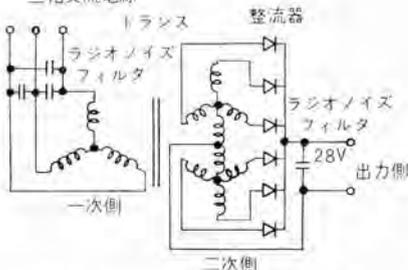


図1 トランス—整流器組合わせ装置

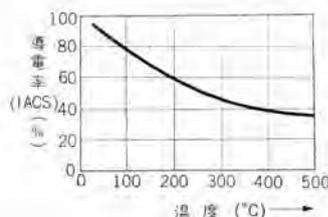


図2

を使う。この導電率の温度による特性変化は図2に示す。電線の絶縁はレジコーティングをほどこして所望の特性を得ることに成功している。

(3) 整流器

315°Cの周囲温度下で所望の整流特性のある半導体整流器としてガリウム—リン化合物・ガリウム—七素化合物・シリコン—カーバイトの3種が考えられたがそのうちガリウム—リン化合物が選定された。これは他の2者に比して特性がよいからであり、500°C下の順電圧降下は2Vである。またこのダイオードの製法の一部が記述してある。

(4) その他

フィルタ用蓄電器は特別に製作されたものであり、12μFのものは32.78 cm³の外形をもっている。そのほか構成材料は-60~500°Cの温度変化領域での特性変化をもととして軽量、がんじょうを主眼に採決し、異種材料の接合点の材質変化も研究され報告されている。
(伊丹製作所 加藤又彦訳)

ディズニーランドのモノレール・カー

What's New in Engineering: Disneyland Monorail Train (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 6, Nov. 1959, p. 188)

カリフォルニア、アナハイムのディズニーランドパークに1,112.5 mの環状線に3両1編成の電気運転のモノレール・カーが2編成使用されている。アメリカで最初に営業にはいった電気運転のモノレール・カーであるので、運転実績で都心の他の交通機関とモノレール式と比較できる。

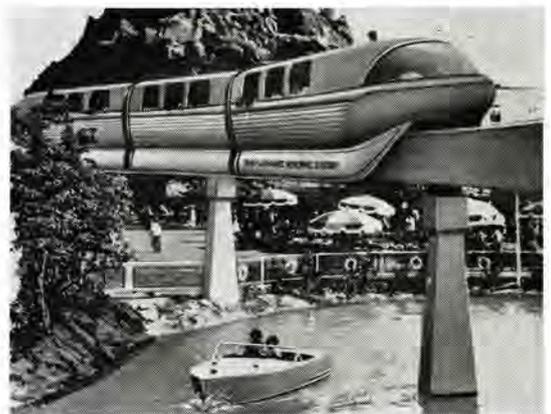
この車は台車は支持パリのの上を走り、ハリの側面を走る案内ゴム車輪でバランスを保つ。各編成は4台車ある。

中央の2台車は76.2 cmのゴム車輪で歯車比8.81の主電動機で駆動する。加速度と減速度は足踏の力行制動ペダルで加減できる。

高速運転もできるが、現在は乗客が公園をよくながめられるように低速運転をしている。

モノレールの直流電源は300 Vの200 kWのシリコン整流装置である。この装置は変圧器、シリコンセル、電圧調整器、冷却装置と保護装置を1箱に収めたパッケージタイプである。

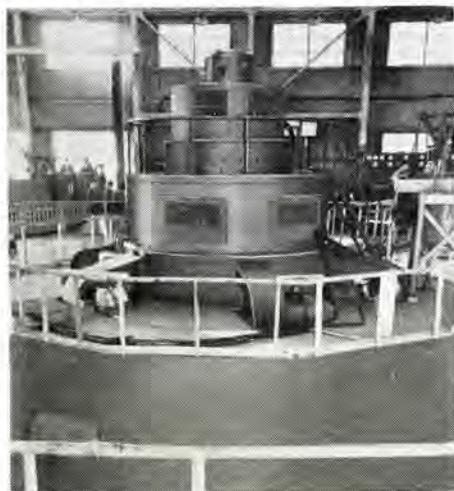
(伊丹製作所 小川清一訳)



