

MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.40 April 1966

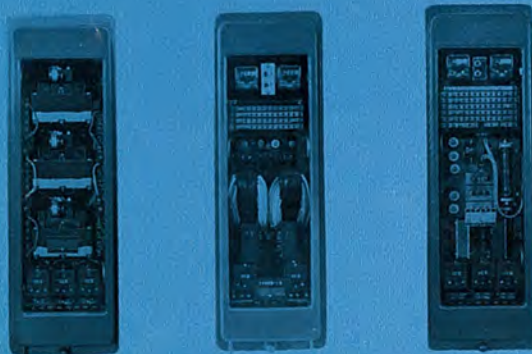
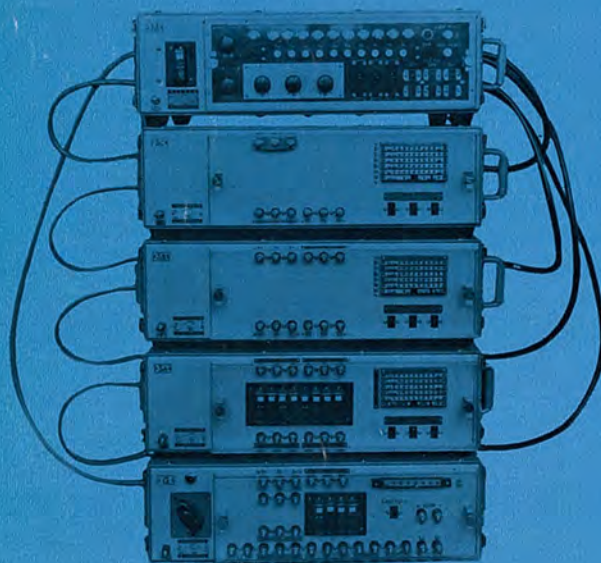
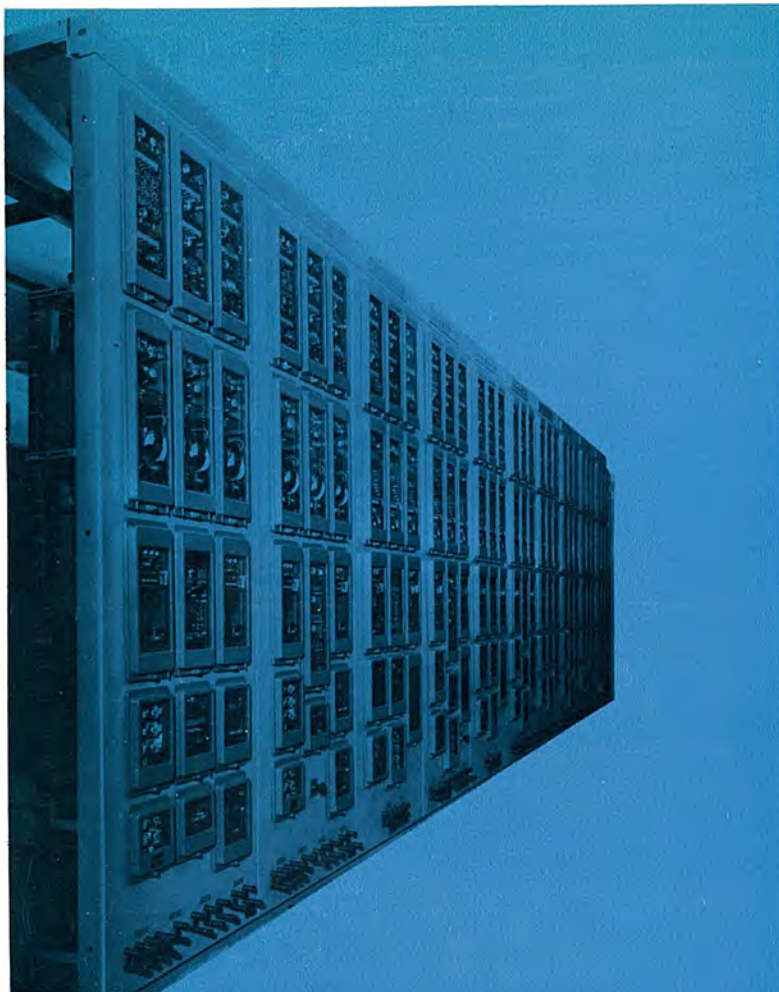
リレー特集

4

搬送保護継電装置

端局装置





三菱 バランス・リレー装置

三菱 バランス・リレー 装置は、インピーダンスバランスの採用、選択地絡 リレー の高性能形の使用、バックアップリレー の確実化などの特長によって好評を得ている。写真は、関西電力北大阪変電所に設置された同装置の外観図である。

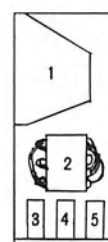
PHR形 可搬式送電線保護装置

継電器の試験、修理の時、その回路を休止するか、リレーロック していたが、写真の移動配電盤に相当する可搬式継電装置を使用すれば、現地で簡単な外部接続をするだけで、短絡距離 1, 2, 3 段および地絡方向継電装置を構成し、高抵抗系 1 回線の保護ができる。装置は オールトランジスタ 化しており耐振、持ち運びは問題ないよう考慮されている。

納入先 中部電力各支店 8セット

三菱 モー・リアクタンスリレー

三菱 モー・リアクタンスリレー には、機械式 モー 要素（シリスタ要素）と、方形特性形 リアクタンス 要素（トランジスタ形）との組み合わせより成るものと、モー、リアクタンス とも トランジスタ 形（写真5）のものがある。ともに接点協調不用で、オーバーリーチ 絶無、高信頼性を誇っている。現在まで、それぞれ200台、100 台以上の納入実績がある。



- 1 三菱バランス・リレー装置
- 2 PHR 形可搬式送電線保護装置
3. 4. 5. 三菱モーリアクタンスリレー
3. (KZA-2-D) 4. (KKS-65-D) 5. (KMS-12-D)



リレー特集

目次

《特集論文》

保護継電器特集	597
機器保護—同期機保護—	天野 恒 598
機器保護—誘導機保護—	天野 恒 606
機器保護—変圧器保護—	寺田 真・天野 恒・阪上正幸 608
母線保護	寺田 真・鈴木健治・阪上正幸 612
送電線保護継電器—送電線保護の概要—	北浦孝一 621
送電線保護継電器—表示線保護—	寺田 真・天野 恒・鈴木健治・下迫賀生 628
送電線保護継電器—搬送保護—	古谷昭雄・山内成周・前田耕二・小林 茂 638
送電線保護継電器—平衡保護—	古谷昭雄・高田信治・中村勝己 649
送電線保護継電器—電鉄キ電線保護—	高田信治 664
送電線保護継電器—再閉路装置—	鈴木健治・山内成周 668
送電線保護継電器—配電線保護—	松本忠士 673
保護継電器の分類一覧	長見光雄 676
保護継電器の保守と試験	藤井重夫 679
模擬送電線設備	北浦孝一 684

《普通論文》

中部電力昭和町変電所納めの配電盤設備	長町恒資・遠島 徹 689
三菱 RC-101形低速再閉路装置	藤川卓也・浜野 賢・鈴木健治 692
ME-30形 7Gc 帯全固体化多重無線装置	丸浜徹郎・阿部 修・君川 治・花房正昭 701
全トランジスタ式 400 Mc FM 4W 移動用無線電話装置	黒田忠光・荻野 完・桂川 弘 706
四国電力納め遠隔表示装置	深田忠司・山下康富・室田 慎・小林 茂・永田文也・桑垣康之 713
高温気体の熱力学的特性の解析 (オープンサイクル HMD 発電作業流体の特性)	伊藤利朗・村井 裕 716
不飽和ポリエステルの粘弾性	柴山恭一・鈴木康弘 723

《技術解説》

コアメモリスタック (その3)	水上益良 730
-----------------	----------

《技術講座》

MATHEMATICAL PROGRAMMING の動向 (その3)	福永圭之介・田村坦之 739
------------------------------------	----------------

《新製品紹介》

小形発動発電機DN形ダイアパワー完成・SH-105C形高圧交流電磁接触器完成・三菱テープレコーダT-840形《メモリーオート5》新発売・三菱トランジスタラジオFX-323D形《コンパニカFMデラックス》新発売・三菱掃除機TC-283形“強力クリーンエース”新発売	746
---	-----

《ニュース・フラッシュ》

世界一のエレベータ試験塔完成・スペイン国鉄向け直流電気機関車受注・国鉄北海道電化用ED-75S形交流電気機関車受注・国鉄北海道電化耐雪、耐寒試験を完了	749
---	-----

《特許と新案》

位相差検出装置・制御極付半導体整流素子を用いた直流電動機制御装置・押しボタン操作スイッチ・押しボタン操作スイッチ	687
--	-----

《表紙》

1. 3端子方向比較搬送保護継電装置

関西電力姫路地区に設置された3端子方向比較保護継電装置である。同地区に納入された5組(将来6組)の中の1組(2回線1端子分)である。この装置は、継電器部、端局部一括三菱電機で製作したものである。特長は次のとおり。

(1) 3端子系で任意の端が非電源端、または休止端となっても操作上の問題が発生しないよう考慮してある。

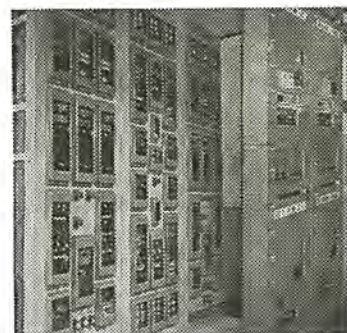
(2) 3端子のほかに、分岐負荷線が1端子あるが、自動切換方式を採用して保護端子数を増加せず運用可能とし、また低速度再閉路方式の採用による自動復旧機構を具備させている。

(3) 端局部のトランジスタ化はいままでもないが、リレー部も半数以上トランジスタリレーを使用している。

2. 三菱バランス・リレー装置、PHR形可搬式送電線保護装置、三菱モー・リアクタンスリレー

3. 三菱LBB方式母線保護継電装置

4. 三菱表示線保護継電装置





SPECIAL COLLECTION OF RELAYS

CONTENTS

SPECIALLY COLLECTED PAPERS

Apparatus Protection —Synchronous Machine Protection—	598
Hisashi Amano	
Apparatus Protection —Induction Machine Protection—	606
Hisashi Amano	
Apparatus Protection —Transformer Protection—	608
Makoto Terada • Hisashi Amano • Masayuki Sakagami	
Bus Protection	612
Makoto Terada • Kenji Suzuki • Masayuki Sakagami	
Line Protection —Introduction to Line Protection—	621
Kōichi Kitaura	
Line Protection —Pilot-wire Protection—	628
Makoto Terada • Hisashi Amano • Kenji Suzuki • Yoshio Shimesako	
Line Protection —Carrier Protective Relaying—	638
Akio Furuya • Shigechika Yamauchi • Kōji Maeda • Shigeru • Kobayashi	
Line Protection —Balance Protective Relaying (Including Distance Protective Relaying)	649
Akio Furuya • Nobuharu Takata • Katsumi Nakamura	
Line Protection —Protection for A.C Train Feeder—	664
Nobuharu Takata	
Line Protection —Reclosing devices—	668
Kenji Suzuki • Shigechika Yamauchi	
Line Protection —Distribution Protection—	673
Tadashi Matsumoto	
Classified Table of Mitsubishi Standard Protective Relay	676
Mitsuo Nagami	
Maintenance and Test for Protective Relays	679
Shigeo Fujii	
Artificial Transmission Line	684
Kōichi Kitaura	

TECHNICAL PAPERS

Switchboards delivered to Showacho Substation of the Chubu Electric Power CO.	689
Hisashi Nagamachi • Tōoru Tōshima	
Mitsubishi RC-101 Low Speed Reclosers	692
Takuya Fujikawa • Masaru Hamano • Kenji Suzuki	
Type ME-30 7 Gc Band All Solid State Radio Equipment	701
Tetsurō Maruhama • Osamu Abe • Osamu Kimikawa • Masaaki Hanabusa	
All Transistorized 400 Mc FM 4 W Mobil Radio Telephone Equipment	706
Tadamitsu Kuroda • Tamotsu Ogino • Hiroshi Katsuragawa	
Remote Indicators for the Shikoku Electric Power Company	713
Tadashi Fukada • Yasutomi Yamashita • Shin Murota	
Shigeru Kobayashi • Bunya Nagata • Yasuyuki Kuwagaki	
Analysis of Thermodynamic Properties of High Temperature Gas	716
Toshio Itō • Yutaka Murai	
Viscoelastic Properties of Unsaturated Polyesters	723
Kyōichi Shibayama • Yasuhiro Suzuki	

TECHNICAL EXPLANATION

Core Memory Stack —(3)—	Masuyoshi Mizukami	730
-------------------------	--------------------	-----

TECHNICAL LECTURE

Recent Trends in Mathematical Programming —(3)—	Keinosuke Fukunaga • Hiroyuki Tamura	739
---	--------------------------------------	-----

NEW PRODUCTS

	746
--	-----

NEWS FLASH

	749
--	-----

PATENT AND UTILITY MODEL

	687
--	-----

COVER EXPLANATION

- Three Terminal Directional Comparison Protective Relaying.
The illustrated is the three terminal directional comparison protective relaying set up in Himeji District of the Kansai Electric Power Company, being one (for the portion for two circuits one terminal) of five sets (expected to be increased to six sets in future) supplied there. It consists of a section and terminals built en bloc by Mitsubishi with the following features.
(1) It has been so designed as not to produce troubles in operation even if any one terminal in the three terminal system becomes a no power supply terminal or a dead end.
(2) In addition to the three terminal, there is one terminal assigned for a branch load line. But through the use of automatic change over the operation is practicable with no increase of the number of protective terminals. Automatic restoration mechanisms are provided by the employment of a low speed reclosing system.
(3) It is needless to mention that the terminal sections are transistorized: more than a half of the relay group are transistorized units, too.
- Mitsubishi balanced relay. Type PHR mobile transmission line protective device. Mitsubishi Mho reactance relay.
- Mitsubishi LBB system bus protective relay.
- Mitsubishi pilot wire protective relaying.

JDC 621.316.925:621.313.323

機器保護-同期機保護-

天野 恒

三菱電機技報 Vol. 40. No. 4・P598~605

電気機器のうち同期機の標準的な保護継電方式について述べたものである。同期機保護には電機子巻線、界磁巻線のほか、発電機の電動機化や脱調に対する保護も必要である。本文ではこれらについて継電器の適用方式を述べ、その継電器の原理、構造を説明したものである。すなわち同期機の保護を計画する場合の参考として、三菱電機で製作している継電器の現状を紹介したものである。

JDC 621.316.925:621.313.333

機器保護-誘導機保護-

天野 恒

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P606~607

機器保護のうち、誘導機の標準的な保護方式について述べたものである。誘導機の保護は低圧小容量機から高圧大容量機まで幅広く、また異なった多くの方式があるが、本文では主として電力系統に連携される高圧大容量機の保護を紹介する。同期機と異なり、誘導機の保護は比較的簡略化されているが、同期機にはみられない新しい方式も1、2紹介している。たとえば誘導機の温度上昇と類似の動作特性を有する温度継電器、貫通形CTを使用した簡易形巻動継電器などである。以上いずれも誘導機の保護を計画する際の参考用として、三菱電機で製作している継電器……の現状を紹介したものである。

UDC 621.316.925:621.314

機器保護-変圧器保護-

寺田 真・天野 恒・阪上正幸

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P608~611

機器保護のうち、変圧器の保護方式について述べたものである。変圧器保護には電氣的、機械的、熱的と3方式から保護されているが本文では主として電氣的な保護について述べ、一部機械的な保護についても紹介している。変圧器の電氣的保護には一般に比率差動保護方式を採用しているが、その励磁突入電流の影響および対策を検討し、その解決策として第二高調波抑制付比率差動継電器の適用を述べている。そのほか、誘導円板形比率差動継電器も適用範囲を誤らなければ十分な保護ができることも合わせて紹介している。

UDC 621.316.925.1

母線保護

寺田 真・鈴木健治・阪上正幸

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P612~620

戦後巨大化した電力系統で、母線事故の影響は大きく、これを高速度検出する母線保護の重要性は強く認識されている。ここではまず母線保護の必要性和歴史について述べ、代表的保護方式、および関連して問題となるCTについて説明する。次に現在当社が標準とする代表的3方式(LBB形位相比比率差動方式、LC形空変成器差動方式、CA-6形飽和比率差動方式)を紹介する。最後に単母線、複母線、多重母線などの各母線構成に対する三菱保護方式について述べている。

UDC 621.316.925.1

送電線保護継電器-概要-

北浦孝一

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P621~627

送電線リレーの歴史とその焦点を述べ、送電線リレーを理解するために必要な系統故障計算の基本式と、日常計算の助けとなる図表を紹介する。次に送電線リレー方式を分類し、適用基準と三菱標準方式を示す。また、当社送電線リレーの代表的な継電器および継電要素とトランジスタリレー併用方式の分類表を記載し初心者向きに、送電線リレーの常識をまとめている。

UDC 621.316.925.1

送電線保護継電器-表示線保護-

寺田 真・天野 恒・鈴木健治・下迫眞生

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P628~637

短距離送電線保護方式として、表示線が簡単に利用できる時、表示線継電方式が適用される。この稿では表示線継電方式のおもなものを紹介し、次に三菱標準のHCB形電流循環方式について説明する。次に高低抗接地架空系、高低抗接地地中系、直接接地系用の表示線継電装置の構成の構成、特長を述べる。また最近の技術と題し、異相地絡対策、ケーブル系地絡時の過渡現象などを含む研究成果および実用化につき報告する。最後に表示線監視方式、転送トリップ方式について略述してある。

UDC 621.316.925.2

送電線保護継電器-搬送保護-

古谷昭雄・山内成周・前田耕二・小林 茂

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P638~648

この論文は、搬送保護継電技術の標準的な方式について動作原理および考え方を述べると同時に、最近の新技術すなわち多端子系への適用多重故障対策、零相循環電流対策などにも言及している。これらの論点は、主として高抵抗系用の方向比較式搬送保護継電方式に置いているが、直接接地系に適用した場合の問題点および対策についても触れている。最後に、継電方式を構成させるための特殊継電器および信号伝達を行なうための電力線搬送電流装置について紹介を行なっている。

UDC 621.316.925.1

送電線保護継電器-平衡保護(距離、方向保護を含む)-

古谷昭雄・高田信治・中村勝己

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P649~663

この文章は、平衡保護継電技術の標準的な方式について動作原理および考え方を述べると同時に、最近の新技術、すなわち多重故障対策方式トランジスタ継電技術についても言及している。平衡保護としては、インピーダンス・バランス方式を採用し、距離継電器の入力導入方式を吟味することによって、優先しシャ断方式を満足しうることを、また距離および地絡方向継電器としては、機械式要素を使用したものと、トランジスタ回路を使用したものと両者についてその原理・特長を論じている。最後に、オールトランジスタ式の可搬式送電保護継電装置および簡単……な各種送電線保護継電器の紹介を行なっている。

DC 621.316.925.2

電線保護継電器・電鉄キ電線保護・

田信治

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P664～667

交流キ電線保護の問題点は、(1) 負荷電流が大きい、(2) 励磁突入電流が大きい、(3) 故障点低抗が大きいことである。最初に、これらの諸問題を解決し用に供している交流キ電線保護用モータ特性距離継電器（機械式）および四辺特性距離継電器（トランジスタ式）を例にとり、交流キ電線保護方式および電器単保の動作原理について述べている。次に、上記距離継電器の技術による故障点検出装置の原理について述べ、さらに4分実際に使われている瞬時値比較および位相弁別形リアクタンス継電器による故障点検出継電器について述べている。

DC 621.316.925.2

電線保護継電器・再閉路装置・

木健治・山内成周

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P668～672

送電線の再閉路方式を高速再閉路と低速再閉路とに分け、とくに高速再閉路は組み合わせる送電線保護方式との関連から述べ、搬送保護装置と組み合わせた優先シャ断再閉路、表示線を利用した全端子シャ断確認装置について紹介している。低速再閉路は、電源端子数、回数数の組み合わせで決まる各系統条件に対する標準方式を述べ、近年注目されてきた自動復元の性格をもった再閉路装置についても紹介している。そのほか、キ電線用再閉路継電器、種系統条件検出継電器についても述べている。

DC 621.316.925.1

電線保護継電器・配電線保護・

本忠士

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P673～675

受配電線保護は一般に短絡と地絡を対象としており、配電用変電所において反限時定限時過電流継電器で短絡保護を地絡方向継電器で地絡回線を選択し保護する。一方高圧需要家では、ほかの需要家への事故の波及を極限に押えるため、瞬時要素付き過電流継電器で短絡を、また零相電流のみで動作する地絡継電器で地絡を保護する。またループ系から受電している高圧需要家において、簡易母線保護装置を用いて母線短絡事故に備え、100A接地系統の地絡保護、小勢過電流継電器あるいは地絡方向継電器を用いて行なう。

DC 621.316.625(083.4)

保護継電器分類一覧

見光雄

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P676～678

この表は三菱標準継電器を用途別に分類し一覧表としたものである。ただし、調整継電器、補助継電器は除外してある。またこの表にある継電器の詳細を知に必要な説明書番号も記載してあるから、それぞれの保護目的に合致した継電器を選択する資料として活用できる。

UDC 621.316.925.1.004.5

保護継電器の保守と試験

藤井重夫

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P679～683

この文中では最初に一般参考事項として、試験条件、関係規格、試験周期、試験の種類、試験上の一般注意事項、とくにトランジスタ形継電器に対する試験および各種継電要素の構造・機能などについて説明し、ついで単体継電器に対する受入試験項目選択基準および保護継電装置に対する総合試験の内容として、けん工試験項目選択基準などについて述べた。また最後に表示線保護継電装置についてけん工試験計画の一例を参考に供し、客先における保守および各種試験の参考とした。

UDC 621.3.05.005

模擬送電線設備

北浦孝一

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P684～686

模擬送電線設備（以下A.T.Lと略す）は各種保護継電装置、制御装置を実際に駆動し試験する設備であり、各種系統現象を解析する設備であるので、いかにして実系統との相似性を失わず、経済上極力小規模に設計製作されているか紹介する。すなわち系統電圧、電流、端子電源容量、機数、電源特性、線路定数・系統切換方法・シャ断器・故障発生装置・計測方法などについて考慮した点を述べる。

UDC 621.316.3.005:621.311.4

中部電力昭和町変電所納め配電盤設備

長町恒資・遠島 徹

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P689～691

中部電力昭和町変電所は154kV 特別高圧送電線で、大高変電所および新名古屋火力発電所より受電し、120MVA 主変圧器を通して77kVに降圧送電されるとともに、77kV系においても大高および築港系と連系された、代表的な一次変電所である。この変電所の配電盤設備は当社で一方納入したので、これらの概要について述べるが、主配電盤としてユニット形配電盤の採用、および零相循環電流対策を施した搬送保護継電装置など多数の創意と工夫がもりこまれた最近の設備といえる。

UDC 621.316.925.2

三菱RC-101形低速再閉路装置

藤川卓也・浜野 賢・鈴木健治

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P692～700

電力系統に事故が発生した場合、従来電気所の運転員が適切な操作を行なうことによって、事故復元を行なっているが、この装置は、これらの操作をすべて自動的にこなせようとするものである。方式は、シャ断器番号動作責務に準じた無電圧時間1分間の低速再閉路を主体とし、シャ断器の投入および引きはなし操作を行なわせ、従来の運転員の操作に準じた動作を行なうものである。装置は、再閉路条件検出部をトランジスタ化することにより小形化を行ない、盤幅700mmの標準配電盤に6回線分収納可能とした。この論では、この装置の方式と性能について述べ、………電気所の自動化の一つとして注目すべき製品であることを主張している。

DC 621.396.4:621.396.73

IE-30形7Gc帯全固体化多量無線装置

浜徹郎・阿部 修・君川 治・花房正昭

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P701～705

SHF多重無線装置のわが国における最初の完全固体化によって、可搬形構造表記装置を完成した。この装置は可搬組立式気球空中線と組み合わせ、伝搬実験や、非常災害時の中継局、端末局、反射板の応急回線復帰などに使用され、3-FMの電話480CH(最大)を伝送できる。送信部は約90Mcの水素発振をテイ倍し、可変容量ダイオードによる送信変換部を通じ100mWの出力をうる。信部はトンネルダイオード増幅器を前置し、雑音指数を7dBに低減した。中線は反射鏡をガラス系アルミ系混織布の気球膜で構成し、4分割されたチャンネルに支持され、有効……開口径1.8mφ利得40dBなど、各主要部の詳細特性につく述べた。

