

MITSUBISHI DENKI GIHO

三菱電機技報

Vol. 38 July 1964

7

操作スイッチ

はん用制御器具特集



わが国最大 北陸電力明島発電所納め4,500kWチューブラ発電機完成

かねて現地据付中の北陸電力、明島発電所は 5 月 20、21 の両日、つつがなく官庁試験を終了し、営業運転に入った。

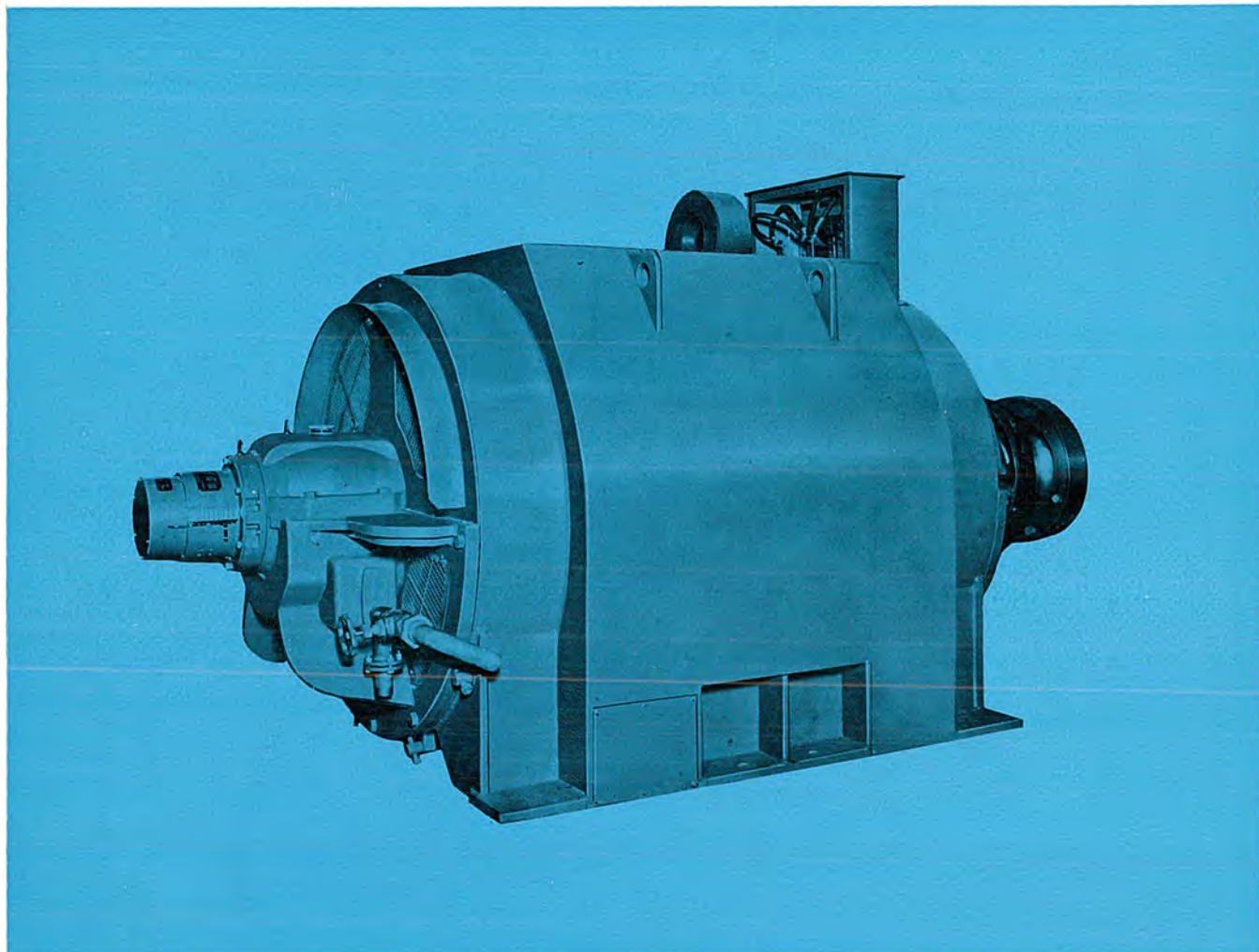
この発電所は落差 14.2 m を利用し、可動羽根 フロペラ 水車を横に置きたいわゆる チューブラ 方式で、水車に直結される 4,500 kW 誘導発電機はこの種のものとしてはわが国最大である。水車定格は 4,790 kW, 240 rpm であるが発電機は遊星歯車式の増速装置を介して直結されているため 3 倍に増速され、720 rpm で運転される。チューブラ 発電所では流水中に水車および発電機を設置する関係上、空間寸法にきびしい制限があり、とくに発電機直径は極力小さくしなければならない。遊星歯車式増速装置はこの目的に最も適合したもので、外形寸法を小さくし、全体をコンパクトにまとめることができた。

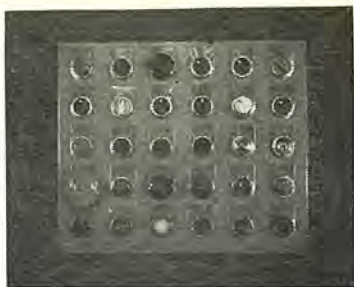
この発電所は流れこみ式の無人発電所で、水位調整器によって運転されるが、約 2.5 km 離れた鶴来発電所から直接多重方式による遠方監視制御を行なっている。制御項目は起動、停止、特高 シャ 断器の開閉、故障 リレー の復帰であり、監視項目は急停止、無負荷運転、軽故障、また表示項目は特高 シャ 断器の開閉、起動停止、遠方直接操作、余水門の開閉、制御線の故障であって、電力量の計測が可能である。

水位調整器による運転に関しては、この発電所の水系が、約 1.5 km の開水路から、圧力隧道、サージタック を経て水車に至るもので、とかく不安定な運転におちいりがちであり、電子計算機による厳密な解析を行ない、最適制御をうるよう計画を進めた。

また、無人発電所であることを考慮して、高圧主回路器具はすべて、G 級閉鎖形配電盤に収納して地下の水車室に設置し、ブスダクト により屋外の主変圧器および特高 シャ 断器に接続しており、安全にはとくに留意している。

北陸電力明島発電所納めチューブラタービン用誘導発電機





表紙説明

近年諸工業や産業の自動化が著しく発達普及するとともに、はん用制御器具の一つとして操作スイッチも格段の進展をとげた。

写真は当社で新しく完成した操作スイッチ群で、交流電磁開閉器(表紙 IV 参照)などの操作として押しボタン形、切換形、選択形、表示灯付など便利な操作に応じ得る多種類を標準化している。統一された形状や美しい意匠はすぐれた配電盤、制御盤または操作盤などをまとめあげるのに役立っている。



三菱電機技報

昭和 39 年 第 38 卷 第 7 号 (はん用制御器具特集)

目 次

| | | |
|---|--|-----|
| 新形電磁開閉器・接触器 | 高見 滋・丸地謙二・岡戸弘行 | 2 |
| 新形電磁継電器 | 丸地謙二・中島治男 | 15 |
| 手動スイッチ | 都築勇吉・杉浦 博 | 24 |
| 新形電磁起動器 | 宇佐美重夫 | 32 |
| 半導体を応用した制御器具 | 吉田 太郎・篠原 宇一・三浦 守生・宮崎 治 | 41 |
| 20,000 c/s 高周波発電機—設計と応用— | 生駒 鉄郎 | 50 |
| 東京電力北東京変電所納め 345,000 kVA 変圧器 | 嶋 裕史・菅 寿郎・西本 昂 | 54 |
| 通信用衛星追尾装置 | 榎本 俊弥・森川 洋・渡部 優・若田 和明 金子 敏夫・近藤 輝夫・佐藤 安彦・石井 康一 | 61 |
| 最近の送電線保護継電装置 (5)—故障点標定式距離継電装置— | 北浦 孝一 | 68 |
| HCB-4 形表示線継電装置 | 森 健 | 74 |
| 30 MeV フィールドバイアス 形 ベータトロン (I) | 後藤 正之・田中 修・秋葉 稔光・永井 昭夫 尾形 善弘・高倉 康一・上田 孝寿・池田 洋 | 80 |
| 線形電子加速器 | 戸田 哲雄・入江 浩一 | 88 |
| 半導体放射線検出器 | 清水 潤治・宮下 恭一・高田 守・須川 嘉幸 | 96 |
| 光を使ったアルカリ金属原子の磁気共鳴 | 久保 高啓・安東 滋 | 102 |
| 《技 術 解 説》 | | |
| 負荷時 タップ 切換器の変圧器への適用 | 山内 敦 | 109 |
| 《新 製 品 紹 介》 | | |
| 無誤字伝送装置 MARQ-100 完成・鋼板 フレーム 製三相モートルのシリーズ化完成 (SB-R 形 1.5 kW~3.7 kW 4P) ・屋内用低容量 パスタクト 完成・NL-305 形 ラッチ 付交流電磁接触器完成・リビングマスター 新発売・三菱 イオナイザー 完成・19 形 テーブルタイプ 三菱 テレビジョン 19T-530 形発売 | | 117 |
| 《ニュースフラッシュ》 | | |
| 大阪大学理学部および工学部納め ND-6303 形 12 チャンネル 中性子線 エリアモニタ・帝都高速度交通営団 5 号線用主 電動機完成・日本建鉄納め アルミ 誘導加熱装置完成・抵抗-リアクタンス 回路網 アナログ 装置完成・京浜急行納め新車 用制御装置完成 | | 121 |
| 《特 許 と 新 案》 | | |
| 写真暗室用 ケイ 光放電灯・自動同調装置 | | 123 |
| 《表 紙》 | | |
| 2. 北陸電力明島発電所納め 4,500 kW チューブラ 発電機完成 | | |
| 3. 交通信号機の最適計算制御装置第二京浜国道で好調稼働中 | | |
| 4. 新形三菱はん用制御器具の紹介 | | |

新形電磁開閉器・接触器

高見 滋*・丸地 謙二*・岡戸 弘行*

New Type Magnetic Switches and Contactors

Nagoya Works Shigeru TAKAMI・Kenji MARUCHI・Hiroyuki OKADO

Development of automatic control and diffusion of control equipment have brought about increase in the demand of magnetic switches and magnetic contactors by leaps and bounds. Importance of their duty being realized, the high reliability, small size, compactness, ease in handling and yet reasonable prices are earnestly called for. To cope with these latest trends, Mitsubishi has been successful in introducing to the market type EM magnetic switch series which answer the above purposes. The ideas in the development, kinds and specifications, constructions and features are expounded herein. Test results to investigate their characteristics, electrical and mechanical life are also given as featured topics in the article.

1. ま え が き

近年産業界の発展に伴い、生産性の向上のため工場機械設備の自動化や合理化、さらに自動制御機械の発達や冷暖房装置などビル設備の自動化普及が著しく進むとともに、これらに使用される制御装置の重要な一要素として電磁開閉器、接触器などの需要は急激に増加し、その責務の重要さから性能面の向上すなわち高信頼性をもち、長寿命で取り扱い容易、小形軽量の電磁開閉器が要求されてきた。三菱電機ではこの要求にこたえるため、高性能でかつ低価格の新しい構想の新形シリーズ EM 形電磁開閉器の完成をみたので、その開発の考え方、特性、試験結果、適用上の問題について紹介する。



図 1.1 EM 形電磁開閉器シリーズ
Fig. 1.1 Type EM magnetic switch series.

2. EM 形電磁開閉器の開発

2.1 開発方針

新形シリーズ EM 形電磁開閉器は、長らく当社で製作してきたアメリカ系のシーソ動作機構のもの (EK 形) から、ヨーロッパ系の水平動作機構で小形軽量のコンパクトタイプへの移行であり、この開発方針のもとに慎重な検討と実験を重ねてきた。この目的は ① 信頼性の高いこと、② 長寿命であること、③ 小形軽量であること、④ 低価格であること、⑤ 取り扱いの容易なことなどである。これら性能面を満たすため、電気的および機械的特性さらに構造のバランスを計ることを考慮し

(1) 構造の簡略化とモールドの大幅な使用

(2) 操作電磁石の適切な吸引特性と吸着時の機械的衝撃の低減による摩耗の減少

- (3) 操作電磁石に自由度を与え、ウナリ発生の防止
- (4) 適切な接点材料の選択と消弧機構の使用による閉路ショート断電容量の向上
- (5) 接点閉路時のオドリ(躍り)の減少による電気的寿命の向上
- (6) 機構の簡素化による小形化、価格低減
- (7) 取扱上必要な部分、端子、接触子などの十分な配慮
- (8) シリーズとしての統一設計の考慮

以上の点を実施し、性能面では JIS C 8325 交流電磁開閉器に規定する A 級 1 号 1 種を上回るもので、電気的寿命は 1 種の 2 倍 100 万回以上の結果を得ている。しかし電磁開閉器の使用条件は種々さまざまで、電動機運転には寸動運転、逆相制御などひんぱん過酷な開閉、振動衝撃条件下、さらに悪使用ふんい気の状態もあり考慮すべき問題も多いが、これらは工場における類似条件での試験、さらに実用試験での実績を積み重ね品質の向上、使用の容易を計った。

2.2 準拠規格

電磁開閉器電磁接触器の準拠規格は JIS C 8325 交流電磁開閉器、JIS C 4504 誘導電動機ジカ入れ起動開閉器通則、JEM-1038 電磁接触器などあり、誘導電動機のジカ入れ起動器として A 級 1 号 1 種以上としているが、海外規格 NEMA (アメリカ)、BS (イギリス)、IEC (国際委員会) などについても検討を加えている。この点に関し JIS と IEC の関連を述べる。

(1) 開閉容量……ジカ入れ開閉の開路ショート断電容量について表 2.1 にあげる。

(2) 開閉ひんぱん度

JIS, JEM は 1 号で 1,200 回/時と規定しているが、これは IEC ではクラス 4 に相当する。

表 2.1 閉路ショート断電容量

(カゴ形誘導電動機用ジカ入れ起動)

| 規 格 | 閉路電流量 | | | ショート断電容量 | | | |
|--------------------------------------|-----------|-------|---------------------|----------|-------|---------------------|----------|
| | I_e | U_e | PF | I_e | U_e | PF | |
| JEM-1038 JIS C-8325 JIS C-4504 | 10 | 1 | 0.4 以下 " 0.3~0.4 | 10 | 1 | 0.4 以下 " 0.3~0.4 | A 級 |
| AC3 | 6 | 1 | 0.35 | 1 | 0.17 | 0.35 | 通常 操作 |
| AC4 | 6 | 1 | 0.35 | 6 | 1 | 0.35 | |
| IEC 17B | AC3 <100A | 8 | 1.1 | 8 | 1.1 | 0.35 | 特殊 操作 |
| | >100A | 10 | 1.1 | 10 | 1.1 | 0.35 | |
| | AC4 <100A | 10 | 1.1 | 10 | 1.1 | 0.35 | |
| | >100A | 12 | 1.1 | 12 | 1.1 | 0.35 | |

(3) 寿命……JIS では1種が機械的500万回、電氣的50万回に対し IEC はクラス IV で1,000万回、50万回、クラス III で500万回、25万回を規定している。電氣的寿命の場合 JIS は投入電流 $5I_e$ に対し IEC では投入電流 $6I_e$ である。

以上のように若干の相違はあるが、新形シリーズでは IEC の特性を十分満足しうるものを目標として設計し試験を行なった。

3. EM 形電磁開閉器の種類と仕様

EM 形電磁開閉器の標準シリーズの種類と構成は表 3.1 に示すように、200 V クラスの定格容量で 1.5 kW の EM-4 形から 37 kW の EM-155 形まで9種類にわたり、閉鎖形の箱入、盤用の開放形ユニット、非可逆、可逆用のものがある。さらにこれらの応用品として電流計付、箱の保護構造を防じん(塵)形、防滴形、防食形としたものもある。電磁接触器としては、M-4 形から M-155 形ま

表 3.1 EM 形電磁開閉器の種類および構成

| 形 名 | 非可逆 | EM-4 | EM-7 | EM-15 | EM-35B | EM-65 | EM-75 | EM-105 | EM-125 | EM-155 |
|--------------|----------|-------|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 箱入 | 可逆 | — | EM-2 ×7 | EM-2 ×15 | EM-2 ×35B | EM-2 ×65 | EM-2 ×75 | EM-2 ×105 | EM-2 ×125 | EM-2 ×155 |
| 開放 | 非可逆 | EMO-4 | EMO-7 | EMO-15 | EMO-35B | EMO-65 | EMO-75 | EMO-105 | EMO-125 | EMO-155 |
| 可逆 | — | EMO-4 | EMO-7 | EMO-15 | EMO-35B | EMO-65 | EMO-75 | EMO-105 | EMO-125 | EMO-155 |
| 構成 | 電磁接触器 | M-4 | M-7 | M-15 | M-35B | M-65 | M-75 | M-105 | M-125 | M-155 |
| 要 素 | 熱動過電流継電器 | TR-4 | TR-7 | TR-15 | TR-35B | TR-65 | TR-75 | TR-105 | TR-125 | CT+(TR35B) |
| 機械・連動子(可逆のみ) | — | — | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

表 3.2 EM 形電磁開閉器の定格および仕様

| 形 名 | EM(0)-4 | EM(0)-7 | EM(0)-15 | EM(0)-35B | EM(0)-65 | EM(0)-75 | EM(0)-105 | EM(0)-125 | EM(0)-155 |
|----------------|-----------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 定格電圧 (V) | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 |
| 定格容量 標準(kW) | 200~220V 1.5 | 200~220V 1.5 | 400~550V 3.7 | 400~550V 7.5 | 400~550V 1.5 | 400~550V 19 | 400~550V 22 | 400~550V 30 | 400~550V 37 |
| 補助接点 (最大個数) | 非可逆 1a | 2a or 2b or 1a 1b | 2a 2b | 2a 2b | 2a 2b | 2a 2b | 2a 2b | 2a 2b | 2a 2b |
| 可逆 | — | 2a 2b | 4a 4b | 4a 4b | 4a 4b | 4a 4b | 4a 4b | 4a 4b | 4a 4b |

注: EM(0)-65 以上および EMO-15, 35B は、上記補助接点のほかに追加として a または b で計 2 個の補助接点を取り付け可能である。

表 3.3 M 形電磁開閉器の定格および仕様

| 形 名 | M-4 | M-7 | M-15 | M-35 | M-65 | M-75 | M-105 | M-125 | M-155 |
|---------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| 定格電圧 (V) | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 |
| 定格電流 (A) | 250V 7 | 250V 7 | 250V 15 | 250V 30 | 250V 60 | 250V 75 | 250V 100 | 250V 120 | 250V 150 |
| 閉路シャ断電流容量 (A) | 600V 4 | 600V 4 | 600V 10 | 600V 25 | 600V 50 | 600V 50 | 600V 100 | 600V 100 | 600V 150 |
| 連続通電電流容量 (A) | 250V 74 | 250V 74 | 250V 160 | 250V 330 | 250V 630 | 250V 780 | 250V 1,000 | 250V 1,200 | 250V 1,500 |
| 重量 (kg) | 0.26 | 0.41 | 0.7 | 1.1 | 3.4 | 3.5 | 5.4 | 5.5 | 7 |

表 3.4 MD 形直流操作交流電磁接触器の定格および仕様

| 形 名 | MD-7 | MD-15 | MD-35 | MD-65 |
|------------------------|------------------------|----------------|-----------------|------------------|
| 定格電圧 (V) | 600 | 600 | 600 | 600 |
| 定格電流 AC (A) | 250 V 7 | 250 V 15 | 250 V 30 | 250 V 60 |
| 600 V | 4 | 10 | 25 | 50 |
| 定格電流 DC 110 V (A) | 抵抗負荷 1P 2P | 7 10 | 15 20 | 25 40 |
| 誘導負荷 | 1P 2P 3P | 2 5 7 | 2 6 15 | 5 30 60 |
| 閉路シャ断電流容量 DC 110 V (A) | 抵抗負荷 1P 2P 3P | 20 50 50 | 20 60 100 | 25 100 200 |
| 誘導負荷 (1.5 m sec) | 1P 2P 3P | 10 40 40 | 10 50 100 | 40 150 300 |
| 重量 (kg) | 0.75 | 1.35 | 1.7 | 6 |

注 1. AC の閉路シャ断電流容量と連続通電容量は M 形と同一
2. DC 誘導負荷の定格電流は A 級である。
3. 1P は1極のみで、2P は2極直列接続での定格電流を示す

で9種類(基本設計では7種類)で、交流操作の標準ユニットと直流操作の MD-7 形, 15, 35, 65 および 75 形がある。それらの定格と仕様は表 3.2, 3.3, 3.4 に示す。

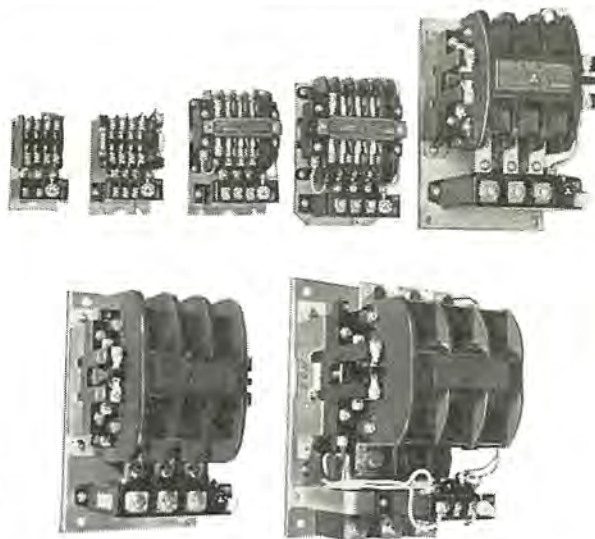


図 3.1 EMO 形電磁開閉器 シリーズ
Fig. 3.1 Type EMO magnetic switch series.

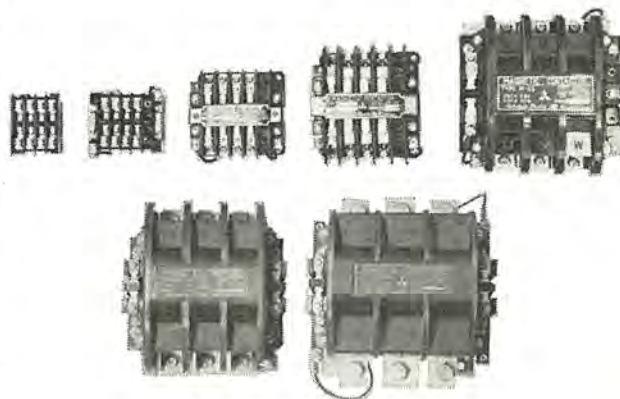


図 3.2 M 形電磁接触器 シリーズ
Fig. 3.2 Type M magnetic contactor series.



図 3.3 MD 形電磁接触器
Fig. 3.3 Type MD DC operated magnetic contactor.

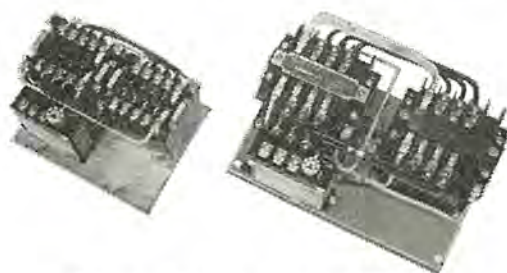
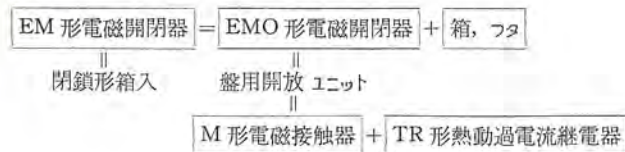


図 3.4 EMO 形(可逆形)電磁開閉器
Fig. 3.4 Type EMO (reversing) magnetic switch.

電磁開閉器の構成は次のとおりである。



4. 構造と特長

4.1 M 形電磁接触器の基本構造

コンパクトで簡単な構造で水平動作式の動作機構である。図 4.1 および図 4.2 に示すように、端子と固定接触子を取り付けた台部分、操作電磁石、コイル、操作電磁石の可動部と可動接触子とをもったクロスバー部分および取付足部分とからなっており、M-65 形以上のものはダイオングリッド付の消弧室を備えている。主要部分について以下に説明する。

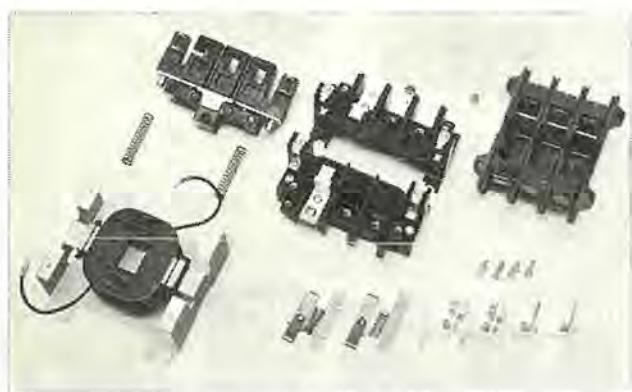


図 4.1 M-65 形電磁接触器分解図
Fig. 4.1 Components of type M-65 contactor.

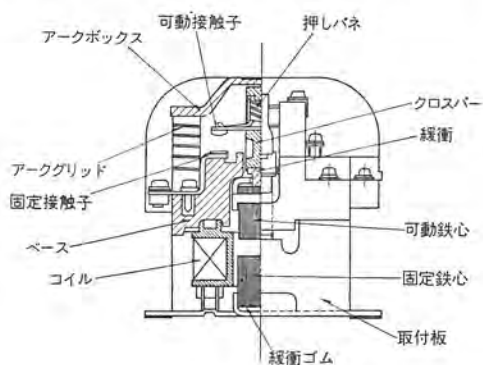


図 4.2 M-65 形電磁接触器断面図
Fig. 4.2 Cross sectional sketch of type M-65 contactor.

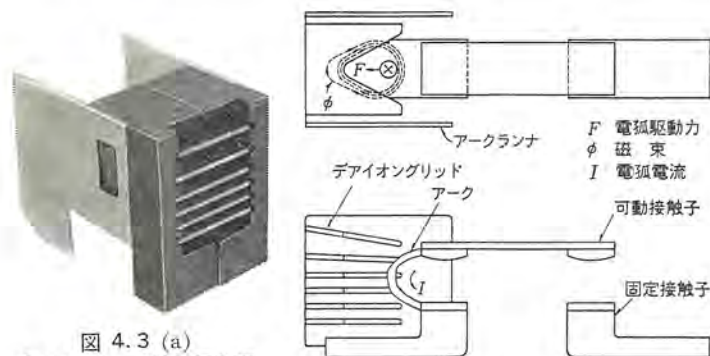


図 4.3 (a) デイオングリッド付消弧装置
Fig. 4.3 (a) Arc-quenching part with De-ion grids.

図 4.3 (b) デイオングリッド消弧説明図
Fig. 4.3 (b) Arc-quenching mechanism of De-ion grid.

4.1.1 開閉部接触機構

水平動作の機構で 2 点切の突合せ接触であり、接点部分は寿命の向上のため接点投入時の オドリ を減らすために、次の考慮を払っている。

(a) 可動部分の質量の減少、(b) 操作電磁石と関連して投入速度を過大にしないこと、(c) 接触圧力を大きくとる（接触圧力と閉路電流の関係は図 5.10 参照）、(d) 接点および鉄心の反発エネルギーの吸収を計ること、また接点材料の選定は耐溶着性、耐アーク性がすぐれ、接触抵抗が安定で総合的に消耗量の少ない銀酸化カドミウム (Ag-CdO) を使用している。また 2 断能力を高めるため、消弧室は図 4.4 に示す ダイオングリッドを使用している。開閉部の閉路 2 断電流容量および接点の オドリ による消耗影響その他は試験結果の項で詳しく述べる。

4.1.2 操作電磁石

EI 形および EI 形の一部変形した交流電磁石を用い、構造特性上考慮した点は

(a) 反抗力と吸引力の適合による 2 段入りの防止、図 4.4 はその一例を示す。

(b) 電磁石の可動部分が衝突したときの衝撃を減ずるため、重量軽減と緩衝機構とによる鉄心摩擦を減じ、鉄心中央脚の間ギャップの減少を計り、残留磁気によるトラブルの発生防止を計った。

(c) 鉄心のウナリ発生についてはクマ(隈)取りコイルの合理的設計による合成吸引力の平坦化、および鉄心の自由度を増すことによる不平衡力がかからないようにして、ウナリの発生防止を図っている。また鉄心面の防錆の問題についても考慮を払っている。

(d) クマ取りコイルは十分な機械的強度をもたせるような材料、形状、加工法、および組立を採る。

(e) 動作速度については、可逆形の切換動作の安全時間、接点の オドリ (電氣的寿命)、鉄心の衝突による摩擦 (機械的寿命) など

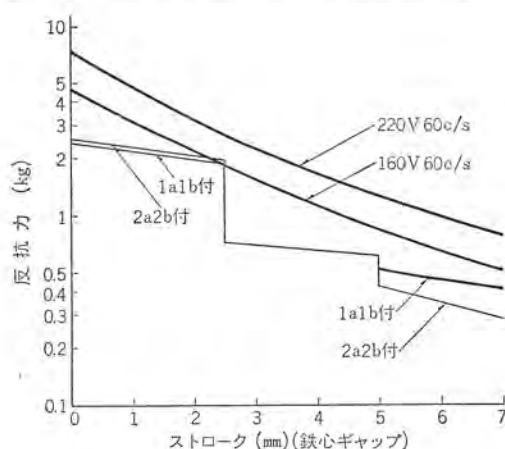


図 4.4 M-35 形電磁接触器の吸引力、反抗力特性曲線
Fig. 4.4 Force-displacement diagram for type M-35 contactor.

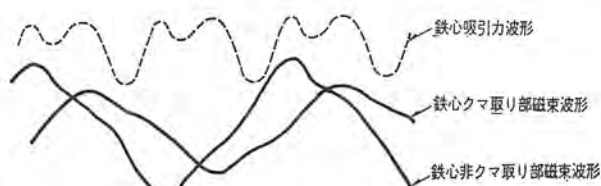


図 4.5 操作電磁石クマ取りコイルによる位相差と合成吸引力
Fig. 4.5 Resultant pull and flux for magnet with shading coil.

に関係するので、コイルのアンパター、可動鉄心の形状や反抗力について検討を行なった。

4.1.3 操作電磁コイル

コイルは電磁接触器の心臓部であり、従来の事故内容の過熱、焼損あるいは断線について詳細に検討し

(a) 巻線工作法の十分な品質管理

(b) ロ出しリード接続への考慮および工作管理

(c) サーモセットワス 真空含浸によって使用ふんい気に対して影響されにくいようにする

などを行なって使用に対する安定性の向上を図った。

4.1.4 構造部および絶縁材料

水平動作式の電磁接触器では絶縁物のモールドが重要な機構を占めているので、電気絶縁性ととも機械的に十分な強度、摩擦にもよく耐え、また熱的にも安定でなければならない。

使用材料は、この面から適当な種々のフェノール樹脂、メラミン樹脂などを区分して使用している。たとえば、アークボックスは耐アーク性の面からアスベスト入りのメラミン材料、台部分は熱的に安定なアスベスト混合のフェノール樹脂材、クロスバーなど機械的強度を有するものは布入り、さらに使用場所によっては特殊材料を使用し全般の性能向上を図っている。

4.1.5 補助接点部分

補助接点はいずれも接触器本体の組み込み構造とし、M-4形を除いていずれも5極構成で、そのうち2極が補助接点である(M-7形ではa接点またはb接点2個)、15形以上は電気的に独立した

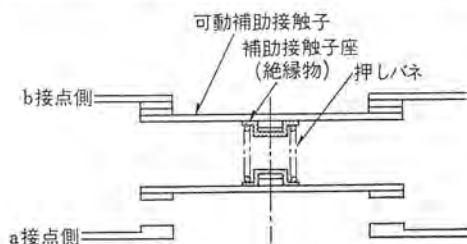


図 4.6 M 形電磁接触器補助接点の構造
Fig. 4.6 Construction of auxiliary contact for type M contactor.



図 4.7 EMO-15 形電磁開閉器
(補助スイッチ LI-111 形付)
Fig. 4.7 Type EMO-15 magnet switch with type LI-111 auxiliary switch.

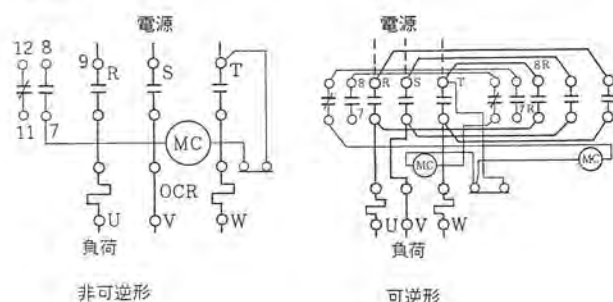


図 4.8 標準品接続図
Fig. 4.8 Connection diagram of standard equipment.

2a 2b 接点付としている。さらに図 4.7 に示すよう外部取付の LI-111, 112 形補助接点も使用可能としている。

4.1.6 分解組立、予備品の取り換え

ほとんどの部品は表面からドライバ 1 本で分解、組み立て可能な構造で、とくに可動、固定接触子およびコイルは取り換えの容易さを目的としている。

4.1.7 端子構造、接続および回路

端子は電源負荷側ともそれぞれ 1 線とし、またいずれも線押え方式で締付けトルクを規制して締め付け、ゆるまないようにした。熱動過電流継電器の加熱子要素は全機種 R 相と T 相にそう入し接続を統一し、またヨーロッパ系の規格に合致するよう加熱子を 3 素子とすることもできる構造とした。

4.2 特長の要約

(1) 最高級の性能

A 級 1 号以上の性能で、電気的寿命は 100 万回以上である。

(2) 小形軽量

(3) 信頼性が高く長寿命

(4) 広範囲な使用可能

種々の使用条件に適する設計をしている。

(5) 確実な電動機の保護

(6) 保守点検、取扱容易。

5. 特性試験結果

5.1 動作特性

各機種の動作電圧、動作時間、操作電磁石の入力の測定結果は表 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 にあげる。

M 形電磁接触器の操作電磁コイルは、標準品ではいずれも 3 定格

表 5.1 M 形電磁接触器動作電圧一覧

| 形名 | 補助接点 | 吸引電圧 (V) | | 落下電圧 (V) | | 備 考 |
|-------|-------------|--------------------|--------------------|-------------------|------------------|-----------------------------------|
| | | 60 c/s | 50 c/s | 60 c/s | 50 c/s | |
| M-4 | 1a | 132~156 | 120~144 | 90~110 | 76~100 | 200V 50c/s 220~200V 60c/s 3 定格コイル |
| M-7 | 2a 1a 1b | 144~160 124~146 | 128~144 110~130 | 100~124 95~115 | 90~110 80~100 | " |
| M-15 | 1a 1b | 144~158 | 124~140 | 100~124 | 86~110 | " |
| M-35 | 1a 1b | 145~165 | 126~144 | 100~124 | 86~110 | " |
| M-65 | 1a 1b | 145~159 | 124~138 | 110~126 | 94~110 | " |
| M-105 | 1a 1b | 140~152 | 118~132 | 100~116 | 84~100 | " |

表 5.2 M 形電磁接触器動作時間の一例

| 形名 | 電 圧 | 投 入 時 間 (m sec) | | 落 下 時 間 (m sec) | | |
|-------|--------------|--------------------|--------|------------------------|----------------------|-------------------------|
| | | コイル on から主接点 on まで | 完全投入時間 | コイル on から補助 b 接点 on まで | コイル off から主接点 off まで | コイル off から補助 b 接点 on まで |
| M-4 | 220 V 60 c/s | 12.5 | 14.5 | — | 8 | — |
| | 200 V 60 c/s | 13.5 | 15.5 | — | 8.5 | — |
| | 170 V 60 c/s | 15 | 17 | — | 8 | — |
| | 200 V 50 c/s | 13.5 | 15.5 | — | 8.5 | — |
| M-7 | 220 V 60 c/s | 9.7 | 12.5 | 6.5 | 10.1 | 13.5 |
| | 200 V 60 c/s | 10.5 | 13.5 | 8 | 9.5 | 12 |
| | 170 V 60 c/s | 12 | 15 | 9 | 9 | 12 |
| | 200 V 50 c/s | 9.7 | 12.5 | 6.8 | 10.5 | 13 |
| M-15 | 220 V 60 c/s | 13 | 16 | 7.6 | 12 | 15.3 |
| | 200 V 60 c/s | 15 | 17 | 9 | 12 | 15 |
| | 170 V 60 c/s | 16 | 18 | 10.8 | 11 | 13.6 |
| | 200 V 50 c/s | 15 | 17 | 9 | 12.8 | 15.6 |
| M-35 | 220 V 60 c/s | 16.2 | 19 | 13.5 | 9.5 | 13.2 |
| | 200 V 60 c/s | 19.5 | 23 | 14 | 8.2 | 11.5 |
| | 170 V 60 c/s | 26 | 31 | 16 | 8.2 | 11.5 |
| | 200 V 50 c/s | 19 | 21 | 15 | 9.8 | 13 |
| M-65 | 220 V 60 c/s | 16 | 19 | 10 | 14 | 21 |
| | 200 V 60 c/s | 20 | 23 | 14 | 14 | 21 |
| | 170 V 60 c/s | 24 | 27 | 18 | 13 | 20 |
| | 200 V 50 c/s | 15 | 18 | 9.5 | 16 | 23 |
| M-105 | 220 V 60 c/s | 21.5 | 26 | 13 | 15.5 | 22 |
| | 200 V 60 c/s | 23 | 27 | 14 | 14 | 21 |
| | 170 V 60 c/s | 29 | 34 | 16 | 13 | 19 |
| | 200 V 50 c/s | 20 | 24 | 11 | 15 | 22.5 |

注 1. 投入時間、落下時間は数例のオシロの平均時間で示す。
2. 完全投入時間は操作電磁石が完全に吸着するまでを示す

表 5.3 M 形電磁接触器操作電磁 コイル 電流および入力特性一覧

| 形 名 | コイル定格 | | 操作電磁コイル特性 (定常値) | | | | | 過渡突入 電流ピーク 値 |
|-------|------------|--------------|-----------------|-----------|---------|------|-----|--------------------|
| | 電 圧 (V) | 周波数 (c/s) | 電 流 (mA) | 入 力 | | 力 率 | | |
| | | | | (VA) | (W) | | | |
| M-4 | 220 | 60 | 41~48 | 9~10.5 | 2.4~2.9 | 0.27 | 5I | |
| | 200 | 60 | 36~43 | 7.2~8.6 | 1.8~2.3 | | | |
| | 200 | 50 | 46~54 | 9.2~10.8 | 2.5~3.1 | 0.29 | | |
| M-7 | 220 | 60 | 56~69 | 12.3~15.2 | 2.7~3.6 | 0.23 | 6I | |
| | 200 | 50 | 65~79 | 13~15.8 | 3.0~3.9 | 0.24 | | |
| M-15 | 220 | 60 | 110~132 | 24~29 | 6.0~7.5 | 0.26 | 6I | |
| | 200 | 50 | 122~148 | 24~30 | 6.5~8.0 | 0.27 | | |
| M-35 | 220 | 60 | 170~202 | 37~44.5 | 7.2~9.2 | 0.2 | 7I | |
| | 200 | 50 | 190~228 | 38~44.6 | 7.2~9.3 | 0.21 | | |
| M-65 | 220 | 60 | 310~360 | 68~69 | 12~15 | 0.19 | 11I | |
| | 200 | 50 | 340~390 | 68~78 | 12~15 | 0.19 | | |
| M-105 | 220 | 60 | 580~700 | 127~154 | 27~35 | 0.2 | 11I | |
| | 200 | 50 | 650~780 | 130~156 | 27~35 | 0.21 | | |

注: I は各形操作電磁コイルの平均電流値

表 5.4 MD 形電磁接触器の動作電圧と動作時間

| 形 名 | 補助接点 | コイル定格 DC (V) | 吸引電圧 (V) | | 落下電圧 (V) | | 吸引時間 (ms) | | | | 落下時間 (ms) | | | |
|-------|-------|--------------|----------|------|----------|------|--------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| | | | cold | hot | cold | hot | コイル on から主接点 on まで | コイル on から補助接点 on まで | コイル off から主接点 off まで | コイル off から補助接点 off まで | コイル on から主接点 on まで | コイル on から補助接点 on まで | コイル off から主接点 off まで | コイル off から補助接点 off まで |
| MD-7 | 2a | 100 | 69 | 83 | 17.3 | 21.0 | 100% | 80% | 100% | 80% | 100% | 80% | 100% | 80% |
| | | 24 | 14.6 | 18.1 | 3.7 | 5.0 | 32 | 46 | — | — | 17.5 | 16.5 | — | — |
| MD-15 | 2a 2b | 100 | 63 | 79 | 14.5 | 18.5 | 53 | 90 | 47 | 80 | 18.5 | 18.5 | 22 | 22 |
| | | 24 | 14.8 | 19 | 3.3 | 4.4 | 48 | 75 | 42 | 64 | 19.5 | 19 | 24 | 22 |
| MD-35 | 2a 2b | 100 | 62 | 76 | 13 | 16 | 48 | 64 | 42 | 55 | 28 | 26 | 32 | 30 |
| | | 24 | 12.5 | 15.9 | 2.8 | 3.6 | 46 | 57 | 40 | 50 | 27 | 25 | 31 | 29 |
| MD-65 | 2a 2b | 100 | 63 | 80 | 12.5 | 16 | 100 | 125 | 85 | 105 | 55 | 45 | 60 | 50 |
| | | 24 | 14.3 | 18 | 2.9 | 3.4 | 80 | 110 | 65 | 90 | 47 | 40 | 52 | 36 |

注 1. 吸引電圧, 落下電圧は周囲温度 40°C における平均値

2. 動作時間は周囲温度 20°C において, コイル印加電圧 100%, 80% における平均値

表 5.5 MD 形電磁接触器の操作電磁 コイル 電流, 入力一覧

| 形 名 | コイル定格 (V) | 電 流 (mA) | 入 力 (W) |
|-------|-----------|-------------|---------|
| MD-7 | 24 | 487 | 11.7 |
| | 48 | 235 | 11.3 |
| | 100 | 116 | 11.6 |
| MD-15 | 24 | 694 | 16.7 |
| | 48 | 358 | 17.2 |
| | 100 | 180 | 18.0 |
| MD-35 | 24 | 900 | 21.6 |
| | 48 | 436 | 20.9 |
| | 100 | 189 | 18.9 |
| | 200 | 100 | 20.0 |
| MD-65 | 24/48 | 2,140/1,070 | 51.2 |
| | 100/200 | 500/250 | 50 |

注 1. 周囲温度 20°C コイル cold 状態における平均値を示す。

2. MD-65 は 2coil type で並列または直列で使用する。

表 5.6 EM 形 電 磁 開 閉 器 温 度 上 昇

| 形 名 | EM-4 | EM-7 | EM-15 | EM-35B | EM-65 | EM-75 | EM-105 | EM-125 | EM-155 | M-7 | M-15 |
|-------------|------|------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-----|------|
| コイル | 温度計法 | 57 | 45 | 60 | 56 | 51 | 64 | 64 | 63 | 43 | 57 |
| | 抵抗法 | 62 | 53 | 69 | 63 | 61 | 79* | 78* | 77* | 51 | 64 |
| 鉄 心 | 53 | 43 | 55 | 49 | 61 | 60 | 85 | 83 | 84 | — | — |
| | 55 | 48 | 61 | 60 | 72 | 71 | 110 | 109 | 120 | — | — |
| 接 点 (可動) | 26 | 24 | 46 | 49 | 47 | 52 | 46 | 48 | 52 | 22 | 33 |
| | 27 | 21 | 42 | 40 | 34 | 45 | 46 | 47 | 46 | 20 | 30 |
| 電 源 側 端 子 | 26 | 26 | 44 | 42 | 40 | 47 | 46 | 46 | 36 | 19 | 28 |
| | 20 | 18 | 27 | 27 | 30 | 31 | 33 | 30 | 32 | 15 | 20 |
| 負 荷 側 端 子 | 26 | 26 | 44 | 42 | 40 | 47 | 46 | 46 | 36 | 19 | 28 |
| | 20 | 18 | 27 | 27 | 30 | 31 | 33 | 30 | 32 | 15 | 20 |
| 箱内温度上昇 (上部) | 7.5 | 7.5 | 16 | 33 | 63 | 78 | 100 | 120 | 150 | 10 | 20 |
| | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 主回路電流 (A) | 7.5 | 7.5 | 16 | 33 | 63 | 78 | 100 | 120 | 150 | 10 | 20 |
| | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| コイル電圧 (V) | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 周 波 数 (c/s) | 7.3 | 7.3 | 18 | 34 | 66 | 79 | 110 | 130 | 150 | — | — |
| | 7.3 | 7.3 | 18 | 34 | 66 | 79 | 110 | 130 | 150 | — | — |
| 加熱器呼称 (A) | 7.3 | 7.3 | 18 | 34 | 66 | 79 | 110 | 130 | 150 | — | — |
| | 7.3 | 7.3 | 18 | 34 | 66 | 79 | 110 | 130 | 150 | — | — |

注 温度上昇はいずれも実験例で °C で表わす。* は E 種絶縁である。

表 5.7 EM 形 電 磁 開 閉 器 シ ャ 断 電 流 容 量 試 験

| 形 名 | EM-7 | EM-15 | EM-35B | EM-65 | EM-75 | EM-105 | EM-125 | EM-155 |
|---------------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 試験電圧 (V) | 220 | 570 | 220 | 550 | 220 | 550 | 220 | 550 |
| | 220 | 570 | 220 | 550 | 220 | 550 | 220 | 550 |
| 電 流 (A) | 77 | 50 | 165 | 100 | 340 | 250 | 655 | 510 |
| | 77 | 50 | 165 | 100 | 340 | 250 | 655 | 510 |
| 周 波 数 (c/s) | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 力 率 | 0.38 | 0.37 | 0.36 | 0.38 | 0.37 | 0.38 | 0.33 | 0.35 |
| | 0.38 | 0.37 | 0.36 | 0.38 | 0.37 | 0.38 | 0.33 | 0.35 |
| C O 賣 務 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| アーク時間 (c/s) | 0.31 | 0.30 | 0.34 | 0.50 | 0.27 | 0.58 | 0.40 | 0.67 |
| | 0.31 | 0.30 | 0.34 | 0.50 | 0.27 | 0.58 | 0.40 | 0.67 |
| シャ断後絶縁抵抗 (MΩ) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 耐 電 圧 (V) | 1,500 | 2,200 | 1,500 | 2,200 | 1,500 | 2,200 | 1,500 | 2,200 |
| | 1,500 | 2,200 | 1,500 | 2,200 | 1,500 | 2,200 | 1,500 | 2,200 |

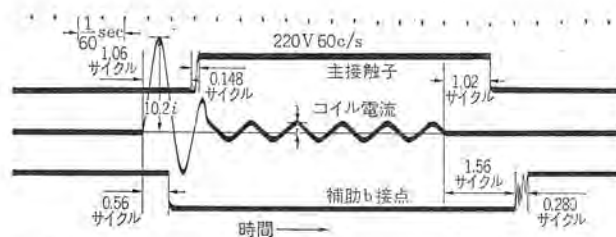


図 5.1 M 形電磁接触器の動作試験のオシログラム (M-105 形)
Fig. 5.1 Operation test oscillogram of type M-105 contactor.

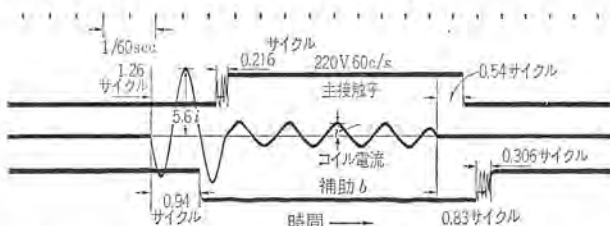


図 5.2 M 形電磁接触器の動作試験のオシログラム (M-35 形)
Fig. 5.2 Operation test oscillogram of type M-35 contactor.

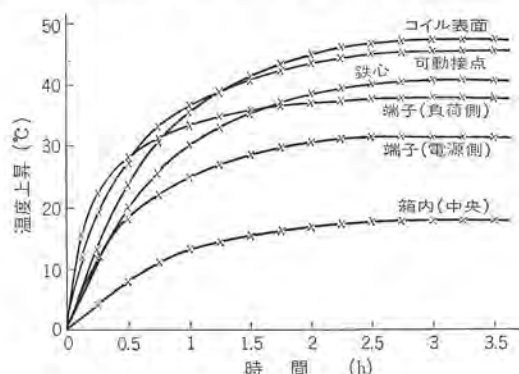


図 5.3 EM-35B 形電磁開閉器温度上昇曲線
Fig. 5.3 Temperature rise curves of type EM-35B magnetic switch.

(たとえば 200 V 50 c/s, 200 V 60 c/s, 220 V 60 c/s) を称呼し, そのいずれの条件でも温度上昇は規格内, 動作電圧では規格定格の 85% であるが, 約 80% で投入できる。また接点のオドリについては 4.1 節の開閉部の接触機構で述べたが, その結果について

オシログラム例, 図 5.1, 5.2 に示すように, 2~5ms 以下の非常に短いオドリ時間を示している。

5.2 温度試験

温度試験は, 主回路に最大適用電動機的全負荷電流に相当する電流を流し, 操作電磁コイルは定格電圧を印加して行なうが, その結果は表 5.6 に示すごとく規格に対し十分の余裕をもっている。図 5.3 は温度上昇曲線の例を示す。また M 形電磁接触器として抵抗負荷定格で使用する時の温度上昇は, 表 5.6 にその一部を示す。

5.3 閉路シャ断電流容量試験

5.3.1 シャ断電流容量

JIS 規格の A 級は, 電動機的全負荷電流に相当する電流の 10 倍もしくは定格電流の 10 倍を CO 5 回と規定しているが, M 形電磁接触器は全シリーズに対

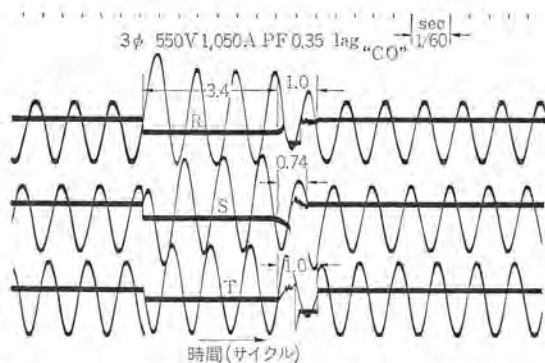


図 5.4 M-105 形電磁接触器 シュ断電流量試験 オシログラム
Fig. 5.4 Oscillogram of current breaking test.

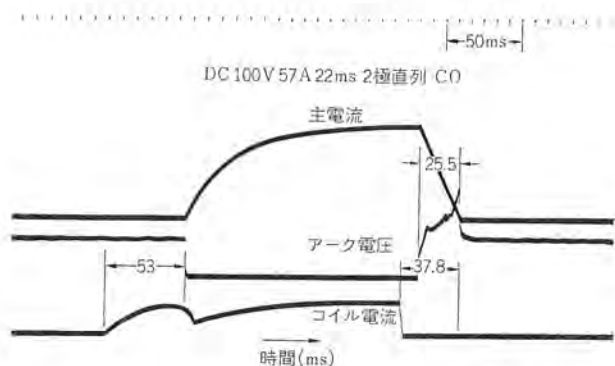


図 5.5 MD-15 形電磁接触器直流 シュ断電流量試験 オシログラム
Fig. 5.5 Oscillogram of DC current breaking test.

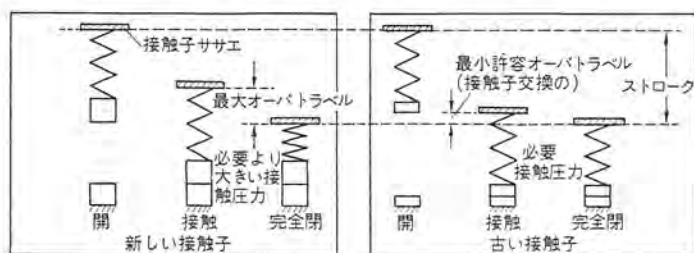


図 5.6 接点消耗と接触圧力、オーバートラベルの関係 (I)
Fig. 5.6 Relation between contact wearing and contact pressure, overtravel.

して CO 10 回以上実施し、アーク時間は正常であり シュ断後の絶縁抵抗 $1\text{M}\Omega$ 以上、耐電圧 $2\text{E}+1,000\text{V}$ をいずれも合格している。表 5.7 に シュ断電流量試験の一覧表を示す。図 5.4 は AC の シュ断試験の オシログラム を、図 5.5 は MD-15 形の DC シュ断試験の オシログラム を示す。

5.3.2 閉路電流量

閉路電流は電動機の起動時の大電流投入を想定して、5.3.1 項の電流を閉路 100 回以上行ない、接点の溶着しないことを規定している。そして試験は接点が消耗し、接点の オーバトラベル が減少し、接触圧力が減じた状態 (図 5.6, 5.7 参照) において溶着がないことが必要条件である。規格は接点の許容消耗量の 3/4 をけずることになっているが、接点溶着は確率的現象であり、当社は接点厚みの 50% を減じた状態で、200 回実施し溶着の生じないことを確認することとしている。これは接点の寿命限界を重量の 40%、接点の オーバトラベル を 60% としたとき、許容消耗量を全部けずって最悪条件で実施していることになる。接点の溶着は接触圧力、オーバートラベル、接点材質および機構上から生ずる接点の オドリなどに大きく影響されるが、図 5.8 では Ag-CdO で実験的に確認した大略の傾向を示す。

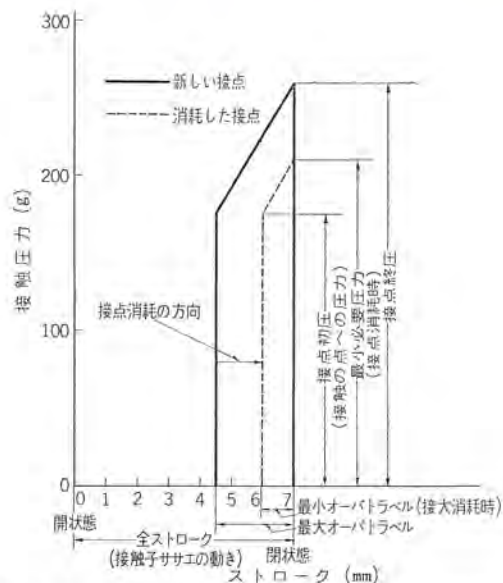


図 5.7 接点消耗と接触圧力、オーバートラベルの関係 (II)
(M-35 形電磁接触器)
Fig. 5.7 Relation between contact wearing and contact pressure, overtravel.

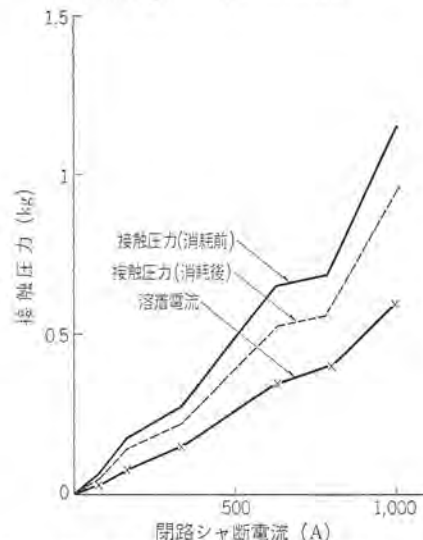


図 5.8 M 形電磁接触器の接触圧力と閉路 シュ断電流および溶着電流の関係
Fig. 5.8 Contact pressure, making and breaking current capacity for type M contactor.

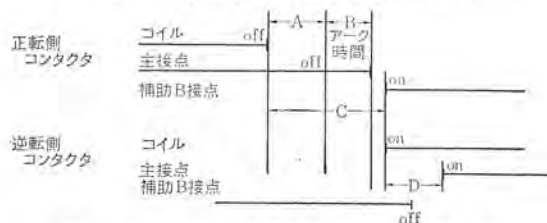


図 5.9 可逆形電磁接触器の切換時間関係図
Fig. 5.9 Relation diagram of time at reversing contactor changed.

5.4 可逆形の切換動作時間

可逆形電磁開閉器は、通常電気的または機械的 インタロック をつけて事故防止を図るが、その目的は

- (1) 切換時の相間短絡の防止
- (2) 片側の接触器投入時、他方の誤投入の防止
- (3) 片側の接触器が事故で接点溶着時、他方が誤投入され相間短絡されることの防止
- (4) 正逆同時に誤投入の防止

であるが、M形電磁接触器は電気的および機械的インタロックをつけて十分に安全を図っている。図5.9は切換時の時間の関係を示した図で、図5.10は定格電流の10倍の電流の瞬時切換のオシログラムを示す。オシログラムおよび表5.8に示すごとく、切換時最悪条件において十分安全な無通電余裕時間をもっていることがわかる。

5.5 振動試験と衝撃試験

振動試験は④艦船用電気機器振動試験 NDS XF 8017 を参考として下記の振動条件で異常のないことを確認している。

(1) 振動数 10~50 c/s (600~3,000 c/s) 1G 一定の条件で前後、左右、上下の3方向の加速に対して共振点はない。

(2) 定振動耐久試験は 16.7 c/s (1,000 c/m) 複振幅 4mm において正規取付で、前後、上下、左右方向各1時間加振し、誤動作および異常なし。

(3) 可変振動数耐久試験は振動数 6~30 c/s (360~1,800 c/m) 複振幅 2mm で振動数を変化し、1往復 24分 3方向各1時間加振し誤動作および異常なし。

衝撃試験は通常制御盤に取り付けて起こりうる衝撃として、他の大形の電磁接触器の投入落下時電磁石による衝撃(約 10 G)を想定して寿命試験を実施し、異常のないことを確認している。

5.6 高速度写真撮影による動作解析

動作機構の解析、動作時間の分析には、3,000~5,000 駒/秒程度

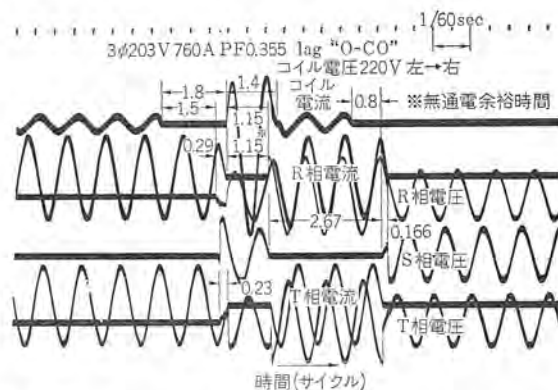


図 5.10 可逆形電磁接触器の切換時 シュ断閉路試験 (II)
Fig. 5.10 Oscillogram of current breaking test at reversing contactor changed.

表 5.8 可逆形電磁開閉器切換時間

| 形 名 | 回 路 条 件 | 時 間 (サイクル) (60c/s ベース) | | | | |
|---------|--|------------------------------|---------------------|--|---------------------------------|----------------------------|
| | | A コイル off 後主 接点 off 時間 | B 主 接 点 アーク時間 | C コイル off 後補 助 b 接点 on ま での時間 | D コイル励磁後主 接点 on までの 時間 | (C+D) -(A+B) 無通電余裕時間 |
| EM-2×7 | 3φ 220 V 75 A PF=0.35 コイル電圧 220 V 60 c/s | 0.48~0.58 | 0~0.35 | 0.68~0.82 | 0.52~0.68 | 0.51~0.59 |
| | 3φ 440 V 50 A PF=0.34 コイル電圧 220 V 60 c/s | 0.49~0.60 | 0.1~0.46 | 0.65~0.9 | 0.55~0.70 | 0.5~0.62 |
| EM-2×15 | 3φ 220 V 155 A PF=0.33 コイル電圧 220 V 60 c/s | 0.45~0.69 | 0~0.34 | 0.62~0.96 | 0.61~0.98 | 0.52~1.0 |
| | 3φ 550 V 100 A PF=0.39 コイル電圧 220 V 60 c/s | 0.65~0.78 | 0~0.36 | 0.62~1.08 | 0.59~0.95 | 0.5~1.03 |
| EM-2×35 | 3φ 220 V 330 A PF=0.35 コイル電圧 220 V 60 c/s | 0.55~0.62 | 0.05~0.27 | 0.95~1.1 | 0.92~1.36 | 1.0~1.57 |
| | 3φ 550 V 255 A PF=0.37 コイル電圧 220 V 60 c/s | 0.52~0.62 | 0.06~0.58 | 0.88~0.98 | 1.0~1.23 | 0.85~1.23 |
| EM-2×65 | 3φ 220 V 760 A PF=0.35 コイル電圧 220 V 60 c/s | 0.8~1.55 | 0~0.34 | 1.05~1.87 | 0.7~1.15 | 0.77~1.15 |
| | 3φ 550 V 525 A PF=0.33 コイル電圧 220 V 60 c/s | 0.8~1.63 | 0.45~1.15 | 1.03~2.0 | 0.7~1.14 | 0.39~0.9 |

注 1. 時間は 60c/s ベースで示す。
2. 電流は最大定格容量の電動機全負荷電流の 10 倍または定格電流の 10 倍で行なった。
3. CO 回数は 10 回で、時間はその範囲を示した。

の高速度写真を使用し、接触子の オドリ の現象、鉄心の緩衝機構などの動きの解析を行ない、機構と動作の改良を計って品質の向上に寄与している。

6. 寿 命

電磁開閉器は負荷開閉を繰り返すことによって、各部が摩耗、消耗し寿命に至るものであるが、通常問題にされるのは電流の開閉による接点の消耗、およびこれに関連する電気的寿命と、開閉による機構部分の摩耗消耗、破損に至る機械的寿命とがある。

もちろん使用環境、ふんい気による寿命、また経年変化による寿命が加わり非常に複雑な形態をとるものであるが、一般的には工場において起こりうる条件を予想しての等価試験と実用試験によって寿命の判定を行なう。EM 形電磁開閉器について実施した寿命試験の方法と経過の結果につきその一部について述べる。

6.1 電気的寿命試験

6.1.1 規格と判定基準

JIS または JEM による電気的寿命は、6.1.2 項で述べる責務で 50 万回故障なく開閉できれば 1 種の寿命があるとしているが、実際の使用状態では必ずしも十分ではないと考えられるので、当社 EM 形電磁開閉器においては電気寿命は定量的に

(1) 接点の許容消耗量を接点重量の 30~40% とする。

(オパトラベル量の減少を 50~60%)

(2) 寿命試験終了後の絶縁抵抗は 1 MΩ 以上とする。

(3) 開閉後の耐電圧は $2E+1,000$ V すなわち 2,200 V の耐電圧に 1 分間以上耐えるものと定め、各種の責務における寿命の判定を行なっている。また責務についても JIS のみでなく IEC の規定に対して検討を加えている。

6.1.2 電気的寿命試験の責務

代表的な電気的寿命試験責務として JIS 規格の A-1-1 適用、電動機的全負荷電流の 5 倍を投入し定格電流をシュ断する。

開閉ひんばん度は 1,200 回/時、通電率 40%、力率は投入で 0.3~0.4、シュ断で 0.6~0.7、寸動運転責務は 5I 電流、力率 0.3~0.4 の開閉を図 6.2 で示す。さらに上記混合の条件についての電気的寿命試験も実施している。



図 6.1 寿命試験中の EMO 形電磁開閉器と M 形電磁接触器
Fig. 6.1 Type EMO magnetic switch and type M contactor on electrical endurance test panel.

6.1.3 電氣的消耗の原因

接点の消耗の要因は種々考えられ単純ではないが、4章開閉部接触機構で述べたように接点のオドリ、シャ断時のアーク時間、接点材料、電圧、力率、開閉ひんぱん度、通電率などが影響する。

そのおもなものとして接点オドリの影響をみるため、M-15形電磁接触器で3 ϕ 、220V、60c/s、80A投入、16Aシャ断の標準の責務と、80A投入のみおよび16Aシャ断のみの試験結果を図6.3に表わした。結果として最初の設計方針としたオドリ減少による接点寿命の向上策は、所期の目的を達したと考える。接触圧力、オーバトラベルも消耗量の大小に関係し、個々の機種についてある限界値以上必要であり、この結果に従って接点の接触圧力、オーバトラベルの規制を行なっている。

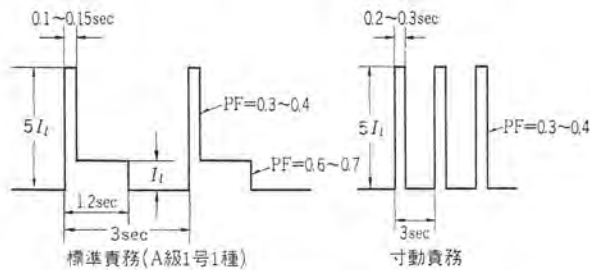


図 6.2 電氣的寿命試験責務の例
Fig. 6.2 Example of electrical endurance test duty.

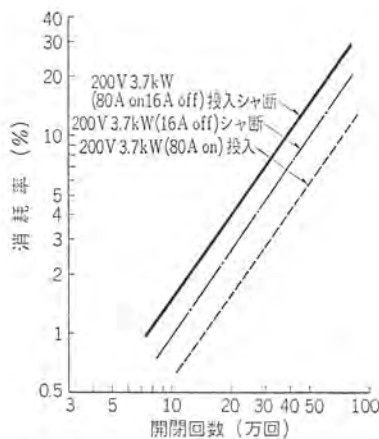
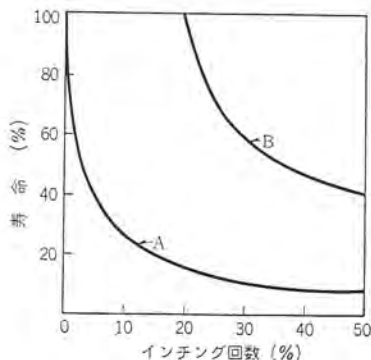


図 6.3 M-15形電磁接触器における投入時とシャ断時の接点消耗率
Fig. 6.3 Wearing of contacts at contact making and breaking electrical endurance test.



曲線Aは電磁開閉器の最大定格容量と同じ容量の電動機使用のとき、曲線Bは定格容量の1/2の電動機使用時の一例を示す

図 6.6 インチングと寿命の関係
Fig. 6.6 Relation of inching condition with electrical life.

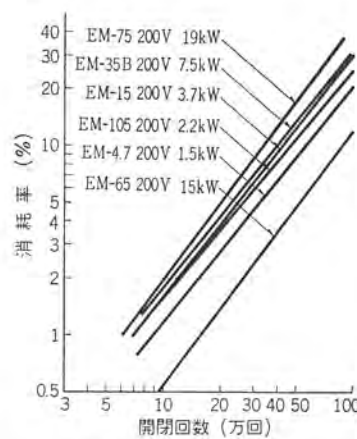


図 6.4 EM形電磁開閉器最大定格容量における電氣的寿命
Fig. 6.4 Wearing of contacts, type EM magnetic switch.

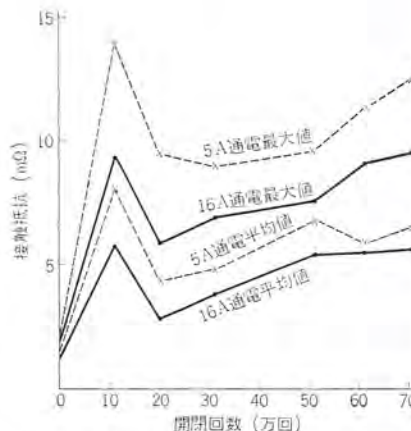


図 6.7 M-15形電磁接触器電氣的寿命試験中の接触抵抗の変化
Fig. 6.7 Changing of contact resistance at electrical endurance test.

6.1.4 負荷条件と消耗量

EM形電磁開閉器の、定格容量の標準条件における開閉回数と消費量の関係を図6.4に示す。いずれも1種の寿命回数は余裕があり、100万回以上十分に使用可能であることを示している。図6.5はM-7形における各種負荷条件における消耗率で、図中(A)は220V 1.5kW 37A投入、7.4Aシャ断、(B)は220V 2.2kW 50A投入、10Aシャ断、(C)は200V 0.75kW 寸動運転 20A投入、シャ断、(D)は200V 抵抗負荷 10A投入、シャ断、(E)は抵抗負荷 15A投入、シャ断の場合を示す。この結果から定格1.5kWに対し2.2kW、10Aに対し15Aにおいても十分に1種の寿命のあることを示している。これらの結果を総合して寸動運転が含まれる使用条件の開閉回数と接点消耗の関係は図6.6のようになる。

6.1.5 電氣的寿命試験中の接触抵抗

開閉を繰り返すことより、接点はアークで汚れた表面は酸化し接点の面もデコボコとなり、また接触圧力も変化し接触抵抗に変化を

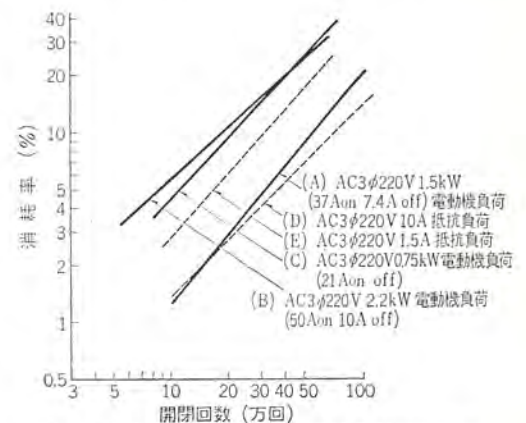


図 6.5 M-7形電磁接触器各種条件における接点消耗率
Fig. 6.5 Wearing of contacts under various conditions of type M-7 contactor.



(M-105形 550V 500A on 100A off 110万回後)

図 6.8 電氣的寿命試験後の接点と開閉部
Fig. 6.8 Contacts and switching part after electrical endurance test.

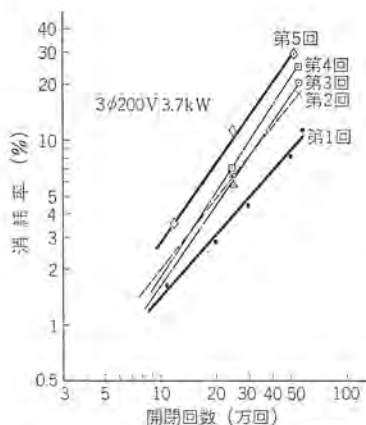


図 6.9 M-15 形電磁接触器の電気的寿命試験
Fig. 6.9 Wearing of contacts at contact replacement electrical endurance test.

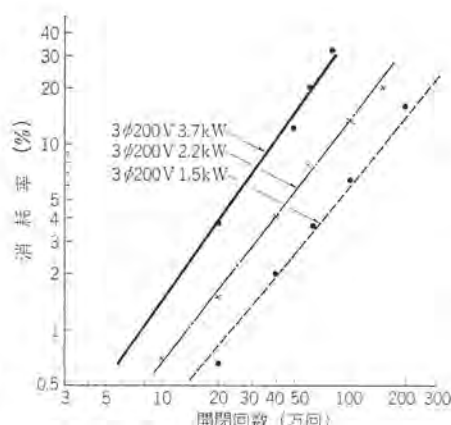


図 6.10 M-15 形電磁接触器電気的寿命試験
Fig. 6.10 Wearing of contacts at various rated capacity.

表 6.1 EM 形電磁開閉器機械的寿命試験

| 形名 | EM-4 | EM-7 | EM-15 | EM-35B | EM-65 | EM-105 |
|-------------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| 試験条件 | | | | | | |
| コイル | | | | | | |
| 試験電圧 (V) | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| 周波数 (c/s) | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 開閉ひん度 (回/時) | 7,200 | 7,200 | 1,200 | 7,200 | 7,200 | 7,200 |
| 開閉回数 (万回) | 1,000 | 1,000 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| 特性 | | | | | | |
| 動作電圧 (V) | 149 | 150 | 148 | 160 | 149 | 144 |
| 250 万回後 | 145 | 146 | 146 | 156 | 150 | 150 |
| 500 万回後 | 144 | 144 | 143 | 156 | 149 | 148 |

生ずる。この結果接点の温度上昇が高まり接点消耗にも影響が表われるが、M 形電磁接触器の電気的寿命試験中の接触抵抗の変化はきわめて正常で問題はない。図 6.7 は、一例として M-15 形電磁接触器の寿命試験の接触抵抗変化を示す。

6.1.6 開閉による接点表面状態

電流開閉により接点表面は アーク により侵され、また接点微粒子の飛散などにより種々の表面様相となる。これは接点材質により異なるが、Ag-CdO の場合正常運転における接点の消耗は図 6.8 にもみられるよう、細い黒い微粉におおわれたような状態で斑点が一部存在するが、インシュレーション 条件では接点粒が飛び黒色が増し、その中に大きな斑点が現われ接点の形状もかなりくずれ、明らかに消耗状態が異なるのが認められる。

6.1.7 機械的寿命と電気的寿命の関連

電磁接触器は電気的寿命と機械的寿命が区別されている。

(1) これは電気的消耗部品を取り換えればさらに使用できることを意味し、(2) 定格より小容量のものに使用したとき電気的寿命は延び、機械的寿命に近づくという二つの面がある。これについて試験結果を図 6.9 において、M-15 形電磁接触器で接点のみを取り換えて繰り返し 50 万回を 5 回実施した経過を示している。傾向としては機構部分の摩耗の影響と絶縁物の劣化の影響が現われ次第に消耗量は増加してゆくが、十分に取換使用可能を示し (1) の考え方で使用できる。

図 6.10 は定格容量を変えた責務での電気的寿命で、容量低減で寿命は増加し、ほぼ電流の二乗の逆比で電気的寿命が延びることを示している。

6.1.8 機械的寿命

機械的寿命については、無通電で 500 万～1,000 万回開閉を実施するのに長期間を要するので、開閉ひんばん度を上げて行なう。ただし、ひんばん度の変化による消耗と破損が異なって現われて

くる場合もあるので、EM 形電磁開閉器では 1,200 回/時 と、7,200 回/時 と、ひんばん度を変えた試験条件で実施している。

機械的寿命試験で主として問題となるのは操作電磁石の鉄心、接極面の摩耗、コイルの破損、機構部分の強度および機構部分の摩耗による動作特性の変化などであり、これらについては試作中の試験結果による検討で改良を加え、さらに量産中の製品についても定期的に寿命試験室で チェック 確認を実施している。

表 6.1 は EM 形電磁開閉器の機械的寿命試験結果の代表的一例を記す。

7. 熱動過電流継電器

7.1 TR 形熱動過電流継電器

熱動過電流継電器は、電磁開閉器に組み込まれて、電動機とくにかご形誘導電動機の保護装置として一般的に用いられている。

その機能は、電動機を過電流による焼損から保護することで、過負荷および拘束状態の電動機を回路から切り離すことにある。最近の電動機は一般的に小形化され、その熱的裕度は減少してきているので、これらの電動機

を保護する過電流継電器もこれに適した動作特性をもち電動機を確実に保護するものが必要とされる。EM 形電磁開閉器用 TR 形熱動過電流継電器は、最近の電動機の熱特性に適合するように開発したもので、電動機を過酷な使用から安全に保護するように考慮している。

7.2 構造と特長

TR 形過電流継電器は熱動式で、その構造は熱動素子として 2 組の タンザク (短冊) 形 バイメタル と加熱子 (3 素子は 3 組) をもち、これに応答する速切接点機構を耐熱性 モールド のケース内に組み込んだものである。回路に過電流が流れると バイメタル が加熱されて、ある一定量以上湾曲したとき機構は図 7.2 (a) において矢印のようにおし、接点機構が破線のように動作する。

TR 形過電流継電器の特長をまとめると

- (a) 動作電流は上面から調整 ツマミ により 80～120% の間で変化できる。
- (b) 加熱子は 2 素子が標準であるが、3 素子付も製作できる。
- (c) 制御回路接点は 1ab (1c) 付が製作できる。
- (d) 周囲温度補償を行なっている。
- (e) 非常に簡単な機構で動作が安定している。

7.3 動作特性

電動機の保護装置としての過電流継電器の理想的な特性は、電動機の熱特性 (電動機に流しうる電流と時間の関係) に近似し、かつ短時限側 (安全側) にあることである。熱動過電流継電器は安価であるが、信頼性があり、図 7.3 に示すような電動機の熱特性に類似した動作特性が比較的容易に得られるので、電動機保護用の過電流継電器として有効であり、現在最も多く使用されている。過電流継電器の動作特性は、各国各社によりかなり差があるが、ヨーロッパやアメリカのものは大略図 7.4 に示す特性をもっている。国内のものはこの両者の系統が混在するが、最近では電動機



図 7.1 TR 形熱動過電流継電器
Fig. 7.1 Type TR thermal over current relay.

表 7.1 TR 形熱動過電流継電器の種類と仕様

| 形 名 | | TR-4 | TR-7 | TR-15 | TR-35B | TR-65 (TR-75) | TR-105 (TR-125) | TR-35B +CT* |
|---------------------------|----------|---------|------|--------|--------|------------------|--------------------|----------------|
| 定 格 電 圧 (V) | | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 |
| 適用電動機 (kW) | 200V | 1.5 | 1.5 | 3.7 | 7.5 | 15(19) | 20(30) | 37 |
| | 400～500V | 1.5 | 1.5 | 5.5 | 11 | 22 | 45 | 75 |
| 加熱子の定格範囲 (A) | | 0.5～7.3 | 同 左 | 0.5～18 | 5.6～34 | 14～66 (79) | 79～93 (130) | |
| 操 作 回 路 接 点 定 格 (A) | 125V | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 | 3 |
| | 250V | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 |
| | 600V | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 組み合わせる電磁接触 器形名 | | M-4 | M-7 | M-15 | M-35 | M-65 (M-75) | M-105 (M-125) | M-155 |

* CT は専用の変流器で変流比は 15:1

の小形化などもあり、ヨーロッパ系の熱動過電流継電器に似た動作特性のものが多い。TR 熱動過電流継電器も図 7.5 に示すように、相当早い動作特性をもっている。

7.4 TR 形熱動過電流継電器による電動機の保護

7.4.1 電動機の過負荷および拘束状態の保護

過電流継電器が主として保護する電動機の状態は、正規の回路構成下における過負荷および回転子拘束状態である。これらの状態は、熱動過電流継電器では加熱子の選定を正しく行なえば確実に保護される。図 7.6 および表 7.2 は TR 形熱動過電流継電器による当社製般用 SB-A 形カゴ形電動機の保護の状態の一例を示すもので、この過電流継電器の動作特性は電動機の熱特性よりも常に短時間側にあり、また電動機各部の温度上昇は低く安全に保護されていることがわかる。

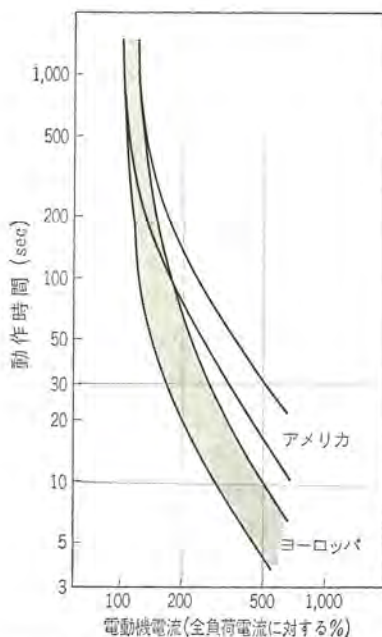


図 7.4 アメリカ系ヨーロッパ系における過電流継電器動作特性
Fig. 7.4 Characteristic curve of thermal over current relay.

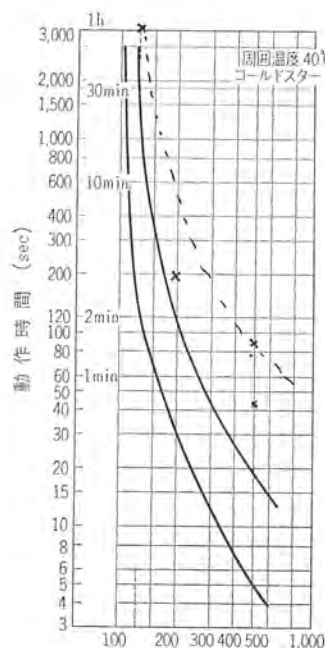


図 7.5 EM 形電磁開閉器動作特性曲線 (TR 形熱動過電流継電器)
Fig. 7.5 Operation characteristic curves of type EM magnetic switch.

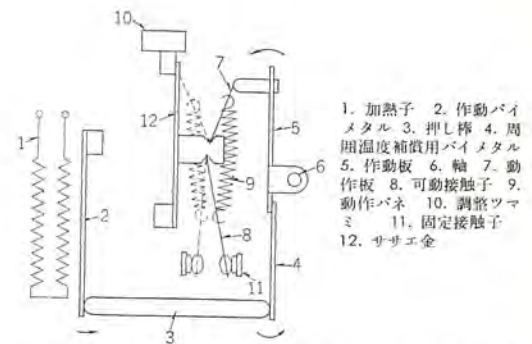


図 7.2 (a) TR 形熱動過電流継電器動作構造図
Fig. 7.2 (a) Operating mechanism of thermal overcurrent relay.



図 7.2 (b) TR 形熱動過電流継電器の内部
Fig. 7.2 (b) Interior of type TR thermal over current relay.

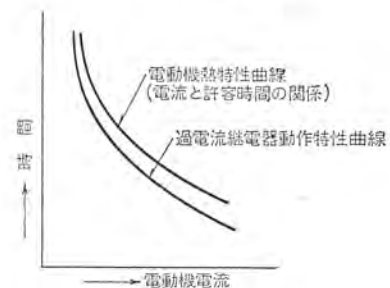


図 7.3 熱動過電流継電器の保護特性
Fig. 7.3 Protecting characteristic of thermal over current relay.

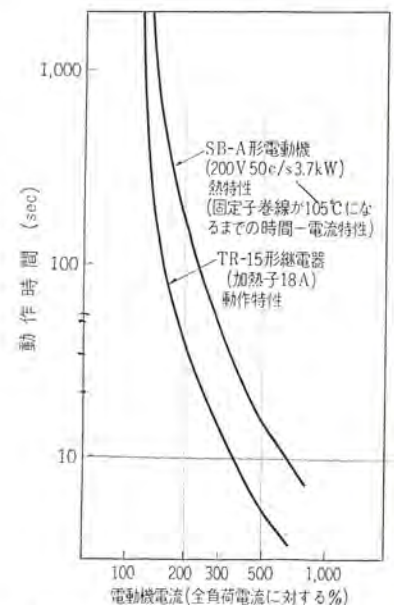


図 7.6 TR-15 形過電流継電器の動作特性と SB-A 形カゴ形電動機の熱特性
Fig. 7.6 Characteristic curve of thermal over current relay and thermal characteristic of type SB-A induction motor.

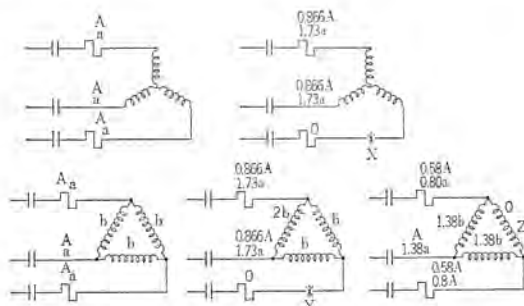
表 7.2 各種過電流における TR 形過電流継電器の動作時間とそのときの
三菱 SB-A 形 Δ 形電動機固定子巻線の温度 (周囲温度 40°C)

| 電動機 (kW) 200 V 50 c/s | 過電流 継電器 形 名 | 項 目 | 200% 電 流 コールド スタート | 200% 電 流 ホット スタート | 三相拘束 コールド スタート | 単相拘束 コールド スタート | 125% 電 流 ホット スタート | 75% 負荷 3 ϕ →1 ϕ |
|--------------------------|-------------------|--------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 0.75 | TR-7 | 電動機巻線温度 (°C) | 58 | 86 | 77 | 65 | 90 | 78 |
| 1.5 | TR-7 | 温 度 (°C) | 64 | 81 | 72 | 60 | 88 | 73 |
| 3.7 | TR-15 | " | 56 | 87 | 62 | 57 | 92 | 94 |
| 5.5 | TR-35B | " | 82 | 92 | 77 | 90 | 92 | 101 |
| 15 | TR-65 | " | 62 | 94 | 60 | 62 | 101 | 74 |

表 7.3 三相電動機の相事故の各状態 (図 7.7) における TR 形熱動過電流
継電器の動作時間と正規運転での動作時間の比較

| 条 件 | 電動機 結線方式 | 負 荷 (%) | 動 作 条 件 | 最大電動機電 流 (全負荷電 流に対する%) | 加熱子定格に 対する加熱子 電流の % | 単相引はずし 時 間 | 同じ電動機で 三相引はずし 時間 |
|-----|-------------|------------|------------|------------------------------|---------------------------|---------------|------------------------|
| ① | Y, Δ | 100 | 正 規 三 相 | 100 | 83 | — | 不動作 |
| ② | Y | 100 | X 点で開放 | 173 | 144 | 1' 40" | 1' 40" |
| ③ | Δ | 100 | Y 点で開放 | 200 | 144 | 1' 40" | 50" |
| ④ | Δ | 68.5 | " | 137 | 99 | 不動作 | 4' 40" |
| ⑤ | Δ | 100 | コイル Z 点で開放 | 138 | 67 | " | 4' 30" |
| ⑥ | Δ | 148 | " | 205 | 99 | " | 46" |
| ⑦ | Y, Δ | 拘束 (600) | 正 規 三 相 | 600 | 500 | 6.5" | 6.5" |
| ⑧ | Y | " | X 点で開放 | 520 | 433 | 8" | 8" |
| ⑨ | Δ | " | Y 点で開放 | 600 | 433 | 8" | 6.5" |
| ⑩ | Δ | " | コイル Z 点で開放 | 600 | 290 | 15" | 6.5" |
| ⑪ | Δ | 63 | Y 点で開放 | 126 | 99 | 不動作 | 18" |

動作時間は TR-35B による。拘束電流は全負荷電流の 600% とする。
過電流継電器の最小動作電流は ①~⑩ は電動機全負荷の 120% ⑪ は 110% とする。



A: 三相の正規結線状態において過電流継電器を流れる拘束電流
a: 三相の正規結線状態において過電流継電器を流れる運転電流
B: 三相正規の結線状態において電動機巻線を流れる拘束電流
b: 三相正規の Δ 結線状態において電動機巻線を流れる運転電流

図 7.7 三相の各種相事故における電動機巻線と
継電器に流れる電流

Fig. 7.7 Currents flowing in motor winding and relay at
fault on various phases of three phase.

7.4.2 三相電動機の相事故に対する保護

三相誘導電動機においては、運転中しばしば三相電源の 1 相が開放されるか、電動機巻線の 1 相が断線する事故が起こることがある。図 7.7 は、XYZ の点で回路が開いたと仮定した状態を示す。図示の数値は、運転中における出力を一定と考え、電流はインピーダンスの逆比に分流するとして計算した電流を示す。表 7.3 は図示のような 2 素子の過電流継電器を含む回路において、電動機の各種の相事故における熱動過電流継電器の動作時間と、正常な接続状態での動作時間とを比較したものである。過電流継電器で、電動機の相事故による焼損を保護しようとする場合最悪の条件は、表 7.3 の⑤⑩の条件である。しかしこの場合電動機自体がすでに故障しているので、保護の必要性は比較的少ないが、もし 3 素子の過電流継電器を用いれば保護は可能となる。

欠相事故で、最も問題なのは④に示した状態である。その他の①②③⑦⑧⑨⑩の状態の場合は、単相になって過電流継電器の動

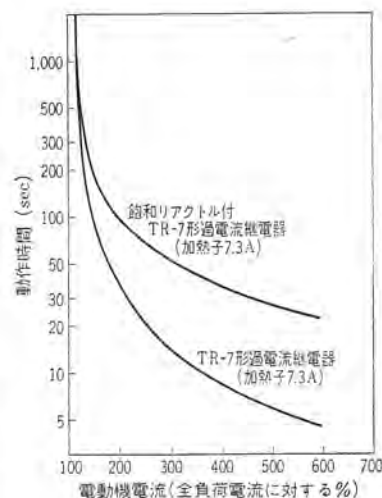


図 7.8 飽和リアクトル付過電流
継電器の動作特性
(飽和リアクトルの有無による動
作特性の比較)

Fig. 7.8 Characteristic curve of
thermal over current relay with
saturating reactors.



図 7.9 飽和リアクトル付 TR-35B 形過電流継電器
Fig. 7.9 Type TR-35B thermal over current
relay with saturating reactors.

作時間が若干延びても、TR 形熱動過電流継電器を使用すれば、
時限が短かく熱的にほとんど問題なく保護できる。しかし④の状
態でも過電流継電器の最小動作電流を全負荷電流の 110% に選定
すれば、電動機焼損のおそれほとんどありえない。以上のように
に TR 形熱動過電流継電器による単相運転 (過電流状態) の保護
は、加熱子の選定を適正に行なえば可能である。

7.5 起動時間が長い電動機の保護

慣性 (GD^2) の大きい負荷を運転する電動機、ファンモータのよう
に起動に長時間を要する電動機を保護しようとする場合、普通の
過電流継電器の使用では起動時に動作し起動できない場合がある。
このような場合もし大きな定格の加熱子を使用すると、過負荷状
態で十分な保護特性が得られず、過電流継電器を用いる意味がな
くなる。このような場合、当社では飽和リアクトル付熱動過電流継
電器を使用することで有効に解決している。飽和リアクトルは過電
流継電器加熱子に並列に接続される小形鉄心を有するリアクトルで、
起動電流のような大きな過電流のときに鉄心を飽和させて、電流
の大部分を分流する。したがってその分流の割合に応じて、熱動
過電流継電器の動作時間が延びる。TR 形熱動過電流継電器は飽
和リアクトルを設けることにより、500% 過電流で 30~40 秒 (可
飽和リアクトルなしのときの動作時間の 2~7 倍に相当する) の時
限まで得られ、また 200% 電流以下の過負荷では通常の過電流継
電器の特性が得られる。

7.6 熱動過電流継電器の周囲温度補償

熱動過電流継電器は、周囲温度が変化するとその動作特性がか

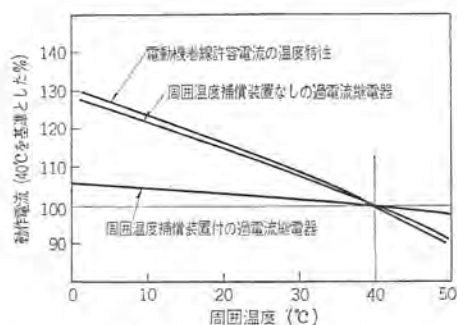


図 7.10 周囲温度補正曲線

Fig. 7.10 Calibration curve of ambient temperature.

なり変化する。パイメタルの動作温度が 105°C（A 種絶縁の許容温度）にセットされる場合、継電器の温度補正特性と電動機の熱特性のそれとはほぼ同一傾向となり、電動機と過電流継電器とが同じ周囲温度中にあるときは良好な保護特性が得られる。しかし調整ツマミをもつ継電器においては、動作温度を常に 105°C とすることは困難であり、また水中モートルのように過電流継電器と電動機の周囲温度に大きな差のできる場合には、周囲温度が変化しても動作特性が変わらない周囲温度補償付の過電流継電器が要求される。周囲温度補償付の TR 形過電流継電器を用いれば 40°C 以下の周囲温度では常に電動機は安全に保護される。

7.7 熱動過電流継電器の過電流耐量

熱動過電流継電器の加熱子は一定以上の電流を流すと、継電器が動作する前に溶断することがある。TR 形過電流継電器においてはその電流値は各加熱子により異なるが、だいたい 1,500% 程度の過電流強度をもっている。図 7.11 は加熱子溶断特性の一例である。

実際の使用範囲は、電磁開閉器が短絡保護を目的としないこと、かつ形誘導電動機の起動電流が定格電流の 5~6 倍程度であることからこの過電流強度は十分な値である。

7.8 加熱子の称呼電流と調整ツマミの目盛

熱動過電流継電器の加熱子定格の称呼の方式には、適合する電動機電流により称呼するものと、過電流継電器の最小動作電流

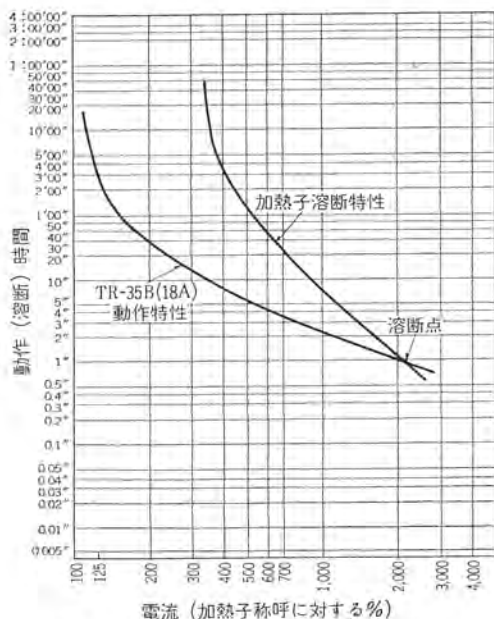


図 7.11 加熱子溶断特性（動作特性）

Fig. 7.11 Melting characteristic curve of heater used for thermal over current relay.