■ 台湾電力 谷関発電所向け 57,500 kVA 水車発電機完成

一昨年受注以来、鋭意製作を進めてきた台湾電力谷関発電所向け 57,500 kVA 水車発電機は昨年末無拘束速度試験 (570 rpm) を行ない、好成績のうちに工場完成を見た。本機は推力軸受を回転子上部に有する立軸普通形で、台湾における記録的な立軸大容量機である。

谷関発電所は大甲溪開発計画の一環として建設されたもので、さきに当社が納入した天輪発電所の上流に位置する。台湾電力にはすでに上記天輪発電所 28,500 kVA および滝澗発電所 62,000 kVA を納入し、そのすぐれた性能は定評のあるところであるが、本機完成のあかつきは当社技術に対する評価をさらに高めるものと期待されている。



本機は高速大容量機で軸方向寸法が長く、通風には細心の注意を払った。試験の結果、風速分布も平等で温度上昇もひくく押えることができた。推力軸受には高圧油を圧入するオイルフトを設けて起動時摩擦の減少をはかった。固定子コイルは1ターン、ハーフコイルでローベル転位を施し、絶縁はダイラスタック絶縁である。

工場組立後、検査会社立会のもとで、電気的・機械的性能試験を行ない、好結果を得ることができた。主機の仕様は下記のとおりである。

立軸、普通形、回転界磁閉鎖風道循環形 2台
50,000/57,500 kVA 13.8 kV 60 c/s PF 90% 300 rpm 24極
(固定子コイル 温度上昇保証値 60/80°C)
主励磁機 250 kW 220 V
副励磁機 10 kW 110 V

■ 台湾 石門発電所 51,111 kVA 水車発電機 2台受注

石門発電所は石門水庫建設委員会により建設される発電所である。この委員会は台湾政府行政院に直属しており、主として

灌漑、洪水調節を目的として、大科嵌溪にアーチダムを建設し、あわせて電力を発生させようとするものである。発電所はさしあたり 51,111 kVA 水車発電機2台を設備し、セン頭負荷用として使用される予定である。

台湾に対しては戦後すでに天輪・滝澗・谷関の各発電所向け機器を受注完成した実績を有し、当社技術に対する評価はきわめて高いものがあり、激しい国際入札の末、ふたたび受注に成功することができた。

本機はカサ形発電機で台湾として初めてのものであるが、田子倉発電所 105,000 kVA 水車発電機に集大成された当社のカサ形発電機に対する最新技術は必ず関係各位に好評をもって迎えらるものと期待されている。機器の仕様は下記のとおりである。

カサ形、回転界磁閉鎖風道循環形 2台
44,444 kVA/51,111 kVA 13.8 kV 60 c/s PF 90% 200 rpm
36極 (固定子コイル 温度上昇 60/80°C)
励磁機、自動電圧調整器、15 kV キュービクル、予備品。

■ 富士製鉄広畑製鉄所向け 9,000 kW 圧延電動機完成 (世界最大級)

昨年春富士製鉄から広畑製鉄所向けとして受注したユニバーサル分塊圧延用 9,000 kW 圧延電動機が好成績で工場試験を完了した。

圧延機仕様

| | |
|------|-----------------|
| 生産量 | 200,000 トン/月 |
| 主ロール | 1,140 φ×2,280 L |
| 板厚 | 80~550 mm |
| 板幅 | 700~1,900 mm |
| 長さ | 1,500~6,000 mm |

主要電機品仕様

| | |
|---------|-----------------------|
| 主ロール電動機 | 2—4,500 kW 40/80 rpm |
| | 双子駆動方式 |
| 立ロール電動機 | 1—3,000 kW 60/150 rpm |

いずれも二電機子形である。

電源のイルグナ式電動発電機は



| | | |
|----------|-------------|-----|
| 主ロール用発電機 | 2,500 kW | 4 台 |
| 立ロール用発電機 | 1,750 kW | 2 台 |
| 蓄勢輪 | 187,000 kWS | 1 台 |
| 駆動用誘導電動機 | 7,500 kW | 1 台 |