DC 621.396.61-62:621.396.93

トランジスタ式400Mc FM4W移動用無線電話装置

田忠光・荻野 完・柱川 弘

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P706～712

従来困難とされていた超高周波電力用シリコントランジスタおよびバリキャプの開発とその新回路技術により、表記装置の全トランジスタ化、装置の一体化を実現した。本文は移動無線特有の問題である電力消費、電源電圧、電池接地極性、振動、周囲湿度、取付などに考慮を払い、(1)小形化と価格のバランス (2)装置を一体化しダッシュボードに取り付け (3)全体またはブロックご交換による保守の容易化 (4)広角度位相変調回路によるテイ倍数の低減 (5)シングルサブによるスプリアスレスポンス向上などの設計方針に基づくこの装置の概要と各部特性の測定………定結果を示した。(図28, 表9, 参6)

DC 621.316.004.9

1国電力納め遠隔表示装置

田忠司・山下康富・室田 慎・小林 茂・永田文也・桑垣康之

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P713～715

系統運用合理化と総合的かつ迅速な事故処置のため、シャ断器などの動作状況を集中監視する目的で主要発電所と給電指令所に設置した表記装置につく述べた。伝送系統は送信10局、受信4局からなり、将来の系統自動操作のために備え絶対無誤表示と機器の信頼性に主眼をおいた。符号方式は直列符号化した情報を回線1CH、複数受信局の同時表示、符号訂正、装置監視が容易で論理動作が簡単な片送り常時送出連続符号方式とし、検定方式はバリテ検定、繰り検定、2回反復照合方式を併用した。受信符号監視には符号検定不良を積算する符号誤り度数計を設け、………回線状態低下の早期発見により高品質回線を維持する。(図6, 表2)

DC 621.313.12-6:621.5:541.121:536.75

高温気体の熱力学的特性の解析

藤利朗・村井 裕

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P716～722

MHD発電機の燃焼室あるいは発電ダクトで実現されるような高温の空間では、一般に原子、分子の解離、電離現象がかなり進行するので、その熱力学的特性は理想気体のそれからかなりずれることが予想される。この相違を解析するために原子、分子の分光学的特性を基礎とし、別離、電離現象を考慮してその熱力学的特性を求める十分一般化された方法について論じている。また本解析方法をオープンサイクルMHD発電機の作業流体として使用されることが予想されている重油燃焼生成物に適用し、その結果の一部を例示している。

UDC 541.68:678.674

不飽和ポリエステル樹脂の粘弾性

柴山恭一・鈴木康弘

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P723～729

網目高分子の代表例の一つである不飽和ポリエステル樹脂の力学的性質を、ガラス状態からゴム状態へ変化する調度域で調べた。網目密度の異なる同族体について、弾性率の周波数分散と緩和時間の温度依存性を熱膨張の結果と比較して調べた結果、網目密度の効果は系の自由体積量に対する影響として理解され、また網目構造における本質的問題は網目結合による束縛の空間的集中にあることを知った。構造上の不均一性に基づく挙動については分子鎖レベルでの不均一性による分散の広幅化と、分子鎖の集合体レベルでの不均一性による多量分散性が、ビニル単量体の混………合およびポリエステル樹脂の混合によってそれぞれ実現されることを知った。

UDC 621.374.3.002.61

コアメモリスタック(その3)

水上益良

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P730～738

メモリコアを電流一致方式に組んだ場合のマトリックスプレーンの性能およびコアとの相関特性を半導体雑音を加味しながら述べ、一般に行なわれている2, 3の高速測定法が最悪雑音配置の面から好ましくないことを指摘した。次にこの雑音によるメモリS/Nの減少を防ぐ種々の方法を紹介し、大容量化とS/Nとの関係をチェックした。

UDC 621-50:65.011.4:65.011.56

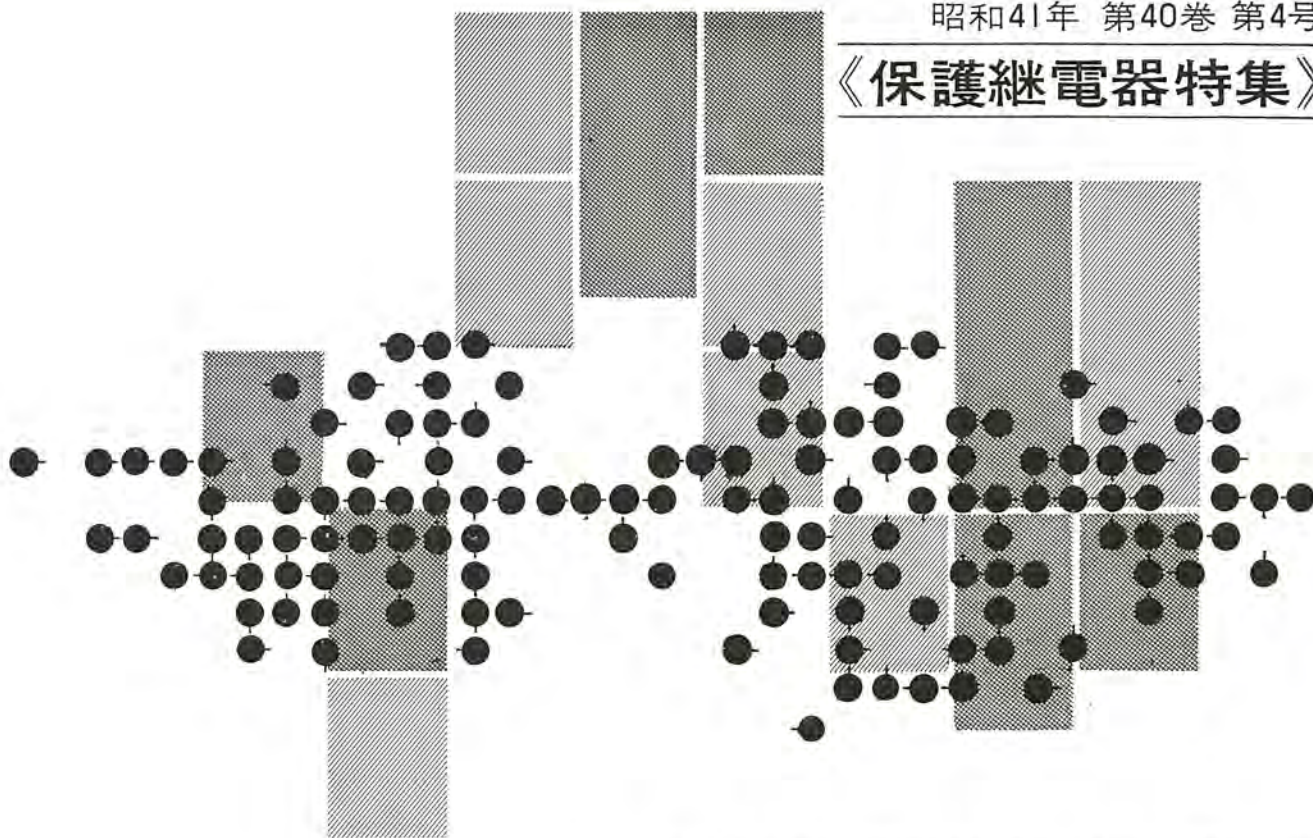
MATHEMATICAL PROGRAMMINGの動向(その3)

福永圭之介・田村垣之

三菱電機技報 Vol. 40・No. 4・P739～745

Operation Research (O.R.) あるいは、システム工学における数学的手法として注目をあびているMathematical Programming (数理計画法)の中で、今回は主に物の流れを扱った最適化手法を紹介する。最適化の分野で、最近とくに話題になっている“大規模システムの最適化”を実行するには必要不可欠な手法であり、今後電子計算機のもつ情報処理能力の大規模化と高速化に伴い、広範囲に適用されるものと期待されている。

《保護継電器特集》



終戦以後、わが国の経済は飛躍的な成長を遂げ、これに伴って電力はますます第一線 エネルギー としての重要性を増し、発送電においてもまた各種の電力応用においても著しい発展を遂げた。

元来これらの電気設備はそのエネルギーを目的とするものであるから、それらの発生・伝送・消費に直接関係のない保護継電器などは、ときに無用視されがちな時代もあったが、これら主目的への投資拡大に伴って、投資効率の確保が必要条件となり、保護継電器への認識はとみに深まった。他方、電力は第一線エネルギーのみにとどまらず、社会的には最も大きな広域公益事業であることから、無停電のほか、その質の維持があまねく要望され、その公益性維持に対しても保護継電器の使命は重要となった。

当社の継電器技術もこれら社会的変遷と無縁ではない。

しかし継電器工学自体が複雑なためにか、ほかの工学に比べてその進展が遅れたのみならず、急速な電力発生・消費設備のマンモス化・多角化のほか、送配電系統の拡張・複雑化に対して、ときに均衡を欠くのうらみもなしとはしなかった。

そのためか、当社においてもここ十数年来は継電方式において、またそれを実現する継電器において幾多の変遷を体験してきた。しかし今や新しい技術的心境のもとに、それぞれに適合する継電方式と継電器を完成するに至った。この意味において過去の幾多のものを整理再集成し、特集号として広くおおかたのご参考に供するものである。幸い諸賢のご批判、ごべん達をあおぎ、さらに将来の発展に資したいと念じている。



機器保護 —同期機保護—

天 野 恒*

Apparatus Protection —Synchronous Machine Protection—

Kōbe Works Hisashi AMANO

Generally speaking the following are counted as major troubles with synchronous machines. (a) Short circuit and grounding of armature windings, (b) Overcurrent, (c) Overheating of coils and bearings, (d) Overspeed, (e) Failure on the field (loss of field, grounding of field) (f) Motoring of generators (g) Opening of one of phases or unbalanced operation (h) Step out. It is not necessary to provide protecting devices against all the above happenings and operate automatic circuit breakers immediately. Some of them may be taken care of by indications and alarms. However, in an ordinary practice, the armature and field windings shall be protected primarily and motoring of generators or their step out are to be handled with care, the article describes a number of relays for the purposes about their principle of operation, characteristics and construction.

1. ま え が き

一般に同期機で考えられる事故として次のようなものがあげられる。

- (a) 電機子巻線の短絡および地絡事故
- (b) 過電流
- (c) 巻線および軸受の過熱
- (d) 過速度
- (e) 界磁の事故(界磁喪失, 界磁地絡など)
- (f) 発電機のモータリング
- (g) 欠相または不平衡運転
- (h) 同期はずれ

以上の事故に対すべて保護装置を設け、自動シヤ断器を動作させるというのではなく、発電機の容量、重要度、系統運用などを考慮の上、それぞれ適宜に処置をしている。すなわち事故の種類によっては、表示および警報のみにしたほうがよいものもある。また保護装置を設けていないものもある。以下この文中ではこれらのことを含んでおのの保護継電器について説明するものである。

2. 電機子巻線保護継電器

2.1 短絡保護継電器

電機子巻線の短絡保護には比率差動継電方式が最も効果的であ

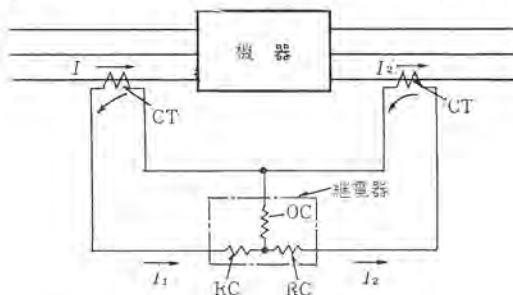


図 2.1 比率差動継電方式
Fig. 2.1 Ratio differential relaying.

る。図 2.1 はこの方式の原理を示したものである。通過電流 I_1 または I_2 により抑制 コイル RC を励磁し差電流 $|I_1 - I_2|$ で動作 コイル OC を励磁する。したがって外部事故の際、CT 不平衡保護差による電流差が流れたとしても、通過電流による強力な抑制効果のため誤動作することはない。当社の有する同期機保護用の比率差動継電器は誘導円板形の CAG 形と高速度形の HAG-2 形の 2 種類である。

CAG 形誘導円板比率差動継電器は最も古くから実用されている同期機保護用継電器で 5-10-20% の動作比率タツウをもっている。動作比率とは

$$\text{動作比率} = \frac{|I_1 - I_2|}{I_1 (\text{または } I_2)} \times 100(\%) \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

で示した値であるが、小電流域では非直線特性のため、ある特定の電流値で決めている。CAG 形継電器の場合は 20 A を基準として動作比率のタツウ値を表わしている。したがってそれ以下の電流域では動作比率は大きくみえる。最小動作値はタツウにより異なるが、5% タツウで、0.1 A、10% タツウでは 2.0 A、20% タツウでは 0.4 A となり、いずれも抑制 コイル 1 個と動作 コイル に直列に電流を流した場合の値を表わしている。

図 2.2 は CAG 形継電器の外観、図 2.3 は外部接続図の例(1 相分)、図 2.4 は比率差動特性を示したものである。また動作速度は反限時特性で最小動作の 500% 以上では 0.1~0.2 秒である。CAG 形継電器のタツウ整定は、確実に期するときは CT を含めた総合試験結果によるが、一般には 10% タツウを推奨している。

HAG-2 形高速度比率差動継電器は高速度平衡カン(桿)形継電要素を主要素とする継電器でその動作原理を図 2.5 に示す。

図 2.2 CAG-D 形比率差動継電器
Fig. 2.2 Type CAG-D ratio differential relay.



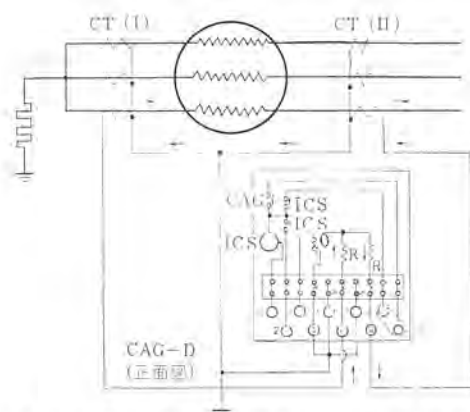


図 2.3 CAG-D 形比率差動継電器外部接続図例
(一相分のみを示す)

Fig. 2.3 External connection of type CAG-D relay.

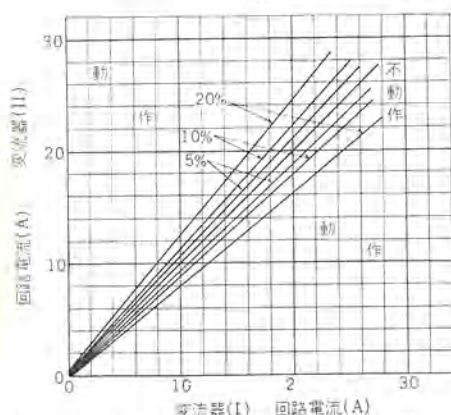
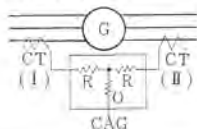


図 2.4 CAG 形比率差動継電器動作特性
Fig. 2.4 Typical ratio differential characteristics of type CAG relay

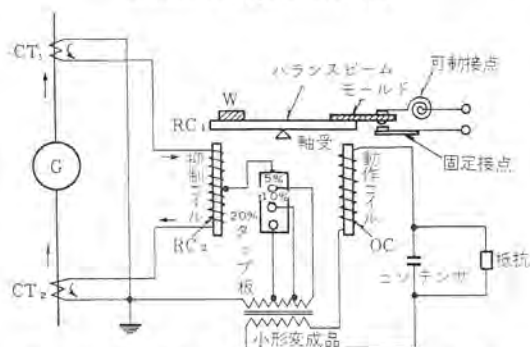


図 2.5 HAG-2 形高速度比率差動継電器原理図
Fig. 2.5 Principal showing the connection of type HAG-2 relay.

同図のように対となった CT の二次電流は抑制コイル RC_1 , RC_2 を通って抑制力を与え、差電流は小形変成器を通じて動作コイル OC に印加される。動作コイルに電流が流れると磁束が平衡カンを接点が閉じる方向に引きつける。これが平衡カン後部の重錘 W と抑制コイルによる抑制力にうち勝てばだちに接点を閉じる、つまり HAG-2 形継電器は比率動作特性をもつわけである。比率タップは 5-10-20% と CAG 形と同じであるが、最小動作値の方は 5% タップで、0.2A, 10% タップ, 20% タップではそれぞれ 0.84A, 0.8A となっている。

HAG-2 形継電器の小形変成器と蓄電器は大きな過渡電流が C 機器保護—同期機保護—天野

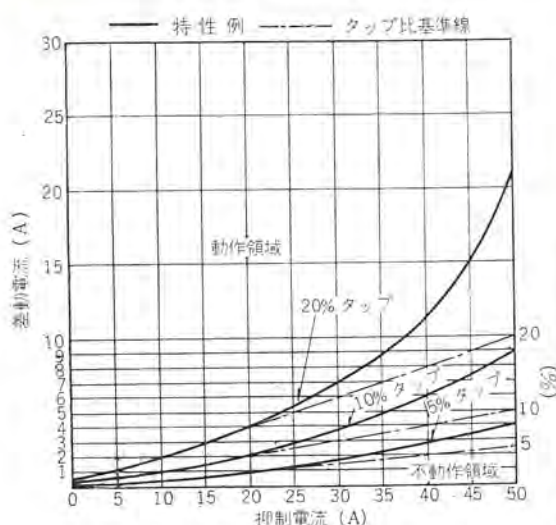


図 2.6 HAG-2 形比率差動継電器比率差動特性例
Fig. 2.6 Typical ratio differential characteristics of type HAG-2 relay.



図 2.7 HAG-2 形比率差動継電器
Fig. 2.7 Type HAG-2 ratio differential relay.

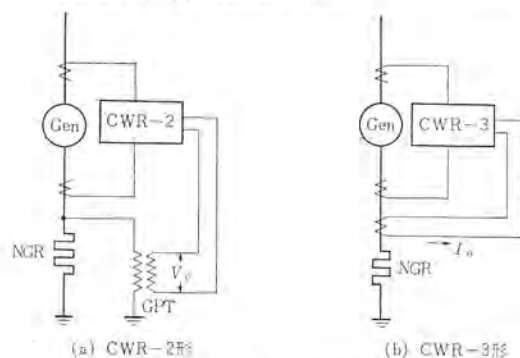


図 2.8 CWR-2, CWR-3 形継電器使用回路
Fig. 2.8 (a) Type CWR-2 (b) Type CWR-3 application circuit of type CWR-2 relay and type CWR-3 relay.

T 一次側に流れたとき、差動回路にも現われる直流分や高調波に対する不感動性を付与するためにもうけられている。したがって HAG-2 形継電器は高速度継電器でありながら、過渡現象に対しても非常に安定である。

図 2.6 はこの継電器の動作特性を示したもので大電流になると小形変成器の影響で飽和特性になっていることがわかる。動作速度は内蔵の補助接触器を含めて、60 ms 以下である。

図 2.7 はこの継電器の外観で継電要素 3 相分を 1 個のケースに納入してある。

電機子巻線の相間短絡保護を行なうには、CAG 形継電器の場合は 3 個必要であり、これに対し HAG-2 形継電器では 1 個でよい。また二つ以上の並列コイルを有する機械では同様に層間短絡保護を行なうことができる。その場合も前記と同じことになる。

2.2 地絡保護継電器

電機子巻線の地絡保護に用いる継電器は保護すべき同期機の中性点接地方式により異なってくる。わが国では一般に 100A 抵抗接地と配電用変圧器接地の 2 種がほとんどであるから、これに使用する継電器もこの 2 種について述べる。

100A 抵抗接地時には CWR 形比率差動継電器を用いる。CWR 形継電器は誘導円板形の高感度比率差動継電器で、図 2.8 (a) (b) に示すように電圧要素として中性点抵抗に生ずる電圧を導入する CWR-2 形と、中性点抵抗に流れる電流を導入する CWR-3 形がある。特性、構造などは類似しているので CWR-2 形につ

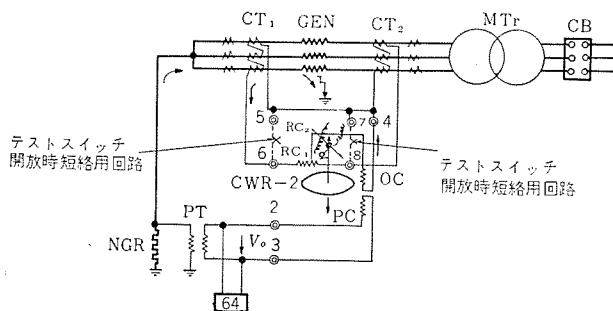


図 2.9 CWR-2 形比率差動継電器外部接続図
Fig. 2.9 External connection of type CWR-2 relay.

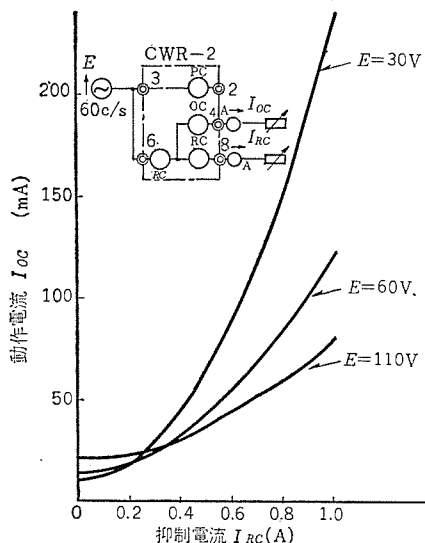


図 2.10 CWR-2 形比率差動継電器比率特性例
Fig. 2.10 Typical ratio differential characteristics of type CWR-2 relay.

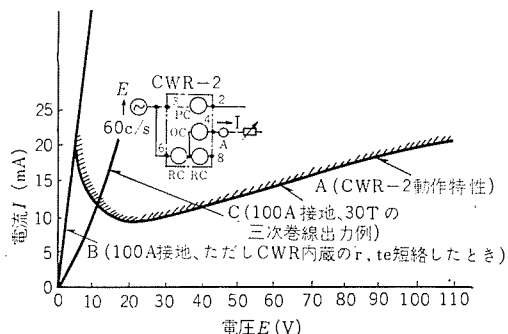


図 2.11 CWR-2 形比率差動継電器 E-I 特性例
Fig. 2.11 Operating characteristics of type CWR-2 relay.

いてのみしす。

図 2.9 は CWR-2 形継電器の外部接続を示す。図のように機器両端に設置された CT の三次巻線に接続された 2 個のコイルが外部事故のときに和動的にあい加わったアンペアターンによって抑制力を出すようになっている抑制要素と、零相差電流と中性点電圧の積によって動作力を出す動作要素とが同一円板の前後に取り付けられている。

外部故障のときには抑制要素の抑制力が強力で、多少の差電流が流れても誤動作のおそれはない。内部事故のときには抑制要素に流れる電流は片側の CT からだけとなり、抑制力は外部事故のときより小さくなると同時に動作要素に流れる零相電流は増加して動作力を増大させる。CWR-2 形継電器はこのような原理によって図 2.10 のような比率差動特性をもつ、また CWR-2 形継電器は電圧の要素を導入しているの、CT 負担を非常に軽減

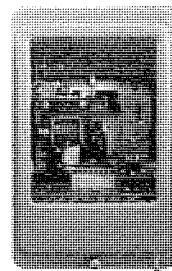


図 2.12 CWR-2-D 形比率差動継電器
Fig. 2.12 Type CWR-2-D ratio differential relay.

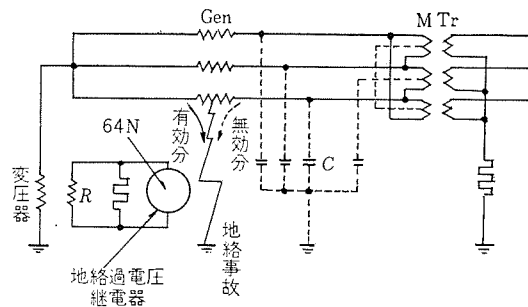


図 2.13 配電用変圧器接地方式における発電機巻線の地絡保護
Fig. 2.13 Ground protection of generator winding in the ground system of distribution transformer.

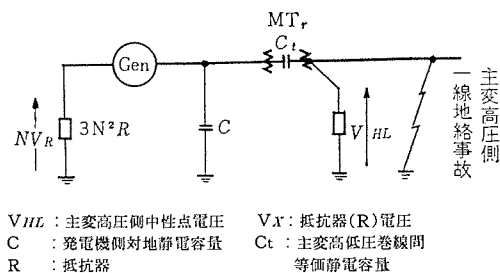


図 2.14 主変静電容量結合による高圧側接地時中性点電位移行
Fig. 2.14 Neutral potential shift at high tension side grounding by the combination with main transformer capacity.