（以下 U.T.C. と呼ぶ）により称呼するものと 2 種類ある。TR 形過電流継電器は、後者の U.T.C. をもって加熱子称呼を行なっている。たとえば 7.3 A の加熱子の継電器は、周囲温度 40°C で標準箱入りの EM 形電磁開閉器に取り付けたとき、U.T.C. が 7.3 A である。また継電器の上面に取り付けられた調整ツマミには、80~120 の目盛もっているが、これは U.T.C. に対する乗率を示すもので、たとえば 90 のときは U.T.C. が加熱子称呼の 90% になることを示す。

7.9 熱動過電流継電器の選定

熱動過電流継電器の加熱子の選定にあたっては、7.4 節で述べたような保護特性をもたせるようにしなければならない。

TR 形過電流継電器においては、電動機の定格電流を調べ加熱子選定表により適切な加熱子を選定すればよい。選定例として 7.3 A の加熱子は、定格電流 6.08~6.63 A の電動機に適合することがわかるが、この値は $\frac{7.3}{1.2} \sim \frac{7.3}{1.1}$ を示すものである。したがって 6.08~6.63 A の定格電流の電動機であれば、TR 形過電流継電器の加熱子称呼は U.T.C. を示すものであるから、7.3 A の加熱子を選定することにより、U.T.C. が電動機定格電流の 105~125% の間にある熱動過電流継電器が選定でき、十分な保護を保証する。

8. 新形 EM 形電磁開閉器の適用の問題

8.1 適用

電磁開閉器は、電動機の運転保護のほか種々の用途に使用されるが、適用にあたって、その運転方法、使用回路条件および設備場所などについて十分検討して適用することが使用開始後設備や機械の有効な使用となり、また適切な保守についても望ましいことである。ここでは、そのおもな項目のみをあげる。

(1) 使用場所

使用ふんい気について、外箱の保護構造は一般用は閉鎖形を使用するが、ジツナイの多い場所では防ジツ構造、機械工場などでは油や水が侵入しないよう考慮する。これは接点の異常消耗、コイル焼損また鉄心の発ショウ（錆）によるウナリなどの原因を除くためにも必要である。さらに腐食性ふんい気に対する防食構造、吸湿性大なる場所に対する防水構造なども、使用に先だち検討することが必要である。

(2) 定格容量の選定

適用負荷の種類、電圧、容量に適したものを選ぶのは当然であり、電動機負荷の場合電動機的全負荷電流による加熱子定格の選定、操作回路電圧によるコイル定格の選定も重要である。

(3) 使用条件に対する考慮

電磁開閉器の定格容量は通常の使用状態のもので、寸動運転や逆相制動に使用するときには通常定格容量を下げて適用する。

EM 形電磁開閉器の特殊条件での定格は表 8.1 に示す。

(4) 熱動過電流磁電器

詳細について 7 章で述べたが、負荷の特質、使用条件によって定格の選定、特性について注意を要する。

(5) 回路構成

電磁開閉器はその目的から短絡発生時の保護、すなわち短絡電流のシャ断能力はない。短絡故障時の保護のために、ヒューズまたはノーヒューズシャ断器の使用が望ましく、このとき相互の動作協調が必要となる。（詳細は ED 形および EE 形電磁開閉器の項を参照）

表 8.1 EM 形電磁開閉器特殊使用の定格容量 (AC 200V 級 3φ カゴ 形 モード)

| 形 名 | 寸 動 運 転 の 容 量 (kW) | | | 逆 相 制 動 の 容 量 (kW) | |
|--------|--------------------|-----------------|-------------------|----------------------------|---------------------------|
| | ※1 寸動 10% 前後 | ※2 寸動 30% 前後 | ※3 寸動 50% をこえる | モーターが完全に停止し ないうちに運転に入れる | ブラッキングリレーを使 用しモーター完全停止 |
| EM-4 | 1.1 | 0.75 (1.1) | 0.4 (0.75) | — | — |
| EM-7 | 1.1 | 0.75 (1.1) | 0.4 (0.75) | 1.1 (1.5) | 0.4 (0.75) |
| EM-15 | 2.2 | 1.5 (2.2) | 1.1 (1.5) | 2.2 (3.7) | 1.1 (1.5) |
| EM-35B | 5.5 | 3.7 (5.5) | 2.2 (3.7) | 5.5 (7.5) | 2.2 (3.7) |
| EM-65 | 11 | 7.5 (11) | 5.5 (7.5) | 11 (15) | 5.5 (7.7) |
| EM-75 | 15 | 11 (15) | 7.5 (11) | 15 (19) | 7.5 (10) |
| EM-105 | 19 | 15 (19) | 11 (15) | 19 (22) | 11 (15) |

1. 寸動の % とは、寸動運転の回数×100/全運転回数 をいう。
たとえば 10% は 1,200 回/時 運転で、120 回が寸動運転であることを示す。
2. ※2 の寸動のひん度としては 1 秒 1 回 連続 1 分以内 1 秒 2 回 連続 30 秒以内
3. ※2 の “ ” 1 秒 1 回 連続 3 分以内 1 秒 2 回 連続 1 分以内
6. ※3 の “ ” 1 秒 2 回 連続 3 分以内 1 秒 3 回 連続 1 分以内
5. 上記の適用容量で 50 万回以上の電気的寿命である。
ただし、() 内は寿命を 10~20 万としたときの適用容量を示す。

表 8.2 EM 形電磁開閉器の端子締付トルク (主回路)

| 形 名 | 電動機容量 (kW) | 端子ネジサイ ズ (mm) | 電 線 太 さ (mm ²) | 締付トルク (kg-cm) |
|---------|---------------|------------------|-------------------------------|------------------|
| EM-4, 7 | 1.5 以下 | 3.5 | 1.6φ, 2 | 10 |
| EM-15 | 2.2, 3.7 | 4 | 2φ, 3.5 | 15 |
| EM-35B | 5.5, 7.5 | 5 | 2.6φ, 3.2φ, 5.5, 8 | 22 |
| EM-65 | 11, 15 | 6 | 14, 22 | 45 |
| EM-75 | 19 | 8 | 30 | 70 |
| EM-105 | 22 | 8 | 38 | 100 |
| EM-125 | 30 | 8 | 50 | 100 |

8.2 種々の負荷条件に対する定格

寸動運転や逆相制動のような使用は電磁開閉器にとって過酷な使い方で、6 章で述べたように、接点の消耗は通常の運転より大きくかつ絶縁の劣化の度合いも大きくなる。したがって電磁開閉器の定格容量を低減して考えるが、これは寸動運転の全体の運転 %、ひんばん度、逆相制動の運転の度合いなどを考えて等価的な試験で確認または推定した値であり、表 8.1 から特殊使用条件に対する定格の選定および寿命の推定が可能である。

8.3 電線締付部の締付トルク

電線の端子部への締め付けは種々の方法がとられるが、配線と運転後の保守の問題とも大きな関係があり、適正な締め付けをすることが必要である。一般には、端子のネジに適合したドライバまたはボックスを使用し、表 8.2 の締付トルクを基準にして十分締め付けることが望ましい。

8.4 適用から生ずる諸問題

適用の誤りからの事故や問題もかなり考えられ、適用上の参考となると思われるので、2, 3 の例をあげる。

(1) 操作回路電圧の問題として、(イ) 不足電圧による投入不能で コイル 焼損、(ロ) 電圧不足での投入不完全で、パツキによる接点の異常消耗や溶着の発生、これは電源電圧が低いのみならず電源容量の不足、電線の容量不足や配線が長いときなどによる電動機起動時の瞬時の電圧不足でも生ずる。(ハ) 過電圧による温度上昇で コイル の絶縁劣化、操作電磁石の衝撃過大による機械的損傷がある。

(2) 種々の原因による接点の異常消耗

前項電圧不足による パツキ、水または油が接点に付着したり予

想外に激しい寸動運転、操作スイッチ制御リレーなどの誤動作による接点の パツキ などの原因が考えられる。

9. 保守点検

保守点検は正しい選定適用によってかなり減らしうるものであるが、制御装置の種々な使用条件すなわち温度変化、ジューイ、振動、衝撃などの周囲状況、運転者による運転条件などの多くの要因から、必要に応じて保守点検をするのは望ましいことである。

9.1 点検時期

制御装置の運転初期における点検が重要で、回路条件や運転条件を掌握し、今後の保守点検を決定するのに重要な資料となる。また運転後定期的に重要箇所を点検していく。

9.2 点検箇所

電磁開閉器、接触器の性格から点検箇所は、(1) 接点の消耗状態 (2) 接触状態 (3) 電線締付部 (4) 器具の汚染状態 (4) 動作の確認 (6) 絶縁状態などであり、また運転回数の推定から使用機器の取り換えも実施し、合理的な保守点検を行なうことが望ましい。

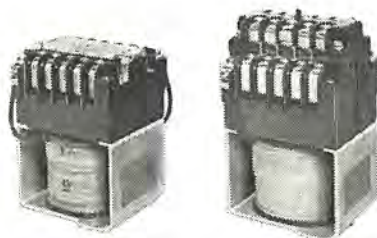
10. む す び

新形 EM 形電磁開閉器 シリーズ について、開発に際しての考え方、構造、特長、特性試験結果、とくに寿命については詳細な接点消耗の結果とその解析、適用の問題などについて紹介したが、これら EM 形電磁開閉器を機械装置、工場設備その他の制御装置に適用および使用するときの資料として少しでも役だてば幸いと考える。

さらに今後広範囲な使用においての使用条件、使用方法での実績結果により改良を加え、需要家各位からより満足いただけるすぐれた電磁開閉器として発展させていきたいと願っている。

各位のご批判とごべんたつをせつに願う次第である。

終わりにあたり開発に際してご指導、助言いただいた方々および長期にわたって協力された試験、工作の関係各位に謝意を表する。



(左から MRD-5, MRD-55)

図 3.2 MRD 形直流操作電磁継電器
Fig. 3.2 Type MRD DC operated magnetic control relay.

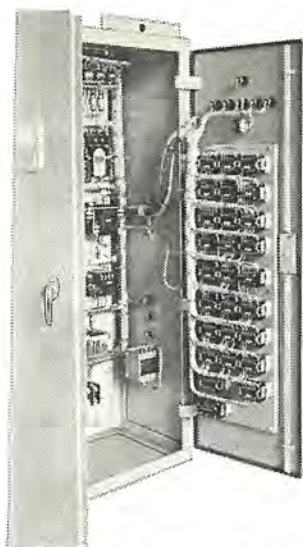


図 3.3 MR 形を使用した制御盤
Fig. 3.3 Control panel using type MR relay.

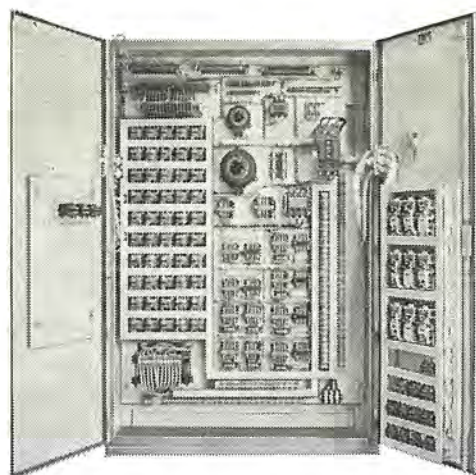


図 3.4 MR形を使用した制御盤
Fig. 3.4 Control panel using type MR relay.

設計であり、定格、性能などほとんど同一である。

4. 構造および特長

モールド部品を主体とする水平動作式の機構を採用することによりコンパクトな構造とし、性能面の向上を計るとともに、小形軽量ならびに安価とした。その概略は図 4.1 の断面図および図 4.2 の分解図で示すように (1) 可動接触子、押しバネなどが組み込まれているクロスバと、T 字形可動鉄心とがピンで連結されている可動部分、(2) 固定接触子をネジ止めし、可動部分を収納する形状のケース部分、(3) 中央脚にコイルワックをそう入する E 形固定鉄心と取付台部分などから構成されている。以下構造について設計上、とくに考慮を払った点について述べる。

4.1 接触子部分

4.1.1 部品の共通化

接触子部分の可動接触子、押しバネ、固定接触子、端子ネジな

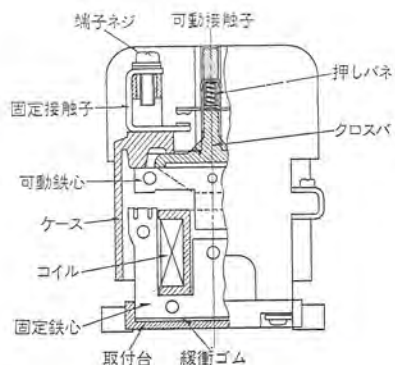


図 4.1 MR-4 形構造概略図 (常時開接触を示す)
Fig. 4.1 Section sketch of type MR-4 relay. (normally open)



図 4.2 MR-4 形の分解図
Fig. 4.2 Components of type MR-4 relay.

どは全機種共通に使用できる設計とし、部品の取り換えや予備、品の取り扱いの際、まぎらわしきのない構造とした。

4.1.2 同一部品による a 接触より b 接触への変更

固定接触子をコ字形状とし、同一部品による組み換えで a 接触から b 接触へ、またその逆の変更を可能とした。

図 4.1 は常時間 (a) 接触状態を示し、部品組換え後の図 4.3 は常時間 (b) 接触状態を示す。

4.1.3 防じん(塵)カバー付

接触子部分には透明な防じんカバーを取り付けるとともに、コ字形固定接触子の形状によって、半密閉構造とし、配線クズなどの侵入を防ぎ、動作不良およびじん埃などに起因する接触不良の懸念を除いている。

4.2 鉄心部分

とくに開閉動作の繰返しによって生ずる鉄心摩耗とウナリを減少させるため、次の考慮を払っている。

(1) 鉄心形状による重量軽減

鉄心形状は ET 形とし、EE 形に比べて可動部分の重量軽減を計り (2) 項とともに鉄心摩耗量を少なくしている。

(2) 鉄心の緩衝とフロート構造

固定鉄心に衝撃吸収用の緩衝ゴムを使用し、可動鉄心にも若干の自由度を設け鉄心の片当りを防ぎ、鉄心衝突時のエネルギーを吸収するいわゆるセルフフロート構造をなし、ウナリの減少とともに鉄心摩耗を少なくしている。

(3) 中央脚の間隔と鉄心のカタ

残留磁気および、ウナリの防止のため鉄心中央脚には適度の間

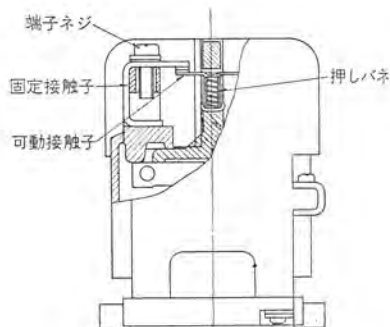


図 4.3 MR-4 形構造概略図 (常時閉接触状態を示す)
Fig. 4.3 Cut away sketch of type MR-4 relay. (normally close)

ガキを設ける必要がある。

この間ガキは機械的寿命以上に保てるよう設計することは可能であるが、この寸法を許容すれば保持電流の増大をきたして電磁石部分の設計に影響する。当社では電磁コイルの入力が若干大きくなっても実質寿命を向上させるために、必要な間ガキをとった。

鉄心摩擦に対しては接極面積、鉄心のリベットカシメ圧力、および鉄心接極面の硬度が関係するので、鉄心材料には高級な硬いケイ素鋼板を採用し、鉄心衝突面の表面硬度を上げている。

(4) クマ取りコイルの強度

クマ取りコイルの強度は機械的寿命を左右する重要な要素であり、材質、工作方法、熱処理（ヒズミとり）、固定方法などについてそれぞれ十分の検討を行ない、生産性および経済性も考慮しクロム銅板を選び、プレス抜き、熱処理後コーキング止めの方法を採用している。

(5) 鉄心の接極面粘着と防シヨウ（錆）の問題

電磁継電器の事故に落下不能がある。これには鉄心の残留磁気の影響によるほか、内的および外的要因による鉄心接極面の粘着がある。すなわち使用状態における不乾性機械油の付着と、鉄心加工中における要因とがあり、この点に関しては鉄心接極面の防シヨウの問題とも関連させて十分の管理を行なっている。

4.3 コイル部分

コイルには、過熱、焼損、断線など問題が多いが、とくにふんい気悪条件での使用に対しては、効果的なサーモセットワニス処理を施したものをを用いている。

一般的な使用条件を対象としたものでは十分な検討の結果、絶縁良好なポリエステル銅線を採用し、ワニス処理は行なっていない。

しかし、コイルのトラブルは工作方法に起因することが多いので、この点に関する品質管理を徹底して行なっている。

4.4 モールド部分

この種電磁継電器では、モールド部品が性能面（電気的および機械的寿命に与える影響）およびコストに占める割合はきわめて大きいので、モールド部品の設計には十分な検討を加えている。

まず材質的には、機械的強度、耐摩耗性および電気的性能などから適切な材料を選定し、かつ成形性やコストなど総合的な検討を加え、長期間の実用試験の結果、主として安定性の大きいフェノール樹脂系の材料を採用している。

モールド部品には熱的影響による経年的なヒズミの発生、カレ（枯れ）、寸法変化など問題が多いが、適所に設けたリウの効果により、徹底的に余肉を除き均肉厚なモールド部品とし、フリの防止や寸法精度の向上とともに、機械的強度を増加し、さらに重量軽減を計り、十分な安定性を持たせている。

その一例を図4.4に示す。

また接点回わりは小形とする結果、バリヤ表面が開閉によるアー

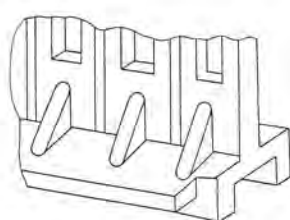


図 4.4 MR-4 形クロスバーの構造
Fig. 4.4 Cross-bar of type MR-4 relay.

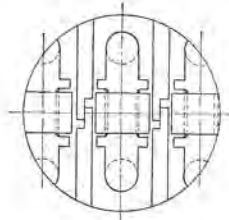


図 4.5 MR-5 形ベースのバリヤ部分の構造
Fig. 4.5 Arc-barrier of type MR-5 relay.

と接点微粒子の付着による絶縁抵抗の劣化が大きく、電気的寿命を下げる原因となる。

これを防止するため、クロスバーとケースのバリヤ部分や、接点周囲のモールド形状には十分な考慮を払っている。

その一例を図4.5に示す。

4.5 端子部分

端子部分には主として埋込金具を用い、3.5ネジのとき10kg-cm（最大15kg-cm）の規定締付トルクで締め付けても十分余裕のある機械的強度を持たせ、モールドのカレに起因する接続電線のユルミなどの恐れがない構造とした。

4.6 特長の要約

以上構造と特長について述べたが、その特長を要約すると次のとおりである。

(1) 同一部品により a 接触から b 接触の変更が容易にできる。

(2) 接点部分は防シヨカバー付で動作不良や接触不良の恐れがなく、したがって信頼性が高い。

(3) 可動部の重量軽減による接点バウンスの減少およびモールド部品の合理的設計による絶縁性の増大により、電気的には100万回以上の長寿命をもっている。

(4) 鉄心のフローチング構造、モールド部品の合理的設計などにより、機械的1,000万回以上の長寿命をもっている。

(5) モールド部品、鉄心、接触子などの立体的配置を計った合理的設計により、取付面積の縮小と小形軽量化。

(6) 部品数の減少、および部品精度の向上にともない調整を不要としたための組立時間の短縮などによる価格の低下。

5. 動作特性結果

5.1 動作特性

電磁継電器においては接点構成により反抗力の大きさが異なる。したがってそれぞれの接点構成において、電磁石の吸引力特性と、反抗力特性はバランスがとれている状態でなければいけない。すなわち吸引力が必要以上に大きいのは、鉄心の摩耗、機械的損傷および鉄心のオドリの原因となり、また小さいのは機構上、反抗力の与え方により動作電圧の上昇および、振動衝撃による悪影響があるので、反抗力と吸引力は最適条件を与えるよう設計した。

図5.1はMR-5形の吸引力と反抗力特性との、関係を示してい

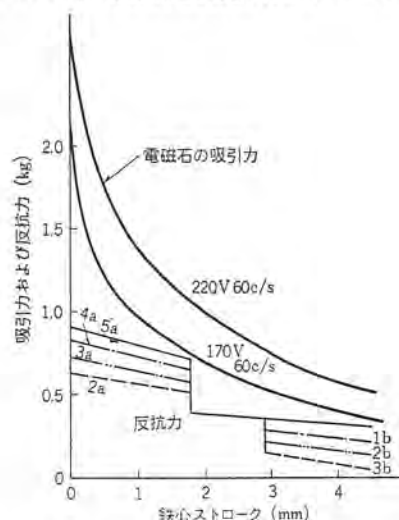


図 5.1 MR-5 形の吸引力、反抗力特性曲線
Fig. 5.1 Force-displacement diagram for type MR-5 relay.

表 5.1 MR 形動作特性

| 形 名 | 接点構成 | 吸引電圧 (V) | | 落下電圧 (V) | |
|-------|------|----------|---------|----------|---------|
| | | 60 c/s | 50 c/s | 60 c/s | 50 c/s |
| MR-5 | 5a | 142~158 | 128~142 | 106~118 | 100~110 |
| | 3a2b | 122~134 | 105~117 | 91~101 | 80~90 |
| MR-55 | 5a5b | 144~160 | 130~144 | 109~121 | 97~107 |
| | 4a | 136~150 | 118~130 | 93~103 | 81~91 |
| MR-4 | 2a2b | 106~116 | 90~100 | 85~95 | 71~79 |
| | 4a4b | 147~163 | 133~147 | 104~116 | 95~105 |

注 コイルは 200 V 50 c/s, 200~220 V 60 c/s 3 定格コイルのときを示す。

表 5.2 MRD 形動作特性

| 形 名 | 接点構成 | コイル定格 DC (V) | 吸引電圧 (V) | | 落下電圧 (V) | |
|--------|------|--------------|----------|-----|----------|------|
| | | | コールド | ホット | コールド | ホット |
| MRD-5 | 5a | 100 | 63 | 76 | 16 | 19.5 |
| | | 24 | 14.5 | 18 | 3.6 | 4.8 |
| | 3a2b | 100 | 47 | 56 | 14 | 17 |
| | | 24 | 9.5 | 12 | 3.0 | 3.7 |
| MRD-55 | 5a5b | 100 | 64 | 78 | 17 | 20 |
| | | 24 | 13 | 16 | 4.0 | 5.0 |

注 コールドおよびホットとは周囲温度 40°C におけるコイル冷却状態およびコイル温度飽和後を示す。

表 5.3 取付角度の変化による動作特性

| 形 名 | 接点構成 | 動作 | 取付角度の変化と動作電圧 (V) | | | | | | | | | | | |
|-------|------|----|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | 正規 | | | | 上向 | | | | 下向 | | | |
| | | | 60 c/s | 50 c/s | 60 c/s | 50 c/s | 60 c/s | 50 c/s | 60 c/s | 50 c/s | 60 c/s | 50 c/s | 60 c/s | 50 c/s |
| MR-5 | 5a | 吸引 | 144 | 129 | 139 | 119 | 154 | 134 | 155 | 133 | 137 | 123 | | |
| | | 落下 | 103 | 86 | 99 | 79 | 101 | 94 | 103 | 86 | 99 | 86 | | |
| | 3a2b | 吸引 | 126 | 106 | 110 | 100 | 133 | 111 | 124 | 112 | 117 | 104 | | |
| | | 落下 | 91 | 73 | 87 | 73 | 96 | 80 | 92 | 72 | 93 | 76 | | |
| MR-55 | 5a5b | 吸引 | 154 | 132 | 143 | 125 | 161 | 142 | 161 | 139 | 148 | 126 | | |
| | | 落下 | 123 | 100 | 114 | 99 | 119 | 103 | 125 | 99 | 122 | 99 | | |

注 コイルは 200 V 50 c/s, 200~220 V 60 c/s 3 定格コイルのときを示す。

る。

動作特性としては交流操作のとき、表 5.1 に示すようにそれぞれの接点構成によって若干異なるが、吸引電圧はコイル定格電圧の 60~80%、落下電圧は 45~55% の範囲にある。

直流操作の場合の動作特性については表 5.2 に示す。

この動作特性は、電圧の変動 $\pm 10\%$ を十分許容しうるものである。

すなわち実例で示すと 200 V の標準コイルは 200 V 50 c/s, 200 V 60 c/s, および 220 V 60 c/s の 3 定格であり、最低吸引電圧は 200 V 60 c/s の -15%, 170 V を十分保証できる値で 220 V 60 c/s の +10%, 242 V においても十分使用できることを示している。

MR 形の代表的な接点構成における動作特性を表 5.1 に MRD 形を表 5.2 に示す。

表中、b 接点の多い接点構成においては吸引電圧が低くなっているが、これはコイル、バネなど使用の便宜を計るため共通としている結果である。

また取付位置や取付角度の変化による動作特性の影響は表 5.3

表 5.4 MR 形動作時間

| 形 名 | 接点構成 | 電圧 (V) | 投入時間 (ms) | | 落下時間 (ms) | | |
|-------|------|--------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| | | | コイル ON より a 接点 ON まで | 完全投入時間 ⁽²⁾ | コイル ON から b 接点 OFF まで | コイル OFF から a 接点 OFF まで | コイル OFF から b 接点 ON まで |
| MR-5 | 5a | 220 (60 c/s) | 10.7 | 11.4 | — | 7.8 | — |
| | | 200 " | 13.4 | 15.5 | — | 8.1 | — |
| | | 170 " | 18.2 | 21.0 | — | 8.2 | — |
| | | 200 (50 c/s) | 12.8 | 14.5 | — | 7.5 | — |
| | 3a2b | 220 (60 c/s) | 10.5 | 11.8 | 8.5 | 9.5 | 12.2 |
| | | 200 " | 10.0 | 11.5 | 8.0 | 9.4 | 12.0 |
| | | 170 " | 12.1 | 15.2 | 10.5 | 9.7 | 13.2 |
| | | 200 (50 c/s) | 10.8 | 11.8 | 8.5 | 8.9 | 11.5 |
| MR-55 | 5a5b | 220 (60 c/s) | 10.0 | 10.8 | 8.0 | 7.2 | 9.3 |
| | | 200 " | 10.3 | 11.5 | 8.0 | 7.0 | 8.7 |
| | | 170 " | 13.0 | 15.8 | 9.8 | 7.5 | 9.1 |
| | | 200 (50 c/s) | 9.0 | 10.3 | 7.7 | 7.3 | 9.5 |
| | 4a | 220 (60 c/s) | 12.5 | 14.0 | — | 8.4 | — |
| | | 200 " | 13.0 | 14.5 | — | 8.2 | — |
| | | 170 " | 18.0 | 20.0 | — | 8.0 | — |
| | | 200 (50 c/s) | 13.3 | 14.5 | — | 9.0 | — |
| MR-4 | 2a2b | 220 (60 c/s) | 10.8 | 12.5 | 7.0 | 9.5 | 11.0 |
| | | 200 " | 12.5 | 14.8 | 9.5 | 9.8 | 12.2 |
| | | 170 " | 14.5 | 20.0 | 11.1 | 9.0 | 10.5 |
| | | 200 (50 c/s) | 11.3 | 13.5 | 8.5 | 8.5 | 10.6 |
| | 4a4b | 220 (60 c/s) | 8.7 | 13.0 | 7.0 | 8.4 | 10.2 |
| | | 200 " | 9.3 | 13.0 | 7.6 | 7.8 | 9.6 |
| | | 170 " | 10.6 | 14.1 | 8.7 | 3.5 | 5.2 |
| | | 200 (50 c/s) | 10.0 | 14.8 | 8.1 | 7.9 | 9.4 |

注 (1) コイルは 200 V 50 c/s, 200~220 V 60 c/s 3 定格コイルのときを示す。
(2) 完全投入時間とは操作電磁石が完全に吸着するまでの時間を示す。

表 5.5 MRD 形動作時間

| 形 名 | 接点構成 | コイル定格 DC (V) | 投入時間 (ms) | | | | 落下時間 (ms) | | | |
|--------|------|--------------|----------------------|------|------|------|------------------------|------|------|-----------------------|
| | | | コイル ON から a 接点 ON まで | 100% | 80% | 100% | コイル OFF から a 接点 OFF まで | 100% | 80% | コイル OFF から b 接点 ON まで |
| MRD-5 | 5a | 100 | 28 | 40 | — | — | 18 | 16.5 | — | — |
| | | 24 | 27 | 38 | — | — | 16 | 14.5 | — | — |
| | 3a2b | 100 | 22 | 28 | 21 | 26 | 19 | 17.5 | 21 | 20 |
| | | 24 | 22 | 27 | 21 | 26 | 19.5 | 17.5 | 21.5 | 20 |
| MRD-55 | 5a5a | 100 | 23 | 28 | 21.6 | 26 | 16.7 | 15.4 | 18.5 | 17 |
| | | 24 | 23 | 28 | 21 | 25 | 16 | 14 | 17.5 | 15.6 |

注 動作時間 100%, 80% は周囲温度 20°C コイルコールドにおける定格電圧のそれぞれ 100%, 80% 印加のときを示す

表 5.6 電磁継電器の温度上昇値 (単体のとき)

| 形 名 | コ イ ル | | | | 可動 接点 | 固定 接点 | 鉄 心 | クマ取り コイル |
|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|----------|-----|-------------|
| | 抵 抗 法 | | 温 度 計 法 | | | | | |
| | 200 V 50 c/s | 220 V 60 c/s | 200 V 50 c/s | 220 V 60 c/s | | | | |
| MR-5 | 51 | 39 | 40 | 35 | 11 | 10.5 | 31 | 34 |
| MR-55 | | | | | | | | |
| MR-4 | 55 | 46 | 46 | 41 | 11 | 11 | 49 | 41 |
| MR-44 | | | | | | | | |
| MRD-5 | 62 | | 50 | | 11 | 10.5 | — | — |
| MRD-55 | | | | | | | | |
| 規 格 | 85 | | 65 | | 75 | 50 | — | — |

注 いずれも周囲温度 40°C で主回路に定格電流 220 V 5A 通電のときの温度上昇値 (単位 deg) で示す。

に示すように、きわめて少なく、種々の使用条件に適合でき船舶用としても使用可能 (NK 規格にも合格) である。

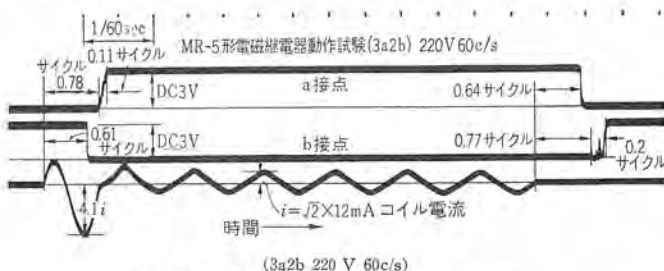


図 5.2 MR-5 形動作試験のオシログラム

Fig. 5.2 Operation test oscillogram of type MR-5 relay.

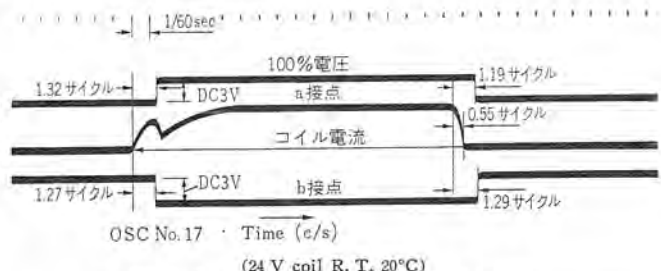


図 5.3 MRD-5 形動作試験のオシログラム

Fig. 5.3 Operation test oscillogram of type MRD-5 relay.

表 5.7 電磁継電器を多数個、制御箱に組み込んだときの温度上昇値

| 埋込個数 (個) | 1個あたりの 取付スペース (cm ² /個) | コイル表面温度(温度計法) | | | | 箱内空気温度 | | | |
|-------------|--|---------------|------|--------------|----|--------------|------|--------------|----|
| | | 200 V 50 c/s | | 210 V 50 c/s | | 200 V 50 c/s | | 210 V 50 c/s | |
| | | 上部 | 下部 | 上部 | 下部 | 上部 | 下部 | 上部 | 下部 |
| 35 | 4,320 | 56 | 50 | 64 | 59 | 27 | 19.5 | 29.5 | 22 |
| 20 | 7,560 | 47 | 45.5 | 57 | 55 | 18 | 12 | 22 | 15 |
| 10 | 15,120 | 37 | 34 | 43 | 40 | 12.5 | 10 | 12.5 | 11 |

注. 1. コイルは 200 V 50 c/s, 200~220 V 60 c/s 3 定格コイルであり 210 V 50 c/s は 5% 増を示す。
2. いずれも周囲温度 40°C で主回路に定格電流 220 V 5A 通電のときの温度上昇値 (単位 deg) で示す。

表 5.8 閉路シヤ断電流量

| 形 名 | 電 圧 AC (V) | 閉 路 | | シ ャ 断 | |
|--------------------------|---------------|---------|---------|---------|---------|
| | | 電 流 (A) | 力 率 | 電 流 (A) | 力 率 |
| MR-5 MR-55 MR-4 | 250 | 50 | 0.6~0.7 | 50 | 0.6~0.7 |
| MR-44 MRD-5 MRD-55 | 600 | 30 | 0.6~0.7 | 30 | 0.6~0.7 |

表 5.9 直流シヤ断電流量

| 形 名 | 電 圧 DC (V) | 誘導負荷 (15mS) 誘導負荷 (100mS) | | | | 抵抗負荷 | |
|-----------------|---------------|--------------------------|-----|-----|-----|------|-----|
| | | 1 P | 2 P | 1 P | 2 P | 1 P | 2 P |
| MR-5 MR-55 | 24 | 40 | — | 30 | — | 50 | — |
| MR-4 | 48 | 20 | 40 | 15 | 30 | 30 | 50 |
| MR-44 | 110 | 5 | 20 | 2 | 5 | 10 | 30 |
| MRD-5 MRD-55 | 220 | 1 | 5 | 0.4 | 2 | 1.5 | 10 |

注. 1. 1 P とは 1 極シヤ断, 2 P とは 2 極直列シヤ断を示す。
2. 15 ms, 100 ms はいずれも回路の時定数を示す。

MR 形の動作時間を表 5.4 に MRD 形を表 5.5 に示し, その代表的 オシログラムとして, MR-5 形, MRD-5 形を図 5.2, 5.3 にそれぞれ示す。

5.2 温度特性

電磁継電器は, 盤に多数の継電器を取り付けて使用する場合は多いので, 単体の温度上昇値は表 5.6 に示すように余裕を持った設計である。

参考として多数個制御盤 (900×600×280 mm) に組み込んだときの コイル 温度上昇試験結果の一例を表 5.7 に示す。

5.3 閉路シヤ断容量

5.3.1 定格電流と閉路シヤ断電流量の関係

電磁継電器の場合, 定格電流は (1) 電磁接触器と同様閉路シヤ断電流量の 1/10 とする。 (2) 連続通電々流量 (または抵抗負荷容量) をとる, 二つの考え方があるが電磁継電器としての仕様を考えたときは (1) 項で称呼すべきで, JIS C 4503 においても「定格電流の 10 倍をシヤ断および閉路し得ないスイッチでは交流操作用に適用される場合の適用負荷電流値は低減して称呼されるべきである。」とあり閉路シヤ断電流量の 1/10 をもって定格電流と呼ぶことを推奨している。

したがって当社もこの考え方をとって (1) 項を適用しており, また連続通電々流量は 10A としている。

5.3.2 閉路シヤ断電流量試験

閉路シヤ断電流量試験は表 5.8 に示すように定格電流の 10 倍を適用し各極に異電圧を印加し, CO20 回 (規格は 5 回) 実施し確認している。その代表的 オシログラムを図 5.4 および図 5.5 に示す。MR 形電磁継電器は交流電磁継電器であるが, 参考までに直流使用のときのシヤ断電流量を表 5.9 に示す。

直流定格電流は時定数 15 ms の直流シヤ断電流の大略 1/5 である。

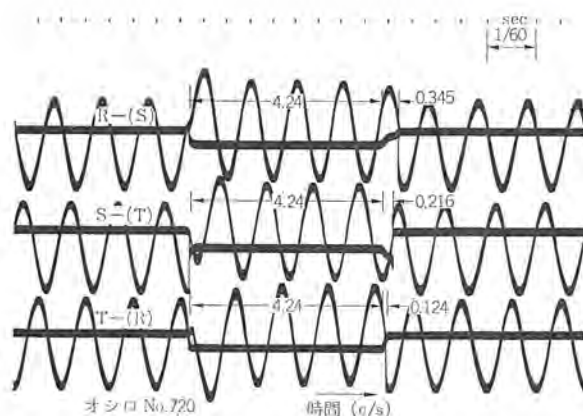


図 5.4 MR-4 形閉路シヤ断試験のオシログラム
Fig. 5.4 Making and breaking test oscillogram of type MR-4 relay.

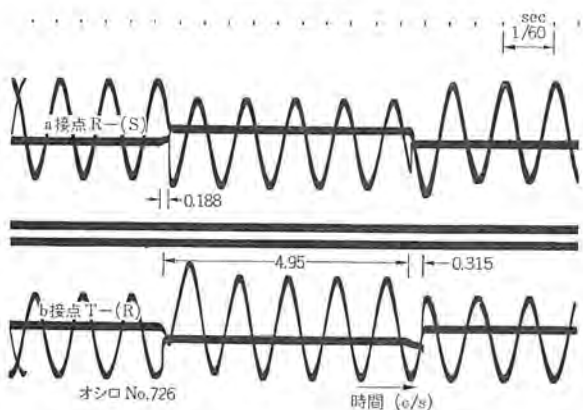


図 5.5 MR-44 形閉路シヤ断試験のオシログラム
Fig. 5.5 Making and breaking test oscillogram of type MR-44 relay.

これは JEM-1138 直流電磁接触器規格で, 時定数 15 ms においてシヤ断電流量は定格電流の 4 倍以上としていることによったものであり, さらに制御用として時定数の大きい コイル 負荷 100 ms 使用においても満足している。

5.4 絶縁抵抗および耐電圧

JIS C 4503 による各極間および電源-負荷端子間の耐電圧は, AC 2,200 V 1 分間印加しても異常はない。

絶縁抵抗も DC 500 V 絶縁抵抗計で 100MΩ 以上である。

5.5 衝撃および振動特性

5.5.1 衝撃試験

当社製 N-605 形電磁接触器と列盤に取り付け N-605 形 600 V, 600A 3 極交流電磁接触器の投入, 落下時の衝撃に対し, 全試料の全接点とも誤動作はない。

5.5.2 振動試験

振動条件では次のように十分な耐振性をもっている。

(1) 振動数 10~50 c/s (600~3,000 c/m) 加速度 1 g 一定の条件で前後, 左右, 上下の 3 方向の加速に対し共振点はない。

(2) 定振動耐久性は, 振動数 16.7c/s (1,000 c/m) 複振幅 4 mm 加速度 2 g で 3 方向 1 時間加振し, 接点のオドリなど誤動作はない。

(3) 振動数 6~30 c/s 複振幅 2 mm 一定で, 振動数変化は 1 往復 24 分 3 方向各 1 時間加振の可変振動数耐久試験で異常はない。

以上の試験結果から衝撃および振動のある場所での使用に対しても十分な特性が保証できることを示している。

6. 寿命試験

6.1 寿命試験に対する考え方

寿命試験には電氣的寿命と機械的寿命試験があり JIS C 4503 や JEM 1038 などによれば、参考試験として試験責務のみが規定されており、その合否判定の基準については明確に表現されていないが、当社における考え方を次に述べる。

まず電氣的寿命と機械的寿命の関係であるが、電磁継電器においてはその使用目的から電氣的寿命は電氣的な責務が軽い場合、機械的寿命にほとんど等しくなるまで使用するものと解釈するのが妥当である。

次に電氣的寿命の合否判定基準は試験後次の3項の要求を満足することである。

- (1) 接点の消耗(最大消耗量を示す接点が重量において40%以下の消耗量であること)
- (2) 耐電圧(電源一負荷および異極端子間に AC 2,200 V 1 分間印加しいずれも異常のないこと)
- (3) 絶縁抵抗(電源一負荷および異極端子間は DC 500 V 絶縁抵抗計でいずれも 1 M Ω 以上あること)

次に機械的寿命の合否の判定基準としては

- (1) 機械的衝撃による構造物の破損(モールド、クマ取りコイルなど)
- (2) 機械的摩擦および疲労による動作不良(モールドのシユウ動部、バネ類の疲労など)

さらに鉄心の摩擦に関して開閉動作による中央脚間ギャクの減少も機械的寿命の判定の参考条件として考慮している。

6.2 電氣的寿命試験

6.2.1 試験責務

JIS C 4503 に準拠し図 6.1 の試験責務により、各電流条件における電氣的寿命試験を行なっている。

すなわち、通常最も多く用いられる各種電磁コイルの操作状態を想定し、閉路時には磁気回路が最大空ギャクをもつために生ずる突入電流通常保持電流の4~10倍を投入し、開路時には最小空ギャクをもつために生ずる著しい遅れ力率の保持電流をシャ断する標準使用状態においての等価試験を行なっている。

6.2.2 試験結果

前記試験条件における試験結果を表 6.1 に示す。

このときの接点消耗は図 6.2 のような傾向を示している。

6.2.3 接点の消耗に影響を与える要因の検討

電磁継電器において電氣的寿命(接点の消耗)に影響を与える要因は種々考えられ、①電圧、②電流、③力率、④接点のオリ⑤絶縁物の劣化などであるが、ここでその内 2, 3 の要因について検討を加えてみる。

(1) 接点のオリの影響

接点投入時およびシャ断時の接点消耗量を1項の責務(投入およびシャ断)の場合と比較すると図 6.3 に示すようになり、投入時の接点消耗量はシャ断時のその1/2 以下であり、接点オリの減少による、大幅な接点消耗量の減少を裏付けることができる。

そして MR 形の場合消耗量はシャ断時が大きな割合を占め表 6.1 および図 6.2 に示されるように電氣的寿命はほぼシャ断電流値の2乗に反比例することがいえる。

(2) 絶縁の劣化

電氣的寿命は接点消耗量により制限されるほか、接点の微粒子の飛散やアーク熱などにより、周囲の絶縁物(モールド)が侵され炭化して絶縁抵抗の劣化を促し、トラッキングから焼損に至るケースが見うけられる。

この対策については絶縁物の材質を吟味し、接点周囲のモールド形状を改善することが必要で、4 章で述べたような考慮を払って

表 6.1 電 氣 的 寿 命

| 寿命試験責務 | | | | 寿命(万回以上) | | | | 寿命試験後の | |
|--------|-----------------|-------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------------------|--------------------|
| ON | | OFF | | 250 V | | 600 V | | 絶縁耐力 | 絶縁抵抗 |
| 電流(A) | 力率 | 電流(A) | 力率 | MR-5 MR-55 | MR-4 MR-44 | MR-5 MR-55 | MR-4 MR-44 | AC 2200 V 1 分間 OK | 1 M Ω 以上 |
| 25 | P.F. 0.6~0.7 | 5 | P.F. 0.3~0.4 | 50 | 40 | — | — | | |
| 15 | " | 3 | " | 120 | 100 | 50 | 40 | | |
| 10 | " | 2 | " | 300 | 250 | 120 | 100 | | |
| 5 | " | 1 | " | 1000 | 800 | 500 | 400 | | |

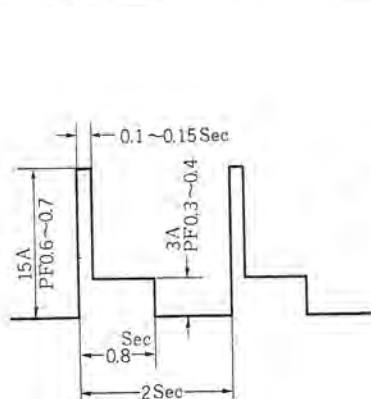


図 6.1 電氣的寿命試験の責務
Fig. 6.1 Electrical endurance test duty.

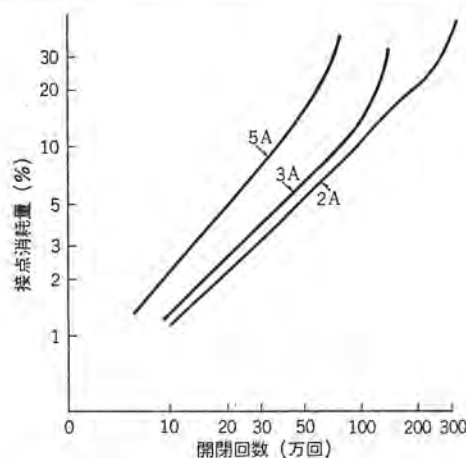
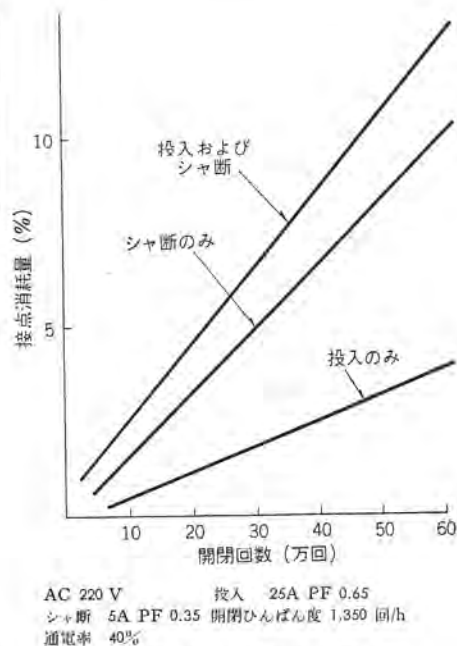
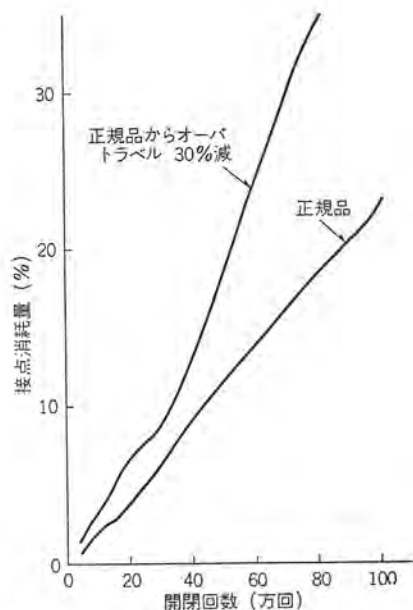


図 6.2 寿命試験における接点消耗量
Fig. 6.2 Wearing of contacts at electrical endurance test.



AC 220 V 投入 25A PF 0.65
シャ断 5A PF 0.35 開閉ひんばん度 1,350 回/h
通電率 40%

図 6.3 投入時およびシャ断時の接点消耗量
Fig. 6.3 Wearing of contacts at contact making and breaking electrical endurance test.



AC 220 V 投入 15A PF 0.65 シュ断 3A PF 0.32
開閉ひんばん度 1,350 回/h 通電率 40%

図 6.4 オーバトラベルの変化による接点消耗量
Fig. 6.4 Wearing of contacts at different over travel.

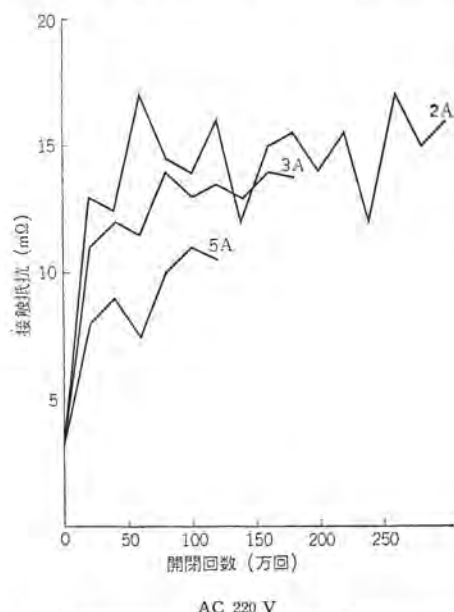
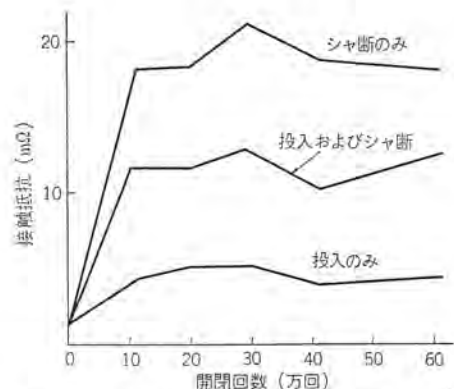


図 6.5 電気的寿命試験中における接触抵抗の変化
Fig. 6.5 Changing of contact resistance during electrical endurance test.



AC 220 V 投入 25A PF 0.65 シュ断 5A PF 0.35
開閉ひんばん度 1,350 回/h 通電率 40%

図 6.6 投入時およびシュ断時の接触抵抗の比較
Fig. 6.6 Comparison of contact resistance of current making and breaking endurance test.

おり、寿命試験後の絶縁抵抗、耐電圧は正規の値を確認している。

(3) 力率による影響

抵抗負荷の場合と、誘導負荷の場合とは当然 アークエネルギーは異なりとくに著しい遅れ力率の回路条件においては アーク時間は長くなる傾向にあり、接点表面を荒らし消耗量も増大してくる。

当社の寿命試験力率としては規格の 0.3~0.4 に対し 0.3 前後に設定しているが、最近の各種電磁接触器、電磁石などの多くは磁気回路を最小空ゲキに形成したときの力率がかなり低いものがあるので、条件の悪い力率前後のものについても寿命試験を実施し実用上、支障のないことを確認している。

(4) 接触圧力と オーバトラベル の影響

接触圧力と オーバトラベル は比例関係にあり寿命に与える影響は大きい。たとえば接触圧力 オーバトラベル を約 30% 意識的に減少させた場合、正規のものに比べて図 6.4 に示すように寿命は約 50~60% に低下する。

このことは、接点消耗がある値以上になると開閉回数に対する接点消耗量は直線的に変化しなくなり、電気的寿命に至ったことを意味する。

6.2.4 電気的寿命試験における接触抵抗の変化

電磁継電器はその使用目的から比較的小電流や低電圧の開閉に用いられることが多い。

したがって接触抵抗の安定性は実用上非常に重要な問題である。

図 6.5 は各負荷条件において実施したもので、いずれも 15 mΩ 以下の安定した接触状態を示している。

ただし図 6.6 に示すように投入またはシュ断のみ使用する電磁継電器ではこの変化の傾向は異なり接触抵抗の大きさは「シュ断のみ < 投入およびシュ断 < 投入のみ」という傾向がでている。

6.3 機械的寿命試験

7,200 回/時 (1 秒間に 2 回) の開閉ひんばん度による連続開閉で、前記の可否の判定基準に従って 1,000 万回以上の機械的寿命を有することを確認している。

機械的寿命で、問題とされるもののうち、とくに致命的欠陥としてクマ取り コイル や モールド など構造物の破損があげられる。

クマ取り コイル については材質、熱処理、形状、加工などを種々検討のうえ、良好と確認したものを使用している。

また鉄心の摩耗状態は開閉ひんばん度によって異なる。

これは鉄心材料や積層時の カシメ 圧力または、構造上の要因もそれぞれ含むものと考えられるが、たとえば電気的寿命試験の 1,200 回/時、1,800 回/時と機械的寿命の 7,200 回/時とは鉄心接極面の摩耗状態が異なっている。

したがって機械的寿命も開閉ひんばん度を 1,200 回/時と 7,200 回/時でそれぞれ実施し、検討している。

7. 使用環境と適用上の問題

電磁継電器は使用環境や使用条件によって接触不良事故を発生することがある。

たとえば ジンアイ の存在する環境、硫化水素、亜硫酸ガスなどの腐食性ガスや水蒸気、油滴の存在する所においては接触抵抗の増大や接触不良を発生する率は大きい。

また開閉による電磁継電器自体の汚損や、他の電磁継電器の汚損による影響を受けて接触不良の原因となることもある。

以下 MR 形電磁継電器についてこれら 2, 3 の条件における

表 7.1 大気中の ジンアイ の影響による接触不良

| 試験品 | 環境 | 降じん量 ($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$) | 放置 日数 (日) | 接触 | 接触不良発生率 (%) | | | | 接触抵抗 ($\text{m}\Omega$) | |
|------------|-----------|---|-----------------|----|-------------|-------|-------|------|---------------------------|----------|
| | | | | | 1 mV | 1.5 V | 2.5 V | 50 V | 範囲 | \times |
| MR-5 | 工場 試験場 | $\times 10^{-2}$ 0.98 | 15 | a | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.0~5.0 | 3.7 |
| | | | | b | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.0~6.1 | 2.3 |
| | | | 30 | a | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.7~9.0 | 4.5 |
| | | | | b | 10 | 0 | 0 | 0 | 1.2~7.0 | 3.0 |
| | 寿命 試験室 | $\times 10^{-2}$ 1.85 | 30 | a | 4 | 0 | 0 | 0 | 1.7~8.5 | 4.2 |
| | | | | b | 4 | 0 | 0 | 0 | 0.9~6.0 | 2.5 |
| | 鋳物工場 | $\times 10^{-2}$ 39.6 | 15 | a | 40 | 5 | 0 | 0 | 3.0~4.5 | 18.1 |
| | | | | b | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.0~8.0 | 2.2 |
| | | | 30 | a | 50 | 14 | 14 | 0 | 2.6~5.0 | 21.5 |
| | | | | b | 20 | 0 | 0 | 0 | 1.5~8.5 | 3.2 |
| 国内 A 社品 | 寿命 試験室 | $\times 10^{-2}$ 1.85 | 30 | a | 25 | 25 | 0 | 0 | 1.5~2.5 | 5.7 |
| | | | | b | 10 | 0 | 0 | 0 | 0.8~5.5 | 3.2 |
| | 鋳物工場 | $\times 10^{-2}$ 39.6 | 15 | a | 50 | 38 | 13 | 0 | 2.8~5.0 | 19.0 |
| | | | | b | 25 | 0 | 0 | 0 | 0.9~8.0 | 3.9 |
| | | | 30 | a | 100 | 63 | 25 | 13 | 3.5~6.0 | 2.7 |
| | | | | b | 50 | 25 | 0 | 0 | 1.2~9.0 | 4.7 |

表 7.2 機械的寿命試験中における接触不良

| 試験品 | 開閉回数 (万回) | 接触不良発生率 (%) | | | | 備 考 |
|------------|--------------|-------------|-------|-------|------|---|
| | | 1 mV | 1.5 V | 2.5 V | 50 V | |
| MR-5 | 100 | 8 | 6 | 0 | 0 | 開閉ひん率度 7,200 回/時 |
| | 200 | 12 | 4 | 0 | 0 | |
| | 300 | 20 | 10 | 0 | 0 | |
| | 400 | 14 | 8 | 0 | 0 | |
| | 500 | 20 | 12 | 2 | 0 | |
| 国内 A 社品 | 100 | 33 | 16 | 8 | 0 | 開閉ひん率度 7,200 回/時 鉄心ギャップは 約 200 万回で 0 とな ったが修正して続行 した |
| | 200 | 25 | 16 | 0 | 0 | |
| | 300 | 33 | 25 | 0 | 0 | |
| | 400 | 41 | 16 | 8 | 0 | |
| | 500 | 50 | 34 | 8 | 0 | |

試験結果について述べる。

7.1 大気中のジンアイと接触不良の問題

電磁継電器の電気的事故の一つに接点表面に非導電性の物質が付着して生ずる接触不良の増大や導通不能がある。

これは大気中に浮遊する ジンアイ に起因する率が多い。

MR 形電磁継電器は接点部分に ジンアイ が入らないように端子部形状と防 ジンカー 付で保護されるように設計してある。

表 7.1 は大気中の ジンアイ の影響について放置日数と接触抵抗の変化および接触不良率の試験結果を示す。

表から明らかなように大気中の ジンアイ の影響に対して防 ジンカー の効果はかなり認められ電圧、電流が低い場合には、ジンアイの

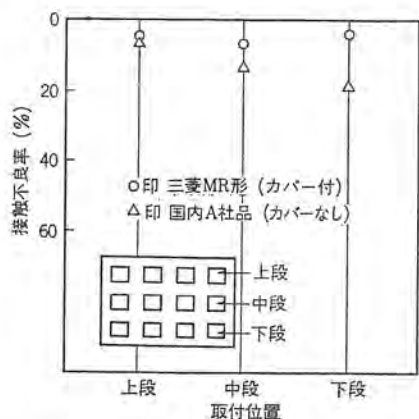


図 7.1 多数個、制御盤に組み込んだときの接触不良
Fig. 7.1 Poor contact occurred by using many relays in a control panel.

表 7.3 接続電線の ユルミ と切損

| 形名 | 接続電線の 種類とサイズ | 絶縁 付数 電 (本) | 切 損 率 (%) | | | | ユルミ 率 (%) | | | | 100 万回にて 増し締め後の ユルミ 率 (%) |
|-------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------------------------|
| | | | 50 万回 | 100 万回 | 200 万回 | 300 万回 | 50 万回 | 100 万回 | 200 万回 | 300 万回 | |
| MR-5 MR-55 | 接 続 電 線 そ の ま ま | mm ² 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | mm ² 1.25 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 6 | 6 | 6 |
| | | | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | mm ² 0.75 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 10 | 10 | 10 |
| | | | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 1.2φ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 4 | 4 |
| | | | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 1.6φ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 |
| | | | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| NR ⁽¹⁾ | | mm ² 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 10 | 10 | 10 |
| | | | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | 1.6φ | 1 | 0 | 5 | 5 | 15 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | | | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| MR-5 MR-55 | 丸 形 圧 着 端 子 | mm ² 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | mm ² 0.75 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | mm ² 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | mm ² 0.75 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 5 |

多い場所で防 ジンカー のないものの使用は避けなければならない。

7.2 内的要因による接触不良の問題

前節では外的要因について述べたが、ここでは電磁継電器内部での接点の汚損、および他の電磁継電器への影響などについて、検討を加える。

開閉動作による摩擦部分が摩耗し、電磁継電器自身の接点表面に付着し導通不能となる場合がある。

この影響を求めるため、機械的寿命試験中における接触不良率を表 7.2 に示す。

図 7.1 は同一制御盤内に電磁継電器を多数個組み込んだとき、それ自身の汚損および他への影響を求めたもので 100 万回動作中における接触不良の発生率 (1.5 V 印加) を示している。

表からわかるように接点部分が開放状態の電磁継電器においては下段に使用される継電器ほど接触の不良率が高いが、MR-5 形にはこの影響は現われておらず、接点部の密閉は他からの接点汚

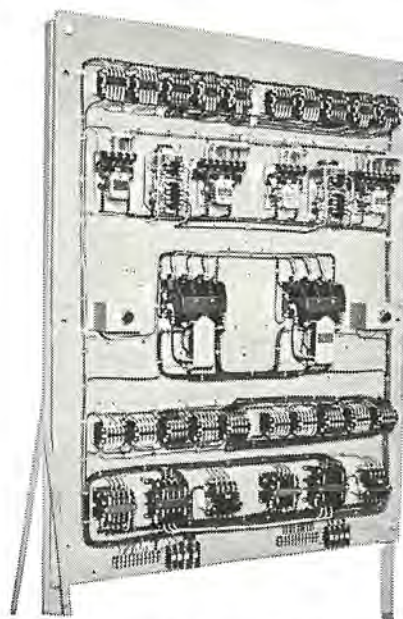


図 7.2 接続電線の ユルミ 試験用制御盤
Fig. 7.2 Control panel to check connected wire loosening test.

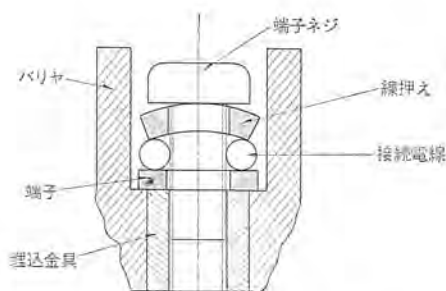


図 7.3 MR 形端子部分の構造
Fig. 7.3 Terminal section of type MR relay.

損の防止に効果がある。

また電磁継電器自身の接点汚損の傾向は多少現われており、接点部分近くに モールド など摩耗部分のないことが望ましい。

以上 2 点の試験結果から MR 形電磁継電器は内的要因に対し接触状態は比較的すぐれた結果を示している。

7.3 接続電線のユルミと破損

電磁継電器の電線接続部の ユルミ や、破損は制御系の信頼性に大きな影響を与える。

不完全な電線の締め付けによる ユルミ や、破損は重大な問題であり、これを振動、衝撃を有する制御盤によって試験し検討した。

図 7.2 は試験を行なった制御盤を示す。

すなわち MR-5 形 10 台、MR-55 形 10 台、旧形 NR 形 4 台を使用し MR 形は締付トルク 10 kg-cm NR 形は 15 kg-cm で 0.75 mm^2 , 1.25 mm^2 , 2 mm^2 , 1.2ϕ , 1.6ϕ の電線をそれぞれの端子について 1 本または 2 本締付け 3,600 回/時の開閉ひん繁度で 300 万回開閉を行なった。試験の結果を表 7.3 に示す。

MR 形の端子部分の構造を図 7.3 に示す。

上記の結果から (1) 単線、より線とも電線を、そのまま端子に締付けた場合、開閉によりわずかの締付トルクの低下が見られ

るが、実用上は問題ない。

ただし安全のため 50~100 万回使用後において増し締めを実施すれば再度ゆるむ確率はきわめて少なく、完全といえる。

(2) 圧着端子の使用による締付の場合の ユルミ はほとんど見うけられない。

このことは圧着端子に パネ 座金を用いたときと Y 形端子に線押えを用いたときと有意差はないことを示している。

(3) 電磁継電器自身の開閉で端子部分が振動を受けるものは電線の切損が多いので、より線である程度、たるませるか、圧着端子で リード 部分を保護したものが望ましい。

(4) MR 形電磁継電器では電線の接続のとき電線の束と端子部分との間にある程度の余裕をもたせ、締付トルク を規制すれば電線の接続に対する信頼性は非常に高まる。

8. む す び

新形 MR 形電磁継電器 シリーズ について、設計の方針、構造、特長、種々条件における特性試験の結果、環境の影響などの問題について述べたが、高性能で小形軽量など、そのすぐれた特長により今後広く制御装置に使用され得るものと信ずる。

さらに実用面、応用面、でえられた種々の成績と実績によってより信頼性のすぐれた電磁継電器として改善を計り需要家各位の十分な期待にそいたいと考えている。

最後に新形 MR 形電磁継電器の開発に際して、長期間にわたって協力された工作、試験の各位に深甚の謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 篠崎： 工作機械用制御器具「三菱電機」32 No.3 (昭 33)

手 動 ス イ ッ チ

都 築 勇 吉*・杉 浦 博*

Manual Operating Switches

Nagoya Works

Yūkichi TSUZUKI・Hiroshi SUGIURA

Line starters for small capacity induction motors and operating switches for AC electromagnetic switches have been completed by Mitsubishi. Though these manual operating switches fully satisfy the performance of the heaviest duties of the JIS standards in conformity to the No. 1 class 2 or No. 1 class 1, the manual operation itself brings about, in a practical problem, lack of uniformity in the operating speed and operating force. The performance also varies a great deal under the effect of the load. This article, taking into account these points, makes descriptions on the kinds, construction and practical examples of representative switches comparing their performances viewed from practicability.

1. ま え が き

一般産業機械および工作機械に使用される電動機制御用スイッチには、電動機の保護と高性能を目的として電磁開閉器が広く使用されているが、操作が単純で小形かつ安価である手動スイッチも多数使用され、手動スイッチは高い信頼性ととも機械とつりあった意匠についても強い要求がある。また自動制御、遠隔操作の発達に伴って、操作用スイッチは、電磁開閉器とともに重要視されており、とくに手動スイッチの需要は今後もそれぞれの分野で増大してゆくものと考えられる。

このたび使用者の要望を十分採り入れたYK形切換スイッチ、CK形切換スイッチおよびOU形操作用スイッチ系列を完成した。以下これらの手動スイッチについて、実用面から検討した性能とJIS規格との関係を述べ、さらに種類、構造および応用例などについて述べる。

2. 手動スイッチの性能

手動スイッチの用途を大別すれば、主回路の開閉用と制御回路の開閉用となり、一般に主回路用の負荷は誘導電動機で制御回路用の負荷は電磁開閉器類の操作電磁コイルであり、いずれも誘導負荷である。したがって抵抗負荷と違い投入およびシャ断時の力率が性能を左右する。これらのスイッチには全面的に次の規格を適用している。

主回路用 JIS C 4504 誘導電動機のジカ入れ起動開閉器通則
制御回路用 JIS C 4503 交流電磁開閉器操作用スイッチ

なお現在直流用手動スイッチの適用規格として明確なものはないが、とくに実地的な電氣的寿命を重点に考えて、電磁接触器などの実測結果から回路条件を決めており、主回路開閉用スイッチは時定数を15~20 ms、制御回路開閉用スイッチは100~150 msで試験した。

2.1 寿命とシャ断容量

手動スイッチは人が直接操作するものであるが、一般にJISにしたがって○号○種と表示されている寿命は、開閉回数が非常に多い場合は人が直接操作して表示しているものでなく、機械で行なっているため実用上の性能と差の出ることが考えられるが、人為操作と機械操作の違いを一般的に比較すれば表2.1に示すよ

うになる。

2.1.1 寿 命

(1) 手動操作による問題点

寿命試験では、一般に数十万回~数百万回の繰返し操作をするために、機械装置でスイッチのトッテ(取手)またはボタンを、あらかじめ適当に操作しうる範囲に調整して取り付けを行なうから、異常な力が加わったり異常な速度(とくに遅い)になることは考えられないので、表2.1におけるNo. 1, No. 2の条件は、機械的寿命の場合人為操作のほうが不利であるが、電氣的寿命には差がないものと考えられる。これに対して手動の場合は、使用する人の感覚によるため均一な力、均一な速度で操作し得ず異常な衝撃力が加わりやすい。No. 3の条件は電氣的寿命の場合手動操作のほうがよいが、機械的寿命については不利であると考えられる。これは人の腕や指が弾性効果をもっているために、普通に操作するとき手こたえある機構の場合は切換ノッチごとに早入れ、早切りの効果を多少望みうるからである。この傾向は直流における電氣的寿命などに顕著に現われるであろう。

以上は一般的な手動スイッチにおいて、操作感覚に手こたえがあり、接点部分がスナッ動作をしないものについて述べたものであるが、条件によっては逆の結果になるものもある。

(2) 力率および直流操作の時定数

電氣的寿命の条件としては、とくに力率および時定数を重視して検討する必要がある。JISに規定されている力率は表2.2のとおりであるが、実際は図2.1に示すように一般に電磁開閉器操作用電磁コイルの力率を実測するとJISより相当に過酷である。

表 2.1 人為操作と機械操作の比較

| No. | 項 目 | 人 為 操 作 | 機 械 操 作 |
|-----|---------|---------|---------|
| 1 | 操 作 力 | 不 均 一 | 均 一 |
| 2 | 操 作 速 度 | 〃 | 〃 |
| 3 | 弾 性 効 果 | あ り | な し |

表 2.2 JIS 規格による力率

| 適 用 規 格 | 力 率 | | | |
|------------|---------|-------|---------|---------|
| | シャ断容量試験 | | 電氣的寿命試験 | |
| | 投 入 | シ ャ 断 | 投 入 | シ ャ 断 |
| JIS C 4503 | 0.6~0.7 | | 0.6~0.7 | 0.3~0.4 |
| JIS C 4504 | 0.3~0.4 | | 0.3~0.4 | 0.6~0.7 |

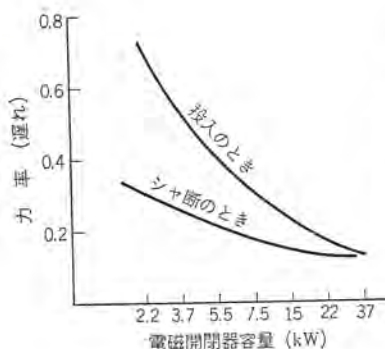


図 2.1 電磁開閉器操作電磁コイルの力率実測の一例
Fig. 2.1 Example of power factor measurement of magnetic switch operating magnetic coil.

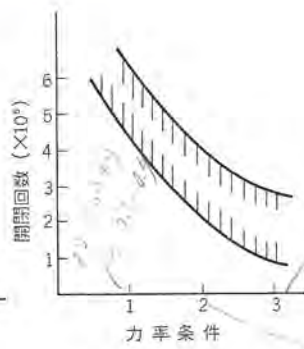


図 2.2 操作スイッチ 負荷の力率と電気の寿命
Fig. 2.2 Power factor of load and electrical life of operating switch.

電気の寿命試験を JIS 規格と同一電圧、電流で力率だけ実際に近い過酷な条件の 2 点を選び、JIS の条件と比較試験した結果を図 2.2 に示す。力率条件 1 は JIS C 4503 と同じ、力率条件 2 は投入 0.62 でシャ断 0.25、力率条件 3 は投入 0.3 でシャ断 0.18 で行なったものである。しかしながらこれは特定の電圧、電流について実験したものであり、これから全般的にこのような数値になるとは推定できない傾向としては正しいものと信ずる。規格と実状との力率の違いによる寿命の有意差は問題であり、JIS および電気用品取締規則などは遠からず見直しする必要があるものと考え。主回路用の電動機負荷に対する力率は、実測した結果 JIS C 4504 とおりで問題ないと考えられる。一方直流負荷として操作電磁コイルを実測すると、時定数 100 ms 以上のものが多くきわめて過酷であり、この値で試験した結果は、交流定格の 1/10 ぐらいの寿命になった。このように寿命性能は時定数の値により大幅に差がでるので、いかに寿命を延ばすかを検討していく考えである。

2.1.2 シャ断電流量

シャ断性能はアークエネルギーの大きさに左右される。アーク時間は同一電圧、電流でシャ断したとき、接点の開離速度および距離に關係する。JIS C 4503 および JIS C 4504 はともに定格電流の 10 倍を投入、シャ断することになっており、閉路シャ断は閉路動作に続いて猶予なく(解説では約 50 ms)シャ断操作を行なうよう規定している。これらは人が操作するから、2.1.1 項で記述したように均一な操作が行なわれないため、実状に合致した性能を表現したものであるかは疑問である。これを規定するには困難な問題がある。その実例として YK 形切換スイッチで同一電圧、電流で比較したのが図 2.3 である。図 2.3(a) は手で投入してから 2~3 サイクルの開離速度でシャ断したオシログラムである。図 2.3(b) は機械で 1,800 回/時、通電率 40% の等速度で投入、シャ断を行なったオシログラムである。これは 3.2 項で説明するような機構であるため、投入直前および開離の途中からキザ車とバネの力により早入、早切動作をするが、実際のシャ断時間が 10~15 サイクルになる開離速度で行なったものである。これは一例であるが、手動スイッチはこのようにシャ断すると開離速度が非常に遅く、また投入時の閉路速度も同じように操作されることは十分考えられる。この条件は電気の寿命にも大きく影響することは当然である。またこのほか構造によっては、早く投入シャ断したとき接点のパウチング、および投入時の溶着なども性能を大きく左右する。

手動スイッチ・都築・杉浦

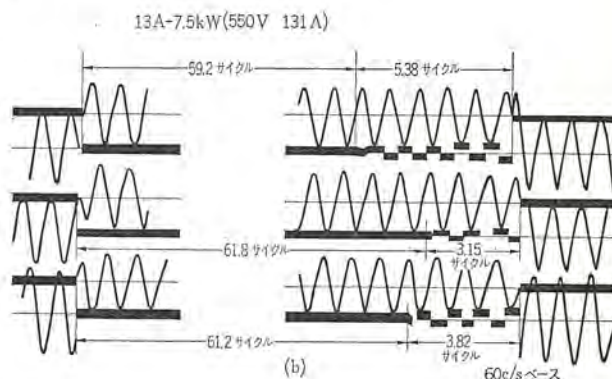
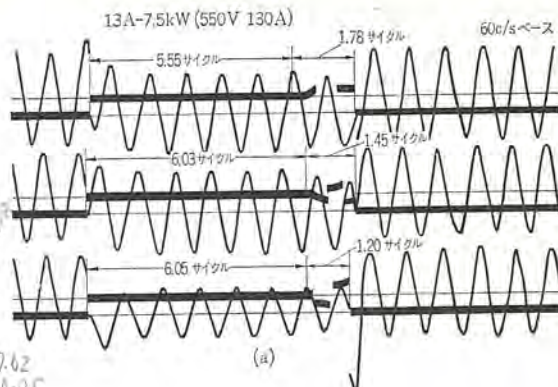


図 2.3 YK 形切換スイッチにおける投入シャ断時間とアーク時間の比較

Fig. 2.3 Comparison between closing interrupting time and arcing time with type YK change-over switch.

当社 YK 形切換スイッチのオシログラムでは図 2.3(a) および図 2.3(b) とともにその傾向は見られない。これらを解決するには、製作者としても試験に十分実用性を考えて試験するとともに、使用者側も規格をある程度理解していただいて、相互の協力にまちたい。

2.2 開閉機構

開閉機構には、手動操作の速度に関係なく接点部分が早入れ早切りするものと、開閉速度に左右されるものがあるが、ここで述べる切換スイッチおよび操作スイッチは後者に属するものである。

前者はスイッチとして好ましいものであるが一般に構造が複雑となり、大きさ、価格面などからタイマ用、直流回路用および大容量のスイッチなどに適することが多く、実用面からみて性能的に大きな差がないので、一般手動スイッチは各社とも後者の機構を使用している。

2.3 接触方式

スイッチの接触方式は用途、目的を十分検討し選定する必要がある。これはスイッチの心臓ともいえるべき接点材質、形状および寸法などの選定と同じくらい性能を左右するものである。

2.3.1 接触方式の種類と選択

図 2.4 に示すように接触方式には突き合わせ、シュウ(摺)動およびワイピング方式があるが、それぞれ一長一短があるので用途に最も適した選択をする必要がある。表 2.3 に手動スイッチの接触方式の一般的な得失と代表的な用途を示す。

| 略図 | A | B | C | D | E |
|---------|----|----|-----|------|---------|
| 記号 | | | | | |
| 説明 | 2点 | 1点 | 回転式 | ナイフ式 | ワイピング接触 |
| 突合せ接触 | | | | | |
| シュウ動接触 | | | | | |
| ワイピング接触 | | | | | |

図 2.4 スwitch の接触方式

Fig. 2.4 Contacting systems of switches.

表 2.3 手動スイッチ 接触方式の得失比較

| 分類 | 接 触 方 式 | 利 点 | 欠 点 | 用 途 |
|-------|---------------|--|---|---|
| A | 2点突合せ接触 | カム式スイッチなどに使用したとき比較的簡単な構造でできる 2点切りになるので大きな開閉に重負荷の開閉性能がよい | 接点数が多いので材料高になり、接触不良の率が多くなる | カムスイッチ 一般スイッチ |
| A' | 1点突合せ接触 | 接点数が分類Aと比較し半分で材料安となり接触不良の率も少ない | 一つ接点の割りに構造は簡単にならず、重負荷の開閉性能が分類Aより劣る | カムスイッチ 一般スイッチ |
| B | シュウ動接触 (ドラム式) | 接触不良が少ない比較的構造が簡単 | 接点材料の摩耗が大きく一般に銅系を使用するが、酸化防止のため接点圧力を増すので寿命が短かい | 一般ドラムスイッチ 一般スイッチ (とくに電流計切換スイッチには良い) |
| B' | シュウ動接触 (刃形) | 構造容易、安価 | 分類Bに同じ | 刃形スイッチ 比較的使用ひん度の少ないスイッチ |
| C, C' | ワイブ接触 | 接触不良が少ない | 機構によっては工作がやや困難となる通電容量が大きくなりにくい | 小容量の一般スイッチ 接触不良を避けたスイッチ (Bに同じ) |

表 2.4 接触不良の因子の組み合わせ

| 試 料 No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| スイッチの保護構造 | A ₁ | A ₁ | A ₁ | A ₂ | A ₂ | A ₂ | A ₃ | A ₃ | A ₃ |
| 1日の降じん量 | B ₁ | B ₂ | B ₃ | B ₁ | B ₁ | B ₃ | B ₁ | B ₂ | B ₂ |
| 試験日数 | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₁ | C ₂ | C ₃ |

表 2.5 接触不良試験結果の一例

| 試 料 No. | 接 触 不 良 % | | | | | | | | 接 触 抵 抗 (mΩ) | | | | 備 考 |
|---------------|-----------|----|-------|---|------|---|------|---|--------------|-----|-------|------|-----------------------------------|
| | 1mV | | 0.5 V | | 25 V | | 50 V | | 平均値(Ⅹ) | | 範囲(R) | | |
| | ① | ② | ① | ② | ① | ② | ① | ② | ① | ② | ① | ② | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.0 | 0.9 | 2.1 | 1.4 | ①銅接点による シュウ動 接触方式の スイッチ |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.5 | 1.2 | 6.3 | 1.2 | |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.1 | 0.8 | 48 | 0.9 | |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.4 | 0.9 | 7.9 | 0.8 | ②銀接点による 2点突合せ 接触方式の スイッチ |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.6 | 1.2 | 23 | 1.8 | |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.0 | 0.9 | 3.9 | 1.2 | |
| 7 | 0 | 5 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.5 | 477 | 45 | 3000 | |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.9 | 0.7 | 8.2 | 0.4 | |
| 9 | 12 | 22 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3.8 | 8.0 | 8.0 | 104 | |

2.3.2 接触方式に関連した通電不良の検討

接触方式については前項に述べたが、操作用スイッチの性能として接触不良の問題は重要である。とくに変流器二次側で使用する電流計切換用などは、端子間に加わる電圧が低い場合十分の検討を要する。

接触不良は接点材質そのものにも左右されるが、一般的にはジュンアイを主とする環境による障害が多いと考えられる。表 2.4 および表 2.5 は次に示す (1) 試料のおのおのについて、(2) 因子の順列組み合わせによる比較試験の結果を示したものである。

(1) 試 料

- ① 銅接点による シュウ 動接触方式
- ② 銀接点による 2 点突合せ接触方式

(2) 因 子

| | | |
|-------------------------------------|----------------|--------|
| スイッチの保護構造 | A ₁ | 完全防 じん |
| | A ₂ | 半防 じん |
| | A ₃ | 開 放 |
| 1 日の降 じん 量 (mg/cm ²) | B ₁ | 0.12 |
| | B ₂ | 0.23 |
| | B ₃ | 18.8 |
| 試験日数 | C ₁ | 15 |
| | C ₂ | 30 |
| | C ₃ | 90 |

接触不良および接触抵抗は、最初接点間に DC 1 mV を加え、5 回開閉を繰り返して不導通の発生回数により調べた。DC 1 mV の後は 5, 25, 50 V の順に電圧を上げ、同様に調査した。

表 2.5 で明かなように ① シュウ 動接触方式では C₃、② 2 点突合せ接触方式では A₃、C₃ の因子が接触不良の要因であることがわかる。ただし接点材質、圧力、構造が変われば、この数値は当然変化すると思われるが、予想した傾向が得られたものと考えられる。したがって使用目的から接触不良になる可能性の大きいスイッチには シュウ 動接触方式を用いることが望ましい。また防 じん構造に十分留意するとともに、次の 2.4 節に述べる接点材料についても十分吟味する必要がある。

2.4 接点材料

接点材料の選定、性質および問題点について一般的に述べる。

2.4.1 接点材料の選定

接点材料の選定は、適切な接触方式とともに、スイッチの生命として重要である。接点材料については文献^{(1)~(4)}も豊富で非常に多くのすぐれた材料があり、使用目的に合致したものを選定する必要がある。しかし、特殊環境や特殊用途を除いて一般的なものは銅、銀および銀合金であり、制御回路用の シュウ 動式銅、突合せ式の大部分は銀で、主回路用には銀合金接点が多く使用されている。これらの接点の選択にあたって考慮すべき点を次に述べる。

(1) 接触抵抗の安定。……静的接触抵抗と動的接触抵抗。

(2) 耐溶着性に富むこと。……静的溶着と動的溶着。

(3) 耐消耗性に富むこと。……目的の寿命に耐えること。

(4) 開閉時の諸特性がよいこと。……最小放電電圧電流、アークの持続時間および放電回数など。

(5) 工作および加工が容易であること。……特殊工作および加工を必要としない。

(6) 安価であること。……性能上の要求を満足しうる最小限のもの。

2.4.2 手動スイッチに使用している代表的な接点の性質

当社の手動スイッチに使用している代表的な接点の性質について以下に述べる。

(1) 銀

銀は固有抵抗が低いいため、接触抵抗は清浄な面の接触においては白金、銅よりも低い、かつ圧力が低いので接触圧力が大きくなりくい。また沸点が低いので溶着を起こしやすく移転量が多い。さらに通常のふんい気中での使用にはあまり問題はないが、硫化水素、塩素ガスを含むふんい気中で使用すると絶縁性腐食皮膜を生成して、導通不良を起こす心配がある。

(2) 銀酸化 カドミウム

銀酸化 カドミウム 接点は溶着しにくく アーク が生じにくいので、直流の負荷に適している。銀酸化 カドミウム が上記のような特性を持つ理由は、一つは絶縁性の酸化 カドミウム によって接点が多数に分割され、電流密度を小さくするため温度上昇が低くなること、および熱によって溶融した接点が凝固するとき酸化 カドミウム が溶けた銀を包みこむので、溶着力がそれほど大きくならないのである。

2.4.3 接点の問題点

接点の性質を左右するものとして考えられるのは移転、消耗、溶着および接触抵抗などでありこれを次に述べる。

(1) 移転および消耗

移転とは、接点の開閉時に生ずる アーク あるいは接点に生ずる

るジュール熱のため材料の一部が溶けて、一方の極から他の極へ移動することであって、消耗は蒸発、離散あるいは機械的摩擦によって接点材料が外部に散乱することで、一般的に使用されている突合せ接触方式では機械的摩擦は比較的少ない。

(2) 溶着

アークあるいはジュール熱のため接触面の一部が溶け、これが極間を短絡し凝固して両極を固着させ開放不能となる現象をいい、溶着力は沸点の低いほど、また固有抵抗の大きいほど増加するが、接点の表面状態によっても変化する。これらの現象は電流量の比較的大きいものに顕著に現われるが、当社の YK 形および CK 形切換スイッチはカム式の強制開路構造であり、かつ投入時バウンスがなく容量的から見ても実害は少ない。

(3) 接触抵抗

一般に接点の接触抵抗は次のように考えられている。

$$RC = K \rho H^{1/2} P^{-1/2}$$

RC: 接触抵抗 (Ω) ρ: 固有抵抗 (Ω-cm)

K: 定数 H: カマサ (ブネル)

P: 圧力 (kg)

上式から明らかなように接触抵抗は材料のパラメータによって影響され、低い接触抵抗が必要なところには固有抵抗、弾性係数および硬度の低い材料を選ばなければならない。しかし、この接触抵抗は実用に供して初期の段階ではある程度安定しているが、接触面の酸化物、腐食物の生成・タイ積などにより開閉回数とともに大きく変化してゆくものである。また一方きわめて低い電圧、電流では他の因子として、おもに環境により左右されるほうが多く、ときには導通不良の主原因になるのでこれに対する対策を十分考慮する必要がある。

以上適用規格値と実状の相異、人為的操作と機械操作の差異、接点に関する本質的な性能からこれを機器に使用したとき、機器固有の条件により性能が左右されることを述べた。これらを考慮して作られた手動スイッチの仕様、構造および性能などを次に述べる。

3. YK 形切換スイッチ

3.1 定格および仕様

図 3.1 および図 3.2 に示すように YK 形切換スイッチは、複



図 3.1 YK 形切換スイッチの外観 (補助スイッチ付)
Fig. 3.1 Exterior view of type YK change-over switch with auxiliary switch.

表 3.1 YK 形切換スイッチの定格および仕様

| 項目 | 回路 電圧 | 主 回 路 | | 制 御 回 路 | |
|-----------|----------|-------------|---------|------------|---------|
| | | A 200V~220V | AC 550V | AC 250V | AC 600V |
| 定 格 電 流 | | 25A | 13A | 2A | 1A |
| ジカ入れ定格容量 | | 5.5kW | 7.5kW | — | — |
| 寿 命 | 電 気 的 | 25 万回以上 | | | |
| | 機 械 的 | 250 万回以上 | | | |
| 適用 JIS 規格 | | JIS C 4504 | | JIS C 4503 | |
| 段 数 | | 12 段まで | | — | |
| ノッチ数 | | 12 ノッチまで | | — | |

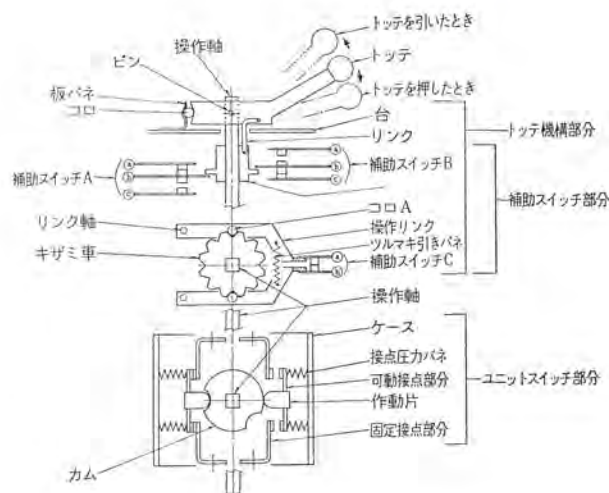


図 3.2 YK 形切換スイッチの分解構造図
Fig. 3.2 Disassembled construction of type YK change-over switch.

数個の開閉用主接点のほかに 3 個の補助スイッチをもち、無通電切換、寸動操作など変化に富んだ制御を、トッテ操作だけでできる工作機械用に最も適した手動スイッチである。また補助スイッチなし、すなわちジカ入れスイッチとしても十分な性能もっており、2 回路の開閉ができるユニットスイッチを 12 段まで積み重ね、かつ 30° ノッチで全回転 12 ノッチまでの多段制御が可能であるから、複雑な極数変換スイッチなどにも十分使用できる。なお YK 形切換スイッチの定格および仕様は表 3.1 に示すとおりである。

3.2 構造および操作

3.2.1 構造

YK 形切換スイッチは図 3.2 に示すようにトッテ機構部分、補助スイッチ部分およびユニットスイッチ部分に大別される。トッテ機構のトッテは操作軸にピンで付けられており、押し引き操作をすることができ、トッテの後端の板バネとコロによって常時中間の位置に復帰している。

トッテを押し引きするときの支点はピンであり、図示のようにトッテと操作管がリンクにより機械的に連動されているので、トッテを引くと補助スイッチ B の b, c 接点が開き、a, b 接点が開じる。次にトッテを押すと補助スイッチ A の a, b 接点が開き、b, c 接点が開じる。

切換操作はトッテを左右の方向へ回すことにより操作軸、台、リンクおよび操作管がともに回転する。操作軸は四角でキザミ車とはめ合っており、キザミ車も回転する。キザミ車は、リンク軸を支点として相対している 2 個の操作リンクとコロを介して、常時、ツルマキ引きバネで挟みつけられている。操作リンクの先端に補助スイッチ C が図示のように付いており、常時閉である。トッテを左右方向に回すと、キザミ車はコロを介しツルマキ引きバネに抗して、キザミ車の山で操作リンクを開く。操作リンクが開くと補助スイッチ C も開きキザミ車の山を乗り越えると、ツルマキ引きバネの力でノッチ感覚はよく切り換えることができる。切り換えが完了すると補助スイッチ C も閉じ定常の状態となる。したがって補助スイッチ C はノッチ切換のたびに開閉動作を繰り返すことになる。

次にユニットスイッチの構造は一般のカムスイッチと同じで、操作軸に樹脂製のカムが角軸にはめ合い、カムのオウツク(凹凸)を利用し作動片を水平方向に動作させる。作動片に乗っている可動接点部

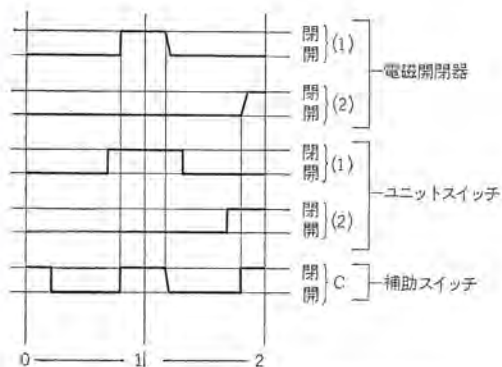


図 3.3 YK 形切換スイッチの操作順序関係
Fig. 3.3 Operation sequence of type YK change-over switch.

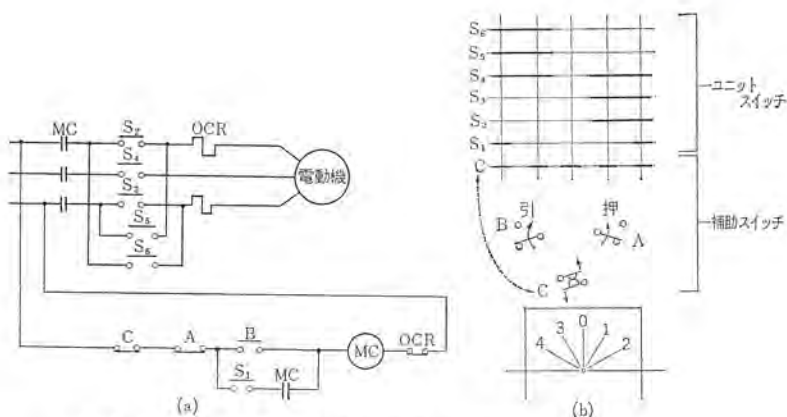


図 3.4 YK 形切換スイッチの使用例接続図
Fig. 3.4 Connection diagram of working example of type YK change-over switch.

分は、カムのトツ部のときは2個の接点圧力パネに抗して開路しているが、カムのオウ部のところに来ると2個の接点圧力パネにより閉路する。このようにカムのオウ部を種々変えることにより、変化に富んだ開閉を得ることができる。1個のユニットスイッチは図3.2に示すように2個の開閉要素をもっており、このユニットスイッチを12段まで積み重ね使用できるので複雑な回路の切換ができ、また補助スイッチが3個付いているので無通電切換、その他寸動操作など1個のYK形切換スイッチで多用途に使用できる。ユニットスイッチは樹脂製のケースに納めているが、接続用端子部だけは露出しており、このため取り扱いが安全であるとともにほこりは入りにくい。

3.2.2 操作

このスイッチの特長は、補助スイッチC、ユニットスイッチおよび電磁接触器の関係操作順序である。図3.3はノッチを切り換えてゆくと、各スイッチがどのような相関関係をもちながら開閉するかを示した一例であって、補助接点CはYK形切換スイッチ個有のもので、スイッチユニット(1)、(2)はそれぞれ電磁接触器(1)、(2)に対応するものとする。トッテは0から1に切り換えていくと、次のような順序で各スイッチは開閉する。すなわち切換スイッチC開→スイッチユニット(1)閉→補助スイッチC閉→電磁接触器(1)閉。さら

に2に切り換えると

補助スイッチC開→電磁接触器(1)開→スイッチユニット(1)開→スイッチユニット(2)閉→補助スイッチC閉→電磁接触器(2)閉。このようにただトッテの簡単な切換操作によりスイッチユニットで主回路を切り換えたのち、補助スイッチCによって電磁接触器のコイルを励磁または消磁する操作をさせることができる。

3.3 特長

(1) トッテの回転に際しノッチごとに補助スイッチC(制御回路用)が開くから、YK形切換スイッチにより電源回路を開閉する電磁接触器を制御すれば、ユニットスイッチによる主回路では大電流の開閉を行わず通電だけとなるから、大容量の電源回路の制御に用いることができる。

(2) 各ノッチでトッテを押しまは引けばそれぞれ別の補助スイッチが開閉するから、この接点により非常停止、寸動操作など、複数個の押しボタンスイッチに相当する操作ができる。

(3) ジカ入れ起動用には補助スイッチ部分を取りはずすだけで適用でき、トッテ機構およびユニットスイッチ部分は補助スイッチ付と共通である。

(4) このスイッチを使用することにより電磁接触器の個数を少なくし、また押しボタンスイッチを不要とすることができる。たとえ

ばジカ入れ起動の可逆式では2台から1台に、また二重巻線3段速度電動機の可逆式では6台から1台に減じうるので、操作の単純化とともに取付面積が節約できる。

3.4 性能および寿命

JISC 4504にしたがって試験した結果十分な性能を保証できる。寿命試験の結果を表3.2に示す。

3.5 用途

- (1) ジカ入れ起動スイッチ(起動、停止)
- (2) 可逆式ジカ入れ起動スイッチ
(正転、逆転、停止)
- (3) 極数変換器(2段変速)
(高速、低速、停止)
- (4) 極数変換器(3段変速)
(高速、中速、低速、停止)
- (5) 極数変換器(4段変速)(最高速、高速、低速、最低速、停止)
- (6) 可逆式極数変換器

表 3.2 YK 形 切 換 ス イ ッ チ の 試 験 結 果

| | 回 路 電 圧 (V) | 220 | 220 | 220 | 220 | 565 | 565 | 440 |
|------------------|------------------------------|------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| | | 容 量 (kW) | 3.7 | 3.7 | 5.5 | 5.5 | 7.5 | 7.5 |
| 投 入 シ ャ 断 験 | 投入およびシャ断電流(A) | 160~161 | 160~161 | 250~255 | 255~258 | 103~105 | 103~105 | 170 |
| | 力 率 | 0.32 | 0.32 | 0.33 | 0.32 | 0.34 | 0.34 | 0.33 |
| | シャ断時間(c/s) | 69.5 | — | 18.4 | 6.7 | 68.8 | — | 13.8 |
| | 判 定 | 良 | 良 | 良 | 良 | 良 | 良 | 良 |
| 電 気 的 寿 命 試 験 | 回 路 電 圧 (V) | 220 | 220 | 220 | 220 | 550 | 565 | 440 |
| | 投 入 電 流 (A) | 82 | 81.5 | 155 | 156 | 51.5 | 52 | 85 |
| | 投 入 力 | 0.37 | 0.37 | 0.62 | 0.62 | 0.38 | 0.38 | 0.37 |
| | (1) 投 入 時 間 (c/s) | 20.5 | 12.5 | 13 | 11 | 15.7 | 16 | 15.8 |
| | シ ャ 断 電 流 (A) | 16.5 | 16.5 | 25.2 | 25.3 | 10.6 | 10.8 | 17 |
| | シ ャ 断 力 | 0.62 | 0.62 | 0.37 | 0.37 | 0.62 | 0.63 | 0.65 |
| | (1) シ ャ 断 時 間 (c/s) | 55.5 | 49.1 | 41.4 | 51.2 | 49.8 | 58.4 | 59.2 |
| | 使 用 率 (%) | 40.4 | 31.7 | 31.6 | 46.4 | 36.0 | 43.2 | 46 |
| | 回 数 お よ び 判 定 | 258,400良 | 251,600良 | 250,200良 | 263,400良 | 258,000良 | 250,150良 | 250,000良 |
| | 絶 縁 抵 抗 500V (mΩ) | 500 以上 | 500 以上 | 500 以上 | 500 以上 | 500 以上 | 500 以上 | 500 以上 |
| (2) 接 触 抵 抗 (mΩ) | 絶 縁 抵 抗 計 | 500 以上 | 500 以上 | 500 以上 | 500 以上 | 500 以上 | 500 以上 | 500 以上 |
| | 絶 縁 耐 力 AC 60 c/s 220V (1分間) | 良 | 良 | 良 | 良 | 良 | 良 | 良 |
| | (2) 接 触 抵 抗 (mΩ) | 2.1 | 1.4 | 1.6 | 2.6 | 2.0 | 1.5 | — |
| | (2) 接 点 消 耗 量 右 極 (mg) | +0.3 | +0.33 | -7.5~63.4 | -0.3~19.1 | -0.6 | -2.13 | — |
| 機 械 的 寿 命 試 験 | 可 動 左 極 | -3.0 | -4.43 | +0.5~8.3 | -0.7~21.8 | -3.9 | -3.57 | — |
| | | -1.57 | -3.23 | -0.4~8.0 | -0.8~30.5 | -0.8 | -0.63 | — |
| 機 械 的 寿 命 試 験 | | 250 万回異常なし | | | | | | |

(1) は 60 c/s ベースである。

(2) は 平均値を示す。

注: 55 kW のときは投入電流 125 A でよいがこれよりも多くして行ないシャ断のときは力率を悪くして行った。

3.6 使用例

YK 形切換スイッチの全般について述べたが、とくに補助接点 C とユニットスイッチの関係操作順序に留意して、次の使用例につき説明する。図 3.4(a) は補助スイッチ付 YK 形切換スイッチ 1 台で、電動機の可逆制御を押しボタンスイッチなしで操作する場合の例を示し、図 3.4(b) はこの場合の YK 形切換スイッチの接点構成を示す。この図は縦軸にノッチの位置を示し、横軸に補助スイッチ C およびユニットスイッチの段数を示す。ユニットスイッチは 1 段で 2 回路の開閉要素をもっているから、この例では 3 段で構成している。太線はそのノッチにおいて接点が閉路していることを示す。

(1) 切換スイッチのトッテを 1 に回せば C、S₂、S₃、S₄ が閉じる。トッテを引けば B が閉じる (S₁ は閉じない) ことにより MC が閉じ電動機は運転する。トッテを放せば B が開き MC が開いて電動機が停止する。すなわち寸動運転ができる。

(2) トッテを 2 に回せばさらに S₁ がはじめて閉じる。トッテを引けば B が閉じ MC が閉じて自己保持するから、トッテから手を放しても電動機は運転を続ける。

(3) 運転中トッテを押せば A が開き電動機を停止させることができる。

(4) C はトッテの回転ごとに開くから電動機電流は MC で切り、切換スイッチの接点では切らない。

(5) トッテを 3 または 4 に回せば電動機の回転方向が前述と逆になるが、同様の制御ができる。

4. CK 形切換スイッチ

CK 形切換スイッチは制御回路用のほかに、小容量電動機のジカ入れ起動用として用いられる。小形かつ高性能であるため工作機械用の小容量の電動機の制御や操作盤などに組み込んで使用する制御回路用スイッチなどに最適である。2 回路の開閉ができるユニットスイッチを 10 段まで積み重ねられるので、複雑な回路にも十分適用できる。外観の一例を図 4.1 に示す。

性能は表 4.1 に示すように JIS C 4504 または JIS C 4503 にしたがって 1 号 2(E) 種以上の寿命を十分保証でき信頼性がある。



図 4.1 CK 形切換スイッチの外観
Fig. 4.1 Exterior view of type CK change over switch.