主ロール電動機の出力 9,000 kW は世界最大級である。工場における組合わせ試験で主ロール電動機の逆転時間は +40 rpm より -40 rpm まで 0.975 秒でしかも加速電流のセン頭値は定格電流の 120 % という高速応性が示された。

■ ベトナムへ TM-2 形膨張形救命胴衣 900 個を輸出

昨年 12 月に TM-2 形救命胴衣を 900 個、運輸省検定および輸出検査をうけ、好成績を収めベトナム向け輸出した。

この TM-2 形救命胴衣は一般船舶に使用されるもので、浮力用本体布を従来の TM 形ナイロンゴム引布よりビニロンゴム引布にかえ、品質を向上させ昨年 11 月 28 日に運輸省型式承認を取得したものである。

その概略仕様および製品写真は下記のとおりである。

| | |
|---------------|-----------------------------|
| 形式 | TM-2 形(自動ガス充てん式・膨張形) |
| 型式承認(運輸省) | 第 1212 号(昭和 34 年 11 月 28 日) |
| 全重量 | 777 g (規格 1,000 g 以下) |
| 全浮力 | 16.3 kg (規格 15 kg 以上) |
| 炭酸ガス充気装置の作動抗力 | 7.7 kg (規格 10 kg 以下) |
| 浮力用本体ゴム引布材質特性 | |

| | |
|-----------------------|--------------------------------|
| 重量 | 550 g/m ² |
| 引張強さ | 1,000 kg/m |
| 気密性 (H ₂) | 10 l/m ³ /24 h/15°C |



TM-2 形救命胴衣

■ 西武百貨店ヘリポート用無線通信装置

西武百貨店航空部ではザパト(池袋)屋上に大規模なヘリポートを設置し、東京を中心とするヘリコプタによる観光輸送業務を計画していたが、このほど三菱電機では地上と航空機間の連絡用通信装置を受注し、昭和 35 年 4 月の開局を目標に、機上局 1 台、基地局 1 台を製作中である。

機上局装置はすでに型式検定合格済の MAR-2 形をいっそう使用しやすく改良した MAR-2A 形で、防衛庁のヘリコプタに搭載されている同種無線機に比して下記の点が改良されている。

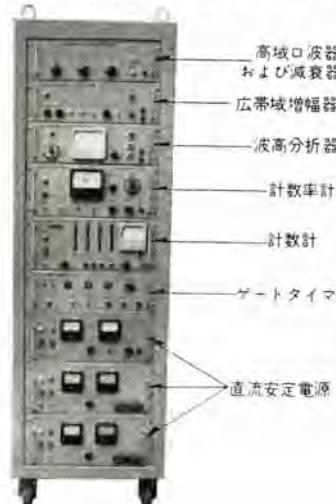
1. 使用コネクタの数が 4 個から 3 個に減じた。
2. 送受空中線回路に小形低域ロハ器を挿入し、高次不要放射波を除去した。
3. 平衡変調器の回路方式に検討を加え、近接不要放射波を除去した。

4. 航空機電源電圧の低下時の動作特性をいっそう改良した。
 5. 制御器は AND10479 の規格に合致し、どんな航空機にも適合する構造とした。
 6. 従来のヘリコプタ用空中線はアース効果が不完全で通信不能の主因となっているので、地線付空中線を新設計した。また基地局装置は当社標準の AS-5 形を納入予定で、とくに信頼度を増加する点に留意して設計されたものである。なお増設用装置については、近く行なわれる電波法の改正案などを考慮して、いっそう高性能の装置の設計を進めている。
- これら装置の主要性能は概略下記のとおりである。

| | |
|--------|--|
| 周波数範囲 | 118~144 Mc |
| 電波形式 | A3 |
| 送信機出力 | 5 W 以上……………機上局 40 W 以上……………基地局 |
| チャンネル数 | 8 Ch (実装 3 Ch) ……機上局 1 Ch ………………基地局 |
| 操作方式 | 制御器による遠隔制御方式 |
| 通信方式 | ラレストーク方式 |
| 空中線 | 地線付ホイップ空中線 ……機上局 ディスク形広帯域空中線 ……基地局 |