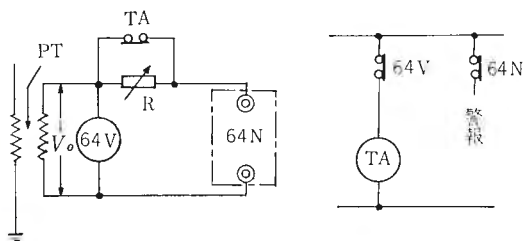
することになっている。

図 2.11 は、この継電器の電圧——電流特性を示したものである。図でわかるように 10% の地絡 (電圧 11V) の場合には、CT 二次側電流で数十 mA あれば動作することになる。

配電用変圧器接地は発電機と主変圧器がユニットになった系統でも採用されている。この場合地絡電流は 5~15A しか流れないので差動保護は不可能である。しかし、このような発電機では変圧器とユニットになっているので地絡事故により発生する零相電圧を検出して保護する。これに使用する継電器として CV-8 形地絡過電圧継電器がある。CV-8 形継電器は誘導円板形の高感度継電器で継電器コイルとコンデンサが直列に接続されている。この回路は基本波に共振するから、零相回路に誘起される第 3 高調波には応動しない。通常この継電器が動作した場合

- (a) 動作後 5 または 10 分間の限時後トリップ
- (b) 動作後警報
- (c) 動作後警報、さらに 5 または 10 分間の限時後トリップの 3 方式が考えられる。

このため図 2.13、2.14 に示されるような高圧側地絡時に主変静電容量結合による発電機側への零相電圧移行による誤動作は限時協調で十分逃げられる。電機子巻線回路の地絡保護に用いる CV-8 形継電器は 5.5~30 V ヲツを有し、5.5 V ヲツで 110 V 5 分間、8 ヲツで 110V 10 分間の容量を持つ。この CV-8 形継電



64N: CV-8-D 形過電圧継電器 (5.5V 継電器 整定5.5)
 64V: SE-1-F 形接地過電圧継電器
 (190V継電器 35V動作一定)
 TA: テレホンリレー (110-4A4,000Ω)
 R: 抵抗0~500Ω 60W $V_0=110V$ で64Nの端子
 電圧が30Vぐらいになるようにきめる

図 2.15 CV-8-D 形継電器の連続使用法
 (ただし、数値は 5.5 V 動作 110 V 最大の場合を示す)
 Fig. 2.15 Continuous use of type CV-8-D relay.



図 2.16 CV-8-D 形過電圧継電器
 Fig. 2.16 Type CV-8-D overvoltage relay.

器で動作後警報によって手動トリップさせる必要がある場合最大地絡電圧で連続印加されても耐えなければならない。図 2.15 はその場合の使用法を示したものである。なお図 2.15 の例では最大地絡電圧が 110 V で CV-8 形継電器は 5.5 V 整定の場合の定数を示している。

3. 過電流保護継電器

発電機回路の過電流保護は、単なる過電流保護と逆相分電流による過電流保護の 2 種類考えられる。前者は発電機ならびに母線側事故に対する後備保護として適用される。後者は逆相分電流が及ぼす回転子鉄心の過熱保護という意味で用いるのであるが動作時限からすれば後備保護と考えられる。

3.1 過電流保護

単なる過電流保護にはつぎの 2 種類の継電器が用いられる。

- CO.....過電流継電器
- COV.....不足電圧起動過電流継電器

CO 形過電流継電器は反限時特性の電流対動作時間特性で動作する誘導円板形過電流継電器であって、発電機後備保護には CO-6, CO-8 のいずれかが用いられる。CO-6 形継電器は定限時反限時特性をもつから送電線後備保護継電器と協調の必用上選ばれることがある。CO-8 形継電器は反限時特性をもつから変圧器などの過電流耐量や事故電流の大きさによる選択性を重視するとき用いられる。

COV 形不足電圧起動過電流継電器は系統電圧が一定値以上のとき動作せず、電圧が一定値以下になったとき規定値以上の電流が流れておればその電流値に応じた時限をもって動作することが必要な場合にもちいられる。これは故障電流が最大負荷電流より小さい場合とくに有効な保護手段となる。

同期機では同期インピーダンスが大きいため故障時に後備保護継電器の受ける入力電流と動作値との差が非常に小さくなる可能性がある。COV 形継電器は図 3.1 に外観を示すように不足電圧

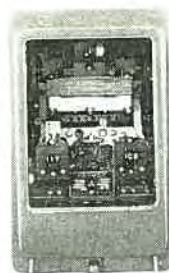
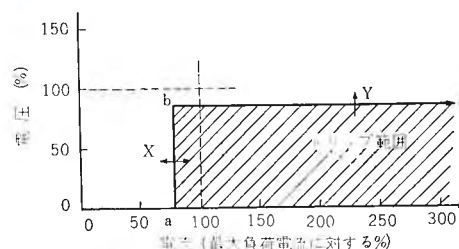


図 3.1 COV-6L-D 形不足電圧起動過電流継電器
 Fig. 3.1 Type COV-6L-D voltage-controlled overcurrent relay.



COV 形 継電器の整定は左図によって説明される
 線“be”は不足電圧要素の整定で定まり、整定値を変更すれば“Y”の方向に移動する
 線“ab”は過電流要素の整定で定まり、整定値を変更すれば“X”の方向に移動する

図 3.2 COV 形 不足電圧起動電流継電器の整定
 Fig. 3.2 Setting of type COV relay.

要素と誘導形過電流要素各 1 個を同一ケースにおさめたもので、常時は電圧要素の接点で過電流要素にトルクができないようにし、故障が発生して電圧が下がれば過電流要素にトルクができるようになっているから、過電流要素は負荷電流に関係なく整定できる。

それゆえ COV 形継電器をもちいれば単なる過電流継電器を用いたときに要する整定上のこまかい配慮は軽減されることになる。

COV 形継電器では不足電圧要素と過電流要素とが別の継電要素であり、整定もお互いの特性に影響を及ぼしあうことなく整定できるので適用と整定が非常に容易な特長がある。

3.2 逆相分過電流保護

図 3.2 は COV 形継電器の動作特性を表わしたもので、不足電圧要素は標準では 80 V 以下に電圧が低下すれば接点を閉じるようにしている。COV 形継電器はそのほか過電流要素の時限特性の相違によって種類が異なるが、CO 形継電器と同じように COV-6 形 COV-8 形のいずれかがよく用いられる。

発電機が接続されている系統に 2 線短絡、2 線地絡あるいは 1 線地絡などの不平衡故障が発生すれば発電機には逆相分を含む故障電流が流れる。このように逆相分を含んだ電流に対して発電機は三相短絡故障電流に対するほど強くはない。それはこの逆相電流が発電機の内部で回転子と逆方向に回転する磁界をつくり回転子表面に渦流を誘起して部分的に温度を上升させるからである。この温度上昇は逆相電流の大きさの二乗を継続時間で積分したものにはほぼ比例して、正相電流に無関係である。一般に逆相電流の許容限界は次式であらわされる。

$$\int_0^t i_2^2 dt = I_2^2 \cdot t = K \quad (3.1)$$

i_2, I_2 : 逆相電流 (per unit)

ただし i_2 は各瞬時の実効値、

$$I_2 \text{ は等価逆相電流 } \left(I_2 = \sqrt{\frac{\int_0^t i_2^2 dt}{t}} \right)$$

t : 時間 (sec)

K : 逆相電流の許容限界をしめす定数

K の値は ASA では表 3.1 のように定めており、現在のところわれわれもこれを整定のめやすとしている。



図 3.3 COQ-D 形逆相過電流継電器
Fig. 3.3 Type COQ-D negative phase sequence overcurrent relay.

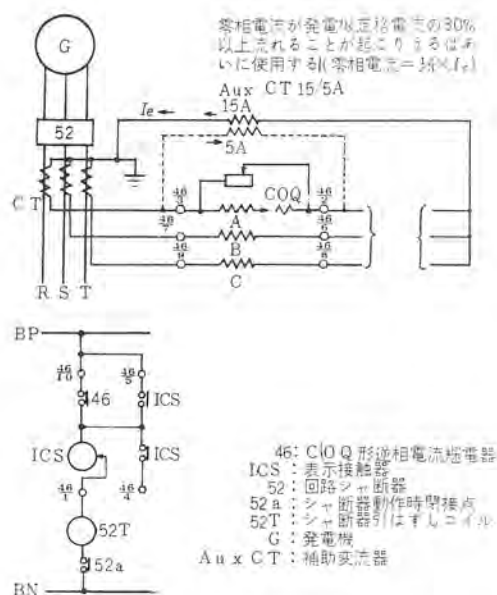


図 3.4 COQ 形 継電器外部接続図例
Fig. 3.4 External connection of type COQ relay.

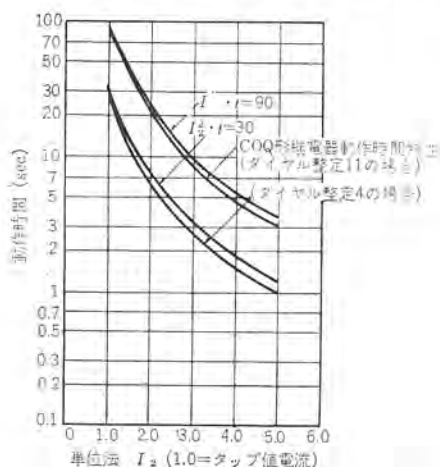


図 3.5 $I^2t=30$ および $I^2t=90$ の曲線と COQ 形 継電器の動作時間特性の比較

Fig. 3.5 Comparison on operating time characteristics of type COQ relay in different dial setting with curves of $I^2t=30$ and $I^2t=90$.

表 3.1 K の 値

同 期 機 の 種 類	許容される $K=I^2t$ (Per unit sec)
タ ー ビ ン 発 電 機	30 ※
水 車 発 電 機	40
デ ィ ー ゼ ル 発 電 機	40
同 期 調 相 機	30
周 波 数 変 換 機	30

※ 最近の内部冷却機ではこの値を10にすることが提案されている

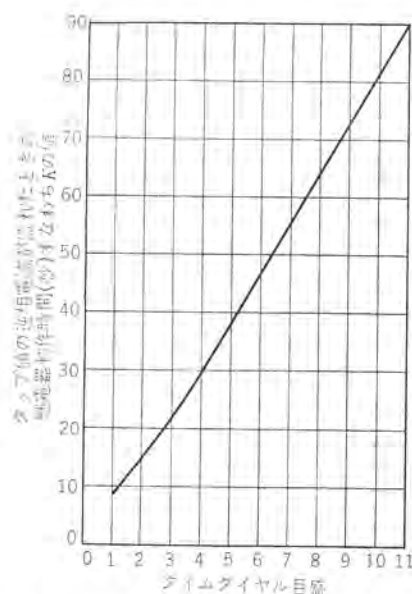


図 3.6 ダイヤル 整定—継電器動作時間特性
(ダイヤル 特性— $I^2t=K$ 特性)

Fig. 3.6 Dial setting-operating time characteristics of type COQ relay.

図 3.3 に外観を示した COQ 形逆相過電流継電器は、この目的に最適の継電器で、発電機の逆相電流対許容限界時間特性に平行し、常にはほぼ一定の余裕時間をもって接点する理想的な逆相入力電流対動作時間特性を有している。その上 COQ 形継電器は正相電流には応動しないので、発電機の脱調や乱調では、誤動作する心配はない。また 図 3.4 に示したように逆相分ロハ器その他の付属品も継電器の内部に納められ、保守が容易であるから、重要発電機の後備保護継電器として欠かすことのできないものの一つである。

図 3.5 は $K=30$ および $K=90$ の場合の逆相電流対、動作時間特性を、図 3.6 はタイムダイヤル対 K の値を示したものである。図でもわかるように K の値は 9~90 まで自由に整定できる。なおタップは 3.0~5.0 A となっており、これは同期機定格電流に相当する CT 二次電流で整定すればよいようになっている。

4. 過速度保護継電器

過速度保護装置は原動機側に設置されるのが通常である。しかし、大容量機になれば発電機側に設置することもある。この場合 図 4.1 のように発電機軸に回転計発電機を直結し、その出力を整流して直流継電器を動作させている。すなわち一種の周波数継電器で同期機では回転数が周波数に比例することを利用したものである。

検出要素に使用する継電器は D-5 形直流可動 コイル 形継電器で

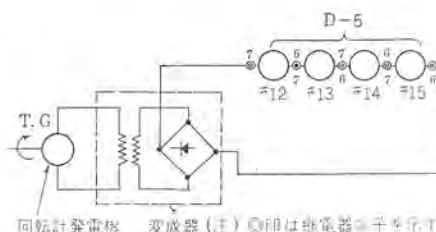


図 4.1 D-5 形継電器による周波数検出接続図
Fig. 4.1 External connection of type D-5 relay for frequency detection.

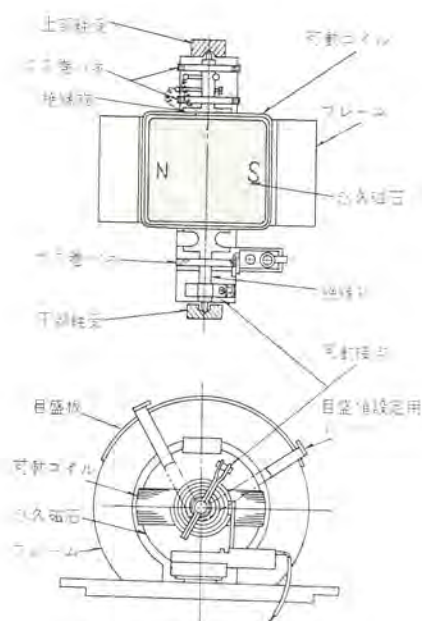


図 4.2 D-5 要素原理構造図
Fig. 4.2 Principal components of type D-5 relay elements.



図 4.3 D-5-D 形直流継電器
Fig. 4.3 Type D-5-D direct current relay.

図 4.2 に示すように固定した永久磁石磁極間の磁界の中に可動コイルを装置し、可動コイルに電流を流して電流と磁界との間の電磁力により駆動トルクを生じさせ、渦巻パネによる制御トルクとのバランスによって動作させるものである。

すなわち、駆動トルク T_a は、電流を i 、磁界の強さを H 、定数を K とすれば、 $T_a = K \cdot H \cdot i$ で表わされる。一方渦巻パネ制御トルク係数を τ とすれば、渦巻パネには、回転角 θ に比例して $\tau\theta$ という制御トルクを生ずる。駆動トルク T_a は、回転角に対して一定であるから、 $\tau\theta = T_a$ となる θ だけ回転してバランスする。したがって、回転角 θ に対応する位置に可動接点が静止する。この位置に a 接点があれば、電流 i に相当する入力以上で a 接点閉となり b 接点があれば、電流 i に相当する入力以下で b 接点閉となって継電器としての動作を行なうものである。

図 4.3 はこの断電器の外観を示したものである。

5. 界磁保護継電器

5.1 界磁喪失継電器

一般に同期機の界磁が異常に低下したり、喪失したりすれば電機子巻線には過大電流が流れ、同期化力を失って脱調し回転子は過熱する。他方、このような現象が発生すれば、系統電圧は低下し系統を混乱させるおそれがある。このような界磁回路の異常を運転上、最も直接的な影響を与える発電機端子電圧および電機子電流を介して発見し、適当な処置をとるために図 5.1 に示すよ



図 5.1 HLF-D 形 界磁喪失継電器
Fig. 5.1 Type HLF-D loss of field relay.

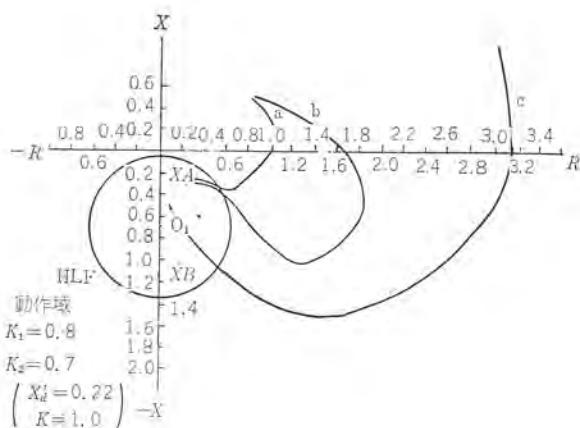


図 5.2 同期機界磁喪失時のインピーダンス軌跡例
Fig. 5.2 Typical impedance locus during loss of field in the synchronous machines.



図 5.3 LVB-D 形電圧平衡継電器
Fig. 5.3 Type LVB-D voltage balance relay.

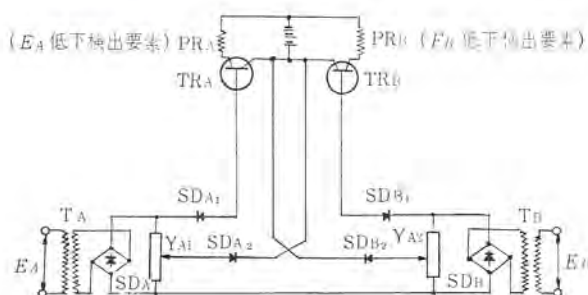


図 5.4 LVB 形電圧平衡継電器の動作原理
Fig. 5.4 Principle of type LVB voltage balance relay.

うな界磁喪失継電器が使用される。

界磁喪失の現象が発生すると図 5.2 のようなリレーインピーダンスの軌跡を描く。HLF 形継電器はこのような現象の掌握から、同図に示した円特性をもつ変形インピーダンス継電器を主体とし、これに端子電圧の低下検出継電器を組み合わせて構成している。この継電器は同期機 1 台当たり 1 個必要で、発電機第 1 相および第 2 相電流および第 1 相—第 2 相、第 2 相—第 3 相、線間電圧を入力としている。この継電器を使用する場合には

(a) ユニット式の場合主回路シャ断器が投入されるまでロックすること（電圧回路のみ生かさない）

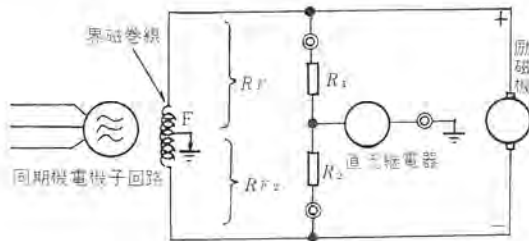
(b) PT 回路不平衡時に PT 回路負担状況によって誤動作のおそれがあるから LVB 形電圧平衡継電器により誤動作防止を行なう。

などの注意が必要である。

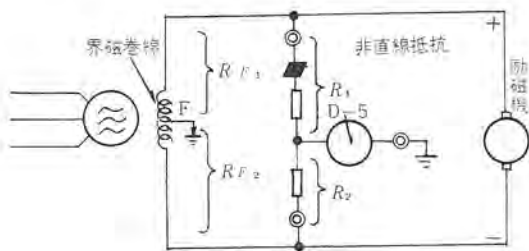
LVB 形電圧平衡継電器は外観を図 5.3 に、原理を図 5.4 に示したような構造でトランジスタを使用し、2 組の三相電圧 E_{A1} , E_{A2} , E_{A3} と E_{B1} , E_{B2} , E_{B3} の各相電圧同志を比較し、下記の



図 5.5 DGF-D 形界磁地絡継電器
Fig. 5.5 Type DGF-D field ground relay.



(a) 従来の界磁接地検出原理図



(b) DGF 形継電器原理図

図 5.6 励磁機電圧を利用した界磁接地保護方式
Fig. 5.6 Generator field ground protection without any relaying source except exciter voltage.

動作式が満足されたとき低下した側の PT 回路を選択検出するようになっている。

$$\left. \begin{aligned} K|\dot{E}_A| - |\dot{E}_B| &\geq V_0 \\ K|\dot{E}_B| - |\dot{E}_A| &\geq V_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.1)$$

5.2 界磁地絡継電器

同期機の界磁回路は、励磁機、界磁スイッチ、界磁抵抗、スリップリング、界磁コイルなど重要部分を網羅しており、これがもし2箇所の異なった部分で地絡が起こると、大きな短絡電流が流れ、重大な損害を招くことは明らかである。ところが、このような2点地絡を直接検出する適当な方法がなく、結局、これを未然に防止する以外には方法がない。そのために界磁回路のどこか1箇所で地絡故障が発生したときにこれを検出し、ただちに対策をたてることができるように DGF 形界磁地絡継電器を設置している。

DGF 形継電器は 図 5.5 の外観に示すように継電要素は、さきに述べた D-5 形継電器とまったく同じである。この継電器の特長は非直線抵抗と組み合わせて、不感帯をなくしたことである。

図 5.6(a) のように従来の方法では抵抗 R_1 , R_2 , RF_1 , RF_2 が

$$\frac{RF_1}{RF_2} = \frac{R_1}{R_2} \dots\dots\dots (5.2)$$

なる平衡条件を満足する点の付近の地絡事故は検出することができなかった。

しかし、このような欠点を、図 5.6(b) のようにブリッジの一边に非直線抵抗を付加することによって解決しているのである。DGF 形継電器はレバーにより、感度が $\pm 0.125 \sim \pm 0.75 \text{mA}$ まで連

表 5.1 DGF 形界磁地絡継電器推奨整定値表

励磁機定格電圧 (A)	推奨整定 (左, 右とも) (mA)	検出可能抵抗
DC 110 DC 125	0.125	定格電圧印加時 界磁回路正負端において 400~600kΩ
DC 220 DC 250	0.25	
DC 330 DC 375	0.375	
DC 440 DC 500	0.5	

※ 標準品に非ず

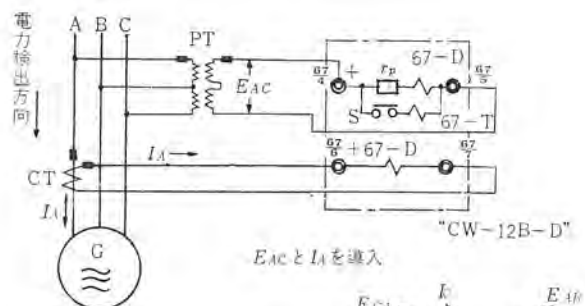
続可調整であるが、界磁回路の電圧により 表 5.1 のような値を推奨している。

6. 電動機化保護継電器

発電機に結合された原動機への駆動エネルギーが停止したまま運転されておれば、発電機は電動機として系統よりエネルギーを受け、

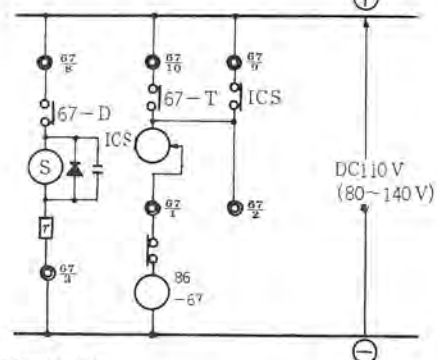
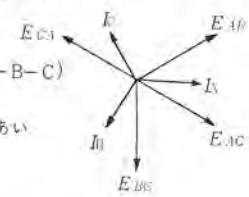


図 6.1 CW-12B-D 形 電力差電器
Fig. 6.1 Type CW-12B-D power relay.



(a) PT, CT 回路接続 (相順は A-B-C)

ベクトル図は力率 1 のばあい



(b) 制御回路接続

図 6.2 CW-12B 形 継電器外部接続図
Fig. 6.2 External connection of type CW-12B relay.