表 4.1 CK 形切換スイッチの定格および仕様

| 定 格 電 圧 | AC 200~220 V | AC 250 V | AC 400~550 V | AC 600 V |
|-----------|---------------|------------|--------------|------------|
| 定 格 電 流 | — | 10 A | — | 5 A |
| ジカ入れ定格容量 | 2.2 kW (10 A) | — | 2.2 kW (5 A) | — |
| 寿 命 | 電 気 的 | | | |
| | 25 万回以上 | | | |
| 機 械 的 | 機 械 的 | | | |
| | 100 万回以上 | | | |
| 適用 JIS 規格 | JIS C 4504 | JIS C 4503 | JIS C 4504 | JIS C 4503 |
| 段 数 | 10 段まで | | | |
| ノ ッ チ 数 | 6 ノッチまで | | | |

操作機構およびユニットスイッチの構造は 3.2 節で述べた YK 形切換スイッチと、トッテの押し引きをしないので補助スイッチがなく小形のほかは大差なく、基本的にはまったく同一である。

用途は制御回路操作用として電流計または電圧計切換スイッチのほか各種制御回路用スイッチが、またジカ入れ用としては YK 形切換スイッチと同様のものが考えられる。

5. OU 形操作スイッチ

OU 形操作スイッチは OT 形押しボタンスイッチ⁽⁵⁾ の新形で電磁開閉器、電磁継電器などのひんばんな操作に十分耐えるすぐれた性能と長い寿命をもち、しかもオイルレジスタ構造になっているので、工作機械など油や冷却水の飛マツがかかる場所でも安心して使用できる。また取り付け寸法は OT 形押しボタンスイッチと互換性がある。

OU 形操作スイッチは小形、高性能で意匠についても近代感覚に合うよう十分検討され、またこの種のスイッチは種類が多いので、部品を共通にし単純化をはかって価格を低減し得た。

5.1 定 格

表 5.1 に示す定格値は現在当社で製作している電磁開閉器の操作電磁コイルの最大励磁電流を十分通しうるものである。ただ 2 章でもふれたように実際は力率の過酷な点を合わせて電氣的寿命試験の投入、シャ断の定格電流に対する倍率も規格値の 5 に対して実際は 5~12 と電磁開閉器の容量の大きいものほど増大し過酷になっている。

表 5.1 OU 形操作スイッチおよび PL 形信号灯の定格および仕様

| 開閉部分 JIS C 4503 による | | | ラ ン プ 部 分 | |
|---------------------|----------|------------|-------------|-----------------------------------|
| 定格電圧 AC (V) | 定格電流 (A) | 連続通電電流 (A) | 定格電圧 AC (V) | ラ ン プ |
| 250 | 5 | 10 | 18 | トランスつき トランスなし |
| 600 | 3 | | 100~110 | 18 V2W |
| 電氣的寿命 | 50 万回以上 | | 200~220 | トランスつき ロ金 BA 9S/13 (スワンタイプ) |
| | 機械的寿命 | | 400~440 | |

JIS にしたがって 200 V では投入 25 A シャ断 5 で行なったが、実際に最も過酷な条件ではこの投入値をわずかに越えるものがある。しかしシャ断電流値は定格電流よりもはるかに低く、また寿命試験後の接点消耗量はきわめて少ない、さらに表 5.3 (b) の参考試験では定格の 20 倍の投入シャ断を異常なく開閉できる性能をもち、その試験中投入時ほとんど接点のバウンスも見られないのでスイッチの定格値より十分上まわる性能をもっている。

5.2 種 類

OU 形操作スイッチは機能によって多数の種類があるが、操作上から大別すると下記のとおりとなる。

- (1) 押しボタン式
- (2) 切換式
- (3) 選択押しボタン式

以上の 3 種類についてそれぞれに標準、ランプ付、ランプ・トランス付およびこれの耐食形があり、さらに切換式には自動復帰式とカギ付式がある。これらを形式記号により詳細に分類すると表 5.2 のようになる。また、寸法および外観は図 5.2 に示す。このほかに箱入スイッチなどがある。

5.3 構 造

OU 形操作スイッチの構造の大きな特長は、共通のコンタクトブロック部分に対して、各種の異なった操作機構部分を組み合わせる

表 5.2 OU 形操作スイッチの形式記号の構成

形式記号

OU - C R L - 2 - 2 - T2

トランス

| 記号 | 一次電圧 (V) | 二次電圧 (V) |
|----|----------|----------|
| T1 | 100~110 | 約15 |
| T2 | 200~220 | 約15 |
| T4 | 400~440 | 約15 |

| 記号 | 内 容 | 標準 | 変形 | 耐食性 | 自動復帰 |
|----|------------------|----|----|-----|------|
| A | 1. 形押しボタン | ○ | | | |
| B | キノコ形押しボタン | ○ | ○ | ○ | ○ |
| C | 2ノッチ切換 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| D | 3ノッチ切換 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| E | 選択押しボタン (ツマミロータ) | ○ | ○ | ○ | ○ |
| F | 半形押しボタン | ○ | ○ | ○ | ○ |
| G | 突形押しボタン | ○ | ○ | ○ | ○ |
| H | 突形押しボタン (ツマミロータ) | ○ | ○ | ○ | ○ |
| J | カギ付2ノッチ切換 | ○ | | | ○ |
| K | カギ付3ノッチ切換 | ○ | | | ○ |
| M | 大キノコ形押しボタン | ○ | | | ○ |

| 番号 | 左ノッチ | 中ノッチ | 右ノッチ | 適用ヘッド、備考 |
|----|------|------|------|------------|
| 1 | | | | OU-C, OU-J |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | OU-D, OU-K |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | OU-E |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | OU-H |
| 10 | | | | |
| 11 | | | | OU-D, OU-K |

注 コンタクトブロック2個の場合を示す
奇数の場合左の部分となる

| 記号 | 内 容 |
|----|-----------------------|
| B | ク ロ 溶 |
| R | ア カ |
| G | ミ ドリ |
| Y | キ イ |
| W | シ ロ |
| O | ダイヤイ |
| 1. | カギ付はクロームツッキであり色の指定は不要 |
| 2. | ランプ付トランス付の場合はアオ |

| 記号 | 内 容 |
|----|-----------------|
| W | 標準系列 |
| L | ランプ付系列 |
| | ISOUL ランプ付系列 |
| R | 耐食性系列 |
| S | 自動復帰系列 |

天祥式 OU-120U-6 (1a1b)
OU-120U-8 (2a2b)

| 番号 | 異面 | 接続式 |
|----|----|-----|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |

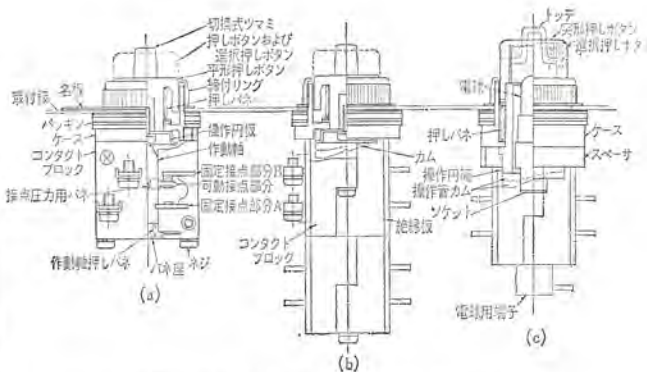


図 5.2 OU 形操作スイッチの構造図
Fig. 5.2 Construction of type OU operating switch.

ことにより多くの種類を作ることができる。

各系列の構造を大別すると、開閉部であるコンタクトブロック部分とヘッド部分（標準またはランプ付）に分けられる。コンタクトブロック部分は各系列とも共通であり、またランプ・トランス付系列にトランスを取り付けるだけでヘッドは同じである。

5.3.1 標準系列のヘッド部

図 5.2 (a) に示す実線は、代表的な平形押しボタンスイッチを示す。ケースに納められた平形押しボタンは、押しパネを介して操作円板に締め付け、ネジで取り付けられている。

取付板厚の変化にはパッキンを増減し、名板を挟んで締付けリングによりケース本体を固定している。切換スイッチは図 5.2 (a) の点鎖線で示す切換式トッテとカムを、また選択押しボタンスイッチは破線で示すツマミとカムを、それぞれ押しボタンおよび操作円板の代わりに組みかえるが、他はまったく同一部品を使用することにより組み立てられる。

カムは円筒断面にアウトツを形成することによって、後述する作動軸の先端に接して接点を開閉する。カムのアウトツにより種々の動作をさせることができる直接カム制御方式は、当社独自の機構である。

5.3.2 ランプ付系列のヘッド部

図 5.2 (c) に示す実線は、代表的な突形押しボタンスイッチである。押しボタンは操作円筒にねじ込まれケースに入った押しパネで押し上げている。スペーサはケースに固定され、ランプのソケットはその足がコンタクトブロックのミジにはめ込まれ固定されている。ランプから出たリード線はコンタクトブロックを通して電球用端子に接続されている。切換スイッチは点鎖線で示すトッテと操作管カムを、選択押しボタンスイッチは破線で示すツマミと操作管カムを、標準系列のヘッド部分と同様にそれぞれ突形押しボタンおよび操作管の代わりに組み込むことにより、他はまったく同一部品を使用して組み立てられる。

なお押しボタン操作のボタンはねじ込み式であるが、切換、選択押しボタンのトッテやツマミは、操作管カムとたがいにある関係角度を保つ必要があるため、特殊なはめ込み構造になっている。このため使用中ランプが断線したり、ヘッドの色を変更したい場合には、取付板からスイッチをはずすことなく、ヘッド部分のみ取りはずして容易に変更できる。

図 5.1 OU 形操作スイッチおよび PL 形信号灯一覧表
Fig. 5.1 List of type OU operating switches and type PL signal lamps.

| OU 形テンビン式押しボタンスイッチ | | シンボル | |
|--------------------|--|-----------|-----------|
| | | OU-120U-6 | OU-120U-8 |
| | | | |

表 5.3 OU 形操作スイッチの試験結果

(a) 温度上昇値

| 項目 | 結果(温度計法) | 試験条件 |
|-----------|--------------------|---------------------|
| コンタクトブロック | 1.5~2.0 4.5~6.0 | 5 10 通電電流(A) |
| ランプ部分 | 19~21 | 15V 印加 |
| | コイル 鉄心 | 印加電圧(V) (50サイクル) |
| トランス | 100/15V 用 | 21.8 23.8 120 |
| | 200/15V 用 | 18.6 27.0 240 |
| | 400/15V 用 | 26.0 24.5 400 |

(b) ショ断電流量性能

| 項目 | AC | DC |
|----------|----------------------------------|----|
| 試験電圧(V) | 540 220 215 115 | |
| 電流(A) | 30 51 99 ₁ | 3 |
| 周波数(c/s) | 60 60 60 | — |
| 力率 | 0.318 0.36 0.339 89 ₂ | — |
| 負荷 | C.O C.O C.O C.O | — |
| 回数(回) | 100 100 100 100 | — |

(c) 電氣的寿命試験結果

| 項目 | AC | DC |
|-------------|------------------------------|------|
| 試験電圧(V) | 550 219 115 | |
| * 電流(閉路/開路) | 15.3/3.08 25.5/5.0 | 2 |
| * 周波数(c/s) | 60 60 | — |
| * 力率(閉/開) | 0.642/0.339 0.67/6.38 | 106* |
| 使用率(%) | 40 40 40 | — |
| 開閉ヒン度(回/時) | 1200 1200 1200 | — |
| 開閉回数(万回) | 53 53 25 | — |
| 接点消耗量 | 固定 0.1~0.3 0.1~2.2 47.5~83.0 | — |
| 終了後(mg) | 可動 3.2 8.8 -45.6 | — |
| 接触抵抗 | 試験前 0.9~1.9 1.0~2.7 0.8~1.3 | — |
| (mΩ) | 試験後 3.5~7.6 110~140 35~58 | — |

* 時定数 ms

*₁ 参考試験
*₂ 時定数 ms

5.3.3 耐食性ヘッド部

化学工場などの腐食性ふんい気などで使用する場合、これに侵されないように、ケースおよび締付リングはプラスチック、金属部は不銹鋼(錆)性材料に置き換えたもので構造は標準と同じである。

5.3.4 自動復帰ヘッド部分

ツマミ式とカギ付式があり、2ノッチは常時左側、3ノッチは常時中央に復帰するものである。ヘッド部分にツマミひねりバネを内蔵したもので、外形寸法は標準と同じでコンパクトにできている。

5.3.5 コンタクトブロック

図5.2(a)に示すようにコンタクトブロックの中央に角ミツを設け、可動接点部と接点圧力バネを内蔵した作動軸は外力により下がりをように作動軸押しバネでたえず上向に押されている。可動接点はコンタクトブロックにはめ込まれた固定接点部分A、B上の固定接点に対応しており、1a,1b接点を構成し、透明の絶縁板のフタをして内部の状態が見えるようにしてある。ブロックの両端には半円状の部分が設けられ、交互に2個組み合わせるとき円形オウ部を形成するので、ここにヘッドの操作円板、カムあるいは操作管カムなどが入る。

5.4 性能

OU形操作スイッチはJIS C 4503 交流電磁開閉器操作作用スイッチに従って、1号1種以上の性能を確認し十分品質を保証できるものである。たとえばコンタクトブロック1個に2回路の開閉要素をもっているため異電圧でも使用できるかを、定格電流の10倍で異相回路を100回以上異常なく投入・断してその安全性を確認したり、ランプ付においては、落下試験をはじめ連続点灯および点滅試験で、500万回異常ないことを確認した。またランプのキャップは熱可塑性材料であるため耐薬品性の試験も行ない熱劣化のな

いことを確認している。

電氣的性能は表5.3(a), (b), (c)に示した。

以上述べたようにまったく独立したヘッド部分とコンタクトブロック部分を2本のネジにより固定してはじめてスイッチとしての機能が果される。特殊な用途として两部分を分離した表面接触も可能であるが、ヘッドとコンタクトブロックの間に正確な間隔を持たせることが、一般に困難であるので実用的でない。スイッチ本来の使用方法は盤取付裏面配線である。

なおこの操作作用スイッチの系列のほかにPL形信号灯がある。PL形信号灯は一部OU形

操作スイッチの部品を使用して意匠的にもつりあいのとれたものとし、とくに同一盤面にOU形といっしょに取り付けたときの体裁の点も考慮した。このPL形信号灯には、OU形操作スイッチに使用しているトランスと同一仕様のトランスがついているものと、トランスなしのものがある。トランス付は直列抵抗器付よりも消費電力が非常に小さく、発熱も少ないので安全かつ有利である。とくにトランスなし信号灯は十分な容量をもった専用の別置トランス1台を設けるような制御盤では、多数使用でき経済的である。

9. む す び

以上今回新しく標準化した手動スイッチについてその概略を述べたが、現行のJIS規格で、手動スイッチの実用的性能を十分現わすことはむずかしく、また人為操作のため使用方法や使用環境が性能を大きく左右するので、今後は規格にだけたのではなく実用性を十分掌握し実情に合致した試験方法、および機能的な改善をしてゆきたいと思っている。しかしこれらの問題は容易に解決するものでなく、今後とも実験、調査を重ねる必要がある。

また手動スイッチの機種も今回はAC 200V 5.5kW以下の主回路用スイッチとAC 250V、5Aの制御回路用スイッチについて述べたが、さらに容量の大きいものや小形の操作スイッチについても新製品として発表できる日が1日も早くくるよう努力したい。

終わりにこの種手動式スイッチの開発にあたり社外、社内の関係各位からご指導ご協力をたまわったことを厚く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 藤本：電気接点材料 37 (昭 31)
- (2) 額田・杉浦：継電器および継電器回路 132 (昭 27)
- (3) R. Holm: Electrical Contact Handbook (1958)
- (4) E. Freudiger: Electrical Contact Materials, Elect-Tech. 69 No. 6 P. 72 (1962)
- (5) 篠崎：工作機用制御器具「三菱電機」32 No. 3 (昭 33)

新 形 電 磁 起 動 器

宇佐見 重夫*

New Magnetic Starters

Nagoya Works Shigeo USAMI

Application of newly developed type EM magnetic switch has completely changed type ED combination starters and type EYD magnetic star-delta starters which were regarded as orthodox and regular devices of the kind. In view of recent demands for small size and high power yet inexpensive magnetic starting units, Mitsubishi has added, as a result of radical design and production, type EE combination starters and type EY magnetic star-delta starters as a new series of economical and popular starters. This article gives description on discussion of principal items inherent to respective starters. Advantages and disadvantages compared between regular starters and popular starters are also touched upon herein.

1. ま え が き

近年一般工業の発達とともに低圧電動機を電磁制御する需要が増大し、当社ではそれに適する電磁開閉器をはじめ各種制御継電器、操作スイッチおよびノーヒューズシタ断器など、いずれも合理的な設計と生産によって、小形高性能で安価なシリーズの開発を完成した。

電動機制御用の電気設備は、小容量電動機用の単なる手動開閉器から、多数の電動機の集中制御装置まで複雑多岐にわたるが、電源設備容量の点から減圧起動を必要とする場合や配線工事の確実化、据付工事の簡素化などのために、2種以上の器具を組み合わせた制御装置や制御盤用部分組立ユニットの需要が増大してきた。

今回、これらの需要に容易に応じうるよう、前記新形電磁開閉器類を主要構成器具とした般用電磁起動器として、各種の組合せ電磁開閉器（コンビネーションスタータ）減圧起動器などのそれぞれについて標準化をしたので、以下その概要を説明する。

2. 制 御 の 概 要

2.1 誘導電動機の制御の目的、起動法ならびに
運転の基本要素

誘導電動機を各種産業の原動力として使用するにあたって、まず電動機の選定が重要であるが、一般に電動機だけで完全に活用できる場合はなく、目的に応じてこれに適した制御を必要とする。これら制御の持つおもな目的は、次のとおりである。

- (1) 起動、停止および正転逆転
- (2) 起動時の電流およびトルクの制御
- (3) 停止時の制動
- (4) 回転速度およびトルクの調整
- (5) 電動機および分岐回路の保護

また、カゴ形誘導電動機の起動時は変圧器の二次側を短絡したのと同様であり、直接全電圧を与えるジカ入れ起動法では、大きな起動電流が流れるため、電源設備容量の小さい場合、一般に200V普通カゴ形5.5kW以上、特殊カゴ形11kW以上の電動機には、減圧起動器を使用して、その起動電流を制限し電源電圧の異常低下を防止する必要がある。カゴ形誘導電動機の起動法の分類を示す。

- (1) 全電圧起動 ———— ジカ入れ起動
- (2) 減圧起動 ———— スターデルタ補償
— 起動補償器による起動
— リアクトル起動
— 抵抗起動

さらに、一般に電動機を運転する場合は、それ自身の運転および起動電流以下の過負荷保護用に、電磁開閉器を使用するが、給電線から電動機回路への分岐点には、その分岐回路の短絡事故を確実にシタ断できる保護装置が必要である。これらの装置を要素別に分類すれば、次のとおりである。

- (1) 分岐回路の開閉装置。
- (2) 分岐回路の短絡保護装置。
- (3) 電動機回路の開閉装置。
- (4) 電動機回路の過負荷保護装置。

2.2 新形電磁起動器の標準仕様の概要

今回、新形電磁開閉器類を主要構成器具として、標準系列化を完成した新形電磁起動器は、組合せ電磁開閉器をはじめとして、減圧起動器から極数変換器にまで及ぶが、これらの標準仕様の概要は表2.1に示すとおりである。

以下これらの主要機種について、設計の基本的方針および考え方、仕様、構造、要点に対する検討ならびに適用上の事項などについて述べる。

2.3 新形電磁起動器の共通的特長

新形電磁起動器は需要の伸びに対応すべく、小形化された構成

表 2.1 各種新形電磁起動器標準仕様の概要

| 起動器の分類 | 形名 | 標準仕様の概要 |
|-----------|-----|---|
| 組合せ電磁開閉器 | ED | 配線用シタ断器と電磁開閉器を組み合わせたコンビネーションスタータで、あらゆる要求に適應できる高級形。 |
| | EE | モータブレーカと電磁接触器を組み合わせたスタータで、短時間起動用の普及形。 (ひんばんな使用には不適当) |
| 減 圧 起 動 器 | EYD | 電磁接触器を3個使用し、ニューマチック式限時継電器で自動的に切り換わる、電磁式スターデルタ起動器の高級形。 |
| | EY | 電磁接触器を2個使用し、熱遅延リレー（真空管式限時継電器）で自動的に切り換わる、電磁式スターデルタ起動器の普及形。 |
| | EG | 電磁接触器を3個使用し、単巻変圧器により減圧起動後、ニューマチック式限時継電器で自動的に切り換わる、電磁式起動補償器。 |
| 極 数 変 換 器 | EH | 電磁接触器を2個以上使用したもので、多段速度電動機用。 |

表 2.2 一般的な電磁操作式と手動操作式との基本的な比較

| 操作方式 | 電 磁 | 手 動 | 備 考 |
|-----------|---------|---------|--|
| 電 流 の 開 閉 | 問 接 可 能 | 直 接 可 能 | 手動操作式には、必要に応じて過負荷保護装置や低電圧保護装置を追加したものがある。 |
| 自 動 運 転 | 可 能 | 不 可 能 | |
| 遠 方 操 作 | 可 能 | 不 可 能 | |
| 過負荷保護装置 | あ り | な し | |
| 低電圧保護装置 | あ り | な し | |
| 開 閉 ひ ん 度 | 大 | 小 | |
| 寿 命 | 大 | 小 | |
| 既操作の心配 | 小 | 大 | |

器具を合理的に組み合わせ、かつ細部仕様の比較的広範囲な変更にも容易に即応できるようにするとともに、新しい方式による電磁起動器の系列追加により、最適な起動器を任意に選択できる範囲を広め、低価格起動器、高性能起動器とも短納期の要求に応じられるように計画した。

新形電磁起動器の共通の特長は次のとおりである。

2.3.1 小形、高性能品の組み合わせ

EMO 形電磁開閉器、M 形電磁接触器、MR 形電磁継電器のほか、NF 形 ノーヒューズシャ 断器または BM 形 モータブレーカを主要構成器具としており、いずれも高性能、高信頼度しかも低価格であり、小形品の組み合わせは起動器の小形化となって据付面積を節約できる。

2.3.2 多用性のある箱構造

小容量の起動器には、従来 EK 形電磁開閉器用であった プレスワークの外箱を流用しているが、すべて内蔵器具の合理的な配置によってコンパクトに納めてある。標準品は一般に電流計などを付属しないが、新形電磁起動器は必要に応じて、電流計、各種信号灯または押し ボタンスイッチなどを容易に追加取り付けできるように、外箱の各部に専用の ノックアウト を用意している。このため据付後、仕様の変更にも容易に応じられる。なお新形電磁起動器の内部組立は制御盤組込用 ユニット として使用することを原則としているので、制御盤の組立時間を大幅に短縮できる。

2.3.3 新しい方式で低価格品の系列追加

従来、この種の電磁起動器は、手動式に比べて価格が高く、一般性が少なかったが、とくに EE 形組合せ電磁開閉器および EY 形電磁 スターデルタ 起動器は、新方式による普及形として開発したため、手動式との価格差は減少し、電磁起動器の多角系列化によって価格、用途、運転ひん度および寿命などからの要求にマッチした起動器を、任意に選択できるようにした。

2.3.4 確実な保護特性

M 形電磁接触器の低電圧保護または低電圧釈放特性、TR 形熱動過電流継電器の三相および単相による拘束および過負荷保護特性のほか、NF 形 ノーヒューズシャ 断器のシャ 断特性などは、すべて品質管理を行っており、それら特性の協調も十分に考慮されているので、新形電磁起動器の保護特性は確実である。

2.3.5 長い寿命

NF 形 ノーヒューズシャ 断器のトッテ (取手) 操作は休止、急停止および自動 シャ 断のときに限られるから、その寿命に問題はなく、運転用は JIS 規格による A 級 1 号 1 種を上回る M 形電磁接触器で行なうため、起動器の寿命は非常に長い。

なお電磁操作式と手動操作式との基本的な比較を参考として表

2.2 に示す。

3. ED 形電磁開閉器 (コンビネーションスタータ)

3.1 仕様、構造および特長

電動機運転の基本となる 4 要素は、2.1 節に述べたとおりであるが、ED 形電磁開閉器はこれらの 4 要素を図 3.1、3.2、3.3 および表 3.1 に示すように、NF 形 ノーヒューズシャ 断器と EMO 形電磁開閉器の組み合わせによって得ている。すなわち、NF 形 ノーヒューズシャ 断器は電動機回路の分岐開閉器と短絡保護の役目をし、EMO 形電磁開閉器は電動機の起動停止と過負荷保護をしているが、両者の保護特性は協調するように選定してある。

外箱は主要構成器具の組み合わせによってその寸法を異にするが、表 3.2 に示すような、電流計、信号灯、または押し ボタンスイッチなどの付属器具を追加しても、標準の外箱をそのまま使用できる。これらは従来、内蔵形であった電流計を箱の上部に取り付けるようにしたほか、信号灯および押し ボタンスイッチ とともに専



図 3.1 ED-35A 形電磁開閉器の外観
Fig. 3.1 Exterior view of type ED-35A magnetic switch.

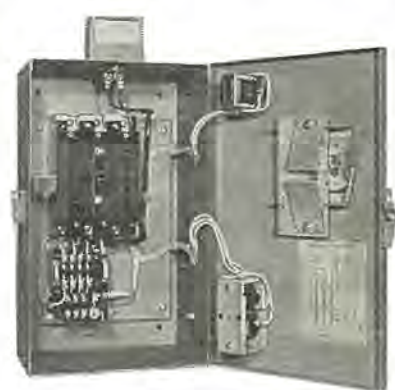
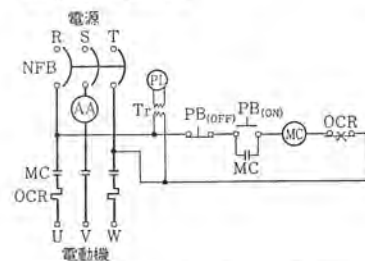


図 3.2 ED-35A-3 形電磁開閉器の内部
Fig. 3.2 Interior of type ED-35A-3 magnetic switch.



AA : 交流電流計
NFB : ノーヒューズシャ 断器
MC : 電磁接触器
OCR : 過電流継電器
PB : 押しボタンスイッチ
PL : 電源表示用信号灯

図 3.3 ED 形電磁開閉器展開接続図
Fig. 3.3 Connection diagram of type ED magnetic switch.

表 3.1 ED 形電磁開閉器標準

| 形 名 | 最高適用電動機の容量 (kW) | | 主要構成器具の形名 | | NF 形 ノーヒューズシャ 断器の定格シャ 断容量 (A) (NEMA 法) | | M 形電磁接触器の開路、シャ 断電流容量 (A) | |
|---------|-----------------|-----------|-------------|---------|--|--------|--------------------------|-------|
| | 200-220 V | 400-550 V | ノーヒューズシャ 断器 | 電磁開閉器 | 250 V | 600 V | 250 V | 600 V |
| ED-7A | 1.5 | 1.5 | NF-50B | EMO-7 | 7,500 | 5,000 | 74 | 40 |
| ED-15A | 3.7 | 5.5 | NF-50B | EMO-15 | 7,500 | 5,000 | 160 | 100 |
| ED-35A | 7.5 | 11 | NF-50B | EMO-35B | 7,500 | 5,000 | 330 | 250 |
| ED-65B | 11 | — | NF-100C | EMO-65 | 7,500 | 5,000 | 640 | 500 |
| ED-65A | 15 | 22 | NF-100B | EMO-65 | 20,000 | 15,000 | 640 | 500 |
| ED-75A | 19 | 22 | NF-100B | EMO-75 | 20,000 | 15,000 | 780 | 500 |
| ED-105B | 22 | 45 | NF-100B | EMO-105 | 20,000 | 15,000 | 1,000 | 1,000 |
| ED-155B | 37 | 75 | NF-225D | EMO-155 | 40,000 | 25,000 | 1,500 | 1,500 |
| ED-7B | 1.5 | 1.5 | NF-100B | EMO-7 | 20,000 | 15,000 | 74 | 40 |
| ED-15B | 3.7 | 5.5 | NF-100B | EMO-15 | 20,000 | 15,000 | 160 | 100 |
| ED-35B | 7.5 | 11 | NF-100B | EMO-35B | 20,000 | 15,000 | 330 | 250 |

注 1. 上表は非可逆式の例であり、可逆式は、たとえば ED-2×7A 形となる。
2. 制御盤用部分組立ユニットの形名は EDO 形と呼ぶ。
3. 設計上の標準は上表の主要構成器具でなっている。

表 3.2 付属器具の追加による形名変化表

| 付属器具 | なし | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------|----|---|---|---|---|---|---|---|
| 電流計 (AA) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 信号灯 (PL) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 押しボタン (PB) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

例 ED-35A 形の電流計付は ED-35A-1 形と呼ぶ。

用のノックアウトをあらかじめ設けておくことによって達成された。この考えは ED 形のほか、以下の章に述べる新形電磁起動器全般に及ぼすことにより、受注時の付属品追加仕様に即応できるとともに、納入後、仕様の変更にも機械加工なしで容易に応じられる利点となった。

3.2 協調した保護特性に関する検討

低圧カゴ形誘導電動機のじか入れ起動用として使用する EM 形電磁開閉器は、その開閉部の閉路およびシャ断電流容量が定格容量（最高適用電動機の容量）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は電磁開閉器で安全にシャ断することができないので、十分なシャ断容量をもつ NF 形ノーヒューズシャ断器でシャ断することが必要である。

協調した保護特性とは図 3.4 のように電動機の起動電流をこえ、全負荷電流の 10 倍以下の範囲で過電流継電器の動作曲線とシャ断器の動作曲線とが交差することであるが、以下これを得るために必要な事項に対する検討を試験結果を引用しながら述べることとする。

3.2.1 ノーヒューズシャ断器のシャ断容量

回路の短絡電流は、正確な値を計算することは複雑であるため、

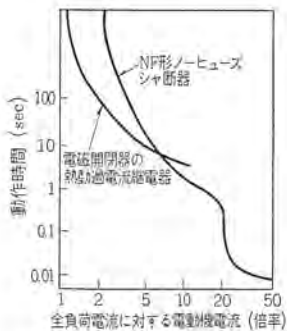


図 3.4 ED 形電磁開閉器動作特性の協調
Fig. 3.4 Operation characteristic coordination of type ED magnetic switch.

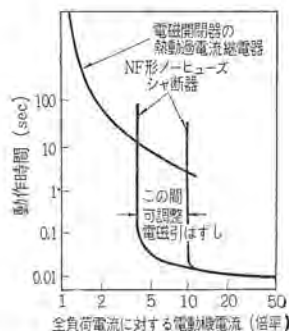


図 3.5 ED 形電磁開閉器動作特性の協調
Fig. 3.5 Operation characteristic of type ED magnetic switch.

一般には電源変圧器の二次側における三相短絡電流をもとにした推定短絡電流から、ノーヒューズシャ断器のフレームサイズを選定する。短絡時の電動機寄与電流に関する考慮は必要であるが、起動器内での短絡がないものと考えれば、起動器と電動機の間で生ずる短絡事故では、起動器内部と負荷側配線の合計インピーダンスにより短絡電流がある程度限流される。

表 3.3 は三相 500 V、60 c/s 短絡試験回路において、ED 形電磁開閉器の電磁接触器部分の電源側端子、熱動過電流継電器の負荷側端子および電磁開閉器から 10 m 離れた負荷側配線端において、それぞれ三相短絡した場合の電流が、ノーヒューズシャ断器の電源側における短絡電流に対してどのように限流するかを示した試験値である。

この試験において、短絡電流がノーヒューズシャ断器の定格シャ断電流を上回る過酷な条件の場合（表 3.3 中の※印で示す）には、器具、配線類に若干異状を認めたが、その他の場合では、いずれもノーヒューズシャ断器は異常なくシャ断し、引き続き実用できる状態であった。なおこの試験から一般に比較的細い配線のそう入による短絡電流の限流効果は、そのリアクタンス分を無視して、抵抗分だけによるインピーダンスの増加から推定してさしつかえないと思われるが、実際には漂遊インピーダンスその他による限流効果で事故電流としては、次のような概算式になる。

$$I_g = (E / \sqrt{3} \times \sqrt{(R_0 + R_w)^2 + X_0^2}) \times 0.5 \sim 0.8$$

I_g ……実際の事故電流 (A)

R_0 ……配線を含まない推定短絡回路の抵抗分 (Ω)

X_0 ……配線を含まない推定短絡回路のリアクタンス分 (Ω)

R_w ……配線の抵抗 (Ω)

E ……線間電圧 (V)

以上から、起動器内で短絡事故が生じないと考えれば、ノーヒューズシャ断器の必要なシャ断容量の選定に際しては、一般の計算式から得られる値より少なくとも 20% は減じうるわけであり、いたずらに余裕のあるシャ断器を設置するより、必要最小限のシャ断器を設置して、もし短絡時に消耗することがあれば代品と取り換えるほうが経済的と考えられる。

3.2.2 ノーヒューズシャ断器の動作特性

制御機器の基準周囲温度は 40°C であるが、ノーヒューズシャ断器はこのためノーヒューズシャ断器を制御機器に組み込む場合は、その定格電流を温度補正曲線によって 24°C に換算選定する必要がある。ノーヒューズシャ断器の定格電流はこのほか、運転保護用過電流継電器の動作を後衛する目的をもって、一般に電動機全負荷電流の

表 3.3 ED 形電磁開閉器における短絡点別による短絡電流の限流効果

| 三相短絡点 | 電磁開閉器の形名 | 電圧 (V) | 基準点としたノーヒューズシャ断器の電源側短絡電流 (A) | 短絡点の短絡電流 (A) | 限流効果 (%) | 備 考 |
|------------------------|----------|--------|------------------------------|--------------|----------|--|
| 電磁接触器の電源側端子 | ED-35A | 518 | 5,210 | 3,100 | 60 | いずれもノーヒューズシャ断器を ON とし“0”責務で行なった。 |
| | ED-105A | 515 | 15,080 | 10,000 | 68 | |
| | ED-155A | 520 | 22,000 | 17,800 | 81 | |
| | ED-35A | 520 | ※ 15,000 | 8,550 | 57 | |
| 熱動過電流継電器の負荷側端子 | ED-35A | 518 | 5,210 | 3,100 | 60 | 以下の試験はいずれもノーヒューズシャ断器を ON とし、電磁開閉器で短絡電流を投入した。 |
| | ED-65A | 515 | 15,080 | 6,050 | 40 | |
| | ED-105A | 500 | 15,080 | 7,850 | 52 | |
| | ED-155A | 520 | 22,000 | 12,700 | 58 | |
| 電磁開閉器から 10 m 離れた負荷側配線端 | ED-65A | 474 | 11,350 | 3,100 | 27 | 負荷側配線サイズ |
| | ED-105A | 422 | 11,350 | 4,300 | 38 | |
| | ED-155A | 474 | 11,350 | 6,200 | 55 | |
| | ED-65A | 500 | 22,270 | 4,500 | 20 | |
| | ED-105A | 473 | 22,270 | 7,800 | 35 | |
| | ED-155A | 473 | 22,270 | 11,500 | 52 | |

注 1. 電流値はいずれも各相の平均値で示す。

2. 減流効果……[実測過電 (シャ断) した電流の波高値/基準とした短絡回路波高値]×100%。

3. ※……ノーヒューズシャ断器の定格シャ断容量は 5,000A であり、シャ断器のケースに異常を認めたが短絡電流は完全にシャ断した。

1.25～2.5 倍の範囲に選定されるが、この定格電流は、運転中の箱内温度上昇および自身からの発熱により低減する。この定格電流の低減は配線用 シュ断器として、短絡回路の配線の保護を主目的とする場合は好ましい傾向であるが、電動機回路用としては常に安定した協調特性を得るものであることが望ましい。

図 3.4 から明らかなように、両曲線の交点から上では、運転保護用過電流継電器が早く動作するため、ノーヒューズシュ断器は実際に動作することがないので、省略しうる要素であることがわかる。いっぽう、電動機起動電流の全負荷電流に対する倍率は電動機の設計により異なるが、電源電圧が安定しておれば起動電流も安定し、また次の項で述べる過電流継電器の保護の範囲をできるだけ軽くするためにも、温度に影響されず、かつ過電圧時の起動電流で誤動作しない範囲で両曲線の交点を低倍率で得ることが望ましい。NF-225D 形および 100D 形 ノーヒューズシュ断器⁽²⁾は図 3.5 のように可調整式電磁引はずし装置を持ち、外面に設けた調整装置で適切な引はずし電流値にセッティングできるので、熱動引はずしと固定調整式電磁引はずしを備えたノーヒューズシュ断器に比べ、電動機回路の動作特性協調にはよりすぐれたシュ断器である。

なお、電動機的全負荷電流を基準にして起動階級〔回転子拘束時の皮相電力 (kVA)/定格出力 (kW) を A, B, C などの符号で表わしたもの〕別にノーヒューズシュ断器の最大定格電流を選定する方式⁽³⁾では、一般は余裕のある定格選定になることが多い。

3.2.3 電磁接触器および熱動過電流継電器

電磁接触器および熱動過電流継電器については、新形電磁開閉器で詳述されているように、一般に電磁開閉器における開閉部分(電磁接触器)の開路およびシュ断電流容量は定格容量の 10 倍であり、また過電流継電器は電動機の三相および単相による拘束ならびに過負荷によって生ずる電動機巻線の過熱を防止するための保護装置で、いずれも短絡保護の能力はない。

3.2.1 項に述べた短絡試験(表 3.3 参照)で、ノーヒューズシュ断器は定格シュ断容量以下ではいずれも異常なくシュ断し得たが、定格シュ断容量をこえる事故電流に対しては、電磁接触器または熱動過電流継電器は、たいていの場合、若干の不具合を生じその補修または取り換えを必要とした。

3.3 適用その他

ED 形電磁開閉器は、一般に箱外周囲温度 40℃ 以下で、電動機の起動電流が約 600% 以下、起動時間が約 5 秒以下のあらゆる用途に支障なく適用できるが、起動電流の全負荷電流に対する倍率が特別に大きい電動機や、起動時間が長い電動機用には、新

形電磁開閉器で述べたように、熱動過電流継電器のヒータに並列に小形可飽和リアクトルを付加して過大電流を分流させ起動時の誤動作を防止することができる。これによって過大電流によるヒータの溶断を少なくできる利点もある。

ED 形電磁開閉器の標準は表 3.1 および表 3.2 に示したとおりで、外箱の保護構造は閉鎖形であるが、このほかにジッアイ、水滴などの侵入をおおむね防ぐ構造で、屋内または軒下用として適当な EDR 形と、ジッアイ、雨滴などの侵入を防ぐ構造で、屋外防ジッ形の EDW 形も製作している。

4. EE 形電磁開閉器(コンビネーションスタータ)

4.1 仕様、構造および特長

EE 形電磁開閉器は電動機運転の基本となる 4 要素を、ED 形電磁開閉器と同様に備えているが、3.2.2 項で述べたように、過電流から短絡電流まで、広範囲にわたり保護する特性曲線は、ED 形で採用しているようなノーヒューズシュ断器の引はずし特性と、熱動過電流継電器の動作特性の組み合わせ(図 3.4 参照)の代わりに、EE 形では図 4.1 に示すように両者の特性を 1 ユニットで兼ねる BM 形または NF 形 モータブレーカを使用している。また押しボタンなどの操作スイッチにより遠方から操作するため M 形電磁接触器を組み込むことにより、低価格な普及形としたもので、表 4.1 に示す種類がある。なお接続図は ED 形の図 3.3 と近似であるが、EE 形には TR 形熱動過電流継電器(OCR)は使用していない。

外箱は EK 形電磁開閉器用を流用しているので、工作は簡単で、体裁は優美である。主要構成器具は ED 形と取付方法を異にし、モータブレーカおよび電磁接触器をそれぞれ専用の取付座に直接取り付けようにした。ただし、たとえば EE-4 形、7 形および 15 形は箱寸法が同じであるので、電磁接触器用取付座は 3 者に兼用できるよう考慮してある。また付属器具の追加取り付け



図 4.1 EE-35-2 形電磁開閉器の内部
Fig. 4.1 Interior of type EE-35-2 magnetic switch.

表 4.1 EE 形 電 磁 開 閉 器 標 準

| 形 名 | 最高適用電動機の容量 (kW) | | 主要構成器具の形名 | | BM 形および NF 形モータブレーカの定格シュ断容量 (A) (JIS および NEMA 法) | | M 形電磁接触器の開路、シュ断電流容量 (A) | |
|--------|-----------------|-----------|-----------|-------|--|-----------|-------------------------|-------|
| | 220-220 V | 400-440 V | モータブレーカ | 電磁接触器 | 250 V | 500-600 V | 250 V | 600 V |
| EE-4 | 1.5 | — | BM-M | M-4 | 5,000 | — | 74 | — |
| EE-7 | 1.5 | — | BM-M | M-7 | 5,000 | — | 74 | — |
| EE-15 | 3.7 | — | BM-M | M-15 | 5,000 | — | 160 | — |
| EE-35 | 7.5 | — | NF-50A | M-35B | 5,000 | — | 320 | — |
| EE-4B | — | 1.5 | BM-50B | M-4 | — | 5,000 | — | 40 |
| EE-7B | — | 1.5 | BM-50B | M-7 | — | 5,000 | — | 40 |
| EE-15B | — | 5.5 | BM-50B | M-15 | — | 5,000 | — | 100 |
| EE-35B | — | 11 | NF-50B | M-35B | — | 5,000 | — | 250 |
| EE-65 | 15 | 22 | NF-100B | M-65 | 20,000 | 15,000 | 640 | 500 |
| EE-75 | 19 | 22 | NF-100B | M-75 | 20,000 | 15,000 | 780 | 500 |
| EE-105 | 22 | 45 | NF-100B | M-105 | 20,000 | 15,000 | 1,000 | 1,000 |
| EE-155 | 37 | 75 | NF-225E | M-155 | 40,000 | 30,000 | 1,500 | 1,500 |

注 1. 設計上の標準は上表の主要構成器具でなりたっている。
2. 付属器具の追加による形名の変化は表 3.2 に準ずる。

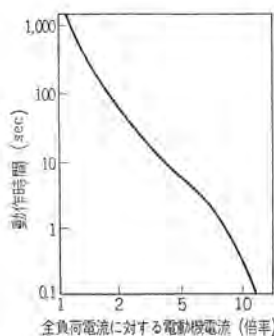


図 4.2 BM-M 形 モータブレーカの動作特性曲線
Fig. 4.2 Operation characteristic curve of type BM-M motor breaker.

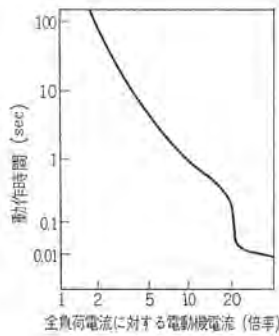


図 4.3 NF-50A 形 モータブレーカの動作特性曲線
Fig. 4.3 Operation characteristic curve of type NF-50A motor breaker.

が容易であることは、ED 形と同様であるが、フタは着脱式のため押しボタンスイッチを内蔵する場合は標準形の外箱を流用できない。

4.2 保護特性に関する検討

4.2.1 モータブレーカ

BM 形 モータブレーカは、ノーヒューズシャ断器本来の保護特性のほか電動機の過負荷ならびに拘束時の保護もできる特性をもったもので周囲温度 40°C における電動機の起動電流以下での動作特性を、EM 形電磁開閉器の TR 形熱動過電流継電器に近似にしたものである。モータブレーカに必要なシャ断容量の選定については、3.2.1 項に述べた ED 形電磁開閉器の場合とまったく同様でよいが、NF 形 モータブレーカは熱動一電磁引はずし機構付であって、3.2.2 項に述べたように周囲温度の変化によって、定格電流も動作時間も変化する。これに対し、BM 形 モータブレーカはオイルダッシュポット式の電磁引はずし機構付であるから、周囲温度の変化によって、定格電流は変わらないが、動作時間の変化する点が異なる。図 4.2 および図 4.3 はモータブレーカの周囲温度 40°C におけるコールドスタートの場合の特性曲線であり、これらの動作特性を図 3.4 に示す ED 形電磁開閉器のそれと比較すれば、両者の保護特性は相似であることがわかる。

3.2.2 項で述べたように、ED 形電磁開閉器用ノーヒューズシャ断器の負荷率は通常 1 未満であるが、これに対してモータブレーカの負荷率はほぼ 1 となっているので、両者のコールドスタート特性曲線は相似であっても、モータブレーカはホットスタート時の動作が若干早くなる。したがって、モータブレーカは、ひんばんに起動停止を繰り返すような用途や起動時間の長い用途には動作するおそれがあるので不適当である。

4.2.2 電磁接触器

EE 形電磁開閉器は前述のとおり、熱動過電流継電器を持っていないので、過酷な短絡電流によって電磁接触器に接触子の溶着などのおそれはあっても、ヒータの溶断はなく過電流継電器を補用品として準備しておく不経済はない。

4.3 適用その他

EE 形電磁開閉器は ED 形電磁開閉器の普及形であるが、両者間には 4.2 節に述べたような特性の相違点があるのでこれらの特性を知って適用を誤らないことが肝要である。たとえば起動停止をひんばんに繰り返す工作機械などには不適当であり、一般に軽負荷短時間起動で、電動機再起動までの停止時間が通常 3 分程度あるポンプなどの自動運転、またはこれに類する用途には最も

表 4.2 ED 形電磁開閉器と EE 形電磁開閉器の要目比較

| 電磁開閉器の形名 | | ED | EE |
|----------|------------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 構成器具 | シャ断器 | NF 形ノーヒューズシャ断器 | NF 形または BM 形モータブレーカ |
| | 運転用開閉器 運転用過電流継電器 シャ断器外部操作トッテ | EMO 形電磁開閉器 TR 形熱動過電流継電器 | M 形電磁接触器 (モータブレーカで兼用) |
| 保護特性 | 短絡保護特性 | あり | あり |
| | 運転保護特性 | あり | あり |
| | 特性曲線の要素 可調整電磁引はずし式の適用 | 2 可能 | 1 不可 |
| 適用 | ひんばん起動 長時間起動 制御盤組込用 | 制限なし 適用可能 あり | 制限あり 適用困難または不可 なし |

経済的な コンビネーションスタータ として推奨できる。

以上の EE 形電磁開閉器を 3 章に述べた ED 形電磁開閉器と構造、仕様、特性など要目の比較をすれば表 4.2 に示すとおりである。

5. EYD 形電磁スターデルタ起動器

5.1 減圧起動法

カゴ形誘導電動機は構造が簡単、堅固かつ安価であるので、広く各種産業分野に使用されているが、特性上起動時 5~7 倍の起動電流が流れる。このため電源設備容量が小さい場合は、起動時の皮相電力の急激な増加によって線路に大きな電圧降下を生じ、この線路に接続される他の機器に悪影響を与えるのでこれを防止するため、大容量のカゴ形誘導電動機は起動電流を減じて起動する必要がある。

電動機の相インピーダンスは一定であるから、その起動電流は端子電圧に比例するので、適当な方法でこの端子電圧を下げれば起動電流を減ずることができる。起動時電圧を減じて電流を減ずる減圧起動法には 2.1 節で述べたように 4 種類ある。

5.1.1 スターデルタ起動法

起動電流を制限する最も簡単な方法であり、デルタ 接続運転用の電動機を起動時だけ スター 接続として、各相が電源電圧の $1/\sqrt{3}$ で起動し、ほぼ全速に達してから デルタ 接続に切り換えて、はじめて各相が電源電圧で運転に入るものである。ジカ入れ起動に対して起動電流は $1/3$ となり限流効果は大きい、起動トルクも全電圧起動のときの $1/3$ に減ずる。

5.2 EYD 形電磁スターデルタ起動器の仕様、構造および特長

EYD 形電磁 スターデルタ 起動器は図 5.1 および表 5.1 に示すように M 形電磁接触器 2 個と EMO 形電磁開閉器 1 個を開閉部とし、AM 形限時継電器 (吸引限時式) を スター 接続による起動時間の規制用として構成しており、その接続は図 5.2 に示すとおりである。この起動器は電磁接触器を 3 個使用しているので、停止中の電動機は電位をもたず点検、修理などが安全にできる特長がある。

外箱は 3 章に述べた ED 形電磁開閉器の構造と同様で、主要構成器具は内部取付板に配置しており、標準の外箱には電流計および押しボタンスイッチなどを容易に追加できる。

電磁操作式と手動操作式との基本的な比較は表 2.2 に示したが、電磁操作式 スターデルタ 起動器はとくに次のような特長がある。

5.2.1 減圧起動の確実性

デルタ で運転中に停電した場合、EYD 形電磁 スターデルタ 起動器は 2 サイクル 以内に、確実にまた自動的に、スター 接続による再起動可能な態勢に復帰するが、手動操作式は、停電のつど、トッテ を

停止位置に意識的に復帰しなければならぬ。もしこれを怠った場合は、再送電時に「ジャ」入れ起動となって、減圧起動器の役目を果たさない。

5.2.2 起動時間の

安定性

スター接続による起動後、デルタ接続による運転に切り換えるまでの時間は、負荷状態が安定している場合は、ほぼ全速に達するまでの時間。また安定するので、EYD形電磁スターデルタ起動器では電磁操作のニューマチック操作式限時継電器で起動時間を正確に規制するが、手動操作式では、人為操作によるので起動時間にムラがやすい。

5.3 切換過渡時の安全性に関する検討

5.3.1 起動用電磁接触器

5.1.1項においてスターデルタ起動法では、「ジャ」入れ起動法に対して起動電

流が1/3になることを述べたが、起動時および運転中における電圧、電流およびトルクなどの関係をまとめれば、表5.2のとおりとなる。

5.3.1 起動用電磁接触器

起動用電磁接触器の開路電流は「ジャ」入れ起動に対して1/3になるので、「ジャ」入れ起動の場合の1/3の開路電流容量をもつ電磁接触器を使用できるが、起動時に全負荷トルク近くを必要とするなど、負荷の性質によってはトルク不足で起動不能になるほか寸動操作なども考慮すれば開路電流容量と同様のシャ断電流容量を必要とする。起動用として選んだM形電磁接触器はこの要求を十分満足するとともにシャ断時のアーク時間が短いので、アーク短絡防止のためにとくに限時要素を必要としない。なおアーク時間および無通電余裕時間については新形電磁開閉器での紹介資料を参照されたい。

使用中、接点の消耗が増した場合、起動用電磁接触器を減磁してからその主接点が開き、あるいは補助接点(b)が閉じるまでの時間は、いずれもわずかに増す傾向にあるが、運転用電磁接触器を励磁してから、その主接点が開くまでの時間もまた増すため、結局、無通電余裕時間は接点の消耗によりほとんど変化しない。

EYD形電磁スターデルタ起動器に使用する起動用M形電磁接触器は前述にもかかわらず構成上のつごうもあって $\sqrt{3}$ 倍までの使用にとどめているので、必要な容量に対しては $\sqrt{3}$ 倍の余裕をもっている。

5.3.2 運転用電磁接触器

新形電磁起動器・宇佐見

表 5.1 EYD 形 電 磁 スターデルタ 起 動 器 標 準

| 形 名 | 最高適用電動機の容量 (kW) | | 主 要 構 成 器 具 の 形 名 | | | M形電磁接触器の開路シャ断電流容量 (A) | |
|----------|-----------------|-----------|----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|
| | 200-220 V | 400-550 V | 熱動過電流継電器/電磁接触器 (3 個) | 限時継電器 | | 250 V | 600 V |
| EYD-15A | 5.5 | 7.5 | TR-15 | M-15 | AM-02 | 160 | 100 |
| EYD-35A | 11 | 19 | TR-35B | M-35 | " | 330 | 250 |
| EYD-65A | 22 | 37 | TR-65 | M-65 | " | 640 | 500 |
| EYD-75A | 30 | 37 | TR-75 | M-75 | " | 780 | 500 |
| EYD-105B | 37 | 75 | TR-105 | M-105 | " | 1,000 | 1,000 |
| EYD-155B | 60 | 125 | TR-155 | M-155 | " | 1,500 | 1,000 |

表 5.2 「ジャ」入れ起動法とスターデルタ 起動法の比較

| 起 動 法 | 起 動 時 | | | | 運 転 時 | | 備 考 |
|--------|---|----------------------------------|-------------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|--------------------------------|
| | 線 電 流 (起動電流) | ト ル ク | 線 間 電 圧 (電源電圧) | 相 電 圧 | 線 電 流 (負荷電流) | 相 電 流 | |
| 「ジャ」入れ | ※ 600 | ※ 150 | 100 | 100 | 100 | $100 \times 1/\sqrt{3} = 58$ | 1. 表中の値はすべて $\frac{1}{3}$ で示す。 |
| スターデルタ | $600 \times 1/\sqrt{3} \times 1/\sqrt{3} = 200$ | $150 \times (1/\sqrt{3})^2 = 50$ | 100 | $100 \times 1/\sqrt{3} = 58$ | 100 | $100 \times 1/\sqrt{3} = 58$ | 2. ※ は一例である。 |



図 5.1 EYD-65AU 形 電 磁 スターデルタ 起 動 器
Fig. 5.1 Type EYD-65AU magnetic star-delta starter.

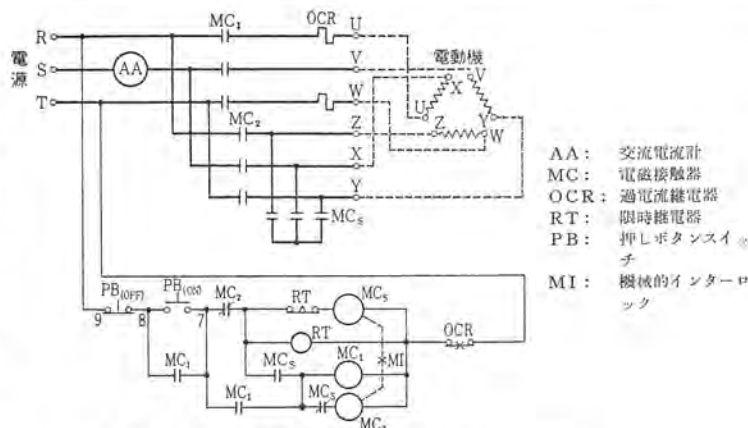


図 5.2 EYD 形電磁スターデルタ 起 動 器 展 開 接 続 図
Fig. 5.2 Connection diagram of type EYD magnetic star-delta starter.

「ジャ」入れ用電磁開閉器の開閉部は電動機の一次側にそう入されるため、全運転時間を通じて電動機電流を開閉するが、EYD形電磁スターデルタ起動器における運転用M形電磁接触器は、図5.2によるMC₁およびMC₂の2個でいずれも相電流部にそう入される。したがって、これらの電磁接触器には線電流の $1/\sqrt{3}$ が流れるので、前項と同様の考え方から、同じ電磁接触器で「ジャ」入れ起動の場合の $\sqrt{3}$ 倍まで使用できる能力をもっている。

運転中の電動機が停止するとき、図5.2におけるMC₁およびMC₂は同時にシャ断することが好ましいが、電磁接触器の特性は厳密には個々に異なるので、低電圧によるシャ断時は、同時シャ断を期待できない。しかしながら個々の電磁接触器は、表5.1に示すとおり十分な開路シャ断電流容量があり、また同時シャ断性はこの場合問題にならない。

起動用電磁接触器開路直後の電動機残留電圧と、運転用電磁接触器開路瞬時の供給電圧との位相差により生ずる第2次の突入電流の値は理論上、「ジャ」入れ起動電流からその2倍の範囲であり、またランダムに生ずるものであるが、三菱SB-A形、5.5kW、4Pの般用電動機について実測した結果を一例として表5.3および図5.3に示す。

この実測結果からは、電動機的设计仕様により若干の相異はあるが、一般にこの突入電流は、電動機の停止(スリ=1)から同期速度(スリ=0)に至る起動電流の推移と相似しており、同期速度に近くなると加速的に好条件になるが、概して、最悪の場合でもその最大値は、およそ「ジャ」入れ起動電流の1.7倍(実効値に対し

表 5.3 電動機回転数と第2次の突入電流の関係
試料: 三菱 SB-A 形, 5.5kW, 4P 全負荷電流 21A (実効値)

| スター用電磁接 触器通電時間 (サイクル) | 電動機 回転数 (rpm) | 第 2 の 突 入 電 流 波 高 値 (A) | | | | | | 切替時間 (60 c/s ベース) | |
|-----------------------------|---------------------|-------------------------|-----|-----|-----|--------------|----------|----------------------|------|
| | | 波高値 | 第1相 | 第2相 | 第3相 | 実測最高値 の平均 | 95% 信頼限界 | | |
| | | | | | | | 上限 | 下限 | |
| 5 | 170 | 最小 | 124 | 118 | 110 | 138 | 166 | 111 | 1.03 |
| | | 最大 | 150 | 117 | 96 | | | | 0.65 |
| 15 | 450 | 最小 | 127 | 126 | 112 | 135 | 156 | 115 | 0.74 |
| | | 最大 | 145 | 125 | 110 | | | | 0.69 |
| 30 | 800 | 最小 | 109 | 120 | 120 | 139 | 167 | 111 | 0.03 |
| | | 最大 | 150 | 114 | 128 | | | | 0.75 |
| 50 | 1,360 | 最小 | 136 | 125 | 100 | 141 | 172 | 112 | 0.75 |
| | | 最大 | 118 | 122 | 147 | | | | 0.85 |
| 60 | 1,800 | 最小 | 55 | 75 | 71 | 79 | 87 | 72 | 1.00 |
| | | 最大 | 87 | 67 | 59 | | | | 0.95 |

注 1. 切替時間は無通電余裕時間を示す。

2. 切替時間の平均値は 0.81 サイクルで、95% 信頼限界による上層は 1.17 サイクル、下層は 0.45 サイクルとなる。

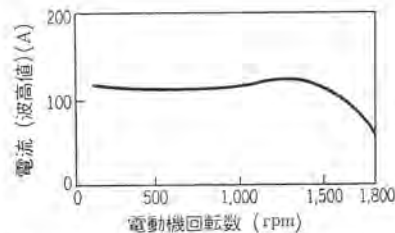


図 5.3 電動機回転数と第2次の突入電流の関係 (一例)

Fig. 5.3 Relation between motor speed and secondary inrush current.

波高値による倍数で示す) 以下と考えて支障はない。

EYD 形電磁 スターデルタ 起動器に使用する運転用 M 形電磁接触器は、いずれも第2次の突入電流に対して実用上十分な余裕をもっているため、この電流の投入でトラブルの生ずる恐れはない。

5.4 適用その他

EYD 形電磁 スターデルタ 起動器は、ED 形電磁開閉器と同様過酷な使用や特殊な条件にも十分に対応できる内容となっている。

一般に カゴ形三相誘導電動機は 3.7kW までスター結線 3 本リード式で、5.5kW 以上がデルタ結線 6 本リード式であるから、電源電圧を常時安定させる必要がある場合この起動方法は 5.5kW 以上の電動機に適用できる。

6. EY 形電磁スターデルタ起動器

6.1 仕様、構造および特長

3 章および 4 章で述べたように、EE 形電磁開閉器 (コンビネーションスタータ) が ED 形電磁開閉器に対する普及形であると同様に、EY 形電磁 スターデルタ 起動器は、5 章に述べた EYD 形電磁 スターデルタ 起動器の普及形として設計したものである。

EY 形電磁 スターデルタ 起動器は図 6.1 および表 6.1 に示すように、起動用 M 形電磁接触器と運転用 M 形電磁接触器各 1 個を開閉部とし、その起動時間の規制用に DR 形熱遅延リレー (真空管で常時開接点をもつ) を保護用として電源側に TR 形熱動過電流継電器を設けている。その接続を図 6.2 に示すが EYD 形と異なる点は 6 本 リード 中の 3 本には開閉部を持たないため、電動機はたとえ停止中であっても電位をもっていることである。

外箱は 4 章に述べた EE 形電磁開閉器と同様であるが、主要構成器具は制御盤組込用を考慮して、専用の取付板に組み立ててある。

減圧起動の確実性、起動時間の安定性などに関する電磁操作式

の特長については、5.2.1 項および 5.2.2 項に述べたとおりである。

6.2 真空管式限時継電器に関する検討

EY 形電磁 スターデルタ 起動器は 5.3.1 項に述べた考えをそのまま導入し、必要な最小限の容量をもつ起動用電磁接触器を使用することによって、主要構成器具中に占める電磁接触器の価格を大幅に低減したが、さらに EYD 形に対して経済的な電磁 スターデルタ 起動器とした要素は、以下に述べる真空管式限時継電器の使用にある。

6.2.1 三菱 DR 形熱遅延リレー真空管の概要

DR 形熱遅延リレー真空管は、加熱によってバイメタル板が湾曲することを利用し接点开閉までの所要の時限を得るもので、各要素を GT 形 (8 ピン) または MT 形 (9 ピン) 受信用真空管内に封入したものであるが、電圧、遅延動作時間、接触方式などの仕様によって、表 6.2 に示す種類がある。なお使用電圧が 100 V をこえる場合は直列抵抗を使用する。

6.2.2 熱遅延リレー真空管の限時継電器への適用

前項で述べたように、DR 形熱遅延リレー真空管は一種の熱動継電器であって、ヒータ電圧の増減による発熱量の変化から、遅延動作時間を加減しうるので、EY 形電磁 スターデルタ 起動器では図 6.2 に示すように、外付直列抵抗 (R) によりヒータ電圧をほぼ定格値とし、可変抵抗 (RH) によりヒータ印加電圧を減じて、長時限側に調整できるようにした。図 6.3 は定格遅延動作時間が標準の 5 秒のもの、および長時間起動用の 10 秒のものについて、可変抵抗の変化すなわち調整 ヲマミ (図 6.3 参照) を回すことによって、動作時間が変化し、とくに切替時間に高い精度を要しない スターデルタ 起動器用として十分実用できる。

6.2.3 真空管式限時継電器の電圧特性

電動機の起動時、トルクは電圧の二乗に比例するので、電源電圧

表 6.1 EY 形電磁 スターデルタ 起動器 標準

| 形 名 | 最高適用電動機の容量 (kW) | | 主 要 構 成 器 具 の 形 名 | | | | | | M 形電磁接触器の開路、シャ断電流容量 (A) | | | |
|---------|-----------------|-----------|-------------------|--------------|--------------|------------|-------|--|-------------------------|-------|-------|-------|
| | 200-220 V | 400-440 V | 熱動過電流 継電器 | 起動用 電磁接触器 | 運転用 電磁接触器 | 限時継電器 | 補助継電器 | | 250 V | | 600 V | |
| | | | | | | | | | 起動用 | 運転用 | 起動用 | 運転用 |
| EY-15A | 5.5 | 7.5 | TR-35B | M-15 | M-15 | DR-105N-GT | MR-4E | | 160 | 160 | 100 | 100 |
| EY-35A | 7.5 | 15 | TR-35B | M-15 | M-35 | " | " | | 160 | 330 | 100 | 250 |
| EY-35B | 11 | — | TR-65 | M-15 | M-35 | " | " | | 160 | 330 | 100 | 250 |
| EY-35C | — | 19 | TR-65 | M-35 | M-35 | " | " | | 330 | 330 | 250 | 250 |
| EY-65A | 15 | 30 | TR-65 | M-35 | M-65 | " | " | | 330 | 640 | 250 | 500 |
| EY-65B | 19 | — | TR-75 | M-35 | M-65 | " | " | | 330 | 640 | 250 | 500 |
| EY-65C | — | 37 | TR-75 | M-65 | M-65 | " | " | | 640 | 640 | 500 | 500 |
| EY-65D | 22 | — | TR-105 | M-35 | M-65 | " | " | | 330 | 640 | 250 | 500 |
| EY-75A | 30 | — | TR-125 | M-65 | M-75 | " | " | | 640 | 780 | 500 | 500 |
| EY-105A | — | 45 | TR-105 | M-65 | M-105 | " | " | | 640 | 1,000 | 500 | 1,000 |
| EY-105B | 37 | 60 | TR-155 | M-65 | M-105 | " | " | | 640 | 1,000 | 500 | 1,000 |
| EY-105C | — | 75 | TR-155 | M-105 | M-105 | " | " | | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

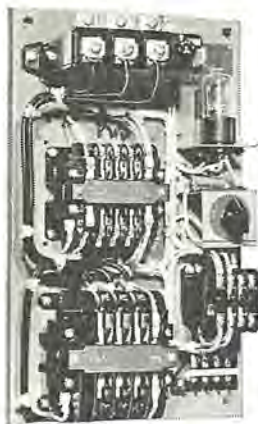


図 6.1 EYO-35A 形
電磁 スターデルタ 起動器
Fig. 6.1 Type EYO-35A
magnetic star-delta
starter.

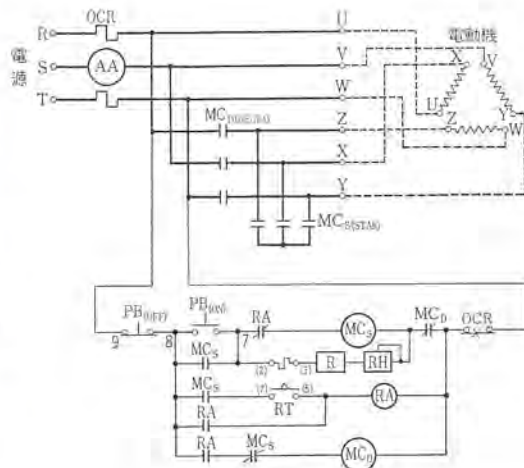
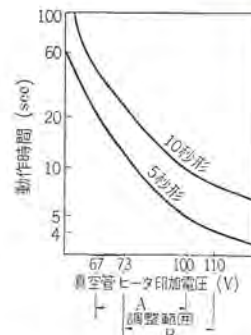


図 6.2 EY 形電磁 スターデルタ 起動器展開接続図
Fig. 6.2 Connection diagram of type EY magnetic star-delta starter.

AA : 交流電流計
MCs : 電磁接触器
MCD : 電磁接触器
OCR : 過電流継電器
RA : 補助継電器
RT : 熱遅延リレー
PB : 押しボタンスイ
ッチ
R : 抵抗器
RH : 可変抵抗器



調整範囲 A は 200 V または
400 V の場合、B は 220 V ま
たは 440 V の場合を示す

図 6.3 限時継電器の
調整範囲と動作時間の
平均特性曲線

Fig. 6.3 Average
characteristic curves of
adjustable range of
time relay and
operating time.

表 6.2 DR 形熱遅延 リレー 真空管標準表

| 形 名 | DR | | | |
|------------|----------------------------------|----|-------------|----------------|
| ヒータ電圧 (V) | 100 | 48 | 24 | 6.3 |
| 電 流 (mA) | 20 | 40 | 80 | 300 |
| 動作時間 (Sec) | N (常時閉 1 a) | | C (常時閉 1 b) | |
| 接 点 | 2, | 3, | 5, | 10, 15, 30, 60 |
| 管 種 | GT, MT | | | |
| 電流の区別 | AC, DC | | | |
| 接点容量 | 100 V 3A, 200 V 1.5A, 400 V 0.5A | | | |

注. 表中の太字は EY 形電磁スターデルタ起動器に使用している真空管を示し、
正形式名は次のとおりである。DR-105-N-GT-AC

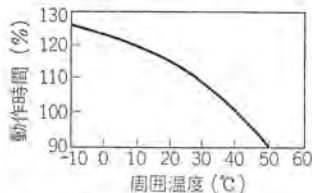


図 6.4 限時継電器の周
囲温度と動作時間の
平均特性曲線

Fig. 6.4 Average
characteristic curves of
ambient temperature and
operating time of
time relay.

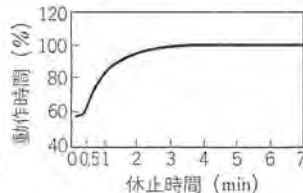


図 6.5 限時継電器の休止
時間と動作時間の平均
特性曲線

Fig. 6.5 Average
characteristic curve of
stopping time and operating
time of time relay.

があらかじめ低下した状態でスターデルタ 起動をする場合は、十分に加速ができず、起動時間も長くなるが EY 形電磁 スターデルタ 起動器用の限時継電器の動作時間は、ヒータ 印加電圧の二乗にほぼ反比例して変化する (図 6.3 参照) のでこの限時継電器の使用は合理的である。

6.2.4 真空管式限時継電器の温度特性

多数試験の結果による周囲温度平均特性曲線を図 6.4 に示す。なお 60°C の周囲温度差に対して 35% 程度特性が変化するが実用上支障ないものとする。また図 6.2 から明らかなように、真空管式限時継電器部分は起動時のみ負荷され、電動機停止中や運転中は、完全に無負荷状態にあるから、真空管は最小限の発熱量で済むのでその寿命は長い。熱動作形であるため、電動機の運転時間と停止時間の合計、すなわち限時継電器の休止時間 (ヒータの無通電時間) が極端に短い場合は、接点間 ギャップが正規状態に復元せず、図 6.5 に示すように動作時間が早くなる特性をもっている。

6.2.5 真空管式限時継電器のその他の特性

(1) 接 点

新形電磁起動器・宇佐見

特殊ガス中で開閉するため、絶縁性酸化皮膜の生成が少なく、常に安定した接触が得られる。接点の負荷は図 6.3 に示すとおり、略号 RA の MR-4E 形電磁継電器 (安定した回路構成とするため、MR-4 形をとくにオーバラップ 接触としたもの) だけで、その操作電磁 コイルの励磁電流を開路するが、開路時は無負荷であるので接点の負荷は軽い。

(2) 耐振性

一般受信真空管と同様の振動試験 (周波数 30 c/m, 振幅 1 mm, 5 分間主として水平振動) で異常なく、また衝撃試験では、縦位置、横位置とも 100 g まで異常がない。

(3) 寿 命

DR 形真空管の ヒータ 定格電圧は 100 V であるが、電源電圧が 220 V または 440 V で、かつ可変抵抗を 0 に近く設定したとき最高 110 V になる以外は、ヒータ 印加電圧は定格電圧以下であり、ヒータ の消耗はほとんどないので寿命は長い。

EY 形電磁 スターデルタ 起動器として、限時継電器部分とくに DR 形真空管に重点をおいた寿命試験 (主回路には通電せず) は、長期にわたり続行したが、接点はやや消耗した程度で限時継電器としての特性に大きな変化を認めず目標寿命 50 万回を満足したので、この真空管によって EY 形電磁 スターデルタ 起動器としての寿命を短縮することはない。

6.3 適用その他

EY 形電磁 スターデルタ 起動器と EYD 形電磁 スターデルタ 起動器とは多くの相違点があるので、それぞれ前述の特性を知って適用を誤らないことが肝要である。とくに EY 形については、電動機は停止中であっても電位をもっているため、起動器や電動機の点検に安全を期するために、3 極の電源開閉器を設置する必要がある。

以上の EY 形電磁 スターデルタ 起動器を 5 章に述べた EYD 形電磁 スターデルタ 起動器と構造、仕様、特性など要目の比較をすれば表 6.3 に示すとおりである。

7. その他の新形電磁起動器

7.1 EG 形電磁起動補償器

起動補償法は三相接続とした単巻変圧器を起動時だけ使用する

表 6.3 EYD 形電磁 スターデルタ 起動器と EY 形電磁 スターデルタ 起動器の要目比較

| 形 名 | EYD | EY |
|-------------------|-----------------|----------------|
| 電磁接触器の使用個数 | 3 | 2 |
| ジカ入れ起動用に対する電磁 | $\sqrt{3}$ | 3 |
| 逆転用 | $\sqrt{3}$ | $\sqrt{3}$ |
| 接触器の格上使用倍率 | | |
| 熱動過電流継電器の位置 | 相電流部 | 線電流部 |
| 限 時 継 電 器 | AM 形ニューマチック式 | DR 形真空管+加減抵抗器 |
| 時 限 調 整 範 囲 (sec) | 0.2~200 | 5~17 または 10~35 |
| 電圧降下による時限の変化 | 変化なし | 長くなる |
| 完全復帰に要する時間 | 瞬時 (約 0.2 サイクル) | 約 2 分 |
| ジカ入れ起動になる危険性 | なし | なし |
| 停止中の電動機の電位 | なし | あり |
| 電源開閉器の設置 | 不要 ※ | 必要 |
| 繰返し起動間隔 | 制限なし | 約 2 分以上 |

※ 分岐用開閉器は使用されるものとしたとき。

減圧起動の一種であり、加速が完了すれば変圧器は開放する。起動時の電動機電流は変圧器の二次側電流であるので変圧比に比例して減ずるが、変圧器の一次側電流すなわち起動電流はジカ入れ起動に対して変圧比の二乗近く減ずる。起動電流は変圧器の特性および変圧比によって異なり、また、この方法は 5.1.1 項のスターデルタ起動法に比べ起動時の電圧を加減できる特長がある。

EG 形電磁起動補償器は EMO 形電磁開閉器、M 形電磁接触器、AM 形限時継電器および単巻変圧器からなっており、図 7.1 にその一例を示す。単巻変圧器は単相 2 個を V 結線しているが、二次側 タップ は電源電圧の 80、65 および 50% の 3 種類あるので、起動トルクはジカ入れ起動の場合の 64、42 または 25% のいずれかに選択できる。したがってスターデルタ起動法により起動トルクが不足する場合に適する。起動電流は変圧器の励磁電流を無視すれば起動トルクと同じ率で減ずるが、励磁電流は一般に電動機全負荷電流の 20% 以下である。

7.2 EH 形電磁極数変換器

工作機械などで多段速度運転を必要とする場合、カゴ形誘導電動機では一般に極数変換式が採用される。この電動機には必要に応じて速度の段数が、2、3 または 4 のものがあり、さらにそれぞれに定出力用、定トルク用または可変トルク用がある。このため電動機の固定子巻線仕様は単 1、2 重、3 重または 4 重のものと多種多様になる。したがって極数変換器は電動機の巻線仕様にマッチしたものを必要とするために多量生産に適さないが、EH 形電磁極数変換器は EMO 形電磁開閉器および M 形電磁接触器を使用して、2 段速度用の標準系列を完成した。図 7.2 にこの一例を示す。

8. む す び

最近の制御装置は、次第に複雑多岐となっており、これに使用する器具類の小形化、特性の改善や選択に十分な種類の増加など



図 7.1 EG-65-1 形電磁起動補償器の内部
Fig. 7.1 Interior of type EG-65-1 magnetic starting compensator.

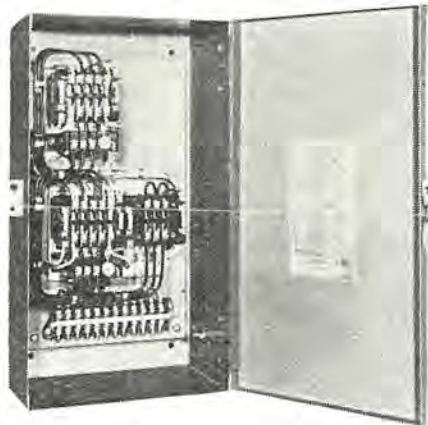


図 7.2 EH-15-TD 形電磁極数変換器
Fig. 7.2 Type EH-15-TD magnetic pole number changer.

は低価格品の出現とともに必然的に歓迎される場所である。

以上の新形電磁起動器は現在のところ 200~220 V、37 kW、400~550 V 75 kW を標準品の限界としているが、今後はさらに大容量の起動器まで標準化して短納期、低価格の要求を広く範囲にこたえられるよう努力したい。

参 考 文 献

- (1) 宇佐見：電動機の最近の起動装置「図説電気」第 2 巻、第 2 号。
- (2) 高 見：新形 ノーヒューズシナ 断器「三菱電機」34 No. 3 (昭 35)。
- (3) National Electrical Code (アメリカ電気工事規程) 表 20。

半 導 体 を 応 用 し た 制 御 器 具

吉田 太郎*・篠原 宇一*・三浦 守生*・宮崎 治*

Control Devices Using Semiconductor Elements

Nagoya Works

Tarō YOSHIDA・Uichi SHINOHARA・Morio MIURA・Osamu MIYAZAKI

With the progress of electronics engineering, industrial control devices provided with transistors and silicon controlled rectifiers have turned up. To put them more practical and extensive use, Mitsubishi has developed a variety of unit devices including power source and output relays with function and construction workable as a part of control devices having electromagnetic relays as the main components. A series device using transistors and silicon controlled rectifiers are standardized; they involve proximity switches, motion detectors, voltage relays, current relays, power relays, timers and AC contactless switches. The Company is now striving to popularize electronics with an aim of facilitating their application as well as turning out more excellent products.

1. ま え が き

工作機械をはじめ一般産業機械などの自動化、自動制御化の要求は、近年ますます増大している。これらの要求に応ずるために新しい制御方式、制御器具の開発、改良が行なわれているが、最近はとくにエレクトロニクスを応用することにより多大の効果を発揮しつつある。当社では数年前から一般工業用制御器具ならびに装置として、トランジスタ SCR (シリコン 制御整流素子) など半導体製品を応用したものを各種開発し、各方面に多数応用、実用してきた。たとえばトランスファマシン、あるいはプログラムコントロールの自動工作機とか、ローウェイなどの自動運転装置など、複雑な自動制御回路には、トランジスタサイバックを使用した無接点 リレー 制御方式を採用し、数多くの実績を得ている。またトランジスタを応用した各種の検出器なども実用されている。しかし、さらに一般的に トランジスタ、SCR などを応用した製品を広く実用してもらうためには、普通の有接点 リレー と組み合わせられやすい形式、機能のものを開発し、制御装置の一部としても気軽に取り入れられるものを般用製品として、製作することが望ましい。ここにその一部の標準化が完了したので、その概要を紹介しよう。

ここに説明するものは、いずれも電源ならびに出力リレーをもっており、それ自体で一応まとまった機能をもつものである。したがって従来の電磁継電器を主体とした制御装置の一部として使用するのに適している。入力部としては、近接スイッチなどのように位置を検出するもの、モーションディテクタなどのように速度を検出するもの、その他電圧、電流を検出するものなど各種のもの、またタイマなどと組み合わせたものがある。表 1.1 はいずれも半導体を応用した製品で次の特長を有する。

(1) 長寿命 主要部分はすべて無接点化されているので、故障の心配がなく高ひん度の用途に適し長寿命を保証する。

(2) 安定性 電源変動、温度変化に対しても



1. 小形静止レオナード 2. 電力リレー 3. 交流タイマ 4. 近接スイッチ 5. モーションディテクタ 6. 無接点スイッチ 7. 電圧リレー 8. 交流タイマ 9. スペリ量検出装置 10. アークリレー 11. モータリレー 12. 近接スイッチ付タイマ 13. 直流タイマ 14. 近接スイッチ電源 15. フリッカリレー

図 1.1 半 導 体 応 用 製 品

Fig. 1.1 Control device using semiconductor element.

表 1.1 半 導 体 応 用 製 品

| 名 称 | | 仕 様 | | | 応 用 例 |
|-----------------|-----|---|---------------------|--|--|
| | | 操作電圧 | 出 力 | 備 考 | |
| 近接 スイッチ | 検出部 | DC 13V | 1mA または 200mA | 金属片が検出 ヘッドに接近 した場合リ レーが動作 | 工作機の各種リミットスイッチ、 モーションディテクタ、無接点ス イッチ、無接点タイマなどに近接 スイッチを組み合わせて使用 |
| | 電源部 | AC 100/110V または 200/220V | RP 形リレー 2a, b 接点 | | |
| モーションディテクタ | | AC 100/110V または 200/220V | RP 形リレー a, b 接点 | 近接スイッチ と組み合わせ 回転数を検出 | 数動軸の折損検出 電動機速度検出 |
| 無 接 点 ス イ ャ ッ | | 主回路 AC 100/110V 操作回路 DC -12 V, +6V+24V | AC 100/110V 1A | SCR を使用 した交流ス イッチ | 電磁弁など使用ひん度の高い個所 の開閉近接スイッチと組み合わせ て使用可能 |
| 近接スイッチ付タイマ | | AC 100/110V または 200/220V | RP 形リレー 2a, b 接点 | 近接スイッチ と組み合わせ たタイマ | 工作機の計数装置 電動機速度検出 |
| 電 圧 リ レ ー | | AC 100/110V または 200/220V | RP 形リレー 2a, b 接点 | 動作電圧 DC 5~15V 15~50V 50~150V 150~250V | 過電圧、低電圧保護 過速度、低速度保護 |
| ス ペ リ 量 検 出 装 置 | | AC 100/100V または 200/220V | RP 形リレー a, b 接点 | 駆動軸と被駆 動軸にパイロ ット発電機を 取り付け発生 電圧の差を比 較する | クラッチのスペリ量が大きい場合 の保護 |
| 電 力 リ レ ー | | AC 200/220V | RP 形リレー a, b 接点 | 動作電力 0.5 ~1.5 kW CT を付加し 各種電力用 として使用可能 適用電動機 | 電動機の過負荷保護 逆電力リレー |
| モ ー タ リ レ ー | | AC 200/220V | RP 形リレー a, b 接点 | 0.75 kW 用 1.5 kW 用 2.2 kW 用 3.7 kW 用 5.5 kW 用 7.5 kW 用 11 kW 用以上 は CT を使用 | モータの逆相、単相過負荷運転の 保護 |
| ア ー ク リ レ ー | | AC 100/110V または 200/220V | RP 形リレー 2a, b 接点 | | 高圧三相誘導電動機の Y-Δ 起 動のアーカ保護 高圧三相電動機の正逆運転のアー カ保護 |
| 直 流 タ イ マ | | 操作電圧 DC 12V 24V 48V 100V | RP 形リレー a, b 接点 | 盤内取付形 または表面埋込 形 | 一般的なタイマ |
| 交 流 タ イ マ | | 操作電圧 AC 100/110V 200/220V | RP 形リレー a, b 接点 | 盤内取付形 または表面埋込 形 | 一般的なタイマ |
| フ リ ッ カ リ レ ー | | AC 100/110V 200/220V | RP 形リレー 2a, b 接点 | 動作 0.5 秒 1 秒 2 秒 4 秒 | 警報ランプの点滅機 |

安定である。

(3) 耐振性 プリント配線を採用し表面を樹脂でコーティングしているので、衝撃、振動に対しても安心して使用できる。

(4) 消費電力小 消費電力は少なく形状も小形化されている。これらを標準化するにあたり盤内取付方式の形状はほとんど同じにして、寸法的にも5種類に分け、各機器はいずれもその中のいずれかに該当するようにしている。

また出力はすべて RP 形 リレー を使用しているので定格は次のとおりである。

所要入力 約 4 VA

接点容量

AC 125 V 定格電流 3A, ショット断電流 30 A (PF 0.4)

AC 250 V 定格電流 2A, ショット断電流 20 A (PF 0.4)

周囲温度 $-10 \sim +50^{\circ}\text{C}$

2. 半導体応用機器

2.1 近接スイッチ

近年工作機など、産業機械における運転の高速度化に伴い、従来の有接点式リミットスイッチでは、動作速度、ひん度の点で満足されないことが多くなり、必然的に高速度、高ひん度の操作に耐えるリミットスイッチが要求されてきた。近接スイッチはこのような要求を満足するため開発されたスイッチで、有接点式リミットスイッチのように機械的に接触させるのではなく、金属片が検出面に接近するだけで動作する。一般には検出部と付属の電源リレーを組み合わせて使用するが、トランジスタパック（三菱 トランジスタリレー）と組み合わせると制御回路を完全に無接点化できる。

2.1.1 構成・動作

近接スイッチは発振、増幅、検波、および成形回路からなり付属の電源リレーは整流（直流）電源と RP 形 リレー から構成される。近接スイッチは小形で堅ろうなプラスチックで組み立てられ、主回路はプリント配線を採用し、表面は樹脂でコーティングされているので断線の心配はなく、振動、衝撃、ジヤイ など悪環境でも十分使用でき、かつ防水、耐油性である。他方電源リレーは盤内取付形式で両者はキャブタイヤケーブルで接続されている。近接スイッチの発振方式はハートレー回路で発振コイル L 、タンクコンデンサ C で構成される共振回路で、 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ の高周波を発生し、これを高周波増幅



図 2.1
近接スイッチ
Fig. 2.1
Proximity
switch.



図 2.2 近接スイッチの内部
Fig. 2.2 Interior of proximity switch.

して検波し シュミット 回路（成形回路）で、波形を成形している。

近接スイッチの検出面（発振コイル）に金属片を近づけると、発振が停止して RP 形 リレー を吸引する。すなわち近接スイッチの検出面に金属を接近させると発振を停止して、RP 形リレーが動作し、離すと発振を開始して RP 形 リレー は落下する。発振回路における発振の開始、停止の動作は鋭敏であるが過敏ではなく、しかも常に安定であることが望ましい。このことは発振回路としては発振しやすく、しかも停止しやすいという矛盾した要素をもつ必要がある。また鋭敏であるとともに発振動作を安定にするためには動作幅（応差）を狭くする必要があるが、あまり狭まると、出力リレーがパツク危険性がある。その他動作点のパツキなど、近接スイッチは特性的にかなりデリケートな問題点を含んでおり、従来市販されているものでは必ずしも十分ではなかった。当社のものは回路構成に特別な設計を行ない、これらの問題点を解決することができ、鋭敏でしかも安定な動作をするものを提供することができるようになった。

2.1.2 種類・用途

近接スイッチは検出面からの動作距離により 1 形、2 形、3 形の 3 種類に分類され、電源リレーは入力電源により AC 100 V 用、AC 200 V 用の 2 種類に分けられる。（表 2.1 参照）またこの近接スイッチは発振コイルが検出面 A にあるものと、B にあるものの 2 種類を製作している。図 2.2(a)は上記 3 種類の近接スイッチの近接体の大きさと動作距離の関係を示したもので、図 2.2(b)は動作距離と動作領域の関係を示している。用途は従来の有接点式リミットスイッチの代わりに工作機など、各種制御装置、機械

表 2.1 近接スイッチ仕様一覧

| | 1 形 | 2 形 | 3 形 | 備 考 |
|---------|---|---|---|--|
| 電 源 | DC 13V | DC 13V | DC 13V | 出力リレー駆動用スイッチは両波整流のみで可 |
| 動 作 距 離 | 2.5 ± 0.5 mm | 5 ± 0.5 mm | 8 ± 1 mm | |
| 標準動作距離 | 2 mm | 3.5 mm | 5.5 mm | 温度、電圧変動に対しても確実に働く距離 |
| 応 差 | 0.3 mm | 0.4 mm | 0.5 mm | ON と OFF の差を示す |
| 標準近接体 | $1.5 \times 1.5 \times 1$ mm | $2.5 \times 2.5 \times 1$ mm | $2.5 \times 2.5 \times 1$ mm | |
| 繰返し誤差 | 0.1 mm 以下 | 0.2 mm 以下 | 0.3 mm 以下 | 電源温度変化なしの場合 |
| 電圧特性誤差 | 定格 $\pm 10\%$ 0.1 mm 以下 | 定格 $\pm 10\%$ 0.2 mm 以下 | 定格 $\pm 10\%$ 0.4 mm 以下 | 温度一定 |
| 温度特性誤差 | $-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ の変化 0.4 mm 以下 | $-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ 0.7 mm 以下 | $-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ 1.2 mm 以下 | 電圧一定 |
| 応答周波数 | 500 c/s | 500 c/s | 500 c/s | 1 秒間に 500 回の ON, OFF 可能 |
| 出力 | T 形 | DC 1 mA | DC 1 mA | トランジスタサイバック用出力リレー入力用 |
| | P 形 | DC 200 mA | DC 200 mA | |
| | 検出面が小さいので小さな金属まで検出でき精度が高い | | | 3 形は鉄板を取り付けるとより動作距離は少し変わるが上記の値は鉄板を取り付けた状態を示す |

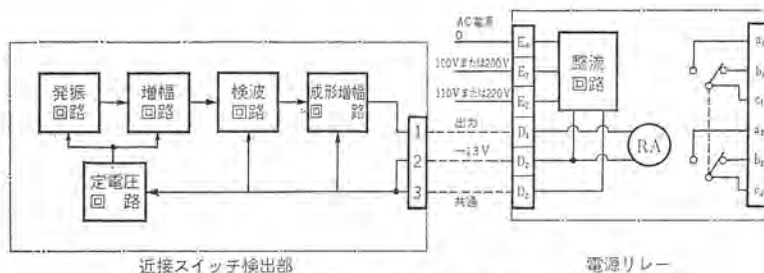


図 2.3 近接スイッチブロック線図
Fig. 2.3 Block diagram of contactless proximity switch.

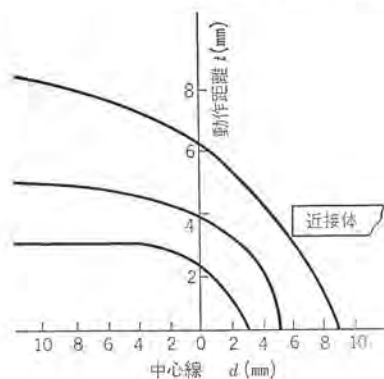
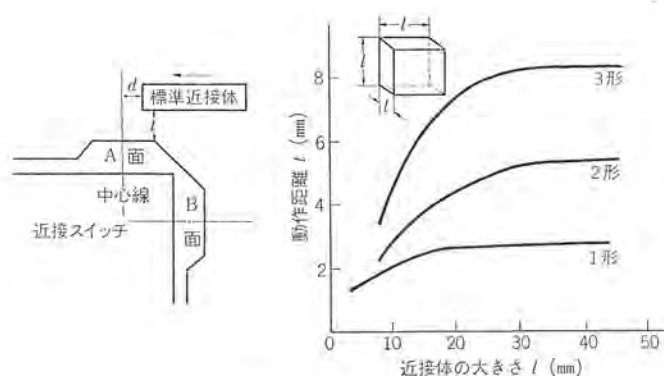


図 2.4 近接スイッチの動作特性
Fig. 2.4 Characteristic of proximity switch.



図 2.5 モーション
ディテクタ
Fig. 2.5
Motion detector.