■ コロナパルスのひん度分布を測定する新しい測定装置

電気機器の絶縁物やその他に発生するコロナを定量的に測定するためには、コロナの大きさとその発生ひん度の分布を調べることが必要である。これまでこのような測定には、ある基準電圧よりも大きいコロナの数をまず計数し、つぎにこの基準電圧を変えて同じ測定をした後、両方のコロナ数の差を求め、このような操作を次々に繰り返して全体にわたるコロナの大きさと発生数のひん度分布を測定する方法が広く一般に用いられているが、今度開発した測定器は、二つの基準電圧の間にはいる大きさをもったコロナの数を一度に測定し、二つの基準電圧の差を一定に保ちながらその大きさを任意に変えられるようにしたもので、コロナの発生ひん度分布曲線を非常に簡単にしかも正確に求めることができる。写真に示した装置は上に述べた機能を果たすための波高分析器や計数計のほかに、コロナ測定に必要なロハ器、減衰器、高帯域増幅器などを備えたもので、この装置で 2 mV から約 600 V までのコロナパルスの大きさを、0.1 mV ないし 30 V ごと



に区分して、測定することができる(区分する電圧の幅は任意に変えられる)。計数装置には 30 kc まで測定できる計数率計と、1 秒から 9 秒まで変化できるゲートタイマと組合わされた 10 進 4 段の計数計とを備えており、目的に応じて選択使用される。分解能はいずれも 5 μs 以下である。

この装置は絶縁物の

耐コロナ特性の測定や、機器の絶縁診断のためのコロナ測定用として開発したものであるが、そのほかいろいろの雑音電圧の大きさとその発生数とのひん度分布を測定するばあいにも応用できよう。

装置の大きさは幅 580 mm、奥行 500 mm、高さ 1,800 mm である。

■ 超高真空用質量分析計

超高真空 (Ultra-high vacuum) という言葉が用いられはじめたのは最近のことであって、これは拡散ポンプで到達できる真空 (10^{-8} mmHg) よりもさらに真空度の高い状態を意味する。このような真空は、拡散ポンプ以外に、ゲッタ膜のガス吸着作用や、電離真空計のクリーンアップ作用などの排気機構を併用して実現することができ、ガラス製の装置については 10^{-10} ~ 10^{-11} mmHg の真空度が得られている。

かかる超高真空の実現は、物理・化学・電子工学などの基礎的研究において、実験条件を明確に規定する上にきわめて重要であり、とくに吸着・熱電子放射・二次電子放射・表面電位などの界面現象の研究は、このような新しい技術の開発により、新しい発展を見せつつある。このような研究には、超高真空下の残留ガスの分析、極微量ガスの分析などの問題が必然的にもなってくる。電気試験所物理部(東京田無)からの依頼により、MS-415 形として、このほど、当社で開発した超高真空質量分析計は、このような要求に応じたものであり、その外観は写真に示すようなものである。

製作にあたっては、金属ガセット、ゲッタ・イオンポンプなどの新しい製品、分析管と試料導入部とは 450°C で焼出しを繰り返すのでそのために生ずる種々の問題、停電、断水、あるいはその他の事故による真空度低下に対する保護装置の工夫など、多くの新しい技術的問題に対処しなければならなかった。

使用する場合には、まず油回転ポンプと油拡散ポンプとにより排気のうち、 450°C で数時間から数 10 時間焼出しを行ない、 10^{-6} ~ 10^{-7} mmHg にした後、分析管部を金属バルブを閉じることにより封じ切り、この部分だけをイオンポンプで排気し 10^{-9} mmHg 程度にする。試料ガスは超高真空にした試料導入装置を経て分析管に封入する。このようにして封入された微量ガスを分析するわけであるが、試料が多い場合には、通常のように、導入部から分析管を通して排気系へガスを流しながら分析する方法を取りうることはもちろんである。