原動機を逆に駆動することになる。

その結果、タービン発電機においてはタービン翼を摩擦により過熱する危険があり水車発電機においては小水流下に運転することにより cavitation を促進する危険をもつ。

このようなトラブルは通常、原動機側で保護されているが、保護対象が高価なものである以上、発電機端子の逆流によっても保護することが望まれている。

図 6.1 に外観を示した CW-12 B 形電力継電器は、この目的に最適の継電器で定格 110V 5A において連続に使用され、しかも非常に小さな規定方向の電力で接点を閉成するものである。

この継電器は写真でも示しているように上部に電力方向要素 (D) があり、下部には限時要素 (T) がある。

図 6.2 のように D 要素が動作すると内蔵の補助継電器 S を動作させ、その接点で T 要素を励磁し、ある限時の後シ断器をトリップさせている。D 要素の感度は、電圧 110V に対して 30° 進みの電流 0.025 A (定格電流 5 A とすれば 0.5 %) と非常に高感度であるから、微小な発電機の逆流を検出し電動機化保護に適用できる。限時要素はダイヤルで可調整になっているが、普通は 10 に整定し、その動作時間は約 20 秒である。

7. 脱調保護継電器

一般にある発電機単体の脱調保護は行なわない。もし必要がある場合には HFS-2 形脱調および界磁喪失継電器が用いられている。HFS-2 形継電器は HLF 形界磁喪失継電器に脱調要素を付加したものである。脱調時の電気の中心は発電機端子付近にあることが多いので、脱調要素には普通主変圧器高圧側の PT から電圧を供給するようになっている。

この継電器は同期機 1 台当たり 1 個必要で、発電機三相電流と発電機第 1 相—第 2 相間、第 2 相—第 3 相間線間電圧のほか、主変圧器高圧側 (母線側) 第 2 相—第 3 相間線間電圧を入力として必要とする。

この継電器は上述のように、界磁喪失を検出する LF 要素、界磁喪失の進行によって生ずる低電圧を検出する LV 要素、さらに脱調軌跡を捕捉する OS 要素とからなり、LF 要素のみの動作では警報、LE、LV 両要素の動作でトリップというシーケンスを構成できる。OS 要素は上記 LF 要素とは全く独立して構成されているので、整定は独立に可能であり、動作後の処置も自由である。

8. む す び

同期機保護の主要なものについて述べたが、その他、

- (a) 界磁過熱
- (b) 軸受過熱
- (c) 過負荷

などがあるが、これらはいずれも大形機では警報接点付の記録計計器で保護している。また、さきに述べたなかでも界磁喪失、電動機化などは小容量機ではとくに保護していないのが現状である。いずれにしても発電機が万一ある故障をおこしたときのあらゆる面からみた損害額、あるいはそれに対する保護装置を省略していた場合におこる損害の増加といったものと、その保護装置の価格、収容設備費、運用保守のための費用などを統合した価格を比べて適宜、取捨選択することが望ましい。

以上、同期機保護の一般について当社の現状を述べたものである。適用にあたりなんらかの参考になれば幸いである。

機器保護

—誘導機保護—

天 野 恒*

Apparatus Protection
—Induction Machine Protection—

Kōbe Works Hisashi AMANO

Induction machines have a less variety of protecting devices than synchronous ones, because there are no field circuits, and no trouble of stepping out of synchronism, besides most of them are motors. The articles deals with the protection of high voltage large capacity induction machines by the use of the combination of long time limit induction disc type overcurrent relays and further combined with temperature relays having characteristic equivalent to the overload capacity of induction machines. For the unbalanced operation protection those working on voltage or on current are employed. As simple differential protection those using through type current transformer find their way into the service.

1. ま え が き

誘導機は同期機に比較して保護装置の種類は少ない。これは、いろいろ理由があるが誘導機には

- (1) 界磁回路がない、
- (2) 同期はずれの現象がない
- (3) おもに電動機である、

などがあげられる。

また対象機械として低圧小容量機から高圧大容量機まで幅広い必要がある。しかしながら本文では電力用保護継電器を応用した高圧大容量機の保護についてのみ述べ、工業用熱動過負荷継電器あるいはノーヒューズ型断器などによる保護については別稿に譲るものとする。

2. 過電流保護継電器

誘導電動機の過電流保護には CD-5 I 形過電流継電器を使用する、この継電器は図 2. 1 に外観を示すように長限時の誘導門板形過電流継電器で瞬時過電流要素(IIT 要素)をケース内に内蔵している。このため起動時の突入電流では誤動作せず、回転子拘束時の電流を超過するような短絡電流に対しては、IIT 要素が高速で動作するようになっている。



図 2.1 CO-5I-D 形過電流継電器
Fig. 2.1 Type CO-5I-D overcurrent relay.

一般に使用される定格は、タック範囲 2~6 A または 4~12 A であり、IIT 要素は頭部の整定用ネジにより 20~80 A 連続可調整である。動作時間は誘導門板要素は反限時定限時特性を有しており、タック値の 500% 以上ではダイヤル 10 で約 25 秒程度である。また IIT 要素は瞬時動作で、整定値の 150% 以上の過電流では 0.03 秒以下で動作する。

3. 過負荷保護継電器

誘導機にかぎらず、一般の電力機器の過負荷保護に用いる継電器の特性としては、機器の過負荷耐量に比例するのが理想である。

通常は前述の CO-5I 形長限時誘導形過電流継電器を使用しているが、この継電器は タック によって動作値を変更する関係上、いくら定格値の 120% ないし 150% 付近での長時間過負荷を保護しようとしても整定そのものが困難であり、また時限そのものも、この付近の過負荷保護に マッチ していない。つまりこの付近の電流範囲を含む過負荷保護を行なうには、どうしても連続的に整定値を変更できる構造とこの領域に相当した動作時間が必要である。

この目的に使用するには BL-1 形温度継電器が最適である。BL-1 形継電器は図 3. 1 に外観を、図 3. 2 に原理図を示すように、保護すべき機器の電流を変流器を通じて ヒータ に導き、その熱に応動する バイメタル によって動作する熱動継電器である。その電流通過状況—動作時間特性は、一般に相当と考えられている各機器の過負荷許容時間特性と相似の特性をもっているから過負荷保護には最適のものである。また電流整定値は 2.5~5 A まで連続可調整のため整定が容易である。

この継電器の代表的な動作特性を図 3. 3 および図 3. 4 に示す。図 3. 3 は 2.5~3.75 A レンジの場合、図 3. 4 は 3.75~5 A レンジの場合を示すもので初期条件として無負荷および全負荷の場合を示している。

とくに重要な誘導機には BL-1 形継電



図 3.1 BL-ID-D 形温度継電器
Fig. 3.1 Type BL-ID-D thermal relay.

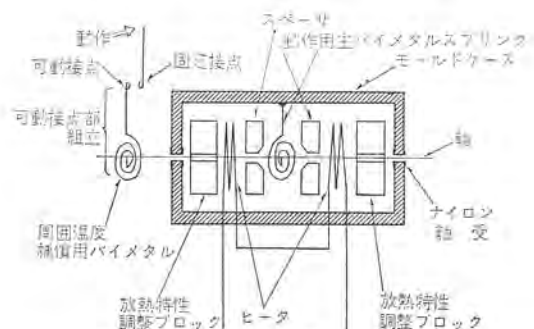


図 3.2 BL-1 形継電要素原理
Fig. 3.2 Principle showing elements of type BL-1 relay

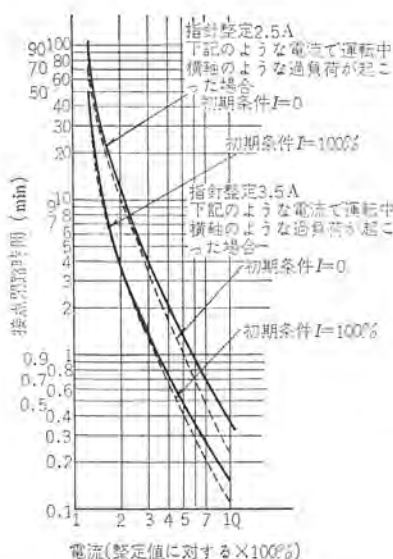


図 3.3 BL-1 形温度継電器電流一動作時間特性標準曲線
短絡リンク開放 (2.5~3.75 A)
Fig. 3.3 Typical operating time characteristics of type BL-1 relay with shorting link open (2.5~3.75 A).

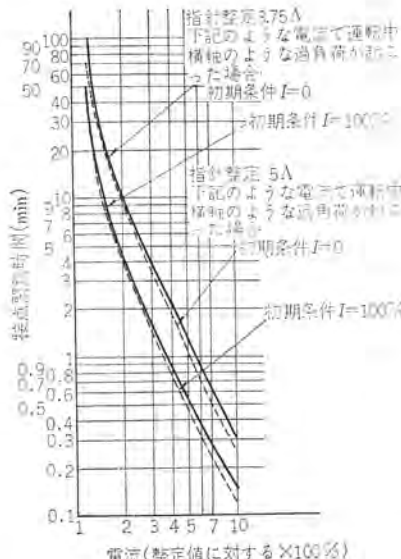


図 3.4 BL-1 形温度継電器電流一動作時間特性標準曲線
短絡リンク短絡 (3.75~5 A)
Fig. 3.4 Typical operating time characteristics of type BL-1 relay with shorting link closed (3.75~5 A).

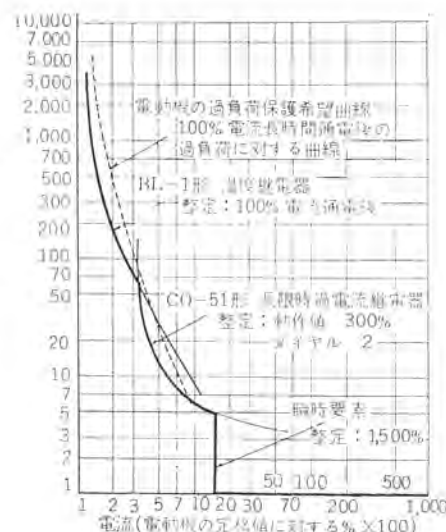


図 3.5 BL-1 形温度継電器と CO-51 形過電流継電器を併用した電動機保護例
Fig. 3.5 Typical operating characteristics of motor protection with type BL-1 relay and type CO-51 relay.

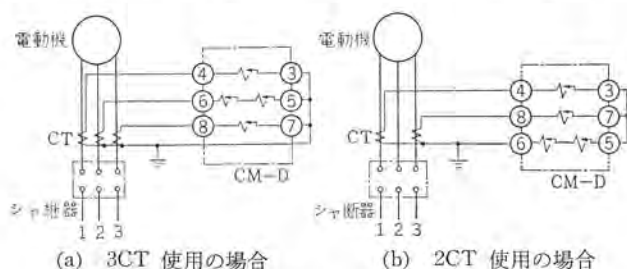


図 4.1 CM-D 形相平衡電流継電器外部接続
Fig. 4.1 External Connection of type CM-D relay.

器と CO-51 形継電器とを併用することを推奨する。この場合大体 300% 以下の負荷は BL-1 形継電器で警報とし、それ以上では CO-51 形継電器でトリップとする。この場合 BL-1 の要素が 2 個収納された BL-1 D 形継電器 1 個と、CO-51 形継電器 2 個で 3 相回路を保護することになる。

図 3.5 は上記の動作時間特性の一例を示したものである。

4. 不平衡運転保護継電器

3 相誘導機の不平衡運転を保護する継電器として電流による CM 形相平衡電流継電器、電圧による CP 形逆相電圧継電器がある。CM 形継電器は 1 相の開放、3 相電流の不平衡で動作する誘導円板形継電器で動作電流は 2-4-6 A のツウで選んで整定できる。

図 4.1 はこの継電器の接続を示したものである。

CP 形継電器は 3 相回路の相回転が逆方向になったとき動作する誘導円板形継電器である。また 1 相の開放も条件により、検出することができ 3 相の不足電圧でも動作する。整定範囲は 70-100 V 用と 140-200V 用の 2 種類があり、いずれも連続可調整である。

図 4.2 はこの継電器の外観を示したものである。

CM 形継電器および CP 形継電器はいずれも 3 相回路に対して 1 個の継電器を用意すればよい。

5. 差動保護継電器

誘導機の巻線保護として差動保護は現状ではとくに行なってい



図 4.2 CP-D 形逆相電圧継電器
Fig. 4.2 Type CP-D Negative phase sequence voltage relay.

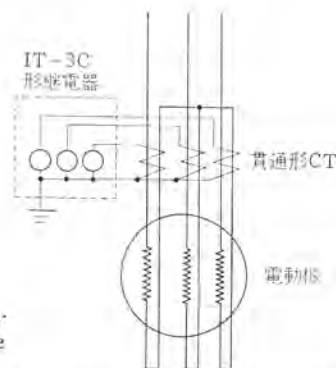


図 5.1 貫通形 CT と IT-3 C 形瞬時過電流継電器による電動機の差動保護方式
Fig. 5.1 Differential protection of motor with through type CT and type IT-3 C overcurrent relay.

ないが、2,000 kVA 以上の電動機では必要な場合があるが、そのときは同期機の項で紹介した CAG 形比率差動継電器を使用する。また地絡保護に 高压配電線の CWG-3 形地絡方向継電器を使用することもあるが、あまり一般的でない。

簡単な差動保護として貫通形 CT を用いて図 5.1 のように端子側と中性点側の導体を差動的に貫通させ、その 2 次出力を IT-3 C 形瞬時過電流継電器に導入する方式がある。中性点側から導体が出せる機器であれば簡単に差動保護ができるのでよい方式と考えられる。

6. む す び

以上 誘導機保護について当社の現状を述べたのであるが、まえがきにも述べたようにその一部を紹介したにとどまる。本文の目的が電力システムを主とした理由によるものであることをご了解願いたい。

機器保護共通にいえることであるが、誘導機の場合も機器の容量を考慮して保護装置の取捨選択が適宜行なわれている。本文がそれに対しいささかでも寄与することができれば幸いである。

寺田 真*・天野 恒*・阪上 正幸

Apparatus Protection

—Transformer Protection—

Kobe Works

Makoto TERADA・Hisashi AMANO・Masayuki SAKAGAMI

Transformers have the largest total capacities among the apparatus connected to the electric power systems. Their protection involve many indefinite factors making it hard to work out a standard practice. Unlike other machines connected with prime movers or loads, they must be provided with devices to detect faults by themselves for the protection. As apparatus tying the systems, their protective function shall be consistent to that of the systems. The ratio differential protection is in general use for the transformers. To guard against the magnetizing inrush current is also to be worked out on the transformers. Then ratio differential relays with the second harmonic restraint are the answer. Induction disc type ratio differential relays are also applicable for the purpose if used properly.

1. ま え が き

変圧器は電力統系統につながる機器の中では、もっとも総容量が大きく、その保護に関しては定格、用途、使用系統に応じて多くの例が考えられはっきりした基準を出すことはむずかしい。

変圧器は発電機や電動機のように直結される原動機や負荷がないため変圧器自体の異常はそれ自身で直接適確に検出する必要があること、系統間をつなぐ機器としてその保護が系統保護の1部として矛盾がなく適当であることを保護上考慮すべきである。

変圧器自体の保護に属すると考えられるものとして差動保護、機械的保護があり、系統保護の1部として考えるべきものとしては過電流保護がある。

これら保護方式の具体的内容については、以下に逐次紹介するが変圧器の設計、材料、工作に格段の進歩がみられること、変圧器が大形化していることを考慮し上記の二つの保護目的をあわせて考え、場合に応じて最良の保護方式を用いる必要がある。

2. 比率差動継電器

2.1 変圧器用比率差動継電器の特殊性

変圧器内部およびブッシング部分の電氣的保護の代表的な方式として比率差動継電器による保護が考えられる。

比率差動継電器自体は発電機、母線、送電線の内部事故を検出する継電器として広く用いられているのでその原理自体はとくに変わったものではないが、変圧器保護用比率差動継電器としてとくに考慮すべき点として次の誤差があげられる。

(a) 変圧器一次、二次(三次)電流は異なり、結線も通常異なるので主変流器により常時の差動電流がゼロとなるようにするのはむずかしいこと。

(b) タップ切換器付変圧器の場合は上記(a)を完全に満足するようにしてもタップ切換えにより電流比(電圧比)は変わり誤差差動電流は発生する。

(c) 変圧器の励磁電流は見かけ上の誤差差動電流となる。

以上(a)(b)を考慮すると変圧器用比率差動継電器の動作比率

は発電機、電動機用の比率差動継電器のものほど低くとれなくなる。さらにその比率は変圧器外部の事故においてもCTの特性差により生ずる誤差差動電流で誤動作しない程度のものであることが必要である。

したがってとくに変圧器用比率差動継電器は継電器自体に補助変流器を内蔵し、適当な比率特性を有するものでなければならぬ。

(c)の励磁電流は変圧器および系統の事故がないときでも存在しとくに過渡的に発生する励磁電流はその大きさが相当の大きさとなるので高速度保護を行なう際、とくにあらためて問題となる。これについては次項でとくに述べることにする。

2.2 変圧器の励磁突入電流

変圧器が定格定常運転を行なっている際の励磁電流は変圧器の電率が高いためかなり小さい。

変圧器が系統に接続されるとき、または接続されている系統に電圧変化を伴う動揺があったとき過渡的に大きな励磁電流が流れるが、これを発生機構によって次のように分類している。

(a) 変圧器投入時励磁突入電流(Initial Magnetizing Inrush) 無負荷変圧器を投入する際発生するもっとも基本的なもの。

図 2.1 (a)参照

(b) 電圧回復時励磁突入電流(Recovery Magnetizing Inrush) 事故により電圧が低下し近接した遮断器Sがトリップしたことから生ずるもの。図 2.1 (b)参照

(c) 変圧器並列投入時励磁突入電流(Sympatetic Magnetizing Inrush)

運転中変圧器にほかの変圧器が並列されたとき発生する励磁突入電流。図 2.1 (c)参照

これらのうちでもっとも波高値の大きな突入電流は(a)の投入時励磁突入電流であるが、この大きさおよび減衰の様子を決めるのは

(1) 変圧器の設計鉄心材料構造

(2) 系統インピーダンス

(3) 変圧器の鉄心中の残留磁束

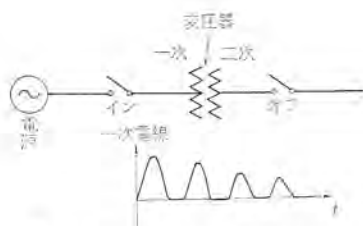


図 2.1 (a) 投入時励磁突入電流
Fig. 2.1 (a) Initial magnetizing inrush current.

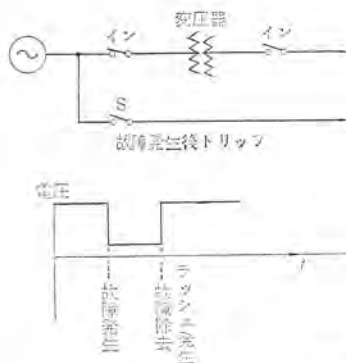


図 2.1 (b) 電圧回復時励磁突入電流
Fig. 2.1 (b) Recovery magnetizing inrush current.

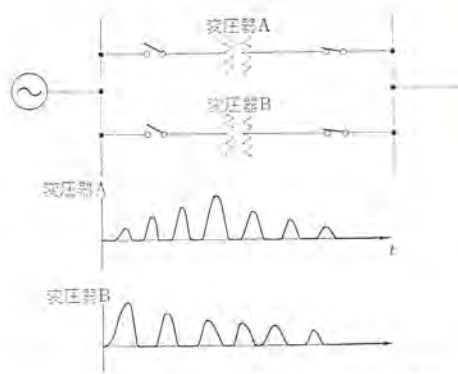
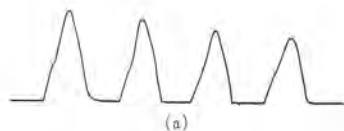
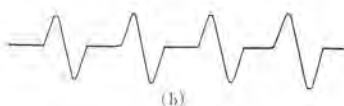


図 2.1 (c) 並列投入時励磁突入電流
Fig. 2.1 (c) Sympatetic magnetizing inrush current.



(a)



(b)

図 2.2 変圧器投入時励磁突入電流波形例
Fig. 2.2 Typical wave forms of initial magnetizing inrush current.



図 2.3 HUB-2-D 形比率差動継電器
Fig. 2.3 Type HUB-2-D ratio differential relay.



図 2.4 CAT-D 形比率差動継電器
Fig. 2.4 Type CAT-D ratio differential relay.

表 2.1 変圧器投入時励磁突入電流調波分析例

	励磁突入電流 ¹⁾ (a)	励磁突入電流 ²⁾ (b)	正 弦 半 波
基 本 波	100	100	100
直 流 分	65	4	64
第 2 高 調 波	34	105	42
第 3 高 調 波	8	43	0

注) 1 励磁突入電流 (a) 図 2.2 (a) のような波形の場合
2 励磁突入電流 (b) 図 2.2 (b) のような波形の場合

表 2.2 変圧器投入時励磁突入電流波形調波分析

	第 1 サイクル	第 2 サイクル	第 3 サイクル
基 本 波	100	100	100
直 流 分	58	58	58
第 2 高 調 波	62	63	65
第 3 高 調 波	25	28	30

であり、その大きさ減衰のもようも著しく変動する。

この大きさは変圧器定格電流値の 8~10 倍に達することもあり、ことに Δ -CT の場合は大きくなって見える。

またその減衰の様様は大容量系統に大容量器が投入される場合ほどゆるやかであり、投入後 5 秒経過しても CT 二次側で 2 A の励磁電流が流れていた場合がある。

これら励磁突入電流の波高値および大きさは高速度差動継電器にとって無視できないが、この突入電流の波形に着目すると著しい特長を有することがわかる。

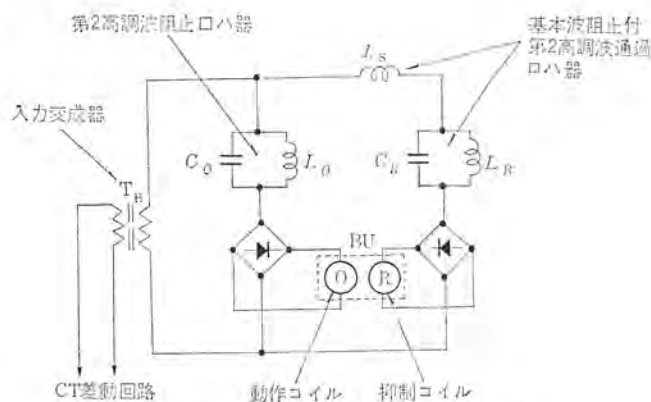


図 2.5 第 2 高調波抑制方式の基本回路
Fig. 2.5 Principle of 2nd harmonic restraint.

図 2.2 に示すのは三相変圧器を投入したときに表われる励磁突入電流の波形例で同図 (a) (b) のように代表的な二つの波形に分類される。その一つは同図 (a) のように直流分で偏倚された波形でありほかの一つは (b) のように正負対称の波形である。

これらを調波分析した結果は表 2.1 に示すようになり (a) (b) いずれの場合も第 2 高調波が相当多く含まれ直流分およびほかの調波成分は含まれかたが不安定である。

また高調波成分は直流分が減衰するのに反してむしろ時間とともに増加する傾向にある。

したがって励磁突入電流中の第 2 高調波に着目して、これを故障電流と弁別することが有効であることがわかる。

2.3 比率差動保護継電器

当社の標準形変圧器保護用差動継電器は、図 2.3 に示す高速度形の HUB-2 形比率差動継電器と、図 2.4 に示す誘導円板形の CAT 形比率差動継電器とがあるが、前者は保護速度が早く、励磁突入電流に対する不感動特性が確実であり応用が容易なので大容量発電所、重要変電所などのほとんどが前者高速度形を使用している。

これに対して CAT 形継電器は保守が簡単で低コストという誘導円板形の特長を生かし、配電用変電所、特高受電用変電所などに使用している。

(a) HUB-2 形比率差動継電器

HUB-2 形継電器は、通常の比率差動要素 (MU 要素) 以外に図 2.5 のように差動電流中の直流分を入力変成器で除いたのち、 L_0, C_0 による第 2 高調波阻止 π 回路によって基本波および第 2 高調波以外の 2 高調波成分は動作コイルに流れ、 L_0, C_0 によるとくに基本波阻止を強調した第 2 高調波通過 π 回路によって第

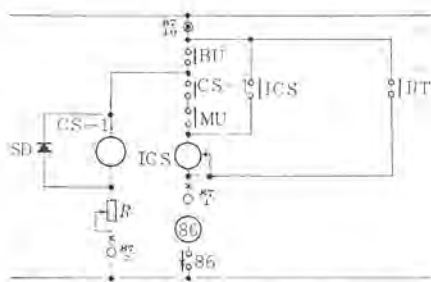


図 2.6 HUB-2 形 継電器外部接続例
Fig. 2.6 External connection of type HUB-2-D relay.