部品の検出，カウンタとの組み合わせによる計数装置に用いられるばかりでなく，後述の モーションディテクタ，無接点スイッチ，無接点タイマなどと組み合わせて使用したり，トランジスタサイパック と組み合わせて入出力を全無接点化することも可能である。

2.2 モーションディテクタ

モーションディテクタは回転機の軸端に取り付けた歯車と、近接スイッチによってその回転速度を検出し回転速度(または回転周波数)が、設定値以上か以下かを選別して RP 形リレーを動作させるトランジスタ式回転リレーで、電動機速度検出、駆動軸の折損検出など最近各種工作機に応用され好評を博している。

2.2.1 構成・動作原理

モーションディテクタは検出部と制御部から構成され、検出部は歯車と近接スイッチからなるが、近接スイッチは前述のように高周波発振、検波および成形増幅制御をプラスチックケースに内蔵している。発振回路は常時発振しているが、金属片すなわち歯車の突部が接近すると発振を停止して出力信号を発する。したがって歯車オウトツ(凹凸)が近接スイッチに接近するたびに、発振、停止、発振の繰り返しとなり出力に方形波パルスが発生する。制御部は電源、成形、2進計数、限時、記憶、増幅回路およびそのリセット回路、RP形

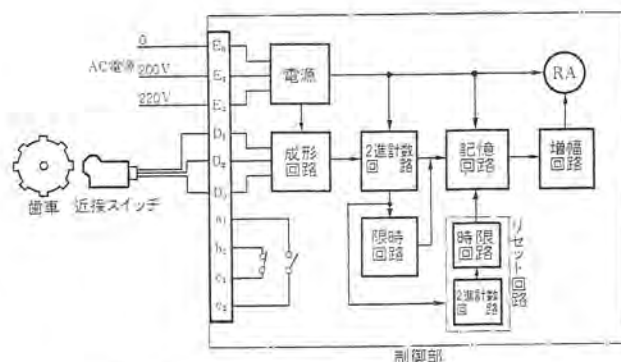
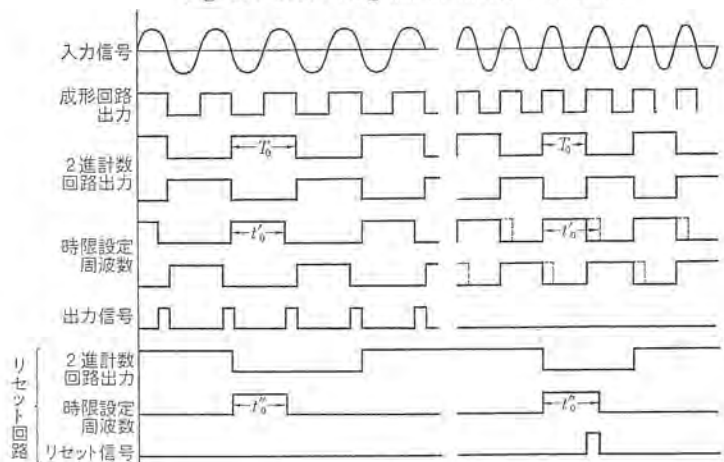


図 2.6 モーションディテクタのブロック線図
Fig. 2.6 Block diagram of motion detector.



(a) 設定周波数以下の場合 (低速運転) (b) 設定周波数以上の場合 (高速運転)

図 2.7 各部の波形
Fig. 2.7 Voltage waveform.

リレーから構成される。動作は上記方形パルスを成形して2進計数回路に印加し、この出力のON状態OFF状態の時間と限時回路の時限を比較し、近接スイッチの出力信号が限時回路の設定速度以上の場合はRP形リレーを吸引し、設定速度以下の場合はRP形リレーを落下させる。

次に制御部の動作をもう少し詳細に説明しよう。

2.2.2 制御部の動作

制御部に加えられる方形波または正弦波の入力信号は、成形回路で方形波に成形され2進計数回路で1/2の周波数に低減される。この周波数は限時回路の時限（設定周波数 f_0' ）と比較され、2進計数回路の出力周波数が設定周波数以下の場合は次段のトランジスタに出力信号を発生して、フリップフロップ回路に記憶させRP形リレーを落下させる。（図2.4(a)参照）上記計数回路の出力周波数が設定周波数以上になると図2.4(b)に示すように、次段トランジスタは導通して出力信号が0となる、他方計数回路の出力信号は、第2の2進計数回路でさらに1/2の周波数に低減され第2段の限時回路に加えられ、その時間(t_0'')すなわち設定周波数($f=1/t_0''$)と初段の計数回路の出力周波数を比較し、出力周波数が設定周波数より低い場合は出力信号が0であるが、出力周波数が設定値以上になると、出力信号が現われ記憶回路をリセットしRP形リレーを吸引させる。

要約すると モーションデテクタは、近接スイッチで回転体に取り付けられた歯車の歯数を検出し、その周波数が設定値以上になると RP 形 リレーを吸引させ設定周波数以下の場合はリレーを落下させる回転リレーである。パルスにより回転速度を検出するものは、従

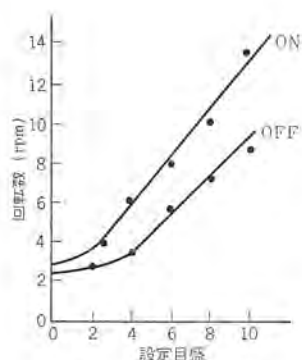


図 2.8 動作特性
Fig. 2.8 Characteristic of motion detector.



図 2.9 無接点スイッチ
Fig. 2.9 AC contactless switch.

来作られてはいたが、普通パルスコンデンサなどで積分するため回転速度が遅い場合などパルスの間隔が長いときは、動作時間が長すぎ、また速度の変化が速いときにはそれに追従することが困難であった。当社のものは、パルスとパルスの間隔を計ることにより動作するので、動作速度は最も速く、従来のものの数分の1以下となる、またきわめて遅い速度、たとえば1分間に1回転以下の速度でも検出可能で、きわめて応用範囲の広いものである。図2.8はモーションディテクタの設定目盛と動作点の関係を示す一例である。RP形リレーがON、OFFとなる動作点と復帰点は調整できないが、歯車の歯数を増すことにより動作点の幅をある程度小さくできる。

2.3 無接点スイッチ

無接点スイッチは三菱トリスタ(SCR)で交流の主回路または操作回路の開閉を行なう器具で、従来の電磁開閉器におけるような故障(アークによる接点の損傷や可動部の摩耗)がまったくなく、寿命が半永久的で開閉回数の高いところでも十分使える理想的な開閉器である。トランジスタサイバックにより制御回路部を、近接スイッチにより、入力部をそれぞれ無接点化した場合、最後の出力部も無接点化することが必要となることが多い。とくに工作機などで、高ひん度で作動する油圧のバルブ用電磁石(マグネット)を作動

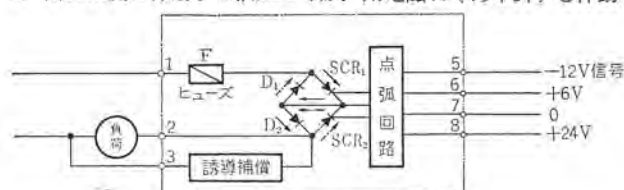


図 2.10 無接点スイッチブロック線図
Fig. 2.10 Block diagram of AC contactless switch.

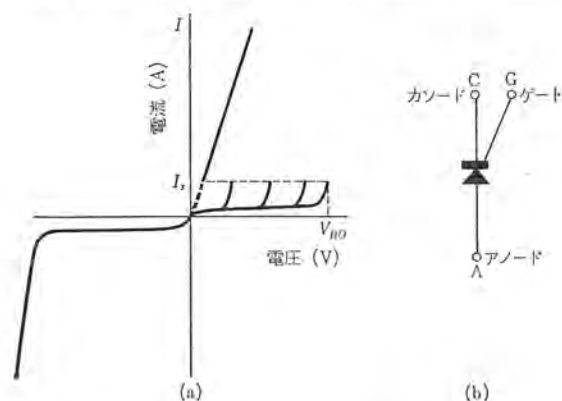


図 2.11 トリニスタ
Fig. 2.11 Trinistor (SCR).

させる電磁継電器を無接点化したいという要求が多い。こういう要望にこたえて開発したものがこの無接点スイッチで、とくに電磁石を作動させるのに適した特性仕様になっている。

2.3.1 動作および構造

無接点スイッチはSCR₁, SCR₂と、シリコン整流器(D₁, D₂)からなるブリッジ回路とトリニスタの点弧回路および誘導補償回路から構成される。トリニスタは当社のシリコン制御整流素子(SCR)の商品名で陽極(アノード)、陰極(カソード)格子(ゲート)からなり、図2.11に示す電圧・電流特性を持っていて、ゲートに信号がない場合はアノード、カソード間の電流はシャ断される。アノードに正、カソードに負の電圧が印加され、ゲートからカソードに信号電流が流れると整流器と同じ特性となり、アノード、カソード間を流れる電流が保持電流I_h以下になるか、アノード、カソード間に逆電圧が印加されるまで電流を流し続ける。

図2.10に示すように2-3間に負荷を接続し、負荷とソケット端子1にAC100Vを印加すると、トリニスタのゲートに信号電流が流れていない場合はトリニスタ特性で1-2間はシャ断状態が続ける。ゲートに信号電流が流れるとトリニスタは、導通となり1が正3が負のサイクルは実線のように電流が流れ、1が負3が正の半サイクルは1点鎖線のように電流が流れる。点弧回路は7を共通とし8に+24V、6に+6Vを接続し、5に-12Vの信号をON、OFFすると無接点スイッチをON、OFFできる。また近接スイッチ、三菱トランジスタサイバックと組み合わせると完全な無接点制御回路ができる。

2.3.2 仕様

機準仕様は下記のとおり電源定格電圧をAC100Vにしている。AC200Vの場合は、トリニスタの耐圧を上げなければならず、割高となるのでできるだけ避けたほうがよい。

電源定格、単相 100/110V 50/60 c/s 共用

連続定格 単相 100V 1A 以下

投入時の電流 10A 以下

制御電圧 +24V 容量 約2VA

+6V 1mA 以下

-12V 2mA

電源変動 ±15% 以内

周囲温度 -10~+50°C



図 2.12 近接スイッチ付タイマ
Fig. 2.12 Timer with proximity switch.

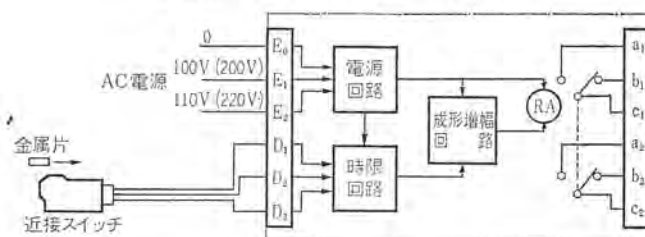


図 2.13 近接スイッチ付タイマのブロック線図
Fig. 2.13 Block diagram of timer with proximity switch.

表 2.2 近接スイッチ付 タイマ

| | オフデイレタイマ | オンデイレタイマ |
|-------|---|--|
| 動 作 | 全金属片が近接スイッチに接近するとリレーが動作し、離れると一定時間後リレーがリセットされる | 全金属片が近接スイッチに接近して一定時間後リレーが動作し、離れると即時にリセットする |
| 出力リレー | | |

2.4 近接スイッチ付タイマ

自動運転の工作機などで、近接スイッチにより可動部の位置を検出し、次の加工工程に自動的に移るような場合、位置の検出後、ある一定の時限(可調整)を置いて作動するという場合がかなり多い。近接スイッチ付タイマは、こういう用途に適したもので、トランジスタ式タイマと近接スイッチを組み合わせたもので、オンデイレ、オフデイレの2種に分類される。タイマは電源回路、時限回路、成形増幅回路 RP 形リレーから構成され、遅延時間はいずれも 0.5～5 秒と 3～30 秒可変の2種類に分けられる。

2.5 電圧リレー

トランジスタ電圧リレーは、直流の過電圧または低電圧の保護に用いられる瞬時動作電圧リレーで、広範囲な設定電圧に対して安定した動作をし電源変動、温度変化による影響も少ないよう設計されている。従来電圧リレーは、電磁石の電磁力を利用したものとか、誘導電磁力を利用したものなどが多く用いられてきたが、いずれも可動部をもち、電磁力とスプリングとの力関係で動作特性が定まるので、本質的に動作特性がザリケートであるとか、検出入力がかかなり必要であるとか、振動に弱いとか、取付位置に制限があるとか、実用上問題点がかかなり多い製品であった。トランジスタ式電圧リレーは、これらの固有の欠陥をすべて解決したきわめて実用的で、応用範囲の広い製品である。

2.5.1 種類

種類は表 2.3 に示すとおり、動作設定電圧以上で RP 形リレーを吸引するタイプと落下するタイプ、および検出電圧が正逆両極性の設定電圧(絶対値)以上で、吸引するタイプと落下するタイプの4種類がある。

表 2.3 電圧リレー一覽

| 形名 | 検 出 電 圧 | | リレーの動作 |
|----|---------|------------|--------|
| | 最大 (V) | 設定範囲 (V) | |
| 1 | 125 | 5～15 | |
| | 200 | 15～50 | |
| | 200 | 50～150 | |
| | 250 | 150～250 | |
| 2 | 125 | 5～15 | |
| | 200 | 15～50 | |
| | 200 | 50～150 | |
| | 250 | 150～250 | |
| 3 | ±155 | ±(5～15) | |
| | ±200 | ±(15～50) | |
| | ±200 | ±(50～150) | |
| | ±250 | ±(150～250) | |
| 4 | ±125 | ±(5～15) | |
| | ±200 | ±(15～50) | |
| | ±200 | ±(50～150) | |
| | ±250 | ±(150～250) | |



図 2.14 電圧リレー
Fig. 2.14 Voltage relay.



図 2.16 スペリ量検出装置
Fig. 2.16 Slip detector.

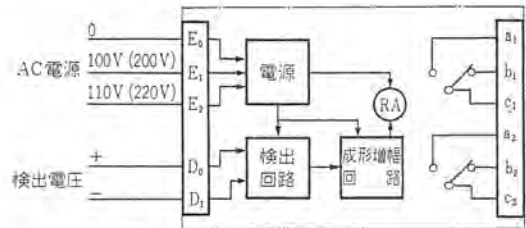


図 2.15 ブロック線図
Fig. 2.15 Block diagram of voltage relay.

2.5.2 構造および動作

電圧リレーは検出回路、基準回路、成形増幅回路、RP リレーおよびその電源回路から構成され検出電圧と設定電圧を比較し検出電圧が設定値より高いか低いかににより、トランジスタで成形増幅しリレーを動作させる。3 形および 4 形のように検出電圧が、正逆いずれの極性でも動作する電圧リレーは、検出端 D_1 , D_2 に整流器を付加したものである。検出電圧が 50 V 以上の電圧リレーは、初段のトランジスタのベース・エミッタ間電圧の温度変化が、あまり問題とならないが、低電圧検出のリレーでは温度変化による影響が大きいため、シリコントランジスタを用い温度補償をしている。RP 形リレーが、ON, OFF する動作電圧の幅は成形回路のフィードバック抵抗を加減することによって定まるが、一般には動作電圧の 2～5% 程度にしている。

2.5.3 用途

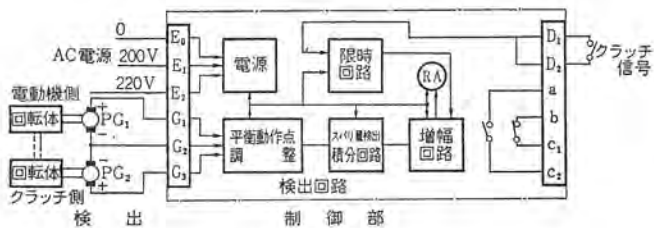
おもな用途は直流発電機または電動機の過電圧、低電圧保護用であるが、回転機にパイロット発電機を直結して過速度、低速度保護としても使用できる。

2.6 スペリ量検出装置

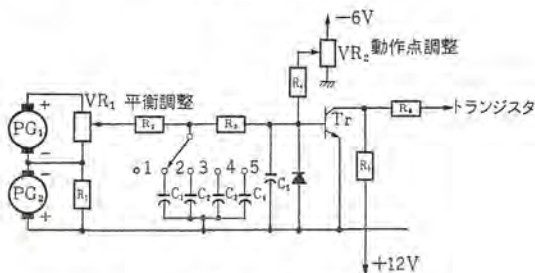
この装置は駆動軸と被駆動軸のような二つの回転体にスペリが生じ、そのスペリ(回転数)の差が一定時間以上続いた場合、RP リレーが作動する装置で一種の電圧リレーである。とくにプレス機械のようにプレス操作に入ると電動機側とクラッチ側にスペリを生じ、プレス負荷が重いとこのスペリ量は多くなり、さらに多くなるとクラッチを焼損する恐れがある。この装置はスペリを積分することにより、スペリ量を検出するものでクラッチの焼損防止をするばかりでなく、プレスの過負荷状態の検知にも役立つものである。

2.6.1 構成および動作

スペリ量検出装置は、駆動軸(電動機)および被駆動軸(クラッチ)に取り付けられた2台のパイロット発電機と制御部から構成され、制御部は平衡および動作点調整、スペリ量を検出する積分回路からなる検出回路と成形増幅回路、クラッチ信号を伝達する限時回路、RP 形リレーおよびその電源から構成される。スペリ量検出装置は平衡調整 VR_1 により PG_1 , PG_2 の出力が 0 となるよう平衡させる。



(a) ブロック線図



(b) 検出回路

図 2.17 ブロック線図

Fig. 2.17 Block diagram of slip detector.

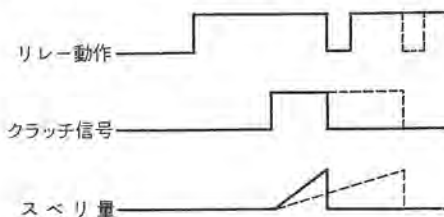


図 2.18 スベリと各部の波形

Fig. 2.18 Wave forms at various parts for slip.

スベリ量検出ノッチを“1”にした場合、可変抵抗 VR_2 は前述の電圧リレーの設定電圧に相当するもので抵抗 R_2 とコンデンサ C_1, C_2, C_3, C_4 の積分回路によりスベリ量を検出する。クラッチ信号のない状態で電源を投入すると増幅回路はリレーを吸引するように、インターロックされている。今クラッチ信号が入ってクラッチ側にスベリが生じたと仮定する。検出回路は電動機側とクラッチ側の回転数の差に比例した差電圧を検出し、積分回路で積分されたスベリ量を成形増幅して RP リレーを動作させる。クラッチ信号が入ると、限時回路によりクラッチが完全に動作する、一定時間経過後増幅回路のインターロックは解けてリレーは積分信号に従う。スベリ量が増加するとリレーは落下しクラッチ信号がなくなると、RP 形リレーを吸引状態に復帰させる。

2.7 電力リレー

工作機に例をとると、研削盤が運転中に正しく研削しているか否かを知るためには、使用電動機が正常に運転されているか過負荷運転ではないか、負荷状態を監視する必要がある。あるいは研削盤のト石の目ツマリを検出するとか、ト石が加工物に当たったことを検出する目的で、ト石軸電動機の電力を検出したいという要望とか、ミーリングカッタの負荷を検出したいという要求もかなりある。このような要望にこたえて誘導電動機への入力を検出し、ある値以上になったとき出力を出す電力リレーとして開発したものである。

2.7.1 構成

電力リレーは電流、電圧、位相の各検出回路、位相検波、基準、成形増幅回路、RP 形リレーおよびその電源から構成される。電力は一般に $\sqrt{3}VI\cos\theta$ で表わされるが、相電流を位相検波することにより有効電流 $I\cos\theta$ を得る。これと電圧の積を求めれば



図 2.19 電力リレー
Fig. 2.19 Power relay.

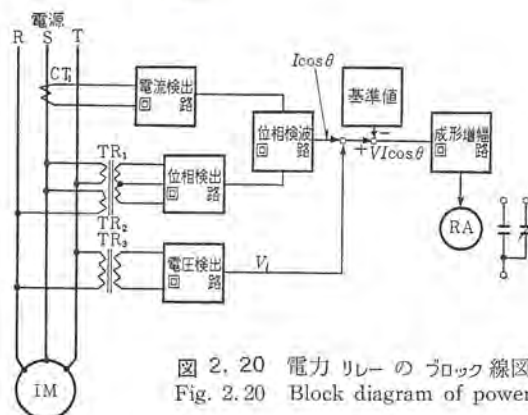


図 2.20 電力リレーのブロック線図

Fig. 2.20 Block diagram of power relay.

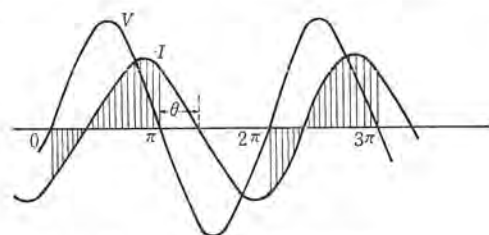


図 2.21 電圧と電流の関係

Fig. 2.21 Relation between voltage and current.

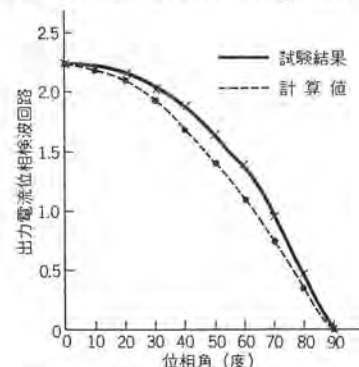


図 2.22 位相角に対する位相検波回路出力電流

Fig. 2.22 Output current of phase detector for phase angle.

電力が得られるが、電圧の和で近似して成形増幅しリレーを作動させる。

2.7.2 動作原理

a. 電流検出回路

S 相の電流を検出する回路で、変流器により相電流に比例した電流 I を検出する。

b. 位相検出回路

変圧器 TR_1, TR_2 で線間電圧に比例した電圧 V を検出する。

c. 位相検波回路

電流検出回路の電流 I と位相検出回路の電圧 V を比較する回路で、図 2.13 の斜線部分に相当する電圧が正の半サイクルの間の電流を求めると、
$$S = \int_0^{\pi} I_m \sin(\omega t - \theta) d\omega t = 2I_m \cos\theta$$

となる。したがって電圧が正の半サイクルの電流を検波すれば、有効電流 $I \cos \theta$ に比例した出力が得られる。

d. 比較回路

位相検波回路の出力電流と電圧検出回路の電圧に比例した電流の和、すなわち電力と基準電流を比較する回路で、その差電流を成形増幅して RP 形 リレー を動作させる。要約すると、電力が設定値より高ければ リレー を吸引させ、設定値以下ならば リレー を落下させる。図 2.22 は位相検波回路の出力と位相角の関係を示すもので、試験結果と理論値の差は電流検出波形が完全な正弦波でないためで、この程度ならば電力 リレー として十分使用できるものとする。

2.8 モータリレー

モータリレーは三相電動機の保護 リレー で、過電流（過負荷または単相運転）および逆相運転のいずれに対しても電動機を確実に保護するもので、動作表示 ランプ により事故の原因を表示し、リレーが動作したときはリセットボタンを押すと瞬時に復帰する。電動機保護としては、従来サーマルリレーが一般的に使用されているが、水中モータのように電動機の熱容量の小さいものとか、電動機と制御装置のおかれている場所の温度が、高範囲に相違するものにおいては、サーマルリレーによっては十分保護されず、電動機を焼損することがよくある。そのため水中モータなどには、一般に誘導形の過電流継電器が使用されているが、耐振性、耐寒性など十分ではなく問題がある。モータリレーはこのような用途に対して最も適したもので、動作特性はかなり速くしかも周囲温度によって影響されることがなく、過酷な使用条件のもとでも、確実にモータの保護が行なわれる。

2.8.1 構成および動作

この リレー は電動機の電流を検出する 2 個の変流器と検出、反時限および記憶回路を構成する トランジスタリレー とその電源、RP 形 リレー、動作電流調整 ツマミ、動作表示 ランプ および リセットボタンか



図 2.23 モータリレー
Fig. 2.23 Motor protective relay.

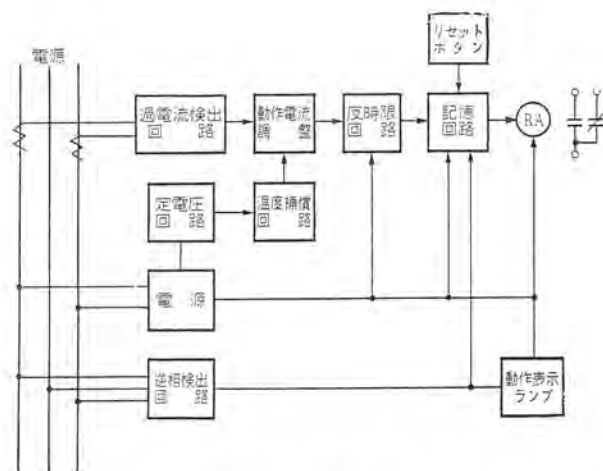


図 2.24 モータリレーのブロック線図
Fig. 2.24 Block diagram of motor relay.

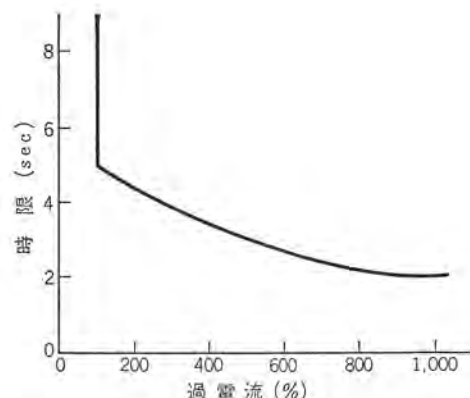


図 2.25 動作特性
Fig. 2.25 Characteristic of operating time and over current.

らなっている。図 2.15 に示すように電動機の電流を変流器で検出し、定電圧回路、温度補償回路を経て供給される基準電流と比較して、検出電流が大きい場合すなわち電動機が過電流になったとき反時限回路が動作し、時限用 コンデンサ を充電する。コンデンサが設定値まで充電されると、記憶回路を経て RP 形 リレー を吸引し動作表示 ランプ を点灯して事故を表示する。2 個の変流器は三相のうち二相につながれているので単相運転の場合も、いずれかの変流器によってその過電流を検出し同様に動作する。逆相運転の場合は、コンデンサ と抵抗で相回転を検出し時限回路を経ず瞬時に RP 形 リレー を動作する。動作表示 ランプ は過電流（過負荷または単相運転）のとき赤色、逆相運転のとき赤色と白色が点灯して、事故原因を表示する。事故で RP 形 リレー を動作し動作表示 ランプ を点灯すると、記憶回路でそのままの状態を保持するが、リセットボタンを押すと瞬時に復帰できる。

2.8.2 動作特性

(a) 最小動作電流

過電流時の最小動作電流は、動作電流調整 ツマミ により定格電流の 90~130% の範囲に調整したときの反時限特性を示している。

(b) 動作時間

図 2.25 は最小動作電流を 100% に調整したときの反時限特

表 2.4 モータリレー の仕様一覧

| 形 名 | 定格電流 (A) | 適 用 電 動 機 | | |
|----------|----------|-----------|-------------|----------|
| | | 電 圧 (V) | 周 波 数 (c/s) | 容 量 (kW) |
| TMR-4-5 | 4.1 | 200 | 50/60 | 0.75 |
| TMR-7-5 | 7.2 | 200 | 50/60 | 1.5 |
| TMR-10-5 | 10.5 | 200 | 50/60 | 2.2 |
| TMR-15-5 | 16.5 | 200 | 50/60 | 3.7 |
| TMR-25-5 | 26.4 | 200 | 50/60 | 5.5 |
| TMR-35-5 | 36 | 200 | 50/60 | 7.5 |
| TMR-5-5 | 5 | 200 | 50/60 | 11 以上 |



図 2.26 アークリレー
Fig. 2.26 Arc relay.

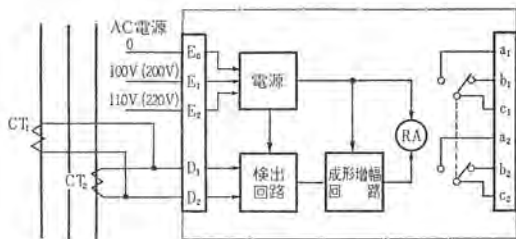


図 2.27 アークリレーのブロック線図
Fig. 2.27 Block diagram of arc relay.

性を示し、過電流すなわち電動機が、過負荷または単相運転になると同時に限時動作をする。また逆相運転のときは瞬時に動作する。

2.8.3 定格

モータリレーは表 2.4 の 7 種類あって、11 kW 以上の電動機のリレーは二次電流 5A の変流器と組み合わせて使用する。

2.9 アークリレー

高圧三相誘導電動機の Y-Δ 起動とか、可逆運転などにおいては、一方の電磁接触器が開いてからただちに電磁接触器を閉じた場合、アーク短絡を起こす危険がある。3,000 V 以上の高圧回路においては、アークが消滅するには数サイクル〜数十サイクルと非常に長い時間が必要で、しかも微小電流ほど（約 1 A くらい）長くかかる傾向がある。したがってアークが続いているかどうかを検出し、確実にアークがなくなった後、他方の電磁接触器を投入するようにしなければならない。アークリレーはそのためのもので、微小電流の検出ができるよう定格電流の約 1% 以下の電流が、検出できる特性をもっている。アークリレーは飽和変流器、シリコン整流器からなる検出回路、成形増幅回路、RP 形リレーおよびその電源から構成される。主回路の 2 個の変流器 (CT) の二次側を飽和変流器に接続し、その出力電流を成形増幅回路に印加し、主回路を流れる電流がほとんどゼロになる（アークがなくなる）と、わずかな時限後 RP 形リレーを吸引する。

2.10 タイマ

タイマ（時限継電器）には、各種のものが実用されている。たとえばモータ式、エアダッシュポット式、歯車式などいろいろあるが、この中でモータ式が限時特性としては最もすぐれ、かなり正確に調整もできる。しかし一方高ひん度の動作に対しては必ずしも十分とはいえないし、また短時間の限時特性もとくにすぐれているとはいえない。トランジスタ式タイマは高ひん度の動作にも適し、正確な動作時限でしかも正確な調整が容易にできるなど、従来のもののすぐれた点を寄せ集めたようなものである。一方トランジスタ式タイマにおいても、種々の方式のものが考えられているが当社のものはとくに温度変化、電源電圧の変化に対して動作時限の変化のないこと、リセットが瞬時であり短時間の繰返し動作に対しても、動作時限が変化しないことなどを特長としたもので、トランジスタ式タイマの一般的欠陥は取り除かれている。トランジスタタイマは交流操作と直流操作の 2 種類あって、いずれも時限は 0.5~5 秒、3~30 秒で、構造上盤内取付形、表面埋込形の 2 種類に分けられる。操作電圧で分類すると、交流操作は AC 100/110 V、AC 200/220 V で、直流操作は DC 12 V、24 V、48 V、100 V の 4 種類である。

2.10.1 交流操作タイマ

交流操作タイマは、CR 回路成形増幅回路、RP 形リレーおよびその電源とリセット回路からなる瞬時復帰式タイマで 30 秒以下の比較的短時間の時限を必要とする機器の制御に適している。入力



図 2.28 交流タイマ（盤内取付形）
Fig. 2.28 AC timer.



図 2.29 交流タイマ（表面埋込形）
Fig. 2.29 AC timer (flush style).

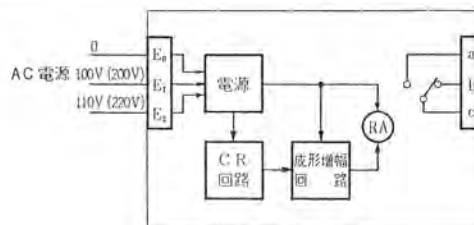


図 2.30 タイマのブロック線図
Fig. 2.30 Block diagram of AC timer.



図 2.31 直流タイマ（盤内取付形）
Fig. 2.31 DC timer.

端子に AC 信号が入ると、限時回路の時定数 CR で定まる限時特性に従ってコンデンサに電荷がたくわえられ、端子電圧を上昇させる。この電圧が設定値以上になると、トランジスタが動作して順次成形増幅され、リレーを吸引する。信号電圧が、断になると自動的に瞬時復帰し再動作に備える。時限設定は上述の CR 回路の R を変えて調整する。

2.10.2 直流操作タイマ

直流操作タイマは操作電源が 12 V、24 V、48 V、および 100 V の 4 種類に分類され、12 V 用は図 2.18 の電源回路（整流回路）



図 2.32 フリッカリレー
Fig. 2.32 Flicker relay.

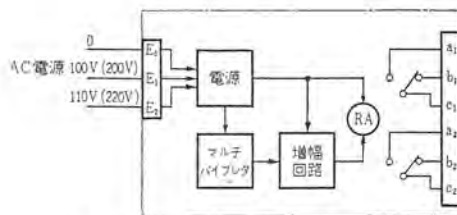


図 2.33 フリッカリレーのブロック線図
Fig. 2.33 Block diagram of flicker relay.

を取り除いて直流電源で操作するもので、24V 以上は CR 点弧回路、トリニスタ(SCR)によって RP 形 リレー を、働かせる可調整限時、瞬時復帰式 タイマ である。

2.11 フリッカリレー

フリッカリレー は、無安定マルチバイブレータ、増幅回路、RP 形 リレー およびその電源から構成される トランジスタリレー で、マルチバイブレータの CR によって定まる周波数で発振させ、その方形波出力を増幅器

で ON, OFF 増幅を行ない、リレー を動作させるもので、ON, OFF の繰返し時間が固定のものと可変の 2 種類を有する。おもな用途は ランプ と組み合わせて、機械の事故などの警報用点滅器として使用される。

3. む す び

以上 トランジスタ、SCR など半導体応用製品の紹介をしたが、これらはいずれも トランジスタ、SCR など エレクトロニクス のすぐれた長所を十分に活用することにより、従来の製品にないすぐれた特性、機能をもつとともに、電源出力 リレー なども含み、従来の電磁継電器を主体とした一般の制御装置の一部としても、使いやすい機能にまとめたもので、気軽に利用、実用していただくことを推奨するものである。さらにより使いやすい機能のもの、よりすぐれた特性のもの、あるいはそれぞれの機械の自動化に合致した複合機能をもったものなどの開発に発展させてゆくことにより、さらに エレクトロニクス を有効に利用していただくよう努めたい。需要者の方々におかれても、どういう機能のものがよいか、あるいは有効かなどご検討の上ご教示いただくことを、お願いしたい。

参 考 文 献

- (1) 吉田、酒井、宮： トランジスタリレー 制御方式「三菱電機」34, No. 12, p. 112 (昭 35)
- (2) 吉田： トランジスタリレー 制御方式とその応用「電子技術」3, No. 6 (昭 36)
- (3) 吉田、梶野： SCR の小容量直流電動機への応用「三菱電機技報」37, No. 5, P. 52 (昭 38)
- (4) 吉田、高岡、川合： シリコン 制御整流素子による電動機制御「三菱電機」36, No. 5, 638 (昭 37)
- (5) 喜田、寺田： 無接点継電器とその応用「オーム 社」

20,000 c/s 高周波発電機

—設計と応用—

生駒 鎮郎*

A 20,000 cycle High Frequency Generator

—It's Design and Applications—

Kōbe Works Tetsurō IKOMA

A 20,000 cycle 25 kVA high frequency generator—an unprecedented unit in this country—has been built and undergone tests successfully with all troubles encountered in design and manufacture solved one after another. Unlike the conventional electron tube setup, the machine is capable of supplying a large and yet steady, dependable power at less cost in operation, maintenance and upkeep as well as at inexpensive initial cost. A good efficiency of the unit permits the operation with less expenditure while almost no consuming part is included. The machine is also to be used for concentrating several power sources to one. Pertinent applications of this unparalleled, powerful generator to ultrasonic vibration will be sure to open a new field of technological development.

1. ま え が き

当社は、周波数では 10 kc, 容量的にはモノブロック形の 10 kc, 250 kVA, 3 kc, 300 kVA などの記録品を製作してきたが、このほど工業用としてわが国最初の 20,000 c/s 機を製作したのでここに報告し、あわせてその応用面についても若干述べる。

2. 定 格

2.1 高周波発電機

| | |
|-------|--------------|
| 出 力 | 25 kVA |
| 周 波 数 | 20,000 c/s |
| 電 圧 | 400/800 V |
| 電 流 | 62.5/31.25 A |
| 力 率 | 1.0 |
| 相 数 | 単相 |
| 極 数 | 680 |
| 回 転 数 | 3,600 rpm |
| 全 重 量 | 2,650 kg |

2.2 駆動用誘導電動機

| | |
|-------|---------|
| 出 力 | 30 kW |
| 周 波 数 | 60 c/s |
| 電 圧 | 3,300 V |
| 電 流 | 9.7 A |
| 相 数 | 3 |



図 2.1 25 kVA 20,000 c/s 高周波発電機

Fig. 2.1 25 kVA 20,000c/s high frequency generator.

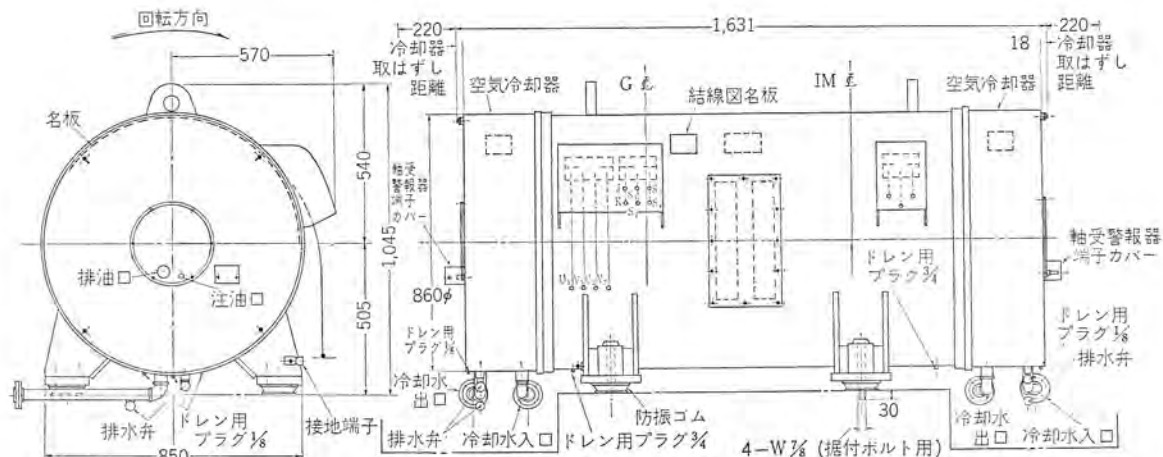


図 2.2 高周波発電機の外形寸法図

Fig. 2.2 Outline dimensions of high frequency generator.

極 数 2
回 転 数 (同期) 3,600

2.3 形 式

全閉内冷、電動機と発電機は共通軸、共通ワック(モノブロック形)空気冷却器付。図 2.1 はその外観、図 2.2 は外形寸法図である。

3. 構 造

一般の標準機と同一にすることができた。図 3.1 に示すようにモノブロック形で、発電機はフェイ形である。

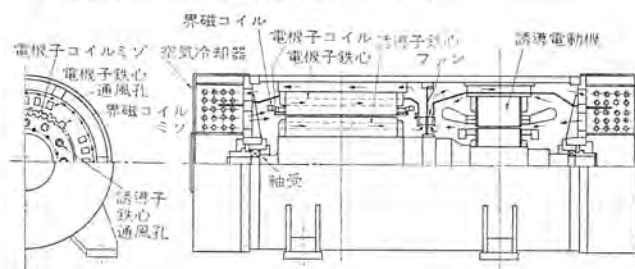


図 3.1 構造図 Fig. 3.1 Construction.

4. 鉄 心

ケイ素鋼板は、とくに低鉄損でなければならないことはもちろん、680 極もの多数の誘導子やミジを設けるため回転子、固定子に小さな寸法のアウトツのパンチングを可能とする機械的な強さを要する。この加工は鉄心の表面に微細かつ精密な形状を持たせるため、工業的に可能な最大の注意をはらってなされた。

通常フェイ形高周波発電機は、10 kc までは固定子のミジ数 2 に対し回転子の誘導子数は 3 であったが、20 kc 機に対してこの割合とすれば固定子ミジのピッチが小にすぎる。したがって本機では、固定子ミジ 2 に対して回転子、誘導子数は 5 とした。図 4.1 にそれを示す。(a) はシュミット形で、当社ではおもに 3,000 c/s 以下の比較的周波数の低いものに用いられる。(b) はフェイ形で、当社ではおもに 10,000 c/s 機に用いている。(c) は今回の 20,000 c/s 機に用いた形式である。

誘導子形高周波発電機は、通常の交流機と異なり磁束として直流磁束の上に交番磁束が重畳し、この交番磁束が有効分となる。誘導子、固定子の歯の形状は、電機子コイルに鎖交する磁束の交流分ができるだけ大きく、しかもこの磁束の平均値はできるだけ小さいことが望ましい。この二者の条件は、固定子と回転子との

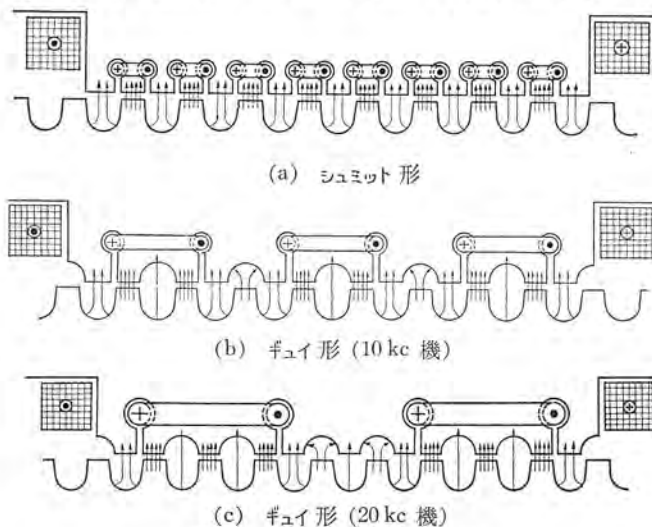


図 4.1 シュミット形とフェイ形 Fig. 4.1 Schmidt type and Guy type.

空ゲキ値とも関連して複雑な関係をもつ⁽¹⁾。適当な形状はフラックスマッピングやシミュレーションによって解析することができる。

このようにして選ばれた形状を正確に加工することがたいせつである。電機子ミジの誤差はただちにヘアピンコイルに傷をつけたり、はなはだしいときはコイルのそう入が不能になるばかりではなく、コア表面のアウトツの機械角で 10 秒の誤差は電気角で 57 度の誤差になる。このことはこの機械の能率を左右する最大のポイントである。

5. コ イ ル

20 kc では銅に対して電流の浸透厚は約 0.5 mm であり、表皮効果により銅線表面や電機子ミジ開口部の近傍に電流が集中するために、漂遊負荷損が増加することに対して 10 kc 機までは単線を使用して十分であったが、本機では電機子コイル導体を非常に多くの細い線をヨリ合わせたものとし、導体内部の電流分布をできるだけ均等にするようにした。コイルは 1 タンコイルで特殊のケイ素ゴム絶縁ケーブルを使用し、したがって電機子コイルは電機子をジグザグに織るようにスロット内を貫き、端子までは一続きとしコイルどうしのつなぎをなくした。したがってコイル作業は非常に簡単かつ確実となった。導体の素線は裸で、相互に絶縁されたものではないが、接触抵抗のみで目的を達するに十分であった。コイルに接近した部分には、非磁性体を用いて損失の増加を防いだ。図 5.1 は固定子を示している。



図 5.1 固定子 Fig. 5.1 Stator.

6. 軸

固定子と回転子の空ゲキは、前述の関係から工作上可能なかぎり狭くなっているので、回転子のタワミは空ゲキの変化となって表われ、軸のクリチカルスピードに大きな影響を与える。

軸受および軸受支持部の剛性やセンタリングは非常に重大で、荷重の偏心や振動発生の原因となる。図 6.1 は回転子である。



図 6.1 回転子 Fig. 6.1 Rotor.

7. 軸 受

標準構造を採用した。すなわち軸受部はカートリッジ形で一方にローベアリング、他方にボールベアリングを用い、グリス潤滑を行っている。グリスは運転給油形で注入孔からグリスガンで圧入すれば、廃グリスはグリースバルブから押し出され、オーバグリスを防止する。これは1,000時間に1回行なうのみでよい。図7.1に構造図を示す。

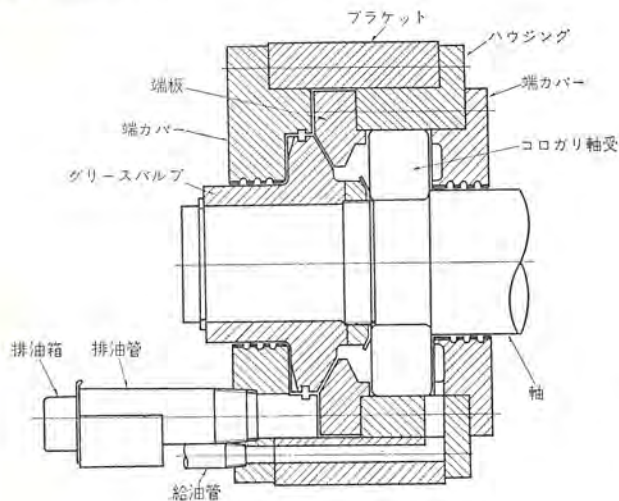


図 7.1 軸 受 構 造
Fig. 7.1 Bearing construction.

8. その他の部分

標準形と同様であって防振ゴムと空気冷却器を付けている。

なお計器、コンデンサ類は当然従来の10,000 c/s用を使用できないので20,000 c/s用を開発した。

9. 試験結果

図9.1は無負荷飽和曲線である。

| | |
|-------------|---------|
| 励磁電力 (全負荷時) | 75 W |
| 冷却水量 (30°C) | 1.8 t/h |
| 誘導電動機入力 | 40 kW |
| 総合効率 | 62.5% |
| 起動電流 (全電圧) | 440 kVA |
| 起動時間 | 23 sec |

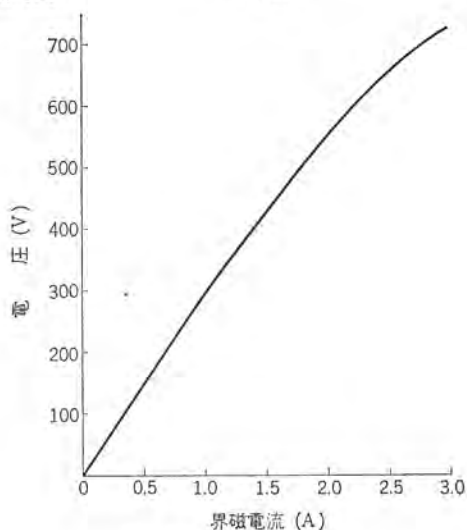


図 9.1 無負荷飽和曲線
Fig. 9.1 No load saturation curve.

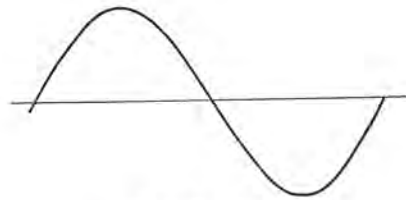


図 9.2 波 形
Fig. 9.2 Wave form.



図 9.3 試験中の高周波発電機
Fig. 9.3 High frequency generators in testing.

このように効率は真空管式に比べてすぐれている。

波形は図9.2のようにきわめて良好な正弦波形を示し、負荷の有無にかかわらず変化しない。図9.3は試験中の光景であって、本機と並んでいるのは50 kVA 3,000 c/s 機2台と50 kVA 10,000 c/s 機1台である。

10. 応 用

焼入厚さが1.0~2.0 mmとすることを要するものに表面焼入用として用られるのみならず、銅合金のロー付用などに好適である。しかし本機はおもに強力超音波用として使用されるものである。最近では強力超音波洗浄として自動車エンジンの丸洗い、ミサイルの丸洗いなどに用いられるほか、実験室段階にある化学や、冶金面の応用を大規模に進歩させるであろうといわれている⁽³⁾。

10.1 超音波応用の分類⁽²⁾⁽³⁾

(1) 超音波の非常に大きな振動エネルギーを利用するがキャピテーションによらないもの

- (a) 切削、研磨、穴明け、ミーリングなど
- (b) 鋳物の組織改善(グレインサイズの微細化、脱胞)(図10.1)⁽²⁾
- (c) 鉄と鉛のように溶融点の違いから、溶解しにくい物質の合金様物質の製造
- (d) 長距離ソーナ
- (e) 溶接(図10.2)⁽²⁾

(2) 超音波の非常に大きな振動エネルギーとキャピテーションとの両者を利用するもの

- (a) 洗浄、脱グリスなど
- (b) (電気メッキ(アルミバスパー、銀メッキ、チタンにクロムメッキ)⁽⁴⁾⁽⁵⁾

電子醸造、電子研磨など

- (c) ハンダ付、スズメッキ(ガラスにスズメッキ)(図10.3)⁽²⁾
- (d) ある種の不混合溶液をエマルジョン化する(水と水銀とのエマルジョン、金属コロイドの製造)
- (e) 化学変化促進、通常の状態では起こらない化学変化進行、高分子の分子量や粘度のコントロール

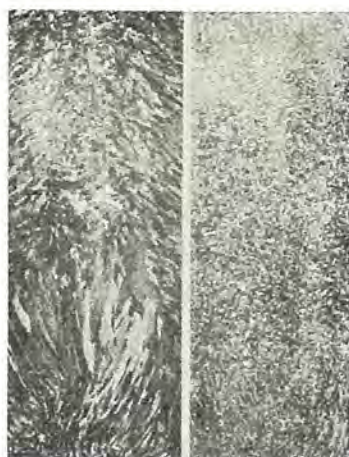


図 10.1 鋳物 グレンサイズの微細化
(右方が超音波を加えたもの)
Fig. 10.1 Grain structure of casting refined. (right is an improved material by ultrasonic vibration).



図 10.2 アルミ板のシーム溶接
Fig. 10.2 Ultrasonic seam welder for aluminum strips.



図 10.3 アルミ棒やガラスのスズメッキ
Fig. 10.3 Ultrasonic tinning of aluminum, ceramics, and glass.

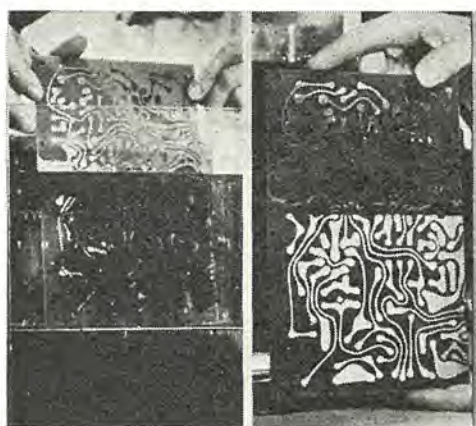


図 10.4 プリント配線板の洗浄
Fig. 10.4 Ultrasonic cleaning of printed circuit boards.

- (f) サビおとし、酸洗いなど
- (3) 信号程度の弱いエネルギーを利用するもの
 - (a) 超音波探傷
 - (b) 超音波厚み測定
 - (c) 液面の高さ測定
 - (d) 盗難防止
 - (e) 短距離水中通信と音響探知
 - (f) 医学方面の診断や治療
- 10.2 超音波洗浄の代表例⁽²⁾
 - (a) オウ所にとまったゴミなどの除去(普通人手によるラッシングが必要である)
 - (b) 表面からの小異物の除去(例、ベアリング転走面や精密ギア)
 - (c) 電気部品の洗浄(例、電気接点やポテンショメータシユウ(摺動部))
 - (d) 小さい穴や割れ目のある部品の清浄(例、時計の機構部や真空管素子)
 - (e) 放射能を帯びた部品の遠隔清浄(remote decontamination)
 - (f) プリント配線板ハンダ付のヤニその他の洗浄(図 10.4)
 - (g) 熱処理などのとき金属表面に生じたサビの除去
 - (h) グリース、油、コンパウンドなどの除去



図 11.1 20,000 c/s 高周波発電機の並列負荷運転
Fig. 11.1 20,000 c/s high frequency generator in parallel loading.

11. む す び

わが国に前例のない工業用 20 kc 高周波発電機を製作したが、この設計製作途上遭遇したトラブルは、今までの製作経験により順次解決し、好成績で試験を完了した。

従来の真空管式と異なり、大容量でしかも安定確実な電源が運転、保守、維持費はもちろん、イニシャルコストにおいても安価に得られることになった。

効率したがって運転費は数割安く、消耗部品はほとんど不要となる。(高周波発電機は軸受を運転時間 10,000 時間で取り換えるだけ、費用約 1 万円) この利点により真空管式では不能であった負荷の並行運転を行ない、従来の数ラット分電源をこの発電機 1 台に集中するような用途にも広く利用されるものと思われる。図 11.1 は四つのステーションを 1 台の発電機でまかなっているところである⁽²⁾。

参 考 文 献

- (1) 生駒: 技術解説 高周波誘導加熱装置 (III) 一電動発電機式高周波発電機—「三菱電機」35, 1268(昭36)
- (2) Wright, Cheek: Ultrasonic Energy in Theory and Application Westinghouse Engineer 19, 3, 71 (1959)
- (3) Massa Ultrasonic in Industry Proc. Inst. Radio Engr's 50, 5, 1385 (1962)
- (4) Ricks Ultrasonics Improves, Shortens and Simplifies Plating Operations MPM Mar. 47, (1962).
- (5) Forbes Ultrasonics Speeds and Simplifies the Preconditioning and Plating of Aluminum Bus Bar Plating Mar. 279, (1962).

東京電力北東京変電所納め 345,000 kVA 変圧器

嶋 裕史*・菅 寿郎*・西本 昂*

A 345,000 kVA Transformer for Kita-Tōkyō Substation
of Tōkyō Electric Power Co.

Itami Works

Hiroshi SHIMA・Hisao KAN・Takashi NISHIMOTO

A 345,000 kVA special three phase on-load-tap changing transformer under construction by Mitsubishi with its all might for delivery to Kita-Tōkyō substation of the Tōkyō Electric Power Co. is now completed. This is the largest record product in this country as a transformer directly equipped with an on-load-tap changer. With the improvement of the reliability on the on-load-tap changer, it is considered to become a standard practice to build even a large capacity transformer provided with a direct mounting tap changer. In this sense, this transformer is a forerunner of the standard construction as such. The tap changer used is of a type F of the Maschinenfabrik Reinhausen, West Germany, while bushings and coolers are our new developments.

1. ま え が き

当社が東京電力北東京変電所納めとして鋭意製作中であった、345 MVA 特別三相負荷時 タップ 切換変圧器はこのほど完成し、工場試験も好成績で終了して、出荷された。この変圧器は、負荷時 タップ 切換器を直接取り付けた変圧器としては、わが国最大容量の記録品であり、また当社の数々の新しい技術を織り込んだ設計となっているので、その概要を紹介してみたい。

北東京変電所は、東京周辺の超高圧電力網である東京電力東京外輪線に接続される超高圧変電所の一つで、すでに 200 MVA パックが 3 パック 運転されている。今回納入したものは、4 号器にあたり、本変圧器は容量が 1.5 倍の 300 MVA (変圧器等価容量 345 MVA) に増大され、これを当社が納入したわけである。なおこの変圧器とまったく同仕様のものを、同じく東京電力中東京変電所向けとして受注、製作中である。

| | | | |
|-----------|-------------------------|-------------------------|------|
| 形 式 | 特別三相 外鉄形 送油風冷式 SUB-MR 形 | | |
| 周 波 数 | 50 サイクル | | |
| 容 量 | 一次 | 300,000 kVA | |
| | 二次 | 300,000 kVA | |
| | 三次 | 90,000 kVA | |
| 電 圧 | 一次 | 275R-268.75-262.5 kV | 人 結線 |
| | 二次 | 147 kV | 人 結線 |
| | 三次 | 63 kV | △ 結線 |
| 絶縁階級 | 一号 | 200 号段絶縁 (中性点側 30 号) | |
| | 二次 | 140 号中性点絶縁低下 (中性点 80 号) | |
| | 三次 | 60 号 | |
| 負荷時切換 タップ | 一次側 | ±20,625 V ±7.5% | |
| | 17 点 | 0.9375% ステップ | |

3. 構造および特長

この変圧器の全般的な設計は、当社が大容量高電圧変圧器に從來採用してきた外鉄形 フォームフィット 構造に従っている。外鉄形 フォームフィット 構造については、これまでになんども紹介されているので、ここでは一般的な構造には触れず、この変圧器の特殊な点のみについて触れたいと思う。

3.1 中身構造

中身 (鉄心、コイル) の設計は、変圧器全体の総合設計に最も大きな影響を与える部分である。この変圧器の設計において、まず最初に検討しなければならなかったのは、輸送の問題であった。これまでに当社では、超高圧 200 MVA 級 (東京電力京浜変電所、房総変電所などに納入したもの) の変圧器を車両形普通三相方式で製作してきたが、今回は容量が 1.5 倍の 300 MVA に増大したため、普通三相方式では重量的に組立輸送が困難であることがわかったので、從來当社が大容量変圧器に採用して好評を得ている特別三相方式を採用して、組立輸送を可能ならしめた。したがって鉄心は各相独立した磁気回路を有している。鉄心材料として最高級の方角性 ケイ 素鋼帯 G-11 を使用し、方向性を十分に生かす額縁形構造を採用していることはいうまでもない。特別三相方式については、すでによく知られていると思われるので、ここでは繰り返さない。

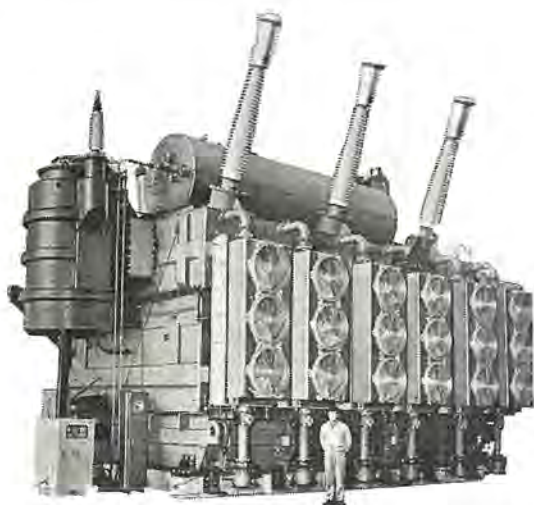


図 1.1 345,000 kVA 負荷時 タップ 切換変圧器外観
Fig. 1.1 345,000 kVA transformer.

2. 変圧器の定格その他

この変圧器の定格事項は、次のとおりである。

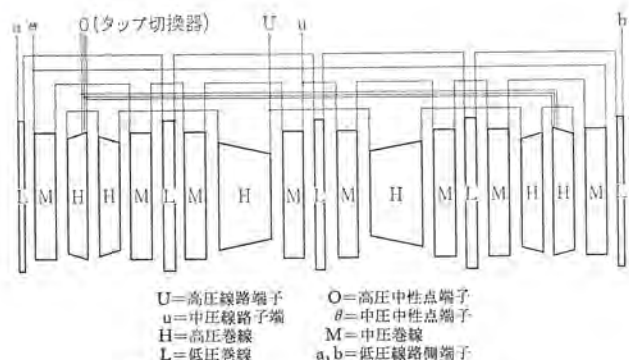


図 3.1 コイル構成説明図
Fig. 3.1 Coil arrangement.

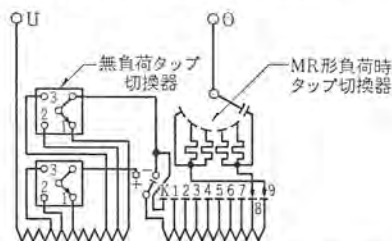


図 3.2 高圧巻線接続図
Fig. 3.2 Connection diagram of high voltage winding.

巻線の構造は、もちろん当社が大容量変圧器に標準的に採用してきた外鉄形交互配置「サージルーフ」構造であるが、大容量であること、負荷時タップ切替器が接続されていることなどから、やや特殊なコイル配置を採用している。

外鉄形交互配置巻線においては、高圧コイルと低圧コイルが交互に配置されるわけであるが、この高低圧コイルの群数が中身の設計に大きな影響を及ぼす。この群数は、大容量器となるほど多くとるのが普通であり、従来三相 100 MVA 程度までは 2 群、それ以上の容量では 4 群が採用されていたが、この変圧器においては、インピーダンス、短絡機械力、輸送の面を考えた上で、8 群構成を採用した。8 群の構成は図 3.1 に示すとおりで、4 群を直列接続したもの 2 グループを並列に接続した構成となっている。このように群数を増加した結果、1 群あたりのアンペアターンは著しく小さくなり、短絡機械力、漂遊負荷損に対する設計が容易となった。なお高圧コイルの接続を図 3.2 に示す。

前にも述べたように、この変圧器には、負荷時タップ切替器が直接取り付けられることになった。最近では、電力システムの運営の面あるいは電力の質の向上の面から、負荷時タップ切替器の必要性がいよいよ高まり、変電所用大容量変圧器には、ほとんどすべてといってよいほど負荷時タップ切替器が付属される現状である。一般に静止機器と呼ばれる変圧器において、負荷時タップ切替器は、可動部やスイッチ部を有する部分であり、またその機能から見て、変圧器の最も重要な部分である巻線に接続されているために、従来非常に重要な変圧器においては、保守点検の便や、万一の事故の場合を考えて別置式負荷時電圧調整器を採用するのが普通であった。しかし、負荷時タップ切替器を直接変圧器に取り付ける方式とすれば、変圧器の価格の低減、効率の向上、据付面積の縮小などの利点が生ずるので、タップ切替器の信頼度の向上とともに、直接取付式への移行が全国的な傾向となっている。北東京変電所においても、既設の 200 MVA 変圧器 3 バックでは、いずれも別置式負荷時電圧調整器が採用されていたが、今回の 4 号器に至って直接取付式が採用されたわけである。本器には、当社が負荷時タップ切替器について技術援助契約を結んでいる西ドイツ

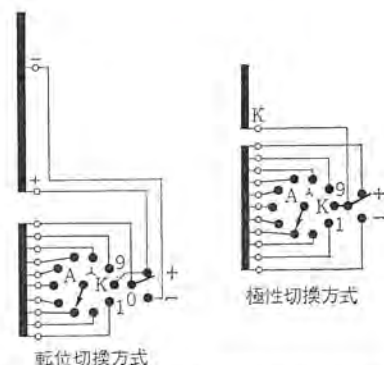


図 3.3 転位切替方式と極性切替方式の比較
Fig. 3.3 Comparison of Coarse switch method and reversing switch method.

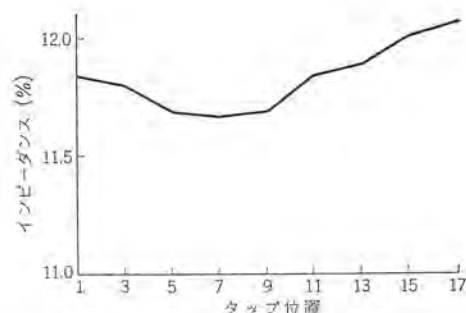


図 3.4 タップ位置と % インピーダンスの関係
(二次側 147 kV 300 MVA 一定のベース)
Fig. 3.4 Variation of % impedance at respective tap positions (based on 147 kV and 300 MVA on secondary side).

Maschinenfabrik Reinhausen 社 (MR 社) の製作になる F 形タップ切替器を取り付けたが、詳細については後述する。

直接取付式負荷時タップ切替器の適用にあたって注意しなければならないことは、タップ巻線の配置である。一般に、抵抗式タップ切替器は、星形巻線の中性点にしか使用できないので、タップ切替器の取付位置は電気的にみて巻線端部となるが、普通のコイル配置においてこのような方法をとると、タップ巻線が漏れ磁束密度の最も高い場所に配置されることになり、機械力的に見て好ましくなく、またタップ位置によって % インピーダンスの変動を生ずる。この点から考えて、当社では、タップ巻線位置が電気的には巻線端であり、また幾何学的には漏れ磁束密度の最も低い位置となるようなコイル構造を、負荷時タップ切替器付の場合の標準構造としている。この変圧器においても当然このようなコイル構造を採用した。すなわち図 3.1 に示すように、高圧巻線の接地端に近い群を 2 分割して、その一方を反転し、タップコイルがこの群の中央、すなわち漏れ磁束密度がもっとも低い位置に来るように配置した。

この変圧器の負荷時タップの点数は 17 点で、この程度の点数になると、コイルの口出しリードの数を減少するために、極性切替式あるいは転位切替式 (または粗密調整式) が採用される。その例を図 3.3 に示す。前者は、利点として口出しリードの数が少ないこと、タップ切替器の部分的な絶縁が少なく済むことなどがあげられ、欠点としては最低タップにおける銅損が後者に比べて増大することがあげられる。後者は、前者と相反する利点、欠点を有しており、一長一短があるので使用条件に適した方式が選択されるが、この変圧器では転位切替方式を採用した。

なお前述のように、既設変圧器は別置調整器を有しているため主変圧器側に無負荷タップ、調整器側に負荷時タップを備えてい

る。この変圧器はこの既設器と並列運転されることを考慮して無負荷、負荷時の両タップを備えている。なお図 3.2 に示すように、無負荷タップリードを転位切換用リードと共用して、口出しリード数の減少を図った。

前述のように、タップ巻線を最も漏れ磁束密度の低い位置に配置しているため、各タップ位置における % インピーダンスは、二次側定電圧定電流のペースで、変動が非常に少なく、図 3.4 に示すとおりである。このことは、変圧器中の漏れ磁束による磁気エネルギーの総量がタップ位置によってほとんど変化していないということであり、設計的に見て好ましいと考えられるので、今後当社としては、このコイル配置を負荷時タップ切換器直接取り付けの場合の標準として採用してゆく方針である。

タップ切換器として、この変圧器のように他のメーカ(MR社)の製品を使用する場合は、巻線とタップ切換器の絶縁協調がとくに重要な問題となり、衝撃電圧を印加した場合に、タップ巻線に異常な電位振動などを生じないように注意が必要である。この点を実証するために、変圧器組立後に電位振動測定を行なった。その結果を表 3.1 に示す。これに見られるとおり、有害な振動はまったく発生しておらず、絶縁的な協調は十分保たれていることがわかった。

表 3.1 衝撃電圧印加時に各タップに生ずる電圧

| タップ位置 | 電圧を測定した タップリード番号 | 直線分布 ($\alpha=0$) においてタップに 生ずべき電圧(%) | 電圧実測値 (%) |
|-------|---------------------|--|---------------|
| 最 高 | 4 K | +4.33 +7.79 | +4.5 +8.0 |
| 中 央 | 4 9 | -3.75 -8.43 | -5.0 -9.0 |
| 最 低 | 4 9 | -4.14 -9.31 | -5.3 -11.0 |

3.2 外部構造

3.2.1 タンク構造

タンクは、上部、中部、下部タンクの三つの部分に分かれる。この変圧器は特別三相方式であるので、中部および下部タンクは各相ごとに独立しており、それぞれシキ 400 B₂ 形 シュナール形貨車に適した車両形設計となっている。上部タンクは、相間の接続や負荷時タップ切換器の接続を行なうために、各相共通形となっているが、本器の場合は、上部タンクを一体として輸送することは、寸法的に困難であるので、上部タンクを各相ごとに分割し、これらを相間接続用ダクトで連結する方式を採った。

3.2.2 PF-3 形送油風冷式冷却器

よく知られているように、変圧器の冷却は大容量器になるほど困難さを増し、したがって高能率の熱交換器を必要とする。当社では、従来 U フィン管を使用した送油風冷式ユニットクーラを、大容量変圧器の標準冷却器として使用し、良い冷却効果を得てきたが、変圧器容量が増大するにつれ、さらに大容量ユニットの開発が望まれてきた。この目的のために開発されたのが PF-3 形と呼ばれるユニットクーラである。これは従来の U フィン管の代わりにラレートフィン管を使用し、同時にポンプ、ファンとも従来のものよりも大容量化したものである。

ラレートフィン管は、耐食アルミ管の周囲に、空気との接触面積を増すためにアルミのラレートフィンを拡張管によって固定したもので、これを必要本数まとめてヘッダーに溶接によって固定して冷却ユニットのシェルを構成する。油ポンプは、1 ユニットあたり毎分 3,000 L



図 3.5 PF-3 形冷却器
Fig. 3.5 Type PF-3 unit cooler.

の油を循環させ、またラレートフィン管の内部には管内油流に乱流を起こさせて、油と冷却器の熱交換を促進するためのウズ流増加装置を備えている。冷却器と空気との熱交換は、各ユニットに取り付けられたファン(220 m³/毎分)3 台によって行なわれる。このユニットクーラは、1 台あたり約 170 kW と従来のものの 2 倍程度の熱交換能力を有し、取付空間が非常に縮小できるので、大容量器においても冷却器の取り付けが容易に行なえるようになった。この冷却器は、昭和 38 年に開発され、電源開発南川越変電所納め 312,000 kVA 変圧器にはじめて使用したものであるが、非常に良好な冷却効果を有していることが実証されたので、今後すべての大容量変圧器に採用する方針である。図 3.5 に PF-3 形冷却器の外観を示す。

3.2.2 ブッシング

この変圧器に使用したブッシングは、当社の OT 形コンデンサブッシングの新しいシリーズを使用した。当社のコンデンサブッシングは製作開始以来すでに約 13 万本を製作し、とくに昭和 27 年に上下ガイ管中心締付式の OT 形が開発されてからは、そのすぐれた電気的特性によって、非常に安定した使用実績を積み重ねてきた。

コンデンサブッシングの特長は、よく知られているとおり、同心円筒状に配置されたコンデンサの均圧効果によって絶縁を合理化し、胴径の細いブッシングを設計できることである。今回開発された OT



(左) 旧シリーズ (右) 新シリーズ
図 3.6 新、旧シリーズ OT 形
コンデンサブッシングの比較
Fig. 3.6 Old and new type
condenser bushings.

形コンデンサラッシングの新シリーズは、さらに絶縁の合理化を図って胴径を減少し、同時に上部ガイ管の笠数を増して表面漏れ長を1.5倍程度に増大し、前述の胴径の減少とあいまって耐汚損特性を著しく改善したものである。また下部ガイ管の長さもシャヘリラッシングの使用などにより縮少することができ、変圧器への取り付けが便利になっている。図3.6にOT形コンデンサラッシングの旧シリーズと新シリーズの比較を示す。

4. 負荷時タップ切換装置

前章にも述べたとおり、この変圧器は超高压巻線に負荷時タップ切換装置を設けたいわゆる負荷時タップ切換変圧器としては容量においてわが国の記録品である。超高压巻線にタップを設ける場合、信頼性、経済性を考えると、タップを中性点端から引き出し、ここに抵抗方式による負荷時タップ切換器を取り付けるのが最良であることはいまさら論ずるまでもないが、本器には抵抗式タップ切換器の専門メーカーとして長年の歴史と、世界各国への多くの納入実績をもつドイツMR社の製品を採用したことは特筆すべきであろう。

RM社については、当社がすでに技術導入によって一部の機種について国産化を推進しつつあって、ここに詳細を説明するまでもなく、また同社の製品の採用についても、当社ではその先べん(鞭)として

オーストラリア(シドニウエスト変電所)納め

145 MVA 330 kV 単相単巻変圧器7台に単相用F形タップ切換器を直接取付。

関西電力(北大阪変電所)納め

230 MVA 275 kV 三相変圧器2台に三相用F形タップ切換器を直接取付。

東京電力(橋本変電所)納め

115 MVA 147 kV 三相変圧器1台に三相用F形タップ切換器を直接取付。

など、いずれも好調に運転中であるが、今回345 MVAという記録的容量をもつ変圧器に採用したのを機会にその概略を紹介しよう。

4.1 負荷時タップ切換器の特長

MR社が現在市販しているタップ切換器は数種の標準機種があるが、そのいずれにも共通する特長点をあげると、

(a) 完全内蔵形として変圧器タンク内に収納されるから、絶縁に対する信頼度が高く永続的である。また据付現地での空間占有容積が小さく組立輸送に適する。

(b) 負荷開閉接点部分は回転式機構であり、構造が簡単で小形化されている。

(c) 負荷開閉部分、早切機構部分は変圧器本体に手を触れることなく容易に、短時間につり出して保守点検ができる。などであり、さらにF形タップ切換器には次のような特長点が増えられる。

(d) 切換開閉器は4抵抗切換方式を採用しているから、アーク接点の耐久寿命が長く、絶縁油のアークによる汚損も少ないため、運転信頼度が高い。

(e) 負荷開閉接点の開閉は、扇形可動部のコリオリ運動を利用しているから、運動がスムーズで無理がなく動作が確実である。

4.2 タップ切換器の構成

抵抗式負荷時タップ切換器と称しても種々の切換方式が実用さ

東京電力北東京変電所納め 345,000 kVA 変圧器・嶋・菅・西本

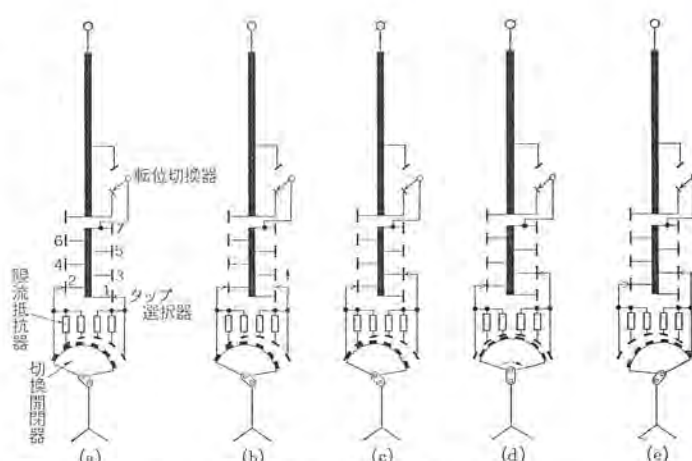


図 4.1 負荷時タップ切換の順序

Fig. 4.1 Tap changing sequence.

れているが、F形タップ切換器は、図4.1のように変圧器巻線に設けたタップに接続されるタップ選択器が奇数タップ用と偶数タップ用の2群に分かれ、両群の可動接点交互に歩進運動を行なってタップを選択し、選択された隣りタップへ現在使っているタップから回路を転換させるための切換開閉器が設けられている点は、従来大多数の抵抗式タップ切換器が採用してきた方式と変わるところはない。したがってタップ切換器を構成する要素を大別すると、

- (1) タップ選択器
- (2) 極性切換器または転位切換器(取り付く場合と取り付かない場合とがある)
- (3) 切換開閉器
- (4) 切換開閉器用早切機構
- (5) 切換開閉器用限流抵抗器
- (6) 全体を駆動する駆動機構

となることも明白であろう。要はこれらの要素が変圧器内蔵形としていかに構成されているかという点に特長を有する。内蔵形についてはヨーロッパでは古い歴史があり、日本でもかなり普及した現在さして珍しくはないが、図4.2に見られるとおり、タップ選択器など充電部分の支持と、切換開閉器内外の隔離を行なわせる絶縁筒の内側に、4抵抗方式の切換開閉器を回転形としてムダなスペースをまったくとらずに構成し、しかも上部から着脱自在にそう入してある全体の構成は、それぞれの要素のもつ特長をうまく関連発揮させるに大きく役だっている。かつ最も重要な要素である切換開閉器と、これを高速で転動させる早切機構とを絶縁筒の上下に分離して取り付けられた点は、後述する電氣的、機械的にすぐれた構造を採ることができ、しかも保守点検を容易にしえた理由として注目に値する。

変圧器タンクに取り付けた場合に、変圧器上面に出る部分は早切機構部のごく一部だけであるが、この部分のフタに設けたのぞき窓から早切機構の動作状態、タップ選択器の選択位置が一見してわかる。またこのフタを開けば切換開閉器、早切機構、限流抵抗器が一体となつてつり出せる模様は図4.2のとおりである。

4.3 切換開閉器および早切機構

図4.4は図4.1の切換行程のうち、切換開閉器で転換するc→d→eの状態をさらに詳しく観察した説明図である。切換開閉器の使命は、現在使っているタップから次のタップへ回路を切らないで移すことであり、このとき負荷電流やタップ間の橋絡電

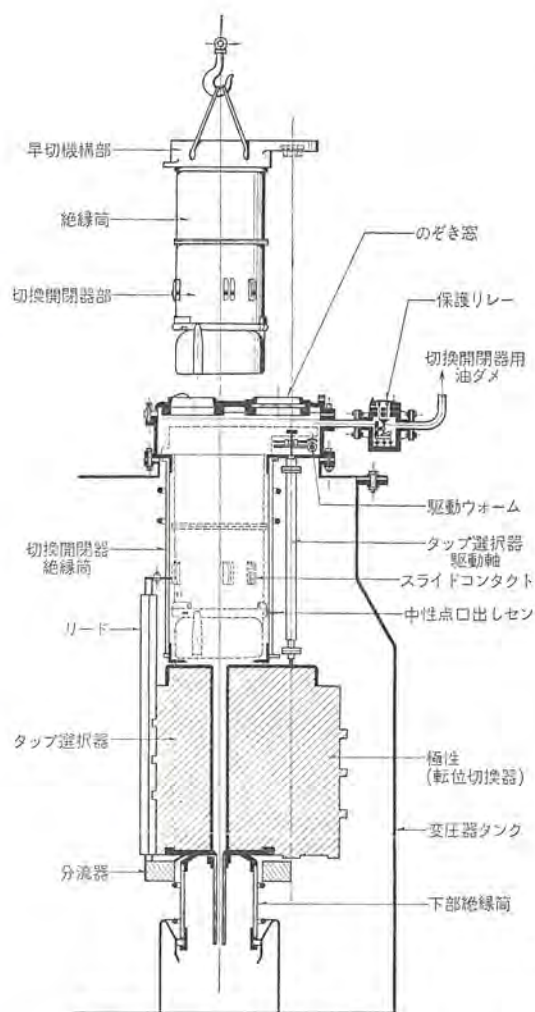
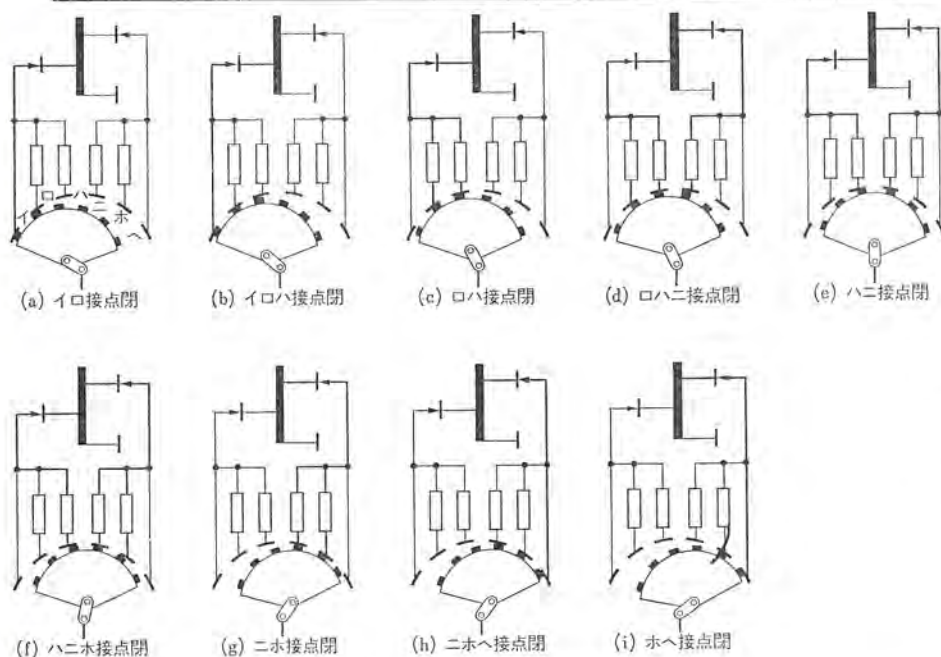


図 4.3 F 形負荷時タップ
切換器の外観
Fig. 4.3 Type F on-load-tap
changer of Messrs.
Maschinenfabrik Reinhausen.

◀ 図 4.2 タップ 切換器の構成
Fig. 4.2 Construction of the
tap changer.



太線は電流が流れていることを表す。

図 4.4 切換開閉器の動作順序の詳細
Fig. 4.4 Detailed illustration of tap changing sequence.

流の過渡的開閉が行なわれるため、アーク接点の消耗や絶縁油の汚損は避けることができない。近年、負荷時タップ切換器に対しては実用性能の向上が関心の的となり、とくに長年月の無点検運転を満足させるためにはこのアークによる被害をできる限り小さ

くしなければならないが、アーク接点の消耗や油の汚損は接点のシタ断責務に関係があり、責務を低減することが被害減少の本命であることは今さらいうまでもない。在来の2抵抗方式では、主接点と抵抗接点のシタ断責務は、抵抗器の抵抗値をいかにとっても相反する関係にあるため、両者を同時に低減することは不可能であったが、4抵抗方式をとることによりアーク接点の数は2抵抗方式よりも2個増したにもかかわらず、4個の抵抗器の抵抗値を適当に選ぶことによって、シタ断責務の総和をむしろ2抵抗方式よりも小さくし、各接点個々のシタ断責務に至っては格段に軽減することができる。F形切換開閉器では、図4.4の各接点は実際は図4.5のようにさらに縦方向に4個に分割されており、電流が1/4に分流されることとあいまって、接点の寿命と油の汚損寿命を飛躍的に増大させることが達成された。

図4.4を詳細に見ると、6個ある接点の開閉順序には一定の法則があり、常に隣接する2個または3個の接点が接触を保ちながら移行を行なってこそ4抵抗方式とした上述の利点が発揮されることが明らかである。この条件を遂行するため図4.6(a)のように6個の可動接点イ〜ヘをイ、ハ、ホとロ、ニ、ヘの2群に分け、群内の3個を機械的に連結し、その連結点に放射方向に接点を押し出すような力をバネにより加えておいて、この連結点を回転軸を中心として回転させると、群内の3個の接点はいかなる時点でも1個または隣接する2個の接点が閉の状態を保つこととなる。このような2群を重ねると図4.6(b)のように前述の4抵抗方式に必要な条件を完全に満たし、しかも接点の消耗がどんなに不規則に進行してもこの開閉順序は絶対にくずれないというきわめて巧妙な構造を採用している。MR社のタップ切換器が他に見られない高い信頼度を有する理由は、このような特長ある構造の中にうかがうことができる。

切換開閉器はその中心にある回転軸の急速な回転運動で転換を行なうことは前節すでに述べたが、この運動を行なう早切機構は、切換開閉器の上部に設けられ

絶縁軸をもって連結されている。変圧器タンクの側面に設けた駆動機構から伝えられた動力は、早切機構内のクランクを回転させ、上部バネケースに案内板に沿った往復運動を行なわせる。この運動によりバネケース内に設けた蓄勢バネに伸縮を与え、そのエネルギーが

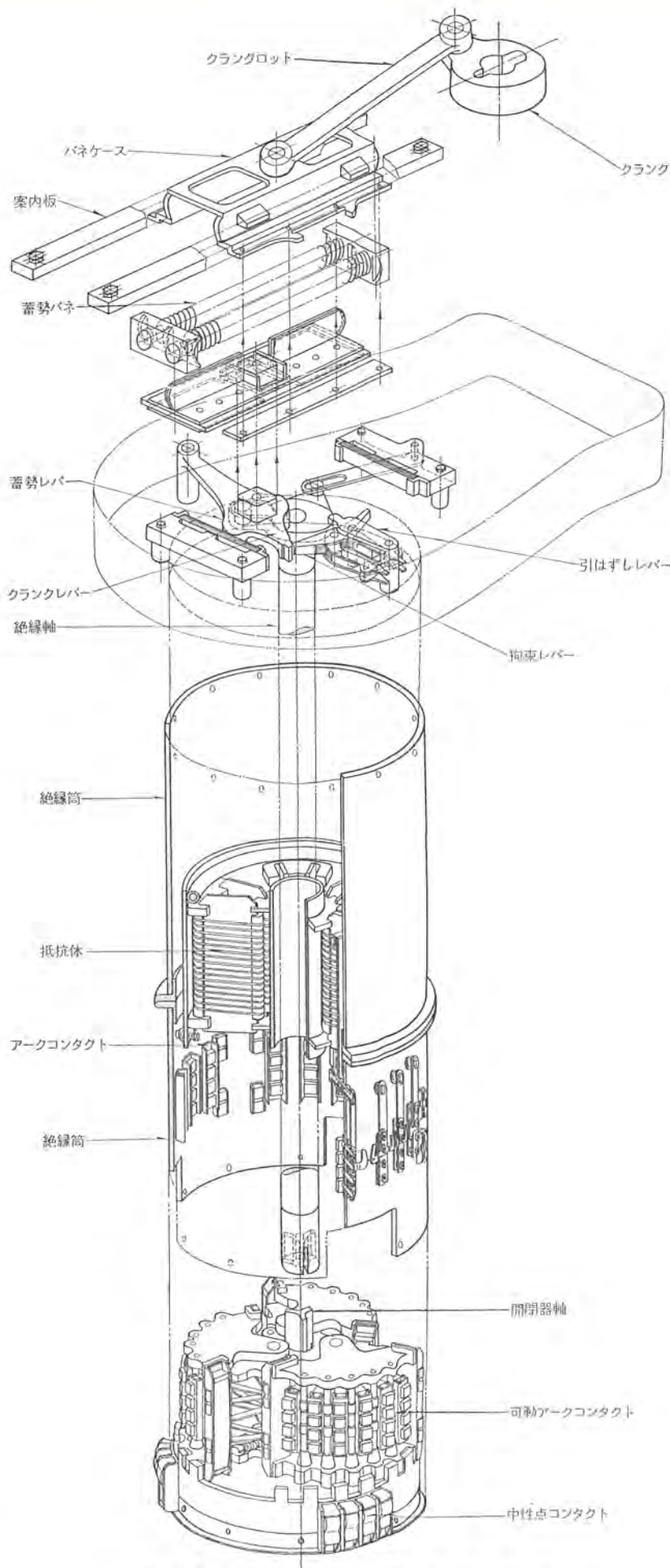


図 4.5 F 形 切 換 開 閉 器 の 構 造

Fig. 4.5 Construction of the diverter switch of type F on-load-tap changer.

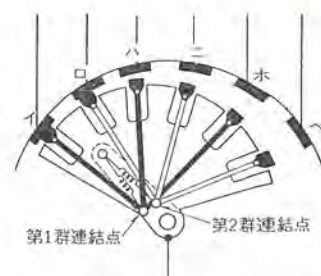


図 4.6 (a) 切換開閉器接点の機構
Fig. 4.6 (a) Diverter switch contact mechanism.

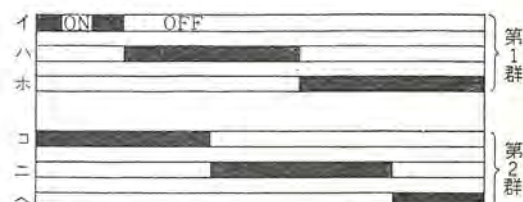


図 4.6 (b) 切換開閉器接点のシーケンス
Fig. 4.6 (b) Diverter switch contact sequence.

蓄勢レバーおよびクランクレバーを介して絶縁軸に伝達され、切換開閉器を転換させる機構は図 4.5 により明らかであろう。従来の抵抗式タップ切換器は早切機構として 4 節リンクなどを用い、リンクの死点を越して力を加えた場合にリンクを転換させる構造がほとんど採用されている。これに対し MR 社の 4 抵抗式タップ切換器では構造はまったく異なり、レバーの運動をあらかじめ拘束しておいて、このレバーに連なる蓄勢バネを伸張し、別の機構でレバーの拘束を強制的に解いてやってレバーを急速に運動させる方法をとっている。このために構造は多少複雑化するが、

- (a) 4 節リンク式では、死点を越えた直後ではリンクに加わるバネの力の回転方向の分力がきわめて小さいため、リンクの初期加速度が小さいのに対して、拘束レバー式では、拘束を解いた直後からレバーに最大の加速力を与えることができる。さらに
- (b) 蓄勢レバーとクランクレバーの組み合わせによって、接点のシャ断のための急速な開離を必要とする運動の前半部に急激な加速が行なわれ、接点の投入のみが行なわれる後半部には急激な減速が行なわれ、機械的にも電気的にも、きわめてすぐれた効果を与える。
- (c) 切換開閉器側から外力で絶縁軸を回転させようとしても、蓄勢レバーの拘束によって絶対に回転できない。すなわち切換開閉器が中途半端な位置に飛び出す恐れがまったくない。

など、他に見られない多くの特長をもっている点は注目すべきである。



図 4.7 駆動機構の内部
Fig. 4.7 Interior of operating mechanism.

早切機構は切換開閉器を駆動するきわめて重要な要素である上に、高速の運動を行なう部分であり、常に厳密な監視と保守を必要とする。したがってこの部分を図 4.2 のように切換器の最上部に設け、上ツタに取り付けたのぞき窓から動作状態はもちろん、タップ選択器や極性（転位）切換器の位置まで一見して見ることができ、また容易につり出して点検や交換ができるよう、使用中の便利を十分に考慮してある点は大いに学ぶべきである。

4.4 タップ選択器

タップ選択器は切換開閉器絶縁筒の下部につり下げられ、固定接点を円周状に配列した回転形構成である。図 4.2 で明らかとなり、奇数群と偶数群用可動接点を交互に歩進させるため、早切機構のクラック部分に設けた 2 枚のゼネパイトから動力をうけて駆動される。負荷電流は固定接点から可動接点を通り、中心部の集電板に流れ、ここからタップ選択器下部に引き出され、ここに取り付けた分流器を経て切換開閉器に導かれる。分流器は切換開閉器の主接点において、負荷電流を 1/2 に分割し、1 接点あたりのシャ断責務を軽減させ、接点寿命の延長に役だっている。タップ選択器の側面には必要に応じて極性（または転位）切換器が取り付けられタップ選択器と連動する。今回の変圧器に取り付けられたタップ選択器は、10 接点転位切換器つきであり、17 点タップとして使用した。

4.5 駆動機構

わが国の負荷時タップ切換器に関する事故統計によれば、タップ切換器本体よりもむしろ駆動機構関係のトラブルが多いのに気付くが、MR 社の駆動機構には小形であるにもかかわらず十分の配慮がなされており、むずかしい調整や操作をまったく必要としない。さらに保安には万全を期してあり、たとえばオーパロン防止機構や、ハンドクラックと電動機回路とのインタロック、補助カムスイッチ、制御回路などは一見ぜいたくを思わせるほどに便利に構成されていて、取り扱いの簡易化と信頼性の向上に役だっている点は注目すべきであり、わが国の実状から見れば格段の差が感じられる。図 4.7 にその外観を示す。

4.6 MR 社のタップ切換器に対する考え方

電力用変圧器を対象とした負荷時タップ切換器に関し、電気協同研究会に負荷時タップ切換器実用性能向上委員会が設けられ、使用者製作者が協同して寿命を中心とする実用性能向上を検討しつつあることは周知のとおりであるが、IEC を中心とするヨーロッパ諸国の考え方と、MR 社の方針について触れてみたい。寿命に関しては、ドイツに VDEW なる製作者グループの作成した変圧器仕様の協定内に、最低必要な性能の取り決めがあるほかは、イギリス、フランス、イタリアともに独自の規格はなく、いずれも IEC の Recommendation に従うことをたてまえているが、VDEW、IEC いずれもさして膨大な寿命回数ではない。かかる環境にあって MR 社の方針もいたずらに無点検長寿命を目標とするよりも、適時の保守点検が短時間に容易に行なえ、完全な互換性を持たせることに力を注いでおり、高い運転信頼度を保つには十分の保守点検が必要であることを強調するとともに、単にアーク接点の交換のみでは電氣的機械的協調は常に完全ではありえないという考えから、アーク接点には機械的協調の限界いっぱいの消耗限度を与え、限界に達すれば早切機構などの重要部分もいっしょにすべて交換するほうが、実用性と経済性にかなうという考えをもいつている。

事実 F 形タップ切換器においても、切換開閉器、早切機構部は容易につり出して点検できる構造とし、アーク接点はタップのみの交換はできない代わりに、VDEW や IEC の要求をはるかに上回る 20~30 万回の寿命を与えている点はきわめて实际的であって、単にタップの交換のみで寿命を延長できると考えがちな、わが国の製作者には大きな教訓であろう。このような方針のもとに設計製作されたタップ切換器に対して、寿命以外の諸点についても日本の使用者の立場からいかなる性能をもつかについて詳しく検証したいという東京電力殿のご希望から、同一機種について現在当社において実用性能試験を実施中であり、その結果については後日詳しく発表する予定である。

5. む す び

電力需要の急速な増大に伴い、変圧器の単器容量の増大の一步をたどっている。東京電力超高压変電所納めの変圧器としては、従来 200 MVA 級が使用され、当社もこれら変圧器を数多く納入してきたわけであるが、今回 300 MVA 級変圧器を製作する機会を与えられ、これを優秀な成績をもって完成し得たことは、喜びに耐えない。この変圧器は、数々の新しい技術を織り込み、とくに従来別置が標準とされていた負荷時タップ切換器を直接取り付けとした点で、今後の標準設計ともいふべきものと考えられる。超高压変圧器も、当社の製作分のみでも 80 台、延べ 1,200 MVA をこえ、技術的にも安定した感があるが、今後とも技術の研さんにつとめ、優秀な変圧器の製作に努力する決意を新たにするとともに、このような記録的な変圧器の製作の機会を与えられた東京電力株式会社の関係者のかたがたに深甚な謝意を表して、拙稿のむすびとしたい。

通信用衛星追尾装置

榎本俊弥*・森川 洋**・渡部 優*・若田和明***

金子敏夫*・近藤輝夫**・佐藤安彦**・石井康一**

A Communication Satellite Tracking System

Kamakura Works Itami factory

Toshiya KASHIMOTO・Hiroshi MORIKAWA・Masaru WATANABE

Toshio KANEKO・Teruo KONDŌ・Yasuhiko SATŌ・Kōichi ISHII

Kamakura Works

Kazuaki WAKATA

A satellite tracking system has been developed for space communication. This system is to be used for the accurate measurement of the angle of the satellite by receiving 4,080 Mc beacon signal from the satellite and tracking it automatically. To meet the requirements of high accuracy in the angle measurement and of highly sensitive receiving satellite signal of a very low level, many original techniques have been developed for this system. Installed at Ibaragi Space Communication Center of KDD (COMIBA) in July last year, it was successful in tracking the Telstar II for the first time in Japan. Then it played a leading part in the historical event of success in the TV relaying between Japan and America through Relay I in November last year.