まだまだ残された問題は多いが、自家用として製作中の第 2



超高真空用質量分析計

号機について検討、改良を加えてゆきたい。これの完成は、高信頼度の電子管の製造をはじめ、電子管材料の基礎研究にも大きく寄与することと考えられる。

■ 負荷時タップ切換器付変圧器など大量に受注

東京電力より同社管内各地変電所向けとして大口の受注があった。内容は負荷時タップ切換器付 10,000 kVA 変圧器 17 台、6,000/3,000 V キュービクル 261 台などである。変圧器は CR 形油入自冷式で URD 形負荷時タップ切換装置が備えつけられるが、この装置は構造が簡単で、動作が確実に行なわれることを主眼とし、30 万回以上の寿命試験を経ている。6,000/3,000 V キュービクルに収納されている 6-DH-15B 形磁気シタ断器は 6,000 V と 3,000 V 共用のもので、いずれの電圧においても 150 MVA のシタ断容量を有し、とくに寸法を制限して東京電力キュービクル標準規格に合格するよう設計したもので、新しい構想のいわゆるセンタ・ブローアウト式磁気シタ断器である。

■ レクチフロー駆動方式の電動機受注

今回徳山曹達株式会社よりキルン駆動用および誘引風車用としてレクチフロー駆動方式の電動機を受注した。レクチフロー駆動方式はクレーマ方式の変形ではあるが、最近電力用半導体の進歩によって新たに開発されたものである。

レクチフロー駆動方式は巻線形誘導電動機、直流電動機および半導体整流器を組合わせたもので、広範囲の速度制御を連続的にしかも効率よく行なうことができる。

この方式の原理を簡単に説明すれば、巻線形誘導電動機の回転子巻線の二次誘起電圧を半導体整流器により整流し、これを誘導電動機と共通軸の直流電動機機子に印加し、直流電動機の逆起電力に打ち勝って誘導電動機の回転子巻線および直流電動機回路に電流を流し、両者が負荷トルクを分担して回転するようにしたもので、直流機の励磁を変え逆起電力を調整することにより簡単に速度制御を行なうことができる。

今回受注品の定格事項は下記のとおりで、今後この方面の用途には広く応用されることを期待している。

1. キルン駆動用

| | |
|----------------------------|-----|
| 225 kW 三相誘導電動機 (ツインドライブ方式) | |
| 12 P 600 rpm 3.3 kV 60 c/s | 2 台 |
| 直流電動機 370 V 310 A 600 rpm | 2 台 |
| シリコン整流器 キュービクル | 2 面 |
| 速度制御盤 | 1 面 |
| 電動機盤 (メタルラッド形) | |
| 速度制御範囲 154 ~ 540 rpm | 1 面 |
2. キルン誘引風車駆動用

| | |
|----------------------------|-----|
| 280 kW 三相誘導電動機 | |
| 16 P 450 rpm 3.3 kV 60 c/s | 1 台 |
| 直流電動機 408 V 350 A 450 rpm | 1 台 |
| シリコン整流器 キュービクル | 1 面 |
| 電動機盤 (メタルラッド形) | |
| 速度制御範囲 220 ~ 440 rpm | 1 面 |



回転式電解研磨装置

考案者 新倉宗寿

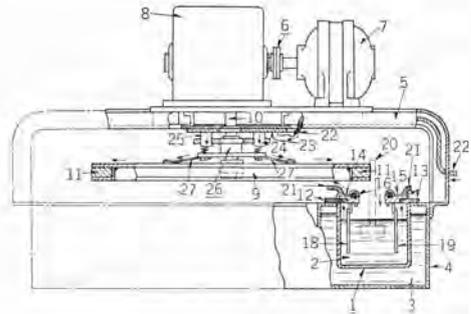
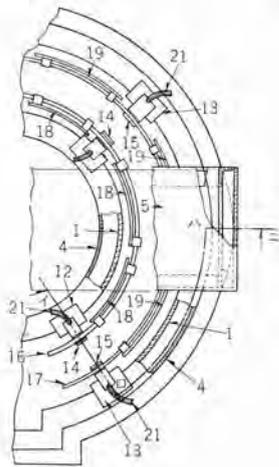
この考案は機械部品、たとえば一端に歯車を備えた図中(20)で示すような扇風機の回転軸を、被研磨材として、これを多数同時に電解研磨する電解研磨装置に関するものである。