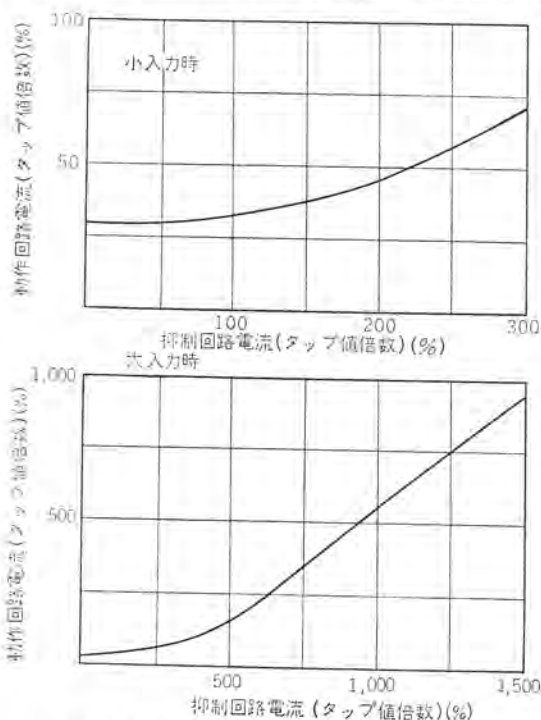


図 2.7 HUB-2 形 継電器比率差動特性例
(ただし 抑制回路電流と動作回路電流とは同相の例)
Fig. 2.7 Typical ratio differential characteristics of type HUB-2 relay.

2 高調波のみが抑制 コイルに流れるように構成した励磁突流誤動作阻止要素 (BU 要素) を有する、いわゆる第 2 高調波抑制付の比率差動継電器である。

HUB-2 形継電器の動作は図 2.6 のように MU 要素、BU 要素の両者が動作してはじめてトリップ回路を形成するようになっている。

すなわち MU 要素 (主差動要素) は図 2.7 のように飽和比率差動特性を有しているのでは内部故障時動作し外部故障時動作はせず BU 要素 (阻止要素) は内部故障時動作し投入時の突入電流により動作しないようになっている。

BU 要素は励磁突入電流中の第 2 高調波成分の基本波に対する割合が 15~20 % 以下となったとき接点し、その周波数特性は図 2.8 に示すものである。HUB-2 形継電器は 2 巻線変圧器、3 巻線変圧器のいずれにも使用でき三相回路で 3 個必要である。また線路 CT の変成比の相違により生ずる ミスマッチングを補償するために抑制回路および動作回路に下記のようなタップを備えている。

2.9, 3.2, 3.5, 3.8, 4.2, 4.6, 5.0, 8.7 (A)

(b) CAT 形比率差動継電器

CAT 形比率差動継電器は同期機保護の際に述べた CAG 形比率差動継電器と類似の構造の継電器である。ただし CAG 形継電

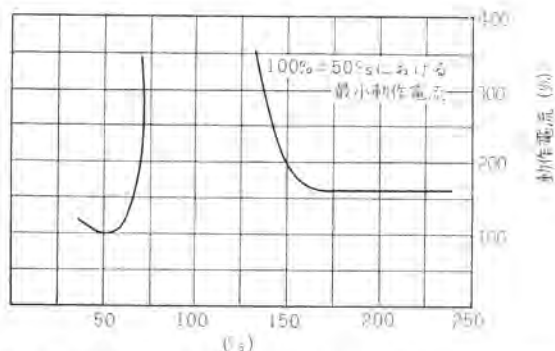


図 2.8 HUB-2 形 継電器 BU 要素周波数特性例 (50c/s 用)
Fig. 2.8 Typical frequency response of harmonic restraint unit (BU element) for 50 c/s use.

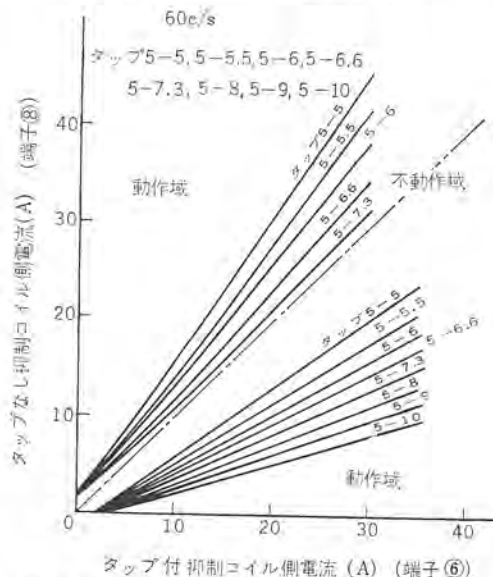


図 2.9 CAT 形比率差動継電器比率差動特性例
Fig. 2.9 Typical ratio differential characteristics of type CAT relay.

器にくらべ変圧器保護に適するように

(1) 同期機保護にくらべ最小動作も動作比率も大きくとってある。

(2) 線路 CT 変成比の相違により生ずる ミスマッチング 補償用のタップを内蔵している。
などの考慮をはらっている。

すなわち、変圧器の一次側と二次側との間には励磁電流そのほかの影響により平常時でも相当の不均衡電流があるため最小動作値は約 2 A となっており、また動作比率も約 50 % となっている。補償タップは 5-5 A~5-10 A まで 8 段に変更することができるようになっている。図 2.9 はこの継電器の各タップにおける動作特性を示したもので、図は最小動作電流の軌跡を示しており各タップの動作限界線より外側に相当する電流で継電器は動作するものである。

3. 過電流および過負荷継電器

主要変圧器にはすべて比率差動継電器を設置しているが比率差動継電器のない小容量変圧器、または比率差動継電器を設置した変圧器でも後備保護用とし、過電流継電器を使用する、これには同期機のところでも説明したが CO-6 形または CO-8 形誘導円板形過電流継電器を用いる。また特高受電用変圧器には瞬時過電流要素を内蔵した CO-6 I 形または CO-8 I 形過電流継電器を使用

して特高側事故と高圧側事故を区別する方式もある。過負荷保護には誘導機のところの説明した BL-1 形温度継電器が用いられる。しかしこれは特殊な場合であって、一般的にはサーコイルなどで監視する方式がとられている。

4. 機械的保護継電器

変圧器の機械的保護継電器として用いられているものに次のものがある。

- (1) ブッフホルツ 継電器
- (2) 圧力継電器
- (3) 放圧警報装置

変圧器の内部で絶縁破壊を起こすと二次的に熱および油中アークのため絶縁物や油が分解し、多量の分解ガスや油の蒸気を発生し、タンクの内圧が急激に変化する。機械的保護装置はこれらの現象をとらえて動作するもので、ブッフホルツ 継電器は変圧器タンクとコンサーバタをつなぐ連絡管の途中に設け、発生したガスによって油面が変化することにより浮子を動かし、それに連携されたマイクロスイッチを動作させている。また SP 形衝撃圧力継電器は油入変圧器のガス室部に設けられ内圧の変化が急激に起こった場合動作し、徐々に圧力が変化する場合に誤動作しないようにしたものである。したがって比較的軽微な局部事故ではブッフホルツ 継電器のほうが有利であるので、これら両者を併用すれば完全に目的を達することができる。

5. 特殊な適用方法

5.1 発電機と変圧器ユニットの保護

変圧器の差動保護応用例としては、一般に図 5.1 のように所内変圧器、発電機も差動保護域に含めた、ユニット保護方式が適用される。このような変圧器保護の差動回路には変圧器の変成比と CT 比の相違、CT の誤差電流、変圧器の励磁電流および変圧器のタップ変更などに伴う mismatch による電流が流れるため、これらを慎重に吟味したうえで動作値を決定しなければならない。一般には大体最小限 15 % 以上の動作比率をとらなければならない。このような場合に最も適した比率差動継電器として、三菱 HUB-2 形第 2 高調波抑制付き比率差動継電器がある。これによれば変圧器投入時の励磁突入電流による誤動作がないので発電機、所内変圧器を含めた主変圧器保護が可能である。

5.2 負荷時タップ切換付き変圧器の保護

変圧器は発電機らと異なり、電圧調整用の変圧比切換タップを有する。このようなタップ付き変圧器に対して比率差動継電器を適用する場合、任意のタップに対して比率特性を選定するとそれ以外のタップに切り換えられた場合、外部故障時にこの比率を越えて誤動作となる危険性がある。したがって変成比タップの最小から最大までのタップ変更による不平衡電流で誤動作しないように比率特性を選ぶ必要がある。

通常負荷時タップ切換付き変圧器の保護に対しても、三菱 HUB-2 形比率差動継電器が最適であり、その選定基準は中心タップに選定した場合の mismatch 率で整定検討し、これが 15 % をこえ

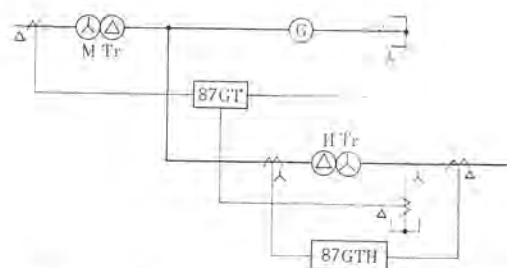


図 5.1 変圧器および所内変圧器保護例
Fig. 5.1 Typical differential protection of main transformer and house transformer circuit.

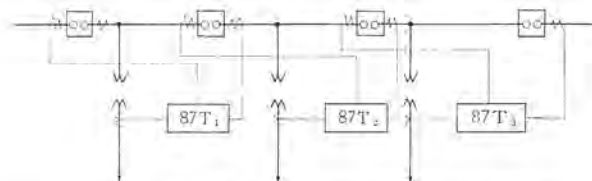


図 5.2 配電用変電所の主変圧器を含む母線保護例
Fig. 5.2 Typical differential protection of main transformer and Bus bar distribution substation.

ない程度であればよい。

5.3 母線を含めた変圧器の保護

従来母線の保護と変圧器の保護は別のものであると考えられていた。しかし市内 70 kV 系統の配電用変電所では、通常図 5.2 のように変電所母線に数バツクの変圧器が並列接続されている場合が多い。

このような場合、変圧器差動保護を拡大し、母線を含めて保護することができれば非常に有利となる。このような場合の保護として、前掲の HUB-2-D 形比率差動継電器を変圧器保護用とさらに母線保護用としての比率特性を加味した HUB-2E-D 形比率差動継電器を開発し、BP-282 形簡易母線および変圧器保護装置として標準化したものがある。以下にこの装置の適用基準例を示す。

- (1) 短絡容量 500~2,500 MVA (77 kV ベース)
- (2) 地絡電流 200~600A (70 kV 側常時通過循環電流 660A 最大)
- (3) 変圧器一次側接地リアクタ 77, 5000kVA 以下 (112A 以下)
- (4) 変圧器二次側中性点抵抗 22kV 60 Ω 以下 (212A 以下)
- (5) 主変圧器容量 10~30MVA.

6. む す び

以上変圧器保護について述べたが、結論としては HUB-2 形継電器または CAT 形継電器で完全に保護可能といえる。ただし励磁突入電流の大きい変圧器、無負荷投入をたびたび行なう変圧器などでは CAT 形継電器が不適当なこともある。そのような場合でも HUB-2 形継電器は問題なく使用できる。この両者の使いわけは本文に記したが性能上以外に価格、保守のうえからも考えて適当に選ばれることが望ましい。

終わりにこの継電器の発展進歩については、ご採用いただいた各電力会社、電力需要家の関係各位のご指導、ご協力を深謝する次第である。

母線保護

寺田 真*・鈴木 健治*・阪上 正幸*

Bus Protection

Kōbe Works Makoto TERADA・kenji SUZUKI・Masayuki SAKAGAMI

Bus faults in the power station have serious effect on stable operation of the power system. This is true with that in Japan which has made a marked expansion since the end of the war. The high speed primary protective relaying to the bus fault is anxiously required from this view point. Mitsubishi has completed three systems to cope with the requisite. Type LBB ratio differential with phase comparison restraint control system. Type LC linear coupler differential system, and Type CA-6 saturable ratio differential system.

Also Mitsubishi has completed the suitable protective schemes applied to the protection of single bus, double bus with sectionalizing line switches and other typical constructions.

1. ま え が き

従来母線保護としては、とくに専用の継電装置を設けず、送電線または機器の後備保護にたよっている例が多かった。

母線は、電力系統のつなぎ目である。したがってそのコウ(巨)長が短く、事故の発生確率が、送電線に比べ小さいとはいえ、いったん事故が起れば影響範囲は大きく損害も大きい。

母線事故の除去が遅れば系統の安定をそこない、母線およびこれにつながる機器が損傷する。また系統の連携が進み、大形化すれば線路および機器の保護も整備されるので、これらになよって線事故を高速度で除去することは困難である。

したがって、母線部分の事故のみを高速度かつ確実に検出する専用の母線保護が必要となる。

日本では昭和29年ころから一部実験的に母線保護が設置され、その後新設の大形電気所の重要母線を中心として数多く設置されてきたが、最近では既設の電気所の重要母線の保護も広く行なわれるようになってきている。また母線保護装置を設置して母線事故を早く除去したことによる成果も数多く報告され、着々その実をあげている。

以下本文は、三菱母線保護方式を主体とし、母線保護の概要を紹介する。

2. 母線保護方式

母線保護方式としては、母線事故を適確にかつ高速度で検出する方式が必要であるが、母線構成、系統構成に応じて最良の方式を適用することも必要である。以下代表的な方式について、一般的な方式から順に、その概要を述べる。

母線保護を保護継電方式から分類すると次の三つになる。

- (1) 差動方式……最も広く用いられる方式
- (2) 部分差動方式……特殊系統条件で使用される方式
- (3) シャヘイ母線方式……日本ではほとんど実施例はない

2.1 差動方式

差動方式とは、一般に保護すべき母線に接続される端子すべてに変成器を設け、その変成器二次出力の代数和を得るように接続

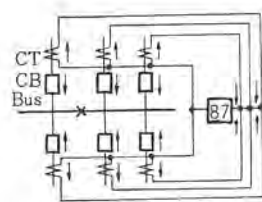


図 2.1 差動方式
Fig. 2.1 Differential protection.

CB : ショ断器 87 : 差動継電器
CT : 電流変成器
Bus : 保護される母線

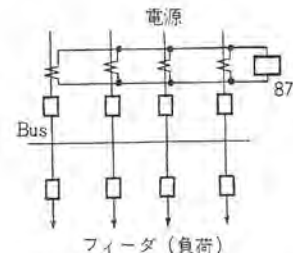


図 2.2 部分差動方式
Fig. 2.2 Partial differential protection.
Bus : 保護される母線
87 : 差動継電器

し、その代数和(差動出力)を継電器に加えるようにしたものである。母線外部事故状態または負荷貫通状態では、キルヒホッフの第1法則によって代数和はゼロであり、母線内部事故状態では事故点に向かって電流が流入するので、流入電流の和はゼロではない。このことを利用すれば内部外部の事故の判別ができる。このように差動出力の大きさで内部事故を判別する方式を差動方式という。図2.1にその原理を示す。

この方式は母線部分の事故を検出する確実な方式として、もっとも広く用いられている。一般に母線保護といえば、この方式を指すことが多い。

2.2 部分差動方式

部分差動方式は母線に接続される端子の変成器のうち、一部のものの二次出力を差動接続して保護する方式である。たとえば図2.2のように電源に接続される端子にだけCTを設け、その差動出力を継電器に加えるようにしたものである。普通継電器としては標準継電器を用い、母線に接続される端子の状況(たとえば図2.2ではフィードからは内部事故時電流が流れ込まない)を考慮して設計される。ここに使用される87のかわりに、距離継電器などが使用されることもあるが、フィード側の条件を考慮してその選定を行なわねばならない。

この方式は上述の差動方式ほど一般的ではないが、母線の特長性を考慮してときどき採用される方式である。

2.3 シャヘイ母線方式

シャヘイ母線方式は母線部分を離相母線のようなシャヘイケースで

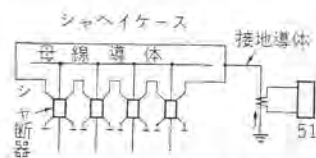


図 2.3 シャハイ母線方式
Fig. 2.3 Fault-bus protection.

包み、このケースを母線および大地から絶縁した構造とする。さらに、このケースの一部に接地導体を設けて接地し、この接地導体を流れる電流を過電流継電器によって検出するようにしたものである。図 2.3 はその概略を示す。この方式の実施例は少ない。

そのほか距離継電器を用いた簡易保護や方向継電器を用いた方式も考えられるが、特殊例なので省略する。

3. 母線保護と変成器

差動方式で母線保護をすることがもっとも一般であるが、その際 CT が問題となるのはとくに下記の理由からである。

- (1) 母線に接続される回路(端子)数が多いため外部故障時事故点につながる端子を通過する電流が大きくなる。
- (2) 変圧器・発電機などのように差動保護域の中に故障電流を制限するインピーダンスがない。
- (3) 以上により流出端子 CT が飽和を起こしやすい。
- (4) 新設のばあいを除き、CT の特性を完全に一致させえないから CT 特性の悪いものも混入するおそれがある。

要するに CT 一次を通過する外部事故電流がほかの差動保護(発電機・変圧器・表示線)に比べて大きいことが最大の問題点である。

一般に CT に鉄心を使用する関係で上記問題が生ずるが、この CT から鉄心を取り除いた空心変成器(リニヤカップラ)を使用すれば上記の問題は解決する。このリニヤカップラについては別に述べるとして、まず鉄心入り CT に関係する問題について考えてみる。

3.1 CT 誤差と差動電流

変成比 $a = \frac{\text{一次電流}}{\text{二次電流}}$ なる CT の n 端子保護で CT 2 次差動回路電流 i_D は下記ようになる。

$$i_D = i_1 + i_2 + \dots + i_{n-1} + i_n \quad (3.1)$$

ただし $i_1, i_2, \dots, i_n$: CT 二次電流

各端子 CT が正しく電流を変成すれば、各端子 CT 一次電流を $I_1, \dots, I_n$ として次式が成立する。

$$i_D = \frac{1}{a} (I_1 + I_2 + \dots + I_{n-1} + I_n) \quad (3.2)$$

負荷電流程度の貫通では式(3.2)が成立し、また無事故状態では

$$I_1 + I_2 + \dots + I_{n-1} + I_n = 0$$

であるから

$$i_D \approx 0$$

となる。

しかし母線外部事故状態では CT が飽和し正しく一次電流を変成しなくなる。

一般に CT の等価回路は図 3.1 のようになる。

すなわち理想 CT の二次電流から励磁電流を差し引けば実際の CT 二次電流分となる。各端子 CT の励磁電流を $i_{ex1}, \dots, i_{exn}$ とすると

$$i_1 = \frac{1}{a} I_1 - i_{ex1}$$

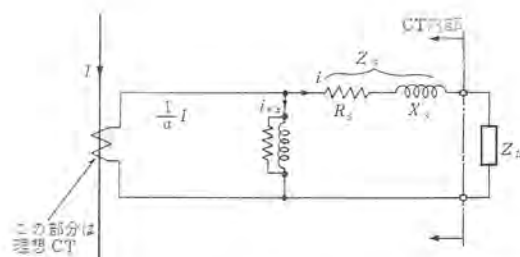


図 3.1 CT 等価回路
Fig. 3.1 Equivalent circuit of current transformer.

$$i_2 = \frac{1}{a} I_2 - i_{ex2}$$

$$\vdots$$

$$i_n = \frac{1}{a} I_n - i_{exn}$$

以上より

$$i_D = i_1 + i_2 + \dots + i_n$$

$$= \frac{1}{a} (I_1 + I_2 + \dots + I_n) - (i_{ex1} + i_{ex2} + \dots + i_{exn})$$

外部事故時には

$$I_1 + I_2 + \dots + I_n = 0$$

$$\therefore i_D = -(i_{ex1} + i_{ex2} + \dots + i_{exn})$$

となって CT の励磁電流が誤差差動電流となることがわかる。

一般に外部事故時には故障電流流入端の CT の誤差はあまり大きくなく、流出端の CT でとくにその励磁電流が大きくなるのでこれを問題にすることが多い。

3.2 CT の飽和と励磁電流

CT の励磁電流が大電流域において増加することを説明する際の等価回路としては前述の図 3.1 の回路を使用する。

すなわち故障時には CT 一次側から理想 CT によって変成された $\frac{1}{a} I$ なる電流が流入し、負荷 Z_L 、二次漏れインピーダンス Z_s に電圧降下を発生させる。この電圧降下を CT 二次における励磁インピーダンスに流れる励磁電流 i_{ex} によって生み出すことになり、CT 二次負荷には実際にはこの励磁電流分を差し引いた電流が流れる。

CT 飽和はこの励磁電流が二次発生電圧が大きくなる時飛躍的に大きくなることを意味するわけであるから、CT 二次励磁特性により CT 飽和の模様を知ることができる。また CT 励磁電流の大きさもおおよそ推定がつくので二次励磁特性は差動継電器の動作を検討するのに必要となる。

ただし CT 飽和領域においては、電流・電圧波形は相当ヒズミを生じているのでこの特性自体も怪しく、そのときの過渡現象をこの等価回路で説明することは困難である。

3.3 CT の形式

(1) プッシング CT (貫通形 CT)

一般にいわれるプッシング CT はシャ断器・発電機・変圧器のプッシングを利用しており、絶縁用のガイシを必要としないので安価に得られる。また二次漏れリアクタンスもほとんど考慮する必要がなく、一次定格電流の大きいものではとくに過電流特性のよいものが得られる。CT 比の小さいプッシング CT は、一次 AT が小さいので特性上不利となる。

(2) 別置形 CT

別置形 CT はいわゆる巻線形と称されているものの多くを含む。従来の巻線形 CT は二次漏れインピーダンスがいわゆるプッシング



図 3.2 空心変成器外觀
Fig. 3.2 Air core coupler (linear coupler).

CT に比べて大きく、過電流域の二次励磁特性もあまりよいものがなかったため母線保護用としてはあまり常用されていなかった。

はだし一次 AT が自由に取れるので CT 比が変わっても二次励磁特性が変わらない点の特長である。したがって CT 比が小さいときにも同特性の良いものを作ることが可能であるので、最近では母線保護専用としてとくに良いものがある。

(3) 空心変成器 (リニカプラー)

上記 プッシング CT から鉄心を取除いたもので、構造的には プッシング CT とまったく同様で、シャ断器・変圧器の プッシングに収められる。その外観を図 3.2 に示す。

このリニカプラーを使用した母線保護についてはあとに詳述するが、鉄心飽和の問題がまったくなく、CT 二次を開路してもよいのが大きな特長である。

3.4 母線保護用 CT についての具体的事項

母線保護用 CT として要求される特性は過電流域における変成比誤差の少ないものであることが第 1 であるが、あまりに良好な特性を期待することは CT の二次回路開放時高電圧を発生する危険が大となることおよびコスト、スペースが大となることを意味し、これらを考慮して判断すべきで一律に定められない。

(1) CT 設置位置

CT 設置位置はほかの保護用 CT の位置とも関連するが、母線保護用 CT によって保護される部分と、線路もしくは、機器保護用 CT によって保護される部分とが互いにオーバーラップしていることが理想的である (図 3.3)。

差動リレーは原理上、無電流端が存在しても動作できるのであるが、差動リレー、もしくは無電流端トリップ可能なパイロットリレーによる一次保護が行われていない場合は、このことを考慮して適当な CT 設置位置を選ぶべきである。

シャ断器内蔵のプッシング CT においては、シャ断器主コンタクトをまたがって 2 個の CT が容易に設置できるのでこの問題は少ないが、別置形 CT の場合はとくに保護の盲点がないか注意すべきである。

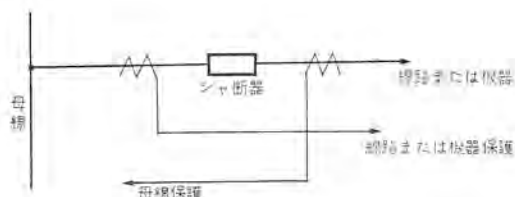


図 3.3 理想的 CT 配置
Fig. 3.3 Ideal arrangement of current transformer.