1. ま え が き

米大陸、アジア、ヨーロッパ、オーストラリア など、遠く離れた大陸の間を、密接な通信網で結ぶためには、広帯域の通信線が必要である。このために従来は、海底電線が設けられ年ともに延長されてきたが、海底電線では、テレビの中継や超多重通信のような広帯域伝送は困難であり、その上経済的にも膨大な費用が必要であった。

一方、ロケットやその誘導の方法が進歩するにつれて、人工衛星を確実に所要の軌道に乗せることが可能となり、この平和利用の一つとして、通信の中継器を衛星に乗せて、可視距離を一挙に中継することが提案された。マイクロ波を用いると、空中線の指向性を比較的容易に鋭くしうるので、大形の高利得、高指向性の空中線を地上に置き、遠く離れた位置にある通信衛星を追尾させると、地上からの信号を効率よく衛星に送りどけることも、また衛星で中継して送ってくる信号を、地上で効率よく再受信することも可能である。この際に通信の帯域を広くとることは技術的に可能であるし、また、将来さらに技術的に進歩し得る可能性を有している。

このようなわけで、通信衛星のテレスター、リレー、シンコムなどが続々と打ち上げられ、最初は米大陸内で、続いて欧米間に通信実験の開始されたのはいまだ近々 1,2 年のことである。わが国でも、この目的で郵政省電波研究所と、国際電々株式会社に地上設備の建設が計画された。

ここで述べる装置は、通信衛星から発する 4,080 Mc のパイロット信号を自動的に追尾し、その方向を精密に測定して、後号で述べる予定の大形通信用高利得空中線を制御し、衛星に追尾させるためのものである。

この装置には、角度の精密測定と、衛星から送ってくる微弱な信号を受信するための受信機の高感度化に、重点を置いて設計している。角度の精密測定のためには、

(1) シマルテニアスローピング方式の実用

(2) 高精度駆動系の開発

(3) 機械部分の高精度加工、高精度組立

(4) 角度検出装置の高精度化設計

(5) 角度伝達にデジタル信号の採用

などの配慮を行ない、角度 1 分の精度を保つことに努めた。

また、受信機の高感度化のためには

(1) 受信機の低雑音化

(2) 受信帯域幅をきわめて狭くする Tracking Filter の開発などを行なって、最小受信感度 -140 dBm という線まで実現ができた。この角度精度および受信感度は、われわれの従来開発した機器で最高のものであり、同時にわが国における新記録である。

この装置は、国際電々株式会社の茨城県十王町の宇宙通信実験所に設置され、去る 11 月より通信実験に使用されて、宇宙通信の重要な部分として活躍している。

2. 仕 様

この装置の仕様は次のようである。

2.1 空中線装置

パラボラ 反射鏡

直径 6 m

曲面精度 ± 3 mm

開口角 150 度

駆動方式

油圧 モータ 駆動

可動範囲 方位角 ± 400 度

仰 角 $-5 \sim +90$ 度

一次フック射器

Simultaneous lobing 用、ハイブリッド回路付

空中線利得 43 dB (4,080 Mc)

Null depth 35 dB 以上

2.2 受信部

方式 パラメトリック増幅器付、位相同期復調方式

パラメトリック増幅器

利得 約 20 dB

帯域幅 10 Mc 以上

中間周波増幅器

周波数 30 Mc

帯域幅 1 Mc

総合雑音指数 3 dB 以下

2.3 空中線駆動部

方式 油圧モータラインコントロール方式

最大角速度

方位角 $8^\circ/\text{sec}$

仰角 $1^\circ/\text{sec}$

最大角加速度

方位角 $8^\circ/\text{sec}^2$ 以上

仰角 $1^\circ/\text{sec}^2$ 以上

2.4 角度検出部

出力コード 2 進化 10 進符号

指示角度

単位 度

ケタ数 6 ケタ

最小指示精度 0.005 度

伝達方式 並列

2.5 総合

受信周波数 $4,080 \pm 0.2 \text{ Mc}$

追尾精度 1 分

最大角速度

方位角 $8^\circ/\text{sec}$

仰角 $1^\circ/\text{sec}$

最小受信感度 -140 dBm

3. 機器の説明

3.1 機器の構成

この装置は下記の機器によって構成されている

- (1) 空中線装置
 - (2) 高周波部
 - (3) 油圧発生装置
 - (4) 受信装置
 - (5) 制御増幅装置
 - (6) 電源装置
 - (7) フォロアップ装置
 - (8) 演算装置
 - (9) 駆動部制御盤
 - (10) 受信部制御盤
 - (11) 自動電圧調整器
 - (12) 配電盤
 - (13) スケーリングタワー
 - (14) 屋舎（換気、空調、照明、給排水設備を含む）
 - (15) 軟質レードーム（加圧用送風装置を含む）
- これらの機器のうち、(1)(2) はレードーム内に収容され、(3)～(8) および (11)～(13) はレードーム下の屋舎の室内に設置されて



図 3.1 空中線装置の外観
Fig. 3.1 External view of tracking antenna.

いる。また (9)(10) はこのレードームから約 200 m 離れた管制室内に置かれている。

3.2 空中線装置

空中線装置の外観を図 3.1 に示す。追尾装置全体の性能、とくに追尾精度と追尾サーボ系の特性とは、ほとんど空中線装置の機械的な性能によって左右される。精度を左右する軸の直交性、反射鏡曲面精度およびバックラッシュ、サーボ系の性能を左右する慣性率、摩擦トルク、バックラッシュおよび剛性について十分検討するとともに組立途中において各種の検査を行なって総合性能の向上に努めた。

(1) 反射鏡部

反射鏡は直径 6 m の回転放物面で、鏡面は曲面精度 3 mm を保つとともに慣性率を軽減するため、耐食アルミの板張りとした。また輸送の便のため、反射鏡は中心部と 8 分割される外周部より構成されている。

一次フック射器は Simultaneous lobing 用の 4 個のホーンおよびこの受信信号を和信号および水平 (Azimuth)、垂直 (Elevation) の差信号に処理するハイブリッド回路より成り、4 本の支持棒によって反射鏡にささえられる。ハイブリッド回路の出力の和および差信号は 3 本の導波管によって、反射鏡裏側の高周波部に接続されており、この 3 本の導波管は支持棒にそって取り付けられている。

(2) 垂直部

垂直部は U ビーム、U ビームによってささえられる高周波部用架台、U ビームに取り付けられた駆動部、検出部およびサーボ用ラットホームより成る。

U ビームは反射鏡および高周波部が駆動部によって上下方向に駆動されるための軸受を有する。

駆動部は油圧モータおよび歯車列より成り、歯車の最後の 2 段は中心距離の調整により、バックラッシュを加減することができる。その他回転速度を検出するタコジェネレータ、使用しない時にアンテナを固定する電磁ブレーキ、非常時にアンテナの機械的破損を防ぐ油圧リミット機構がこれに含まれる。

検出部は反射鏡の上下方向の角度を検出する検出器および上限、下限を検出するリミット機構より成る。高精度検出のためにはインダクションを用い、アンテナ手動制御用として 1X、36X のシンクロを用いている。リミット機構はカムとマイクロスイッチより成り、油圧回

路を電氣的に制御して空中線の駆動を停止させるものである。

(3) 水平部

水平部は駆動部、検出部、ケーブル巻取装置およびこれらをささえるペDESTALより構成されている。

駆動部、検出部については垂直部とほとんど同じであるが、主軸下部に垂直部に油圧を供給するための油圧ロータリジョイントが取り付けられている点異なる。

ケーブル巻取装置は従来垂直部と水平部との間の信号の伝達に用いられていたスリッリングが、高周波の伝達に適しないことと、伝達信号が多くなると膨大な機構になるために、このたび新しく開発した装置である。高周波同軸ケーブル4本(内予備1本)と多心ケーブル6本とにより、直接水平部と垂直部とを接続し、空中線の水平方向の回転による余長を巻取り、必要なだけくり出す装置である。このためケーブルの可とう性やケーブルに加わる張力などについて十分な検討を行なった結果完成したものである。

3.3 油圧発生装置

油圧発生装置は空中線を駆動する油圧の源であり、油圧制御盤、油圧発生装置および冷却装置より構成されている。これらを図3.2~3.4に示す。油圧制御盤は油圧発生装置のポンプ駆動用のモータ、作動圧力のon-offを行なうソレノイドバルブおよび作動油の温度制御を行なうヒータの電源制御盤である。冷却装置は作動油を



図 3.2 油圧制御盤
Fig. 3.2 Control box for hydraulic power.

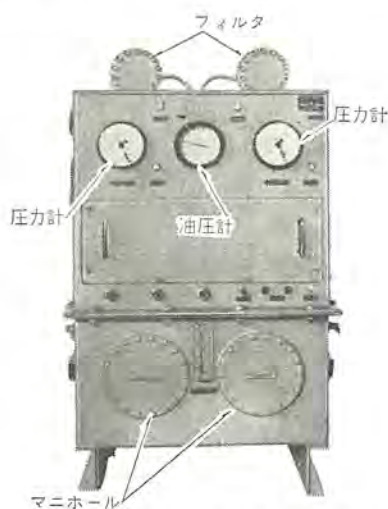


図 3.3 油圧発生装置
Fig. 3.3 Hydraulic power source.

適温に保つための水を用いた熱交換器である。

油圧発生装置は作動油のタンク、ポンプおよびポンプ駆動用の誘導電動機、作動圧力設定用のバルブ類、油中のちりがきわめてザリケートなサーボバルブに行くのを防ぐフィルタ、油温制御用のヒータおよび油の圧力、温度などの異常を制御増幅装置などのパネルに表示するためのスイッチ、リレー類より成る。水平軸駆動と垂直軸駆動とはタンク、ヒータのみ共用でその他は2組が組み込んである。油圧発生装置の主要性能を下記に示す。

| | |
|--------|--|
| 最大流量 | 100 l/min |
| 常用圧力 | Az 70 kg/cm ² E1 50 kg/cm ² |
| 使用温度範囲 | 45±5°C |
| 作動油 | 三菱ダイヤモンドオイル #440 |

サーボバルブは水平軸用が最大 45 l/min、垂直軸用が最大 30 l/min の流量を制御することができる。油圧サーボモータは水平軸用が最大 5,600 rpm、垂直軸用が最大 2,500 rpm の回転を行なうと同時に、数 rpm の低速までなめらかな回転を行なうことができる。この点が油圧駆動の大きな特長である。

油圧系の系統図を図3.5に示す。

3.4 高周波部

高周波部は一次ツク射器よりの和信号、差信号を雑音指数の低いパラメトリック増幅器で増幅し、パラソドミキサを用いて中間周波信号に変換し、さらに中間周波増幅を行なう部分である。高周波部は二つの箱体より成り、空中線反射鏡背部に取り付けられ、反射鏡とともに駆動される。二つの箱体のうち立体回路部を含む箱体は温度制御され、パラメトリック増幅器や立体回路部分の動作を安定化

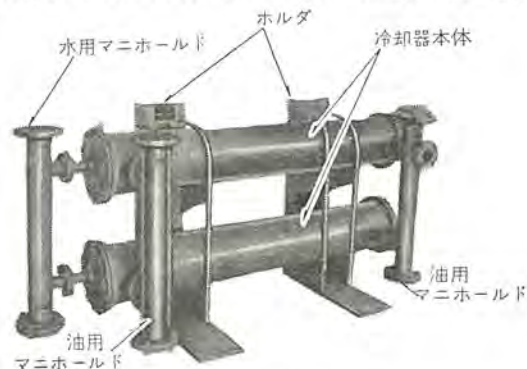


図 3.4 冷却装置
Fig. 3.4 Heat exchanger for cooling oil.

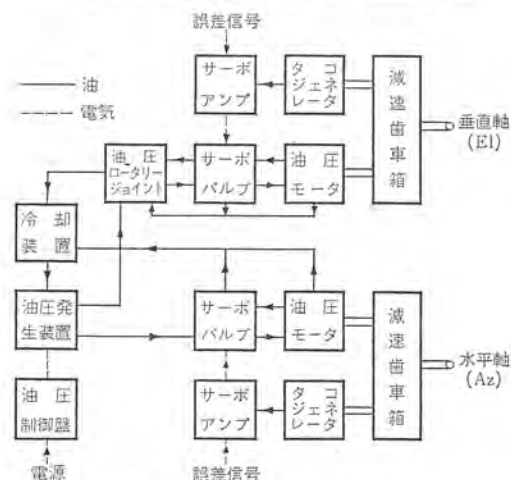


図 3.5 油圧系系統図
Fig. 3.5 Block diagram of hydraulic circuit.

している。

(1) パラメトリック増幅器

受信機の総合雑音指数を低下させるために用いられた低雑音増幅器で、和信号および二つの差信号用合わせて3個より成る。ポンプ周波数は17.5 Gcを用いている。

(2) 高周波電源

これはパラメトリック増幅器に使用する17 Gc帯ポンピング電源でAFC、APC回路とともにパラクタダイオード用バイアス電源を含む。

この部分の性能は下記のとおりである。

ポンピング周波数 17.5 Gc \pm 100 Mc

周波数安定度 0.1 Mc以下

出力 10 mW \sim 200 mW 連続可変

出力安定度 \pm 2.5% 以下

(3) 第一局部発振器および周波数通倍装置

第一局部発振器は28.125 Mcのオパトーン発振を337.5 Mcに通倍し、周波数通倍装置はパラクタを用いてこれをさらに4,050 Mcに通倍して、追尾信号の周波数変換に用いる。

(4) ミキサ

パラメトリック増幅器で増幅された追尾信号4,080 Mcを、周波数通倍回路よりの4,050 Mcを用いて周波数変換を行ない、30 Mcの中間周波信号にする部分である。

(5) 前置増幅器および中間周波増幅器

ミキサよりの信号をまず前置増幅器で低雑音増幅し、これを中間周波増幅器でさらに増幅して、低インピーダンスで受信装置へ送り出すものである。和信号用および二つの差信号用合わせて3チャンネル分を有す。

高周波部の系統図を図3.6に示す。

3.5 受信装置

高周波部で中間周波となり、増幅された追尾信号は、同軸ケーブルで巻取装置を通り、レードーム下の追尾受信機室にある受信装置に入る。受信装置はこの信号をさらに第二中間周波に変換して増幅し、しかる後位相同期復調して、水平(Az)、垂直(EI)の角度誤差電圧とし、制御増幅装置に送る。また高周波部の中間周波増幅器に、自動、手動利得制御電圧を供給する。

受信装置は復調器、第2局部発振器、AGC回路、誤差検出器およびこれらの制御回路より成る。系統図を図3.6に示す。

(1) 復調器

これは和信号の復調回路である。第2局部発振器とともに位相同期復調器として動作し、第2局発周波数を信号周波数に同期させる。第2局発周波数は31.4 Mcとし、第2中間周波数1.4 Mc

を取り出し、これを1.4 Mcの基準発振電圧で検波した出力によって、第2局発の源である電圧制御発振器(VCO)の周波数を信号に同期させている。

(2) 第2局部発振器

1.4 Mcの基準発振器およびVCO出力の増幅器を含み、各出力を復調器および誤差検出器に送って、和信号および差信号の復調に供している。

(3) AGC回路

追尾目標とアンテナとの角度誤差が一定量の時は、受信電界強度の強弱にかかわらず、角度誤差電圧が一定であることが望ましい。そうでないと追尾サーボロー全体の利得が受信レベルによって変動し、系の特性が不安定になるからである。このため受信増幅器の利得を和チャンネルへの信号入力レベルに応じて自動的に制御するのがAGC系である。AGC回路は和チャンネルの第2中間周波信号を増幅および同期検波した低域ロハ回路を経てAGC電圧を作り、これを高周波部の第1中間周波増幅部に送っている。

(4) 誤差検出器

Az、EIの差チャンネルの角度誤差信号を、和チャンネル復調の際、信号に同期させた第2局発周波数および基準発振周波数により同期検波して直流の角度誤差電圧とするものである。この角度誤差電圧は直流増幅器で増幅されて制御増幅装置に送られる。

(5) 制御パネル

制御パネルは受信装置前面にあり、高周波部の遠隔監視、AGC電圧の表示、復調器の位相誤差の表示、信号を探索するためのVCO周波数の自動および手動掃引操作などを行なうものである。

図3.7に制御パネルを示す。

3.6 制御増幅装置

制御増幅装置は、自動追尾、手動、サブコントロールに追従およびメインコントロールに追従の各モードにおいて、受信装置、シンクロ、演算装置あるいは指令制御装置よりの角度誤差信号を処理増幅し、油圧制御信号として空中線駆動部のサーボローに与えるものである。この他に油圧および空中線駆動関係の制御パネルおよびリレー回路を含む。

制御増幅装置は制御増幅器、回路網、AC増幅器、デイズ発生器および制御回路(制御パネル、リレー回路)より成る。空中線駆動

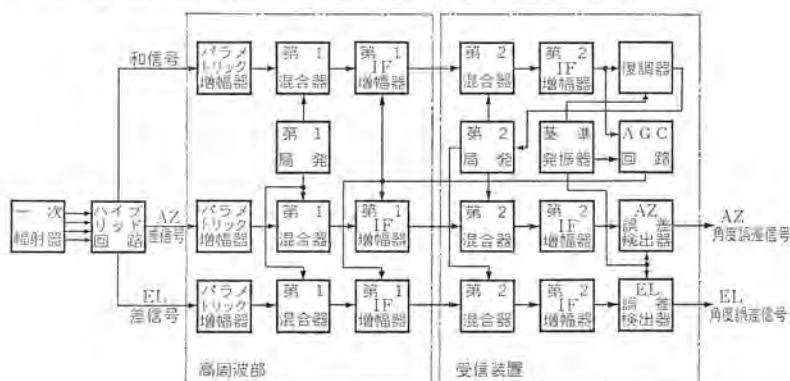


図3.6 受信系系統図
Fig. 3.6 Block diagram of receiver.



図3.7 受信装置および制御増幅装置の制御パネル
Fig. 3.7 Control panels of tracking receiver and antenna control amplifier.

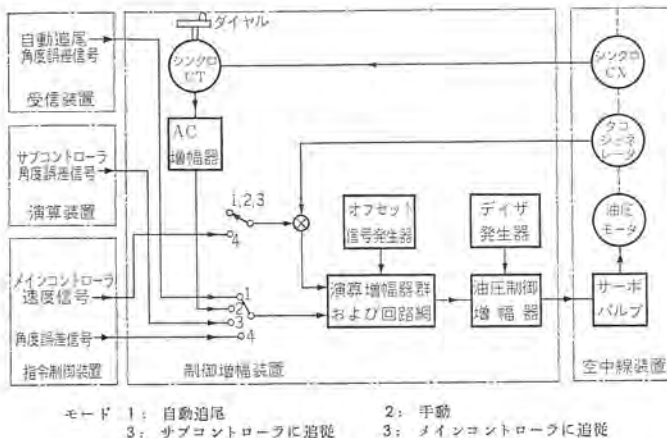


図 3.8 空中線駆動系系統図
Fig. 3.8 Block diagram of antenna drive circuit.

の系統図を図 3.8 に示す。

(1) 制御増幅器および回路網

角度誤差信号を処理増幅する部分である。制御増幅器はアナログコンピュータ用の演算増幅器およびサーボバルブ制御用の油圧制御増幅器を含み、演算増幅器の入力、帰還回路の部分を回路網に組み込んである。演算増幅器を用いたため、駆動モードの切替や追尾サーボ帯域幅の切替などの複雑なリレー回路およびサーボ特性補償回路などを容易に構成することができた。

(2) AC 増幅器

これは空中線を手动制御する際に、シンクロよりの誤差電圧を増幅し、同期検波して直流信号にする部分である。

(3) ディザ発生器

サーボバルブは本質的にある程度のヒステリシス特性を持っている。このヒステリシス特性を除き、系の特性を改善するために、サーボバルブ制御電流(直流)に交流電流を重ねさせることが有効である。ディザ発生器はこの交流電流源である。

(4) 制御回路

制御増幅装置の前面は受信装置と同様に各種操作および表示を行なう制御パネルである。ここではモード切替、角度誤差電圧の表示、アンテナ角度のデジタル表示、油圧系の on-off 操作および異常表示、空中線の手動制御などができる。内部にはこれら操作表示用のリレー回路が組み込まれている。制御パネルを図 3.7 に示す。

3.7 電源装置

電源装置は、受信装置および制御増幅装置用の直流安定化電源およびヒータ電源を作る装置である。また空中線のラレーキ用電源も収容している。

3.8 駆動部制御盤および受信部制御盤

これらは追尾ドームより約 200 m 離れた管制室に配置され、受信系および駆動系の遠隔制御および遠隔監視を行なうものである。これらの外観を図 3.9 に示す。

3.9 フォロアップ装置

フォロアップ装置は空中線に取り付けられた角度検出器(インダクション、リゾルバ)よりの信号を受けて、電氣的にギヤアップされたサーボ軸を作り、これに取り付けられたエンコーダにより、空中線の角度をデジタル量として検出する装置である。

インダクションは 360 極のマルチポールリゾルバであって 1 回転で一般のリゾルバ 180 回転分の信号を発生することができる高精度角度検出器である。このため歯車のバックラッシュなどによって精度を低下



図 3.9 駆動部制御盤(中央)および受信部制御盤(右)
Fig. 3.9 Monitor of tracking antenna (center) and receiver (right).

させることなく電氣的なギヤアップができる。このインダクションとリゾルバの組み合わせにより、空中線の角度を精度よくフォロアップ軸に伝える。

フォロアップ装置は 10 kc 発振器、サーボ増幅器、フォロアップ機構部などより成りその系統図を図 3.10 に示す。

(1) 10 kc 発振器

インダクションおよびリゾルバの角度伝達に用いる Carrier を作る部分である。

(2) サーボ増幅器

インダクションの誤差信号は空中線内の誤差増幅器、フォロアップ装置のリゾルバ増幅器で増幅される。サーボ増幅器はこのインダクションよりの誤差信号と 1X リゾルバよりの誤差信号とを増幅して、終段の磁気増幅器により、フォロアップ機構部のサーボモータ(15 W)を駆動するものである。

(3) フォロアップ機構部

高精度の歯車箱に、駆動用サーボモータ、空中線よりの角度信号を受ける 1X, 180X のリゾルバ、角度をデジタル量に変換する精粗二つのエンコーダが取り付けられている。また EI 用には空中線の Az 軸の動きと line of sight の動きとの補正を行なうための cosine 関数形ポテンシオメータがある。歯車列はバックラッシュを除くために、はさみ歯車を用いている。エンコーダは角度 6 ケタを表示するために上 4 ケタ(0.1 度まで)を粗エンコーダ(Brush type)で、下 2 ケタを精エンコーダ(Magnetic type)で変換している。

3.10 演算装置

空中線の角度はフォロアップ装置のエンコーダによって、デジタル量となるが、このエンコーダ用の信号源を作り、出力信号を処理して、制御増幅装置に角度表示信号を、指令制御装置に 2 進化 10 進符号の角度信号を送るものである。

演算装置は 6 フレーム分の NOR カードを収容している。1 フレームの収容カード枚数は最大 25 枚である。演算装置の系統図を図 3.10 に示す。演算装置はこの他にサブコントローラを接続して、局部的に空中線のデジタル制御を行なうための、角度誤差信号の DA 変換回路を有する。

(1) エンコーダ駆動回路

この部分はエンコーダの interrogation 信号を発生する回路と精粗二つのエンコーダ間のケタ上げをそろえる回路である。精エンコーダは Magnetic type のため、interrogation 信号として 200 kc が用いられる。

(2) エンコーダ回路

これは主として精エンコーダの出力信号の処理を行なう部分である。精エンコーダ出力は 200 kc であり、Pure binary code で出てくるため、まず検波し、これをコード変換して、Binary coded decimal にしている。

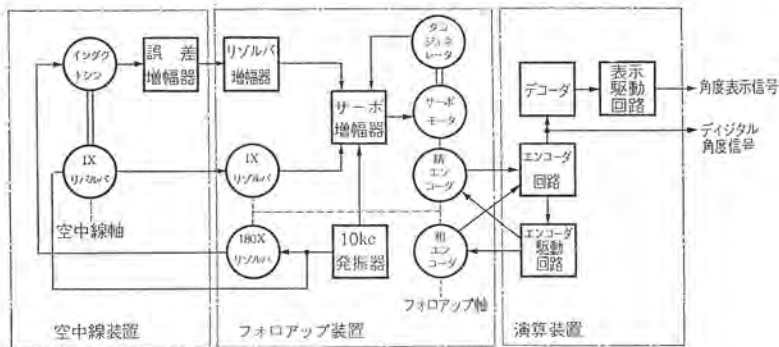


図 3.10 角度検出系系統図
Fig. 3.10 Block diagram of antenna angle detection circuit.



図 3.1 追尾ドームの外観
Fig. 3.11 External view of tracking dome.

(3) デコーダ

粗エンコーダの出力および精エンコーダの出力をエンコーダ回路で処理したものを、角度表示のために decode する回路である。

(4) 表示駆動回路

デコーダの出力によって、これに対応する角度表示ランプを点灯させるための回路である。

3.11 自動電圧調整機

電子機器用交流電源を安定化するための、磁気増幅器を用いた高性能レギュレータである。

3.12 スケーリングタワー

追尾ドームの構造および空中線装置の構造上、高周波部などの試験を行なうためにプラットフォームに測定器を上げることは人力ではむずかしい。スケーリングタワーはプラットフォームとドーム下の部屋との間の運搬用昇降機である。

3.13 軟質レードーム

この追尾装置の空中線にきわめて高精度を要求されるために、風圧トルクによる外乱、太陽の直射による変形があってはならない。また風雨にさらされて性能が低下してはならない。これらを防ぎ、いかなる環境の下でも十分性能を発揮できるようにつけられたのが、この軟質レードームである。ビニロンとゴムを材料としたこのレードームは電波の吸収もほとんどなく、わずか1mmぐらいの厚さで風速60mにも十分耐える優秀性を持っている。レードームは直径11m、最高内圧300mm(水柱)で、天頂に避雷針を持っている。軟質レードームを図3.11に示す。

4. 実験結果

この装置は昭和38年7月、わが国初の通信衛星テルスター2号の追尾に成功したのをはじめ、同11月にはリレー衛星による歴史的な太平洋を越えたテレビ中継にも、その優秀な性能を発揮して、

別の機会に述べる指令制御装置および送受信空中線とともに活躍した。またこれらの衛星追尾実験によって、追尾角度精度の確認をするとともに、通信衛星に関する数多くの貴重なデータを採取することができた。

まずテルスター2号の追尾実験は7月7日から表4.1に示す各軌道に対して実施された。実験方法はあらかじめ計算された軌道データで、指令制御装置より追尾空中線を駆動して、アメリカメーン州アンダーバ局よりのコマンドによって発射される4,080 Mcのピーコン電波を持ち、電波を追尾装置が捕捉すると、自動追尾に移すものである。

実験前予想された受信電界は-130 dBm以下、これに衛星のスピンの影響によるフェージングおよび仰角が低いことによるフェージングが数dB考えられ、最小受信感度すれすれで、かなり懸念された。

予定されたピーコン発射5分前、まず指令制御装置が軌道データを読み込んで動作を始め、続いて追尾アンテナが指令に従って回転を始めた。関係技術陣の注目のうちに、午後0時3分26秒捕捉を告げるロックオンリレーが動作し、制御パネルに表示ランプが点灯するとともに、AGCメータは受信電界が約-127 dBmであることを示した。

テルスター2号の実験に用いた軌道は方法角65~55度、仰角17~1度、距離約15,000 kmであった。そしてこの追尾装置はスピンのフェージングや低仰角のために生じるフェージングにもめげず、この全軌道をみごとに追尾した。

また11月から12月にかけて行なわれたリレー1号による通信実験は、この追尾装置と、指令制御装置、送受信空中線および受信機の組み合わせにより、アメリカ太平洋岸モハービ局あるいは太西洋岸アンダーバ局を相手に行なわれた。実験方法はテルスター2号と同様に、あらかじめ計算された予測軌道データに従って、指令制御装置より、追尾および送受信空中線を駆動して待ち受ける。衛星より4,080 Mcのピーコン信号が発射されると、これを追尾装置が捕捉、自動追尾して衛星の正確な方向を知る。指令制御装置はこの方向に送受信空中線を時々刻々正確に向け、4,170 Mcの搬送波で衛星より発射されたテレビ信号を受信するという仕組みである。

リレー衛星の場合は距離が近い(8,000~11,000 km)ために受信電界強度に対する懸念は比較的少なかったが、送受信空中線のビームがきわめて鋭い(ビーム幅 ± 0.15 度以下)ために、各空中線の角度精度はもとより、空中線相互間の共軸性や制御系の誤差などが問題であった。

この実験は約15回にわたって行なわれ、懸念された問題に対しても全装置の性能の優秀さが確認されるとともに、ケネディ暗殺の悲報をいち早く伝えるという通信史上忘れがたい業績を残すこととなった。

実験が行なわれた軌道は方位角約85~50度、仰角35~1度で

表 4.1 テルスター2号追尾実験

| 月 日 | 軌道番号 | 実験予定時間 (日本時間) | 自動追尾した時間 (日本時間) |
|------|------|------------------------|----------------------------------|
| 7月7日 | 388 | 時 分 時 分 12 01—12 19 | 時 分 秒 時 分 秒 12 03 26—12 21 00 |
| 9日 | 401 | 13 05—13 22 | (アンダーバ局の都合で電波発射中止) |
| 13日 | 426 | 10 23—10 37 | 10 23 03—10 48 10 |
| 14日 | 433 | 13 20—13 35 | 13 19 01—13 41 08 |
| 18日 | 458 | 10 36—10 55 | (テルスター動作停止) |

(電気通信学会誌による)

追尾信号受信強度約 -120 dBm, テレビ信号受信強度約 -92 dBm, スピン周波数 $2\sim 2.5$ c/s であった。

これらの実験は追尾装置を含めて諸装置の性能の優秀さを確認するとともに、リレー衛星実験に立ち会った NASA 担当官の讃辞が示すように、日本の技術の高さが国際的に認められるのに大きな役割を果たしたといえよう。

5. む す び

この追尾装置は高い角度精度ときわめて低レベルの受信という二つの厳しい仕様を満たすために、数多くの、しかも広い分野にわたる新しい技術、またこれまで追尾レーダなどによってつちかわれた高度の技術と経験とを各所に折り込まなければならなかった。

またこの装置の総合的な完成には広範囲の技術関係者が協力して努力することが必要であった。それは、研究開発、設計、製作、据付、試験調整を通じて、当社無線機製作所（現鎌倉製作所伊丹工場）はもとより、主として立体回路系の研究開発にあたった研究所、油圧系を担当した鎌倉製作所、発電機の仕事技術を活用した神戸製作所、わが国初の軟質レードームの製作を担当した相模製

作所、基礎工事、据付工事に経験を駆使した本社施設部など全社的なものであった。そしてこの装置を含めて宇宙通信用装置の完成と成功は、関連技術水準の向上とともに、さらに高度な技術に対する意欲をわれわれに与えてくれた。

この装置は、国際電電難波常務、新川研究所長、宮部長をはじめとする多くの方々のご尽力による機会とご指導を得て完成したもので、ここに厚く謝意を表する。

またこの装置の完成のために、直接または間接に努力された各位に対して厚くお礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 榎本・渡部・若田：サイマルテニアスローピング方式 追尾装置のシステム 電関西連大 P. 269 (昭 37)
- (2) 渡部・若田・竹内・篠原：サイマルテニアスローピングアンテナ 電関西連大 P. 218 (昭 37)
- (3) 喜連川・渡部・立川・篠原：人工衛星、ロケット 追尾用 Simultaneous Lobing Antenna の一次放射系 電通全大 Vol. 2 225 (昭 38)
- (4) 若田・近藤・石井(栄)：サイマルテニアスローピング 追尾用受信機 電関西連大 P. 270 (昭 37)

最近の送電線保護継電装置 (5)

— 故障点標定式距離継電装置 —

北 浦 孝 一*

The Latest Protective Relaying Scheme for Transmission Lines (5)

— Fault Locator —

Kōbe Works Koichi KITAURA

Distant relays in use nowadays are for judging whether or not a fault is within the protecting section but unable to indicate where the faulty point is, though it is a crucial problem to locate it. This makes it necessary to install a very expensive device for the detection of the point or to despatch a maintenance crew travelling along the line. However, relays newly developed and introduced herein are the ones, combining the system voltage and current and computing on a static network, operate to locate the faulty point. Compared with the old faulty point locators of pulse transmission time measurement type, they are simple, dependable, inexpensive and good for practical use with accuracy in the distance measurement. Herein are described their system, principle and test data.

1. ま え が き

最近一般電力系統運用の自動化および電気鉄道関係の自動化が進むに伴い、系統故障時、故障点分離を高速で行なうのみならず、故障点位置を早急に探知する必要性が高まってきた。しかし、従来の距離継電器は周知のごとく、整定保護区間の故障であるか否かを弁別するものであって、故障点位置を標定しうるのでないゆえ、高価な故障点標定器が別個に設置されていない限り、故障点位置を探知することはできず、故障点を見出すために、保守員が多量の時間と労力をかけて、線路巡視を行っていた。ここに述べる方式は、特別に高級、高価な故障点標定装置を設けることなく、距離継電器と同程度の技術、費用を以て、故障点位置を標定するものであり、従来の故障点標定器に比べ、簡単、確実、安価であり、距離測定精度も保守員の時間労力節減に貢献しうるものである。とくに交流電化キ電線においては、線路構成が複雑で従来のパルス伝送時間計測方式が採用できず、ここに発表する系統電圧 E 系統電流 I を入力とした KKS-5-M 形故障点標定式距離継電器の特長が顕著に発揮されるものである。以下ここに、その方式原理、試験データを主体として、紹介する次第である。

2. 各種距離測定方式

継電器設置点の系統電圧 E 系統電流 I より故障点までの距離を算出する方式は、種々考えられるが、考え方の代表的な例として下記のものがあげられる。

2.1 回路常数変化式距離測定方式

一般に、距離継電器の回路常数は一定不変に保たれるのであるが、距離測定に若干の時間をかけてもよい場合には、距離継電器の整定を決定する回路常数の一部を変化させ、動作範囲を時間経過に対し、直線約に変更し、継電器の動作時間または回路常数変化分より、故障点までの距離を推定することができる。図 2.1 は

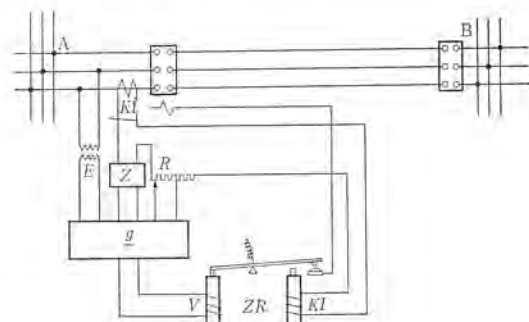


図 2.1 原理図

Fig. 2.1 Operation principle circuit.

その一例を示す原理図である。すなわち

$$V = E - [KIR + KIZ_{(t)}] \quad (2.1)$$

ただし E : 系統電圧に比例する電圧

I : 系統電流に比例する電流

R : 抵抗分電圧降下分を導出する装置の整定抵抗値 ($R=0$ でもよい)

$Z_{(t)}$: リアクタンス分電圧降下分を導出する装置の整定インピーダンス値 (時間の関数)

K : 比例常数

なる電圧に比例した抑制力と KI なる電流に比例した動作力により距離継電器を付勢すれば、図 2.2 のベクトル図に示すごとく、距離継電器の動作範囲はベクトル R とベクトル $Z_{(t)}$ との和の点を中心とし、半径 $|Z_R|$ の微小円特性となる。かかる偏移インピーダンス継電器の偏移量 (上記整定インピーダンス値) $Z_{(t)}$ を

$$Z_{(t)} = kt \quad (2.2)$$

なるごとく、故障発生時点よりの時間に比例して拡大し、継電器が動作するまでリアクタンス値を変化させる。かくすれば、図 2.2 のベクトル図より明かなごとく、継電器動作時間は上記 $Z_{(t)}$ に従って故障点までの距離に比例するゆえ、動作時間を測定して間接的に距離を測定するか、または $Z_{(t)}$ の変化分を目盛で表示して

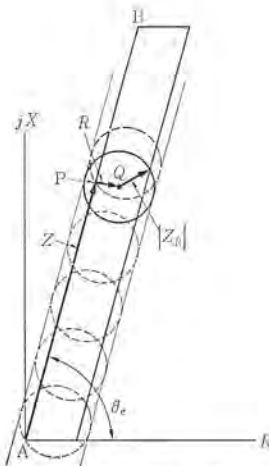


図 2.2 ベクトル図
Fig. 2.2 Vector diagram.

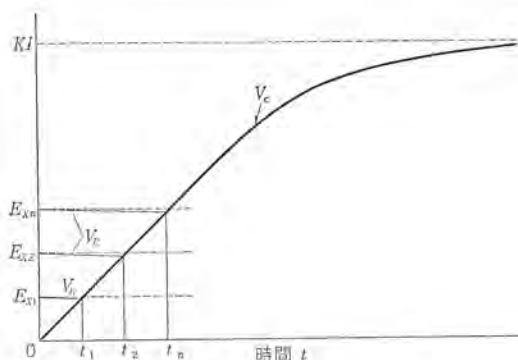


図 2.3 電圧—時間特性
Fig. 2.3 Voltage-time characteristics.

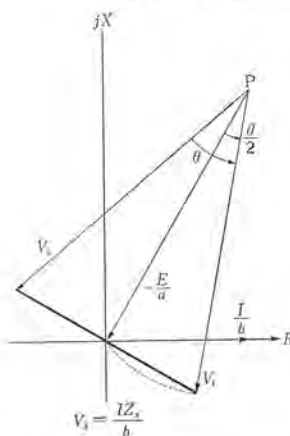


図 2.5 ベクトル図
Fig. 2.5 Vector diagram.

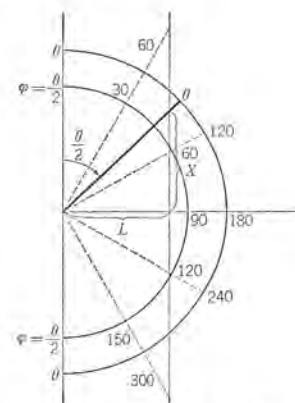


図 2.6 θ と X との関係
Fig. 2.6 Relation between θ and X .

直接的に距離測定することができる。

2.2 充放電時間測定式距離測定方式

系統電圧 E のうちリアクタンス 分による電圧降下 E_X および系統電流に比例した電圧 KI を導出し、故障検出要素が系統故障を検出した時、上記電圧 E_X , KI 導出装置の出力部を制御して、 E_X , KI を瞬間的に記憶し（たとえば蓄電器に充電し）かつ時間測定装置を起動し、 KI 出力端子から時間経過に対し、ほぼ直線的に増加する電圧（図 2.3 の V_c ）を導出して E_X よりも大きくなるまでの時間 t を測定すれば、

$$|KI|(1 - e^{-t/T}) \doteq |KI|t/T = |E_X| \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\therefore t = T|E_X|/|KI| \propto |Z_X| \propto X \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

ただし Z_X : 故障点までのリアクタンス

X : 故障点までの距離

T : 時定数

となり、時間計測により故障点までの距離を測定しうる。 E_X としては、電流 I のゼロ点、すなわち KI の全波整流電圧のゼロ点において、ゲート回路を開き、その瞬間の E の瞬時値をパルス波高値電圧計と同様の回路で記憶してもよく、または図 2.4 原理回路図に示すごとく

$$\left. \begin{aligned} \dot{V}_1 &= K'\dot{I} + \dot{E} \\ \dot{V}_2 &= K'\dot{I} - \dot{E} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= K'I[1 + (E/K'I)^2 + (2E \sin \theta)/K'I]^{1/2} \\ V_2 &= K'I[1 + (E/K'I)^2 - (2E \sin \theta)/K'I]^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

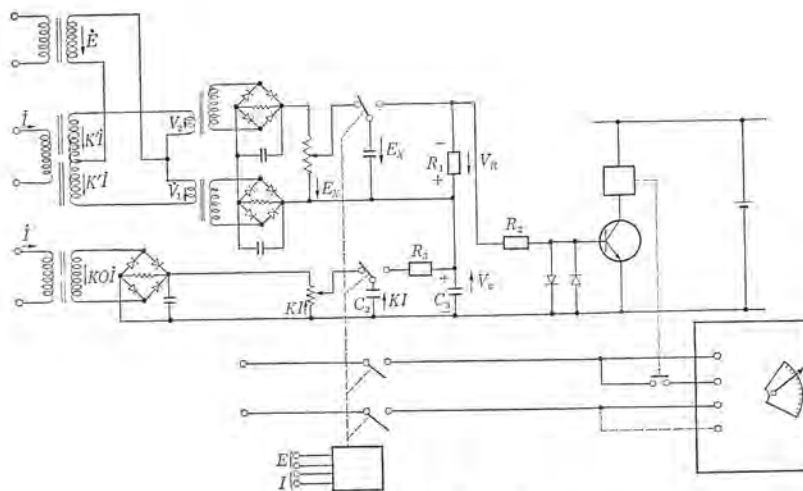


図 2.4 原理回路図
Fig. 2.4 Operation principle circuit.

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= K'I + E \sin \theta \\ V_2 &= K'I - E \sin \theta \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

$$V_1 - V_2 = 2E \sin \theta = 2E_X \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

として導出したものを記憶してもよい。この方式は故障発生時の瞬時値を記憶し、記憶後所望の時間をかけて充放電時間を測定するゆえ、故障継続時間が 4~5c/s の短時間である場合にも適用でき、かつリアクタンス 分を対象としているゆえ、故障点抵抗の影響を受けない長所を有する。

2.3 位相差角測定式距離測定方式

この方式は光学測距儀の原理を電気工学にそのまま応用したものである。すなわち、図 2.5 ベクトル図に示すように、継電器設置点の系統電圧 E 、系統電流 I を組み合わせて、

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= (-E/a) + (IZ_s/b) \\ V_2 &= (-E/a) - (IZ_s/b) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

なる 2 組の電圧を導出し、両者の位相差角 θ をディジタル式に計測し

$$\tan \theta/2 = (IZ_s/b)/(E/a) = aZ_s/bZ = aZ_s/bKX \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

$$L = (aZ_s/bK) \cot \theta/2 = L_B \tan(90^\circ - \theta/2) = L_B \cot \varphi \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\text{ただし } Z \equiv E/I \equiv KL \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

$$L_B \equiv aZ_s/bK \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

L : 継電器設置点より故障点までの距離 (km)

Z : そのインピーダンス (Ω)

K : 送電線 1 km あたりのインピーダンス

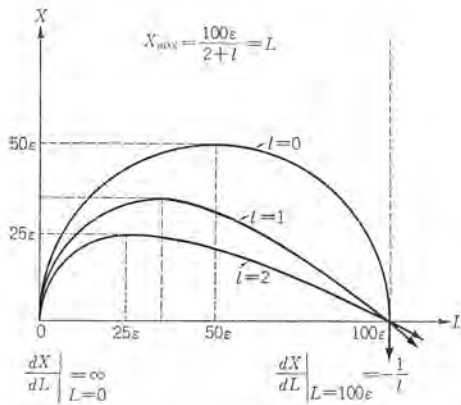


図 2.7 L と誤差 ε を確保する X との関係
Fig. 2.7 Relation between L and X which guarantees accuracy ε .

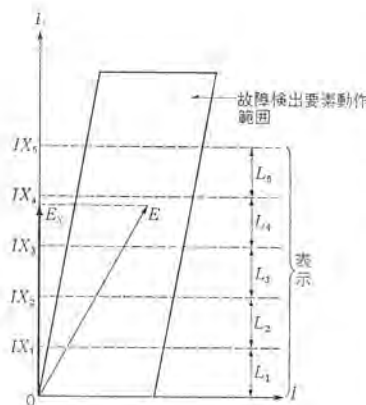


図 2.8 ベクトル図
Fig. 2.8 Vector diagram.

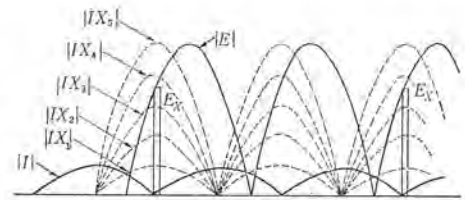


図 2.9 波形図
Fig. 2.9 Wave form.

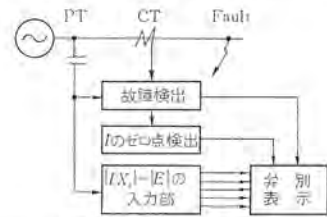


図 2.10 原理図
Fig. 2.10 Operation principle circuit.

a: PT 比

b: CT 比

Z_0 : 基線長 L_B (km) を決定する整定インピーダンス

図 2.6 はこの継電器により、任意の位相差角 θ 度が与えられた場合に、故障点までの距離 L (km) を図式的に求める方法を示したものである。この継電器の距離測定精度は

$$\Delta L = (\partial L / \partial L_B) \cdot \Delta L_B + (\partial L / \partial \theta) \cdot \Delta \theta$$

$$= (\Delta L_B / L_B) \cdot L - [L_B + (L^2 / L_B)] \cdot \Delta \theta \quad \dots (2.14)$$

$\Delta \theta = \pi \Delta \theta / 360$ において $\Delta \theta = \pm 1$ 度を確保するゆえ

$$|\Delta \theta| \leq 1/100 \quad \dots (2.15)$$

また $|\Delta L_B / L_B| \leq l/100$ とすれば

$$|\Delta L|_{\max} = (l/100) \cdot L + [L_B + (L^2 / L_B)] \cdot 1/100 \equiv \varepsilon (\text{km}) \quad \dots (2.16)$$

以上の定義より明かなることく、 l , ε , L , L_B はともに正の実数であるから

$$L = 1/2 \left\{ \sqrt{400\varepsilon L_B + (L_B^2 - L^2)} + L_B \right\} \quad \dots (2.17)$$

$$0 < L_B < 100\varepsilon$$

ε , l をパラメータとして X を最大ならしめる L の値は、

$$\partial L / \partial L_B = 0 \quad \text{より}$$

$$L_B = 100\varepsilon / (2 + l) \quad \dots (2.18)$$

式 (2.18) を式 (2.17) に代入すれば、

$$L_{\max} = 100\varepsilon / (2 + l) = L_B \quad \dots (2.19)$$

したがって基線長 $L = 25$ km に整定すれば、基線長整定誤差が $\pm 2\%$ ($l=2$) あったとしても $2L=50$ km 範囲の故障に対し、距離測定誤差 ± 1 km 以内におさえる。以上の計算結果を図示したものが図 2.7 である。この装置を模擬送電線設備で試験したところ、上記の精度検討結果とよく一致していることが確認された。この方式の欠点は、測定位相差角 θ が与えられたとき、故障点の軌跡が基線長 L_B を弦とし、 θ をその上に立つ円周角とした弧となることである。すなわち、故障点抵抗の影響を受けることである。しかし $R-X$ 複素平面上 2 個所に基線が存在するようにして、二つの円弧の交点を求めればこの欠点は解決する。

2.4 段階瞬時値比較式距離測定方式

この方式は、前記 2.2 節の方式と類似の考え方であるが、装置の簡素化をはかるため、2.2 節では演算の対象となる電気量自体 E_X , KI を記憶するのに対し、この方式では E_X , KI の関係を演算した結果を記憶するようにしたもので、いずれも線路のリアクタンス分を対象としているゆえ、故障点抵抗の影響を受けない特

長を有する。図 2.8, 2.9 はそれぞれこの方式の原理を示すベクトル図および波形図であるが、線路リアクタンスによる電圧降下 E_X が整定電圧 IX_3 と IX_4 の中間にある場合を示している。波形の示すように、電流 I がゼロとなる時点の E の瞬時値が E_X であるから $I=0$ の時間において E の整流電圧 $|E|$ と IX_i の整流電圧 $|IX_i|$ ($i=1 \sim n$) を比較すれば、継電器設置点より故障点までのリアクタンス X を、したがって距離 L を標定しうる。図 2.10 はこの方式の原理図である。この方式は実用性が最も高いゆえ、3 章 KKS-5-M 形故障点標定式距離継電器で詳細に紹介する。

3. KKS-5-M 形故障点標定式距離継電器

この継電器が一般電力システムにも適用しうることはいうまでもないが、ここに紹介するものは、交流電化キ電線のオーム値に合わせて設計し検討したものである。

3.1 適用上の検討

交流電化キ電線が、一般の電力システムとくに異なる点は、交流電化キ電線においては保護区間内に負荷を包含している点である。以下ここに、交流電化キ電線の重負荷時に故障が発生した場合、故障点標定誤差が原理上どの程度となるか検討する。

(1) 負荷が故障点より近くにある場合

図 3.1 に示す例で計算すれば

$$\Delta X = jb(x+y) - j[d / \{(ay+c+R)^2 + (by+d)^2\}] \quad \dots (3.1)$$

ただし

$$\Delta \equiv (ay+c+R) \{R(bx+d) + (ad+bc)(x+y) + 2abxy\} \\ - (by+d) \{R(ax+c) + (ac-bd)(x+y) + (a^2-b^2)xy\} \quad \dots (3.2)$$

$$\therefore \Delta X = j \cdot [(ay+R) \{(ay+R)(by-d) + 2bcy\} + b^2y^2(by+d)] \\ / \{(ay+c+R)^2 + (by+d)^2\} = f_a(y) \quad \dots (3.3)$$

(2) 負荷が故障点より遠くにある場合

図 3.2 に示す例で計算すれば

$$\Delta X = jbx - j \cdot [d' / \{(ay+c+R)^2 + (by+d)^2\}] \quad \dots (3.4)$$

ただし

$$\Delta' \equiv (ay+c+R) \{R(bx+by+d) + bx(ay+c) + ax(by+d)\} \\ - (by+d) \{R(ax+ay+c) + ax(ay+c) - bx(by+d)\} \quad \dots (3.5)$$

$$\therefore \Delta X = -j[R^2(by+d) / \{(ay+c+R)^2 + (by+d)^2\}] = f_b(y) \quad \dots (3.6)$$

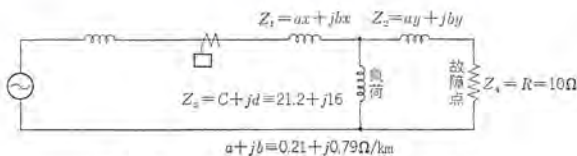


図 3.1 負荷が故障点より近くにある場合
Fig. 3.1 Load closer to the power source than fault point.

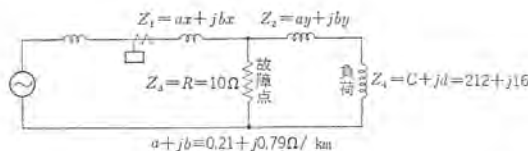


図 3.2 負荷が故障点より遠くにある場合
Fig. 3.2 Load beyond the fault point.

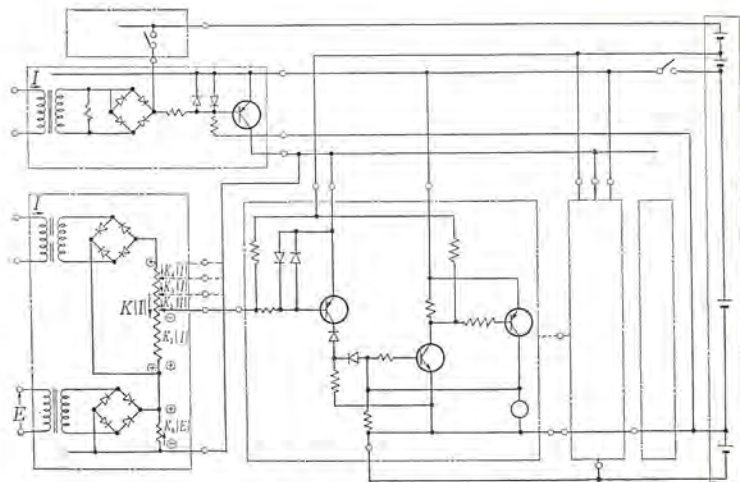


図 3.4 原理図
Fig. 3.4 Operation principle circuit.

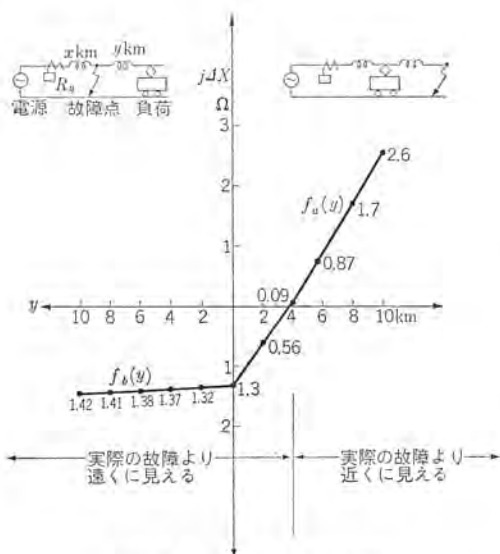


図 3.3 理論上の誤差曲線
Fig. 3.3 Theoretical error curve.

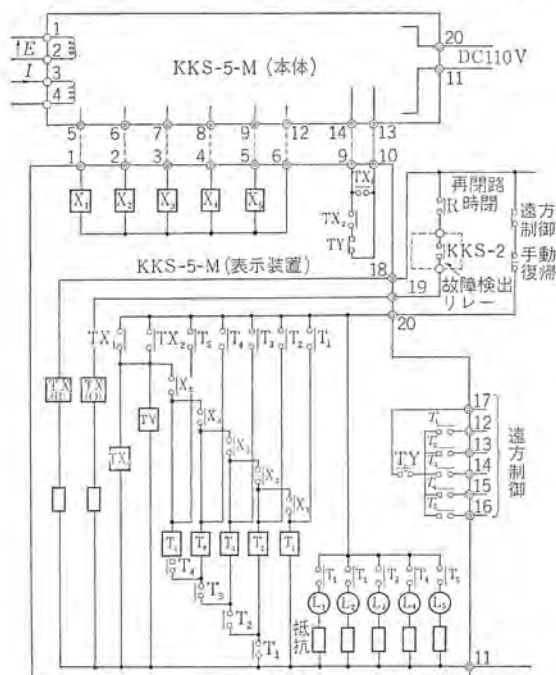


図 3.5 KKS-5-M 形継電器接続図
Fig. 3.5 Connection diagram of type KKS-5-M relay.



図 3.6 表示装置
外観図
Fig. 3.6 A view
of type KKS-5-M
relay.

図 3.3 は式 (3.3) $f_a(y)$ 式 (3.6) $f_b(y)$ にそれぞれ図 3.1, 3.2 の数値を代入した理論上の誤差曲線である。以上の検討においては、負荷インピーダンスは考えうる最大負荷とし、かつ一定と仮定しているが、この程度理論上の誤差が存在しては、実用価値が半減するゆえ、故障点標定は最初の故障検出時には行なわず、自動再閉路前に負荷を開放し自動再閉路してなお故障が継続しているような場合、すなわち再閉路が失敗するような場合のみ故障点標定することが実用的である。

3.2 具体回路

図 3.4 は原理を示す具体回路図であり、図 3.5 は KKS-5-M 形継電器の接続図である。また図 3.6 は表示装置の外観図である。

3.3 試験データ

以下ここに 0~5Ω を 1Ω ステップの 5 段階に故障点を表示する KKS-5-M 形継電器の性能試験結果を紹介する。

(1) 単体試験 データ

(a) E-I 特性

表 3.1 図 3.7 参照

(b) 位相特性

各整定値ともリアクタンス誤差 ±5% に入る抵抗分は、 $I=10A$ の場合 7Ω 以下。図 3.8 参照

(c) 周囲温度特性

周囲温度 20°C を基準として、動作値の変動 ±5% に入る温度は 0~40°C。使用可能温度 -20~+60°C。図 3.9 参照

(d) 動作速度

各整定値とも動作速度は整定値の 0~90% において表 3.2 に示すとおり。

(e) 消費 VA

CT 負担 7.5 VA (5A)

PT 負担 15.4 VA (110 V)

表 3.1 E-I 特性

| 位相角(度) | 整定値(Ω) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 75° | 最低動作電流 (A) | 4.5 | 4.3 | 4.3 | 4.2 | 4.1 |
| | 整定値の ±5% に入る最小電流 (A) | 4.5 | 4.3 | 4.3 | 4.2 | 4.1 |

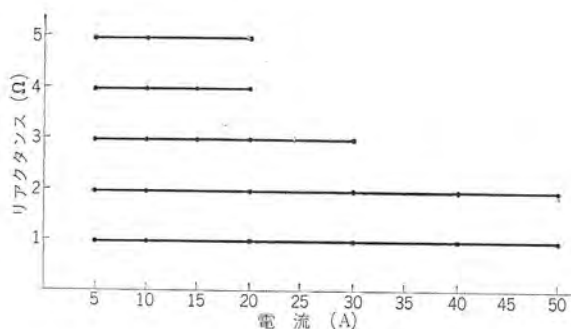


図 3.7 E - I 特性
Fig. 3.7 E - I characteristics.

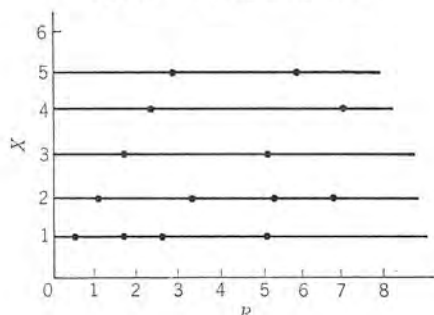


図 3.8 位相特性
Fig. 3.8 Phase characteristics.

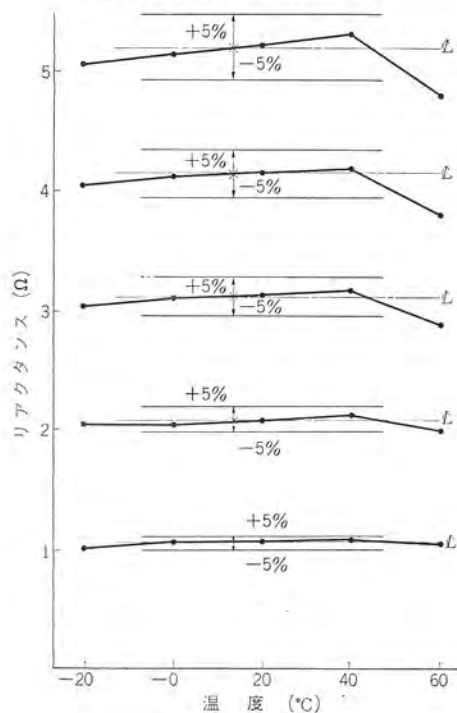


図 3.9 温度特性
Fig. 3.9 Temperature characteristics.

表 3.2 動作時間

| OSC No. | 故障点 (km) | KKS-2-M (接点閉) | KKS-2-M 動作より | | E (V) | I (A) |
|------------|-------------|------------------|--------------------|----------------------|------------|------------|
| | | | KKS-5-M 動作 | T_1, T_2, T_4, T_5 | | |
| 1 | 30 | 26 ms | 9 ms(X_1-X_5) | T_1 ON 91 ms | 45 | 50.4 |
| 2 | 70 | 27 ms | 10 ms(X_2-X_5) | T_2 ON 91 ms | 66 | 34.8 |
| 3 | 110 | 26 ms | 18 ms(X_3-X_5) | T_3 接点なし | 78 | 24.6 |
| 4 | 150 | 26 ms | 9 ms(X_4, X_5) | T_4 ON 91 ms | 85 | 19.8 |
| 5 | 190 | 26 ms | 17 ms (X_5) | T_5 ON 91 ms | 90 | 17.1 |

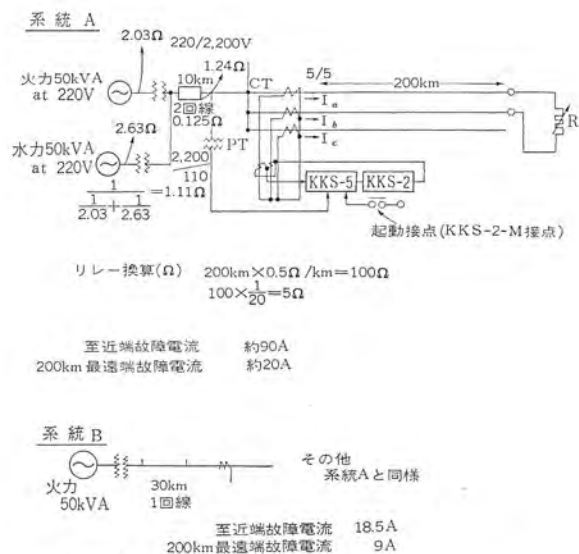
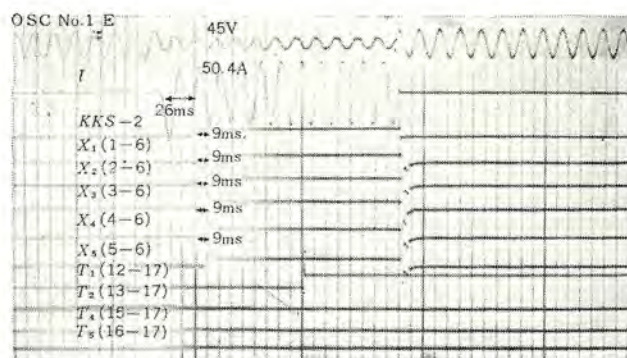
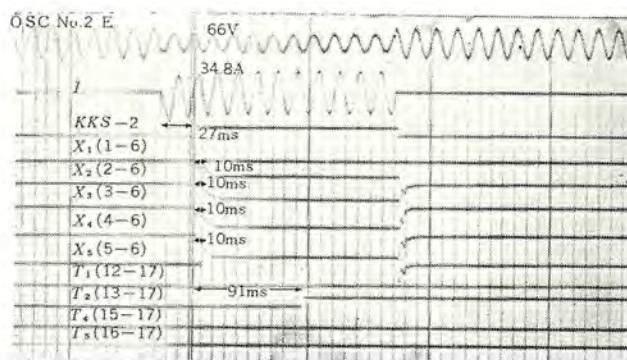


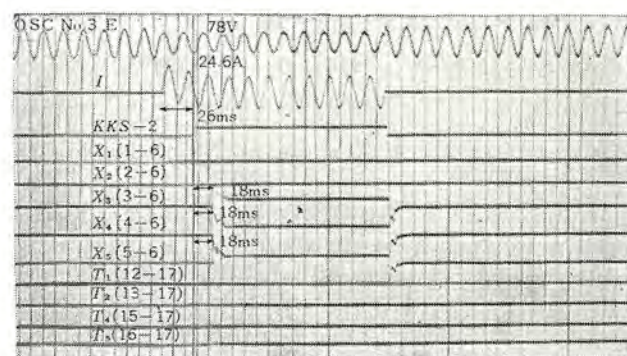
図 3.10 試験系統図 Fig. 3.10 Test circuit.



(a)

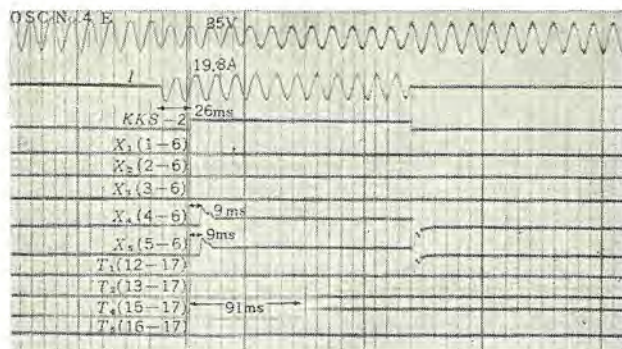


(b)

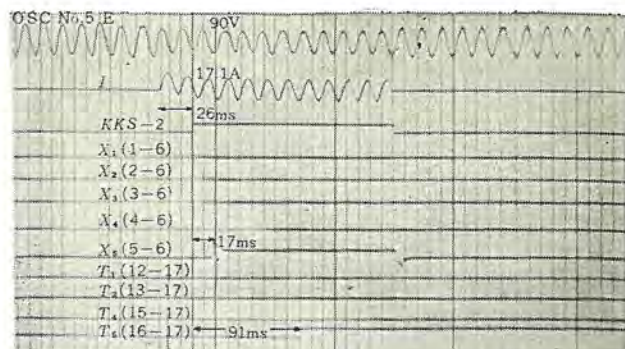


(c)

図 3.11 オシログラム (その 1)
Fig 3.11 A. T. L. test oscillograms.



(d)



(e)

図 3.11 オシログラム (その 2)

Fig. 3.11 A. T. L. test oscillograms.

表 3.3 動作試験結果

| km | 系統 R分 K (Ω) | A | | | | | | | | | | | | | | | B | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | 0 Ω (0 Ω) | | | | | 20 Ω (0.5 Ω) | | | | | 60 Ω (1.5 Ω) | | | | | 0 Ω (0 Ω) | | | | | 20 Ω (0.5 Ω) | | | | | 60 Ω (1.5 Ω) | | | | |
| | | 1.0 | | | | | 1.0 | | | | | 1.0 | | | | | 0.9 | | | | | 1.0 | | | | | 1.1 | | | | |
| | | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₅ |
| 0 | 0 | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × |
| 10 | 0.25 | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × |
| 20 | 0.5 | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × |
| 30 | 0.75 | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × |
| 40 | 1.00 | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × |
| 50 | 1.25 | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × |
| 60 | 1.5 | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × |
| 70 | 1.75 | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × |
| 80 | 2.0 | × | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × |
| 90 | 2.25 | × | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × |
| 100 | 2.5 | × | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × |
| 110 | 2.75 | × | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × |
| 120 | 3.0 | × | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × |
| 130 | 3.25 | × | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × |
| 140 | 3.5 | × | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × |
| 150 | 3.75 | × | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × |
| 160 | 4.0 | × | × | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × |
| 170 | 4.25 | × | × | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × |
| 180 | 4.5 | × | × | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × |
| 190 | 4.75 | × | × | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × | × | ○ | × | × | × |
| 200 | 5.0 | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × |
| 210 | 5.25 | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × |
| 220 | 5.5 | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × | × |

DC 消費電力 23 W (110 V)

(f) DC 電源電圧変動による動作値の変動

各整定値とも DC110 V $\pm 20\%$ において、動作値の変動は $\pm 3\%$ 以内

(g) 接点容量

遠方制御用接点 (テレホンリレー) の接点容量は DC110 V 0.5 A 開閉 5 A 通電

(2) 模擬送電線による動作試験

図 3.10 に示す系統で試験したところ、表 3.3 に示すように、満足すべき結果を得た。すなわち、距離測定精度は単体試験においても模擬送電線設備においても $\pm 3\%$ 以内であり、保証値 $\pm 5\%$

％を満足している。図 3.11 は動作試験結果を示すオシログラムである。

4. む す び

以上送電線の故障点位置を標定する距離継電器の各種原理およびその中で最も簡単確実であって、実用性に富む KKS-5-M 形故障点標定式距離継電器の性能を紹介したのであるが、今後この種の継電器が広く活用され、系統を運用、保守される方々の労力、時間が少しでも節減されるならば幸甚である。なお上記新形継電器開発にあたり、三菱電機神戸製作所内関係各位のご努力に対し、深甚の謝意を表します。

HCB-4 形表示線継電装置

森 健*

Type HCB-4 Pilot Wire Relay Scheme

Kōbe Works Takeshi MORI

The most dependable scheme to protect transmission lines of short distance in general is an AC pilot wire protection of various systems. Among them, the so called HCB system is a typical one capable of tripping all terminals at the same time when fault current is supplied from only one terminal. It also makes possible three terminal protection and obviates wrong operation due to error of current transformers, the features manifesting its superiority. Mitsubishi type HCB-4 pilot wire relays are the latest standard of such HCB system. This article deals with brief points of the relay, basic concept of HCB system—particularly differential protection with its salient point, significant characteristic, derivation of simplified operation equation and relation of pilot wire constants through this equation with the constant of pilot wire relay.

1. ま え が き

一般に短距離送電線を保護するのに最も確実な方式は交流表示線式継電方式である。

これは、表示線を用いて各端子の CT 二次電流回路を準直接的に結合差動接続し、しかも全端子で同時に内部事故の有無を検出できるようにした一種の差動方式であるが、そのなかでも当社が従来から採用してきた HCB 方式は最も代表的な方式として知られているものである。

本文は、昭和 37 年に新標準継電器として開発し量産されている HCB-4 形表示線継電装置の概要と原理について、平易に紹介したものである。

HCB-4 形表示線継電装置は、従来の標準装置に比べ方式的にはまったく同じであって、基本的な特長も維持されているのであるが、具体構造、特性などについては相当の改良が行なわれている。最も大きな改良点は従来の二重環形要素に代わり新しい極性要素を用いたことで、これのため動作速度が格段に早くなり、耐需性もよくなった。

しかし外部からみた各構成部分の常数は、従来の HCB-3 形装置の場合から変更せず、完全に互換性を持たせてあるから、HCB-3 形表示線継電器と HCB-4 形表示線継電器を組み合わせることできる。したがって既納の HCB-3 形表示線継電器の 2 端子保護を行なっている線路に T 分岐を増設する場合でも、HCB-4 形表示線継電器による端子装置を増設して、3 端子保護を行なうことができる。



図 1.1 HCB-4-M 形表示線継電器
Fig. 1.1 Type HCB-4-M pilot wire relay.

2. 原 理

2.1 差動継電器と交流表示線継電器

図 2.1 は電気機械の一般差動継電器の原理図である。同図で A, B の 2 端子を有する発電機とか変圧器 1 を保護するには変流器 CT_A , CT_B を A, B 端に設け、入力 I_A , I_B の差電流 I_D を継電器 2 により監視し、これが平常値より大となれば 1 の事故として両端の遮断器 CB_A , CB_B をトリップするいわゆる差動保護方式が最も確実で判別能力の高い方式であることは継電器技術者の常識となっている。

最もこのような差動方式を単なる I_A なら I_A 単独の過電流検出で保護する方式に比べると、CT 回路の結線や CT の極性および相関係の選択において設置時に何倍もの神経を使わなければならないことも事実である。しかしそれだけの努力をすれば、電気機械 1 をこれほど簡単かつ確実に保護できる方式はほかにないし、またこれ以上の経費と努力をはらってもより有効で決定的な方式は十分具体化されていない。

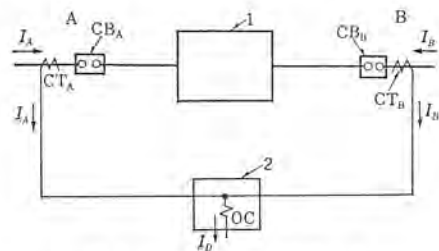


図 2.1 一般の差動保護方式
Fig. 2.1 Principle of differential relay.

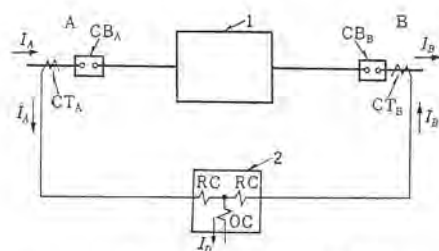


図 2.2 一般の比率差動保護方式
Fig. 2.2 Principle of ratio-differential relay.

図 2.1 でさらに図 2.2 のように継電器 2 に抑制 コイル RC を設け、CT 誤差の増加する I_A , I_B の大きいときにはより大きな I_D がないと動作しないような方式、つまり比率差動方式とすれば、さらに信頼性は増加する。

さてこの図 2.1 や図 2.2 で、電気機械 1 の代わりに短距離の送電線をもって来たらどうなるであろうか。

とにかく送電線を電気機械に見立て、A, B 両端の CT 二次回路を距離をかえり見ず差動接続するならば、一応差動保護は可能であり、差動方式の有する保護性能を得ることができる可能性が生れる。

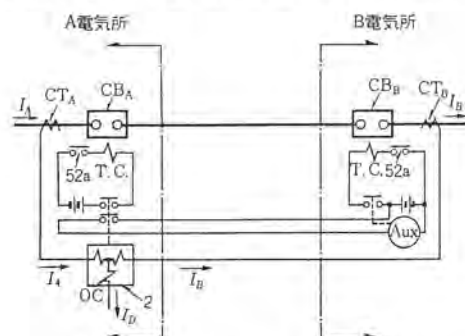
このような短い送電線は、距離継電器で保護するとしても線路が短いのでインピーダンスが小さく、事故点のアーキ抵抗の影響が大きいので、必ずしも十分な保護はできないし、線平衡保護なども保護能力が十分でないとすれば、何とか差動保護で十分な保護をしたいところである。

図 2.3 (a) は、このように短距離の送電線を、通常の電気機械保護用の比率差動継電器で保護してみた場合の概要図である。この図についてよく吟味してみると、送電線を差動保護するにはいくつかの新しい問題があることがわかる。

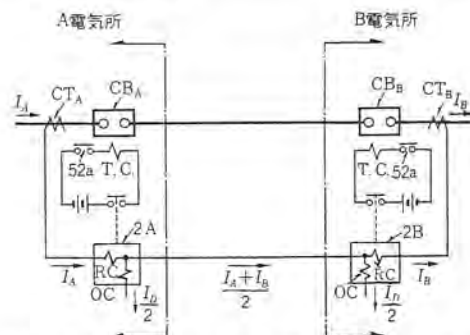
そのおもなものを拾い上げてみると、次のようなことが考えられる。

(1) シュ断器が 2 地点に分散している。

シュ断器がトリップして、事故系統を切り離してこそ始めて保護が完成するのであるが、肝心のシュ断器が両端の電気所に離れているから、継電器の設置端でない方の端子のシュ断器は、設置端からの転送トリップで開放しなければならないことである。もちろん直接継電器の接点でトリップできれば良いが、途中のケーブルでの電圧降下が一般には過大となり、あるいはまた重要な制御電源を自電気所にさすことは好しくないの、実際はそうはいかない。



(a) 短距離送電線を通常の比率差動継電器で保護する場合の原理図



(b) 比率差動方式の信頼性を維持するための改良図

図 2.3 交流表示線継電器の原理

Fig. 2.3 Brief description of A-C pilot wire relaying principle.

ない。

ところが転送トリップとは、たとえば A 端からトリップ信号を送るようにしたとすれば、B 端では受信継電器 RR が信号を受けたとして動作したときはいつでもトリップするもので、実例からみても比率差動方式に比べるとはるかに信頼度が落ちるのである。

すなわち諸条件を比較考量してあるシュ断器がトリップすべきか否かを判断する最終判断継電器は、個々のシュ断器のそばにおかれることが信頼度の点で最良形と考えられる。

そのために一番簡単な方法は、図 2.3 (a) で差動継電器 2 を真中から 2 分割して、A, B 両端に 1 台ずつの継電器を置くことである。図 2.3 (b) はこのような形に改良した場合の概要図で、 I_D は $1/2$ ずつ両端の継電器 2A, 2B に流れるから、2A は $I_D/2$ と I_A , 2B は $I_D/2$ と I_B による比率差動継電器となり、比率差動方式の特長はそのまま維持され、最終判断がシュ断器トリップに直結しているから、一般の比率差動方式と同程度の信頼度が得られることになる。この図 2.3 (b)こそは交流表示線継電器の原形である。

(2) CT 二次導線は電気所外に引出され、また相当な長さになる。

このことは、CT 二次導線が電気所内で処理される通常の差動継電器に対して異なった表示線保護専用の差動継電器の設計を確立させることになった。

まず図 2.3 (b) の A 端と B 端間を連絡する導線は、信頼度を十分注意して作られた通信線というべきもので表示線と称されるものであるが、これに関連していくつかの特別な問題点が生じたのである。

a. まず表示線には送電線からの電磁誘導があつて数千ボルトの高電圧を生ずることがあるので、これから人命を守り、継電器を保護する必要がある。

b. 表示線は制御回路などとは別に適当な接地をとる必要がある。

c. 経済的見地からいっても、表示線を一般の CT 二次導線のような太い線にすることは不可能である。したがって表示線には CT 二次電流より小さい電流にして流してやらなければならない。また表示線抵抗の継電器に対する影響を適当な関係にするように見掛け上変化させなければならない。一般に表示線としては 0.6 mmφ から 2.0 mmφ までのケーブルが用いられており、等価回路を図 2.5 のようにおくと、表 2.1 のような常数になる。

d. 表示線の有する対間静電容量も表 2.1 のようになり、巨長が長くなると無視できない。

e. 表示線に事故が発生すればただちに検出警報するような表示線監視継電器を考慮する必要がある。

f. 表示線の使用心線を減らすことが建設原価を下げるため好しいので、三相入力を総合して単相に変換し、1 対の表示線で保護することも考慮を要することである。

などの事項がそれで、これに対する具体設計の第 1 に絶縁変圧器と入力変成総合回路が付加されてくるのである。

図 2.6 は、HCB-4 形表示線継電方式の絶縁変圧器を示す。

また入力変成総合回路としては、入力 I_a , I_b , I_c , I_0 を受けて

$$I_{\text{output}} = K(kI_a + lI_b + mI_c + nI_0) \dots\dots\dots (2.1)$$

なる出力 I_{output} を出す回路で、一般に正相分ロハ器が総合変流

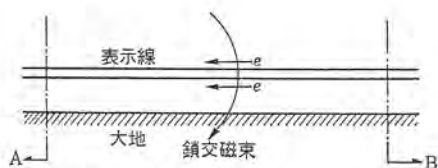


図 2.4 電磁誘導による誘導電圧
Fig. 2.4 Induced voltage on pilot wires.

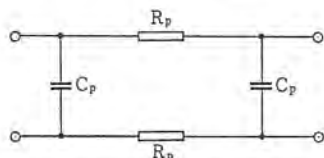


図 2.5 2端子の場合の表示線等価回路
Fig. 2.5 Equivalent circuit of pilot wires for two terminal line protection.



図 2.6 HCB-4 形表示線継電器用絶縁変圧器
Fig. 2.6 Insulation transformer for type HCB-4 pilot wire relay.



図 2.7 正相分 0/1 器式入力装置
Fig. 2.7 Typical input circuit device consist of positive sequence filter and saturation transformer.

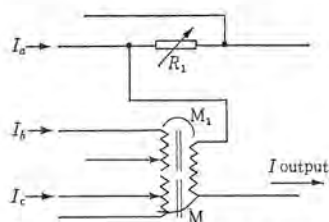


図 2.8 正相分 0/1 器式入力回路
Fig. 2.8 Principal connection of positive sequence filter type input circuit.

器を基本とする回路が短絡保護に、ゼロ相分のみの単相入力回路が地絡保護に用いられる。

図 2.7 は標準短絡保護用入力回路装置の一例である。

この入力装置の原理は、図 2.8 に示すとおりで、式 (2.1) にいて、 $k=R_1$ 、 $l=-m=j\omega M$ 、 $n=0$ となるから

$$I_{\text{output}} = K \{ R_1 I_a + j\omega M (I_b - I_c) \}$$

$$= K \{ R_1 + j\omega M (a^2 - a) \} I_{a1} + K \{ R_1 + j\omega M (a - a^2) \} I_{a2}$$

ただし

I_{a1} : a 相における正相電流

I_{a2} : a 相における逆相電流

$$a^2 = e^{j\frac{4\pi}{3}} = \frac{-1 - j\sqrt{3}}{2}, \quad a = e^{j\frac{2\pi}{3}} = \frac{-1 + j\sqrt{3}}{2}$$

$$\therefore a^2 - a = -j\sqrt{3}, \quad a - a^2 = j\sqrt{3}$$

0/1 器では $\omega M = R_1 / \sqrt{3}$ に調整してあるので

表 2.1 表示線互長および線径と R_p との関係 (また C_p の値)

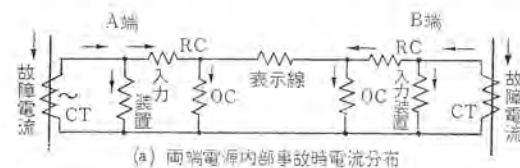
(a) 例 1.

| 線径 (mmφ) | 有効断面積 (mm ²) | 抵抗 (20°C) (Ω/km 片道) | R_p (Ω) | | | |
|------------------------|-----------------------------|------------------------|------------|-----------|------------|----------|
| | | | 5 km | 10 km | 15 km | 20 km |
| 0.8 | 0.503 | 35.0 | 175 | 350 | 525 | 700 |
| 1.0 | 0.785 | 22.4 | 112 | 224 | 336 | 448 |
| 1.2 | 1.13 | 15.6 | 78 | 156 | 234 | 312 |
| 1.4 | 1.54 | 11.4 | 57 | 114 | 171 | 228 |
| 1.6 | 2.01 | 8.75 | 43.8 | 87.5 | 131 | 175 |
| 1.8 | 2.55 | 6.91 | 34.6 | 69.1 | 104 | 138 |
| 2.0 | 3.14 | 5.53 | 27.7 | 55.4 | 83 | 111 |
| 表示線線間容量は一般に 0.05 μF/km | | | 0.125 (μF) | 0.25 (μF) | 0.375 (μF) | 0.5 (μF) |
| 一部では 0.036 μF/km | | | 0.096 | 0.193 | 0.289 | 0.385 |

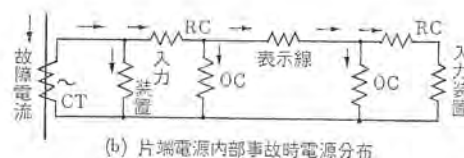
(b) 例 2.

| 線径 (mmφ) | 有効断面積 (mm ²) | 抵抗 (20°C) (Ω/km 片道) | R_p (Ω) | | | |
|-------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| | | | 5 km | 10 km | 15 km | 20 km |
| 0.65 | 0.332 | 56.5 | 282.5 | 565.0 | 847.5 | 1,130 |
| 0.9 | 0.636 | 28.7 | 143.5 | 287.0 | 430.5 | 574 |
| 1.2 | 1.13 | 16.2 | 81.0 | 162.0 | 243.0 | 324 |
| 表示線線間容量は一般に 0.045 μF/km | | | 0.1125 (μF) | 0.2250 (μF) | 0.3375 (μF) | 0.450 (μF) |

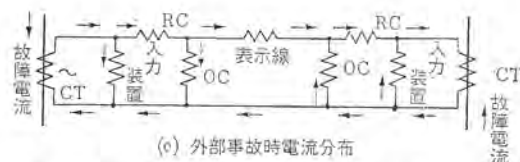
(付記) (a), (b) は単なる調査資料の相違によるもので、このように線径が同じでも若干相違に相違があることを示す



(a) 両端電源内部事故時電流分布



(b) 片端電源内部事故時電流分布



(c) 外部事故時電流分布

図 2.9 HCB 方式における各基本的事故モデルに対する継電装置内部の電流分布

Fig. 2.9 Principle of type HCB pilot wire relaying for typical internal and external failures.

$$I_{\text{output}} = 2KR_1 I_a \dots \dots \dots (2.3)$$

このような入力装置を用いると、ab 相、bc 相、ca 相短絡または地絡事故で感度が変わらない特長がある。

(3) 応用上から要求される重要具備条件

以上 (2) で示した事項のほかに表示線継電器の応用上当然具備すべき性能がある。

その一つは、図 2.9 (a) のような両端電源内部事故はもちろん、同図 (b) のような片端電源内部事故の場合でも両端の継電器が同時トリップしなければならないことである。

このような特性は、たとえば図 2.10 のような系統事故を想定すれば明かなことであろう。

他のもう一つの具備条件は、図 2.11 のような 3 端子保護が特別な設計変更をせずして実施できることである。これは表示線継電器が主として都市部送電線の保護に用いられる本質上、絶対必



図 2.10 片電源平行回線における電源端事故
Fig. 2.10 Example showing necessity of operation of each of terminal relays.

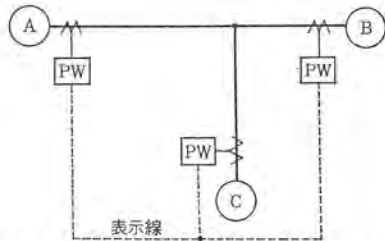


図 2.11 3 端子系統保護と表示線継電器
Fig. 2.11 Three terminal power line protection is a basic requirement for modern pilot wire relay.

要な条件である。

HCB 方式は、以上の 2 大条件を開発の当初から満足していた方式で、十分な実績を有するものである。

2.2 パイロット継電器としての表示線継電器

送電線の各端子の電流、電圧を通信手段を介して相互に伝達して保護する継電器はパイロット継電器と呼ばれる。この概念からみれば、表示線継電器は有線を用いたパイロット継電器の 1 種となる。

送電線の高速度シャ断はパイロット継電器を用いるほかはないが、それを搬送またはマイクロ波によるか、表示線によるかは、いろいろな条件が関係して一概に決められないが、経済比較としては数 km ないし 20 km がいずれが有利かの限界点で、それより短いときは表示線方式の方が有利とされている。

3. 構造

三菱表示線継電装置は、基本形式において表 3.1 のように 4 形

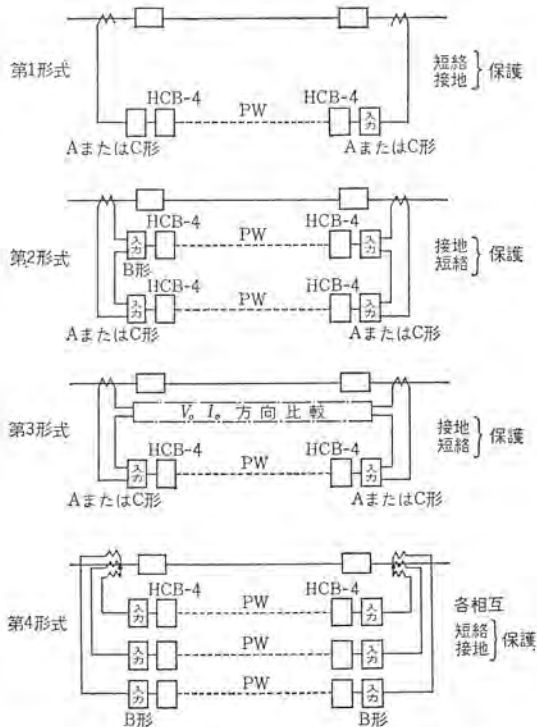
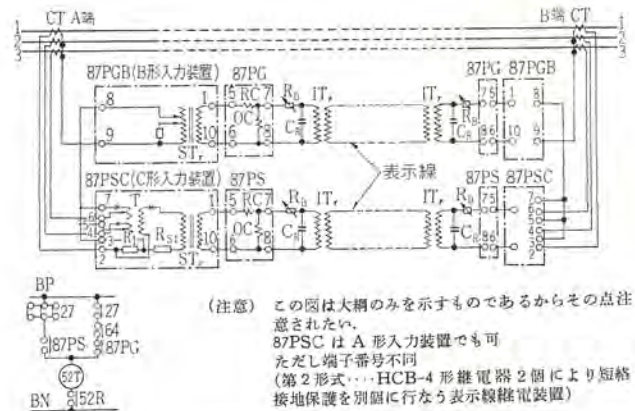


図 3.1 三菱表示線継電装置の適用法
Fig. 3.1 Application of Mitsubishi pilot wire relays.

表 3.1 三菱表示線継電装置の組み合わせと適用法

| 分類 | 装置概要 | | | 適用系統 | | | | |
|------------------------|-----------------------------|-------------|-------------------|---|-------------------|--------------------|-----------------|----------------|
| | 短絡保護 | 接地保護 | 所要表示線 | 構造 | (2) 架空線系統 直接接地 | (4) 抵抗接地 P C 系統 | (3) 抵抗接地 高抵抗 | (3) 高抵抗 低抵抗 |
| 第 1 形式 (PW-101~199) | HCB+A 形入力装置 | | 1 対 (2 本) | 1 組の交流循環式表示線継電器で両端の $K_1I_1 + K_2I_2$ を比較し保護する形式。 | ○ | ○ | ○ | △ |
| 第 2 形式 (PW-201~299) | HCB+C 形入力装置 (A 形入力装置でも可) | HCB+B 形入力装置 | 2 対 (4 本) | 2 組の交流循環式表示線継電器を設け 1 組は両端の K_1I_1 を比較し短絡保護し、他の 1 組は両端の K_2I_2 と比較し接地保護を行なう形式。 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 第 3 形式 (PW-301~399) | HCB+A 形入力装置 | HCB-4 RR-1 | 2 対 (4 本) | 短絡保護は両端 K_1I_1 比較の交流循環式表示線継電器、接地保護は各端子の接地電流方向比較交流式表示線継電器による形式。 | × | × | × | ○ |
| 第 4 形式 (PW-401~499) | HCB+B 形入力装置 | | 4 本 または 6 本 | 各相電流を各個に交流循環式表示線継電器にかける形式。したがって 継電器は 3 組設けられる。 | ○ | × | × | × |

注: (1) ○は適用されるもの、×は適用しないもの(保護不能ということではない)。
△はある程度考慮すれば適用可能なもの。
(2) 低抵抗接地もある程度含まれる。
(3) 一般にはケーブル系統で抵抗保護区域内の充電電流が最小保護可能接地有効電流の 1/2 以下のとき第 2 形式 1/2 以上のとき第 3 形にする。その区別を上述では低抵抗接地と高抵抗接地に分けている。
(4) PC 系統では NGR の常時併用式と常時併用式でシーケンスは多少異なる。
(5) NC-1-M 形充電電流補償装置と組み合わせれば 高抵抗地ケーブル系統へも適用できる。



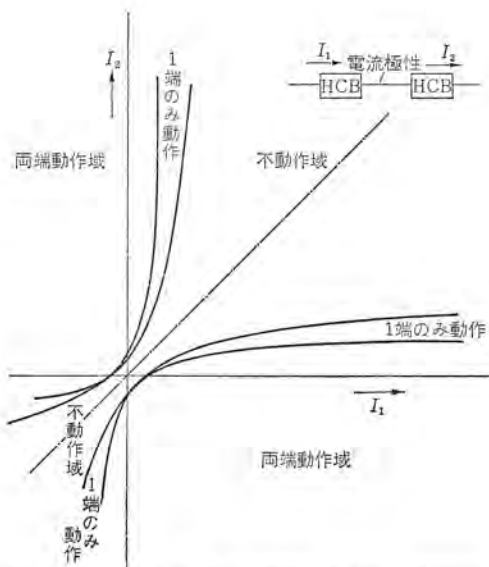


図 4.1 HCB-4 形表示線継電装置 2 端子差動特性
Fig. 4.1 Typical saturable differential characteristics of type HCB-4 relaying system.