すなわち、図に示すように、電解槽(1)をとくに断面トイ形の環状に形成して、その真上に電動機(7)より減速装置(8)を介して減速回転される回転盤(9)を設け、この回転盤の外周縁に、多数の永久磁石(11)を環状に取付け、これに上記被研磨材(20)の上端を吸着させて、その下端研磨部分を上記電解槽(1)に収納した電解液(2)中に浸漬させ、電流をリード線(22)スリッパ

ング(24)ブラシ保持具(25)に支承したブラシ(20)接続片(21)回転盤(9)被研磨材(20)電解液(2)陰極板(18)(9)リード線(22)の回路を経て図実線矢印のように流し、上記被研磨材(20)の下端部を電解研磨するようにしている。

これがため、上記被研磨材(20)の保持装置として複雑な装置を必要とせず、その取付け、取はずしを迅速かつ容易にできるばかりでなく、電解液の飛散によって上記被研磨材の取付け装置が腐食破損されて、取付不可能になることもない。

(実用新案登録第 485059 号) (長谷川記)



電気ハンダゴテ

考案者 鈴木 洌
木村 隆 信

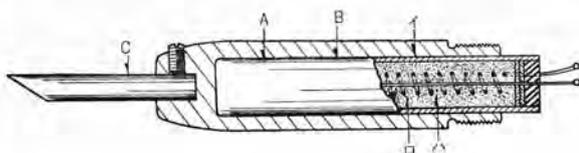
従来の電気ハンダゴテにおける発熱線は、絶縁マイカを介してコテ先を加熱する構造になっている。したがって、発熱線で発生された熱は、上記マイカを通じてコテ先に伝達されるとともに、その発熱線全体が、直接に外気に触れているので、その酸化がはなはだしく、また一方において発熱線・マイカおよびコテ先を完全に圧着させることがむずかしく、それぞれ間に空気層が生じ、コテ先と発熱線との温度差が大とな

り、熱伝導率が悪く、しかもその寿命も短いなどの欠点があった。

この案は、このような欠点を除くために電気ハンダゴテの発熱体を図のように発熱線(1)と、これを包む耐熱電気絶縁物(2)を充填した密閉鋼管(3)より成る一方端子の金属管発熱体(4)を筒状物(5)内に一体に挿込み、この筒状物(5)に、コテ先(6)を螺合または嵌合により定着して構成したものである。

したがって、発熱線(1)からコテ先(6)までの熱伝導が良好になり、発熱線(1)とコテ先(6)との温度差が小さく、かつ発熱線(1)が空気中に露出していないので、酸化の恐れがなく長期使用に適するものである。

(実用新案登録第 483180 号) (長谷川記)