(2) CT 特性

母線保護継電器のためだけなら、高精度で負担大きく、飽和の少ないものを使うのが理想的である。ただ現実の問題として母線保護継電器として外部事故時に動作しない安定性のある継電器を使用すれば、とくに特性をそろえるための管理は不要である。(たとえば LBB 方式の場合)

短絡保護用として考える場合は CT の過電流特性の良いものが好ましく、過電流定数 n の大なるものを選定すべきである。また高抵抗接地系の地絡保護用として使用される場合は定格電流付近の精度の高いものが必要である。すなわち 1.0 級の CT が推奨される。

(3) CT 比

CT 比を母線保護としていかに選ぶべきかは最大故障電流、最小故障電流の大きさ、母線保護用継電器の保護能力と関連する。

一般に CT 二次電流最大値は CT の過電流強度および定数を勘案して定格電流の 40 倍以下が好ましく、その意味で CT 比は大きいほうがよいということになる。

CT 比が過大の場合最小故障検出感度が低下するが、三菱 LBB 形位相比較比率差動方式および三菱 CA-6 形飽和比率差動方式では、CT 二次電流で表わした動作値は低く十分な検出が可能である。

(4) CT 負担

CT 負担は小さいほど CT 飽和を少なくし誤差を減少できる。母線保護用 CT として CT 二次回路に接続される負担はリードワイヤとリレー負担があるが、母線保護継電装置までのリードワイヤ負担を無視することはできない。

一般に CT 負担と過電流定数は互いに反比例する関係にあるから、小負担となればそれだけ飽和が起こりにくく、CT として好ましい使いかたをしていることになる。

4. 母線保護継電方式

すでに述べたように、差動方式は母線保護方式として最も一般的であるが、差動方式をさらに分類すると下記のようになる。

(1) 使用 CT 上の分類

(a) 通常形 CT を用いる方式

例 三菱 LBB 方式、三菱 CA-6 方式

(b) とくに不飽和な CT を用いる方式

例 三菱 LC 方式 (空心変成器差動方式)

(2) 誤動作防止方式上の分類

上記 (1) の鉄心入り CT を用いる方式では、前述のように CT 飽和による誤動作防止の方式として下記がある。

(a) 比率差動方式…… 通過電流の大きさと差動電流の大きさを比較して、誤動作を防止する。

(b) 位相比較方式…… 通過電流の位相に着目して、内外部事故を判別する。

(c) 電圧差動方式…… 差動回路のインピーダンスを高くして差動回路電圧差により判別する。

(d) 高調波抑制方式…… 差動電流の波形に着目する。直流分抑制もこの中に含める。

当社はこのうち (a) に属するものとして、CA-6 方式を、(a) と (b) とを組み合わせて、信頼度を向上させた LBB 方式とを、標準方式として用意している。

以下に当社の代表的な母線保護用差動継電方式を紹介する。

4.1 位相比較比率差動方式 (LBB 方式)

一般に発電機や変圧器保護に用いられる比率差動継電器は、それ自体でも相当の信頼度を有しているので簡単な母線の保護でも十分な成果をあげることができる。しかし、一般に比率差動方式で誤差による誤動作を防止するためには動作比率を高くとらねばならず、そのため内部事故時の検出感度が低下するという欠点が生じてくる。

最近とくに、系統の大形化に伴い短絡容量が増大しており、当然母線外部事故時の流出電流も大きくなり、CT 飽和の問題が生じてくる。したがって比率差動方式の適用にも必然的に限界が生じるため、このような問題を解決し、かつ大形電気所に適用して高信頼度と高性能を保證できる標準保護方式が要求されることになる。

そこで、母線保護における内部事故と外部事故の基本的な相違を考えれば内部事故では流入電流だけであり、外部事故では流入電流と流出電流とがあるということになる。これはたとえ CT 飽和が相当あっても間違いないと考えられる。この事実を利用して比率差動方式に内外事故を判別する位相比較の原理を導入すれば内外事故の判別能力を著しく向上させることができ、確実な母線保護が期待できる。

LBB 方式における位相比較は、差動電流を基準とし、これと各端子を通過する電流との位相を比較することによって、抑制力を変化させ、内部事故と外部事故の選択性を向上させた理想的な方式である。すなわち、貫通事故時は強力な抑制力が発生するようにし、内部事故時は位相比較により内部事故を判定して、このときだけ抑制力を急激に低減させるようにしている。したがって内部事故で確実に動作し、外部事故での誤動作は防止される。なお位相比較は端子電流における正負両極性について実施しているため、たとえ CT 誤差による差動電流があっても、いずれかの極性側で抑制力が万一喪失してもほかの極性側の電流の発生する強力な抑制力により、外部事故時の誤動作は確実に防止される。

図 4.1 は LBB 方式の原理図であり、内部事故時は実線で、外部事故時は実線と点線の電流、電圧分布で表わしている。

すなわち内部事故時、端子流入電流 I_1 は、抑制変成器を通して、そのまま差動回路に流れるため抑制制御変成器 T_2 による出力によって抵抗 r_{17M} に電圧降下を与え、これにより抑制電圧 E_r が阻止される。一方差動変成器 T_1 を介して得られる出力

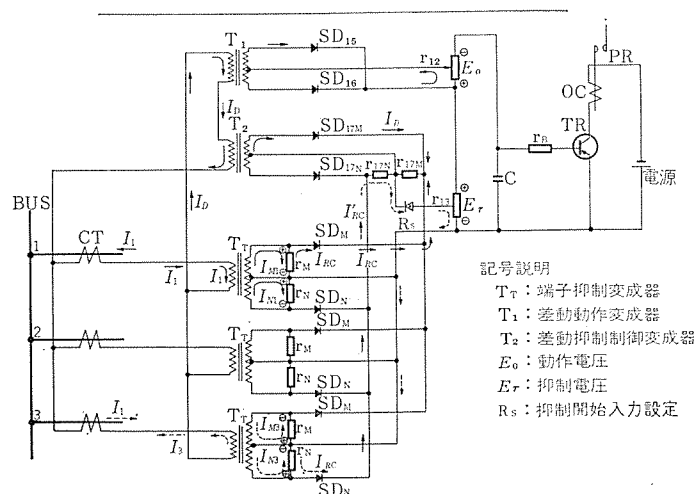


図 4.1 LBB 位相比較比率差動式母線継電器の原理
Fig. 4.1 Principle of type LBB phase comparison ratio-differential bus protective scheme.

表 4.1 LBB 方式の特長

題	特	長
1	内部事故と外部事故	通常の比率差動継電器に比べて、動作不動作が確実である。 最大抑制比率差動方式 内部事故 $I_0=IF, IR=IF$ $I_0=IF, IR=0$ 外部事故 $I_0=0, IR=IF$ $I_0=0, IR=IF$
2	CT 飽和の影響	外部事故時の抑制力は流出端 CT が飽和してもほとんど減少しない。
3	直流分	抑制力は直流分によって増加する。
4	CT	特別のものを必要としない。
5	CT 変成比	変成比が各端子異なっても適用可能。
6	端子数	とくに制限なし。設計基準 25 端子。
7	高速度	10~40 ms の高速度動作である。
8	端子切換	保護端子の切り換えは、電流を電圧に変換した回路で行なっているため容易である。
9	増設容易	動作値は、端子数にほとんど関係せず、端子入力装置を並列に追加するだけでよい。

は抵抗 r_{12} に動作電圧を作る。したがって $E_r=0$ であるので、 E_0 が規定値に達すれば瞬時に動作する。

外部事故のばあい、CT 誤差電流がなければ各端子の最大電流に比例した抑制力が抵抗 r_{17M} , r_{17N} を通り、 r_{13} に抑制電圧 E_r を作るため動作しない。もし万一、CT 誤差電流があって r_{17M} , r_{17N} いずれかの極性側の抑制出力が阻止されても、ほかの極性側の抑制力が r_{13} を通り抑制電圧 E_r を発生させ、これが E_0 に打ち勝って動作しないようになっている。

なお LBB 方式による母線保護の特長を要約すれば、表 4.1 に示すとおりである。

なおこれと併用する高インピーダンス接地保護方式として各端子残留電流を補助 CT を介して、差動接続しこの差動電流により事故判別を行なう、いわゆる残留回路差動方式 (LBC 方式) が実用化されている。

この方式によれば、60~70 kV および 140 kV の高抵抗接地系の高感度地絡保護が可能である。

4.2 空心変成器差動方式 (LC 方式)

空心変成器は、通常のブッシング CT と同様な形をし、ブッシング CT と同じようにシタ断器に内蔵させることができる。またガイシ形 CT のような単独空心変成器もある。

特性的には、通常の CT から鉄心をなくすることにより鉄心飽和の問題を解決している。すなわち、空心であるため一次電流 I_p と二次電圧 E_s との関係は、

$$E_s = j\omega M I_p$$

となり、飽和がないので相互リアクタンス ωM が一定となり、 E_s は I_p に比例し鉄心入りの CT のような飽和による誤差はない。 ωM は 60 c/s で 0.005 Ω , 50 c/s で 0.00416 Ω に設計されているので、二次回路を開放しても小さな電圧しか発生しない。

一方、鉄心がないため、外部磁界による影響が問題であるが、通常の不平等外部磁界の発生源から CT の外径に比べて十分離れていれば影響はない。また、CT の鉄製容器やシタ断器のタンク壁程度の鉄板が存在していても相互リアクタンスに対する影響はほとんどない。

空心変成器差動方式の原理は、この空心変成器を用いる

ことにより一次電流に比例した二次電圧を発生させ、各端子の二次電圧を合成し、この合成電圧で過電流継電器を動作させるものである。すなわち図4.2のように空心CTの二次を直列にして過電流継電器に接続すれば、

$$e_s = e_1 + e_2 + \dots + e_n$$

$$= M \left(\frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt} + \dots + \frac{di_n}{dt} \right) = M \cdot \frac{di_D}{dt}$$

ただし、 M は空心CTの相互リアクタンスで全端とも等しいとし、 i は一次のベクトル合成電流で

$$i_D = i_1 + i_2 + \dots + i_n$$

したがって、外部事故時には $i=0$ であるから $e_s=0$ となるが、内部事故時には $i_D=i_F$ であるから $e_s=M \frac{di_F}{dt}$ となり、過電流継電器には $i_F = \frac{e_s}{Z_s}$ が流れて動作する。 Z_s は二次回路の合成インピーダンスで調整用抵抗 R およびリアクトル L_s で適当値に選ぶ。

空心変成器差動保護継電器としては、短絡保護用として LC-4B-D 形継電器、高インピーダンス接地系地路保護用として LC-6-D 形継電器を使用する。直接接地系の場合は短絡、地絡とも同一の継電器で保護する。図4.3は高インピーダンス接地系に対する空心変成器と短絡、地絡保護継電器の接続図である。87Gは高感度のため、外部短絡事故時にCT相互間の誤差によって誤動作する恐れがあるため、1線地絡時だけ生かすように64Xで制御している。

LC-4B-D 形継電器は直流極性要素を用いた高速度過電流継電器で、タツ値の200%入力に対して動作時間は20ms程度である。整定は感度調整タツと感度調整抵抗によるが、空心CTの相互リアクタンスの誤差は1%以上であるから安全をみてPFRが30以下で、かつ動作速度の点より最小故障電流の65%以下に整定することが多い。

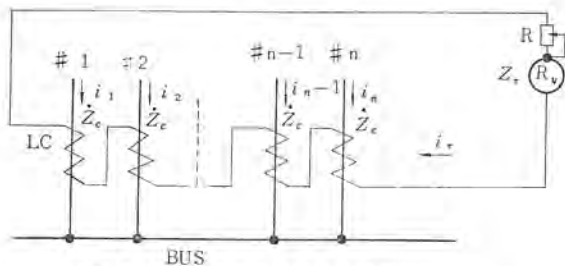


図 4.2 空心変成器による母線保護方式
Fig. 4.2 Linear coupler bus protection.

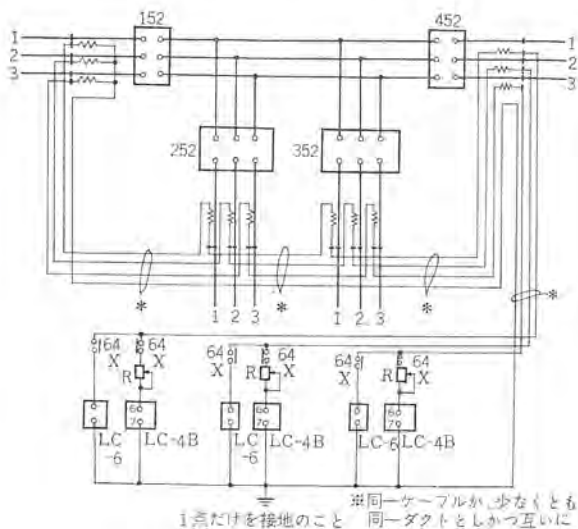


図 4.3 空心変成器回路の接続法
Fig. 4.3 Connection of linear coupler secondary circuit.

LC-6-D 形継電器は、トランジスタ回路を用いた高感度過電流継電器で検出感度はCT一次で100A程度である。一般に地絡時の各種高調波の影響を除くため高調波ロ波器を併用して、実際のトリップには時限をもたせている。

継電器とCT間のケーブル接続は、外部磁界からの誘導を避ける必要がある。図4.3のように往復導体が同じ所を通るようにし、かつよることによって誘導を避けることができるので問題はない。

この方式は、従来のCTと過電流継電器の組み合わせという簡単なものであるため、保守点検が容易で、その上経済的である。

4.3 飽和比率差動方式 (CA-6 方式)

一般に発電機や変圧器に用いられている比率差動方式は、それ自体相当信頼度の高い方式である。

比率差動方式はよく知られているように、差動電流によって動作力と、各端子通過電流により抑制力を、それぞれ発生するような機構と、動作力が抑制力に対してうち勝てば動作するような機構を備えた方式である。したがって、その動作は、差動電流と貫通電流との比によって決まるから、少々差動誤差電流が存在しても、貫通電流による抑制力が継電器を動作させないようにしており、これによって外部事故時の誤動作を防止していた。

(図4.4)

CT誤差に基づく差動電流は、貫通電流が大きくなればある値付近から非直線的にふえてきて、たとえば図4.5の点線に示すようになる。したがって図4.5の点Pのような電流関係では誤動作の可能性を含む。したがって単純な比率差動特性より比率差動特性が非直線性をもっているほうが外部事故時安定性が高いことになる。このような特性をもたせた方式を飽和比率差動方式といい、図4.6にその特性例を示す。

三菱CA-6形母線保護継電器は上記の原理に基づいている。その概要を図4.7に示す。図では3端子母線保護に用いた例である。

この比率差動継電器は三つの抑制回路 $RC_1 \sim RC_3$ をもち、おのおのがこの回路を通過する電流によって抑制力を発生するよう三つの電磁石をもっている。動作回路 OC は一つの電磁石を有す、それぞれ電磁石は共通の軸に取り付けられた円板に、独立にトルクを発生するようになっている。三つの抑制トルクの和と動作トルクとのつり合いによって動作が定まる。

なお動作回路の電磁石に inputs を与える回路に飽和トランス ST_1 が使用されており、 i_D 入力に対してある程度以上の出力を出さないような飽和特性をもっている。抑制電流が大きいときは差動電流はより大きな割合でないと動作しないようになっている。

この継電器は誘導門板形継電器なので、過渡現象に対して動作しにくい特性を有しており、外部事故時に発生する過渡差動電流

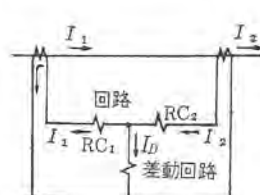


図 4.4 比率差動継電器の例
Fig. 4.4 Example of ratio-differential.

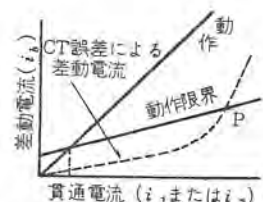


図 4.5 比率差動継電器の特性
Fig. 4.5 Typical characteristic of ratio-differential.

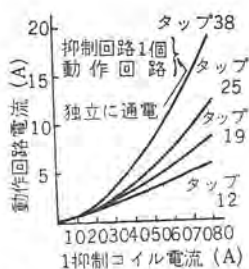


図 4.6 飽和比率差動特性の例
Fig. 4.6. Typical ratio-differential characteristic.

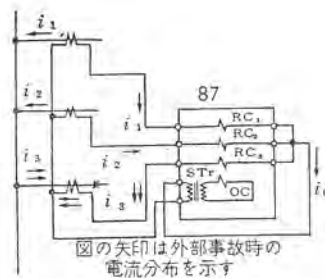


図 4.7 飽和比率差動特性をもった比率差動継電器の回路
Fig. 4.7 Variable percentage differential relay circuit.

に対しても安定であるので高速度保護を要しないときには実用的ですぐれている。

なお高インピーダンス接地系の地絡保護にも適用できるような感度もっているが、通常はこれで地絡保護は行なわれず、前述のLBC方式（残留電流差動方式）を使うことが多い。

5. 母線構成と保護方式

わが国における電気所の母線構成には、単母線、複母線、複母線の特殊形としての多重母線および環状母線などがある。

これら母線構成に応じて高信頼度の母線保護方式が用意されているが、以下各構成の概要とその母線方式を紹介する。

5.1 複母線保護方式

複母線の構成方式には各種の形式があるが、わが国において一般的に行なわれているのは母線とこれに接続される線路または機器を二つの母線に接続し、さらに両母線間に連絡用シヤ断器を設け、このシヤ断器を利用して線路または機器を両母線へ断路器を介して切り換え接続する方法である。

これらの母線構成に対する代表的な母線方式としては、下記の2方式がある。

(1) 分割式複母線保護方式

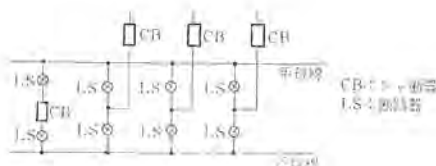


図 5.1 複母線構成の例
Fig. 5.1 Typical double-bus construction.

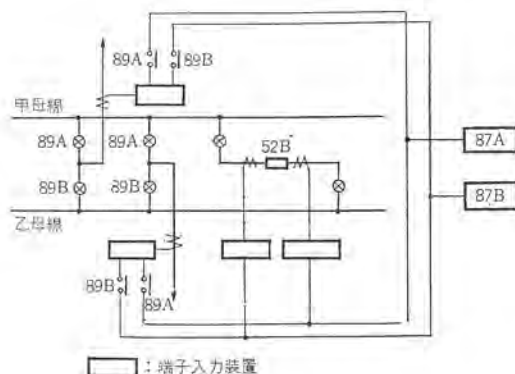


図 5.2 分割一重方式
Fig. 5.2 Simple segregated double-bus protection with a differential relay.

(2) 選択式複母線保護方式

以下上記の代表的2方式についてそれぞれ説明する。

(1) 分割式複母線保護方式

この保護方式は甲母線、乙母線それぞれに母線継電器 87A、87B を設けたもので、母線連絡用シヤ断器の開閉には無関係に同一系統、異系統いずれに運用されても選択保護可能であり、母線内部事故時は母線連絡シヤ断器を開放するとともに故障母線に接続された端子シヤ断器のみを選択シヤ断するように配慮された方式である。この方式には、被保護母線に対する差動用 CT および継電器の接続法により、次の3方式がある。

(a) 分割一重式

この方式は、図 5.2 に示すように、各端子は断路器操作により甲乙母線に任意に接続される。これらの端子電流を、甲、乙母線ごとに設けた母線継電器 87A、87B に導き、甲母線、乙母線別に差動保護するもので、各母線ごとに設けられた故障検出継電器との複合条件により事故母線に接続された端子シヤ断器を選択シヤ断する方式である。

したがってこの方式は簡単かつ安価であるという長を有するが、ある端子の断路器が、甲乙両母線にまたがって接続される切り換え操作中（ブリッジ状態という）の事故に対しては、母線継電器 87A、87B の各入力是不確定状態となり、選択保護能力が失われることが考えられるためとくに配慮を要する。

(b) 分割二重式

この方式は図 5.3 に示すように分割一重式に、さらに甲乙両母線一括用母線継電器 87 を付加したものである。

したがってこの一括保護継電器を設けることにより、分割一重式の難点であった切り換え操作中における事故に対する信頼度を向上させるとともに、母線継電器では弁別できない CT 回路そのほかの不良から起こる誤動作に対しても十分な防止対策がなされることになり、全体として母線保護の信頼度を著しく向上した保護方式となる。とくに母線保護がいかなる状態にあっても絶対に誤動作を許されないという観点から考えればこの分割二重方式は最も安全、確実な保護方式であるといえる。

(c) 分割1.5重式

この方式は分割一重式のもつブリッジ状態における母線事故時の信頼度を向上させるために考えられたもので、分割一重式の母線継電器のほかに甲乙両母線の一括代数和電流で応動する母線継電器 87 を設けた保護方式である。（図 5.4 参照）

したがって見かけ上は分割二重方式のような形をとり、ブリッジ時の信頼度については向上するが分割保護回路と一括保護回路

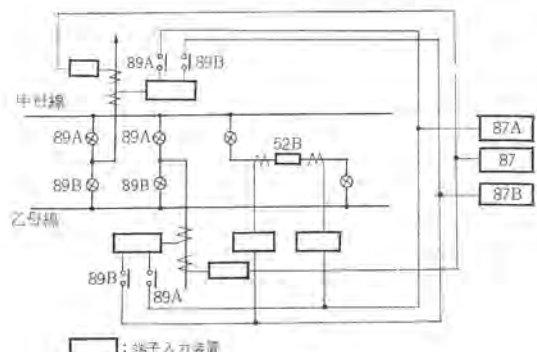


図 5.3 分割二重方式
Fig. 5.3 Segregated double-bus protection with independent over-all differential relay.

が別個の CT で完全に独立分離された二重式に比べれば、母線保護全体の信頼性は必ずしも等価とはいえない弱点が残るのは当然である。

(2) 選択式複母線保護方式

選択式複母線保護の基本方式は、図 5.5 に示すように、故障母線だけを選択的に遮断するにあい、甲乙両母線を一括保護する母線継電器 87 を 1 組設け、別に甲乙両母線連絡用 CB のところの変成器に方向継電器 67A、67B を設け、一括母線継電器 87 と方向継電器 67A または 67B の動作により選択するものである。

この方式は、母線に接続される各端子が甲乙母線いずれに接続変更になっても CT 二次切り換えの必要はなく、どの端子がいずれの母線側に接続されているかは各端子の母線側断路器の補助接点の状態を利用した直流シーケンス回路で判定し、故障母線につながる端子のみをトリップさせることができる。

また、甲乙両母線がブリッジ状態になったときは、両母線一括保護トリップすることは容易である。

なお方向継電器としては通常のそれではなく、母線内部故障電流すなわち一括差動回路電流を基準とし、これと母線連絡用 CB を通過する電流との位相比較による方向判別要素を使用した継電器を用いる。これは通常方向継電器のように電圧と電流を用いたばあい、三相短絡母線事故で母線電圧が異常低下することを考えると適当でないのに比べ、事故時確実な動作基準量が得られるのですぐれた方式となるからである。

5.2 多重母線保護方式 (BP-361 方式)

最近の大容量機を多数有する新鋭発電所においては、単なる複母線程度では故障電流が増大し、潮流制御が困難となるため図 5.6 のような区分断路器 DS によって分割された小母線から成る多重母線の構成をとり、各区分用の DS を任意に開閉して系統運用を行なわざるを得なくなってきた。

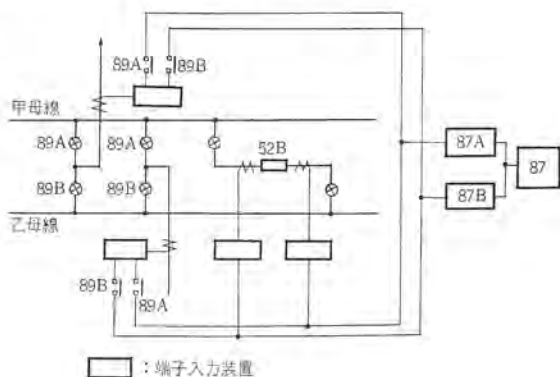


図 5.4 分割 1.5 重式

Fig. 5.4 Segregated double-bus protection with total differential relay.

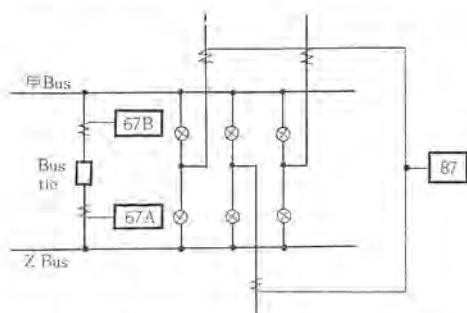


図 5.5 選択式複母線保護方式

Fig. 5.5 Selective double-bus protection.