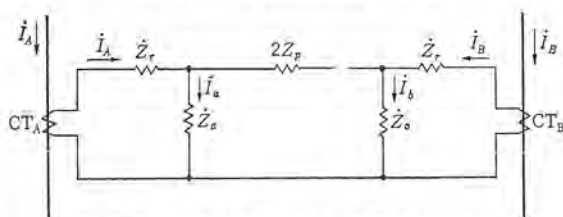


図 4.2 HCB-4 形継電器の簡易化等価回路
Fig. 4.2 Simplified type HCB pilot wire relay equivalent circuit.

b. 表示線直列インピーダンスにおける電圧降下により発生する動作力の補償

の二つであるが、HCB 装置はこれを抑制コイル RC によって行ない、さらに入力回路に飽和変成器 S. Tr を設けて、ある入力以上では位相比較の特性を持たせ、CT に相当の特性差があっても誤動作しないような特性を付与している。

図 4.1 はこのような HCB の飽和比率特性を示す。

またこのような特性を有しているからこそ HCB 装置は 3 端子系統保護に用いることができるのである。

いま簡単のため図 4.2 のような等価回路を設ける。

この回路における電流方程式は

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_a &= \frac{1}{2}(\dot{I}_A + \dot{I}_B) + \frac{1}{2} \frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_p + \dot{Z}_0}(\dot{I}_A - \dot{I}_B) \\ \dot{I}_b &= \frac{1}{2}(\dot{I}_A + \dot{I}_B) + \frac{1}{2} \frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_p + \dot{Z}_0}(\dot{I}_B - \dot{I}_A) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.1)$$

T_a を A 端継電器、 T_b を B 端継電器の動作力、 I_{op} を各継電器の最小動作電流とすれば、下式が得られるから、これに式 (4.1) を代入すれば容易に \dot{I}_a, \dot{I}_b 対 T_a, T_b の関係が求められる。

$$\left. \begin{aligned} \text{A 端継電器の動作式} \\ T_a &= |\dot{I}_a| - \eta_R |\dot{I}_A| \geq I_{op} \\ \text{B 端継電器の動作式} \\ T_b &= |\dot{I}_b| - \eta_R |\dot{I}_B| \geq I_{op} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.2)$$

(1) 両端電源内部事故

$$\left. \begin{aligned} T_a &= \left| \frac{1}{2}(\dot{I}_A + \dot{I}_B) + \frac{1}{2} \frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_p + \dot{Z}_0}(\dot{I}_A - \dot{I}_B) - \eta_R |\dot{I}_A| \right| \\ T_b &= \left| \frac{1}{2}(\dot{I}_A + \dot{I}_B) + \frac{1}{2} \frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_p + \dot{Z}_0}(\dot{I}_B - \dot{I}_A) - \eta_R |\dot{I}_B| \right| \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.3)$$

$$\dot{I}_A = \dot{I}_B = I_F' \text{ とすれば } (I_F' = I_F/2)$$

$$T_a = T_b = (1 - \eta_R) I_F' \geq I_{op} \dots\dots\dots (4.4)$$

$$I_a = I_b = I_F' \dots\dots\dots (4.5)$$

したがって表示線電流はゼロである。

(2) 片端電源内部事故

B 端が無電流端とすれば、 $\dot{I}_B = 0, I_a = I_F$

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_a &= \left(1 + \frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_p + \dot{Z}_0} \right) \frac{I_F}{2} \\ \dot{I}_b &= \left(1 - \frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_p + \dot{Z}_0} \right) \frac{I_F}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.6)$$

両端継電器の動作力は

$$\left. \begin{aligned} T_a &= \left| 1 + \frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_p + \dot{Z}_0} \right| \frac{I_F}{2} - \eta_R I_F \\ T_b &= \left| 1 - \frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_p + \dot{Z}_0} \right| \frac{I_F}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.7)$$

この T_a と T_b とを比較すれば、B 端からの流入電流をゼロから徐々に大きくしてゆくとき、A 端継電器と B 端継電器のいずれが小なる B 端電流で動作するかということも要素の抑制度 η_R と、表示線直列インピーダンス \dot{Z}_p および動作コイルインピーダンス \dot{Z}_0 の相互関係で定まることは容易に判断される。

すなわち

$$\eta_R \cong \frac{1}{2} \left| 1 + \frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_p + \dot{Z}_0} \right| - \frac{1}{2} \left| 1 - \frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_p + \dot{Z}_0} \right| \dots\dots\dots (4.8)$$

によって $T_a \cong T_b$ となり、もちろん等号のときは両端完全同時トリップである。

簡単のため \dot{Z}_p, \dot{Z}_0 を純抵抗 r_p, r_0 と考えると

$$\eta_R \cong \frac{r_p}{r_p + r_0} \dots\dots\dots (4.9)$$

したがってある設計の(つまりある η_R の)継電要素にて r_p/r_0 を変化すれば、両端継電器の動作値は図 4.3 のように変化する。

このような関係に対し実際の HCB-4 形継電器では両端完全同時トリップ条件よりはわずとはずした常数が選ばれている。

それは

a. 図 2.10 のような並行回線保護で直列トリップを防ぐには、B 端(電源端)より A 端(非電源端)がより小さな B 端電流で動作することがこのましい。

b. 両端完全同時トリップの条件よりも、上記 a の条件とすることは、後述のように外部事故においてより安全度を増す。

という二つの理由による。

数量的に例示すれば、 $\eta_R = 0.1$ の要素を用いたとき、式 (4.9) において、上記 a, b の条件を満足するには

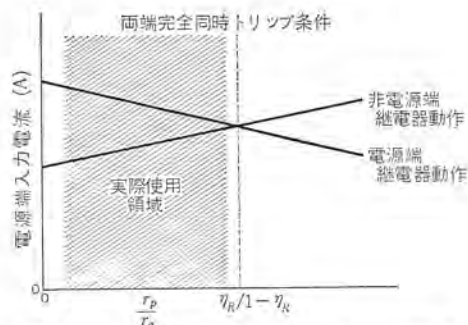


図 4.3 片端電源時の動作と r_p/r_0 との関係
Fig. 4.3 Pickup of each of terminal pilot wire relays and r_p/r_0 (=P.W. resistance/O.C. resistance) in the case of one terminal source internal fault.

$$\frac{r_p}{r_p+r_0} < 0.1, \quad \therefore r_0 > 9r_p \quad \dots\dots\dots (4.10)$$

が必要であり、B 端継電器の動作入力電流を I_{BF} とすれば、式 (4.10)、(4.7)、(4.2) より

$$\frac{I_{op}}{0.5} < I_{BF} < \frac{I_{op}}{0.45} \quad \dots\dots\dots (4.11)$$

となる。また両端電源動作電流 I_F' と I_{BF} の関係は式 (4.4) より

$$\frac{I_F'}{0.45} < I_{BF} < \frac{I_F'}{0.405} \quad \dots\dots\dots (4.12)$$

(3) 外部事故

この場合 $\dot{I}_A + \dot{I}_B = 0, \dot{I}_A - \dot{I}_B = 2I_F$

$$\therefore T_a = T_b = \left(\left| \frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_p + \dot{Z}_0} \right| - \eta_R \right) I_F \quad \dots\dots\dots (4.13)$$

$T_a = T_b \leq I_{op}$ が最小限の必要条件であるが、安全をみて少くも

$$T_a = T_b \leq 0$$

が必要とすれば

$$\left. \begin{aligned} \eta_R &\geq \left| \frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_p + \dot{Z}_0} \right| \\ \text{または} \quad \eta_R &\geq \left| \frac{r_p}{r_p + r_0} \right| \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (4.14)$$

ゆえに片端電源時の動作に対する既述の仕様は同時に、外部事故で抑制ありの条件ともなる。

HCB 装置ではもちろん式 (4.14) が満足されているばかりでなく、さらに飽和変成器の効果を利用して大電流域では $I_A - I_B$ を I_F より小さい一定値 I_M に押えてあるから

$$T_a = T_b = \left(\left| \frac{\dot{Z}_p}{\dot{Z}_p + \dot{Z}_0} \right| \frac{I_M}{I_F} - \eta_R \right) I_F \quad \dots\dots\dots (4.15)$$

となり、より負となるようになっているから十分誤動作防止されているのである。

5. 過 渡 特 性

重要継電器の中で、過渡現象不応動特性において最もすぐれた

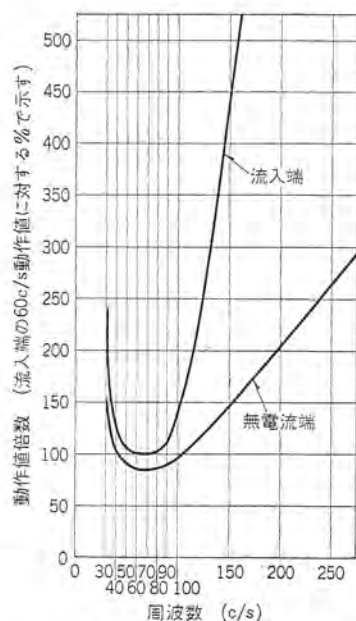


図 5.1 HCB-4 形表示線継電装置 2 端子組み合わせ周波数特性例 (ただし片端電源)

Fig. 5.1 Type HCB-4 pilot wire relay frequency characteristics in the case of two terminal line protection.

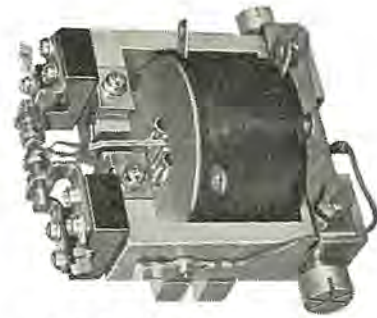


図 5.2 MP-1 形極性要素外觀
Fig. 5.2 Type MP-1 polar element.

特性を、HCB-4 形表示継電器は発揮する。

その原因の一つは入力装置の飽和変成器による直流分阻止効果にあり、その 2 は継電器の動作 コイル と並列に構成された高調波 0/π 回路特性により付与された図 5.1 のような周波数特性である。

補助的な要素としては、慣性のほとんどない MP 形極性要素を用いていることもあげることができる。

6. 特 長

以上説明した原理と構造および動作から、その特長とするところを要約すれば、

(a) HCB-4 形継電装置は保護区間のすべての短絡、地絡事故を、全端子同時に瞬時シャ断が可能である。

(b) その性能は、片端電源の場合でも同様である。

(c) 容易にまた設計変更せずに、3 端子保護が可能であり、2 端子保護に 1 端子増設でも何等問題ない。

(d) 抑制 コイル を有し、かつ飽和変成器のおかげで、動作はきわめて安定であり、外部事故における誤動作のおそれはまったくない。

(e) 動作 VA が小さく、変成器誤差を小さく押えるほか、高抵抗接地系統で十分な感度が容易に得られる。

(f) 直流分やパルスあるいは高調波などに対しては動作感度がきわめて低いので、ケーブル系統の保護に使用できる。

という本質的な特長があるほか、HCB-4 形継電装置は

(g) 各構成部分は完全に標準化され、十分な互換性をそなえている。

(h) 表示線常数に特性が影響されない。

(i) 必要に応じて付加できるような、表示線監視標準方式を有している。

という機能上の、しかし実際には非常に重要な、特長も合わせるのである。

7. む す び

以上当社の最新の標準 HCB-4 形表示線継電器の概要について説明を行なった。このような標準装置を基礎として、いろいろな適用上の諸研究と改良を行なっているのであるが、これについてはまた別の機会に述べたいと思う。

かえり見るに、当社 HCB 形表示線継電器の進歩改良は、これを採用された各電力会社継電方式関係担当各位の多数の改良要求とご教示におうところが大きなることはいまさらながらいうまでもないことで、ここに深甚なる謝意を表するものである。

(昭 39-1-8 受付)

30 MeV フィールドバイアス形ベータトロン (1)

後藤正之*・田中 修**・秋葉稔光**・永井昭夫**
尾形善弘**・高倉康一**・上田孝寿**・池田 洋**

30 MeV Flux-Forced Field-Biased Betatron (1)

Research Laboratory Masayuki GOTÔ・Osamu TANAKA・Toshimitsu AKIBA・Akio NAGAI
Yoshihiro OGATA・Kōichi TAKAKURA・Kōjyū UEDA・Hiroshi IKEDA

A flux-forced field-biased betatron differs from the conventional type in a point of having two magnetic circuits termed flux forcing. An increase in the acceleration energy by almost a factor of two can be obtained by adding a DC magnetic field to the orbit field. Therefore it possesses feature of permitting the increase of energy in a high degree for its size.

However, phase shift between the flux and field places a limitation to the bias angle and time variation of the instantaneous orbit, resulting in several drawbacks. Nevertheless, the feasibility of continuous variation of the stable orbit radius and comparing theories with experiments on many points makes it very helpful experimental device.

1. ま え が き

フィールドバイアス形ベータトロンは、軌道磁界に静磁界のバイアスをかけて、加速に必要な軌道磁界と磁束の変化を大きくすることにより、加速エネルギーを倍加することができる。フィールドバイアスをかけるためと、中心コアに空気をなくするために、磁束強制 (Flux-forcing) といわれる2個の磁気回路をもっている点^{(1),(2)}が普通の形のベータトロン^{(3),(4)}と違っている。中心コアに空気がないから電力が少なく、同調コンデンサのkVAとコストが減らされる点、バイアスをかけることにより普通の形のベータトロンと比べて本体の大きさの割にエネルギーが大幅に上げられる点が長所である。しかし、磁界と磁束の位相のずれからバイアス角に限界があり、したがって加速エネルギーが期待するほどには上げられないこと、フィールドバイアスをかけるための直流電源、リアクトル、コンデンサ、チョークなどの付属装置がふえること、X線強度が十分得られないことなどの難点がある。研究用としては、安定軌道の半径が連続的に変えられること、多くの問題点につき理論と実験との比較ができるなど興味のある装置と考えられる。

2. 設 計

2.1 原 理

ベータトロンで中心コアに空気がない磁気的閉回路をつくるためには、磁気抵抗の変化にかかわらず、常に電子軌道内の磁束変化 $\Delta\phi_0$ と軌道上の磁界 H_0 との間に次のベータトロン条件を満たさなければならない。

$$\Delta\phi_0 = 2\pi r_0^2 H_0 \quad (2.1)$$

ここで r_0 は電子の軌道半径である。

中心磁路に空気がないために、このままでは鉄心は飽和しやすく、式(2.1)の条件を満たさなくなる。そこで磁束強制といわれる二つの磁気回路、すなわち主励磁コイルと並列にその内側に巻きもどきのコイル (パッキングコイル) を配置することにより、鉄心が飽和しないようにし、かつ二つのコイルに流す電流値を電氣的に制御してベータトロン条件を満たすようにすることができる。

装置の基本的なパラメータとして、バイアス角最大 -60° のとき、出力エネルギー $E_0 = 30$ MeV、これは DC バイアスをかけないときの

約1.8倍になる。 $r_0 = 22$ cm、励磁周波数 $f = 60$ c/sなどを定める。

2.2 磁束の解析

図2.1に示したように、メインコイル、パッキングコイルの作る磁束をギャップ部分を通るものとそうでないものとに分けてそれぞれ ϕ_{G1} , ϕ_1 および ϕ_{G2} , ϕ_2 とすれば、電磁誘導の式から

$$v_1 = R_1 i_1 + 10^{-8} N_1 \frac{d\phi_{G1}}{dt} + 10^{-8} N_1 \frac{d(\phi_1 - \phi_2)}{dt} \quad (2.2)$$

$$v_2 = -R_2 i_2 - 10^{-8} N_2 \frac{d\phi_{G1}}{dt} + 10^{-8} N_2 \frac{d(\phi_1 - \phi_2)}{dt} \quad (2.3)$$

が得られる。ここで v_1 , R_1 , i_1 , N_1 はメインコイルの電圧、抵抗、電流、巻数を表わし、指標2はパッキングコイルの各値を表わす。さらに

$$\phi_G = A_E H_0 \quad (2.4)$$

$$\phi_0 = \phi_G + \sigma H_0 = \phi_1 - \phi_2 - \phi_{G2} + \sigma H_0 \quad (2.5)$$

で定義される等価面積 A_E , σ を導入すれば、式(2.2), (2.3)と、一般に $v_1 = v_2$ であることから

$$(N_1 - N_2) \frac{d\phi_0}{dt} = -R_1 i_1 - R_2 i_2 + [\sigma(N_1 - N_2) - N_1 A_E] \frac{dH_0}{dt} \quad (2.6)$$

が導かれ、 t で積分して

$$\Delta\phi_0 = -\frac{1}{N_1 - N_2} \int_{t_1}^t [R_1 i_1 + R_2 i_2] dt + \frac{[\sigma(N_1 - N_2) - N_1 A_E] H_0}{N_1 - N_2} \quad (2.7)$$

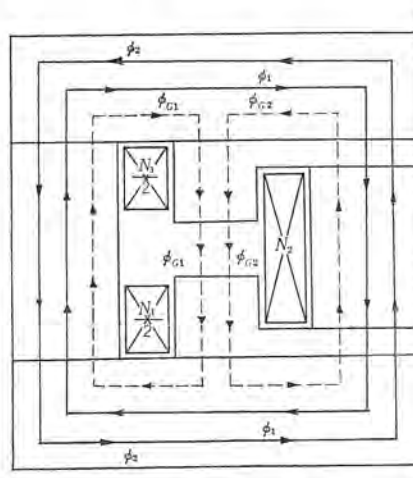


図 2.1 磁 束
Fig. 2.1 Magnetic flux.

が得られる。各辺第1項は両コイルの直流抵抗が小さいことから無視し、式(2.7)がベータトロン条件式(2.4)に一致しないことから

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{2\pi r_0^2 + A_E - \sigma}{2\pi r_0^2 - \sigma} \quad (2.8)$$

が得る。電磁石の構造からくる漏れ磁束を考慮に入れて等価面積 A_E , σ を算出すれば、両コイルの巻数比は式(2.8)で決められる値でなくてはならない。そしてどちらか一方の巻数はコイルに印加する電圧と電流値によって決められる。

コイルのアンペア・ターンが定まれば、あとは普通の形のベータトロンの設計と同じように電磁石の構造を決定できる。

2.3 回路の解析

図2.2はベータトロン本体の回路のあらましで、多くの素子からできていて複雑であるが、その多くは直流バイアスをかけるために必要なものである。したがって交流分のみの等価回路になおすと図2.3になり、この回路について計算すれば

$$I_M = \frac{W}{\Delta} [L_{BP}(L_O + L_B - M) \pm N(M \mp N)] \quad (2.9)$$

$$I_B = \frac{W}{\Delta} [L_{BP}(M - L_M) \pm NL_M] \quad (2.10)$$

$$I_{BP} = \frac{W}{\Delta} [L_M(L_B + L_O \mp N) + M(\pm N - M)] \quad (2.11)$$

$$L_O^{eff} = L_O \mp N \cdot \frac{L_M(L_B + L_O \mp N) + M(\pm N - M)}{L_{BP}(M - L_M) \pm NL_M} \quad (2.12)$$

$$L_{BP}^{eff} = L_{BP} \mp N \cdot \frac{L_{BP}(M - L_M) \pm NL_M}{L_M(L_B + L_O \mp N) + M(\pm N - M)} \quad (2.13)$$

となる。ただし $W = V/j\omega$, $\Delta = L_M L_{BP}(L_O + L_B) - M^2 L_{BP} - N^2 \times L_M$, M はメインコイル (L_M) とバックコイル (L_B) の間の相互インダクタンス, N はバイパスリアクトル (L_{BP}) とオービットポジショナ (L_O) の間の相互インダクタンスであり, L_O^{eff} , L_{BP}^{eff} は L_O , L_{BP} を N で結合したときの両リアクトルの等価インダクタンスである。

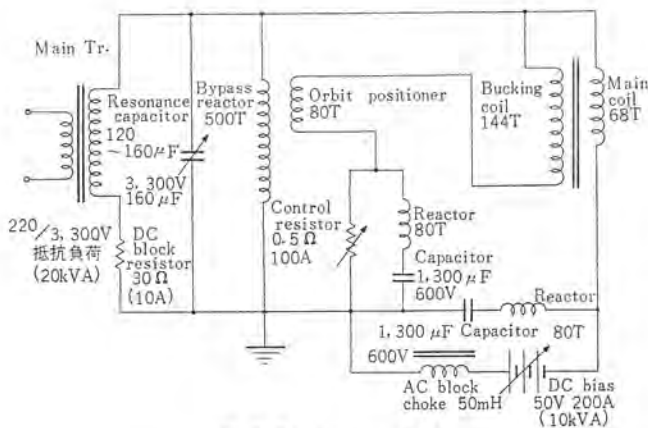


図 2.2 ベータトロン回路
Fig. 2.2 Betatron circuit.

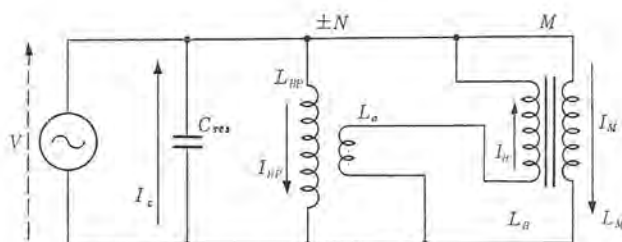


図 2.3 等価回路
Fig. 2.3 Equivalent circuit.

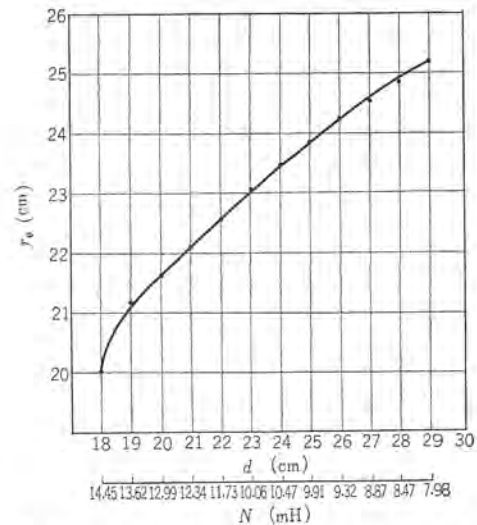


図 2.4 オービットポジショナとバイパスリアクトル間の距離 (d) を変えたときの安定軌道の半径の変化の計算値 (N は相互インダクタンス)

Fig. 2.4 The variation of the radius of stable orbit vs that of the distance between orbit positioner and bypass reactor (theoretical values)
 N : mutual inductance

本装置はバイパスリアクトルとオービットポジショナとの結合 N を両リアクトル間の距離を変えることにより連続的に変化させ、メインコイル、バックコイルなどに流れる電流の分布を変えることをねらっている。それによって電子の安定軌道の半径 r_0 を連続的に変えることができる。図2.3に示すように、オービットポジショナをバックコイルと直列に入れると式(2.2), (2.3)の v_1 , v_2 は

$$v_1 = v_2 - L_O^{eff} \frac{di_2}{dt} \quad (2.14)$$

の関係で与えられる。式(2.14)から(2.12)と同じような計算で L_O^{eff} と安定軌道の半径 r_0 との関係が導かれる。両リアクトル間の距離 d とその結合 N に対して計算した結果を図2.4に示す。この図からわかるように、この方法で安定軌道の位置 r_0 を2, 3cm ずらすことは容易である。したがって r_0 が設計値と食い違ってした場合などに簡単に調節することができる。

2.4 磁極の形状

円形磁界を用いた加速器では、加速の途中で安定軌道からわずかに変位した電子を、もとの軌道にもどすことのできる磁界分布が必要である。この要求は磁界が

$$H = H_0 \left(\frac{r_0}{r} \right)^n \quad (0 < n < 1) \quad (2.15)$$

の形をもつことによって満たされる。このことは平行な磁極面をわずかに傾けることによって得られ、一次近似では次の式によって磁極間の高さ h が与えられる。

$$h = h_0 [1 + (n/a)p] \quad (2.16)$$

ただし、 h_0 は半径 a の点の高さであり、 $p = r_0 - a$ である。

しかし、ここでは磁気ポテンシャルを M としてラプラスの方程式 $\Delta M = 0$ を近似的に解き、等磁位線の一つに磁極の形状を合わせ、その際等磁位線を磁極の存在する付近で最小二乗法により直線に近似する。このようにして求めた磁極面が有限の幅である場合、中央部では一定な n 値をもつ磁界分布が得られるが、両端部では n 値が小さくなる。 n 値一定な領域を広げるために両端にカスラをつけることにし、カスラの形状は電界ツウ(槽)実験により定めた。製作された電磁石の n 値の測定からは、磁極の形状の設計に

は一次近似の計算でも十分であることがわかった。

3. 装 置

3.1 電磁石の構造および組立

電磁石全体の構造を図 3.1 に示す。ポールピースは外径 540 mm、内径 340 mm のリッパ状の磁極面をもち、中心角 20° の扇形ユニット 18 個からなる。組立の際生ずる各ユニット間のわずかの空けは強制空冷の通風孔になっている。各ユニットは 0.3 mm 厚の H12 ケイ素鋼板を積層し、はり合わせたものである。中心コアは 0.3 mm 厚高透磁率 Z11 方向性ケイ素鋼板を積層し、円筒形に組み立て、中心部に貫通孔を設け通風孔とした。ヨークおよびレッグは積層ブロックを磁束密度を考慮して適当な厚さにはり合わせ 5 mm のすき間をあけて対称に配置されている。このすき間はやはり通風の役目をする。各積層ブロックは 0.2 mm 厚の H12 ケイ素鋼板をはり合わせたものである。

3.2 電磁石の励磁回路

電磁石を励磁する回路は図 2.2 に示すような回路素子から構成されているが、それぞれの働きを調べるためには交流分と直流分とに分けて考えなくてはならない。まず交流分から考えてみる。図中 80T のリアクトルと $1,300 \mu\text{F}$ のコンデンサとが 2 箇所に入っているが、これらは 60 c/s に同調されているから、交流に対してはインピーダンスをもたないと考えてよい。交流は流して直流を流さないようにするために入れられている。メインコイルとバックアップコイルとは同巻にして鉄心で強く結合されている。この結合のためにバックアップコイルの等価インダクタンスは負となり、メインコイルとバックアップコイルとの間には循環電流が流れる。500T のバイスリアクトルと 80T のオービットポジションは空心中で結合され、その相互インダクタンス N は両リアクトル間の距離 d を連続的に変えることにより変化させることができる。これら二つのコイル、二つのリアクトルは合成されて一つのインダクタンスとみられる。この合成インダクタンス

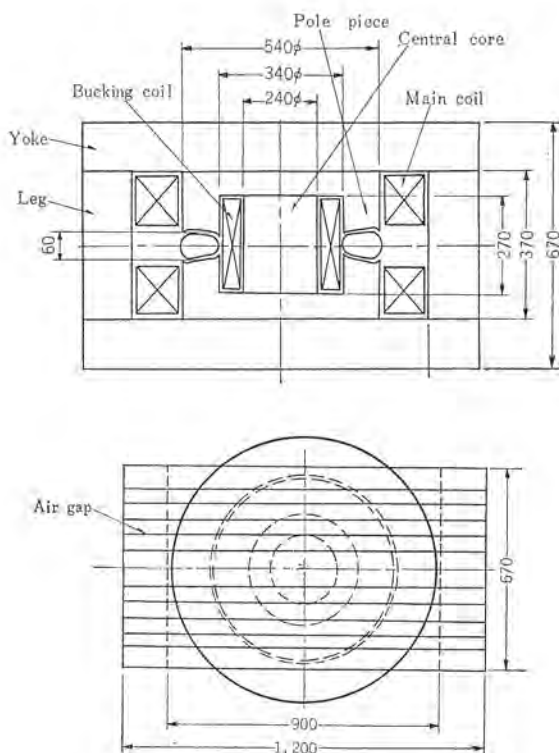


図 3.1 電磁石の構造
Fig. 3.1 Magnet structure.

とコンデンサバンクのコンデンサとが並列共振回路を作っており、この共振回路の両端に 20 kVA の主トランスから電圧が与えられる。10 kVA の DC 電源と直列に入っている 50 mH のチョークは交流の阻止用である。

次に直流分を考えると、バイスリアクトルを流れる電流と、0.5 Ω の可変抵抗、オービットポジション、バックアップコイルに流れる電流とが加え合わさってメインコイルを流れ、電磁石の中心コアのメインとバックアップコイルによる直流磁束を打ち消し合う。可変抵抗はこの磁束が互いに打ち消し合うように、メインとバックアップコイルとの間の DC 電流比を調整するためのものである。さらに主トランスの二次側に入れられた 30 Ω , 10 A の抵抗は DC 電流が二次側に流れ込んでトランスの鉄心を直流励磁することを防止するためである。

これら素子に流れる電流の大きさおよび電力損失などをエネルギー 30 MeV 出力としてあげると、メインコイル実効電流約 200 A、損失約 1 kW、バックアップコイル実効電流約 110 A、損失約 1.5 kW、バイスリアクトル損失約 6.5 kW などとなっている。

ベータトロン全体としての損失は電気回路素子のほかに鉄損も含めて約 22 kW である。その内交流分による損失が約 14 kW、直流分による損失が約 8 kW となっている。

3.3 制御装置

制御装置全系のブロック線図を図 3.2 に示す。個々の回路の詳細は紙面の都合で割愛するが、制御装置全体は大きく分けて以下に述べるようにだいたい五つの系統に分かれている。

3.3.1 電源の制御系

交流の励磁電源の電圧の変動を抑えるため主トランスの二次側の電圧を低圧にした上直流電圧とし、その変動を比較電圧と比較して、サーボアンプを通しサーボモータで主トランスの一次側に入っているスライダックを制御している。安定度は 1% 以下に押えられるが、時定数が 1~2 秒である。

直流バイス電源の制御も同じ方式で行なっている。

3.3.2 入射パルス回路系

磁界がゼロとなる瞬間をピーキングストリップで取り出し、このパ

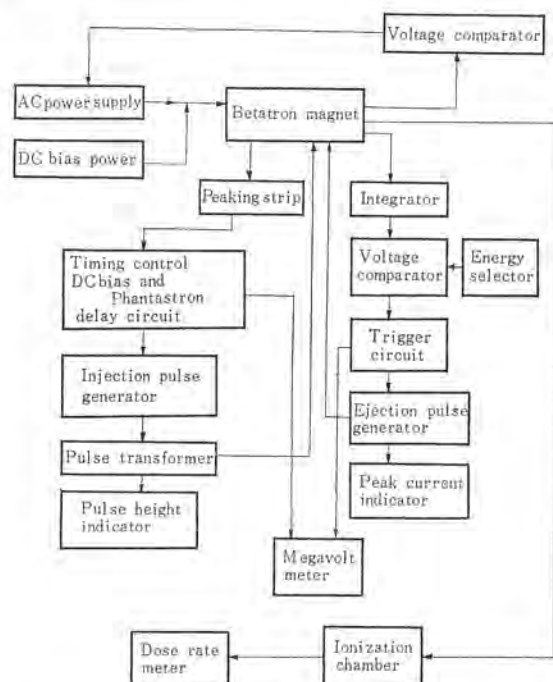


図 3.2 制御装置ブロック線図
Fig. 3.2 Block diagram of control circuits.



図 3.3 制御卓および制御装置
Fig. 3.3 Control desk and apparatus.



図 3.4 加速管
Fig. 3.4 Acceleration tube.

ルスをファンタストロンの遅延回路で最大 $15\mu\text{s}$ まで遅らせることができる。もっと大幅な遅延はピーキングストリップに DC バイアス をかけることで行っており、遅延時間の直線性の非常によいファンタストロン回路はもっぱら入射時間の微細なタイミング用に使われている。この遅延パルスは $4\mu\text{s}$ PFN、水素サイクロトロン 5C22、パルストランスなどで形成されているパルス発生回路のトリガに使われる。パルストランスはコアに DC バイアス をかけた形のもので 80kV までのパルスが出せる。パルスの波形をよくするためにパルストランスの二次側にダミーロードをつなぎ、PFN とのインピーダンス整合をとっている。入射パルス波高値はピークボルトメータで読めるようにしてある。

3.3.3 エジェクションパルス回路系

メインコイルの両端の電圧を信号としてとりこれを RC 積分回路に入れる。電圧の積分値は加速電子のエネルギーに比例しているからこの積分回路に、ディスプレイミネータのレベルを設定しておけば積分値がこのレベルを越えた瞬間出力信号が出る。この信号でパルス発生回路をトリガしてベータトロンの外周磁界のエジェクションコイルに電流を流して X 線または電子線を取り出す。エジェクションコイルは上下 8T 巻き、 $10\mu\text{s}$ の幅で 10A 程度電流約 150A 流している。この電流値もメータで直読できるようにしてある。

3.3.4 モニタ系

出力放射線の強さを測定するため測定器として電離箱を置いている。電離箱の電離電流を電位計管を使った前置増幅器で増幅したのち、直流増幅器でできた線量率計に入れて放射線量を指示している。

3.3.5 制御卓系

以上 4 系統の操作を扱いやすくするために操作に必要な部分を

制御卓に集め、制御卓でベータトロンの運転ができるようになっていいる。また入射パルス、エジェクションパルスおよび X 線パルスは交流磁界と同位相の交流電圧とともにオシロスコープ上に観測できるようにしてある。図 3.3 は制御卓および制御装置を示す。

3.4 加速管および排気系

3.4.1 加速管

加速管は図 3.4 に示すようにドーナツ形、肉厚 $3\sim 4\text{mm}$ 、内径 170mm 、外径 270mm 硬質ガラス製、切口の断面は長径 100mm 、内径 53mm のタ円形である。内面はスプレー法による酸化第 2 スズの透明被膜で両端のアース端子間で $100\sim 150\Omega$ の抵抗値が得られた。この両端子のほかに電子銃取付口および排気用の枝管がある。

3.4.2 電子銃

電子銃はカースト形で、とくに入射ビームの集束をよくするためフィラメントをリペラの奥深くに配置することにより r 方向の集束をよくし、かつ θ 方向の集束もリペラの側面に電極板を取り付けることによりよくすることができた。入射電圧は 50kV まで上げられ、平均電流 $500\mu\text{A}$ が得られた。

3.4.3 排気系

ドーナツは暫定的に排気系を用いて実験しており、真空ポンプは 120l/min の油回転ポンプと 100l/sec の油拡散ポンプを使用し、さらに液体酸素によるトラップをつけることにより運転中で $1\times 10^{-6}\text{mm Hg}$ よりよい真空度に保つことができた。

4. 実 験

4.1 磁界の特性

4.1.1 安定軌道

ベータトロンの安定軌道上はベクトルポテンシャル $A=A(r, \theta)$ が極小値をもつことから^{(3), (6)}安定軌道の半径は θ 方向の誘導電界が極小値を示すような半径で与えられる。この測定は軌道平面上に多くの同心円の 1 ターンコイルをコイル半径 5mm 間隔に埋めこんだベーク板を置いて行なった。最外周コイルに誘起される電圧を基準にして各コイルの誘起電圧比を測定して、これを各半径で割れば各半径の θ 方向の電界が求まるから、その極小になる半径から安定軌道が得られる。電圧の測定は図 4.1 に示すように、最外周コイルの電圧でオシロスコープの横軸を掃引し、縦軸にその電圧を精密級のポテンシオメータで分割し、測定する各 1 ターンコイルの電圧との差をとり、リサーチ図形を描かせる方法(ゼロ方法)によった。実際にこの差電圧は最小になる点はあってもゼロにはならず、しかも基準コイルから遠ざかるにつれて大きくなることがわかった。このことは中心コアの磁束と外周磁界との間に位相差のあることを示している。図の曲線は測定結果の一例である。図 4.2 はオービットポジションの位置を変えて上記の方法で安定軌道の半径を求めたもので連続可変であることを示している。これは図 2.4 の計算値と比較的よく一致している。

4.1.2 n 値

最大磁界の n 値は、軌道半径の測定法と同じゼロ方法で、固定位置に置かれたサーチコイルに誘起される電圧を基準とし、 r 方向に動くサーチコイルの電圧を測定し、各値の両対数目盛のグラフから求めた。サーチコイルは $0.12\text{mm}\phi$ のホルマル線を、標準用として 400T を $6.5\text{mm}\phi$ 、可動用として 200T を $6\text{mm}\phi$ に巻いたものである。測定結果は図 4.3 に示すように設計値の n 値 0.75 とほぼ等しい値を示している。

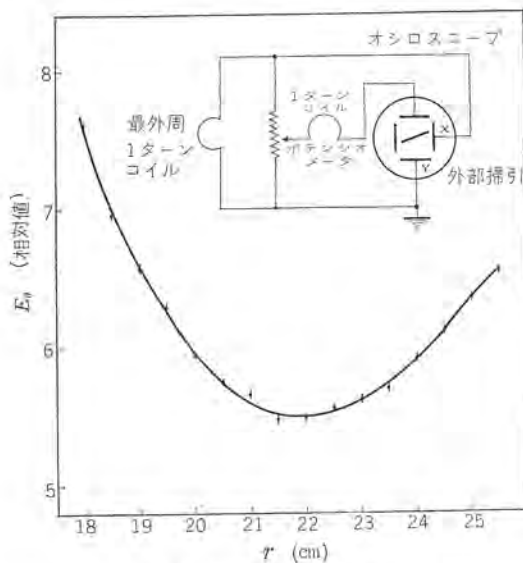


図 4.1 安定軌道の測定
Fig. 4.1 Measurement of stable orbit.

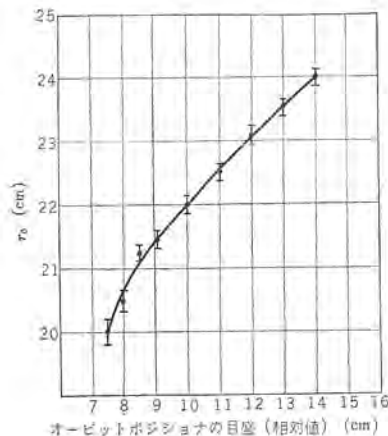


図 4.2 オービットポジショナとバイパスリアクトル間の距離 (d) を変えた場合の安定軌道半径 (r_0) の変化を示す実験値
Fig. 4.2 Experimental data which show the continuous variation of the stable orbit radius versus that of the distance between orbit positioner and bypass reactor.

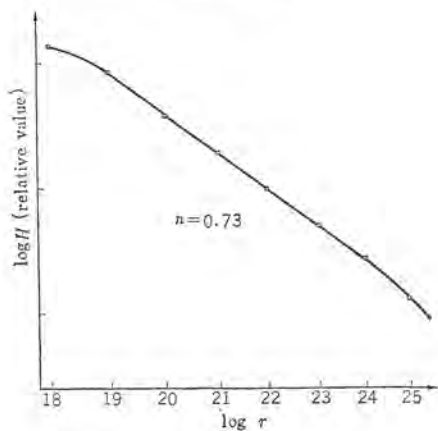


図 4.3 最大磁界での n 値
Fig. 4.3 n -value at peak field.

静磁界の n 値は DC 電流のみを流して測定された。その方法はホール素子を使って r 方向に移動し、その起電力を精密級の電圧計で読むもので、 n 値は最大磁界の値とほぼ同じであった。

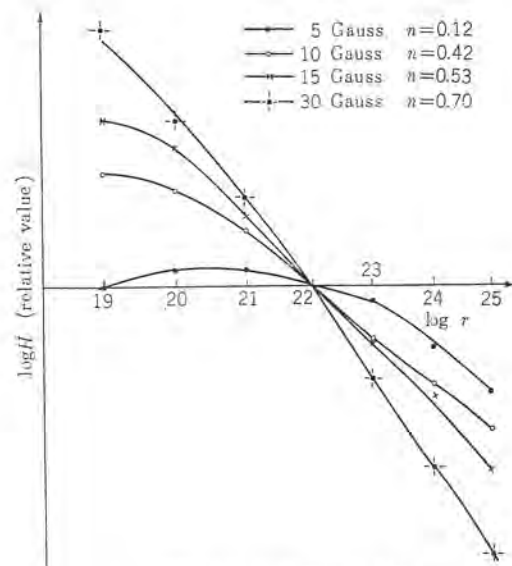


図 4.4 低磁界での n 値
Fig. 4.4 n -values at low fields.

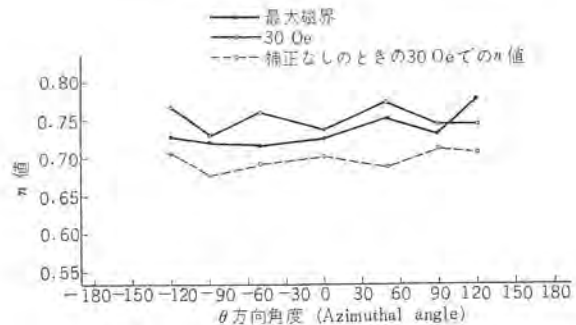


図 4.5 数個の角度での補正した n 値
Fig. 4.5 Corrected n -values at several angles.

低磁界の n 値は磁界の強さをいろいろ変えて行なった。測定にはピーキングストリッパを用いたがそのコアには高透磁率磁性材料センパックス⁽⁷⁾を使用した。ある位置に固定された標準のピーキングストリッパと可動ピーキングストリッパはいずれも厚さ 4 μm、幅 1 mm、長さ 20 mm のコアに 0.05 mm φ のホルマル線をパルス取出し用として 100 T、直流バイアス用として 400 T 巻いたものを用いた。パルス特性はかなりよく半値幅 2~3 μs であった。測定法は標準ピーキングストリッパのパルスでシンクロスコープの遅延掃引回路を掃引し、可動ピーキングストリッパを r 方向に移動して、いろいろのバイアス電流でそのパルスをシンクロスコープの入力端子に入れてその遅延時間を読んで求めた。バイアス電流を i 、遅延時間を τ とすれば θ は一定で r をパラメータとすれば

$$\tau(\theta, r, i) = \tau_0(\theta, r, 0) + i \frac{\partial(\tau, r, i)}{\partial i} \quad (4.1)$$

が得られる。ここで τ_0 は $i=0$ に相当した外そう(挿)値で、 θ 一定で r を変えても不変であり、これを補正して n 値の計算を行なった。図 4.4 はその結果で、磁界が 30 Oe で $n=0.70$ で、15, 10, 5 Oe と低磁界になるにつれて n 値一定の領域が狭くなり、 $r_0=22$ cm 近傍の n 値ははなはだしく減少している。普通の形のベータロンではむしろ低磁界での n 値が増加している⁽⁴⁾。これは中心コアの空けの有无に関係していると考えられる。

低磁界での n 値補正を行なうため、磁極面の内側に上下 1 T ずつ、外側にも上下 1 T ずつの補正コイル⁽⁴⁾を巻き、磁界のコウ配を大きくする向きに 1 A の電流を流した。その結果を図 4.5 に

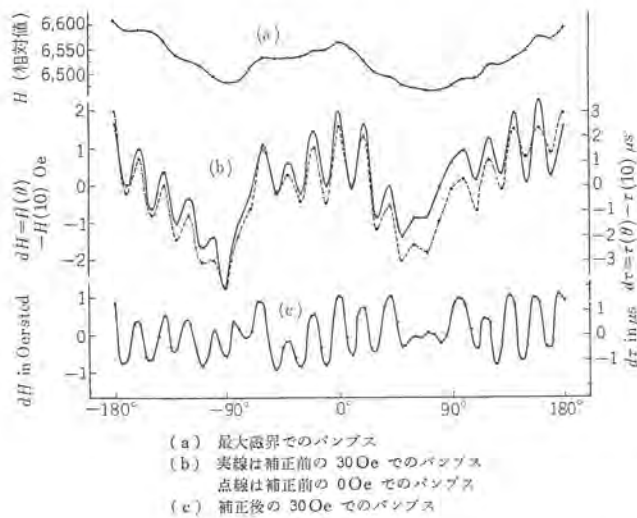


図 4.6 バンプ
Fig. 4.6 Bumps.

示す。これは 30 Oe での n 値を数個の角度で、補正前後で測定したもので参考のため最大磁界での n 値も記入してある。

4.1.3 磁界不整（バンプ）

バンプの測定は n 値の場合と同様に、最大磁界にはサーチコイル、低磁界にはピーキングストリップ、静磁界にはホール素子を使用した。図 4.6 (a) は $r=22$ cm での最大磁界のバンプを θ を 10° おきに測定したもので二次の高調波が出ているが、 $\theta=\pm 90^\circ$ の低い部分はレッグに近い所である。これはレッグとヨークの間にシムをはさみ、何回も繰り返し測定して最適な状態にもってきた結果であって、最大磁界のバンプは $\pm 1\%$ 以内に押えることができた。

低磁界のバンプの測定結果の一例を図 4.6 (b) に示す。実線は補正していない場合で、 $r_0=22$ cm, 30 Oe での値で最大磁界にもみられた 2 次の高調波以外に 18 次の高調波が顕著にみられる。バンプの山に対応する部分がちょうど 18 個の扇形磁極片間の空ゲキになっていることから、このバンプの原因は空ゲキでない部分によるウズ電流が残留磁気による効果と解釈される。図の点線は式 (4.1) の τ_0 で磁界がゼロのときのバンプになる。 τ と τ_0 、すなわちある低磁界でのバンプと磁界ゼロでのバンプとの間の相関係数が測定したすべての角度について平均して 0.98 あること、 n 値を測定した際、 θ が一定のとき τ_0 が r によらないことから磁界ゼロのバンプは磁界の立ち上がりのコウ配によるものでなく、立ち上がりの時間遅れによるものであることがいえる。

バンプ補正は主として 2 次の高調波成分を補正する目的で行なわれた。その方法は n 値補正の場合と同様で、その結果を図 4.6 (c) に示す。補正により 30 Oe で ± 1 Oe 以下にバンプを押えることができる。

静磁界のバンプは最大磁界のバンプとほとんど同じ傾向を示した。

4.1.4 動作

運転している状態で、 n 値補正、バンプ補正が X 線出力にどのように影響するかを調べた。

n 値補正は、現在までの運転では X 線出力にほとんど影響なかった。

バンプ補正が X 線出力に有効であったのは、おもに 2 次の高調波の低磁界補正であった。現在直流バイアスをかけない状態で、

X 線出力は標的から 1 m の位置で、X 線の最高エネルギー 15 MeV で 8~15 r/m にすぎないが、補正電流 ± 1 A の幅で有効で、補正なしに比べ、入射電圧 40 kV で 50% の出力増加が認められた。

4.2 放射線の特性

4.2.1 エネルギー校正

加速電子のエネルギーは加速電圧の時間積分に比例するから積分回路の比較電圧を読むことでわかるが、比較電圧のエネルギー校正は X 線による光核反応のシキイ(敷居)値 E_{th} から求めた。

校正に用いた光核反応は、(a) $^{109}\text{Ag}(\gamma, n)^{108}\text{Ag}$ ($E_{th}=9.14$ MeV), (b) $^{63}\text{Cu}(\gamma, n)^{62}\text{Cu}$ ($E_{th}=10.8$ MeV), (c) $^{64}\text{Zn}(\gamma, n)^{63}\text{Zn}$ ($E_{th}=11.6$ MeV) で、各残留核のベータ崩壊を利用して、各反応についての励起曲線をとった。その曲線を図 4.7 に示す。横軸はインテグレータの比較電圧の目盛、縦軸は各核種の反応断面積の相対値を示す。測定は GM カウンタで行なった。この曲線から各反応のシキイ値に対する比較電圧の目盛をよみ、エネルギー校正曲線を書いたものが図 4.8 である。図中 (d) 点はインテグレータの目盛を上げていき、オシロスコープ上でエジェクションパルスが最大に達する

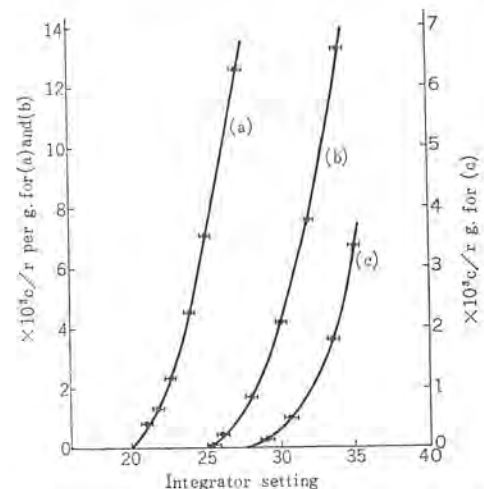


図 4.7 (γ, n) 反応のイールド曲線とシキイ値の決定
Fig. 4.7 The yield curves of (γ, n) reactions and determination of the threshold energy.

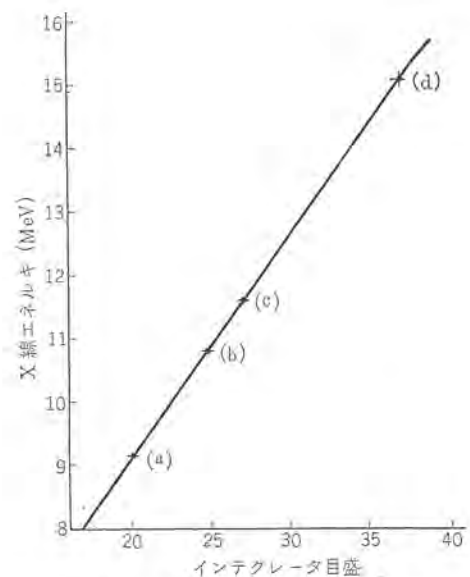


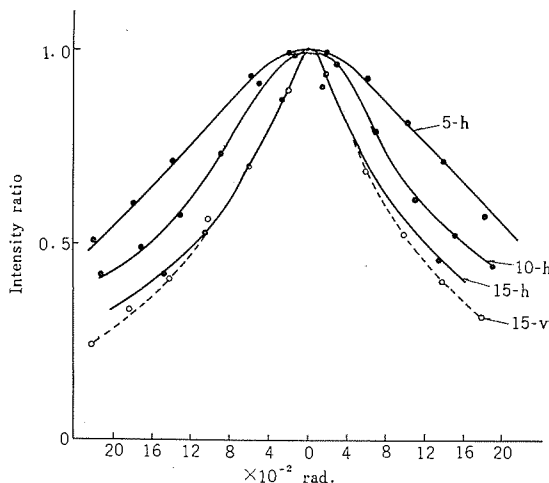
図 4.8 最大エネルギー X 線の校正曲線
Fig. 4.8 The calibration curves of the maximum energy of bremsstrahlung.

点でのインテグレータの目盛で、これはメインコイル電流 140 A (rms) のときの値で、そのアンペアタンの計算から得られるエネルギー 15 MeV とよく一致している。このデータは交流のみで励磁した場合で、直流バイアスはかけていない。

4.2.2 角度分布

制動放射で得られる X 線の角度分布をエネルギーを変えて測定し、また同じエネルギーで普通の形のベータロンの角度分布と比較してみた。

電子銃の陽極に 1.6 mmφ の白金棒を取り付けターゲットとした。この点から 1 m の位置に Victoreen 社製線量計 Model 570 の電離箱 552 を 3 mm 厚の鉛板でおおって配置し、ほかに電離箱 553 を 10 cm 厚のパラフィン筒の中に入れて適当な場所にモニタとして置き、角度分布を測定した。それを図 4.9 に示す。横軸はビーム中心を中心にした広がり角、縦軸は X 線の最大エネルギー 5, 10, 15 MeV での角度分布をビーム中心の強度で規格化した X 線強度の相対値を示す。実線は水平方向、点線は垂直方向の角度分布で、後者が少し鋭い分布をしている。これは垂直方向を測るとき水平面に対し垂直に上下しただけなので、測定器の位置がビーム中心の場合から離れるにつれて遠ざかることがおもな原因と考えられる。普通の形のベータロンで実測した同じエネルギーでの角度分布と比較してみると半値幅は一致している。このことは加速電子ビームが加速途上でシフトすることはあってもよく集束されていることを示している。



5-h, 10-h, 15-h は各 5 MeV, 10 MeV, 15 MeV での水平方向の角度分布を、15-v は 15 MeV での垂直方向での角度分布を示す

図 4.9 γ 線の角度分布

Fig. 4.9 Angular distributions of bremsstrahlung. 5-h, 10-h and 15-h mean each angular distributions with 5 MeV, 10 MeV and 15 MeV on the horizontal plane. 15-h means the vertical one.

5. 結果の検討

5.1 問題点および議論

磁束強制によるこの形のベータロンはメインコイルとバックアップコイルの二つのコイルをもっている。この二つのコイルは直流抵抗分をわずかにもっているため、完全にインダクタンス成分だけというわけにいかず、二つのコイルを流れる電流の間に位相差が生ずる。この位相差が存在する場合には式 (2.1) のベータロン条件を常に満足させるような安定軌道の半径 r_0 は一定値で存在せず、安定軌道が加速の途上でシフトしていく現象がある。この問題を少し

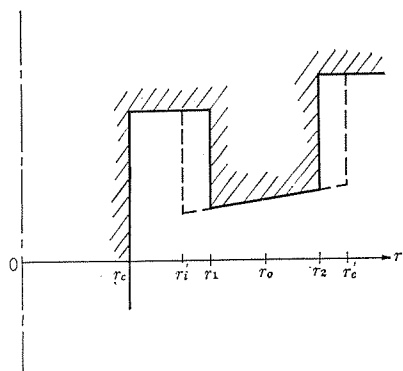


図 5.1 等価磁極端
Fig. 5.1 Equivalent magnet edge.

解析してみる。ベータロンにおける電子軌道の理論から、電子の瞬時軌道に対しては^{(5), (8)}

$$\frac{\partial p}{\partial r} = 0 = \frac{p_\phi}{r^2} = \frac{e}{c} \frac{\partial A}{\partial r} \quad (5.1)$$

ここで A は電子の瞬時軌道に沿ったベクトルポテンシャルの接線方向の成分であり、 p_ϕ は ϕ に対する正準共役な運動量である。ハミルトニアン H は

$$H = c \left[m^2 c^2 + p_r^2 + \frac{p_\phi^2}{r^2} - \frac{e}{c} A \right]^{1/2} \quad (5.2)$$

であり、 H の中に ϕ が出てこないことから p_ϕ は運動の恒量となる。すなわち

$$\frac{c}{e} p_\phi = r^2 \frac{\partial A}{\partial r} = \text{const.} \quad (5.3)$$

が得られ、この式が電子の瞬時軌道の方程式になる。

図 5.1 に示すように磁極の両端での漏れ磁束を考慮し、 r_1, r_2 に対し等価磁極端 r_i', r_e' を導入し、 $r_i' < r < r_e'$ では理想的磁界分布を示し、その内外ではゼロになるとする。すなわち磁界分布は

$$H = H_1 S(\tau) \quad (r \leq r_c) \quad (5.4)$$

$$H = 0 \quad (r_c < r < r_i') \quad (5.5)$$

$$H = H_2 \left(\frac{r_i'}{r} \right)^n S_2(\tau) \quad (r_i' \leq r \leq r_e') \quad (5.6)$$

となる。ここで

$$S_1(\tau) = \sin(\tau - \tau_0 - \Delta) \quad (5.7)$$

$$S_2(\tau) = \sin(\tau - \tau_0) + \sin \tau_0 \quad (5.8)$$

であり、外周磁界と中心磁極内の磁束との間に位相差 Δ をもっているものとし、 τ_0 は直流バイアス角である。この位相差はメインコイルとバックアップコイルの電流の位相差から起因するものである。そこで式 (5.4), (5.5), (5.6) を使ってベクトルポテンシャル A を求めると

$$A = \frac{r H_1}{2} S_1(\tau) \quad (r \leq r_c) \quad (5.9)$$

$$A = \frac{r_c H_1}{2} S_1(\tau) \quad (r_c \leq r < r_i') \quad (5.10)$$

$$A = \frac{r_c^2 H_1}{2r} S_1(\tau) + \frac{r_i' H_2}{2-n} \left(\frac{r}{r_i'} \right)^{1-n} S_2(\tau) - \frac{r_i' H_2}{2-n} \frac{r_i'}{r} S_2(\tau) \quad (r_i' \leq r \leq r_e') \quad (5.11)$$

が得られる。これらを使って式 (5.3) の瞬時軌道の方程式を解けば時間的に瞬時軌道がどう移り変わっていくかがわかる。式 (5.3) の定数は入射時の初期条件によって決められる。計算のための初期条件として、入射電圧 $E_{inj} = 50$ kV、電子銃の位置 $r_0 = 25$ cm, $r_0 = 22$ cm を与え、計算は入射時からの加速角について行なった。パラメータとして直流バイアス角 τ_0 、および位相差 Δ をとって

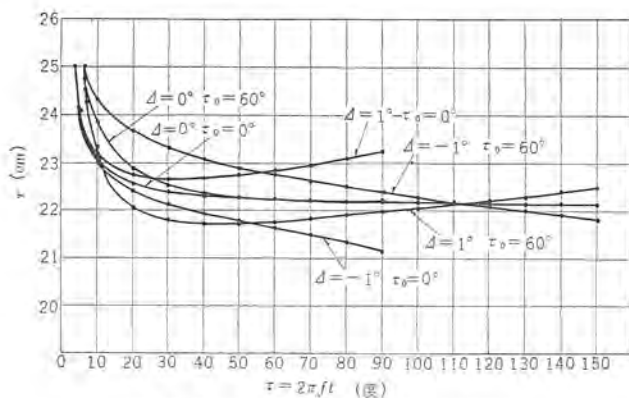


図 5.2 位相差による瞬時軌道の変化
Fig. 5.2 Adiabatic variation of the radius of the instantaneous orbit.

る。この結果を示したのが図 5.2 である。これからわかるように、 $d=0$ であれば位相差のない普通の形のベータトロンと同様であるから瞬時軌道は時間とともに安定軌道 r_0 に収束していく。しかし $d>0$ では瞬時軌道は入射直後いったん内側に収縮し、それから徐々に外側に広がって r_0 に収束しない。しかもバイアス角を大きくすればそれだけ入射直後の収縮も大きくなる。したがって加速初期のベータトロン振動の振幅も大きいため軌道が収縮したところで電子が拘束磁界から外にはみだして失われる可能性がでてくる。この時点でバイアス角がある値以上になると出力が落ちてくること⁽¹⁾が理解される。さらに加速の終段付近において軌道が徐々に拡大されていき、ついには電子銃にあたって自身で X 線を発生するいわゆるセルフエクスパンションの現象が起こる。実験の一例として、交流のみで励磁して、入射エネルギー約 30 kV、電子銃の位置 $r_0=25$ cm、ターゲットの位置 $r_t=24.5$ cm で、 r_0 を 21 cm にしたときの X 線出力を調べると、エジェクションパルス をかけたときが 1 m の位置で 8 r/m に対し、エジェクションパルス をかけないとき、すなわちセルフエクスパンションでは 6 r/m の出力に低下する。ところが r_0 を 22 cm に拡張したときは、出力がエジェクションパルス をかけてもかけなくても 8 r/m で変化が認められなかった。このことは r_0 が 21 cm のときは位相のズレ (この場合 $d>0$) から瞬時軌道が広がっても加速の最終段階まで電子がターゲットにあたらないために起こると解釈され、 r_0 が 22 cm のときは軌道が拡張されているから、セルフエクスパンションとエジェクションをかける瞬間がたまたま一致したためと考えられる。現在まだ DC バイアス をかけ

ていないが、上の理論計算の一例は電子の軌道運動のだいたいのようすを示すといえよう。

磁界の特性の内、パナラスはかなりよいが、位相のズレから厳密な定義では安定軌道がないこと、 n 値が低磁界で普通の形のベータトロンとは反対に小さくなること、すなわち時間とともに n 値が増加してくること、また上の軌道計算は n 値が時間によらない定数として計算したもので、X 線出力が位相のズレおよびこのような n 値変化に結びつけられるかもしれない。しかもこれは今後の研究に待つほかはない。

5.2 結 論

現在交流のみで励磁して、最高エネルギーは 15 MeV、X 線出力は 1 m の位置で 15 r/m を得ている。運転後間もないことなのでどの程度まで出力が上げられるかわからないが、出力増強に努力している。

安定軌道半径 r_0 が連続可変であることは、電子銃と r_0 の位置関係からくる X 線出力の実験、セルフエクスパンションの観測など研究用としては便利な装置である。

実用面から見れば、軽量小形の割に高エネルギーが出せる利点があるが、DC バイアス をかけるための付属装置が多く、またパッキンコイルの冷却にも問題がある。

6. む す び

この装置の建設は、引き続いて製作中の 35 MeV ベータトロン (普通の形で医療用) の準備実験として、機械の性質、構成部品の性能確認をも目的として進めたものである。実験用装置として電子銃の性能、磁界の特性、軌道の性質などについて数多くの知見が得られ、医療用大出力ベータトロン の建設に大いに役だつことが期待される。
(昭 39-1-11 受付)

参 考 文 献

- (1) E. C. Grego: R. S. I. 22, 176 (1951)
- (2) D. W. Kerst et al: R. S. I. 21, 462 (1950)
- (3) D. W. Kerst: R. S. I. 13, 387 (1942)
- (4) 三輪, ほか: 応用物理 30, No. 8, 553 (昭 36)
- (5) D. W. Kerst and R. Serber: Phys. Rev. 60, 53, (1946)
- (6) 木村, ほか: 応用物理 27, No. 1, 2 (昭 33)
- (7) 東北金属工業株式会社製
- (8) E. Amaldi and B. Feraetti: R. S. I. 17, 389 (1946)

線形電子加速器

戸田 哲雄*・入 江 浩一**

Electron Linear Accelerators

Mitsubishi Electric Corporation, Research Laboratory

Tetsuo TODA

Mitsubishi Atomic Power Industry Co., Research Laboratory

Kōichi IRIE

Methods of basic design, constitution and performance are described herein on electron linear accelerators, ML-1 and ML-2, developed by Mitsubishi. There are accounted experimental results about "Beam Blow-up" phenomena which are vital to the design of the high beam current electron linear accelerators. With type ML-2 machines involving the klystron VA-820C as high power RF source, maximum beam current of about 500mA is made available at 4 μ s pulse-width and an energy of 5 MeV. This is probably the highest beam current ever produced with home built machines. Many kinds of problems on the electron linear accelerators are solved and valuable data are obtained for the design and manufacture of machines with better performance.

1. ま え が き

線形加速器の原理が発見されたのは、サイクロトロンより早かったが、1930 年ごろには大出力高周波発振器がなかったため発展は遅れた。しかし通信や放送の進歩とくに第 2 次世界大戦中 レーダ などの発達に関連して、マイクロ波領域での大出力の発振管や増幅管の開発が進むと同時に線形加速器の研究も進められ、最近では線形電子加速器が續々作られるようになった。

他の加速器に比べて線形電子加速器の特長は、空間的に高周波による連続的な加速であり、本質的に磁界が不要であること、加速はパルス 的および直線的に行なわれること、エネルギーの可変が容易であること、高エネルギー装置への改造が簡単にできることなどであり、さらに性能的には電子ビームの取り出しが容易であり、かつ大電力のビームが容易に得られる点が重要である。一方欠点としては加速管が直線状に配置されるためエネルギーのわりに装置が大形となり、低エネルギーでは加速原理上エネルギー・スペクトルを良くすることが困難になることなどがある。

電子銃や排気装置など加速器に共通なものを除くと、大電力マイクロ波発生装置と加速管が線形電子加速器の基本要素である。加速管は後に詳しく述べるように一種の遅波回路で、電子銃から入射された電子ビームとマイクロ波が加速管の中を進行するとき、電子ビームはマイクロ波から電子を得て加速される。単位加速管長あたりのエネルギー・ゲインをあげるためにはマイクロ波電力は大きいほどよいが、通常機器の耐圧、マイクロ波管の入手の容易さなどから S バンドではセンチメートル電力数 MW 程度のものが用いられている。線形電子加速器の性能を決定するものとして、加速管の精度、大電力マイクロ波発生装置の安定性、電子銃を含めて入射装置の性能の 3 点が重要である。

用途としては、従来はもっぱら原子核実験に用いられてきたが、最近は医療用や工業用にその強力な X 線および電子線発生装置としての性能が注目されている。原子核実験用としては高エネルギーであることや安定性が重視されるが、医療用や工業用では小形であることや取り扱いが容易であることなどが重視される。それぞれの用途に応じて、マイクロ波発生装置の最終段にはクライストロン増幅器かマグネトロン発振器が採用されている。

当社ではすでに昭和 33 年から試作研究に着手し、第 1 段階と

して単一空胴による電子加速の実験を行ない、相当の成果をあげかつビームの性能の測定技術などの経験を得た。第 2 段階としては、新三菱重工製の加速管と大電力マグネトロン RK-5586 を用いて、本格的な線形電子加速器の第 1 号機 ML-1 形を製作し、5 MeV の安定なビームを得た。第 3 段階は大電流をとることを目的として加速管の基本設計からはじめ、昭和 36 年 7 月着手して予定どおり昭和 37 年末最初のビーム取り出しに成功し、現在までに各種の調整実験を続けている (ML-2 形)。この 2 号機はピーク 7,500 mA という国産機では記録的な大ビーム電流を得ることができた。

ここでは ML-1 形と ML-2 形の線形電子加速器の構造とその性能の概要について述べる。

2. 原 理

2.1 電子の運動

導波管の中を高周波電力 (自由空間波長 λ_0) と電子 (電荷 $-e$) とを同時に通すと、高周波電界 (センチメートル値 E_0 , 軸方向成分) の位相速度 v_p と電子の速度 v_e が常に等しいならば、電子は常に高周波の同じ位相にある。図 2.1 でこの位相を A_0 とすれば、電子は式 (2.1) で表わされる力 F を受けて加速される。

$$F = -eE_0 \sin A_0 \dots\dots\dots (2.1)$$

一般に導波管中の高周波の位相速度は光速 c より大であるから、常にその速度が光速以下である電子と位相速度を合わせるためには、導波管に「シボリ (iris)」を装荷して遅波回路を構成しなくてはならない。これが線形電子加速器の加速管で図 2.2 のような形状となっている。

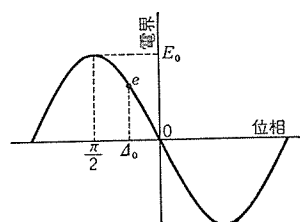


図 2.1 加速原理
Fig. 2.1 Principle of acceleration.

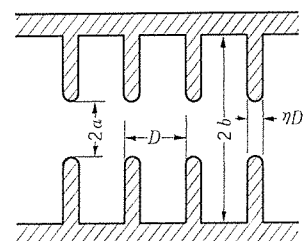


図 2.2 加速管の構造
Fig. 2.2 Structures of accelerating waveguide used in electron linear accelerators.

電子は加速されるにしたがってその速度を増すから、加速管内を伝搬(播)する高周波の位相速度もそれにしたがって増加するように加速管を作らねばならない。実際には加速管中を直進する電子の速度が常に高周波の位相速度に等しいことは、とくに加速の初めの部分では不可能である。電子の運動は次式で表わされる。

$$\frac{d}{dz} \left\{ \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-(v_e/c)^2}} \right\} = -eE_0 \sin \Delta \quad (2.2)$$

$$\frac{d\Delta}{dz} = \frac{2\pi}{\lambda_0} \left(\frac{1}{v_p/c} - \frac{1}{v_e/c} \right) \quad (2.3)$$

z は加速管軸に沿っての距離、 m_0 は電子の静止質量である。これらの式からわかるように、 v_e と v_p が等しくないときは位相 Δ の変化が生じ、電子の受ける力は一定ではなくなる。電子は加速されると容易にその速度は光速に近づくから、 $v_p=c$ に設計されている加速管中ではこれらの高速の電子の位相はほとんど変化しない。加速管の二の部分をレギュラ部と呼ぶ。レギュラ部では加速能率とエネルギー・スペクトルの点で、電子群の位相は高周波のピーク(-90°)に近く、なるべく狭い位相幅 $\delta\Delta$ に集中されていることが望ましい。そこで加速管の初めの部分、すなわち入射装置から入射されてエネルギー数 MeV に加速されるまでの部分では電子群の位相をある適当な狭い範囲 $\Delta_0 \pm \delta\Delta$ にしぼること——これをパンチャ部という——が必要である。この意味で加速管のこの部分をパンチャ部と呼ぶ。入射エネルギーは後に述べるように通常 80 keV 程度であるから、電子の速度はパンチャ部で $c/2$ から c まで変わるが、式(2.2)と(2.3)を E_0 と v_p をパラメータとして解き、電子群のエネルギーおよび位相特性を求めることができる。パラメータ E_0 および v_p は z の関数であるが、これらを適当に選べばある程度希望する位相特性とエネルギー特性を得ることができる加速管の設計が可能である。

2.2 加速管の設計

加速ビーム電流のセン頭値は主として電子銃のエミッション電流と加速管の透過率によりきまるが、数百 mA 以上になると Beam Blow-up の現象のように加速管自体も大きな影響を与えるようになる。加速ビームのエネルギーは加速管へ入る高周波電力と加速管の特性および加速ビーム電流とによってきまる。エネルギーを高くしたいときは、加速管の長さが高周波電力を大きくすればよいが、これには限度があるから実際には加速管をタンデムに接続し、各加速管には別々の高周波源から電力を供給する。この場合には高周波源は同期運転が必要である。現在では大電力高周波源としては、出力数 MW のクライストロンまたはマグネトロンが使用されており、その周波数は L バンド、S バンド、X バンドにわたっているが、高周波伝送回路としての加速管の大きさが周波数で定められる関係上 S バンドのものが多い。

2.2.1 パンチャ部

パンチャ部の電子の運動の解析はレギュラ部のように簡単ではない。式(2.2)と(2.3)を変形すると次式が得られる。

$$d\gamma/d\xi = -\alpha \sin \Delta \quad (2.4)$$

$$d\Delta/d\xi = 2\pi(1/\beta_W - \gamma/\sqrt{\gamma^2 - 1}) \quad (2.5)$$

ただし $\gamma = 1/\sqrt{1-(v_e/c)^2}$ 、 $\beta_W = v_p/c$ 、 $\alpha = eE_0\lambda_0/(m_0c^2)$ 、 $\xi = z/\lambda_0$ 、 α は加速管中の加速電界強度を、 γ は電子のエネルギーを表わすパラメータである。 α と β_W をいろいろ変えて式(2.4)と(2.5)を解き、 γ と Δ を求めることができる。この中から γ と Δ の特性が良い解を与える α と β_W を定めれば、加速管の寸法は α と β_W を用いて計算することができる⁽¹⁾。

2.2.2 レギュラ部

線形電子加速器・戸田・入江

加速管中の電力流 P は次式で与えられる。

$$\sqrt{P} = \sqrt{P_0}[(1+m)\exp(-IZ) - m] \quad (2.6)$$

$$m = \sqrt{r/(2IP_0)} \cdot I_p \quad (2.7)$$

P_0 は加速管入力マイクロ波電力流、 I は電圧減衰定数、 r は加速管のシャント・インピーダンス、 I_p はビーム電流のセン頭値である。加速管の長さを長くすると、電力の減衰のために式(2.6)で $P=0$ となる。これ以上加速管を長くしても加速という点からは無意味であるばかりでなくかえって有害である。式(2.6)と(2.7)からビーム電流を大きくしたいときは、加速管は短いほうがよいことがわかる。

エネルギー・ゲイン V は式(2.8)で求めることができるが、この式では電子群の位相は高周波のピークにあるものとしている。

$$V = \sqrt{2P_0 \cdot I \cdot r \cdot L} \cdot \{1 - \exp(-IL)\} / (IL) - r \cdot I_p \cdot [1 - \{1 - \exp(-IL)\} / (IL)] \quad (2.8)$$

L は加速管の長さを示す。レギュラ部では加速管の特性を表わす定数 I および r が非常に重要である。これらは加速管の構造がわかれば計算で求められる⁽²⁾。

3. 構成

ML-1 形は大電力高周波源としてマグネトロン RK-5586 を使用した単一給電形の線形電子加速器であり、その構成を図 3.1 に、おもな仕様を表 3.1 に示す。

ML-2 形は次のような特長をもっている。

- (1) 大電力高周波源として最大出力 5 MW のクライストロン VA-820C 1 本を使用している。
- (2) クライストロンの励振電源として石英空洞で周波数安定化したクライストロン発振器 3V30 と、進行波管増幅器 TW-302 とを使用している。
- (3) 電子入射装置にトリパンチャを使用して、加速ビームの性能の向上をはかっている。
- (4) クライストロンの出力を 2 分してパンチャ部とレギュラ部に別々にマイクロ波電力を供給するいわゆるダブル・フィード方式を採用

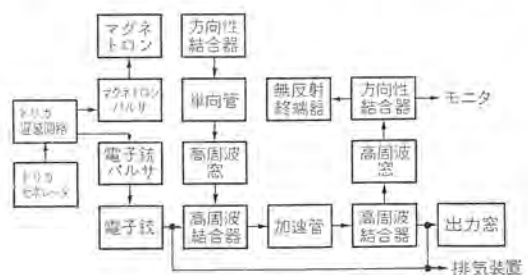


図 3.1 ML-1 形の系統図
Fig. 3.1 Schematic diagram of ML-1.

表 3.1 ML-1 形, ML-2 形のおもな仕様

| 加 速 形 式 | ML-1 形 | ML-2 形 |
|-----------------|--------------------------------|------------------------------------|
| 加 速 管 長 (m) | $\pi/2$ モード, 定減衰形 2 (0.5×4) | $\pi/2$ モード, 定減衰形 1.5 (0.8+0.7) |
| 高周波源 | マグネトロン RK5586 | クライストロン UA820C |
| 出 力 (MW) | 0.8 | 5 |
| 周波数 (Mc) | 2,760 | 2,856 |
| 電 子 銃 | タングステン・スパイラル直熱形 | タンタル・スパイラル直熱形 |
| ビーム・エネルギー (MeV) | 4.2 (最高) | 7.5 (最高) 2 (最低) |
| ビーム・電流 (mA) | 150 | 600 |
| エ ネ ル ギ 幅 (%) | ±8 | ±2 |
| ビーム・パルス幅 (μs) | 0.5 | 4, 2, 1 |
| ビーム・繰り返し (PPS) | 300 | 100, 200, 300, 400 |
| ビーム径 (mm) | 12 | 10 以下 |

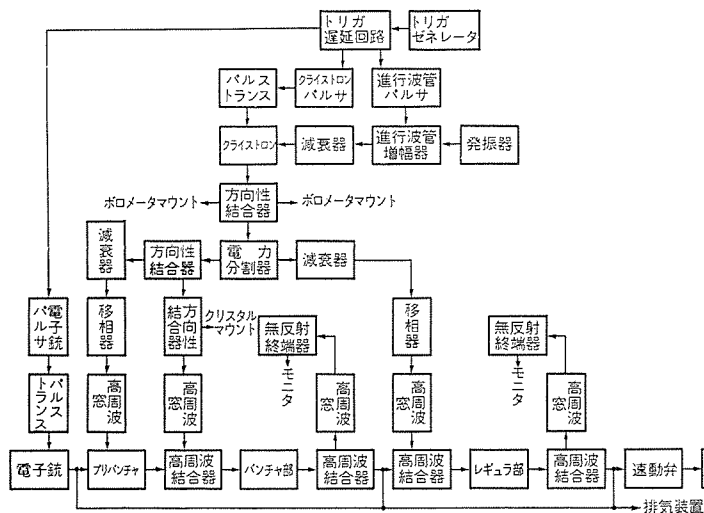


図 3.2 ML-2 形の系統図
Fig. 3.2 Schematic diagram of ML-2.

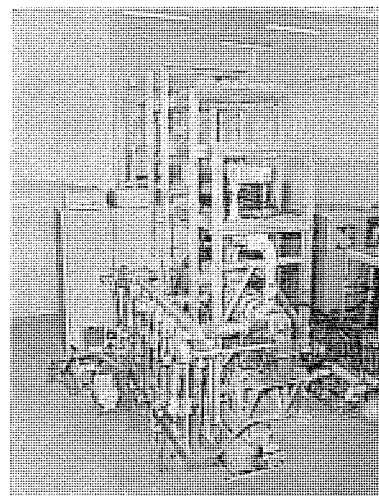


図 3.3 ML-2 形線形電子加速器の
本体部外観
Fig. 3.3 View of type ML-2 electron
linear accelerator.

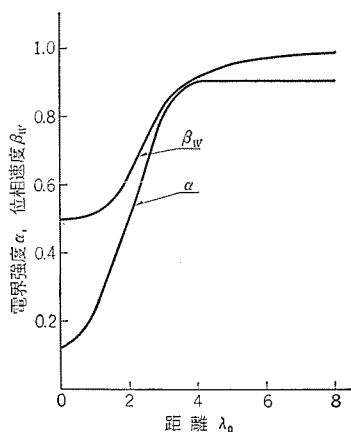


図 3.4 ML-2 形パンチャ部の電界
強度および位相速度
Fig. 3.4 Accelerating field intensity
and phase velocity of the buncher
section of ML-2.

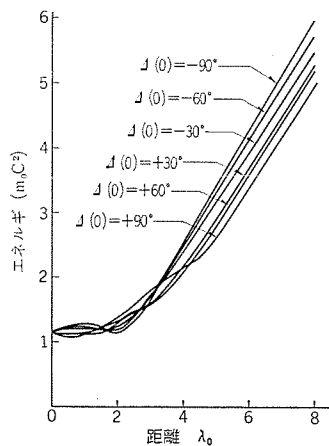


図 3.5 (a) ML-2 形パンチャ部に
おける電子のエネルギー特性
Fig. 3.5 (a) Energy characteristic of
electrons in buncher section of ML-2.

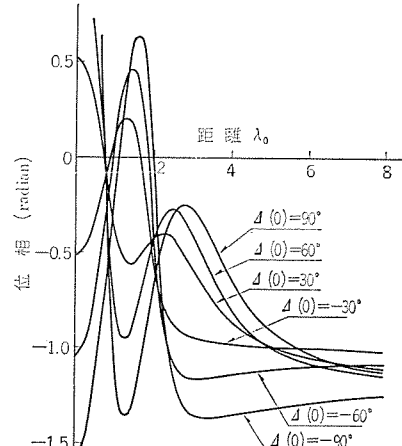


図 3.5 (b) ML-2 形パンチャ部に
おける電子の位相特性
Fig. 3.5 (b) Phase characteristic of
electrons in buncher section of ML-2.

し、これによってビームの性能を良好に保ったままエネルギーを変えることができる。

(5) レギュラ部への入力導波管回路に可変移相器とともに可変減衰器を取り付け、ビーム・エネルギーの可変を容易にした。

(6) 大電流のビームを安定にとるために加速管長を比較的短く設計してあるので、マイクロ波電力のわりにエネルギー・ゲインは低い。

(7) エネルギー・スペクトルを良くするために加速管の工作精度、加速管の温度制御、マイクロ波の周波数安定化、クライストロン・のビーム電圧パルス波形などに細心の注意を払っている。

(8) 加速管の寸法は $2a$ を比較的小さくとり、加速管の特性の向上をはかっている。

ML-2 形の構成は図 3.2 に、そのおもな仕様は表 3.1 に、またその本体部の外観を図 3.3 に示してある。

3.1 加速管

3.1.1 構造

加速管は遅波回路の構造としては円板装荷導波管 (disk-loaded waveguide) であり、電鍍法によって製作されている。ML-1 形の場合は、精密に工作された円板 (工作精度 $\pm 2\mu$, 表面仕上 0.3s) を金メッキした後、同じく精密に工作されたアルミニウムスペーサとともに治具で組み立て、外部を電鍍しその後アルミニウムスペーサは

溶解する。ML-2 形の場合は銅スペーサを用いている。

加速管を何本も接続する場合には軸合わせの精度が問題となるが、ML-2 形の場合は加速管架台および加速管支持具を精密に組み立てることにより、垂直面水平面ともに $\pm 0.01 \text{ mm}$ に 2 本の加速管を接続している。

3.1.2 特性

(1) パンチャ部

ML-2 形のパンチャ部の設計は、ビーム電流 300 mA、入力高周波電力 2 MW として行なった。図 3.5 (a) と (b) は図 3.4 に示される α と β_w を用いて式 (2.4) と式 (2.5) を解いて、ビームのエネルギーおよび位相特性を求めた結果である。図 3.6 は、この α と β_w を用い参考文献 (1) の計算式により加速管の寸法を計算した結果である。以上の計算には IBM7090 計算機を使用した。加速管の寸法は計算式が近似式であることと高い精度が必要であるために、実際には与えられた周波数で共振する寸法を実験によって最終的に定める。パンチャ部の長さは約 80 cm である。

(2) レギュラ部

ML-2 形のレギュラ部加速管の円板の孔径 $2a$ は約 20.9 mm で、これは従来の国産機と比較してかなり小さい値である。円板の厚さは約 5.8 mm で、これは逆に大きな値となっている。円板の厚

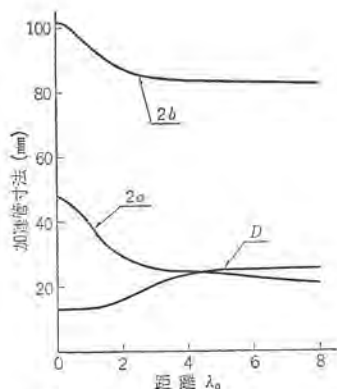


図 3.6 ML-2 形パンチ部の寸法
Fig. 3.6 Dimensions of buncher section of ML-2.

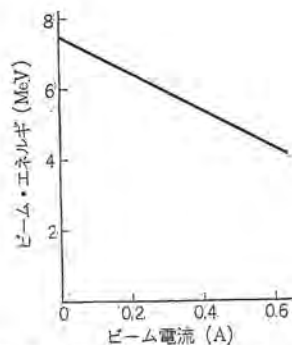


図 3.7 ML-2 形 Beam Loading 特性
(設計値)
Fig. 3.7 Design value of beam loading characteristic of ML-2.

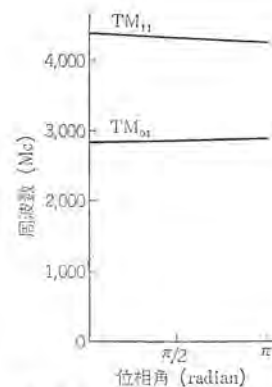


図 3.8 ML-2 形加速管の Brillouin Diagram
Fig. 3.8 Brillouin diagram of accelerating waveguide of ML-2.

さは薄いほうが加速管の性能としては良いが、加速管の機械的強度、管内の放電などに関しては厚いほうが良い。

加速管の特性は減衰定数は 0.3 neper/m 、シャント・インピーダンスは $47 \text{ M}\Omega/\text{m}$ 、群速度は $0.01 C$ 、位相速度は C 、 Q 値は 10^4 であり、加速管長は約 70 cm となっている。図 3.7 はビーム電流にたいして、得られるビーム・エネルギーの設計値を示したものである。

(3) モード特性

ML-2 形のレギュラ部加速管のモード特性をテスト・キャビティにより測定した結果が図 3.8 である。TM₀₁ モードは基本伝送モードであり、これによって電子は加速される。TM₁₁ モードは最近大電流線形電子加速器で問題となっている Beam Blow-up 現象の原因と考えられているもので⁽³⁾、加速管中のビームによって発振し、ビームと逆方向に伝搬する性質をもつものである。

3.1.3 加速管冷却装置

加速管は寸法精度の上から動作時の温度を一定に保たなければならない。周囲温度の変化のみならず、マイクロ波の伝送損失のための温度上昇があるから、温度自動制御の冷却装置を用いて $30^\circ \pm 0.25^\circ \text{C}$ に保っている。温度変動はエネルギーの安定度に、加速管にそう温度コウ配はエネルギー・スペクトルに関係する。

熱の伝達係数を上げるため、冷却水は加速管外壁に沿ってラセン状に取り付けられたフィンによる通路を流れるようになっている。加速管に沿って集束コイルがあるので、冷却水の出入口は加速管のフランジに取り付けられている。図 3.9 は加速管出口水温の安定度の測定結果である。

3.1.4 加速管集束コイル

加速管の基本電磁界である TM₀₁ モードでは、軸方向加速電界成分 E_z のほか電界の半径方向成分 E_r と磁界 H_ϕ が存在し、ビームは半径方向の発散力も受ける。このほかビーム電流の空間電荷効果によるビームの発散を防ぐためにビームの集束が必要となる。通常加速管の周囲に取り付けられた多層ソレノイドコイルの軸方向磁界により集束を行なう。 E_r に基づく発散力は、電子の速度が光速に近いレギュラ部では H_ϕ 効果により打ち消されてほとんどゼロとなり、また一般に空間電荷に基づく効果は E_r の効果に比べて無視しうるし、相対論領域では、電子の質量増加や加速管長のローレンツ短縮などのため、通常の線形電子加速器ではエネルギー 10 MeV 程度以上の部分においては集束コイルは不必要となる。

ML-2 形の場合必要な磁束密度はパンチ部で約 $1,000 \text{ G}$ 、残りの部分で約 400 G 程度である。コイルの重量を軽減するためと、

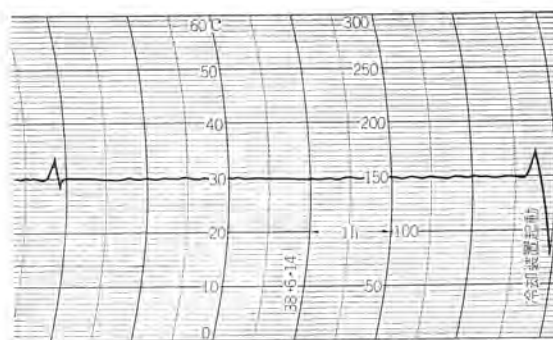


図 3.9 ML-2 形加速管冷却水温度の安定度の測定結果
Fig. 3.9 Result of temperature stability measurement of accelerator waveguide cooling water.

放射線損傷を防ぐためにアルミニウム線も使用した。コイルを小形にするには加速管に直接巻く形式がよいが、その場合には加速管の温度制御に負荷となる点、加速管とコイルの軸合わせ、加速管の重量増加に伴う支持方法の改良などに十分の考慮を払う必要がある。

3.2 入射装置

3.2.1 電子銃

電子銃は通常の熱陰極 2 極管と原理的には同じであり、水冷アノードは接地されており、カソードに -80 kV のパルス電圧が印加され、速度約 $C/2$ の電子を放出する。ビームの集束は加速器の性能上とくに重要で、平行ビームで径の細いことが特性上望ましく、そのため電子銃の形式はピアス形となっている。カソードは、ML-1 形ではタンガステンの、ML-2 形ではタングスタンの直熱形であり、ビーム電流が電源周波数で変調されることを防ぐために直流加熱方式となっている。電子流の制御にはヒータ電流を変える方式、すなわちカソードは温度制限領域で使用している。これは加速管の性質上入射電圧を一定に保つ必要があるためである。電子銃はインピーダンスが高いので、並列に無誘導抵抗を接続してインピーダンスをさげている。エミッション電流はセン頭値で約 1.5 A まで得られている。

3.2.2 パルス・トランス

ML-2 形ではセン頭値 80 kV のパルス電圧を得るために 1:8 (ML-1 形では 1:16) のパルス・トランスを使用し、トランス本体は油タンクの中に入れてある。ヒータ電力供給のためバイファイラ方式となっており (ML-1 形ではモノファイラ方式で、ヒータ電力はパルス・トランス高圧側の絶縁トランスより供給している)、設計にはと

くに立上り特性を良くするように注意した。ML-2 形の パルス・トランス は 直流 バイアス 方式で、磁心は 0.1 mm 厚さの センパシル を用い、立上り時間 0.2 μ s、サグ 2.5%/ μ s の性能を得ている。

3.2.3 パルサ

ML-2 形では P.F.N., サイロトロン 5949 (ML-1 形では 2G2P) を使用した ライン 形 パルサ で、出力は電源のスライダックにより 0~15 kV 連続可変である。パルス 幅は 4.2, 2.2, 1.2 μ s 切り換えて使用できる。直流電源は整流管 3K76 を用いた三相全波整流回路を用いている。

3.2.4 プリバンチャ

電子銃からでた電子 ビーム は高周波 (加速管に供給される高周波電力と同一の電源からでたもの) で励振されている プリバンチャ 空洞を通過する。この空洞は クライストロン の入力空洞と同じ作用で ビーム に速度変調を与える。設計では 80 ± 1.0 kV に速度変調された電子群は、加速管入口までの約 190 mm のドリフト・スペースで集群作用を受け密度変調される。単一空洞方式では理論的には高周波 1 サイクルの電子流のうち約 67% が $\pm 30^\circ$ に集群する。このため バンチャ 部の設計が楽になり、ビーム 電流の増加、エネルギー・スペクトルの改善などに役立つ。高周波電力は バンチャ 部入力導波管回路から 20 dB の方向性結合器で約 1 kW を取り出し、減衰器と移相器で最適動作状態に調整する。

3.3 クライストロンおよび電源

3.3.1 クライストロン

高周波の最終電力増幅管として、パリアン社の クライストロン VA-820C 1 本を使用している。VA-820C は水冷、シールド、4 空洞の パルス 増幅用の クライストロン で入力と同軸 ケーブル、出力は導波管となっている。周波数は 2,856 Mc に固定されており、出力半値幅は 25 Mc である。励振入力 40 W にたいして出力は 5 MW が得られ、飽和利得は 51 dB となっている。パルス 幅は最大 5 μ s、デューティの最大は 0.002、ビーム 電圧 130 kV、ビーム 電流 94 A で、その能率は 41% になっている。

3.3.2 パルス・トランス

130 kV の パルス 電圧を得るために 1:10 の パルス・トランス を用いている。トランス はクライストロンの カソード 部分とともに油タンクの中に入っている。ヒータ 電力供給のために バイファイラ 巻きとなっており、設計にはとくに サグ を小さくするように注意した。直流 バイアス 方式で、磁心は厚さ 0.1 mm の センパシル を使用し、立上り時間 0.5 μ s、サグ 0.7%/ μ s の性能が得られている。

3.3.3 パルサ

20 セクションの P.F.N. (パルス 幅 5 μ s)、サイロトロン 1257 使用の ライン 形 パルサ で、出力は I.V.R. により 5~15 kV 連続

可変である。直流電源は整流管 2-450A を用いた三相全波整流回路を使用している。

3.4 クライストロン励振部

励振部は クライストロン VA-820C の励振電力を供給する回路で、その構成は反射形 クライストロン を使用した発振部と中出力 パルス 動作進行波管を使用した増幅部とからなっている。すなわち、出力 1 W (連続波) の クライストロン 3V30 で 2,856 Mc の発振 (± 10 Mc 可変) を行ない、発振周波数の安定化には石英空洞を sensing 空洞として使用して安定度 10^{-5} 以下を得ている。図 3.10 は安定度の測定結果であり、図 3.11 は安定回路の系統図である。進行波管は TW-302 で出力は最大 2 kW である。図 3.12 は TW-302 の動作特性の一例である。

3.5 大電力マイクロ波伝送回路

クライストロン をでてから加速管へ入るまでの立体回路系で、いわゆる ダブル・フィード 方式となっている点を特長としている。クライストロンの出力、ダミーロード へ入る電力、クライストロン 出口における反射電力の電力と波形がそれぞれ観測できるようになっている。大電力部の導波管はフロン 12 または窒素 ガスを 2.1 kg/cm² (絶対圧力) まで加圧して耐圧を上げている。おもな構成部品はドーナツ形高周波結合器、セラミック 製高周波窓、大電力減衰器 (円形導波管の回転により偏向面を回転させ、電力分割比を可変にする方式で遠隔操作が可能である)、大電力移相器 (セラミック 棒のそう入により移相量を変える方式で遠隔操作可能である)、3 dB 電力分割器、水負荷大電力無反射終端などである。

3.6 排気装置

速動弁の可動部分を除くすべての真空接手には、インジウム または金の ガasket を使用している点が特長である。将来は イオン・ポンプ を使用する予定であるが、現在は排気速度 300 l/sec の油拡

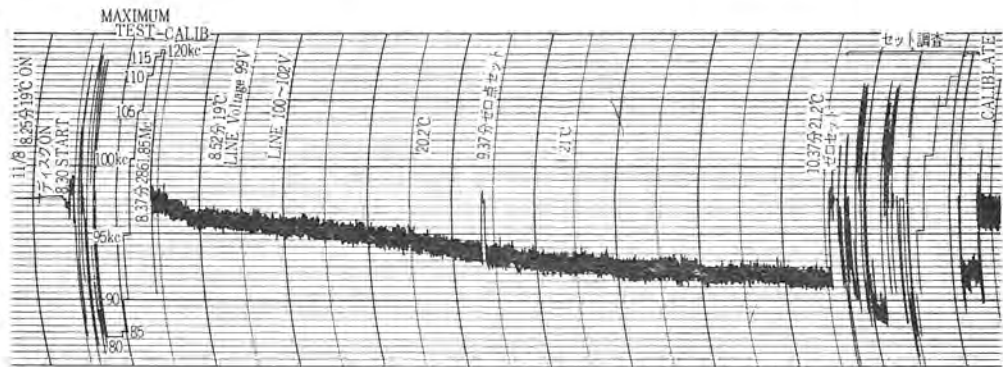


図 3.10 3V30 発振器の周波数安定度測定結果
Fig. 3.10 Result of frequency stability measurement of 3V30 oscillator.

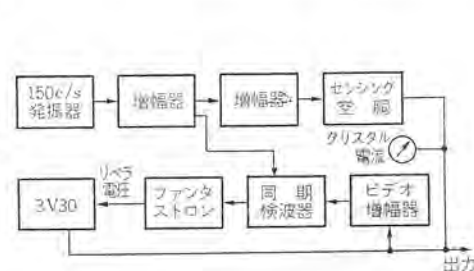


図 3.11 3V30 発振器の周波数安定化回路の系統図

Fig. 3.11 Schematic diagram of frequency stabilizing circuits of 3V30 oscillator

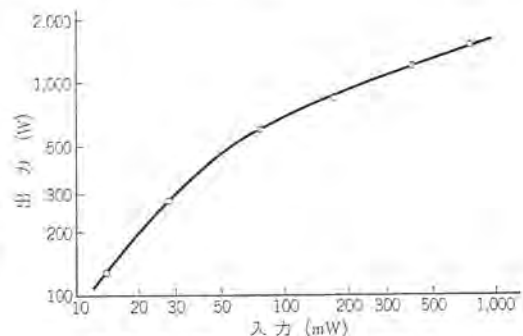


図 3.12 進行波管 TW-302 の特性
Fig. 3.12 Characteristic of travelling wave tube TW-302.

散ポンプ2台を使用している。始動後30分間で真空度は 1×10^{-6} mmHgに到達している。

3.7 ビーム測定装置

ビーム測定装置は、加速管から出た電子ビームの特性を測定する装置および加速ビームを用いて実験する装置まで導く部分で、次のものから構成されている。

3.7.1 ファラデー・カップ

電流測定用のコレクタで、入口窓には 30ϕ , 0.1 mm/g厚のアルミニウムハフ(箔)を用い、内部は真空にして使用する。コレクタ部分はステンレスで、その外側に水冷された鉛のシールドを配置してある。二次電子の放出を防ぐために、入口に200Vのサプレッサ電圧をかけ、さらに永久磁石を内蔵している。後部にリアンナを直結できる構造となっており、10 MeV, 6 kWまでの電子ビームの測定ができる容量をもっている。

3.7.2 X線発生装置

内部を水冷できるようにした回転式ターゲットで、ターゲット部分は1.2 mm厚の金を10 mm厚の銅で裏張りした構造を採用し、6 kWの熱損失に十分耐えられるように設計されている。6 MeV, 平均電流500 μ Aの電子ビームにより約4,000 r/min.at/mの強度のX線を発生することができる。

3.7.3 ビーム・モニタ

環状磁心中を通過するパルス状のビーム電流によって、磁心に誘起される磁束を検出することにより、ビーム電流のパルス波形を測定する装置で⁽⁴⁾、セン頭値1.5 Aまでのビーム電流の測定ができる。図3.13は測定回路の原理を示すものである。この装置の使用によりビーム電流をさえぎることなく、そのセン頭電流値と波形を常にモニタすることができる。

3.7.4 Q電磁石

きわめて小形に作られたQ電磁石で、平行入射の場合10 MeVの電子ビームを電磁石から50 cmのところまで集束できる性能をもっており、その電源はトランジスタ化され 10^{-4} の安定度をもっている。

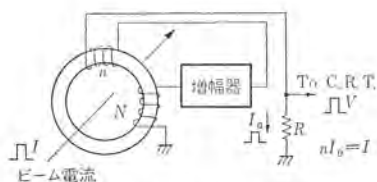


図 3.13 ビーム・モニタ回路の原理

Fig. 3.13 Principle of pulsed beam current monitor.



図 3.14 ML-2 形主制御盤の外観

Fig. 3.14 View of main control desk of ML-2.

3.7.5 XY モニタ

遠隔操作可能な電動式スリットで、コレクタは直接内部を水冷できる構造をもっている。ギャップは誤差2.5%以内で0.2 mmまで読みとることが可能である。

3.7.6 分析電磁石

偏向角 $+60^\circ$, 0° , -60° の3方向電磁石で10 MeVの電子ビームまで分析可能である。磁界強度は最大1,400 G, 曲率半径は300 mm, 磁極間隔は38 mmであり、その電源はトランジスタ化されており、 10^{-4} の安定度をもっている。

3.8 制御盤および保護装置

ほとんどすべての操作は制御室で行なうことができる。人体および機器の保護装置を取り付け、インタロック方式により準備完了までは運転できず、運転中の事故の場合は自動的に運転は停止し、かつ事故表示回路により事故箇所が運転者に指示できる構造になっている。図3.14は主制御盤の外観図である。

4. 加速ビームの測定

4.1 透過率

電子銃の全エミッション電流とコレクタに到達した加速電子ビームの割合は、加速の条件すなわち集束コイルの電流、マイクロ波周波数などで大きく変わるが、ML-1形とML-2形のいずれも最大約40%程度の透過率が得られている。

4.2 バンチャ部の特性

ML-2形ではバンチャ部の測定をまず行なって、最適動作周波数を決定してから、その周波数に合わせてレギュラ部加速管を製作した。周波数決定に用いたバンチャ部特性のうちエネルギー・スペクトルの周波数特性を図4.1に示す。

4.3 ビーム電流対ビーム・エネルギー特性

線形電子加速器の性能を決定する重要な特性の一つであるビーム電流対ビーム・エネルギー特性(Beam Loading)は、パルス幅および高周波電力で取り出しうるビーム電流とそのときのビーム・エネルギーとの関係を示すものである。図4.2はML-2形のBeam Loading特性の測定値である。

4.4 エネルギー・スペクトル

エネルギー・スペクトルは加速器の性能を決める重要な特性で、図4.3はML-1形の、図4.4はML-2形のエネルギー・スペクトルである。エネルギー・スペクトルはビーム電流強度を電流の平均値でとるか、電流のパルス値でとるかによって異なってくる。図4.3は平均電流で

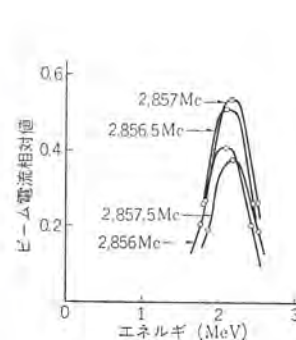


図 4.1 ML-2 形バンチャ部のエネルギー・スペクトルの周波数特性
Fig. 4.1 Frequency characteristic of energy spectrum of ML-2 buncher section.