本社 営業所 製作所 工場 研究所 所在地

| | |
|-------------|--|
| 本 社 | 東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地 (東京ビル内) (電) 和田倉 (201) 大代表 1611 |
| 東 京 商 品 業 所 | 東京都千代田区丸の内 2 丁目 20 番地 (三菱商事ビル 3 階) (電) 東京 (211) 代表 2511 |
| 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り (電) 本局 (23) 代表 6231 |
| 福 岡 営 業 所 | 福岡市渡辺通り 2 丁目 35 番地 (電氣ビル内) (電) 福岡 (2) 代表 6031 |
| 札 幌 営 業 所 | 札幌市大通り西 1 丁目 13 番地 (電) 札幌 (3) 代表 9151 |
| 仙 台 営 業 所 | 仙台市大町 4 丁目 175 番地 (新仙台ビル内) (電) 仙台 (2) 代表 6101 |
| 富 山 営 業 所 | 富山市安住町 23 番地 2 (電) 富山 (2) 0151 |
| 広 島 営 業 所 | 広島市八丁堀 63 番地 (昭和ビル内) (電) 中 (2) 2211 |
| 高 松 営 業 所 | 高松市寿町 1 丁目 4 番地 (第一生命ビル) (電) 高松 (2) 代表 4416 ビル直通 5021 |
| 小 倉 出 張 所 員 | 小倉市京町 10 丁目 281 番地 (電) 小倉 (5) 8234 |
| 静 岡 駐 在 員 | 静岡市呉服町 2 丁目 1 番地 (電) 静岡 (2) 2595 (3) 2962 |
| 岡 山 駐 在 員 | 金沢市田丸町 55 番地 1 (電) 金沢 (3) 6213 |
| 岡 山 駐 在 員 | 岡山市浜田町 20 番地 (電) 岡山 (3) 2948 |
| 研 究 所 | 兵庫県尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (48) 8021 |
| 神 戸 製 作 所 | 神戸市兵庫区和田崎町 3 丁目 (電) 兵庫 (6) 代表 5041 |
| 伊 丹 製 作 所 | 兵庫県尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (48) 8021 |
| 長 崎 製 作 所 | 長崎市平戸小屋町 122 番地 (電) 長崎 (3) 代表 3101 |
| 無 線 機 製 作 所 | 兵庫県尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (48) 8021 |
| 名 古 屋 製 作 所 | 名古屋市中区矢田町 18 丁目 1 番地 (電) 名古屋 (73) 1531 |
| 静 岡 工 場 | 静岡市小島 110 番地 (電) 静岡 (3) 0141~0145 |
| 中 津 川 工 場 | 岐阜県中津川市駒場 (電) 中津川 10, 54, 226 |
| 和 歌 山 工 場 | 和歌山市岡町 91 番地 (電) 和歌山 (3) 代表 1275 |
| 福 岡 工 場 | 福岡市今宿青木 690 番地 (電) 福岡 (4) 代表 1568 |
| 福 山 工 場 | 福山市沖野上町 6 丁目 709 番地 (電) 福山 代表 2800 |
| 姫 路 工 場 | 姫路市千代田町 840 番地 (電) 姫路 代表 6900 |
| 大 船 工 場 | 神奈川県鎌倉市大船 (電) 大船 (067) 代表 2121 |
| 世 田 谷 工 場 | 東京都世田谷区池尻町 (電) 東京 (414) 代表 8111 |
| 郡 山 工 場 | 福島県郡山市境橋町 1 番地 (電) 郡山 1220~1223 |
| 北 伊 丹 工 場 | 伊丹市大鹿字主ヶ池 1 番地 (電) 伊丹 代表 4736 |
| 無 線 機 製 作 所 | 東京都世田谷区池尻町 (電) 東京 (414) 代表 8111 |
| 東 京 工 場 | 東京都世田谷区池尻町 (電) 東京 (414) 代表 8111 |
| 札 幌 修 理 工 場 | 札幌市北二条東 12 丁目 (電) 札幌 (2) 3976 |

次号予定

三菱電機 Vol. 34 No. 4

自家用火力発電特集

- 巻頭言
- 自家発電用 タービン の形式選定規準
- 自家発電用三菱 エッシャウイス式タービンおよび ガバナ の構造
- 最新の三菱 EW タービン のノズル および動翼の設計
- 三菱 ウェスチングハウス 自家発電用 タービン
- 最近の自家用 タービン 発電機
- 自家用火力発電所の中央制御
- データ 処理装置による火力発電所の監視と制御
- 系統との関係問題
- 自家用火力発電機における自動電圧調整方式
- 自家用タービン 発電機と短絡比
- 静止励磁タービン 発電機
- タービン 発電機直結励磁機のブラシ 整流子の 2, 3 の問題
- 技術解説: 火力発電 シリーズ 屋外形 ポイラ 発電機の接地方式