このような多重母線保護に要求される条件としては下記のようなものがあげられる。

- 小母線がほかの小母線から区分されているときは、その小母線区分の選択的かつ高速度の保護ができること。
- 小母線が隣接する小母線に接続されているときは、この小母線のあつまったものを一つの母線として選択的、かつ高速度の保護ができること。
- 各小母線につながる端子の断路器 DS の開閉操作中においても外部事故で誤動作なく、内部事故では選択的かつ高速度保護ができること。

これら諸条件をすべて満足するような保護方式をとくに BP-361 形多重母線保護方式として実用化している。

(1) 構成

この方式を構成する主継電器としては、全端子一括差動継電器 87、各小母線区分ごとの部分差動継電器 87A1、……87B1、……、差動電流位相検出継電器 87A1P、……87B1P、……の 3 種があり、これらの動作の組み合わせにより事故母線区分を判別する。

いま 2 重 6 分割多重母線を例にとって、その構成の概略を示すと図 5.6 のようになる。

全端子一括差動継電器 87 は全端子 CT による差動電流 I_D で付勢されて動作する。部分差動継電器 87A1、87A2、87A3 は、甲母線内の小母線区分 A1、A2、A3 の各区分の CT による部分差動電流 I_{DA1} 、 I_{DA2} 、 I_{DA3} で付勢されて動作する。87B1、87B2、87B3 についても同様である。差動電流位相検出継電器 87A1P、87A2P、87A3P は、全端子一括差動電流 I_D を基準とし、これと上記部分差動電流 I_{DA1} 、 I_{DA2} 、 I_{DA3} との位相比較をおのおの行ない、両者が逆位相のときに動作する。

なお 87A1P、87A2P、87A3P は、甲母線内の区分断路器の開閉に応じて I_{DA1} 、 I_{DA2} 、 I_{DA3} を結合した合成電流と I_D と位相比較を行ない、その結果をおのおの知ることができるようにになっている。

事故母線区分の判別は、87、87A1……87B3、87A1P……87B3P の動作を組み合わせて行なうほか、区分断路器閉の条件で、各区分の引きはずし回路を連系している。(図 5.7 参照)

(2) 動作

(a) 内部事故の場合

まず甲母線の区分断路器がすべて閉じていて、母線が一つになっているとき内部事故が発生すれば、87、87A1、……87A3、は動作して a 接点を閉じる。87A1P、……87A3P は I_D と I_{DA1} 、 I_{DA2} 、 I_{DA3} との位相比較の結果、逆位相でないすなわち流出がないということで不動作となり b 接点を閉じたままである。したがって 86A1、……86A3 はすべて動作して各区分ごとにトリップする。このときまた、ある区分の端子の背後に電源がなければ 87A1……87A3 の中に不動作のものが生ずるが、背後電源のある区分の 87A の動作したことで区分断路器閉の条件を介し、背後電源のない区分の 86 を付勢して、トリップするよう DC 回路を構成してあるから全区分トリップできる。(図 5.8 (a) 参照)

次に区分断路器のひとつたとえ DSA1 が開、DSA2 が閉である場合を考える。今事故が A1 区分に発生したとすれば、87 動作、87A1 動作、87A1P 不動作で、86A1 はトリップできる。一般に 87A2、87A3 は背後電源があれば DSA2 通過電流分が差動電流となり動作する。しかし A2、A3 が無事故である以上必ず流出電流が存在し、 I_{DA2} と I_{DA3} との合成電流と I_D とは逆位相と

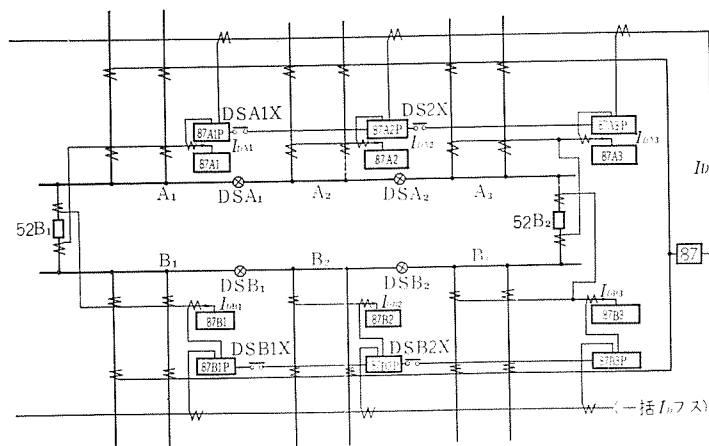


図 5.6 BP-361 形多重母線保護方式 CT 回路
Fig. 5.6 Principal CT circuit connection of the type BP-361 bus protection scheme. (multiply-sectionalized double bus protection).

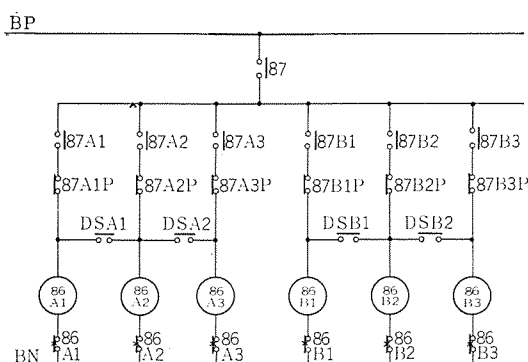


図 5.7 多重母線保護方式 DC 回路
Fig. 5.7 Principal DC trip circuits connection of the type BP-361 bus protective scheme. (Multiply-sectionalized double bus protection)

なる。したがって 87A2P, 87A3P は動作しておのおの b 接点を開き 86A2, 86A3 はトリップしない、この関係がとくに明確な場合を図 5.8 (b) に示す。

なお区分断路器がすべて開いて各区分が独立している時は上述の A1 区分の事故と同じように考えてよい。ただし各独立した区分の端子に背後電源がなければトリップできないことはいうまでもない。(図 5.8 (c))

(b) 外部事故の場合

外部事故の場合は、まず一括差動継電器が確実に不動作であるからトリップはしない。しかし区分断路器の開閉でそのほかの継電器の動作は異なってくる。

まず区分断路器の一つが開、たとえば DSA1 開のばあい、A1 区分の系統は完全に他区分と別の系統となるが、このときの A1 区分につながる端子の外部事故では、87A1 が確実に不動作となつて、87 の不動作とあいまって 2 重の誤動作防止となる。次に区分断路器で連系されている母線につながる端子の外部事故の場合、たとえば DSA2 が閉で A3 区分の外部に事故が発生すると 87A2, 87A3 が不動作とはいえない。しかし、このばあいは、A3 区分から外部へ流出する電流が必ず存在するから、CT 飽和によってたとえ I_D が存在しても 87A2P, 87A3P が、この I_D により動作してロックするので、87 の不動作とあいまって、このときも 2 重の誤動作防止となる。

なおここで 87, 87A1~3, 87B1~3 は、CT 飽和により、 I_D が発生しても誤動作しない高信頼度を有する差動継電器であるこ

母線保護・寺田・鈴木・阪上

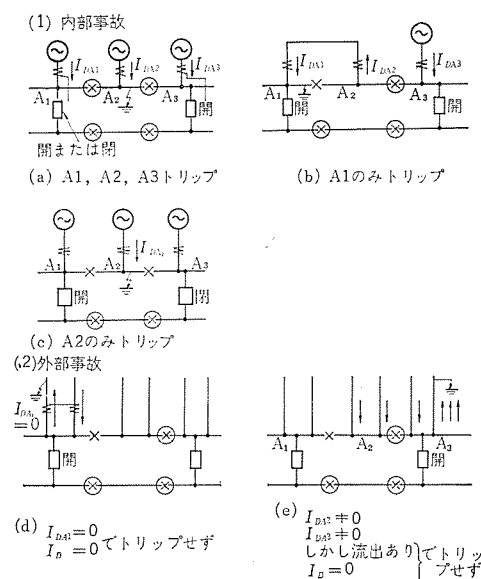


図 5.8 BP-361 方式の動作説明
Fig. 5.8 Typical fault-current distribution of the multiply-sectionalized bus.

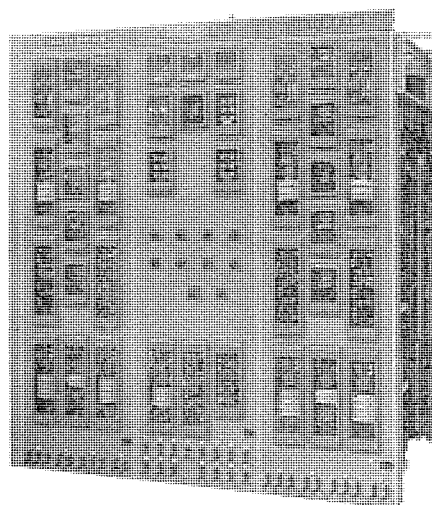


図 5.9 三菱 BP-361 形多重母線保護継電器盤例
Fig. 5.9 Bus protective relay board for the double-bus with sectionalizing line switch.

とを付け加えておく。

以上の動作をまとめて図示すれば、図 5.8 となる。

要するにこの方式は、区分断路器のそばに CT がない多重母線の保護方式として差動継電器 87 により内部事故があることと、断路器で連結される小母線の集まりを一つの母線区分とみなしてその区分から流出する電流がないことを検出し、事故母線の切り分けを行なう方式であるといえる。

この方式による BP-361 形多重母線保護継電装置の外観を図 5.9 に示す。

5.3 簡易母線保護方式

簡易母線保護方式とは、配電用変電所、特高受電需要家などの比較的小規模の母線に対する保護方式のことである。

これらについていくつかの形式がある。その代表的なものについて概略を紹介する。

(1) 配電用変電所用母線保護方式 (BP-281B 形装置)

一般に里側に設けられた二次変電所の特高母線は、単母線で 2~6 回線の送電線と、これと大体同数のバンクおよびフィーダからなっている。この方式は、このような母線を保護するもので、飽

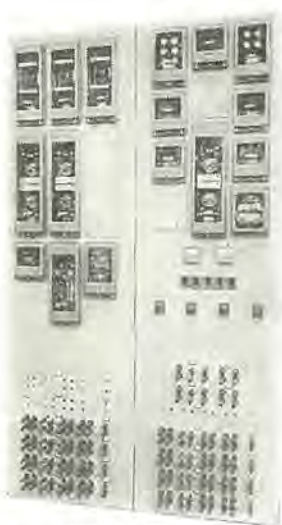


図 5.10 BP-281 形簡易形
母線保護継電装置
Fig. 5.10 Bus protective relay
board for the distribution sub-
station. (Type BP-281B)

和比率差動方式の CA-6B-D 形継電器を主体とし、既設 CT を極力利用して簡易に設置できるよう標準化した方式である。

すなわち CT 比の相違する場合、これを補償する補助 CT を装置に内蔵しており、各端子 CT 比が異なっても十分これに対処できる。

そのほか、短絡容量の大きい系統のフィード事故での誤動作防止のために、独自の過電流ロック方式を採用し誤動作防止に万全を期している。

地絡保護も既設 CT の特性不良の場合を考慮して残留電流差動に方向比較を加味したものとしている。

この方式を採用した装置の外観の一例を図 5.10 に示す。

(2) ループ受電需要家母線保護方式

2 回線引き込みの特高受電需要家母線では、受電変圧器の特高側には変圧器のみを切離すシヤ断器がないので、変圧器事故は線路シヤ断器をトリップさせる。

この方式では在来の変圧器保護はそのままとし、2 回線ループ電流による部分差動方式を採用し、特高側と低圧側との事故の区別を電流、電圧の差により行なって特高側母線の事故を検出するものである。

なお短絡容量の大きいループ系の線路事故時には、大きな貫通電流が抑制力となって誤動作を防止できるし内部事故時にはこの抑制力がなくなるように構成されている。(図 5.11 参照)

5.4 環状母線保護方式

母線事故時の影響を極限するために、図 5.12 のように環状に構成した母線を環状母線という。母線事故時には、その母線の両端に接続されたシヤ断器だけをシヤ断するので、ほかのすべての母線は運転を続けることができる。また線路用シヤ断器がない

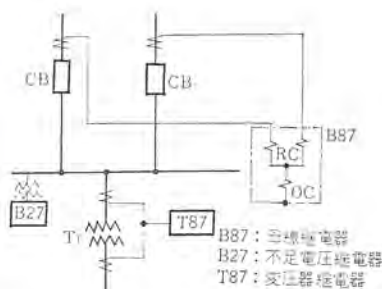
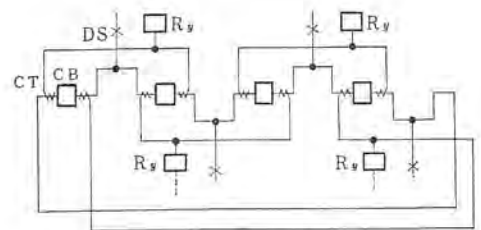


図 5.11 BP-280 形ループ需要家用
母線保護方式

Fig. 5.11 Bus protective scheme for
the loop system substation.



CB: シヤ断器 DS: 断路器 RY: 継電器

図 5.12 環状母線保護方式
Fig. 5.12 Ring-bus protection.

が、線路事故時にも母線事故と同様に母線両端のシヤ断器をシヤ断するので、ほかの母線を止めることはない。

したがって、環状母線の保護は母線の 1 部と考えて、線路保護リレーで保護することができる。しかし、母線には両端にシヤ断器があるので故障電流は両端から出入りする。CT は通常各シヤ断器の両端に設け盲点のないよう図 5.12 のように保護範囲が重複するように線路保護リレーに接続されるが、この 2 端子の CT の特性が過大入力域まで完全に同一であれば、2 端子の CT 二次回路で和電流を作り 1 端子と考えて保護リレーを設けることができる。CT の特性が違い過大電流が貫通したとき誤差電流を発生し継電器を誤動作させる場合は、完全なる 3 端子として考える必要がある。

2 端子として考えられる場合は、通常の送電線リレー、すなわち、パイロットリレー、距離リレー、過電流リレーなどによって保護することが可能である。3 端子として考える必要がある場合は多端子のパイロットリレーによって保護する必要がある。なお発電機、変圧器などが接続される端子は、通常の差動リレーや和電流を入力とした過電流リレーによって保護する。

以上述べたように、環状母線は母線保護方式の点から見ると、母線保護専用のリレーを必要としないので経済的であり、また母線運用の点から見ても、母線事故の影響を最小限にとどめることができ、多重母線よりすぐれた点が多い。しかし潮流制御のための運用の自由度は多重母線より少ない。

6. む す び

以上、母線保護継電方式および継電器について、その概要を紹介した。

母線保護は近年その重要性についての認識が高まり、その実施数も急増しており、今後の設置もますます増加するものと思われるが、本文が各位のご参考となれば幸いである。

終わりに、三菱母線保護継電方式の進歩発展にあたり、各電力会社関係各位から賜わったご指導ご協力を深謝する次第である。

送電線保護継電器 —送電線保護の概要—

北 浦 孝 一*

Line Protection —Introduction to Line Protection—

Kōbe Works Kōichi KITAURA

When the electric power system is subdivided according to the constitutional factors, three major groups come in mind: power generating equipment, transmission lines and loading apparatus. The generating facilities, however, tend to outgrow the transmission arrangements, bringing about over burden on the protective relay scheme. The operating systems in this country are mostly harassed by following features: those troubled with multi-failures, those having too many terminals, a number of circuits on the same towers, those with no power terminals and cable systems. Mitsubishi relays are designed to cope with anticipated troubles on them by working out ingenious MELCO relaying systems, together with calculation tables of line faults. This article gives introduction to line protection for beginners.

1. ま え が き

電力系統をその構成要素別に分類すれば

- (1) 電気を生産するもの……発電設備
- (2) 電気を輸送するもの……輸送設備
- (3) 電気を消費するもの……負荷設備

に大別される。近年わが国の負荷と発電設備は各種産業の発展とともに、あい携えて増強されてきたが、輸送設備、中でも送電線は、経済上の制約、とくに土地の問題で増強が容易でなく無理が送電線保護継電装置にしろよせされる傾向にあった。しかし、このことは日本の送電線保護継電方式技術の向上に寄与してきたといえる。すなわち

わが国電力系統の特殊性は

- a. 多重故障の多い系統
- b. 多端子系統
- c. 多回線併架送電線
- d. 非電源端子を有する系統
- e. ケーブル系統

などの多いことであり、これらに対処するための諸方式が考え出されている。三菱送電線保護継電方式の特長も、主としてこれらの対策に関するものが多い。

保護の観点で、送電線が他の電力機器と相違するおもな点は

- ・保護対象が長大で雷などの自然の脅威を受けやすく、事故確率が高いこと。
- ・多くの電力機器および系統を連係するものであるから、事故発生時その影響範囲が広いことである。

したがって送電線保護継電装置の使命はきわめて重要であり、満足すべき基本的性能は

- (a) 故障区間選択の確実性 (selectivity)
- (b) 故障除去時間のじん速性 (speed)
- (c) 動作の信頼性 (reliability)

である。また方式の適用基準は種々あるが、根本的には、送電線の重要度・故障確率・事故の影響の大きさを考慮した経済性にある。

以上の諸事項に対し実際どのようにウエイトをおくかは、その時

点における技術レベル、時代感覚に支配されている。われわれが現在の時代感覚を体得し、将来の動向を考察するために、過去の技術の流れをかえりみることはきわめて有効である。

表 1.1 は、三菱送電線リレーを主体とした歴史の概要を表にしたものである。この表は当社のリレーが過去において Westinghouse 電機会社 (以下 W 社と略す) の恩恵に浴し、現在は日本の特殊性を考慮して自立してきたことを物語るものである。最近、リレーの重要性が一般に認識され、専門外の方も勉強される傾向にあるので、以下は極力平易に送電線リレーに関する常識をまとめたものである。

表 1.1 送電線リレーの歴史*

送電線リレーの歴史 (昭和 41 年現在)						
No.	年 号	代 西歴	歴 年	所 属	記 事	
1	明治 34	1901	65	W 社	C 形リレー (過電流瞬時リレー)	
2	43	1910	56	"	電力リレー 送電線の区間選択開始	
3	大正 3	1914	52	W 社	CO 形リレー (誘導円板形過電流リレー)	
4	4	1922	44	"	CR 形リレー (電力方向リレー) CZ (比例瞬時リレー) 最初の距離 リレー	
5	昭和 元年	1926	40	W 社	CO 形リレー } に方向制御が与えられた CR 形リレー }	
6	"	"	40	三菱	CO 形リレー 最初の三菱リレー	
7	2	1927	39	W 社	交流電気鉄道用高速度リレー (1.4 サイクル) 高速度遮断器 (1 サイクル)	
8	4	1929	37	"	HZ 形リレー (インピーダンスリレー)	
9	11	1936	30	"	電力方向比較式 キャリヤリレー	
10	13	1938	28	"	HCB 形パイロット ワイヤリレー	
11	14	1939	27	"	CA-6 形リレー (線路保護リレー)	
12	15	1940	26	"	HA 形リレー (高速度差動リレー)	
13	16	1941	25	W 社	戦争のため中断	
	20	1945	21			
	16	1941	25		JY 形電力線搬送装置 保護リレー 遠隔計測 遠隔遮断 負荷制御, 遠方制御に応用	
14	18	1942	24	W 社	単独再閉路方式	
15	"	"	"	"	リニヤカブ 線路保護リレー	
16	18	1943	23	"	FT 形半導体形リレーケース	
17	19	1944	22	"	HKB 形位相比較式キャリヤリレー	
18	"	"	"	"	HZM 形モディファイド、インピーダンスリ レー	
19	"	"	"	"	界磁喪失リレー	
20	20	1945	21	GE 社	Mho 形距離リレー	

* 次頁につづく

20	1945	21	戦後
21	"	18	三菱 HZ 形インピーダンスリレー
22	23	1948	18 W 社 HXS 形高速度地絡リアクタンスリレー
23	24	1946	17 アメリカ Point Contact Transistor
24	26	1951	15 W 社 二重環形誘導要素
25	"	"	アメリカ Junction Transistor
26	"	"	三菱 HKB 形位相比較式キャリヤリレー
27	29	1954	12 " HCB パイロットワイヤリレー
28	30	1955	11 " HCB-2 形 " 変形 3 端子保護
29	"	"	" HBS, HDS 形位相比較式母線保護リレー
30	32	1957	9 " CA-6 形比率差動式母線保護リレー
31	33	1958	8 三菱 LC 形空心変成器差動母線保護リレー
32	"	"	" HCB-3, HDB-4 形パイロットワイヤリレー
33	"	"	" パイロットワイヤリレーによる 3 端子保護実施
34	"	"	" パイロットワイヤリレーによるケーブル系統保護実施
35	35	1960	6 " 三菱模倣送電線設備完成
36	"	"	" M 形半増込リレーケース完成
37	"	"	" 3 主要素 { E 形誘導要素 } 完成
	"	"	" { K 形 L 形シリンダ要素 } 完成
	"	"	" { MP 形有極要素 } 完成
38	"	"	" KLV 形無電圧検出リレー (トランジスタリレー第 1 号)
39	36	1961	5 " KVG 形 1 線地絡検出リレー (トランジスタリレー)
40	"	"	" DGB 形地絡方向リレー
41	"	"	" KZ 形距離リレーリレー (Mho リレー)
42	"	"	" KDA 形電圧補償式距離リレー
43	"	"	" 優先シャ断装置 (多重故障対策)
44	37	1962	4 " KVC 形短絡故障検出リレー (トランジスタリレー)
45	"	"	" 方向比較式キャリヤの標準方式完成 (異周波打返し式, 非電源端対策付)
46	"	"	" 三菱キャリヤ: 位相比較→方向比較へ
47	"	"	" HCB-4 形パイロットワイヤリレー標準方式完成
48	"	"	" LBB LBC 位相比較比率差動母線保護リレー
49	38	1963	3 三菱 KKS 形矩形特性距離継電器 (トランジスタリレー)
50	"	"	" 故障点検定継電器 (トランジスタリレー)
51	39	1964	2 " KMS 形モータリクタンスリレー (トランジスタリレー)
52	40	1965	1 " PHR 形可搬式送電付リレー装置 (オールトランジスタ式)
53	"	"	" GIT 形零相循環電流対策用タイマ (トランジスタリレー)
54	41	1966	0 " トランジスタリレー昭和35年~41年1月まで 総計.....55機種 1686台 内送電線保護用.....38機種 1055台 その他.....27機種 621台
55	"	"	" パイロットワイヤリレー装置 昭和29年~41年1月まで 総計.....49件 212端子 内 { 29年~36年.....71件 42 " } { 37年~41年.....38 " 170 " }
56	"	"	" キャリヤリレー装置 昭和31年~41年1月まで 総計.....20件 70端子 内 { 31年~36年.....8件 26 " } { 37年~41年.....12件 44 " }
57	"	"	" 平衡継電装置 昭和35年~41年1月まで 総計.....38件 120端子 内 { 36年~38年.....5件 20 " } { 39年~40年.....33件 100 " }
58	"	"	" 母線保護継電装置 昭和30年~41年1月まで 総計.....54件 516端子 { LBB 方式.....31 " 302 " } { LBC 方式.....15 " 143 " } { CA-6 方式.....7 " 67 " } { その他の方式.....1 " 4 " }

2. 系統故障計算

電力系統内故障のおもなものは、地絡・短絡・断線・脱調である。これら故障が発生したとき、発電所のリレーが動作し、故障の被害が最小となるようシャ断器で故障箇所を選択シャ断する。そのために最も適したリレー方式・リレーの特性・整定を選定し、シャ断器の所要シャ断容量を決定し、あるいは系統の安定度、通信線におよぼす誘導障害を検討するため、系統故障計算を行なう。

最近、計算機の活用により相当複雑な系統故障計算も容易となり、参考文献も多いので、ここでは継電方式を理解するため系統故障時の様相を概括的に掌握できるよう故障の電圧電流が主としてどのような要素により支配されるかを示す基本的数式および数値を列挙する。したがって、近似計算し簡素化してある部分もあるので、詳細な検討を要するときは別に精密な計算を必要とする。

$$(1) \begin{pmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -Z_0 I_0 \\ E_a - Z_1 I_1 \\ -Z_2 I_2 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\begin{pmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\left. \begin{aligned} a = \varepsilon^{i120^\circ} \quad a^2 = \varepsilon^{i240^\circ} \quad a^3 = 1 \\ 1 + a + a^2 = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.4)$$

(2) 系統故障時の対象分電圧電流

表 2.1 は電力系統に発生した単純な地絡事故、短絡事故検討

表 2.1 (A) 単純地絡短絡故障計算

系統図	故障点の電圧電流	各相回路	リレー設置点電圧 V_1, V_2
1φG (a) 地絡	$I_a = I_b = I_c = \frac{I_a}{3} = \frac{E_a}{3\Delta}$ $V_a = -E_a \frac{Z_0}{\Delta}$ $V_b = E_a \frac{Z_0 + Z_2}{\Delta}$ $V_c = E_a \frac{Z_0 + Z_2}{\Delta}$ $\Delta = Z_0 + Z_1 + Z_2$	Z_0, Z_1, Z_2 の等価回路	抵抗系 直線地絡系
2φS (b) 2相短絡	$I_a = 0, I_b = I_c = \frac{I_b}{2} = \frac{E_b}{2\Delta}$ $V_b = V_c = E_b \frac{Z_0 + Z_2}{\Delta}$ $V_a = E_a \frac{Z_0 + Z_2}{\Delta}$ $\Delta = Z_0 + Z_1 + Z_2$	Z_0, Z_1, Z_2 の等価回路	$V_1 = V_2 = \frac{E_b}{2}$
3φG (c) 3相短絡	$I_a = I_b = I_c = \frac{I_a}{3} = \frac{E_a}{3\Delta}$ $V_a = V_b = V_c = 0$ $\Delta = Z_0 + Z_1 + Z_2$	Z_0, Z_1, Z_2 の等価回路	$V_1 = V_2 = 0$