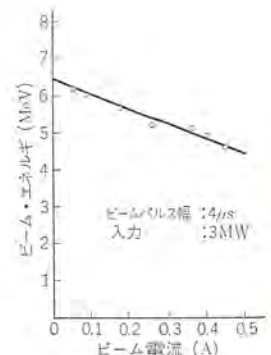


図 4.2 ML-2 形 Beam Loading 特性の測定値
Fig. 4.2 Measurement value of beam loading characteristic of ML-2.

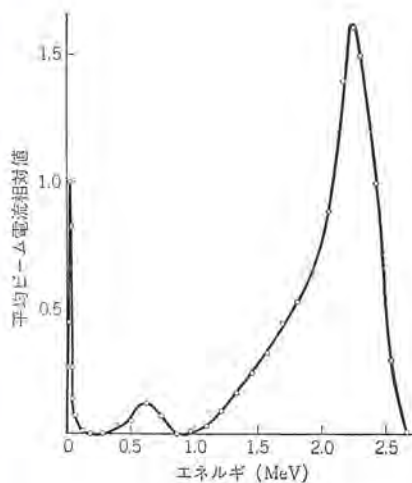


図 4.3 ML-1 形の エネルギー・スペクトル
Fig. 4.3 Energy spectrum of ML-1.

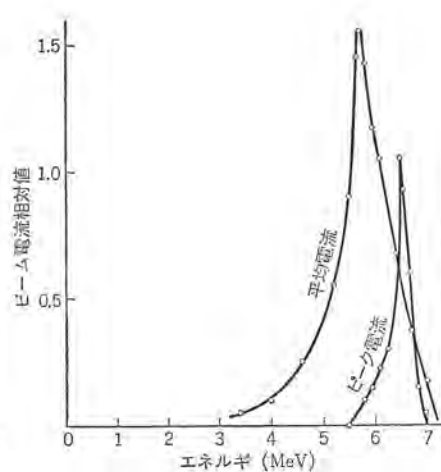


図 4.4 ML-2 形の エネルギー・スペクトル
Fig. 4.4 Energy spectrum of ML-2.

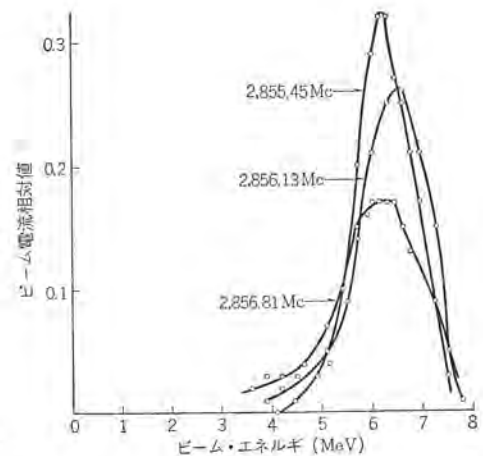


図 4.6 ML-2 形の エネルギー・スペクトルの
周波数特性
Fig. 4.6 Frequency characteristic of
energy spectrum of ML-2.

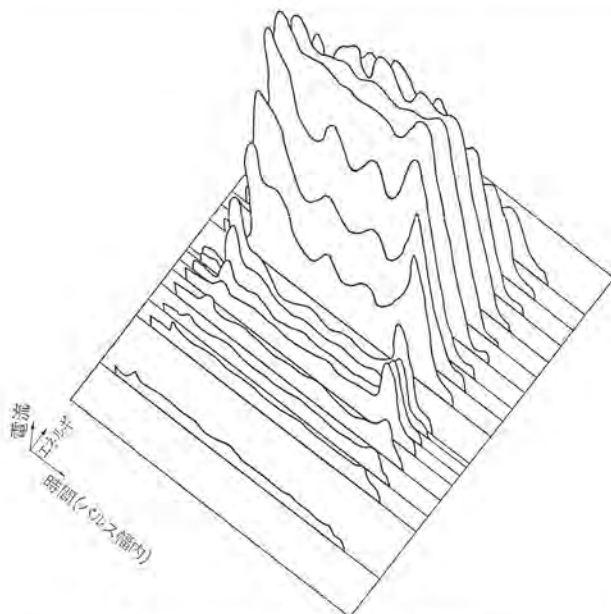


図 4.5 エネルギーによる ビーム・パルス 波形の変化
Fig. 4.5 Energy distribution of pulsed beam current.

とった場合で約 $\pm 10\%$ を示し、図 4.4 の ML-2 形では平均電流でとると約 $\pm 8\%$ 、パルス電流でとると約 $\pm 2.3\%$ となっている。またパルスでみる場合には、パルス幅内の時間点によってもスペクトルは異なる。図 4.4 はパルスの中間よりやや初めの部分で、最も良いスペクトルを示した部分である。図 4.5 は ML-1 形で分析磁石の電流を変えて ビーム・パルス の波形を撮影して製作した三次元模型を スケッチ したもので、このことをよく示している。

図 4.6 は ML-2 形の エネルギー・スペクトル の周波数特性で、周波数によって大きく変わることがわかる。このときは レギュラ 部へマイクロ波電力を供給する回路の移相器の調整が非常に重要であり、2,856 Mc より高い周波数でスペクトルが悪くなっているのは、この移相器の調整が不十分であったのではないと思われる。

4.5 ビーム電流

加速 ビーム の径については、各種の実験によりほとんどの電流が約 10 mmφ にはっていることを確めた。ビーム電流の測定にはコレクタとビーム・モニタの2方法で行なったが、波形も含めてよく一致した結果が得られている。図 4.7 (a) と (b) は ビーム 波形の例で、(b) では加速管をでるマイクロ波電力パルスは Beam Load-

ing のためにパルスの波形が変わっていることがよくわかる。現在までに得られたビーム電流の最大値は $4\mu\text{s}$ 幅のパルスでは約 500 mA、 $2\mu\text{s}$ 幅のパルスでは約 600 mA であり、これは電子銃の容量と次に述べる Beam Blow-up から現在では限界となっている。

4.6 Beam Blow-up

線形電子加速器でビーム電流を増すにつれて、ビーム・パルスの後部からビームが失われてゆく現象が起こる。これが Beam Blow-up または Pulse Shortening と呼ばれる現象で、大電流の線形電子加速器の設計において非常に重大な問題となるものである。この原因については種々の説があり、ある程度解明されている⁽⁴⁾。経験的にはパルス幅が広いほど、加速管が長いほど小さなビーム電流から起こりはじめることが知られている。ここではその原因の探究およびその防止方法についての資料を得るために、ML-2 形を用いて実際に Beam Blow-up を起こさせてみた結果を述べる。

(1) 加速管入力 マイクロ波電力の影響

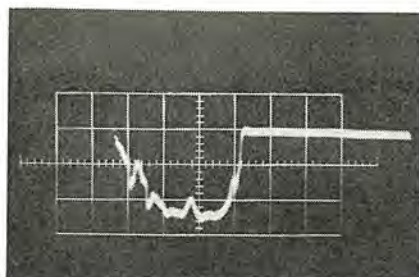
レギュラ 部へ入るマイクロ波入力を 1.5, 0.75, 0 MW とした場合、Beam Blow-up 開始電流はパルス幅 $4\mu\text{s}$ についてそれぞれ 420 mA, 370 mA, 240 mA であった。マイクロ波電力が少ないほど、すなわちエネルギーが低いほど起こりやすいことがわかる。図 4.8 (a) と (b) はそれぞれ Beam Blow-up が起こる前と起こっているときのビームの波形である。Beam Blow-up が起こっているときは、加速管中に 4,258 Mc の進行波が検出されるが、これは加速管の TM_{11} モードである。図 4.8 (c) は Beam Blow-up を起こしているビームの波形と同時に 4,258 Mc の検波波形も示している。図 4.8 (d) はビームの波形と加速管をでるマイクロ波電力の波形を示しているが、Beam Blow-up でビームのかけたところにも Beam Loading のあることを示している。

(2) パルス幅の影響

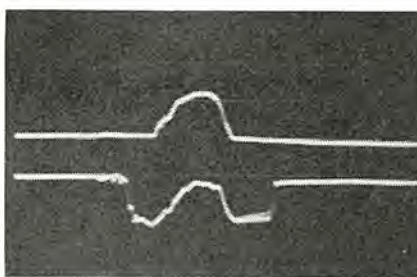
ビーム・パルス幅が $2\mu\text{s}$ のときはマイクロ波入力 0 の場合に Beam Blow-up 開始電流は 380 mA であり、パルス幅が狭いほど Beam Blow-up を起こす電流は大きくなることがわかる。このときのビームの波形が図 4.8 (e) である。

(3) その他

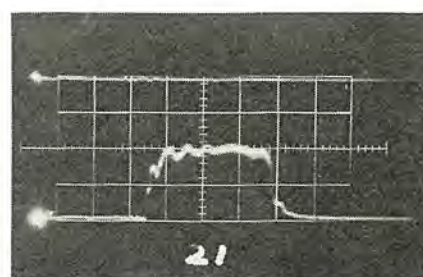
その他 Beam Blow-up に影響を与えそうな要因、すなわち集束磁界強度、マイクロ波周波数、ステアリングなどの影響も調べたが、



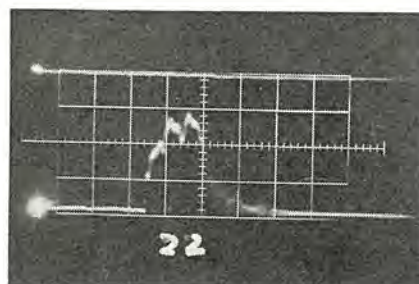
(横軸: 1 目盛 1 μ s,
縦軸: 1 目盛 420 mA)
図 4.7 (a) パルス・ビームの波形
Fig. 4.7 (a) Wave form of pulse beam
current
(horizontal axis: 1 μ s/div., vertical
axis: 200 mA/div.).



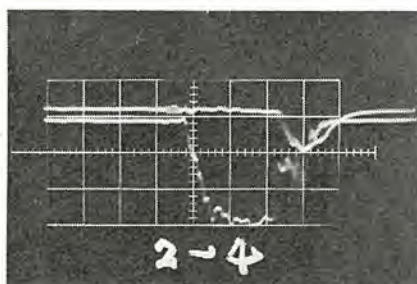
(横軸: 1 目盛 1 μ s,
縦軸: 1 目盛 420 mA)
図 4.7 (b)
上: パルス・ビームの波形
下: 加速管をでる マイクロ波パルスの波形
ビーム・ローディングを示す
Fig. 4.7 (b) Upper: Wave form of
pulse beam current (horizontal axis:
1 μ s/div., vertical axis: 200 mA/div.)
below: Wave form of pulse microwave
power out of accelerating wave guide,
showing heavy beam loading.



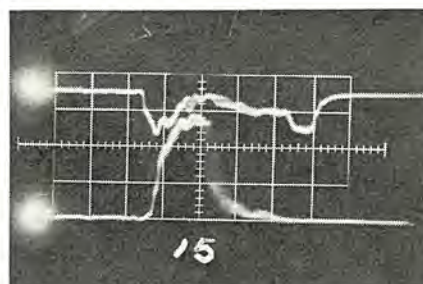
(横軸: 1 目盛 1 μ s,
縦軸: 1 目盛 200 mA)
図 4.8 (a) Beam Blow-up を起こす
前のビームの波形
Fig. 4.8 (a) Wave form of beam pulse
before beam blow-up (horizontal axis:
1 μ s/div., vertical axis: 200 mA/div.).



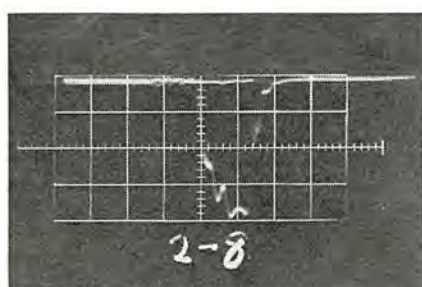
((a) と同スケール)
図 4.8 (b) Beam Blow-up を起こして
いるビームの波形
Fig. 4.8 (b) Wave form of beam pulse
when beam blow up occurs (same scale
as in (a)).



(横軸: 1 目盛 1 μ s,
縦軸: 1 目盛 100 mA)
図 4.8 (c) Beam Blow-up を起こして
いるビームとそのとき発生する 4,258 Mc
の検波出力 (右側)
Fig. 4.8 (c) Wave form of beam pulse
and the rectified wave of the generated
4,258 Mc wave (right hand side) when
beam blow-up occurs (horizontal axis:
1 μ s/div., vertical axis: 100 mA/div.).



((a) と同スケール)
図 4.8 (d) Beam Blow-up の起こして
いるときのビームの波形と加速管をでるマ
イクロ波電力の波形
Fig. 4.8 (d) Wave form of beam pulse
and microwave power pulse when beam
blow-up occurs. (same scale as in (a))



((a) と同スケール)
図 4.8 (e) 2 μ s パルス・ビームの beam blow-up
を起こす直前の波形
Fig. 4.8 (e) Wave form of 2 μ s beam
pulse just before beam blow-up occurs.

明確な結果は出ていない。

5. む す び

主として ML-2 形を中心に、中央研究所で試作した線形電子加速器の構造と性能について述べたが、とくに ML-2 形は予想以上の大電流をとることができ、非常に優秀な性能をもつことが確認

できた。これらの試作機により設計上の問題点の解明、構成部品の改良が行なわれ、さらに高性能の装置の設計および製作のための貴重な資料が得られた。

最後に本加速器の開発研究に協力していただいた島田理化学工業株式会社および新三菱重工業株式会社の関係者各位に厚く謝意を表す。

(昭 39-1-11 受付)

参 考 文 献

- (1) J.M. Ponce de Leon: "Design of the bunching section of the Stanford Mark IV linear accelerator" M.L. Report No. 265 (1955).
- (2) E.L. Chu and W.W. Hansen: "The theory of disk-loaded wave guides" Journal of App. Phys. 18, 996 (1947).
- (3) M.C. Crowley-miling et al.: "Pulse-shortening in electron linear accelerator" Nature 191, 483 (1961).
- (4) R. Yamada: "New magnetic pick-up probe for charged particle beams" Japanese Journal of App. Phys. 1, 92 (1962).

半 導 体 放 射 線 検 出 器

清水潤治*・宮下恭一*
高田 守*・須川嘉幸*

Semiconductor Nuclear Particle Detectors

Research Laboratory Jyunji SHIMIZU ・ Kyōichi MIYASHITA
Mamoru TAKATA ・ Yoshiyuki SUGAWA

A semiconductor radiation detector of P-N junction type is found very attractive with its many outstanding features. By the use of a 5,000 ohm-cm P-type silicon crystal, a number of detectors of the same size (4×4.5mm) are manufactured and tested. The best energy resolution made available is 0.7% for 5.3 MeV α particles. The measurable upper energy limit of an α particle is tested by means of scattered α particles from carbon nucleus to find it 23 MeV. It may be expandable up to 28 MeV using a detector with 200V bias applied. As for the optimum energy resolution and a charge collection efficiency, two types of detectors are found, having an opposite inclination for the applied bias. Measurement of internal conversion electron of Co-57, is tried but two peaks corresponding to 115 keV and 129 keV can not be separated. Detection of thermal neutron is possible by the use of a boron converter.

1. ま え が き

近年放射線測定の分野で半導体を素子とした検出器が大いに注目を集めている。原子核研究・原子力応用・放射線医学その他の部門で新しい応用分野が開け、既存の測定器に取って代わりつつある。(1)~(3)

この半導体検出器の特長は、まず第一に、荷電粒子に対するエネルギー分解能がずばぬけてよいことである。また、高いバイアス電圧を要しないこと、パルスの応答が速いこと、入射粒子の種類に関係なくエネルギーに比例した出力が得られること、荷電粒子に対しては100%検出すること、 γ 線・中性子線のバックグラウンドの中で、荷電粒子を検出できること、小形堅ろうであることなど、いろいろ魅力がある。

われわれは、比抵抗 5,000 Ω -cm のシリコンを使って、この半導体検出器を試作した。得られた最高の分解能は、ポロニウムの α 線 (5.3 MeV) に対して 0.7% (37 keV) であった。漏れ電流は、100 V の逆バイアスにおいて 1 μ A 以下にすることができた。200 V を印加した場合、 α 線では約 28 MeV まで測定可能である。

2. 動作原理

P-N 接合形放射線検出用ダイオードは、電離箱と同じような働きをする固体を用いた放射線検出器である。その動作原理を図 2.1 に示す。(4) 高比抵抗 (5,000 Ω -cm) の P 形シリコン母材に、リンを拡散して P-N 接合をつくる。ここへ逆バイアス電圧を加えると、厚い空乏層が形成される。この厚み d は、次式で与えられる。

$$d = \sqrt{\frac{\epsilon(V+V_0)}{2\pi e N_a}} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで、 V : バイアス電圧(V), V_0 : 障壁の拡散電位 ≈ 0.6 V, N_a : アセタラのネットの濃度 ($1/\text{cm}^3$) である。ここでネットというのは、P 層におけるアセタラの数からドナーの数を引いたものである。

ここに放射線が入射すると、その飛跡にそって電子-正孔対がつくられる。1 対の電子-正孔対をつくるのに、入射放射線は平

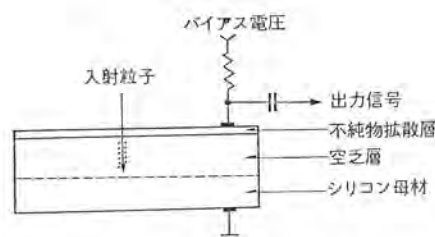


図 2.1 動作原理

Fig. 2.1 Schematic drawing of P-N junction detector.

均 3.5 eV のエネルギーを失う。こうしてできたキャリアは、空乏層中の強電界 ($\geq 10^5$ V/cm) によって引き離され、それぞれの電極に集められて、パルスを形成する。これを低雑音増幅器で増幅し、波高分析器にかけて分析するわけである。

半導体検出器の分解能がきわめてすぐれていることは、1 対の電子-正孔対をつくるに要するエネルギー、いわゆる W -値が、きわめて小さいことに起因する。たとえば、従来のガス電離式の測定器においては、1 対のイオン対を生ずるのに平均約 30 eV のエネルギーを消費する。しかるに、シリコンでは、これは 3.5 eV にすぎない。(5)

ポロニウムの α 線 (5.3 MeV) の場合、シリコン中で発生するキャリア対の数を N 、その標準偏差を σ とすれば、

$$\begin{aligned} N &= \frac{5.3}{3.5} \times 10^6 = 1.5 \times 10^6 \text{ (対)} \quad \dots\dots\dots (2.2) \\ \sigma &= 1,200 \text{ (対)} \\ \sigma &= 4.4 \text{ keV} \end{aligned}$$

分解能 (Full Width Half Maximum) $= 2.36 \sigma = 10 \text{ keV}$
これが、統計に基づく理論的な分解能の限度である。実際には、これに検出器の漏れ電流による雑音、増幅器回路の雑音が大きく重畳するわけである。

3. 素子の設計

さて、放射線検出用ダイオード (以下ダイオードという) を設計する際、検出可能な放射線のエネルギーを広くとりたいのか、あるいは分解能に重点をおいて検出可能なエネルギー範囲はそれほど広くなくともよいのか、によって考え方は異なってくる。現在までに開

発したのは、主として小形の高分解能素子であるが、ここでは基本的な考え方について述べてみたい。

まず、放射線のエネルギーは、100% 空乏層中で消費されなければならない。ところが現実のダイオードでは放射線は薄い拡散層を通して入射し、ここでいわゆる窓効果のためにエネルギーを浪費する。

また、空乏層が薄いと、放射線は空乏層を突き抜けてしまうかもしれない。母材として P 形シリコンを使った場合、空乏層の厚みは、近似的に

$$d = \frac{\sqrt{\rho V}}{3} (\mu) \quad (3.1)$$

で与えられる。ここで、 ρ はシリコン母材の比抵抗 ($\Omega\text{-cm}$)、 V は逆バイアス電圧 (V) である。したがって、放射線のエネルギーができるだけ空乏層中で消費されるためには、拡散層をできるだけ薄くし、母材の比抵抗を適当に選んで、空乏層は放射線がその中で止まるだけの十分な厚みをもつものとすればよいことがわかる。

たとえば、10 MeV の α 線 (シリコン中の飛程は 63μ) まで測定可能な素子をつくりたい場合、最大使用逆バイアス電圧を 100 V とすると、比抵抗を $350 \Omega\text{-cm}$ 以上にすれば、 63μ 以上の空乏層が得られる。

一方、拡散層の厚みについては、その厚さ 1.1μ の試料について、集電効率が 99.6% となった。これは表面層が最も薄いと考えられる表面障壁ダイオード (表面に金を $50\sim 100 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ に蒸着してある) の場合を 100% としている。これによれば、厚さ 1μ 以下の拡散層におけるエネルギー損失は、ほとんど無視できよう。

空乏層で消費された放射線のエネルギーは、電子-正孔対を生み出す。ここで作り出されたキャリアは、走行の途中で捕獲されたり、再結合して消滅したりせずに、100% ダイオードの電極に集められなければならない。このためには、ライフタイムは電子(あるいは正孔)が空乏層を走行する時間に比べて大きくなければならない。最初、数百 μs あったライフタイムが、拡散などの熱処理によって数 μs 程度まで減少することは、よく経験することであるが、熱処理においては、ライフタイムの低下を最大限にとどめる努力が必要である。

このようにして、入射した放射線のエネルギーは、電気信号に変換されるわけであるが、ダイオードには漏れ電流が存在し、これが雑音となる。実際のダイオードで高分解能を阻止する最大の要因は、この漏れ電流による雑音である。

一般に、漏れ電流は拡散電流、空乏層における電子と正孔の発生による、いわゆる発生電流、表面漏れ電流の三つの成分からなるが、シリコンにおいては、常温では拡散電流は他の 2 成分に比べて無視できる。発生電流は空乏層の体積に比例し、ライフタイムに反比例するので、ここでもライフタイムの大きいことが望まれる。最もやっかいなのが表面漏れ電流で、作り方の悪いダイオードでは、この成分が漏れ電流の大部分を占めることがある。ダイオードは高比抵抗のシリコンで作られるので、ふんい気によって表面状態が微妙に変化し、表面漏れ電流も変化する。いまのところでは、漏れ電流をさらに減少させ、表面を安定させることが、高分解能素子を得るための最大の課題である。

4. 素子の構造

われわれが試作したダイオードの構造を、図 4.1 に示す。ダイオードは、P 形 $5,000 \Omega\text{-cm}$ のシリコン単結晶を $4 \times 4.5 \times 1 \text{ mm}$ の

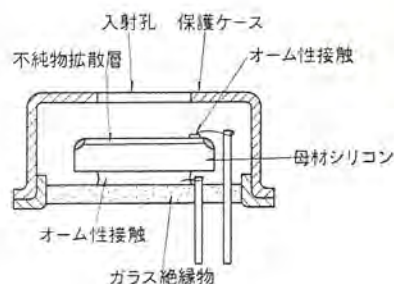


図 4.1 検出器の構造
Fig. 4.1 Structure of detector.

ペレットに切り出し、十分に化学研磨した後、リンを 1μ 以下の深さに拡散して P-N 接合とし、オーム性接触を設けて、ステムに取り付け、入射孔のあいたキャッチを溶接した。P-N 接合部には、シリコンワックスを塗布して耐圧を上げるとともに、外部のふんい気による汚染から保護した。

5. 素子の電気的特性

あるロットで製作した素子について、逆バイアスの変化に対する漏れ電流および接合容量の変化を、図 5.1 に示す。逆バイアス 100 V において、漏れ電流は $1 \mu\text{A}$ 前後になっている。この曲線の勾配が、ほぼ $1/2$ になっていることから、この電流がおもに空乏層における発生電流であるものと考えられる。

また、ダイオードの静電容量は、空乏層の式 (2.1) と、平行平板电容器の式

$$C_d = \frac{\epsilon A}{4\pi d} \quad (5.1)$$

とで与えられる⁽⁴⁾。ここに、 ϵ はシリコンの誘電率、 A は接合面積である。したがって、

$$C_d = \frac{A}{2} \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon N_a}{2\pi(V+V_0)}} \quad (5.2)$$

となる。すなわち、ダイオードの静電容量 C_d は、接合にかかる逆バイアスの $-1/2$ 乗に比例する。

図 5.1 において、静電容量の勾配が、ほぼ $-1/2$ になっていることは、この事情による。このことはまた、試作したダイオードが、階段状の不純物分布をもっていることを示している。

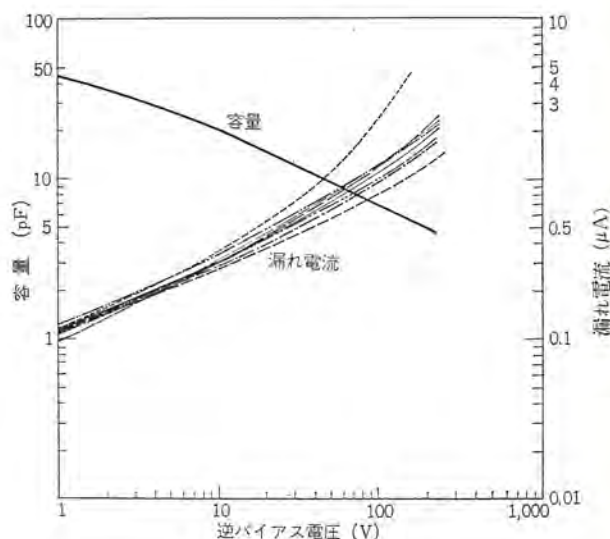


図 5.1 素子の電気的特性
Fig. 5.1 Electric characteristics of detectors.

6. 測定装置

6.1 増幅器系

半導体検出器の良さを十分発揮させるためには、雑音の少ない増幅器を用いなければならないし、利得も測定中安定でなければならない。また、出力パルス波高から入射粒子のエネルギーを決定しようとする場合、出力パルス波高は検出器の中で発生したキャリアの総数、換言すれば、電荷量に比例するものでなくてはならない。この事情は電離箱などと同様であるが、電離箱では、この電荷がその電気容量（検出器、増幅器入力を含めた）に作る電圧を利用してこれを増幅している。半導体検出器の場合は、検出器の電気容量は印加電圧の関数として変わるから、同一の入射エネルギーに対して必ずしも同一の電圧が発生しないことになる。このことは使用上不便であるのみならず、出力パルス波高の安定度にも関係してくる。そこで、増幅器出力電圧が入力電圧でなく、入力電荷に比例するような増幅器が必要となる。さらにまた、エネルギー分解能が良いためにマルチチャンネル波高分析器などを使用しても、まだチャンネル数が不足になる場合がある。これを補うために伸長増幅器 (Biased Amplifier) が必要になる。

われわれは、増幅器を低雑音にするため、前置増幅器の初段には相互コンダクタンスの大きく、かつグリッド電流の小さい3極管を用い、これをカスケード接続することにより5極管的な長所をもた

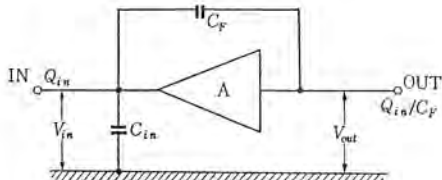


図 6.1 電荷増幅器の積分回路
Fig. 6.1 Integral circuit of charge sensitive amplifier.



図 6.2 低雑音電荷増幅器
Fig. 6.2 Low noise charge sensitive amplifier.

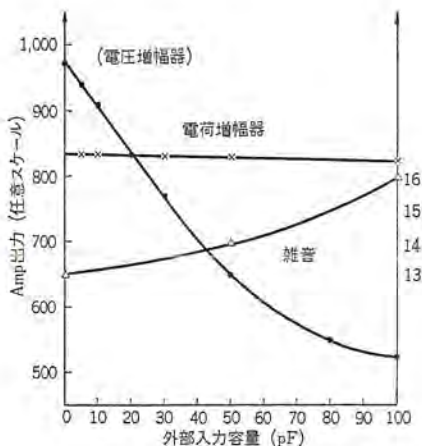


図 6.3 電荷増幅器の特性
Fig. 6.3 Characteristics of charge sensitive amplifier.

せた。また、利得の安定度は負帰還回路により実現したが、この負帰還用抵抗にはとくに温度係数の小さい金属皮膜抵抗 (50 ppm/°C) を用いた。また、利得に案外大きい影響をもつ真空管 ヒータ電圧も安定化した。

電荷増幅器としての特性は、図 6.1 のような積分回路を、初段に採用することによりもたせた。⁽⁶⁾⁽⁷⁾ この場合、出力電圧 V_{out} は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} V_{out} &= V_{in} \frac{\frac{1}{j\omega C_F} + \frac{1}{j\omega C_{in}}}{\frac{1}{j\omega C_{in}}} \dots\dots\dots (6.1) \\ &= V_{in} \left(1 + \frac{C_{in}}{C_F} \right) \\ &\simeq V_{in} \frac{C_{in}}{C_F} = \frac{Q_{in}}{C_F} \quad \left(\frac{C_{in}}{C_F} \gg 1 \right) \end{aligned}$$

こうして電荷増幅が可能になる。

また、伸長増幅器については、バイアス電圧と利得の安定度に留意し、最大実効感度が入射粒子 1 keV あたり、1 V 程度になるようにした。

試作した増幅器を図 6.2 その特性を図 6.3 に示す。雑音レベルは、入力容量 50 pF で、14 keV (FWHM) すなわち、5.3 MeV 相当のパルスに対して 0.26% の分解能を与えることになる。また、外部入力容量の変化 (0 pF → 50 pF) に対して、出力電圧の変化は 2% である。

測定装置全体のブロック線図を、図 6.4 に示す。検出器に発生した信号は、前置増幅器、主増幅器、さらに伸長増幅器によって増幅され、20 チャンネル波高分析器によりスペクトルを求める。

なお、上述の増幅器雑音の測定は次のような方法によった。今、ポロニウムの α 線 (5.3 MeV) が入射して空乏層中につくる電荷を考えると、次のようになる。

$$Q = \frac{5.3 \times 10^6}{3.5} \times 1.6 \times 10^{-19} = 2.4 \times 10^{-13} \text{ (クーロン)}$$

そこで図 6.5 のように、検出器の代わりに水銀パルサーから 2.4×10^{-13} クーロンの信号電荷を、前置増幅器の信号入力に与えると、パルサーのスペクトルが得られる。この広がりが増幅器の雑音を示すことになる。また、一度ダイヤル値を校正したパルサーは、任意のエネルギーの入射粒子に対する電荷を与えることができる。われわれは、かかる水銀パルサーを主増幅器に内蔵させ、増幅器の雑音を見ると同時に、あるエネルギーの入射粒子によって作られた空乏層中

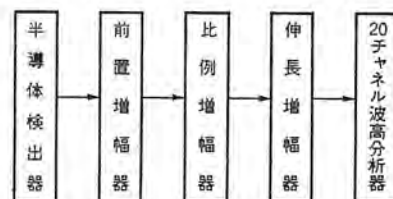


図 6.4 測定装置ブロック線図
Fig. 6.4 Block diagram of pulse height analysis system.

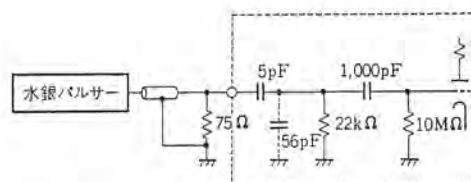


図 6.5 増幅器雑音の測定
Fig. 6.5 Measurement of amplifier noise.

のキャリアの集電効率をも見ることにした。

6.2 線源

本研究で使用した α 線源は、主としてポロニウム (Po^{210}) である。この Po^{210} は、 $\text{RaD}+\text{E}$ の硝酸溶液から銀板に電着させたものを用いた。 Po^{210} は、時間がたつに従って銀板中に拡散するために、得られる α 線のエネルギーに広がりを生ずるので、線源には常に新しいものを用いた。 β 線源には、 Co^{57} の内部転換電子を用い、やはり後方散乱と自己吸収には留意した。

6.3 測定用真空タンク

線源から放出された α 線は空気中を通るとき散乱を受け、そのためにやはりエネルギーに広がりを生ずる。これを防ぐため測定用の真空タンクをつくり、 10^{-3} mmHg 以下の真空中で測定した。

7. エネルギー分解能

このようにして測定したポロニウムの α 線 (5.3 MeV) のスペクトルを図 7.1 に示す。得られた分解能は 0.7% (37 keV) である。この値は、空乏層中でのキャリア発生統計的な広がり増幅器の雑音に、検出器の漏れ電流による雑音に加わったものである。

今、三つの素子について、その電気的特性を図 7.2 に、また逆バイアスに対する分解能の変化および集電効率の変化を、図 7.3

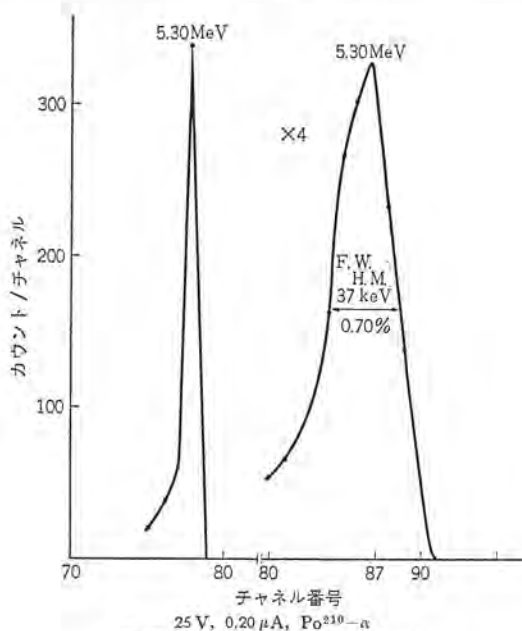


図 7.1 ポロニウム α 線のスペクトル
Fig. 7.1 Spectrum of $\text{Po}-\alpha$.

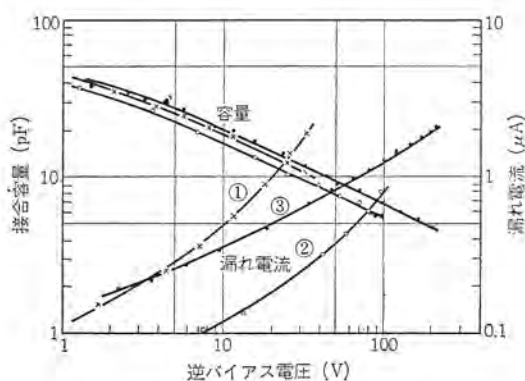


図 7.2 素子の電気的特性
Fig. 7.2 Typical characteristics of diode capacitance and reverse current.

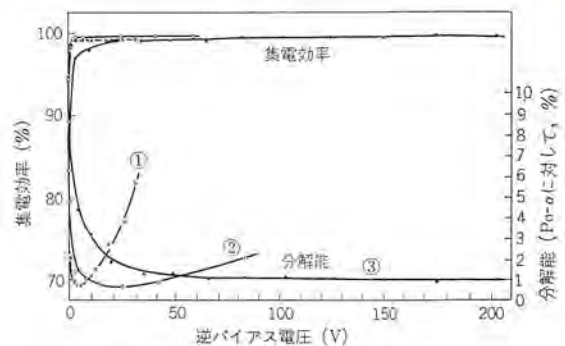


図 7.3 分解能と集電効率の変化
Fig. 7.3 Energy resolution and charge collection efficiency vs reverse bias voltage.

に示す。ここでいう集電効率は、入射した放射線によって空乏層中で発生したキャリアがどれだけ電極に集められるか、という割合であって、表面不感層が最も小さいと考えられる表面障壁形検出器を基準にとり、この出力電圧を 100 とした割合である。おもしろいことに、この三つの素子は、それぞれ特長的なふるまいを示している。第 1 のものは、集電効率が低いバイアス値ですでに飽和に達しており、分解能も低いバイアスで最もよくなっている。そして、こういう形のものには高バイアスがかけられない。また、第 3 のものは低バイアスでは集電効率・分解能ともに悪いが、しかし高バイアスをかけることができ、200 V 以上まで 1% の分解能を保っている。この分解能のよしあしは、素子の漏れ電流のよしあしと、必ずしも一致しないのである。同一ロットで作った素子でも、こういった異なった傾向が現われる。こういう事実は、まだ報告された例をみないが、半導体の内部的な性質と関連させて考えると興味あるものと思われる。

8. 測定可能なエネルギー上限

放射性同位元素として得られる α 線源は、高いエネルギーが 5~6 MeV である。そこで、これより高いエネルギーで、より長い飛程の放射線を測るため、京都大学のサイクロトロンを借りることにした。実験の配置を図 8.1 に示す。まず、サイクロトロンから 28 MeV の α 線を引き出す。これを反応タンクの中においたポリスチロールのターゲットにあてると、炭素原子核による α 線の弾性散乱 $C(\alpha, \alpha)$ C および非弾性散乱 $C(\alpha, \alpha')$ C' が起こり、出てくる α 線は、その方向 θ_L によって、いくつかのきまったエネルギーをもつようになる。このエネルギーを、原子核反応の Q -値および散乱粒子の角度 (実験室系で θ_L) から計算したものが、図 8.2 である。

検出器を $\theta_L=70^\circ$ において得たスペクトルの例を、図 8.3 に示す。検出器は回転する架台の上に取り付けられており、この角度を変えることによって、さまざまなエネルギーの α 線を測ることができる。こうして得られた結果をまとめたのが、図 8.4 である。

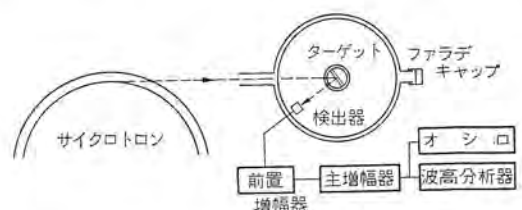


図 8.1 サイクロトロンによる実験
Fig. 8.1 Experimental arrangement for the measurement of upper energy limit.

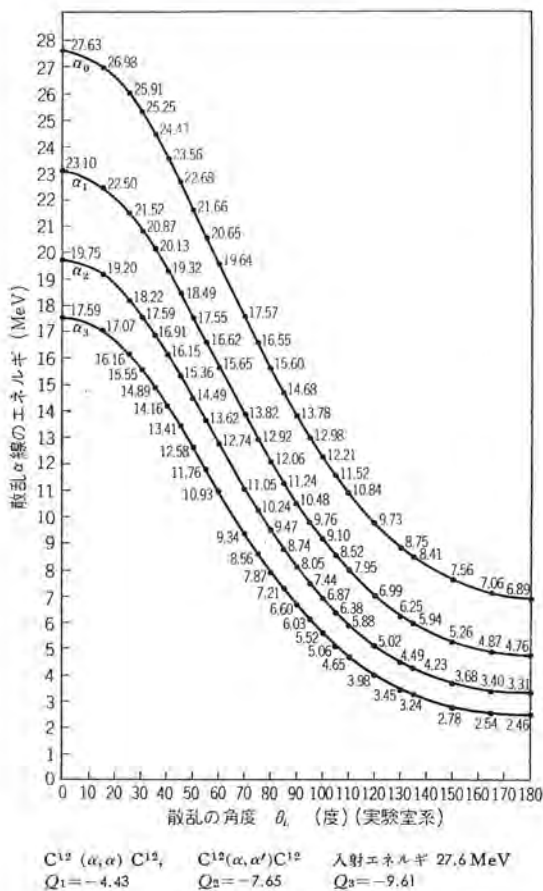


図 8.2 エネルギー計算図
Fig. 8.2 Calculated energy of scattered particles.

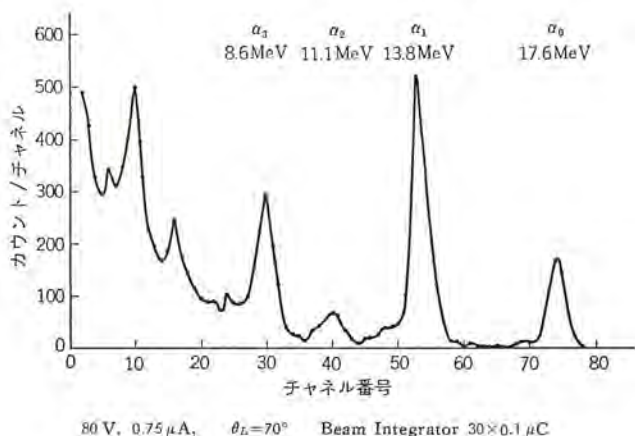


図 8.3 散乱 α 線のスペクトル
Fig. 8.3 Spectrum of scattered α particles.

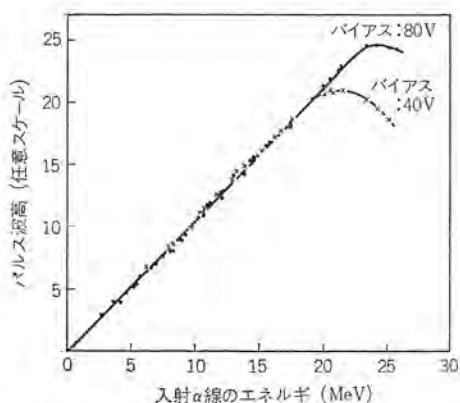


図 8.4 α 線のエネルギーと出力値
Fig. 8.4 Energy vs pulse height linearity.

この図で上側の曲線が逆 バイアス 電圧が 80 V のとき、下側が 40 V のときである。出力は入射粒子のエネルギーに比例していることがわかる。バイアスが 80 V のときの空乏層の厚みは、比抵抗とバイアス値から計算できるし、また検出器の面積と容量とから計算することもできる。それによれば空乏層は約 200 μ であって、ほぼ 20 MeV の α 線の飛程に相当する。しかるに、実験では 23 MeV まで比例した出力を得ている。このことは空乏層を突きぬけて、P 形母材中に進入した α 粒子による発生 キャリア が、空乏層に拡散してくることによるものであると考えられる。23 MeV 以上のところで出力が落ちるのは、 α 線の飛程がさらに長くなり、P 形領域で発生した キャリア が、十分空乏層へ集まらないためである。

以上の実験から考えると 200 V 印加した検出器では、ほぼ 28 MeV までの α 線が測定可能であることがわかる。この飛程は陽子線では約 7 MeV、電子線では約 320 keV に相当する。

9. パルス立上り時間

二つの素子について パルス 立上り時間を測定した。検出器に ρ ロゴム の α 線を入射させ、これを分布増幅器 (帯域幅 200 Mc) で電圧増幅し、高速度オシロスコープで観測した。立上り時間の定義としては、パルス 高さの 10% から 90% に至る時間をとった。結果を図 9.1 に示す。印加電圧が大きくなるに従い飽和値に達し、その値は約 $30 \sim 35 \times 10^{-9}$ sec であった。この値は、H. M. Mann et al⁽⁸⁾ の導いた関係

$$t(n \text{ sec}) = 5 \times 10^{-3} \rho (\Omega \cdot \text{cm}) \dots \dots \dots (9.1)$$

から、 $\rho = 5,000 \Omega \cdot \text{cm}$ とおいて得られる値 (25n sec) に比べて、やや大きい。われわれの場合、素子の厚みが空乏層に比べて厚い、すなわち素子の厚みが約 1 mm、空乏層の厚みが約 200 μ (バイアス電圧 80 V のとき) である。したがって、図 9.2 の等価回路に示したように、母材である高比抵抗シリコンと接合容量とで作る積分回路が、立上り時間をきめていると考えられる。立上り時間をより短くするためには、不必要な母材部分をなるべく薄くすることが必要であるとともに、1n sec 以下のものを得るためには、母材の比抵抗を下げ、200 $\Omega \cdot \text{cm}$ 以下のシリコンを用いる必要がある。このことは、高エネルギー用の素子と超高速用の素子とを、同一の素子で兼ねることはできず、別に設計しなければならないことを示している。

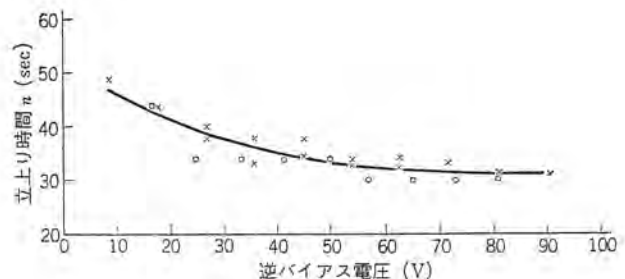


図 9.1 パルス 立上り時間
Fig. 9.1 Rise time vs bias voltage.

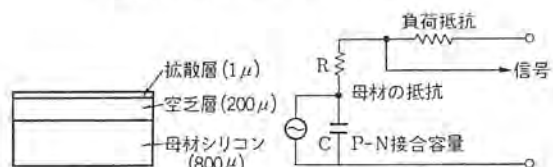


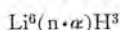
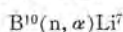
図 9.2 素子の厚さと等価回路
Fig. 9.2 Detector and its equivalent circuit.

10. β 線・中性子線の測定

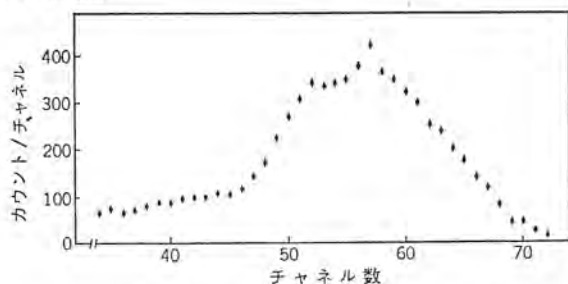
半導体検出器は、本質的にあらゆる荷電粒子を 100% 検出する。ただ β 線は質量が小さいので、エネルギーの割に飛程が長い。したがって、高エネルギーの β 線は空乏層の突き抜けを起こす。

一般の β 線は、連続スペクトルを持っているので、われわれはコバルト (Co^{57}) の内部転換電子を使うことにした。これは 115 keV および 129 keV の 2 本の電子線を出す。測定したスペクトルを図 10.1 に示す。ここでは 2 本の β 線のエネルギー差が、素子の分解能より小さいため、分離したスペクトルが得られていない。高比抵抗の母材を使って高耐圧の素子ができれば、より高いエネルギーの電子線も測定可能になる。

半導体検出器が注目されるいま一つの理由に、小形の中性子測定器として使えることがある。普通、中性子自身は検出されないのであるが、核反応を利用した適当な変換器を使って、中性子を荷電粒子に変換する。そのためには、中性子に対する反応断面積の大きい物質を様な薄い膜にする必要がある。おもに使用されている反応は、熱中性子に対しては、



などである。この $\text{B}^{10}(\text{n}, \alpha)\text{Li}^7$ の反応は、広い範囲にわたって、反応断面積の $1/v$ 則がなりたつ。われわれは、中性子のコンバータとして、濃縮ホウ素を使うことにした。この様な薄い膜をつくることは真空蒸着の方法によった。これを検出器の窓に近接しておけば、熱中性子が入射してできた α 線または反跳リシウムが、空乏層中に飛び込むことになる。この方法で、パラフィン中に没した $\text{Ra} + \text{Be}$ の熱中性子を、 γ 線のバックグラウンドの中で分離測定できることを確めた。



Co^{57} 115 keV 129 keV, バイアス電圧: 136 V

図 10.1 Co^{57} β 線のスペクトル
Fig. 10.1 Pulse height distribution for Co^{57} internal conversion electrons.

11. む す び

比抵抗 5,000 $\Omega\text{-cm}$ のシリコンにリンを拡散することにより、P-N 接合形放射線検出器を試作した。これを図 11.1 に示す。得られた分解能は 5.3 MeV の α 線に対して 0.7% (37 keV) であった。分解能 1% 程度のものは十分つくれるよう製造過程を確立した。逆バイアスは 200 V 以上印加可能である。 α 線に対しては、高い分解能で 28 MeV まで測定できる。これは、陽子線では約 7 MeV、電子線では約 320 keV に相当する。

より高いバイアス値で、より小さい漏れ電流にすることは、今後の問題である。また、有感面積を広げることも現在製作を進めている。

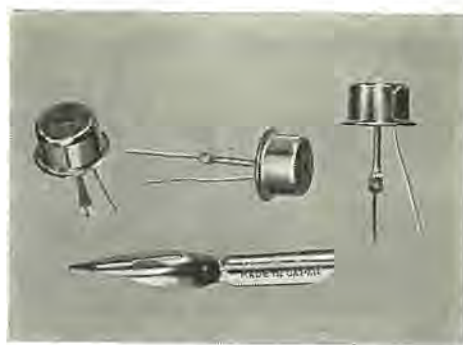


図 11.1 半導体放射線検出器

Fig. 11.1 Semiconductor nuclear particle detector.

半導体検出器は種々のすぐれた特長をもっているが、放射線損傷による劣化は、本質的なものであるがゆえに避けられない。現在のところ、 α 線では 10^9 counts/cm² 程度をこえるあたりから、スペクトルがくずれることが報告されている。⁽⁹⁾ 一方、製作の問題として、P-N 接合が露出した表面は十分保護されなければならない。この部分はふんい気の影響を受けやすく、これが漏れ電流をふやし、素子の性能を劣化させることになる。

さて、従来測定が困難であった β 線や γ 線も、リチウムをドリフトする方法で、厚い空乏層をつくることにより解決されてきている。⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾ また、非常に薄い構造にして dE/dx カウンタとしても使われている。⁽¹²⁾⁽¹³⁾ 適当な変換器をはさんで、二つの検出器をサンドイッチ状に向き合わせれば、中性子のエネルギースペクトルもとれる。⁽¹⁴⁾ また、その小形軽量であることを利用して、人工衛星などに載せられ宇宙線の観測などにも使われている⁽¹⁵⁾。

こうして半導体検出器は、あらゆる種類の放射線に対して、エネルギースペクトロメータとしての優秀性を発揮しつつある。今後半導体検出器の重要性は、いよいよ高まるものと思われる。

最後にサイクロトロンを使用した実験に際し、種々指導を頂いた京都大学化学研究所の植村教授はじめ所員の方々に、深くお礼申し上げる。

なお、本研究は、昭和 36 年度の通産省の補助金を得て行なわれたものである。
(昭 39-2-17 受付)

参 考 文 献

- (1) IRE Trans. NS-7 No. 2-3 (1960).
- (2) IRE Trans. NS-8 No. 1 (1961).
- (3) IRE Trans. NS-9 No. 3 (1962).
- (4) S.S. Friedland and J.W. Mayer: Nucleonics, 18, 2 (1960).
- (5) A.G. Chynoweth: Semiconductor Nuclear Particle Detectors, 95.
- (6) E. Fairstein: IRE Trans. NS-8 No.1 129 (1961).
- (7) 佃: 原子核研究 6, 5, 629 (1962)
- (8) H.M. Mann et al: IRE Trans. NS-8 No.1 151 (1961).
- (9)
- (10) J.C. Blankenship, C.J. Borkowsky: IRE Trans. NS-9, No. 3 181 (1962).
- (11) H.M. Mann et al: IRE Trans. NS-9 No. 4 43.
- (12) C.W. Inskip et al: IRE Trans. NS-9 No.3 167.
- (13) H.E. Wegner: Semiconductor Nuclear Particle Detectors, 74.
- (14) T.W.T. Dabb: Semiconductor Nuclear Particle Detector, 196.
- (15) S.S. Friedland et al: IRE Trans. NS-9 No.3, 391.

光を使ったアルカリ金属原子の磁気共鳴

久保 高啓*・安東 滋*

Optical Magnetic Resonance of Alkali-metal Atoms

Research Laboratory Takahiro KUBO・Shigeru ANDŌ

Optical pumping by circularly polarized D_1 resonance radiation is used for the alignment of alkali metal vapor in a weak magnetic field. If the rf magnetic field disturbs this alignment, the transmitted light is modulated with resonance frequency and absorbed at resonance. This experimental technique is used for spectroscopic study of atoms. Magnetic resonance to Zeeman transition in Rb, Cs atoms is observed and recorded by absorption measurement. Two types of magnetometer are constructed by making use of the two types of those phenomena atomic oscillator type ones working on rf modulation of transmitted light fit especially for use on airplanes and rockets as magnetometers.

1. ま え が き

昭和24年 F. Bitter がラジオ周波数(以下 rf と略す)程度の磁気共鳴を、光で観測する方法を提案した。これはすぐに水銀、アルカリ金属原子などに応用され分光学的研究の有力な手段となった。これらは散乱光を利用したものであったが、昭和32年 H. Dehmelt⁽²⁾ は透過光を使った観測方法を発表した。そのため検出の S/N が大いに改善され、また新しい研究分野も開けた。これらは従来の磁気共鳴測定法と比較して次のような特長を持っている。

(1) rf フォトン(光子、周波数 ν_{rf}) の遷移を可視、近赤外の フォトン(ν_{opt}) で観測するため、原理的に ν_{opt}/ν_{rf} (たとえば Rb⁸⁵ で 10^9 程度) という利得を持っている。

(2) 単位磁場強度あたりの共鳴周波数が比較的高い。

実用的な応用としては精度の高い弱磁場測定器がある⁽³⁾。これは $0.05 \sim 10$ G 程度の磁場が 10^{-6} G の精度で測定できる。しかも小形、軽量にできるから ロケットや飛行機に容易に積み込め、地磁気や宇宙空間の磁場を測定したり、軍事的、産業用のいわゆる磁気探知器などとして用いられる。

また原子周波数標準にも類似的技術が応用できる。水晶以上の安定性のある周波数2次標準も比較的簡単に得られる。たとえば数時間にわたり $\pm 4 \times 10^{-11}$ の精度を持ったものが報告されている⁽⁴⁾。ここでは主として当社で行なったアルカリ金属原子を使った実験と、その磁気測定器への応用について述べる⁽⁵⁾⁽⁸⁾。

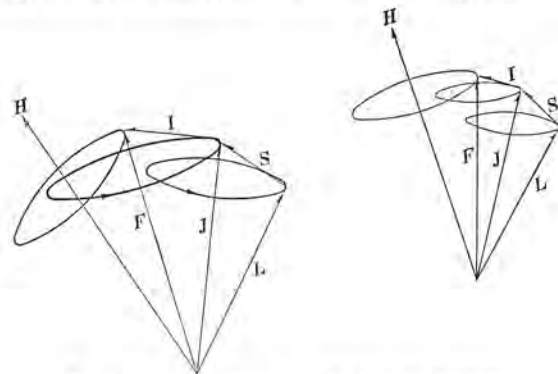
2. 原子系の整理と緩和現象

弱磁場 H 中の原子のベクトルモデルとしては図2.1のように、全角運動量 J と核スピ I の和 F の磁場のまわりの歳差運動として理解される。 F と H のなす角は、 F の H 方向の成分が正負の整数比になるいくつかのものだけが許され、その途中の角度のものは存在しない。これを空間量子化という。 F が H に対しどんな角を持っているかによってその原子のエネルギー状態が異なる。外部磁場がないとき一つだったエネルギー・レベルが、磁場によって、さらにいくつかに分かれたことになる。これをゼーマン(Zeeman)サブレベルといい磁気量子数 m_f で特長づけられる。

分かれる本数は $m_f = F, F+1, \dots, -(F-1), -F$ の $2F+1$ 本でそれらのエネルギー間隔 $E = h\nu_L$ (h : Planck 定数, ν_L : Larmor 周波数) は磁場の強さで変わる。Na²³(ナトリウム)原子ではその基底状態 $^2S_{1/2}$ および第1励起状態 $^2P_{1/2}$ のエネルギー・レベル構造は図

2.2 のようである。原子は室温で基底状態にあって、その8個のサブレベルに分布する数は等しいとしてよい。

この原子系に 5895Å のいわゆる Na の D_1 線と呼ばれるスペクトル線を円偏光にしてあてる。基底状態の原子はこの光を吸収して励起され、 10^{-8} 秒くらいの時間のうちに基底状態にもどる。円偏光を吸収したとき原子は $\Delta m_f = +1$ (または -1) という励起しか許されないので基底状態の $F=2, m_f=+2$ (または -2) レ



$J=S+L$: 電子の全角運動量, $F=I+J$: 原子の全角運動量
 S も J の回りを, I も F の回りを才差

図 2.1 原子の角運動量のベクトルモデル

Fig. 2.1 Vector model of angular momentum of atom.

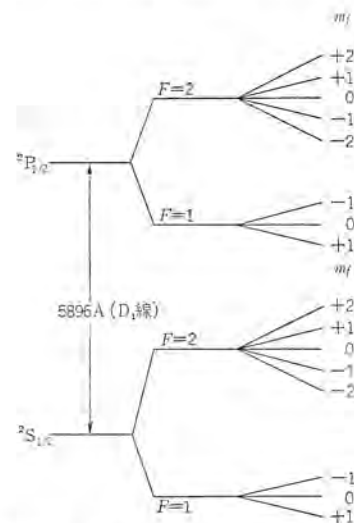


図 2.2 Na の基底状態および第1励起状態のエネルギー・レベル構造

Fig. 2.2 Energy levels of Na in the ground state and the first excited state in a weak magnetic field.

レベルの原子は励起されない。そのレベルにある原子は円偏波 D_1 線を吸収できないから、このレベルを非吸収レベルと名づける。

基底状態へもどるときには自然放出であるから $\Delta m_f = 0, \pm 1$ が許され、非吸収レベルへもいくつか落ちてくる。したがってそのサブレベルの原子数が増し、その分だけ他のサブレベルの原子数が減る。いいかえると各原子の全角運動量ベクトル \mathbf{F} の方向がだんだん磁場の方向に平行（または反平行）にそろってくる。理想的にはすべての原子がこの $m_f = +2$ レベルに集ってしまう。これを原子系の整列 (Alignment) と呼ぶ。原子は光で特定のレベルに汲み上げられているのでオプティカル・ポンピング (Optical Pumping) という。

この原理は他のアルカリ金属にもそのまま応用できる。整列ができあがるにつれて、吸収レベルの原子数が減るからこの系の円偏波 D_1 線の吸収率が減少する。整列をくずすと、それに応じて透過している円偏波 D_1 線の量が減る。したがって透過光を見て整列の状態が観測できる。図 2.3 はこの実験の構成図である。ガラス製の吸収セルの中に、アルカリ金属が封入され、その温度の飽和蒸気圧の原子が蒸気状態で存在している。その原子数はセルの温度を変えて制御できる。セルに封入したのと同じアルカリ金属のランプからの光を干渉フィルタで D_1 線のみにし、さらに円偏光にして吸収セルにあてる。

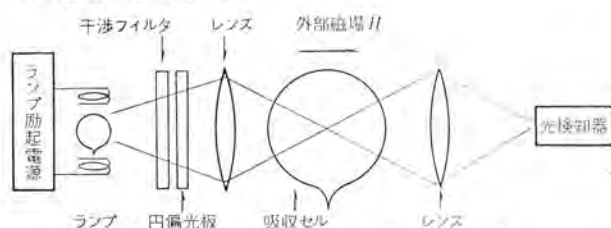


図 2.3 透過光による整列の観測の実験装置構成
Fig. 2.3 Experimental arrangement of observing the alignment by transmitted light.

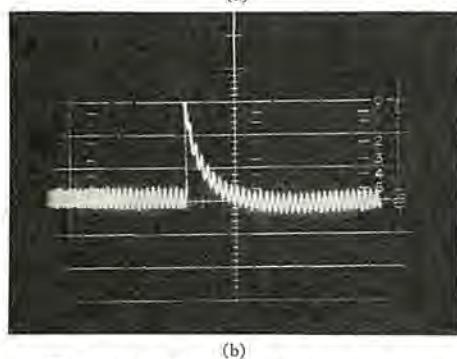
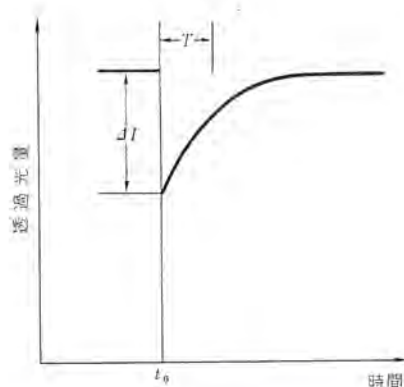
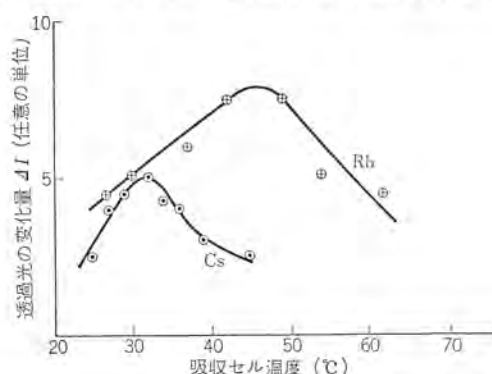


図 2.4 磁界逆転信号のオシロスコープ
Fig. 2.4 Oscilloscope trace of transmitted D_1 radiation intensity versus time at the field reversal.

アルカリ金属同志や容器壁との衝突によって全角運動量ベクトル \mathbf{F} の方向が変わる。そのため整列状態で円偏波 D_1 線をきると、基底状態のサブレベルの原子分布は次第に等しい状態にもどる。これを熱的緩和という。緩和を減らすためにはそのような衝突を減らせばよい。温度をあまり高くせずアルカリ金属原子の数を減らしたり、アルカリ金属原子と衝突しても \mathbf{F} の方向を変えないような気体を同時に封入したりして、アルカリ金属原子同志の衝突の平均自由行路を長くする。このような気体をバッファガス (緩衝気体) という。容器壁を \mathbf{F} の方向を変えないような物質でコーティングすることは、さらに効果があることが知られている。この整列の度合や熱的緩和時間を調べることは実験条件を定めるために必要なことであり、また緩和機構の研究も学問的に重要なことである。

整列をくずすことにより、透過光の変化として現われる信号がどの程度かを簡単に知るためには、H. Dehmelt⁽²⁾ の磁場逆転法を使えばよい。円偏波 D_1 線をあてた状態で外部磁場を逆転させると m_f の符号が正負入れ換わる。そのため原子が沢山集っていた $m_f = +2$ レベルは $m_f = -2$ という吸収レベルになり、透過光量 I は ΔI だけ急に減る。その後ポンピングによって新しい $m_f = +2$ レベルに原子が再整列される。それにつれて透過光量は図 2.4 のように、ふたたび I に回復する。

われわれはまず 500 cc の球状セルに、バッファガスとして Ne (ネオン) 100 mm Hg を封入したセルを使った。この ΔI の大きさを温度に対しプロットしたのが図 2.5 で、信号の大きくなる最適温度がある。温度が低いときには、信号に寄与する原子が少なく信号が小さくなる。高いほうでも $\Delta I/I$ はあまり小さくならないから、衝突でそれほど整列の度合が小さくなってはいない。信号が小さくなるのは、散乱で透過光が減るのがおもな原因である。



バッファガスとして Ne 10 cm Hg を封入した吸収セルを使用した
図 2.5 磁界逆転のときの透過光の変化量 ΔI の温度特性 (直径 10 cm)

Fig. 2.5 Temperature characteristics of ΔI which is variation of transmitted D_1 radiation at the field reversal. The absorption cells are filled with neon of a pressure of 10 cm Hg.

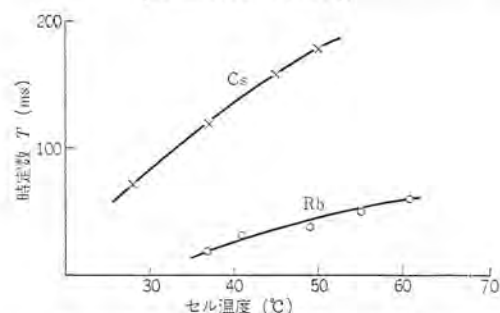


図 2.6 磁界逆転後の透過光量回復の時定数 T の温度特性
Fig. 2.6 Plot of the experimental time constant T of the field reversal signals against cell temperature.

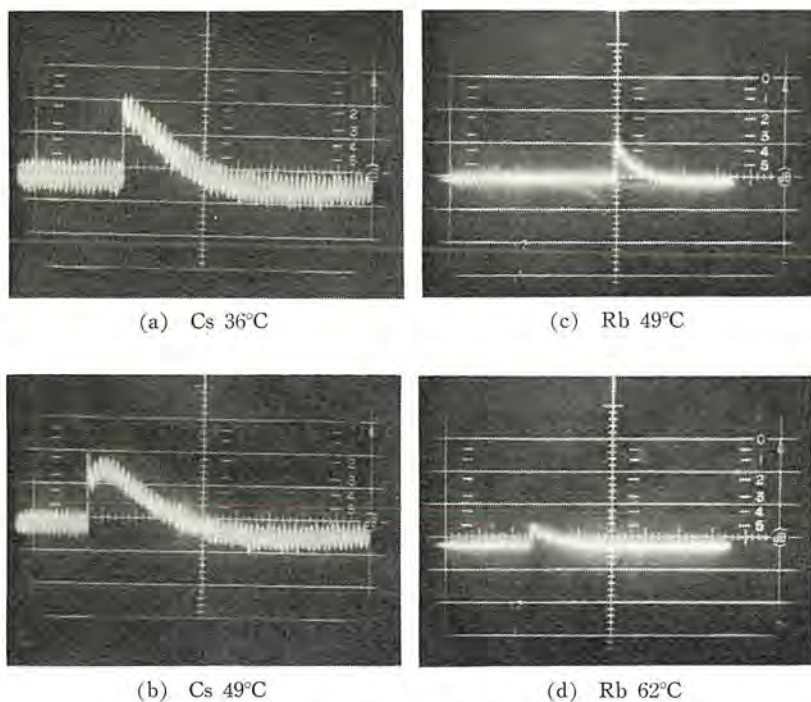


図 2.7 磁界逆転信号の数例
Fig. 2.7 Examples of field reversal signal.

この種のセルでの最適温度は Cs (セシウム) で $35\sim 40^{\circ}\text{C}$, Rb^{85} (ルビジウム) で 45°C くらい, Rb^{87} (ルビジウム, 85, 87 は同位元素) で 50°C くらいである。セル容量が小さくなると原子の層が薄くなり光路が短くなるから当然最適温度が上がる。たとえば 50 μ のセルを使うと Rb^{87} の最適温度は 60°C くらいになる。

この磁場逆転法で熱的緩和時間も測定される。円偏波 D_1 線が弱いとき透過率の回復の初めは熱的緩和で行なわれる。H. Dehmelt⁽²⁾ は光の弱い極限で透過光の回復曲線の時定数 T は熱的緩和時間 τ に一致することを示した。われわれの場合の例を図 2.6 に示す。温度とともに透過光が減るためセル内のパンプ光効率が落ち、 T が長くなりつつあることを示している。図 2.7 にこの信号の数例を示しておく。熱的緩和時間をもっと正確に知るには Franzen 法⁽⁶⁾を使う。図 2.8 に示したように円偏波 D_1 線を一定時間 ΔT さえぎった後ふたたび入射させる。さえぎられていた時間の間に緩和が起こり、ふたたび光が入ったときには残った整列の度合に応じた透過率を示す。さえぎる時間をいろいろ変えたオシロスコープ図を1枚の写真に写す。再整列のはじまる点をつないだ曲線が緩和の時間変化をそのまま現わす。これによって測定した結果 Rb で 0.07 秒、Cs で 0.2 秒くらいであり、温度による差は見出せなかった。

アルカリ金属以外では、He, Hg, H, N などでオプティカル・ポンピングによる整列を観察することができる。He (ヘリウム) では準安定状態 2^3S_1 が 10^{-4} 秒程度という比較的長い寿命を持っているので、これを基底状態の代わりに用いる。D₀, D₁, D₂ 線の混ざった光を円偏光にしないであてると、 2^3S_1 の三つのサブレベルから上への遷移確率、および上からこの三つのサブレベルから上への遷移確率がそれぞれ異なり、 $m_f = \pm 1$ の単位に過密分布が生ずる。 $1^1S_0 \rightarrow 2^3S_1$ は高周波放電で励起されねばならない (図 2.9)。Hg (水銀) でも準安定状態 6^3P_2 を使う。この原子系に 5461 Å ($6^3P_2 \rightarrow 7^3S_1$) の直線偏光 ($\Delta m_f = 0$ のみ許される) をあて、 $m_f = \pm 2$ に整列を起こさせることができる。このときにも電子衝撃による

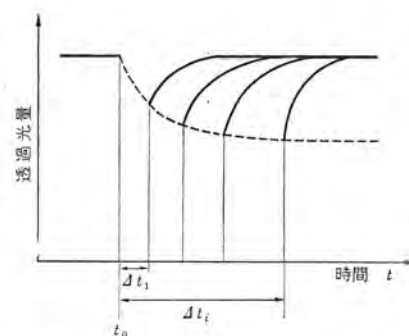


図 2.8 Franzen 法の オシロスコープ
Fig. 2.8 Oscilloscope trace of Franzen
method experiment.

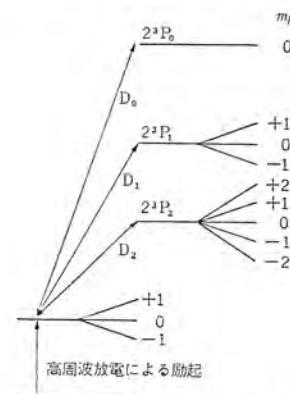


図 2.9 He のエネルギー・レベル構造
Fig. 2.9 Relevant energy levels of He atom in a weak magnetic field.

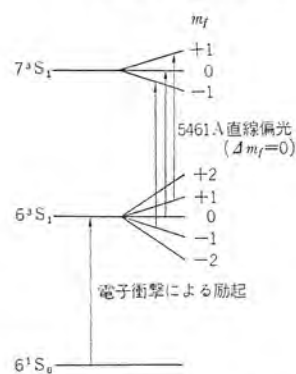


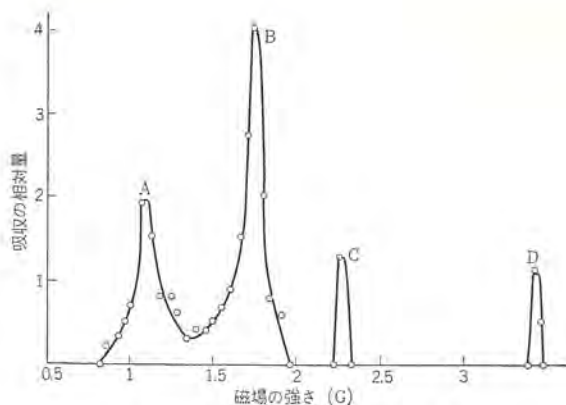
図 2.10 Hg のエネルギー・レベル構造
Fig. 2.10 Relevant energy levels of Hg atom in a weak magnetic field.

予備励起が必要である(図 2.10). H (水素) や N (窒素) の場合たとえば Rb セル 中に入れておくと, Rb の整列状態が衝突により H や N に移される. H や N の整列がこわされると Rb の整列がこわれ, Rb の円偏波 D_1 線の透過率が減る.

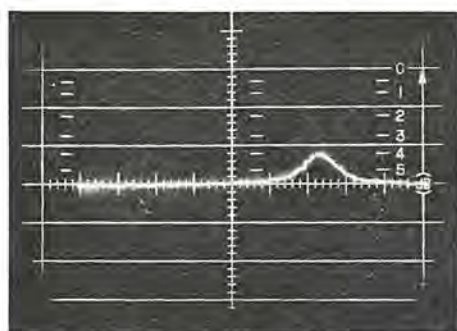
3. 磁気共鳴の透過光による観測

3.1 磁氣共鳴吸收

磁気共鳴吸収を古典的モデルで考えると、外部磁界 H に直角に rf 磁場をかけると、そのトルクにより原子の \mathbf{F} ベクトルの方向が曲げられようとする。周波数がゼーマン・サプレベル間隔 $E = h\nu_L$ に対応した ν_L であるとき、ちょうど m_f が一つ変わるだけのトルクを \mathbf{F} ベクトルに及ぼす。これによってゼーマン・サプレベル間の遷移が生ずる。この磁気共鳴で整列がくずされるので透過光の吸収が起



880 kc の rf 磁場をかけ外部磁場を連続的に変えた
 図 3.1 Rb の磁気共鳴吸収
 Fig. 3.1 The magnetic resonance absorption for Rb.
 The rf field is 880 kc in frequency.



縦軸は光検知器の出力、横軸は磁場 端から端まで 40 mG、
 中心は 2.5 G 付近 rf 磁界セン頭値で 1 mG 以下
 図 3.2 Rb⁸⁵ の磁気共鳴吸収の オシロスコープ
 Fig. 3.2 Oscilloscope trace of the magnetic
 resonance absorption.

こる。外部磁場が弱いときには、この間隔は磁場の強さに比例し、しかも基底状態でその間隔がすべて等しいとしてよい、そのとき、ラーモア周波数 ν_L は次式から求められる。

$$E = g_F \mu_B H = h \nu_L \quad (3.1)$$

$$\nu_L = g_F \mu_B H / h$$

$$g_F = g_J \frac{F(F+1) + J(J+1) - I(I+1)}{2F(F+1)} \quad (3.2)$$

$$g_J = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)} \quad (3.3)$$

ただし g_F : 原子の g 因子, μ_B : ボア磁子 (Bohr magneton), H : 磁場の強さ, である。これから求めたラーモア周波数, その他実験に関係した数値を表 3.1 に示しておく。

吸収セルのまわりにコイルをまき, これに rf 波をかけて実験を行なう。図 3.1 は Rb に一定周波数の rf 波をかけ, 外部磁場強度を変えたときの円偏波 D_1 線の吸収量をプロットしたものである。自然の Rb では Rb^{87} と Rb^{85} という同位元素が 3:7 くらいの比で共存しており, A, B という二つの吸収の山はそれぞれ Rb^{87} , Rb^{85} に対応するものであり, C は Rb^{87} の 2 次の共鳴によるものである。D は Rb^{87} の 3 次と, Rb^{85} の 2 次の共鳴が重なったものである。これらはかけている rf 磁界が強く, しかも外部直流磁界と正確に直交していないために起こったものである。Cs でも 2 次の共鳴まで観測できた。rf 磁界を弱くしていくと 2 次以上の共鳴が消えるとともに半値幅をある程度まで小さくできる。図 3.2 はその一例の オシロスコープ 図である。rf 磁界がセン頭値で 1 mG 以下まで信号は小さくならず半値幅のみ小さくすることが認められ, この図では半値幅 2 mG 程度である。吸収セルは小さ

光を使った アルカリ 金属原子の磁気共鳴・久保・安東

表 3.1 アルカリ 金属の実験に関係のある数値

| 元 素 | 自 然 の 存 在 比 (%) | 核スピン I | 基底状態のラ ーモア周波数 (kc/G) | D_1 線波長 (Å) | 共鳴信号の大 きくなる温度 (°C) |
|------------------------|-----------------------|-------------|----------------------------|------------------|--------------------------|
| Li^6 Li^7 | 7.9 92.1 | 1 3/2 | 700 | 6,707.85 | |
| Na^{23} | 100.0 | 3/2 | 700 | 5,895.93 | 120~140 |
| K^{40} K^{41} | 93.2 6.8 | 3/2 3/2 | 700 | 7,699.01 | 80 付近 |
| Rb^{85} Rb^{87} | 72.7 27.3 | 5/2 3/2 | 466.7 700 | 7,947.64 | 40~50 50~60 |
| Cs^{133} | 100.0 | 7/2 | 350 | 8,943.46 | 30~40 |

いほど, 磁束の小さい部分を測っているので, 磁場の一様性がよく半値幅も小さくできる。磁気共鳴による透過光の吸収率は Rb^{85} は 100%, 50% のものとも 3% あるいはそれ以上であったが, Rb^{87} では 100% (Ne 100 mm Hg) で 1~2%, 50% (高級パラフィン類によるコーティング) で 3% 以上であった。

3.2 透過光の rf 変調と原子発振器

磁場の方向を z 軸とし, それに平行な円偏波 D_1 線を z 光と呼ぶことにする。これとともに x 軸方向にも同じ性質の x 光を入れる。オプティカル・ポンピングの効果を考慮に入れて解くと x 光, z 光の吸収セルによる吸収 S_x, S_y は次のように表わされる⁽⁷⁾。

$$S_x = A_0 P_x \frac{\gamma H_1 S_2 [1 + (S_2 \Delta\omega)^2]^{1/2} M_0 P_z m_0 / A_0}{1 - (S_2 \Delta\omega)^2 + \gamma^2 H_1^2 S_1 S_2} \cos(\omega t + \phi) \quad (3.4)$$

$$S_z = A_0 P_z \frac{[1 + (S_2 \Delta\omega)^2] M_0 P_z m_0 / A_0}{1 + (S_2 \Delta\omega)^2 + \gamma^2 H_1^2 S_1 S_2} \quad (3.5)$$

$$\tan \phi = \frac{1}{S_2 \Delta\omega} \quad (3.6)$$

すなわち外部磁場の方向に平行な光が共鳴点付近 ($\Delta\omega=0$) で大きく吸収されるとともに, 外部磁場に垂直に入る光が共鳴周波数で強度変調を受けることを示している。共鳴状態では原子が吸収レベルと非吸収レベルの間を共鳴周波数で強制的に往復させられている。そのため原子が高速度で開閉するシャッタの役目をし, 透過光が強度変調を受けるのである。

rf コイルにかけられる rf 波と変調波の位相は Bloch 方程式から予想されるように共鳴点で 90° ずれている。 z 光, x 光は磁場に 45° に入る一つの円偏波 D_1 線で代用することができる。このようにして現われる変調信号を増幅し, 位相を適当に調整して rf コイルに返してやるとこの ルーラ は共鳴周波数で自励発振を起こす。これは一種の原子発振器 (Atomic Oscillator) である。

以上のように

① 透過光の磁気共鳴吸収

② 透過光の rf 変調

という二つの形で rf 磁気共鳴が観測できる。

4. 分光学への応用

一定周波数の rf 波をかけておいて, 外部磁場の強さを連続的に変えると磁気共鳴吸収曲線を記録することができる⁽⁸⁾。図 4.1 はそのようにして得た曲線の一覧図である。かける周波数は 350 kc, 1 Mc, 3 Mc の水晶発振器から供給した。信号の幅は図では拡大して描いているが, 実際の半値幅は数字で記入した。これらの信号はできるだけ半値幅が小さくなるような条件にして測定したものである。このとき半値幅は 2 mG より狭くできなかったが, これは磁場の一様性が悪く, 変動, 雑音が多かったためである。地磁気程度で一つに見える共鳴信号は, 磁場を強くすると二つに

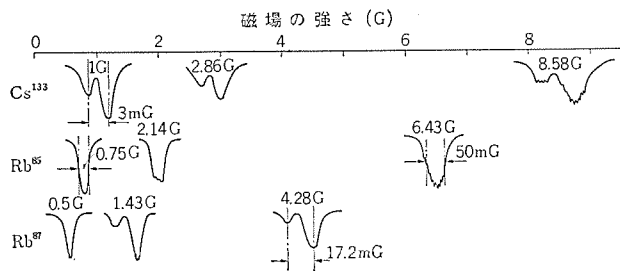


図 4.1 350 kc, 1 Mc, 3 Mc に対する磁気共鳴吸収の一覧図
Fig. 4.1 The magnetic resonance absorption for 350 kc, 1 Mc and 3 Mc. Magnetic field intensity of resonance center and half width are written.

分れる。これは式 (3.2) が近似式であったためで、正確には

$$g_F = g_J \frac{F(F+1) + J(J+1) - I(I+1)}{2F(F+1)} - g_I \frac{F(F+1) - J(J+1) + I(I+1)}{2F(F+1)} \quad (4.1)$$

で与えられる。電子に比べ核の質量は 1,800 倍くらいである。したがって通常は核の g 因子 g_I は電子の g 因子 g_J に比べ無視できる。磁場が強くなるとそのゼーマン間隔がひろがり g_I も無視できなくなり、 F の違うところのゼーマン間隔の差がきいてくる。 F の違いによる共鳴周波数の差を $\Delta\nu = \nu_L(F=F') - \nu_L(F=F'')$, 式 (3.2) の g_F を使って求めた共鳴周波数を ν_L において、 $\Delta\nu/\nu_L$ を Rb^{85} , Rb^{87} , Cs^{133} について求めた値を表 4.1 に示す。共鳴周波数をもっと正確に求めるためには Breit・Rabi の式⁽⁹⁾を使う。これでゼーマン・サブレベル間隔 $\Delta\nu_{m,m-1}$ を求めることができる。

$$\Delta\nu_{m,m-1} = -\frac{1}{h} \cdot \frac{\mu_I}{I} \mu_N H \pm \frac{\Delta\nu}{2} \left\{ \sqrt{1 + \frac{4m}{2I+1}x + x^2} - \sqrt{1 + \frac{4(m-1)}{2I+1}x + x^2} \right\} \quad (4.2)$$

$$x = \frac{2 - \frac{1}{1836} \cdot \frac{\mu_I}{I} H}{h \cdot \Delta\nu} \times 0.92712 \times 10^{-20}$$

$$\mu_N = \frac{0.92712}{1836} \times 10^{-20}$$

ただし、 μ_I : 核磁子, $\Delta\nu$: F' , F'' の間隔を周波数で表したものである。これによる計算結果の数例を図 4.2 に示す。これから明らかなように地磁気 (0.46G くらい) 程度の磁界中でも各ゼーマン間隔は等しくない。また、 F の違いによって二つのグループに分かれているものがある。図 4.3, 4.4 は同期整流の技術を使い、吸収曲線を微分した形で記録したものである。測定は地磁気中で行なわれ、 Rb^{87} , Rb^{85} の F によるゼーマン間隔の違いが分離されている。それらの間隔の実測値は表 4.1 から求めた値とよく一致し、 Rb^{87} , Rb^{85} でそれぞれ 1.86 mG, 1 mG くらいである。これを信号の微細構造と呼んでおこう。地磁中でこれ以上の分離はできなかった。

表 4.1 F の違いによる共鳴信号間隔

| | 基底状態の F の値 | $\frac{\Delta\nu}{\nu_L}$ | 1 ガウスあたりのラモア周波数 ν_L (kc) |
|-------------------|---------------|---------------------------|------------------------------|
| Rb^{85} | $F'=2, F''=3$ | 1.64×10^{-3} | 466.7 |
| Rb^{87} | $F'=1, F''=2$ | 3.99×10^{-3} | 700 |
| Cs^{133} | $F'=3, F''=4$ | 3.05×10^{-3} | 350 |

5. 磁力計への応用

磁場が弱いときには式 (3.1) がなりたつから、磁場の強さを周

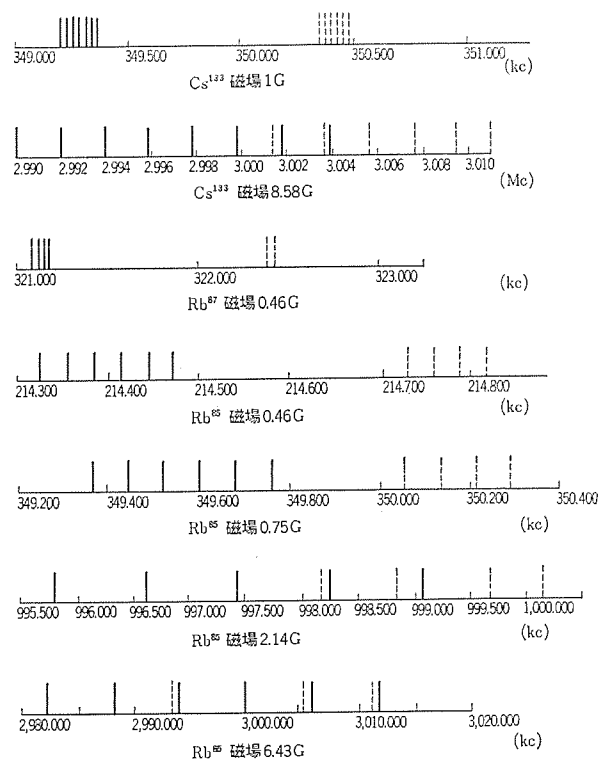
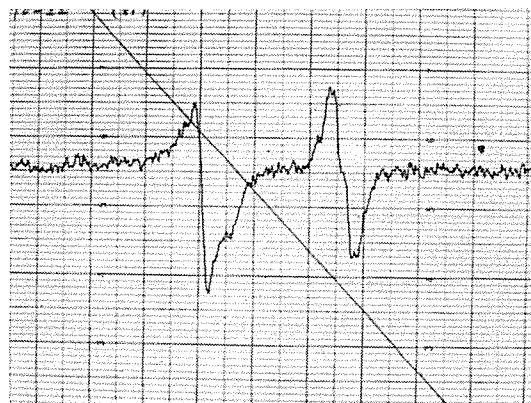
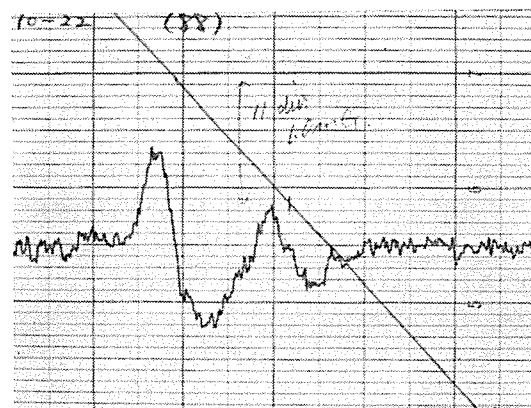


図 4.2 Cs^{133} , Rb^{87} , Rb^{85} の共鳴の微細構造計算値
Fig. 4.2 Calculated values of hyperfine structures in magnetic resonance absorption for Cs^{133} , Rb^{87} and Rb^{85} .



$F=1, 2$ のゼーマン遷移の分離
図 4.3 地磁気中での Rb^{87} の磁気共鳴
Fig. 4.3 Observed hyperfine structure of magnetic resonance absorption for Rb^{87} in the earth field.



$F=2, 3$ のゼーマン遷移の分離
図 4.4 地磁気中での Rb^{85} の磁気共鳴
Fig. 4.4 Observed hyperfine structure of magnetic resonance absorption for Rb^{85} in the earth field.

波数の形で読みとることができる。前節の分離は rf 磁場を強くしたり、ポンピング光を強くしたりすることにより一つにできる。

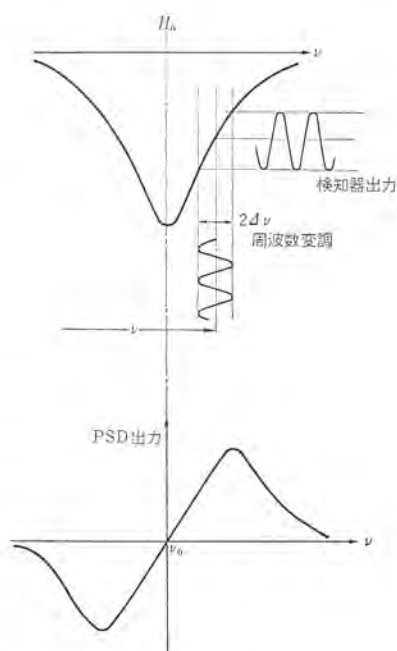


図 5.1 周波数変調による検知器出力と周波数 ν を連続に変えたときの PSD 出力

Fig. 5.1 Output of photo-detector when rf is modulated and output of PSD and when the modulation center is varied around the resonance center.

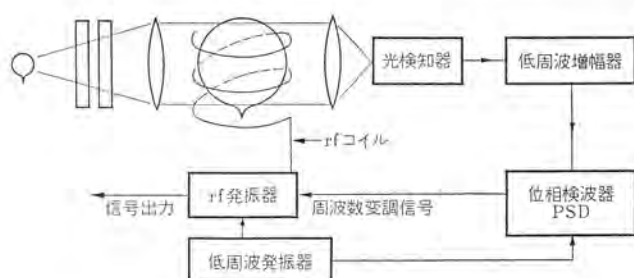


図 5.2 AFC 方式磁力計ブロック線図

Fig. 5.2 Block diagram of AFC type magnetometer.

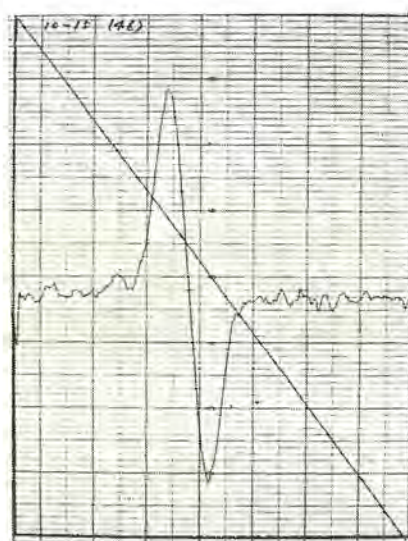


図 5.3 Rb⁸⁷ の磁気共鳴のときの PSD 出力

Fig. 5.3 Observed PSD output of magnetic resonance absorption for Rb⁸⁷. The earth field is modulated.

5.1 透過光の磁気共鳴吸収を利用したもの

吸収セルに一定の強さの磁場をかけておいて、共鳴点付近で周波数を変えると共鳴信号が得られる。その信号の中心に相当する周波数を読みとれば、磁場の強さが測定できる。かける rf 波の周波数を低周波で小さく変調すると透過光は共鳴信号によって同じ周波数で強度変調を受ける(図 5.1)。したがって周波数が共鳴点より高いか、低いかでちょうど位相が逆の低周波出力が得られる。これを位相検波器 (Phase sensitive detector, 以下 PSD と略す) で整流した出力は共鳴点の前後で正負が逆になる。この出力を利用して、rf 発振器の発振周波数が常に共鳴の中心にあるように制御することができる。この周波数を読みとって連続測定ができる。その装置のブロック図を図 5.2 に示す。

周波数変調の代わりに、周波数は一定として小さいヘルムホルツコイルで磁場を変調しても、まったく同じことである。図 5.3 は地磁気中で一定周波の rf 波をかけ、ヘルムホルツコイルで変調磁場 $H_1 \sin \omega t$ のほかに直流磁場 H_2 をつくり、 H_2 を正から負まで連続的に変えたときの PSD の出力である。これから、そのときの地磁気が 459,030 mG であることがわかる。たとえば半値幅の 1/100 くらいまで rf 発振器の周波数を制御できる回路を使うと半値幅が 0.7525 mG であるから、地磁気が 0.01 mG くらいの精度で測定できるはずである。自動周波数制御形 (以下 AFC 形と略す) に組んだとき周波数が完全に外部磁場についているならば、変調は共鳴信号の中心で行なわれている。透過光の信号は変調周波数の 2 倍になるから、低周波発振器の出力とオシロスコープにリサーチ図形をかかせて監視できる。この方式では変調周波数を大きくできない。あまり大きい整列ができあがるひまがなく、S/N が悪くなる。せいぜい 50 c/s くらいまでであるため応答速度が制限される。図 5.6 はこの AFC 方式での地磁気測定結果の一例である。試料に Rb⁸⁷ を使い、夜明け前の比較的磁場の変動の少ない時間に、10 秒間の平均の値を読みとり、プロットした。測定間の時間も 10 秒である。読みとり時間を 1 秒間にするともっと変動が大きい。

5.2 原子発振器形を利用するもの

原子発振器は、外部磁場の強さに応じた共鳴周波数で発振しているから、その周波数を読みとればよい。この装置のブロック線図を図 5.4 に示す。この場合、前に述べた理由により 90° の位相差が補正されねばならない。発振周波数は磁場の変化に対し遅れがなく、しかも前の形のものに比べ回路が簡単になっており、小形、軽量にできるのでロケット、飛行機などに積み込むにはこの形のものが多い。広帯域の増幅器を使い、外部磁場を変えてみると周波数がそれにつれて変わる。しかし予想されなかった現象も現れており、それほど単純でない。

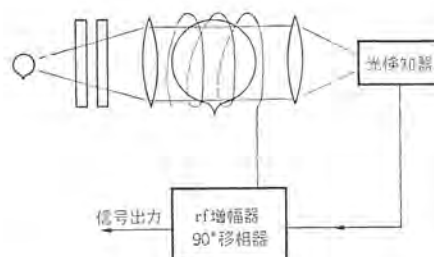


図 5.4 原子発振器のブロック線図

Fig. 5.4 Block diagram of atomic oscillator type magnetometer.

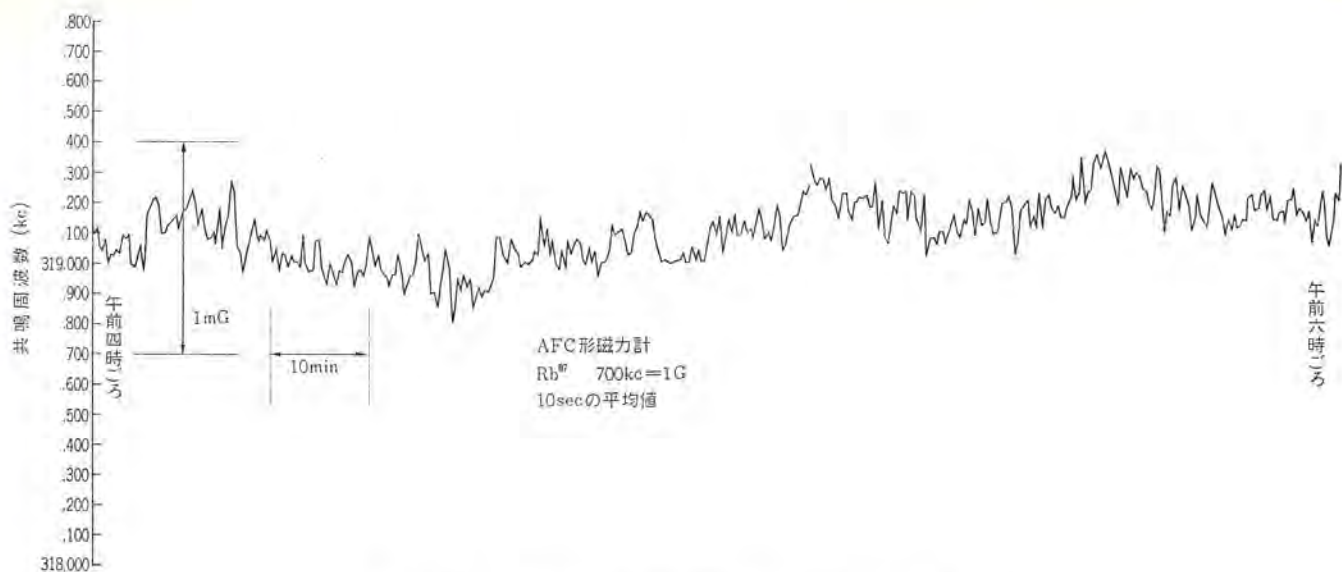


図 5.6 地球磁場の変動測定結果(ある丘の上で)
Fig. 5.6 Observed fluctuation of the earth field which is measured by AFC type magnetometer.