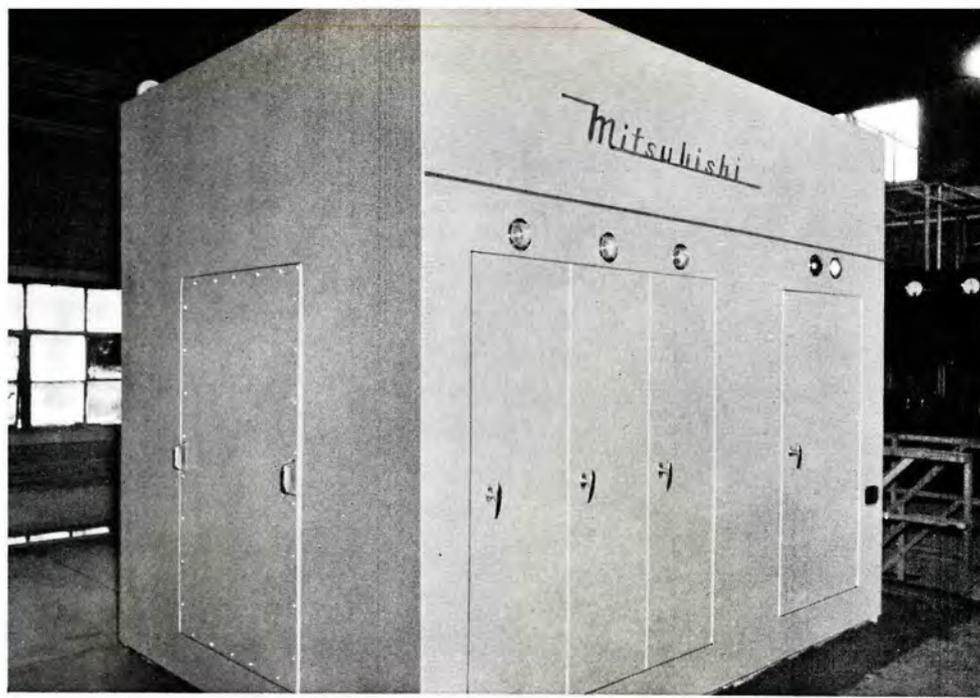
雑誌「三菱電機」編集委員会

| | | | | | |
|------|-------|------|----|----|----|
| 委員長 | 吉村誠一郎 | 常任委員 | 宗山 | 村田 | 平一 |
| 常任委員 | 浅井徳次郎 | 委員 | 山新 | 田井 | 元二 |
| 〃 | 荒井深 | 〃 | 岡進 | 屋藤 | 和一 |
| 〃 | 安藤安宗 | 〃 | 津 | 内 | 隆三 |
| 〃 | 市村富次郎 | 〃 | 豊 | 村 | 一 |
| 〃 | 高井得一郎 | 〃 | 松 | 尾 | 三 |
| 〃 | 中野光雄 | 〃 | 井 | 上 | 郎 |
| 〃 | 馬場文夫 | 幹事 | 幹 | 事 | |
| 〃 | 船橋正信 | | | | |
| 〃 | 松田新市 | | | | |

(以上 50 音順)

昭和 35 年 3 月 9 日印刷 昭和 35 年 3 月 12 日発行
「禁無断転載」 定価 1 部 金 100 円 (送料別)

編集兼発行人
東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地 吉村誠一郎
印刷所
東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 大日本印刷株式会社
印刷者
東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 高橋武夫
発行所
三菱電機株式会社内「三菱電機」編集部
電話 和田倉 (201) 1611
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 (291) 0915・0916 振替東京 20018



外観

味の素川崎工場へシリコン整流器納入

シリコン整流器の概要

交流電源

電源電圧および周波数の変動は下記のとおり

電 圧 3,100~3,500 V

周数波 47~50 c/s

直流出力

電 圧 250 V

電 流 6,000 A

電 力 1,500 kW

定 格 連続

電圧調整範囲 200~250 V

台 数 1 台

設備の構成

1. 既設回転変流機使用時と同一の出力ならびに電圧調整範囲を有する。
2. 常時半導体整流器2台の並列運転をたてまえた運転操作上回転変流機と並列運転をされる場合も支障はない。
3. シリコン整流器の保護用として高速度シ+断器を設置する。
4. 過負荷耐量 200% 40秒以上。
5. 整流素子故障の場合、通電用電流を下げずに取換えてできる。
6. 整流器用変圧器と誘導電圧調整器を組合わせて直流電圧 200~250 V間を連続調整を行なう。
7. 整流器 キュービクル は水冷式再冷却器を設け強制風冷閉鎖空気循環方式を採用し、外部空気の流通をたち周囲空気に含まれる塩酸ガスおよびジアイの侵入を防止する。

写真説明

1. トレーの前面
2. 制御盤
3. 整流器キュービクルの冷却設備
4. 高速度シ+断器