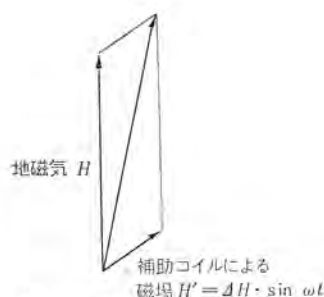


図 5.5 磁場の角度変調
Fig. 5.5 Angular modulation of the magnetic field.

これらの装置は、磁場に対してどんな角度におかれてもその空間の絶対値を周波数の形で示す。しかし S/N は角度によって変わる。AFC 方式では $\cos^2 \theta$ 、原子発振器は $\cos \theta \cdot \sin \theta$ で変わる⁽³⁾。ただし、 θ は磁場の方向と光路とのなす角である。したがって 2 台の装置を組み合わせるなどの方法で、測定不能の範囲をなくさなければならない。この角度依存性を利用して高空におけるロケットの姿勢制御ができる⁽¹⁰⁾。補助コイルで地磁気の角度変調を行ない(図 5.5)、PSD 出力でロケットを地磁気に対して一定の角度に保たせることができる。

6. む す び

われわれは以上に述べた磁気測定装置を組み立てて磁場の実測を行なうと同時に、アルカリ金属の基底状態のスペクトルの微細構造を調べ、その磁場測定に及ぼす影響を調べた。AFC 方式での磁場の絶対値測定の場合、この微細構造を分離させるとどちらの山で共鳴しているか区別するのが煩わしい。そこで rf 磁場を強くする方法でこの分離をなくし、一つの山として測定しても十分な精度が得られる。しかし磁気探知器のように磁場の変動

を測定するときには、分離してどちらかの山に共鳴させておくほうが精度よくできる。原子発振器形の場合には発振しているとき rf 磁場が強くなるので必然的に微細構造の分離はない状態にあり、装置の簡単さや応答速度の点からロケット、人工衛星とう載用に適している。来年打ち上げられる東大生産研 ロケットの磁力計としては当社の原子発振器形を用いる予定である。

実用的な応用としては周波数標準も重要であるがここでは省略する。最後に、この実験を行なうにあたり、種々ご指導いただいた神戸大学神田教授、同大小川教授に厚くお礼を申しあげる。

(昭 38—1—21 受付)

参 考 文 献

- (1) F. Bitter: Phys. Rev. 76, 833 (1949)
- (2) H. Dehmelt: Phys. Rev. 105, 1487 (1957)
Phys. Rev. 105, 1924 (1957)
- (3) A. Bloom: Applied Optics. 1, 61 (1962)
- (4) V. Gerad Brit. J.: Appl. Phys. 13, 409 (1962)
- (5) S. Ando, T. Kubo, I. Taniguchi:
Mitsubishi Denki Laboratory Reports 4, 325 (1963)
S. Ando, T. Kubo:
Mitsubishi Denki Laboratory Reports 1964 No. 1 (予定)
- (6) W. Franzen: Phys. Rev. 115, 850 (1959)
- (7) W. Bell, L. Bloom: Phys. Rev. 107, 1559 (1957)
- (8) S. Ando: J. Phys. Soc. Japan. 18, 1095 (1963)
ibid 18, 1556 (1963)
- (9) たとえば S. Millman, I. Rabi, J. Zacharias:
Phys. Rev. 53, 384 (1938)
- (10) H. DeBolt: Electronics, April 8, 55 (1960)

負荷時タップ切換器の変圧器への適用

山 内 敦*

1. ま え が き

電力系統の大容量化と、多岐にわたる連係から、この膨大な系統の安定を保ち、潮流の合理的制御、電力損失の軽減、送電電圧の調整など、送電網の運営上、また需要家に対する良質の電力の配電のため無停電による電圧、位相の調整が重要な問題である。この目的のためには、変圧器のタップを負荷をかけたまま適宜変化させることができれば非常に有効で簡便である。このため負荷時タップ切換器は最近に至って、著しい発達を遂げた。同時にその適用範囲も広範囲にわたっており、電力系統の一次変電所用変圧器から配電用変圧器、柱上変圧器にまで使われ、負荷時タップ切換器付変圧器が従来の無負荷タップ切換器付変圧器にとってかわりつつある。また整流器用、電気炉用、電鉄用のごとく、無停電で電圧を調整する必要のある変圧器にも広く使用されている。

負荷時タップ切換器には大別して、リアクトル式と抵抗式の2種類があり、その電圧調整方式にも、変圧器の一次または二次巻線にタップを設け、これを通電状態のまま切り換える負荷時タップ切換変圧器と、線路に負荷をかけたまま調整電圧のみを供給する調整器に負荷時タップ切換器を組み合わせた負荷時電圧調整器の2種類がある。その他、変圧器主巻線に設けたタップにより直接切り換えるもの、タップ巻線と直列変圧器を組み合わせたものなど、回路電圧、結線方式などにより種々の調整方式がある。

ここでは、電力用変圧器に対する負荷時タップ切換器の適用に限って、各種の調整方式につき簡単に解説する。図1.1はMR形負荷時タップ切換変圧器の外観である。

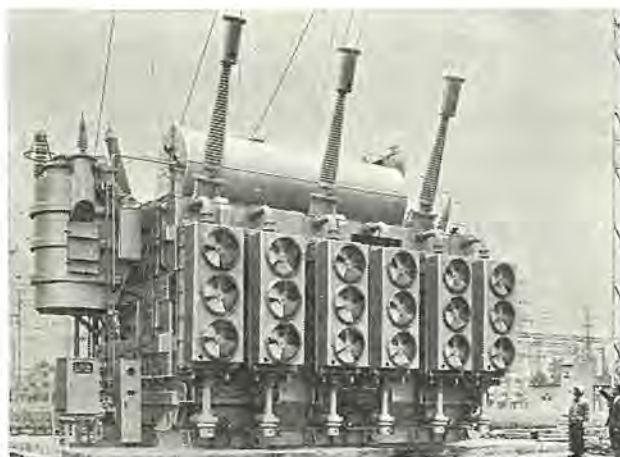


図 1.1 東京電力(北東京変電所) 345 MVA
275±7.5%/147/63 kV SUB-MR

2. 負荷時タップ切換器の種類

今日一般に使用されている負荷時タップ切換器には大別して抵抗切換方式とリアクトル切換方式がある。すなわち、変圧器の負荷

電流をシャ断することなくタップを移すために、使用中のタップから切換器接点が離れる前に、次のタップに移っていなければならない。このため切換過程中に二つのタップが一時的に橋絡状態になる。このときのタップ間に流れる循環電流を安全な値に制限するために適当なインピーダンスをそう入する必要がある。そのインピーダンスとして抵抗とリアクトルがある。抵抗式は主としてドイツを中心としたヨーロッパで非常に発達したもので、スプリングによる早切機構を使っている。これに対しリアクトル式はアメリカで発達したもので、カム式、回転式などによる開閉機構で開閉に比較的時間を要する。

わが国では、抵抗式、リアクトル式いずれも製作され、それぞれの特長を生かした切換方式が多くあるが、ここでは当社の代表的なものを簡単に記するのみとし、詳細はカタログ、取扱説明書に譲る。

2.1 抵抗式負荷時タップ切換方式

この方式は別名センセン式タップ切換器、または発動形切換器ともいわれ、循環電流制限用に短時間定格の抵抗器を用い、負荷開閉器は強力なスプリングとリック機構を利用し、短時間で切換を行なおうとする方式である。

当社は初め独自の抵抗式としてYT形を開発し、良好な成績をもって主として大容量、高電圧変圧器に採用されていたが、昭和37年、ドイツMR社(Maschinen Fabrik Reinhausen社)との技術提携により、埋込形抵抗式タップ切換器の国産化を開始した。MR社は、負荷時タップ切換器の専門メーカーでヨーロッパはもちろん、カナダ、オーストラリア、日本と世界的に広く豊富な実績をもっている。

図2.1にタップ切換の基本回路を示す。(a)は#2のタップで運転中を示す。これを#3タップに切り換える場合は、まず(b)のごとく駆動機構がスタートすると、タップ選択器の奇数側が#1から#3に切り換わる。同時にこの間に切換開閉器の早切機構の駆動用パネが伸張され、エネルギーが蓄積される。タップ選択器が#3に確実に接触したのち、(c)のごとく切換開閉器は早切機構によって急速に奇数側へ転換し、切換動作を完了する。

MR形切換器のおもな特長は、

- (1) 切換開閉器は4抵抗式を用いているので、接点の消耗が少なく、油の汚損がわずかで耐久性に富んでいる。
- (2) 切換開閉器は扇形可動部のコロリ運転であるから、運動に無理がなく衝撃もきわめて小さい。
- (3) 埋込形とし、すべて変圧器内部に内蔵され外部に充電部が突出することがないので輸送や据付が簡単である。もちろん、切換開閉器室の油は変圧器本体では仕切られている。
- (4) 構造がきわめて合理化され小形軽量で、また切換開閉器部分は変圧器本体の油を抜くことなく容易につり出し点検、交換ができる。

定格は、絶縁階級20号から200号まで、また電流は200Aか

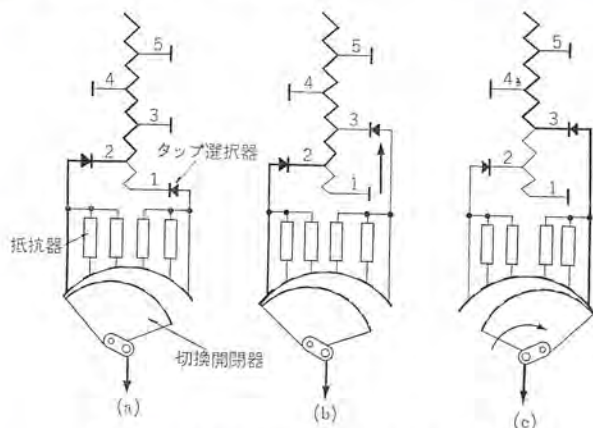


図 2.1 抵抗式負荷時 タップ 切換器の切換方式



図 2.2 MR 形負荷時
タップ 切換器
110kV 400A

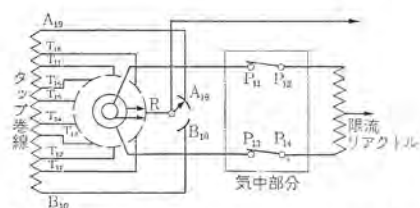


図 2.3 リアクトル式負荷時 タップ 切換器の基本回路

ら 800 A まで各種あり、三相器では Y 結線の中性点切換方式を標準とするが、30 号 200 A 以下のものでは、△結線回路に入れるものもある。図 2.2 に MR 形の外観を示す。

タップ 点数は（極性転換および粗密調整方式によって） $\pm 4 \sim 17$ 点までの 14 種の切換器を製作することができる。タップ 選択の方式は 4 章で詳記する。

2.2 リアクトル式切換方式

この方式は、負荷開閉器、タップ 選択器、限流リアクトルからなっており、当社は中容量の変圧器を対象とした URS, URA 形がある。

URA 形の定格は定格電圧 6.9kV、定格電流 400 A、タップ 数 ± 8 (17 点) および ± 16 (33 点)、絶縁階級 6 号 A、図 2.3 に基本回路を示す。また限流リアクトルを連続定格に設計することによって、タップ 中間電圧を得ることができる。

URA 形の特長は

- (1) 切換開閉器を乾式とし、磁気吹消形、空気吹付形開閉器

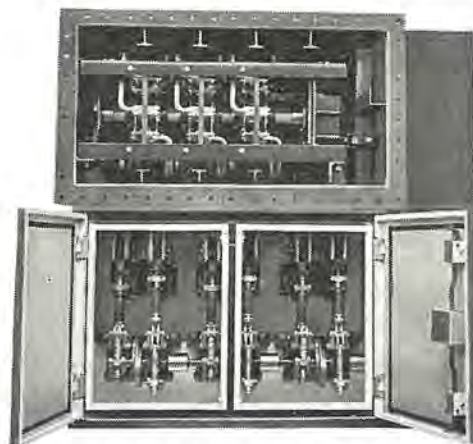


図 2.4 URA 形負荷時 タップ 切換器

を用いているので、アーク 時間が短く、接点寿命が長い。

- (2) 切換開閉器が乾式のため、油の汚損、絶縁低下、油の 過熱などの問題がない。

- (3) 制動は コンデンサ による制御と電磁 ブレーキ を併用しているため、停止が確実である。

- (4) 保守、点検が容易である。

URA 形の外観を図 2.4 に示す。

URS 形は、負荷開閉器と タップ 選択器を兼用し、油中で切り換える構造としている。

3. 負荷時電圧調整器

負荷時電圧調整器は、調整変圧器と負荷時 タップ 切換器を組み合わせたもので、線路に調整電圧のみを供給し線路電圧を上昇、下降させるのを目的とし、主として配電用変電所、配電母線に設置され、配電線電圧降下の補償用として用いられる。

一般に、調整容量、切換器の シュ断容量も小さいので、リアクトル式とか、負荷開閉器と タップ 選択器を兼用したような構造が簡単で保守点検が容易なものが使われることが多い。

3.1 結線方式

基本的結線を図 3.1 に示す。このほかにも電圧電流に応じて種々の方式がある。図中 (a), (b) は単巻変圧器と同様の結線となるので、その自己容量はきわめて小さく、損失も小となるため、線路電圧が適当 (6kV 以下) で小容量の場合はよく使われる。しかし、線路電圧が高いときは切換器が大形となるため、不利となる。

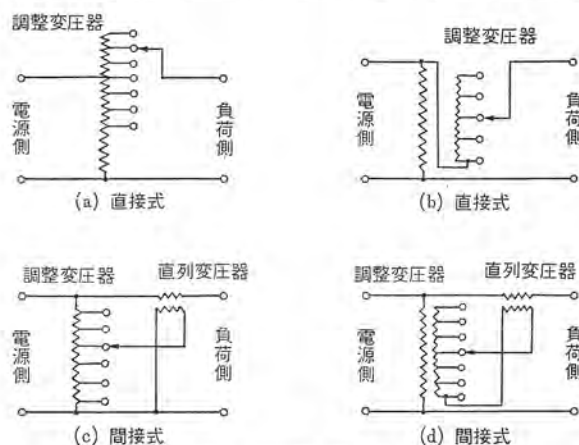


図 3.1 負荷時電圧調整器の基本結線図

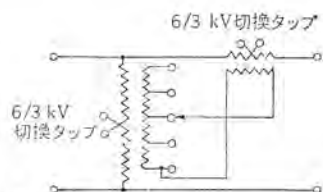


図 3.2 6/3 kV 切換 タップ 付間接式

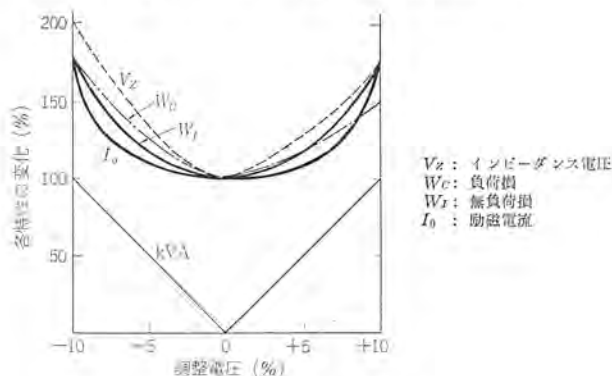


図 3.3 特性曲線

(c) は単巻変圧器と直列変圧器を組み合わせたもので、線路電圧は適当であるが、線路電流が大で切換器の定格電流をこえる場合に使用される。(d) は2巻線の励磁変圧器と直列変圧器を組み合わせたもので、調整器の寸法、重量は大となるが、タップ切換器は線路からまったく絶縁され、線路とは無関係に、タップ切換器の最適電圧、電流を選定できるので、高電圧、大容量の線路に使われる。3~6 kV、または10~20 kVの切り換えの必要のある調整器は、直列変圧器二次側でタップを切り換えれば、両電圧とも同一調整範囲で調整できるので、(c)、(d)の結線が使われる。(図 3.2 参照)

また、(c)、(d)結線で励磁変圧器が定電圧入力側、直列変圧器が出力側につないだ場合を正接続と称し、反対に直列変圧器が入力側につなげられる場合を逆接続と称する。三相回路においては、一般に調整変圧器、励磁変圧器の一次はY接続とし、二次は△接続とする。直列変圧器は一次△接続とし、二次は開放Y接続とする。

3.2 特性

一般に負荷時電圧調整器は調整容量あるいは自己容量をもって呼称されるが、直列巻線の皮相出力はタップ位置によって異なるので、特性は一般変圧器と異なってくる。

自己容量は次式で計算される。

$$P = P' \times \frac{e}{E} \quad \dots\dots (3.1)$$

P : 自己容量
 P' : 線路 "
 e : $E \pm e$ 電圧調整範囲
 E : 定格回路電圧

調整電圧が0のときは自己容量は0であり、直列変圧器のあるなしにかかわらず調整器全体の損失、インピーダンス電圧ともに最低となる。調整電圧が大きくなるに従って、損失、励磁電流、インピーダンス電圧が増加する。一例を図 3.3 に示す。

図は調整変圧器、直列変圧器をもった負荷時電圧調整器の特性であるが、インピーダンス電圧は、図 3.1 (a)、(b) 結線では調整電圧0では0となり、調整電圧が大きくなるに従って巻線構造によっても異なるが、電圧の1~2乗曲線で大となる。(c)、(d)のごとく直列変圧器を有するものは、直列変圧器のインピーダンスは常時

入っているから図 3.3のごとくなる。

損失、励磁電流は図 3.1 (a)、(b) 結線では調整変圧器は常時回路に分路に結線されているから、入力電圧が一定の場合は調整電圧のいかにかわからず、無負荷損失と励磁電流は一定に存在する。入力電圧が変化する場合、その入力電圧によって、すなわち、調整電圧によって、無負荷損失と励磁電流は変わる。鉄心磁束密度のとり方によって異なるが、無負荷損失でその変化は調整電圧の約2乗、励磁電流で約3~4乗程度である。負荷損失は調整電圧0のときは0で、その増加は調整電圧の励磁巻線で約2乗、タップ巻線で約比例で大きくなる。

直列変圧器では、無負荷損失、励磁電流は調整変圧器から励磁される電圧によるものであるから、調整電圧0の場合は0で調整電圧が大になるに従って大となる。負荷損失は直列変圧器は常に回路に直列に接続されているから、もし一定電流側に位置する場合は、一定の負荷損失を示し、変化する側に位置する場合は、調整側電圧の約2乗に比例して変化する負荷損失をもつことになる。図 3.1 (c)、(d) 結線では上記の(a)、(b) 結線の場合の特性に、直列変圧器の特性を加算したものが調整器全体の特性となる。

4. 負荷時タップ切換変圧器

負荷時タップ切換変圧器は、変圧器と負荷時タップ切換装置とを組み合わせたもので、従来、変圧器にはその一次または二次巻線に無負荷タップを備えていたが、最近では、一次、二次変電所用、配電用変圧器はもちろん、受電用変圧器まで負荷時タップ切換装置を付けたものが増えた。従来から超高圧、大容量変圧器には、抵抗切換方式の切換装置が使われることが多かったが、最近では、配電用変圧器にも抵抗切換方式が好んで使われる傾向である。また定格、仕様は、各電力会社その他使用者側の要求により多種多様であったが、最近日本電機工業会の主催で、各電力会社、製造会社の共同で配電用負荷時タップ切換変圧器および送電用、位相調整用、電圧調整用も含めた統一仕様書を作成中で、近々正式に適用されるものと期待される。

4.1 標準調整範囲

調整電圧の全幅は大きく、1タップの幅は小さいほうが良質の電圧を得るためには好ましいが、最近の電力事情から不必要に調整幅を大きくすることは、調整容量が大きくなるので変圧器本体が不経済となり、またタップ幅を小さくすることは切換器の制御装置の精度からおのずと限度がある。工業会案では次のとき数値を推奨している。

- (1) 標準タップ点数 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21
- (2) 標準調整範囲

配電用変圧器

配電用変圧器の電圧調整範囲は二次電圧を一定にした場合の一次調整範囲で表わし、表 4.1 を標準とする。

送電用変圧器

表 4.1 配電用 LRT の標準調整範囲

| 一次定格電圧 | 二次定格電圧 | 調整幅 (%) | 負荷時調整タップ幅 |
|--------|--------|---------|-----------|
| 107.5 | 115 | 25 | 2 以下 |
| 105 | | 15 | |

(注) 上表は公称電圧を基準とした % で示す。

表 4.2 送電用 LRT の標準調整範囲

| 一次定格電圧 | 二次定格電圧 | 調整幅 |
|--------|--------|----------------|
| 100 | 110 | 10 15 20 |
| 102.5 | | |
| 105 | | |
| 107.5 | | |
| 110 | | |

(注) 上表は公称電圧を基準とした % で示す。

表 4.3 負荷時電圧調整器の標準調整範囲

| 定格電圧 | 調整幅 | タップ幅 | 備考 |
|------|-------------|------|-----|
| 115 | ±7.5 ±10 | 2 | 配電用 |
| 110 | ±7.5 ±10 | — | 送電用 |

(注) 1. 定格電圧表は公称電圧を基準とした % で示す。

2. 調整幅は定格電圧に対する % で示す。

配電用変圧器と同様の考えとし表 4.2 を参考とする。

負荷時電圧調整器

送電用変圧器と同様、表 4.3 を参考とする。

4.2 切換方式と結線および巻線構造

切換方式には 2 章に記したごとく、抵抗式、リアクトル式があり、結線方式には Y 結線の中性点に入れるもの、△結線に入れるもの、および一次または二次巻線のタップに直接切換器を取り付けるもの、別にタップ巻線を配してこれに直列変圧器を付けたものがある。巻線構造にも当社は中容量変圧器までは内鉄形変圧器構造、大容量器は外鉄形構造を採用している、その組み合わせにより多種多様な負荷時タップ切換変圧器が考えられるが、以下、一般に使用されているもの、あるいは使用の可能性のあるものについて記述する。

調整方式で分類すると次のとおりである。

- 高圧切換
 - 直接方式
 - 間接方式
 - 低圧切換
 - 直接方式
 - 間接方式

4.2.1 高圧切換方式

高圧側電圧調整低圧側電圧一定の場合と、高圧側電圧調整高圧側電圧一定の 2 種類が考えられるが、特性上は異なるが、切換方式、構造は変わらない。

また上記のごとく直接方式と間接方式があるが、最近の抵抗式切換器の発達と信頼性の向上から間接方式はほとんどなくなったが、別置調整器として本体と分離されたものが多少ある。

(1) 直接方式 三相、Y 結線の中性点切換方式とすると基本的結線図 4.1 のごときものとなる。

(a) 無転換式 これは単純にタップを引き出したもので、比較的、タップ範囲、タップ数の小さいもの、たとえばタップ範囲 15%、タップ数 11 点以下程度までに多い。

(b) 粗密調整式

(c) 1 回転極性転換式

(d) 2 回転極性転換式 (a) ではタップ数の多い場合リード線の数が増え巻線の口出し、内部配線が複雑になるのでこれが採用される。

(b) は (c)、(d) に比べて調整低下の場合粗巻線部分が回路からはぜれる、すなわち (c)、(d) のごとく逆性アンパターンによって

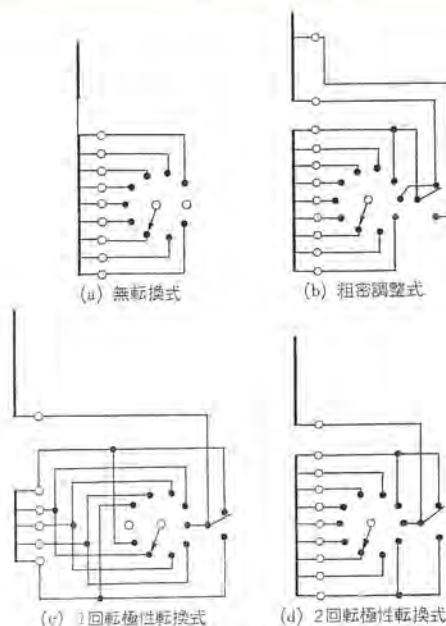


図 4.1 高圧切換直接方式結線

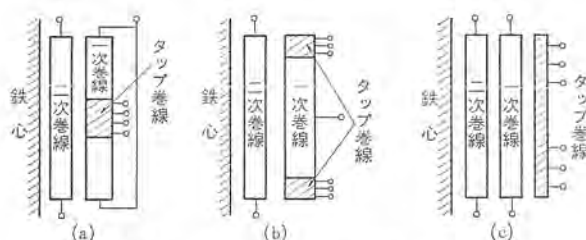


図 4.2 内鉄形負荷時タップ切換変圧器 (高圧切換方式) 巻線構造

一部電圧を打消す方式は、回路に入っている巻線長さが長い場合があるので負荷損としては (b) が有利であるが、巻線構造上調整範囲によっては (c)、(d) 方式が有利の場合もありうる。

タップ巻線の配列は、内鉄形変圧器では図 4.2 に示すごときものがある。(a) は主巻線の中央にタップ巻線を設けたもので最も普通的方式であるが、調整範囲の広いもの 25% 以上のものでは一次二次間のアンパターンの分布が不平衡となる。(b) は段絶縁巻線に使用され、巻線を上下並列巻とし上下を中性点側にした場合であるが (a) と同様調整範囲が広い場合は、アンパターンの不平衡となり、巻線に受ける上下方向の短絡機械力が強大になり、インピーダンス電圧の変化も大きく負荷損も増大する。

この場合は (c) のごとくタップ巻線のみ別群として三次巻線のように同心配置とし、タップ巻線を適宜組み合わせ、1 タップ分の巻線高さを他巻線と合わせ、アンパターンの不平衡を小さくしたものである。図 4.3 に内鉄形 MR 形負荷時タップ切換変圧器の外観を示す。

外鉄形変圧器では図 4.4 に示すごとく、巻線を途中で折り返し漏れ磁束のできるだけ小さい所にタップ巻線を設け、タップ巻線にかかる短絡機械力、ウズ電流損失をできるだけ小さく抑えている。図 4.5 に外鉄形 MR 形負荷時タップ切換変圧器の外観を示す。

(2) 間接方式 上記直接方式では切換器、電流量、タップ間電圧が限度を超過する場合、または切換器を切り離す必要がある場合は間接方式とする。間接方式には図 4.6 のごとく 2 鉄心式と

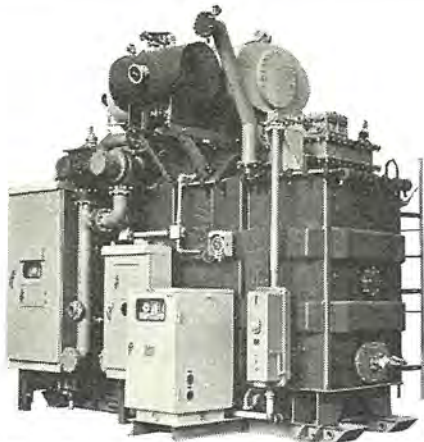


図 4.3 東京電力（広島変電所）15 MVA
71~57/6.9 kV CUR-MR

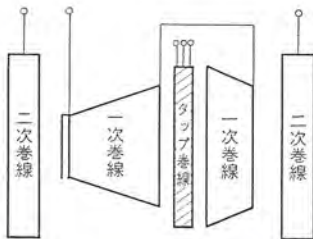


図 4.4 外鉄形負荷時タップ
切換変圧器（高圧切
換方式）巻線構造

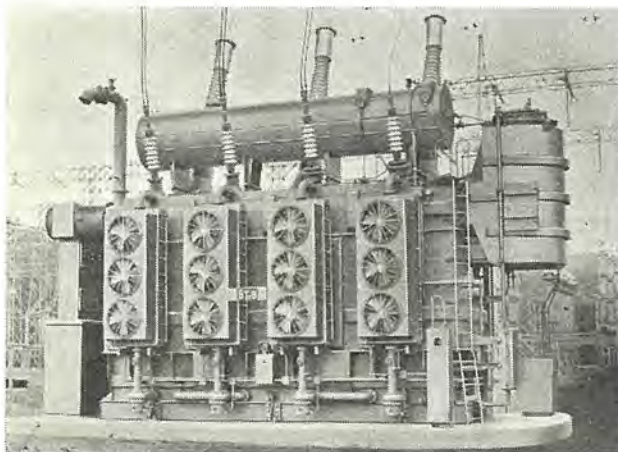


図 4.5 関西電力（北大阪変電所）230 MVA
 $275 \pm 7.5\% / 77/22$ kV SUB-MR

3 鉄心式がある。一般に主変圧器と調整器は別タンクに収められ、別置負荷時電圧調整器付変圧器と称せられる。

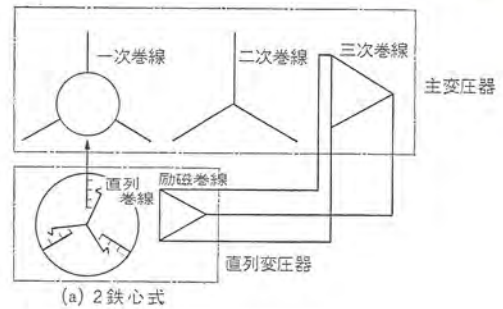
4.2.2 低圧切換方式

調整電圧と巻線の関係は高圧切換方式と同様である。この方式は一般に電圧 20 号以下、中容量変圧器に採用されるので Y Δ いずれの結線でもよい。また直接式、間接式があるが切換器容量の限界のみでなく、20—11 kV、6—3 kV のとき切換の要求のある場合、間接式となるので間接式が採用される場合が多い。

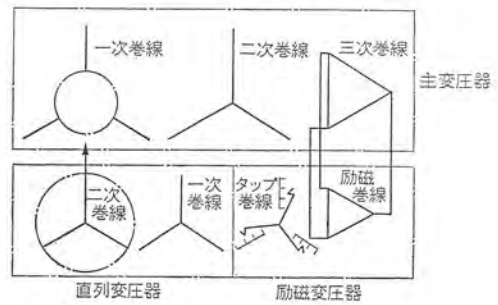
図 4.7 に基本的結線を示す。本図はリアクトル式切換方式を表わすが、抵抗式切換方式も同様である。

タップ巻線の配列は、図 4.8 に示すごとく直接式、間接式いずれの場合もタップ巻線は低圧巻線のさらに内側に巻く。

図 4.9 に内鉄形 UAR 形低圧切換方式変圧器の外観を示す。

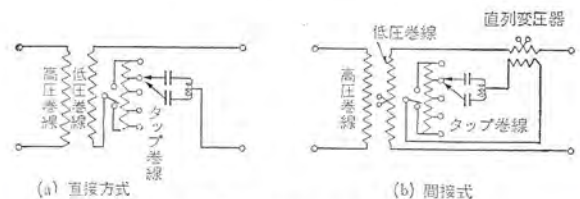


(a) 2 鉄心式



(b) 3 鉄心式

図 4.6 高圧切換間接方式結線



(a) 直接方式

(b) 間接式

図 4.7 低圧切換方式結線

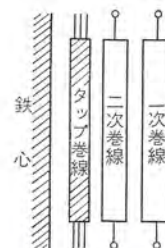


図 4.8 内鉄形負荷時タップ
切換変圧器（低圧切
換方式）巻線構造

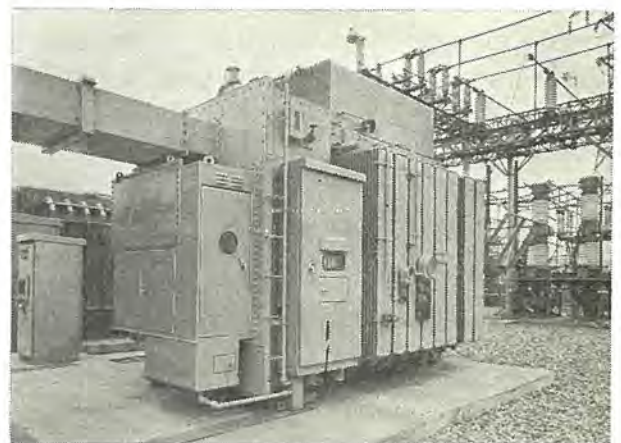


図 4.9 東京電力 10 MVA 71~57/6.9—3.45 kV CR-URA

4.3 特性

負荷時タップ切換変圧器の特性は、調整方式、巻線構造によって異なる。このため並列運転の場合で、異なる調整方式の場合は

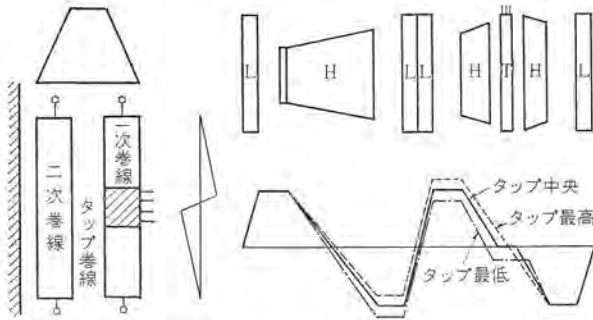


図 4.10 タップ巻線の抜けた場合の漏れ磁束分布

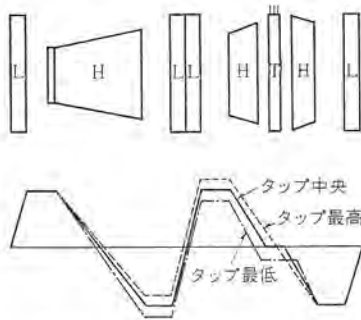


図 4.11 タップ巻線による漏れ磁束分布の変化

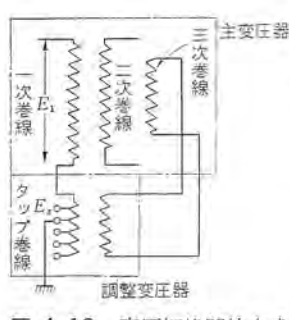


図 4.12 高圧切換間接方式単線結線図

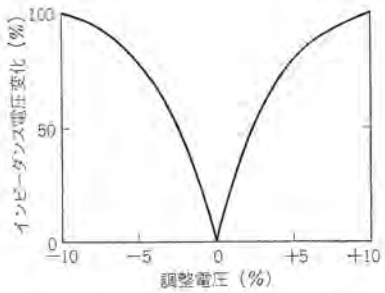


図 4.13 調整器インピーダンス電圧の調整電圧 % による変化

もちろん、異なるメーカの変圧器間で行なう場合はインピーダンス電圧のタップによる変化に十分に注意しなければならない。また高圧切換方式のY結線の中性点に切換器を設けたものではその保護についても考えなければならない。

4.3.1 高圧切換方式

本項では高圧側電圧調整、低圧側電圧一定の場合について述べ、逆の場合は低圧切換方式の項を参照されたい。

(1) インピーダンス電圧、直接、間接切換方式、巻線構造によって異なるのでおの例をあげる。

直接方式、内鉄形変圧器、図 4.2 (a) の場合

今タップ巻線が全部入ったときに高低圧巻線高さが等しいとすると、軸方向と直角成分(交差成分)の漏れ磁束がない。これに対しタップ巻線が抜けると図 4.10 のごとく軸方向と直角成分の漏れ磁束ができ、軸方向平行成分との和となるのでインピーダンス電圧は大きくなる。電圧調整範囲 20% 以下ではインピーダンス電圧の変化も $\pm 3 \sim 5\%$ 程度であるが、電圧調整範囲が大きくなるにつれてインピーダンス電圧の変化は非常に大きくなる。図 4.14 に一例を示す。図 4.2 (b) の場合と同様で、インピーダンス電圧の変化を小さくするには図 4.2 (c) の構造にする必要がある。

直接方式、外鉄形変圧器、図 4.4 の場合

タップ巻線の位置によって多少インピーダンス電圧の変化が違いますが、図 4.11 に示すようにタップ巻線が折り返され漏れ磁束の少ない所に位置しているので、一般にインピーダンス電圧は電圧調整中央で最低となる。インピーダンス電圧変化範囲は(電圧調整範囲 20% で) $\pm 2\%$ 程度に押えることも可能である。図 4.14 に一例を示す。

間接方式、普通使われている 2 鉄心式(別置負荷時電圧調整器付変圧器)図 4.6 (a) は単線結線図で示すと図 4.12 になる。この場合の合成インピーダンス電圧は次式で示される。

$$X = \frac{X_1}{(1+x)^2} + X_2 + X_3 \left(\frac{x}{1+x} \right)^2 + X_s \frac{|x|}{(1+x)^2} \dots (4.1)$$

ただし X_1, X_2, X_3 : 主変圧器一次、二次、三次に分離したインピーダンス (%) (PkVA base)

X_s : 調整器のインピーダンス % (xPkVA base)

x : 調整電圧(電圧上昇側を+とする) $= E_x/E_1$

P : 基準容量 kVA

主変圧器のインピーダンスは、電流に比例して変化し、調整器のインピーダンスは図 4.13 のごとくなり、全体としての変化は図 4.14

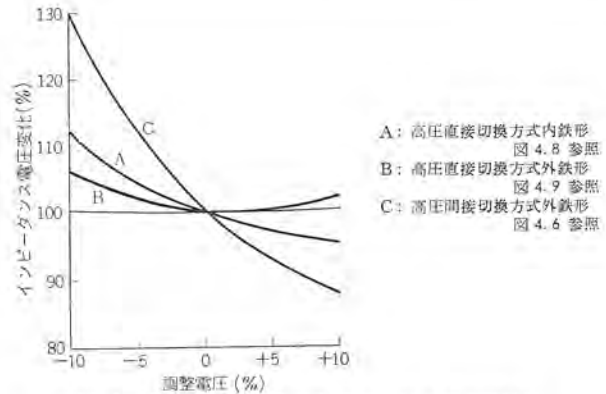


図 4.14 調整電圧によるインピーダンス電圧変化

の例のごとくなる。

(2) 損失、励磁電流

直接方式では無負荷損、負荷損、励磁電流ともに一般変圧器のそれと変わらない。ただし図 4.2 のごとく結線によって、あるいは巻線構造によっては負荷損の変化が多少大きい。

間接方式も 2 鉄心式では直接方式と大差ない。ただし主変圧器、三次巻線、調整変圧器の負荷損は注意しなければならない。

3 鉄心式では上記のほか直列変圧器の鉄損、励磁電流の変化が入ってくる。

(3) 中性点電位

変圧器巻線にサージが印加されるとき電位振動は変圧器絶縁設計上、重要な問題である。とくにY結線中性点非接地で三相一括サージが侵入した場合は、中性点電位が印加サージ電位より上昇する場合がある。わが国では公称電圧 275 kV, 220 kV, 187 kV, 系統は中性点直接接地 154 kV 系統以下は抵抗あるいはリアクトル接地となっており、154 kV 中性点は一般にアレスタによって保護されている。また 110 kV 系統も中性点はアレスタまたはブッシングの保護フィッティングによって保護されている。しかし 66 kV, 77 kV, 以下の配電用変圧器では中性点非接地の場合が多い。そこで問題になるのは中性点非接地の場合である。変圧器のサージに対する等価回路は図 4.15 に示す。他端開放時の $t=0$ における電位分布は

$$e(x, 0) = E \cos h \alpha x / \cosh \alpha l \dots (4.2)$$

$$\text{ただし } \alpha = \sqrt{C_g/C_c}$$

で示され、式(4.2)をフーリエ級数に展開し、 $t>0$ 領域で回路の損失を考慮に入れ、一部省略して簡易化すると、

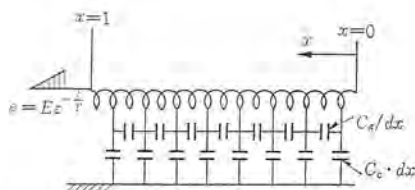


図 4.15 中性点非接地時のサージに対する等価回路

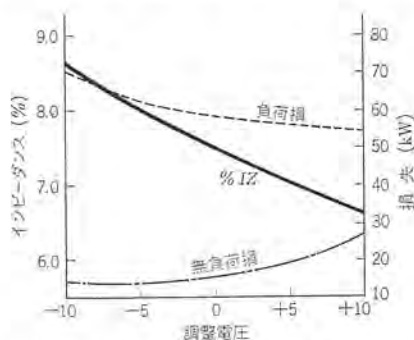


図 4.16 低圧切換間接方式特性曲線の一例

$$e(x, t) = E\epsilon^{-\frac{t}{T}} + U_1 \cos \frac{x}{2} \pi \cdot \cos \omega_1 t \epsilon^{-\frac{t}{Td_1}} \dots (4.3)$$

ただし T : 印加波形の時定数 (波長 $\times 1.44$)

ω_1 : 自由振動の角周波数 ($2\pi/T_1$)

Td_1 : 自由振動の減衰時定数

となる。中性点では $x=0$ であるから

$$e(0, t) = E\epsilon^{-\frac{t}{T}} U_1 \cos \omega_1 t \cdot \epsilon^{-\frac{t}{Td_1}} \dots (4.4)$$

で計算される。大地静電容量、巻数間静電容量によって変わるが $1 \times 40 \mu s$ の波形で、中性点における最大電位は印加電圧の 80~120%, $1 \times 200 \mu s$ で 120~150% 程度となる。埋込形 タップ 切換器で中性点に保護装置のないものでも、線路側端子近くにアレスタが設置されている場合は、アレスタの制限電圧が絶縁階級の 70~75% であるので中性点電位が絶縁階級を超えることはまれである。しかし、線路側 ケーブル 直接接続 (エレファント 形) の場合のごとく線路側端子近くにアレスタが設置できず、絶縁端子に絶縁階級いっぱいの電圧が印加される可能性のある場合は、中性点にアレスタを設置するか、タップ切換器の耐電圧の高いものを使用しなければならない。

4.3.2 低圧切換方式

本項では高圧側電圧の変化を低圧巻線を調整して、低圧側電圧を一定に保つ場合の特性について述べる。すなわち、高圧巻線数一定の所に電圧が印加されるので、鉄心の磁束密度が変わる特徴を持っている。

(1) インピーダンス電圧

主変圧器では電圧に比例し、その他にタップ巻線による構造的変化 (一般に図 4.7 のとき構造ではタップ位置による変化はわずかである) が加味される。直列変圧器ではインピーダンス電圧は一定である。

(2) 損失、励磁電流

無負荷損、励磁電流は、調整位置によって主変圧器、直列変圧器ともに磁束密度が変わるのでその変化も大きく、磁束密度のとり方にもよるが一例を図 4.16 に示す。

負荷損、主変圧器高圧巻線は電圧または調整範囲の二乗に反比例し、低圧巻線は一定、タップ巻線は使用タップ数に比例する。直列変圧器は一定となり、一例を図 4.16 に示す。

5. 負荷時タップ切換単巻変圧器

単巻変圧器は一次と二次の電圧比が小さい場合、2巻線変圧器に比べて経済的であるが、一般に有効接地系統にかぎって採用される。わが国でも 275, 220 kV 系統に一部採用され、欧米諸国においては超高压、有効接地系統の多設から盛んに用いられている。単巻変圧器のタップの設置は、定格、仕様、構造から種々の方式がある。

5.1 切換方式と結線および巻線構造

切換方式には負荷時タップ切換変圧器と同様、抵抗式とリアクトル式があるが、一般に単巻変圧器は高電圧、大容量であるから、抵抗式を使用する前提で述べる。

結線方式には直接方式と間接方式があり、それぞれの特長を生かして採用される。

5.1.1 直接方式

これは一つの鉄心に直列巻線、分路巻線、タップ巻線を全部巻いたもので、図 5.1 に示すとき結線がある。一般に (a) は高圧側電圧変化、低圧側電圧一定の場合に使用され、高圧側電圧一定、低圧側電圧変化の場合は (b), (c) を採用する。すなわち、このようなタップの設け方にすればタップによる磁束密度の変化はないので経済的である。しかし、高圧側から印加されるサージ電圧は、最悪条件を考えると直列巻線のみ全電圧がかかる。また、低圧側から印加されるサージ電圧は直接にタップ巻線、タップ切換器に印加されるので、高、低圧端にアレスタを設置するのはもちろん、巻線構造に十分注意し、場合によってはタップ巻線に並列にアレスタを設けなければならない。当社大形変圧器は外鉄形構造であるので、巻線間静電容量が大きく、タップ巻線の絶縁構造を多少強化することで目的を達する。(b)方式を用いた巻線の構造例を図 5.2 に示す。

三相器では、(a), (b), (c) いずれの方法も相間電圧が高いので三相タップ切換器は採用できず、単相タップ切換器を3個取り付けなければならない。これら耐電圧的には (d) の中性点側にタップを設ける方式が三相タップ切換器も採用でき有利であるが、分路巻線にタップを設けることは調整電圧範囲に対してタップ範囲が広く、等価容量が大きくなり、三次電圧が変動するので不経済であるとともに不具合の場合が多い。

5.1.2 間接調整方式

これは別に直列変圧器を設けるもので、結線を図 5.3 に示す。この方式は重量的には不利であるが、負荷時タップ切換変圧器で述べたように、タップ切換器の定格電流、電圧によってタップを自由に選べることで絶縁設計上有利である。

5.2 特性

(1) 等価容量

単巻変圧器の等価容量は $(V_1 - V_2)I_1$ で示されるが、タップを設けた場合は巻線容量的にタップなしに比べて大きなものとなる。図 5.1 (a), (b), (c) ではその差はほとんどないが、(a), (b), (c) と (d) では電圧調整範囲が大きいほど (d) の不経済さは大きくなる。

(2) インピーダンス電圧

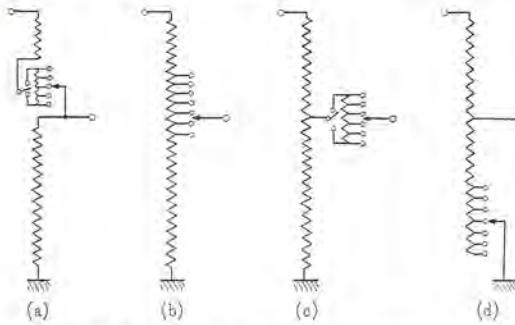


図 5.1 負荷時タップ切換単巻変圧器の直接方式結線

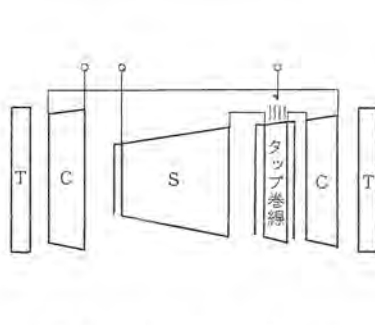


図 5.2 負荷時タップ切換単巻変圧器の巻線構造 図 5.1 (b) の例

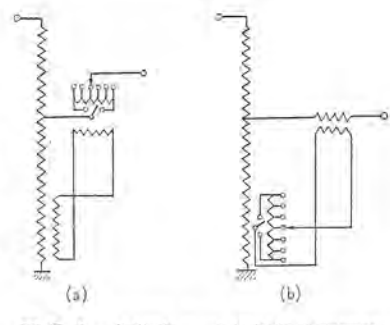


図 5.3 負荷時タップ切換単巻変圧器の間接方式結線

単巻変圧器はタップの変化によってその巻数分比が変わるから、出力基準としたインピーダンス電圧は大幅に変わる。単巻変圧器のインピーダンス電圧は次式で示される。

$$\begin{aligned} \%IX &= K \cdot f \times n_s^2 \times I_H / V_H = K \cdot f \times n_c^2 + (I_L - I_H) / V_L \\ &= K \cdot \gamma \times f \times n_s^2 \times I_H / (V_H - I_L) \\ &= K \cdot \gamma \times f \times n_c^2 \times I_L / V_L \quad \dots \dots \dots (5.1) \end{aligned}$$

ただし K : コイル形状、寸法、配列およびタップ巻線の位置によって決まる定数

f : 周波数

n_s, n_c : 直列、分路巻線数

V_H, I_H : 高圧側電圧、電流

V_L, I_L : 低圧側電圧、電流

γ : 巻数分比

式 (5.1) を $V_H / (n_s + n_c) = V_L / n_L = V_t$ として書き直すと

$$\%IX = K \cdot f \times \gamma^2 \times W_A / V_t^2 \quad \dots \dots \dots (5.2)$$

ただし $W_A: V_H I_H = V_L I_L$

式 (5.2) から単巻変圧器の $\%IX$ は K の変化のほか γ^2, V_t^2 によって変化することがわかる。

(3) 損失、励磁電流

これらについては 4.3 節に述べたと同様の考え方で明確であるので省略する。

6. 負荷時電圧位相調整器

前記、負荷時電圧調整器、負荷時タップ切換変圧器の調整変圧器、直列変圧器に供給し、線路の電圧位相を調整する目的のもので、系統の合理的な運営に使われる。すなわち、変圧器の一次、二次の結線を Y, Δ または千鳥形とし適当に組み合わせて、線路に直角位相電圧成分をそう入すればよい。位相調整方法にも種々考えられるが、代表的結線を図 6.1 に示す。(a) は千鳥形結線を採用したもので 1 鉄心式で経済的な場合が多いが、完全に直角成分の電圧が得られないから、位相と同時に同相成分の電圧も調整する必要がある。

7. む す び

以上負荷時タップ切換器の変圧器への適用について、各種の結線、構造について特長、特性を折り込みながら簡単に述べた。しかし、その結線、構造については多種多様で経済性、採用根拠などについて詳述するに至らなかった。これらは変圧器の定格仕様

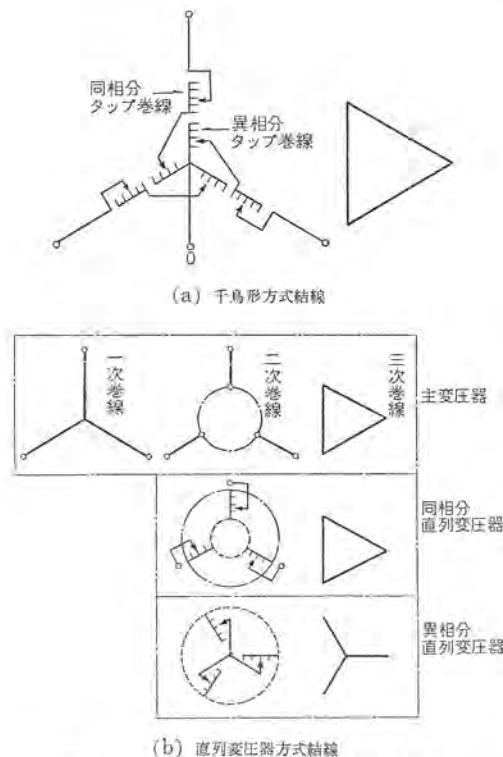
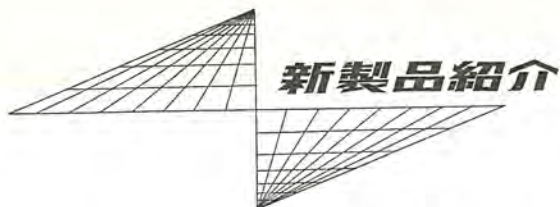


図 6.1 負荷時電圧位相調整器の結線

によって、その要求するところに合致するよう、個々に詳細に検討して決定されるものである。とくに将来 400 kV 送電系統の建設、変圧器の大容量化、単巻変圧器の広範囲の採用などがあるが、負荷時タップ切換器はこれらにも切り離せない存在で、一段と高性能、長寿命の負荷タップ切換器が望まれると、その組み合わせについても低損失、インピーダンス電圧の変化の少ないこと、耐電圧問題などから、実に複雑になろうとしている。以上のことから、本稿がなんらかのご参考になれば幸いである。なお、並列運転、自動御制等を含んだタップ切換器の制御についても種々問題はあが、タップ切換器の構造とともに次の機会にゆずる。

参 考 文 献

- (1) 田村: 電気公論 39 1425 (昭 38)
- (2) 田村: 電気公論 39 316 (昭 38)
- (3) 木村: 変圧器の設計工作法
- (4) 日本工業会、負荷時タップ切換変圧器 統一仕様書 (案)



新製品紹介

無誤字伝送装置 MARQ-100 完成

当社ではこれまで各種自動誤字訂正装置 (ARQ 方式) の製作を行ってきたが、この経験を生かしこのたび画期的な無誤字伝送装置 MARQ-100 の製作に成功した。

周知のように ARQ 方式ではリーダよりの入力信号を定マークの符号に変換して伝送し、相手局ではこのマーク数を計数し、正しいならば元の符号に変換し出力としてテープにパンチする。回線その他の雑音によりこのマーク数が変化していることを検出すると自動的に再送要求信号を発して誤った文字を再送しかつ訂正させるものである。

MARQ-100 はマイクロプログラム方式を導入し、従来の同種伝送装置のように各動作ごとに適応する特定の回路を作ることなく共通の基本論理回路のみを持ち、固定メモリにストアされたプログラムに従って指定された動作を遂行していく。このため論理回路は非常に簡単になり装置も小形、軽量になった。また伝送速度は 50～200 ボーまで可変とし、50 ボーのテレタイプ回線のみでなく、昭和 38 年に制定された専用または準専用制度による電話回線の低、中速度データ伝送にも適応できるものである。

性能はすでに発表されている TZ-11 形で行なう ARQ 動作をすべて遂行するうえにグループごとの水平群パリティチェックをも行ない、ARQ 方式では検出できなかったトランスpositionalエラー (同一文字内でマークとスペースとが同数ずつ誤まるようなエラー) をも検出するため見逃し誤字が実用上まったくないといえるほどまでになった。また特殊機能として必要な場合には ON-OFF の特殊コードをそう入することによりその間のデータを読み込んでも相手側に送信しないようにすることもできる。これにより相手側に送ってはいけなデータが入っている場合でもテープを編集しなおすことなく必要なデータだけを伝送できる。さらに現在は下記仕様の装置であるが、プログラムを変更することによりどのような方式の伝送も行なうことができる融通自在のデータ伝送装置である。

■ 概略仕様

- 通信速度; 50 ボー, 100 ボー, 160 ボー, 200 ボー
- 入出力符号; 8 単位奇数パリティ符号
- 伝送路における符号; 4 マーク, 4 スペースの 8 単位符号
- 1 文字の誤り訂正に要する時間;

2 sec (50 ボー), 1 sec (100 ボー), 0.5 sec (200 ボー)

誤字訂正可能な最大片道伝送時間;

560 ms (50 ボー), 280 ms (100 ボー), 140 ms (200 ボー)

誤り検出, 訂正方式

検出方式; マーク計数+水平群パリティチェック (テープごと)

訂正方式; ARQ 方式による文字毎の自動訂正+群パリティチェックによる手動訂正

特殊読取制御; 必要に応じ OFF, ON コードを情報テープにそう入することによりその間の読取をスキップすることができる。

消費電力; AC 200 V/100 V, 単相 50/60 cps, 約 200 VA

外形寸法; 幅 560, 奥行 600, 高さ 875 mm

重量; 約 80 kg



図 1 無誤字伝送装置 MARQ-100



図 2 MARQ-100 のコントロールボックス

鋼板フレーム製三相モータルのシリーズ化完成 (SB-R 形 1.5 kW～3.7 kW 4P)

当社では昭和 34 年より 750 W 以下の鋼板フレーム製三相モータルを発売し好評を得ているが、このたび、このシリーズを拡大し 1,100, 1,300 フレームについても開発を完了し、生産を開始した。これにより鋼板フレーム製三相モータルは 100 W から 3.7 kW 4P までのシリーズが完成したことになる。

■ 特長

- (1) 小形軽量化されている



鋼板フレーム製三相モータル (SB-R 形 3.7 kW 4P 1,318 フレーム)

外形寸法が縮小され、従来の鋳鉄製 モートル に比べて重量は約 20% 減少している。

(2) 美しい外観

外観は斬新な感覚で デザイン され、美しい メタリック 塗装で仕上げられている。

(3) すぐれた特性

全負荷特性、トルク 特性などは従来の鋳鉄製 モートル とまったく

同等に設計されており、構造的にも十分検討されているので、振動、騒音はきわめて小さい。

(4) 低い温度上昇

通風は軸流式を採用しており、有効に鉄心外周および コイルエンドを冷却するために温度上昇は十分余裕を持っており、過酷な使用にも耐える。

屋 内 用 低 容 量 バ ス ダ ク ト 完 成

低圧 バスダクト の需要は年々著しく増大してきた。しかし、主として大電流の幹線に限定されている。これは低容量の バスダクト は、金属管工事に比べ経済的に高くなるためである。

当社は、このたび バスダクト のすぐれた特長をそのまま生かし、金属管工事に匹敵する安価な低容量 バスダクト を完成し発売することになった。

■ 特 長

(1) 小形で安価

導体は電気用硬質銅棒を、またこれをささえる絶縁台には当社製 ガラスポリエステル 樹脂を使用し、三相 4 線式 バスダクト を幅 145 mm、厚さ 42 mm にまとめてある。価格も金属管工事に近くなり安価である。

(2) バスダクト のすぐれた特長をそのまま継承

安全で寿命は恒久的、分岐回路が容易にとれる、負荷の増設および位置変更に応じできる、過電流強度が大きい、施工が容易で施工費が安いなどの特長をもっている。

■ 仕 様

形 式 屋内用非換気形



屋内用低容量 バスダクト
三相 4 線用、AC 600 V 100 A

| | |
|------------|------------------------------|
| 配線方式 | 単相 2 線、単相 3 線、三相 3 線、三相 4 線式 |
| 定格電圧および周波数 | AC 600 V、50/60 c/s |
| 定格電流 | 100 A |
| 定格短絡電流 | 10,000 A および 15,000 A |
| 重 量 | 13.5 kg (三相 4 線式 長さ 3 m) |

NL-305 形 ラ ッ チ 付 交 流 電 磁 接 触 器 完 成

N-305B 形交流電磁接触器の開閉部および動作機構と特長をそのまま生かし、クランプタイプの電磁石部分の上部にこれと係合するラッチ機構を付加した構造のものである。

■ 定 格

| | |
|-------------|-------------|
| 定格電圧 | 600 V |
| 定格電流 | 300 A |
| 閉路 ショ 断電流容量 | 6,000 A |
| 連続通電々流容量 | 400 A |
| 補助接点数 (最大) | a または b 計 4 |
| 性 能 | JEM A-2-2 |

(ただし、ラッチ 機構部分の寿命は 25 万回)。

この接触器は閉路後に ラッチ 機構で機械的に閉路を保持するので、停電などの場合でも機械的記憶回路を必要とする時、および

閉路後操作電磁 コイル は開放されるので、電磁石の騒音をきらう場所での使用に適し、また操作電磁 コイル の消費電力が節約できる特長がある。



NL-305 形 ラ ッ チ 付 交 流 電 磁 接 触 器

冷温水配管だけで冷暖房ができる リビングマスター 新発売

冷暖房工事において、ダクトセントラルシステムをとれない場合に、冷温水配管のみで、冷暖房のできるリビングマスターが販売開始されました。

リビングマスターはどの部屋にも満足のいただけるユニークなデザインと極薄形でありますので場所をとらず、どこでも取り付けられます。

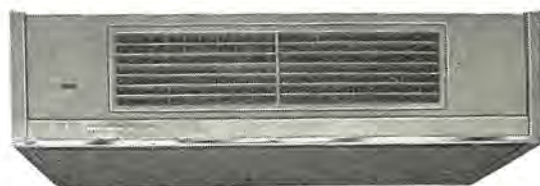


床置形 LV-400E
現金正価 ¥ 82,500

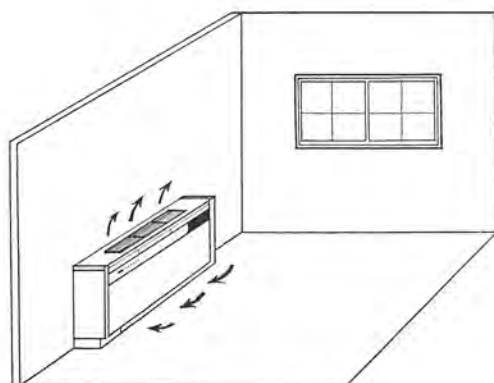
す、二相完全平衡コンデンサモータを使用していますので静かに大能力を発揮し、重役室、寝室などに使用しても、気になりません。

そのうえ、化粧カバー部分と機械部分とを、別々に梱包して送りますので、化粧カバー部分に傷をつけることなく、安心して工事ができるとともに、右側配管および左側配管は、現場事情に合わせて、その場で容易に改造できます。

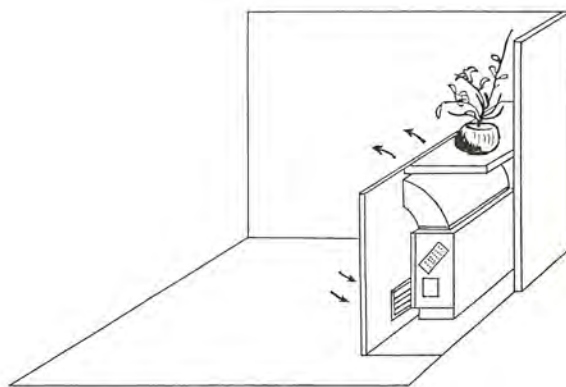
リビングマスターは200形、300形、400形および600形の各サイズに、床置形、天つり形および床置埋込形、天つり埋込形の合計16種類ありますので、部屋の大きさ、部屋の構造、家具調度類の配置に合わせて、選択できます。



天つり形 LH-400E
現金正価 ¥ 71,000



床置形 LV-400E



床置埋込形 LV-400R

空気のビタミン……陰イオン発生器 三菱イオナイザー 完成

最近都市の大気汚染、ビルの大気調整問題などに関連して、環境衛生の面から、空気イオン、とくに負イオンの研究が脚光を浴びてきた。一般に負イオンは鎮静作用があり、そう快感を与え、疲労回復などに効果があるといわれている。

この大気中のイオン濃度は、大気汚染と密接な関係があり、清浄な山間部では500~600 ions/ccであるが、都心部では40~200 ions/cc以下に減少する。また屋内では、イオン数は人間の数と

もに急激に減少し、空調されている室内で不快感を感じるのは、負イオンの不足に起因しているといわれている。これらのことからイオン発生器は治療面に応用されるとともに、ビルや家庭の空気清浄装置として脚光を浴びるようになってきた。

当社では、以前よりこのイオン発生器を研究していたが、今回完成し量産化にいたったものである。

このイオン発生器は、パルス放電式イオン発生器といわれるもの

で、原理は図に示す針電極に負極性の高電圧を印加し、針先でコロナ放電をさせると、その近くに正、負イオンが形成されその内正イオンは針電極に吸引され消滅する。一方負イオンは、平板電極に吸引されるが、行路長が長いので送風機で風を送ってやることにより、空気中に放出される。

このパルス式では、容易に大量の負イオンを空気中に放出することができ、また針電極に加わっている電圧の実効時間が短いので、放電電流が非常に少なくなり、したがって、悪性のオゾンや酸化窒素の生成を、非常に少なくすることができるなどの特長を有している。

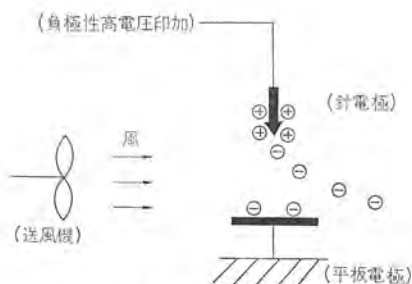


図1 原理図

■仕様

| 形名 | VG-5A |
|---------|------------------------------|
| 電源 | 50/60 c/s 100 V |
| 消費電力 | 14/12 W |
| 負イオン発生量 | 10^{10} 個/sec |
| スイッチ | 3 段押しボタンスイッチ イオン発生量指示メータ付 |
| コード | 有効長 2.5 m プラグ付 |
| 外形寸式 | 高さ 129×幅 338×奥行 186 (mm) |
| 重量 | 2.2 kg |



図2 三菱イオナイザー

オリオンビックを19形で

19形テーブルタイプ三菱テレビジョン 19T-530形発売



19T-530形 三菱テレビ
現金正価 ¥ 63,500
月賦正価 ¥ 66,500

わが国におけるテレビジョン受信機は目下16形が標準機種として、生産台数の大半を占めているが、漸次大形テレビジョンの需要も増大し、いまや国内標準機種として、16形から19形へ移行する気配さえみせている。

このような情勢を背景に、先に発売されている19T-630形、19T-370形に続く、19形の普及版として新たに発売される19T-530形は、性能、デザインともに改良を重ね、市場の要求を十分満たすものとして期待されている。

■特長

(1) 新しい広角19形ブラウン管の採用

ワイドスクエアタイプの最新形114度偏向ブラウン管を採用していますから、迫力のある映像を楽しめます。

(2) 前面サウンドシステム

キャビネット前面に音質のすばらしいダイナミックスピーカを2個使用していますので、鮮明な映像にふさわしい実感をもりあげます。

(3) チャンネルインジケータ付き

受像中のチャンネル番号がチャンネル切換つまみに明るく浮き出しますので大変便利です。

(4) 感度の飛躍的向上に新威力登場

新しい超高感度真空管2GK5を採用しました。この真空管は、従来のものより2倍も電波を捕える力が強く、雑音をシャットアウトします。

(5) 故障のないセルフクリーニングの採用

新形セルフクリーニングチューナを採用してチューナの接触不良を防止していますので、いつでも美しく安定した映像を楽しめます。

(6) ラジオへの雑音防止

本機はラジオへの雑音を防止できるフィルタを内蔵し、アース端子を設けてありますから、必要に応じてアース線を接続すると、ラジオへ与える雑音を著しく軽減することができます。

■仕様

| | |
|-------|--------------------------------|
| 真空管 | 16球 (CRTを除く) |
| ブラウン管 | 19XP4 |
| スピーカ | PO-641 2個 |
| 音声出力 | 最大 2 W, 無ヒズミ 1.3 W |
| 消費電力 | 130 W |
| 外形寸法 | 幅 674 mm, 奥行 358 mm, 高さ 396 mm |
| 重量 | 38 kg (パッキングケース込) |

■ 大阪大学理学部および工学部納め ND-6303 形 12 チャンネル中性子線エリアモニタ

最近原子炉や核実験装置が多く設置されているが、それとともにこれらの装置からの各種の放射線の漏れを監視する エリアモニタが重要となってきた。

当社では、中性子に対して感度の良い BF₃ 比例計数管を検出器に用いて、速中性子および熱中性子の計数率を測定し、人体に対する影響を監視する中性子線 エリアモニタ を多数納入しているが、このたび大阪大学理学部および工学部に、検出部を 12 チャンネル 持ったものを、それぞれ 1 式ずつ製作納入した。

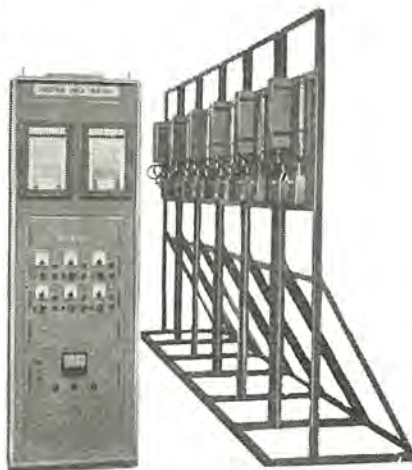
この装置は、12 個の検出部からの信号を計測部に集めて チャンネル 別に計数率を測定し、記録計に記録するとともに、設定した値より大きい計数率を測定した時は、ただちにブザーおよび表示灯で警報を発するようになっている。特長は次のとおりである。

(1) 計測系を半導体化したことにより小形化し、消費電力が少なくなり、安定な動作を行なう。

(2) BF₃ 比例計数管の特性がそろっていること、装置が小形化したことにより、検出部を数多く設けて、多チャンネルとすることが容易である。

(3) 検出部と計測部間の距離が長くても、誘導雑音などの外乱の影響を受けない。

(4) 操作が簡単で表示が見やすく保守点検が楽である。



計測部(左) 検出部(右)
大阪大学工学部納め 12 チャンネル 中性子線
エリアモニタ

■ 帝都高速度交通営団 5 号線用主電動機完成

東京都の高速鉄道網のうち第 1~4 号線はすでに開業しているが、中野から東陽町まで都区内を東西に横断する第 5 号線は、現在帝都高速度交通営団によって施工中である。この路線は中野經由国鉄中央線と相互乗り入れを行なうために、車両は最大 10 両と長編成が予定され、地下運転においても地上運転においても高性能が要求されている。

この車両に使用される主電動機の設計は当社が全面的に担当したため量産に先立って試作を行ない、各種の試験も好調に終了した。仕様は次のとおりである。

形 名 MB-3088-A 形
形 式 直流直巻補極付、WN ドライブ方式

1 時間定格 100 kW 375 V 300 A 1,450 rpm (80%F)
最高回転数 4,800 rpm
最弱界磁率 30%

車両性能としては

加 速 度 3.5 km/h/s
最大運転速度 100 km/h

となっている。

なお 5 号線は全線開通に先立ち、本年末に九段下—高田馬場間が開通するが、この区間に使用する車両として、現在 MB-3088-A 形主電動機 24 台を製作中である。



MB-3088-A 形主電動機

■ 日本建鉄納めアルミ誘導加熱装置完成

アルミ 建材の需要の高まりとともに、生産率が高く品質の安定した加熱炉が強く望まれている。当社ではこの要求に答えるべく本装置を鋭意製作中であつたが、この春完成し好成績を納めた。

仕 様
素 材 アルミ (180φ×660) 500°C まで加熱
処 理 量 1 時間に 40 本 (1,820 kg)
電 源 三相 50 c/s 700 kVA

図は加熱機の外観である。

この装置の特長は

(1) 操作は簡単

押し ボタン により素材の加熱から取出しまで、すべて自動的に行ないうる。

(2) 小形、がんじょう、高信頼度

装置は小さくまとまっているため据付面積は小さくてよい。振動、衝撃、熱に対し十分考慮されているうえ、使用部品も信頼度を検討してあるため装置の信頼性は高い。

(3) 高性能

処理量も 1 時間に 40 本以上で、処理能力が大きい。素材の温度むらは小さく、直径方向の温度差は 10°C 程度である。また軸方向に任意の温度 コウ 配をつけることができるように新方式のコイル 接続を採用したため、アルミをあらゆる断面の形材に押し出せる。

(4) 安 価

商用周波数で直接加熱できる。また負荷を平衡させることによ



アルミビレット
ヒータ

り三相電源を使用できるので、三相を単相に変換するための特別の電気設備は不要である。

この低周波誘導加熱の用途は単に アルミ の押し出しのみでなく、銅の伸線、ハステロイ・インコネルなどの耐熱合金の製管など、多分野に応用できる。当社では標準化を進め、広く顧客の要望に応じられるよう準備している。

■ 抵抗リアクタンス回路網アナログ装置完成

熱伝導現象を数値的に求めようとする試みは古くからなされ、純数学的な立場よりの解析はほぼ完成されていると思われる。

しかし熱伝導の問題は複雑な境界条件および初期条件を持つ、二次元、三次元の問題であるため、定量的に十分な解を得ることはむずかしく、なんらかの近似的な手法に頼らざるを得ないのが通常である。それらの近似解法の一つに、演算速度が比較的速く、現象解析領域の広い、電気回路を利用した相似解法がある。今回このようないわゆる抵抗リアクタンス(コンデンサ)



抵抗リアクタンス回路網
アナログ

回路網アナログ法の原理に基づいた取り扱い簡便なアナログ装置を完成したのでここに紹介する。この方法の基本的な考え方は熱伝導微分方程式を階差方程式になおし、その方程式と式対応および物理的対応の等価な電気方程式から解を求めるもので、本装置は他の方式(たとえば G. Liebmann の抵抗アナログ)に比べ、過渡解から定常解への収束速度が速いという特長を有している。

この装置の用途は熱伝導現象の解析のみならず、熱伝導現象のシミュレーション、熱交換器のシミュレーション、パイプラインの伝導のシミュレーションなど、その他変わったところでは、熱応力の計算、平板の伸びとタワミの問題の解析などにも使用することができる。

この装置の特長は次のとおりである。

- (1) 各要素ははん用性を増すため、分割され、独立に構成されているので任意のモデルを高精度に作ることができる。
- (2) 各要素の簡度が高い。(0.1%)
- (3) 低速度形アナログ計算機と連動して演算することができる。
- (4) レコーダなどの外部機器を回路網に接続しても、回路網を乱さないよう、利得1の特殊なインピーダンス変換器が付加されている。
- (5) 特定の時間における各部の温度分布を正確に測定することができる。

(6) 要素数が多い。たとえばノードポイント200組、演算抵抗器600個、コンデンサ200個、ポテンシオメータ50個など装置の外形寸法は(高さ)1,800×(幅)560×(奥行)600の鉄箱2架から構成されている。この装置のおもなる仕様は次のとおりである。

形式 抵抗リアクタンス(コンデンサ)方式
電源 AC 100 V 50/60 c/s 500 VA

構成素子 ポリスチレンコンデンサ $\pm 0.1\%$ 125 WV
金属皮膜抵抗 $\pm 0.1\%$ 1/2 W
インピーダンス変換器 入力 インピーダンス $10^9 \Omega/r$
ポテンシオメータ 精密巻線形 1/1,000 目盛 ダイヤル 付

■ 京浜急行納め新車用制御装置完成

京浜急行 38 年度新車用の制御装置 5 両分が完成し、良好な成績で工場試験を終え納入された。この車両は東京都地下鉄と相互乗入で地下運転にも使用されるので制御装置もこれに適するよう考慮してある。

たとえばカム軸作用電動機は直流電源のみで動作する無接点制御装置で制御され、架線が停電し MG が使用不可能となっても蓄電池電源により平常と変わりなく発電ブレーキを使用しうる。

この装置は交流電源を必要としない無接点制御装置の一つとして開発したもので次の特長をもっている。

- (1) 交流電源を必要としない。
- (2) 応答が早くステップ角度を狭くしうる。
- (3) ひんばんな ON, OFF の指令やサージに対しても安定で誤動作の恐れがない。
- (4) 小形軽量である。

制御装置の仕様は次のとおりである。

| | | | |
|-------|--|------------------|---------|
| 形式 | ABF-108-15MDHC 形 (間接自動加減速制御、電空併用制動) | | |
| 編成 | M+M | | |
| 最高速度 | 120 km/h | | |
| 加速度 | 3.5 km/h/s | | |
| 減速度 | 4 km/h/s (非常 4.5 km/h/s) | | |
| ステップ数 | 力行 | 全界磁 | 16 ステップ |
| | | 弱界磁 | 5 ステップ |
| | 制動 | 全界磁 | 16 ステップ |
| シャ断方式 | 力行 | 常時減流 シャ断 | |
| | | 非常時高速度減流 シャ断 | |
| | 制動 | 時常界磁短絡後限時 シャ断 | |
| | | 非常時界磁短絡後ただちに シャ断 | |

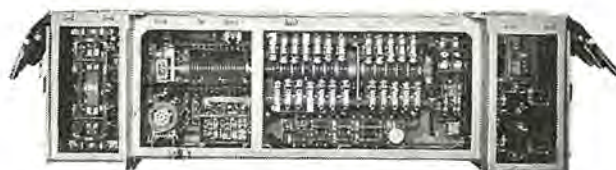


図 1 主制御器箱

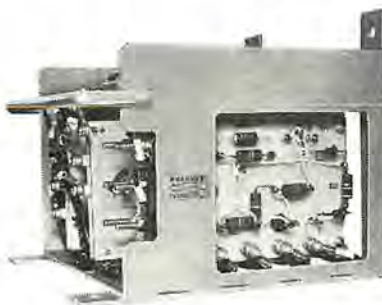
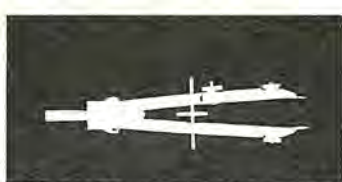


図 2 操作電動機用
無接点制御装置



特許と新案

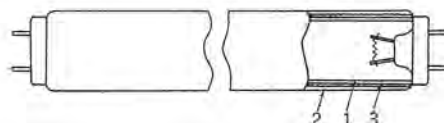
写真暗室用ケイ光放電灯

発明者 山本 壮 司

従来写真暗室用光源、すなわち暗室内 セーフライト としては、白熱電球に色フィルタを組み合わせたもの、白熱電球のガラスを着色したもの、白熱電球のガラス内壁に塗料を塗布したものなどが使用されている。しかし白熱電球はその90%余りが熱放射損などとしての損失になるため可視光線放射の効率はいはなはだ低い。その上暗室電球は上述したように色フィルタあるいは塗料などの特定波長光吸収層を有するためその効率は1.2lm/Wとごく低いのが現状である。

この発明は効率の高いケイ光放電灯を写真暗室用光源に適するように改良したもので、管球内壁(2)とケイ光体層(1)との間に写真印画紙の感光域の波長光を吸収する顔料層(3)を

介在させ、かつ上記ケイ光体として上記顔料層によりほとんど吸収されない白色ケイ光を発するものを用いたケイ光放電灯である。本発明のケイ光放電灯では、写真印画紙の感光域および赤外線域の波長光を除いた5,300Å~6,900Åの波長光を高効率で放射させることができる。(特許第297846号)(倉屋記)



自動同調装置

発明者 松村 長 延

この発明はたとえば発振器の周波数に応じてそれ以降の増幅段の同調回路を自動的に発振周波数に同調させるようにした自動同調装置に関するもので、発振器の周波数変化がきわめて広範囲にわたるときにもスムーズに自動同調作用を行なわせ得る特長を有している。

以下図について説明すると、可変周波数発振器(1)の出力は増幅段(2)に加えられて増幅されるが、同時に周波数弁別器(10)にも加えられる。この周波数弁別器(10)は増幅段(2)の同調用可変コンデンサ(4)(5)と連動する可変コンデンサ(12)(15)を有し、増幅段(2)の同調周波数が発振器(1)の周波数 f_1 に正しく同調したとき図2Aに示すように出力端子(20)に生ずる電圧 E_1 がゼロになるように構成されている。この弁別器(10)の出力は並列の常開接点(22)(23)、(29)(30)を有する継電器の一方のコイル(21)に加えられる。一方継電器の他のコイル(28)には周波数弁別器(10)の一次同調回路(11)に給合するコイル(24)に生ずる電圧をダイオード(25)で整流して得られる電圧 E_2 と電池(31)の電圧 E_0 との差の電圧 E_3 を加えて接点(29)(30)の開閉を行なわせる。連動する可変コンデンサ(4)(5)(12)(15)は上記接点(22)(23)、(29)(30)を介して電源(36)に接続された電動機(33)によって駆動されるようになされている。したがって電動機(33)は電圧 E_1 、 E_3 により制御される。

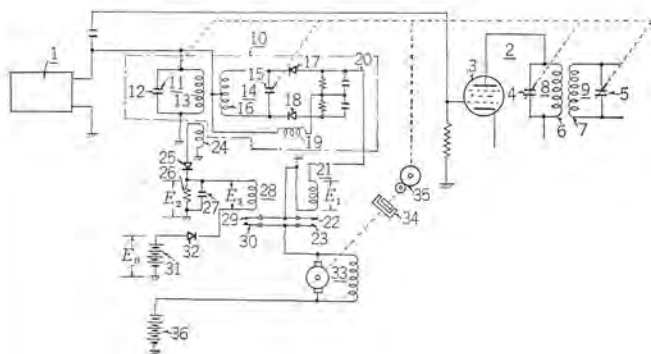


図 1

今発振器(1)の周波数がたとえば f_1 から f_2 に変化した時の自動同調動作を説明すると、周波数弁別器(10)の出力電圧 E_1 はその周波数 f_2 が弁別帯域外であるから図2Aのようにゼロとなり、したがって接点(22)(23)は開放する。一方電圧 E_2 は周波数 f_2 においてゼロであるから、電圧 E_3 は図2Dに示すように E_0 に等しくなり接点(29)(30)が閉合し電動機(33)が回転して増幅段(2)の同調回路(8)(9)および弁別器(10)の同調回路が周波数 f_2 に同調する方向に可変コンデンサ(4)(5)(12)(15)を回転する。これら同調回路が周波数 f_2 の共振点に近づくと E_2 が増大して E_3 が小さくなりゼロになるが、この範囲では弁別器(10)の出力電圧 E_1 により接点(22)(23)が閉じて動作が続けられ、 f_2 に正しく同調したとき E_1 がゼロになって電動機(33)は停止する。発振器(1)の周波数が高い f_3 に変化した場合にも同様の動作により自動的に同調される。

以上のようにこの発明のものでは周波数が周波数弁別器の動作範囲外にずれた場合にもきわめて円滑に自動同調を行なわせ得る。(特許第311006号)(竹歳記)

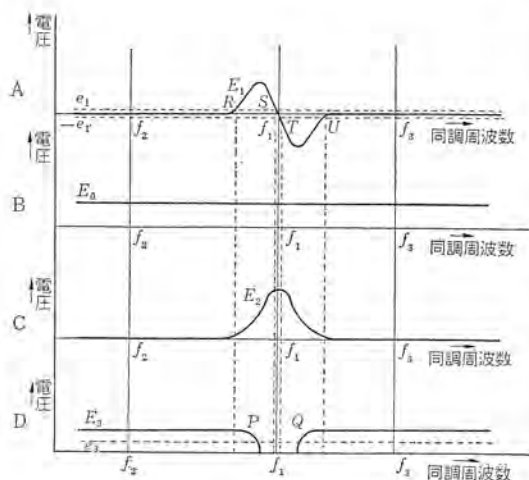


図 2

次号予定

三菱電機技報 Vol. 38 No. 8

- 愛媛県庁道前道後第 1, 2, 3 発電所納め
自冷式水車発電機および運転制御装置
- 愛媛県庁道前道後第 1, 2, 3 発電所納め フランシス 水車
- 愛媛県庁道前道後第 1, 2, 3 発電所納め 搬送式遠方制御装置
- 関西電力北大阪変電所納め 配電盤
- 電源開発納め 40 MVA 分路 リアクトル
- 250 kVA 10,000 c/s 高周波発電機
- Y 形空気シタ 断器
- 最近の アルミハクミル 用電機品
- “三菱 アーク” SA-100 形半自動 アーク 溶接装置
- モノレール 用自動停止装置
- MELCOM-1530 データ・プロセッシングシステム
その スタッド・ロジック 設計
- レーザー の実験 (I)
- 銀系接点の消耗移転現象 (3)
- ホール 素子を用いた乗算器
- 技術解説：電力用変圧器の据付および保守点検

三菱電機技報編集委員会

委員長 小 倉 弘 毅
副委員長 宗 村 平
常任委員 明 石 精二
" 安 藤 安 孝
" 大 野 寛 孝
" 河 合 武 彦
" 小 堀 富 次 雄
" 篠 崎 善 助
" 高 井 得 一 郎
" 中 野 光 雄
" 馬 場 文 夫
" 宮 内 圭 次
" 山 田 栄 一
委 員 大 森 淳 夫
" 樫 本 俊 弥
" 片 岡 高 邇
" 神 崎 大 介
" 島 津 大 介
" 堀 真 幸
(以上 50 音順)

昭和 39 年 7 月 22 日印刷 昭和 39 年 7 月 25 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 12 番地 小 倉 弘 毅

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「三菱電機技報社」
東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地 (三菱電機ビル内)
(電) 東京 (212) 大代表 6111

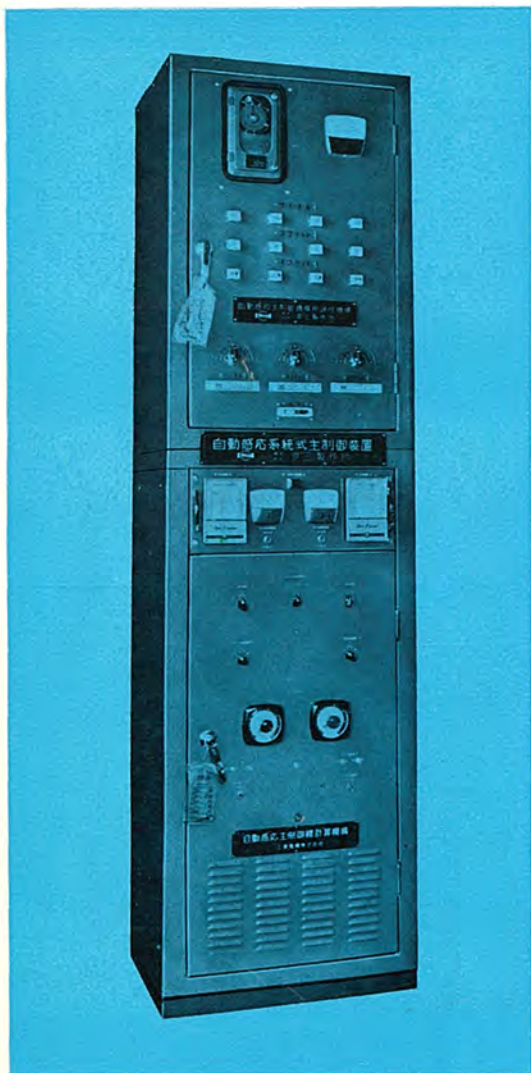
発売元

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) 0912 振替東京 20018

本社 営業所 研究所 製作所 工場 所在地

| 本 社 | 東 京 都 千 代 田 区 丸 の 内 2 丁 目 12 番 地 (三菱電機ビル内) (電) 東京 (212) 大代表 6111 |
|----------------|---|
| 大 阪 営 業 所 | 大阪市北区堂島北町 8 の 1 (電) 大阪 (312) 大代表 1231 |
| 名 古 屋 営 業 所 | 名古屋市中村区広井町 3 の 88・大名古屋ビル (電) 名古屋 (56) 大代表 5311 |
| 福 岡 営 業 所 | 福岡市天神町 58・天神ビル (電) 福岡 (75) 代表 6231 |
| 札 幌 営 業 所 | 札幌市北二条西 4 の 1・北海道ビル (電) 札幌 (26) 大代表 9111 |
| 仙 台 営 業 所 | 仙台市大町 4 の 175・新仙台ビル (電) 仙台 (22) 代表 6101 |
| 富 山 営 業 所 | 富山市総曲輪 490 の 3・明治生命館 (電) 富山 (3) 代表 3151 |
| 広 島 営 業 所 | 広島市八丁堀 63・昭和ビル (電) 広島 (21) 代表 4411 |
| 高 松 営 業 所 | 高松市寿町 1 の 4・第 1 生命ビル (電) 高松 (2) 大代表 1111 |
| 東京商品営業所 | 東京都千代田区丸の内 2 の 12・三菱電機ビル (電) 東京 (212) 大代表 6111 |
| 大阪商品営業所 | 大阪市北区堂島北町 8 の 1・(電) 大阪 (312) 大代表 1231 |
| 名古屋商品 営 業 所 | 名古屋市中村区広井町 3 の 88・大名古屋ビル (電) 名古屋 (56) 大代表 5311 |
| 福岡商品営業所 | 福岡市天神町 58・天神ビル (電) 福岡 (75) 代表 6231 |
| 札幌商品営業所 | 札幌市北二条西 4 の 1・北海道ビル (電) 札幌 (26) 大代表 9111 |
| 仙台商品営業所 | 仙台市大町 4 の 175・新仙台ビル (電) 仙台 (22) 代表 6101 |
| 富山商品営業所 | 富山市総曲輪 490 の 3・明治生命館 (電) 富山 (3) 代表 3151 |
| 広島商品営業所 | 広島市八丁堀 63・昭和ビル (電) 広島 (21) 代表 4411 |
| 高松商品営業所 | 高松市寿町 1 の 4・第 1 生命ビル (電) 高松 (2) 代表 5021 |
| 北九州出張所 | 北九州市小倉区京町 10 の 281・五十鈴ビル (電) 小 倉 (52) 代 表 8234 |
| 静岡出張所 | 静岡市七間町 9 の 10・池田ビル (電) 静岡 (53) 代表 9186 |
| 岡山出張所 | 岡山市上石井 174・岡山会館 (電) 岡山 (4) 0331~2 |
| 長崎出張所 | 長崎市大黒町 3 番 1 号長崎交通産業ビル (電) 長崎 (2) 0293 |
| 金沢出張所 | 金沢市幸町 13 番 28 号 (電) 金沢 (31) 6213~4 |
| 長野出張所 | 松本市本町 3 の 123 (電) 松本 (2) 1058 |
| 中央研究所 | 尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021 |
| 商品研究所 | 鎌倉市大船 782 番地 (電) 大船 (6) 代表 3131 |
| 神戸製作所 | 神戸市兵庫区和田崎町 3 丁目 (電) 兵庫 (67) 代表 5041 |
| 伊丹製作所 | 尼 崎 市 南 清 水 字 中 野 80 番 地 (電) 大 阪 (481) 8021 伊 丹 局 代 表 2481 |
| 長崎製作所 | 長崎市平戸小屋町 122 番地 (電) 長崎 (3) 代表 3101 |
| 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) 代表 1531 |
| 福岡製作所 | 福岡市今宿青木 690 番地 (電) 福岡 (代表) 0431 |
| 福山製作所 | 福山市沖野上町 6 丁目 709 番地 (電) 福山 (2) 代表 2800 |
| 姫路製作所 | 姫路市千代田町 840 番地 (電) 姫路 (23) 大代表 1251 |
| 相模製作所 | 相 模 原 市 小 山 字 久 保 2 2 4 の 2 2 4 (電) 相 模 原 (0427) —(7)— 代 表 3231・3241 |
| 静岡製作所 | 静岡市小島 110 番地 (電) 静岡 (85) 大代表 1111 |
| 中津川製作所 | 中津川市駒場 928 番地 2 (電) 中津川 2121~8 |
| 和歌山製作所 | 和歌山市岡町 91 番地 (電) 和歌山 (3) 代表 1275 |
| 大船製作所 | 鎌倉市大船 800 番地 (電) 鎌倉 (6) 代表 2121 |
| 郡山製作所 | 郡山市字境橋町 1 番地 (電) 郡山 (2) 1220~1223 |
| 群馬製作所 | 群馬県新田郡尾島町大字岩松 800 番地 (電) 尾 島 270 番 太 田 代 表 4311 |
| 無線機製作所 | 尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021 |
| 京都製作所 | 京 都 府 乙 訓 郡 長 岡 町 大 字 馬 場 小 字 岡 所 1 (電) 京 都 (92) 代 表 1141 |
| 北伊丹製作所 | 伊丹市大鹿字主ヶ池 1 番地 (電) 伊丹 大代表 5131 |
| 鎌倉製作所 | 鎌倉市上町屋 325 番地 (電) 鎌倉 (6) 大代表 6171 |
| 鎌倉製作所 | 尼 崎 市 南 清 水 字 中 野 80 番 地 (電) 大 阪 (481) 8021 |
| 鎌倉製作所 | 名古屋市中区矢田町 18 丁目 1 番地 (電) 名 古 屋 (73) 代 表 1531 |

交通信号機の最適計算制御装置 第二京浜国道で好調稼動中



交通信号制御装置

最近の都市における交通の混雑ぶりは著しいものがあるが、これを緩和するため実際の交通量に適した信号機の制御を行なって車の流れをスムーズにさばく制御装置が神奈川県警管内の第二京浜国道に設置され、好調に稼動中である。

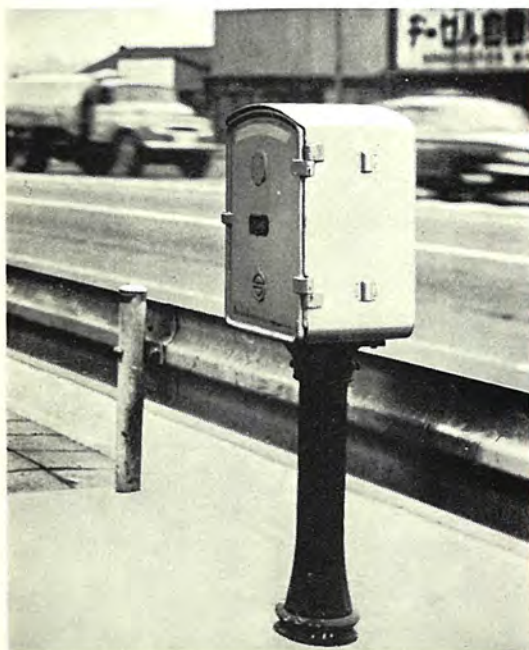
この種装置としては国産初の製品であり、京三製作所製作の選択送信機構と組み合わせて自動感应系統式制御装置を構成している。

交通量の検出には三菱 プレシジョン 製の プレゼンスデテクタ を使用しており、路面上に埋没した ループコイル によって通過車数を探知して交番内に設置した主制御装置へ交通量の情報を送る。計算機構では入力交通量に従って信号機の サイクル (青、橙、赤 1 周期の時間)、オフセット (各信機械の設置間隔による青になる時刻のずれ)、スプリット (青時間と赤時間の比)、を決定し、選択送信機構を通じて二次制御機 (各交差点の信号機) を制御する。

装置は実際の交通量を連続記録する記録計、きわめて短時間の交通量の急変に対しては出力を変化させない可変積分時間の設定、設置道路状況に応じて基準値をスイッチ 切換して最適条件にするなど特長ある機能を有し、広く全国の交通難緩和に役立つものと期待されている。



社会と企業を結ぶPR施設
三菱電機スカイリング



車両数検知装置