表 2.2 断線故障計算

故障種別	系 統 図	故障点の電圧電流	等 価 回 路
1線断線		$I_a = I_a + I_1 + I_2 = 0$ $I_0 = -\frac{Z_{f0}}{\Delta} E_a$ $I_1 = \frac{Z_{f1} + Z_{11}}{\Delta} E_a = \frac{E_a}{Z_{11} + Z_{21} + Z_{f1}}$ $I_2 = -\frac{Z_{f2}}{\Delta} E_a$ $V = -\frac{Z_{f0} Z_{22}}{\Delta} E_a$ $\Delta = Z_{11} Z_{22} + Z_{12} Z_{21} + Z_{f1} Z_{f2}$	
2線断線		$I_a = I_a + I_1 + I_2 = 0$ $I_b = I_b + a^2 I_1 + a I_2 = 0$ $I_0 = -\frac{3Z_{f0}}{\Delta} E_a$ $I_1 = \frac{3Z_{f1}}{\Delta} E_a = \frac{E_a}{Z_{11} + Z_{21} + Z_{f1}}$ $I_2 = -\frac{3Z_{f2}}{\Delta} E_a$ $V = \frac{E_a}{\Delta} \{ (-1-a) Z_{22} + (1-a^2) Z_{21} \}$ $V' = \frac{E_a}{\Delta} \{ -(1-a) Z_{22} + (-a^2) Z_{21} \}$ $\Delta = 3(Z_{11} + Z_{21} + Z_{f1})$	

表 2.3 クラーク座標, 等価回路

3 相 短			$V_a = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c)$ $V_b = \frac{1}{\sqrt{3}}(V_b - V_c)$ $V_c = \frac{1}{3}(V_a + V_b + V_c)$
1 線 地 絡			$1 : \sqrt{3}$ $1 : 2$
2 線 地 絡			$1 : 2$ $1 : 1$
3 相 開 放			$1 : 2$ $1 : 1$
2 線 開 放			$1 : 2$ $1 : 1$
1 線 開 放			$1 : 2$ $1 : 1$
2 線 開 放			$1 : 2$ $1 : 1$

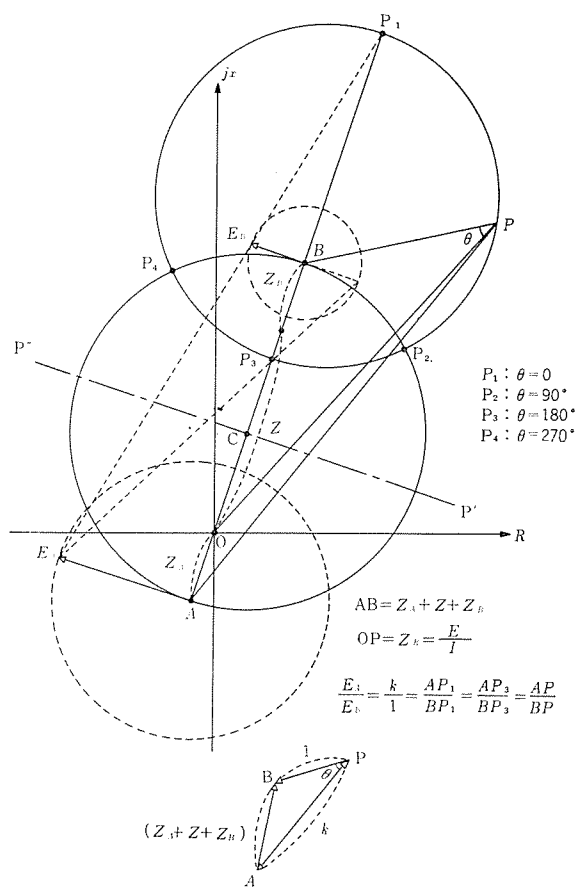


図 2.1 2機系統の脱調軌跡
Fig. 2.1 Step-out locus of tow machine system.

図 2.1 において

$$\left. \begin{aligned} E_A &= k E_B e^{i\theta} \quad \theta \text{ は時間の関数} \\ E &= E_A - I Z_A \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\begin{aligned} Z_R &= \frac{E}{I} = \frac{E_A}{I} - Z_A = \frac{E_A}{E_A - E_B} (Z_A + Z + Z_B) - Z_A \\ &= \frac{k e^{i\theta}}{k e^{i\theta} - 1} (Z_A + Z + Z_B) - Z_A \dots\dots\dots (2.6) \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{一方 } \overrightarrow{PB} &= 1 \text{ とすれば} \\ \overrightarrow{PA} &= k e^{i\theta} \\ \overrightarrow{AB} &= \overrightarrow{AP} + \overrightarrow{PB} = (-k e^{i\theta} + 1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{そこでもし } \overrightarrow{AB} &= 1 \text{ とすれば} \\ \overrightarrow{PA} &= \frac{k e^{i\theta}}{-k e^{i\theta} + 1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\left. \begin{aligned} \overrightarrow{AB} &= Z_A + Z + Z_B \text{ であるので} \\ \overrightarrow{AP} &= \frac{k e^{i\theta}}{k e^{i\theta} - 1} (Z_A + Z + Z_B) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\therefore Z_R = \overrightarrow{AP} - Z_A = \overrightarrow{OP} \dots\dots\dots (2.10)$$

そこで点 P は、 E_A 、 E_B の位相差 θ なるときの リレー のみるインピーダンスである。

(3) %インピーダンス 基本式

X : P_K kVA ベースの % インピーダンス (%)

x : オーム値 インピーダンス (Ω)

E_d : 線間電圧 (kV)

E_L : 相電圧 (kV)

P_K : ベース容量を kVA で表示した値 (kVA)

P_M : ベース容量を MVA で表示した値 (MVA)

用の計算表であり、表 2.2 は、断線事故用の計算表である。

表 2.3 は、クラーク座標を使用した等価回路図である。図 2.1 は、2機系統の脱調軌跡を示すインピーダンス図である。いずれも最も簡素化した解析図であり、たとえば多機系統、多端子、多回線、多重故障ともなれば複雑となり簡単に表現できないが、ここに示された解析図表により、概略の傾向は推定しうる。

P_{SK} : 短絡容量を kVA で表示した値(kVA)
 P_{SM} : 短絡容量を MVA で表示した値(MVA)
 I_R : ベース容量に対応する電流(A)
 I_S : 短絡容量に対応する電流(A)

$$\left. \begin{array}{l} \text{a. } X = \frac{P_K x}{10 E_d^2} = \frac{100 P_M x}{E_d^2} \\ \text{b. } x = \frac{10 E_d^2 X}{R_K} = \frac{E_d^2 X}{100 P_M} \end{array} \right\} \dots\dots (2.11)$$

$$\left. \begin{array}{l} P_{SK} = \sqrt{3} E_d I_S = \sqrt{3} E_d \frac{E_d \times 10^3}{x} \\ = \frac{E_d^2 \times 10^3}{x} \end{array} \right\} \dots\dots (2.12)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{c. } x = \frac{E_d^2}{P_{SM}} \\ X = \frac{100 P_M}{E_d^2} \cdot \frac{E_d^2}{P_{SM}} = 100 \frac{P_M}{P_{SM}} \end{array} \right\} \dots\dots (2.13)$$

$$\left. \begin{array}{l} P_{SM} = \frac{100}{X} P_M \\ I_S = \frac{100}{X} I_R \end{array} \right\} \dots\dots (2.14)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{d. } I_R = \frac{P_M \times 10^3}{\sqrt{3} E_d} \\ \text{e. } I_S = \frac{P_{SM} \times 10^3}{\sqrt{3} E_d} \end{array} \right\} \dots\dots (2.15)$$

以上は日常よく使用される計算式であり、

表 2.4 は、代表的な計算値を示す。

表において $P_M=10\text{MVA}$ ベースのケースが多いので

(a) $P_M=10$ のときの、 $x \rightarrow X$ 変換係数 K_1

$$X = \frac{1,000}{E_d^2} x = K_1 x \quad K_1 = \frac{1,000}{E_d^2}$$

(b) $P_M=10$ の時の $X \rightarrow x$ 変換係数 K_2

$$x = \frac{E_d^2}{1,000} X = K_2 X \quad K_2 = \frac{E_d^2}{1,000}$$

また短絡容量は 100 万 kVA ($P_{SM}=1,000$) ないし 2,000 万 kVA ($P_{SM}=20,000$) のケースが多いので

(c) $P_{SM}=1,000$ MVA のときの電源 オーム 値 x は

$$x = \frac{E_d^2}{1,000} = K_2$$

(c') $P_{SM}=20,000\text{MVA}$ のときの電源 オーム 値は上記の $\frac{1}{20}$

(d) ベース容量 1 万 kVA $P_M=10$ MVA のときの定格電流

$$I_R \text{ は } I_R = \frac{10 \times 10^3}{\sqrt{3} E_d} \text{ (A)}$$

(e) 短絡容量 100 万 kVA $P_{SM}=1,000$ MVA のときの短

$$\text{絡電流 } I_S \quad I_S = \frac{1,000 \times 10^3}{\sqrt{3} E_d} = 100 I_R$$

短絡容量 2,000 kVA のときの $I_S=2,000 I_R$ である。

(4) 代表的 インピーダンス 値

表 2.5 は、同期機の定態リアクタンス

表 2.4 %インピーダンスに関する数値

	E_d (kV)	22	33	66	77	110	154	187	220	275	330	380	550
	PT比 $a = \frac{E_d}{110} \times 10^3$	200	300	600	700	1,000	1,400	1,700	2,000	2,500	3,000	3,450	5,000
	$E_Y = \frac{E_d}{\sqrt{3}}$ (kV)	12.7	19.1	38.1	44.5	63.5	89.0	108	127	159	191	220	319
	$\sqrt{3} E_d$ (kV)	38.1	57.1	114	133	190	267	324	381	476	571	659	952
(a)	$P_M=10$ のとき $X=K_1 x$ $K_1 = \frac{1,000}{E_d^2}$	2.06	0.918	0.230	0.169	0.0827	0.0420	0.0286	0.0206	0.0132	0.00918	0.00695	0.00330
(b)	$P_M=10$ のとき $x=K_2 X$ $K_2 = \frac{E_d^2}{1,000}$	0.485	1.09	4.36	5.93	12.1	23.8	35.0	48.4	75.8	109	144	303
(c)	$P_{SM}=1,000\text{MVA}$ (100 万 kVA) のオーム値 $x=K_2$ (Ω)												
(c')	$P_{SM}=20,000\text{MVA}$ (2,000 万 kVA) のオーム値 上記の $\frac{1}{20}$					0.605	1.19	1.75	2.42	3.79	5.45	7.20	15.2
(d)	$P_M=10\text{MVA}$ (1 万 kVA) ベースの定格電流 I_R (A)	263	175	87.7	75.2	52.6	37.5	30.9	26.2	21.0	17.5	15.2	10.5
(e)	$P_{SM}=1,000\text{MVA}$ (100 万 kVA) の短絡電流 $I_S=100 I_R$ (A)	26,300	17,500	8,770	7,520	5,260	3,750	3,090	2,620	2,100	1,750	1,520	1,050

表 2.5 同期機の定態リアクタンス

同期機の種類	Z %	Z _s %	Z ₀ %
タービン発電機	110	10	10
凸極発電機	ダンパあり	90	25
	ダンパなし	90	55
同期調相機	160	30	10
同期発電機	90	30	10

表 2.6 変圧器のリアクタンス

公称電圧 (kv)	%リアクタンス
200	13
140 ~ 100	10
70 ~ 30	7
20 ~ 10	5
6 ~ 3	3

表 2.7 送電線インピーダンス

記号	説 明	新北陸幹線 (275 kv) の例	近 似 値
l	1 線の大地帰路インダクタンス (mH/km)	2.340	2.3
l'	1 回路内の相互 * (*)	1.049	1.0
l''	回路間の相互 * (*)	0.937	1.0
l_1	$l_1 = l - l'$ 正相 * (*)	1.291	1.3
l_{00}	$l_{00} = l + 2l' + 3l''$ * (*)	7.250	7.3
l_{01}	$l_{01} = l + 2l' - 3l''$ * (*)	1.626	1.6
Z_1	$Z_1 = r + j\omega l_1$ (Ω/km)	0.0763 + j0.487	0.08 + j0.5
Z_{00}	$Z_{00} = r + 6r_1 + j\omega l_{00}$ (*)	0.676 + j2.735	0.68 + j2.7
Z_{01}	$Z_{01} = r + j\omega l_{01}$ (*)	0.0763 + j0.614	0.08 + j0.6
Z_0	$Z_0 = r + 3r_1 + j\omega(l + 2l')$ $= \frac{1}{2} (Z_{00} + Z_{01})$ (*)	0.376 + j1.675	0.38 + j1.67
k	1 線-大-地容量 ($\mu F/km$)	0.008025	0.008
k'	線間 * (*)	-0.001092	-0.001
k''	回路間 * (*)	-0.000487	-0.0005
y_1	$j\omega(k - k')$ ($\mu S/km$)	j 3.43	j 3.4
y_{00}	$j\omega(k + 2k' + 3k'')$ (*)	j 1.652	j 1.7
y_{01}	$j\omega(k + 2k' - 3k'')$ (*)	j 2.760	j 2.8

表 2.8 変圧器の等価回路

	三相結線	零相回路	正逆相回路	三相結線	零相回路	正逆相回路
a						
b						
c						
d						
e						
f						
g						
h						

$$Z_H = \frac{Z_{HL} + Z_{MH} - Z_{LM}}{2} \quad Z_L = \frac{Z_{LM} + Z_{HL} - Z_{MH}}{2} \quad Z_M = \frac{Z_{MH} + Z_{LM} - Z_{HL}}{2}$$

表 2.6 は、変圧器のそれぞれ定格容量ベースの代表的%リアクタンスであり、表 2.7 は、送電線の代表的インピーダンスを示す。表 2.8 は、変圧器の等価回路図である。

同期機のリアクタンスとして実際の機械のインピーダンス不明の場合は、定態値として

$$Z_1 = 90\% \quad Z_2 = 30\% \quad Z_0 = 10\%$$

また、高速度リレーを対象とする計算では過渡リアクタンス（または次過渡リアクタンス）値を使用するが詳細の値が不明のときは

$$Z_1 = Z_2 = 25\% (\sim 30\%) \text{ と考えれば概略値を得ることができる。}$$

3. 方式分類

送電線保護継電装置が対象とする故障種類は短絡事故および地絡事故であるが、そのおのおのに対し、おもな継電方式として、

1. 過電流継電方式
2. 平衡継電方式
3. 距離継電方式
4. パイロット継電方式

があげられる。

短絡保護は送電線の重要性により適用すべき継電方式が決定されるが、地絡保護は中性点接地方式が決定的条件となっている。中性点接地方式にも種々あるが、おもなものは直接接地方式と抵抗接地方式である。

上記 1. 2. 3. 4. はいずれも送電線保護継電方式発展過程を示すものであり、故障区間選択性能が順次向上してきたことを意味

する。

3.1 過電流継電方式

この方式は装置が簡単安価であるが、本質的に故障電流の大き

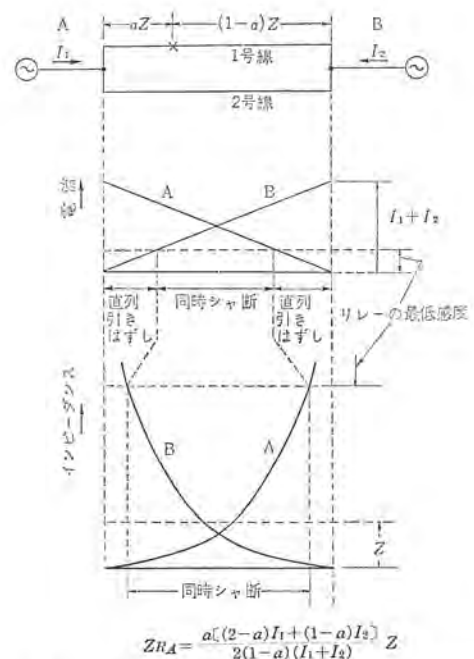


図 3.1 並行2回線選択継電器動作範囲
Fig. 3.1 Operating zone of balance protecting relay for parallel transmission lines.

三菱電機技報・Vol. 40・No. 4・1966

差が予定値以上になったとき動作する方式、要するに電流の大きさと位相を対象とするもの

位相比較継電方式

被保護区間各端子の電流の位相角の差が予定値をこえるとき動作する方式、要するに電流の位相のみを対象とするもの

方向比較継電方式

被保護区間各端の方向継電器・方向過電流継電器または方向距離継電器などの動作を比較し保護を行なう方式、要するに各端継電器の判断結果を総合して判断するもの

転送引きはずし継電方式

ある電気所の継電装置の動作により他の電気所のシヤ断器を引きはずす方式、要するに自端のみで判断した結果を相手端へ指令するもの

に大別される。

表 4.2 送電線保護継電器主要継電要素一覧

入力	速度	要素名	原理構造図	適用
交流	高速度	シリンダ要素		距離リレー KD, KZ KZG 故障検出 KVA KV
	低速度	E形誘導要素		電流リレー CO 電圧リレー CV
直流	高速度	有極継電要素		表示線リレー HCB 距離リレー KK SKMS KKG 方向リレー KDG 故障検出 KVC KVB-2
		可動線輪		方向リレー DGB
		SF要素 (ブランジャ要素)		故障検出 SFU
		SE要素 (ヒンジ要素)		故障検出 SE-3

表 3.1 は、以上の諸継電方式の分類表であり三菱標準方式を示したものである。

4. 代表的継電器および継電要素

表 4.1 は、三菱送電線保護継電器代表的機種一覧である。このほか表示線継電器、搬送継電器などがある。また表 4.2 は、その主要継電要素一覧である。

5. トランジスタリレー弁別方式

前記のごとく、三菱送電線保護継電装置には多くのトランジスタリレーが適用されているが、これら諸継電器は、表 5.1 に示す4種の弁別原理に分類されるものである。

表 5.1 三菱送電線保護継電器トランジスタリレー弁別方式分類

No.	弁別方式	No. 形名	用途
1	スカラー量弁別方式	(1) KLV 形 (2) KVG 形 (3) KVC 形 (4) RCV 形 (5) KPS-2 形	無電圧検出 1線地絡検出 短絡検出 電圧検出 地絡相検出
2	位相弁別方式	(1) KKS-2 形 (2) KVP 形 (3) KKS-61形 (4) KKS-65形 (5) KMS-1 形 (6) RCV 形 (7) KDG 形	距離(矩形) 同期確認 距離(矩形) 距離(矩形) 距離(リアクタンス) 同期確認 地絡方向
3	微小時間幅弁別方式	(1) KKS-5 形 (2) KMS-1 形	故障点標定 距離(モー)
4	時定数弁別方式	(1) TD-4 形 (2) GI-T 形	タイム 比例限時

6. む す び

以上、当社送電リレーの現状を主体として、送電線リレーの常識について述べたのであるが、前述のごとく、当社はここ数年鋭意開発を進めており、新方式・新形リレーが実用化されつつあるので、これらの詳細については改めて発表する予定である。

終わりに、当社、送電線リレーの進歩発展にあたってご指導ご助力賜った関係各位に対し、深甚なる謝意を表する次第である。

送電線保護継電器 —表示線保護—

寺田 真*・天野 恒*・鈴木健治*・下迫賀生*

Line Protection

—Pilot-Wire Protection—

Kōbe Works Makoto TERADA・Hisashi AMANO・Kenji SUZUKI・Yoshio SHIMOSAKO

In general the protection of short transmission line is done by the pilot wire relaying scheme where the condition permits. The pilot wire relay scheme is subdivided from the functional category into a current circulating method and a voltage opposing method. The Mitsubishi type HCB pilot wire relaying system operates on the principle of the current circulation. High resistance grounded overhead lines, high resistance grounded underground cable lines and solidly grounded EHV lines are protected by this relaying system with small modification. Mention made in the article under the heading of "Recent Engineering Achievement" elucidates research results concerning the improvement of pilot-wire relaying system. Pilot wire supervisory systems and transfer tripping systems follow the above account.

1. ま え が き

短距離送電線の保護方式として、電気所間を連絡する手段として表示線を使用する、いわゆる表示線継電方式が、新鋭火力発電所につながる都市近郊の系統および市内地中ケーブル系統保護に、広く用いられている。

この文中ではこの表示線継電方式について代表的形式を紹介した後、とくに三菱 HCB 形電流循環式表示線継電方式について、その原理・動作・特長を説明し、合わせて HCB 形表示線継電器を主体として構成された架空系、地中系用の表示線継電装置の概要を紹介する。

また HCB 形表示線継電方式に関連する諸研究、応用についてもその概略を紹介する。最後に三菱表示線監視方式、転送トリップ方式についても略述し、もって三菱表示線継電方式の概要を紹介するものである。

2. 表示線保護方式

保護しようとする送電線区間両端をおしを連絡する方法としてパイロットワイヤが利用できる場合に適用される表示線継電方式としては、表示線を介して両端の電流(圧)を比較する差動方式が一般的に用いられる。

差動方式は、たとえば機器保護、母線保護などに用いられている差動原理をそのまま用いたものである。すなわち保護区間内部に事故があるときは、各端の電流の代数和は0でなくなり、区間外部の事故状態では各端の電流の代数和は0であるという原理に基づくものである。

しかしこの原理を用い送電線各端を連絡する表示線により各端の電流を比較して内外事故判定する表示線継電器は、各端に設置してその端におけるシャ断器をおのおのトリップさせることになるため、一般の差動保護とは趣きを異にする。したがってその方式として次の二つがあげられる。

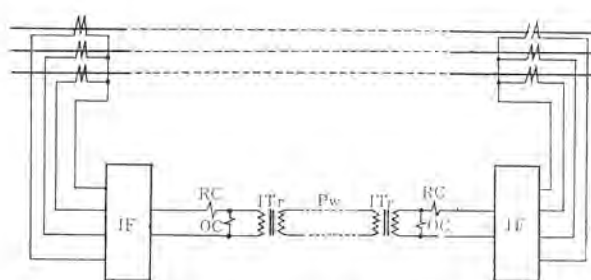
- (1) 電流循環方式
- (2) 電圧反抗方式

まず電流循環方式は図2.1に示すように両端の電流を変成してのち、通常の比率差動方式とほぼ同様の回路でこれらを比較す

る方式である。

すなわち各端の入力変成ロハ器 IF で発生する変成電圧は、各端でまず抑制回路 RC と直列に動作回路 OC とに印加される。なお動作回路と並列に絶縁変圧器 ITr の一次側が接続され、その二次側電圧が表示線に印加される。各端の絶縁変圧器の二次側は、表示線によって接続されているので、ちょうど2端子の差動保護と同称となる。ただし差動回路に二つの差動継電器がおかれた点が異なる。この方式では、常時抑制回路から表示線を通して電流が循環する形となるので電流循環式と呼ばれる。

その原理詳細については後述するが、比率差動方式の延長であ



OC: 表示線継電器動作回路 RC: 表示線継電器抑制回路
PW: 表示線 ITr: 絶縁変圧器 IF: 入力変成ロハ器
図2.1 電流循環式表示線継電方式の原理接続
Fig. 2.1 Connection showing the principle of pilot wires relaying by current circulation method.

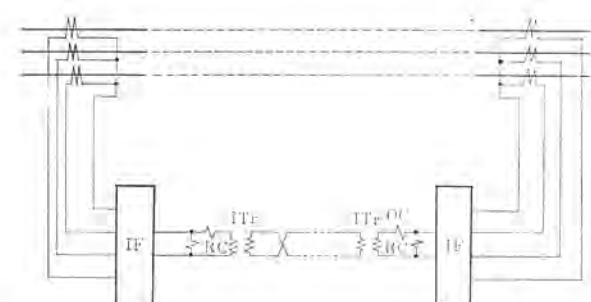


図2.2 電圧反抗式表示線継電方式の原理接続
Fig. 2.2 Principle connection of pilot wires relaying by voltage opposing method.

り適用上の制限が少なく信頼度が高いのが特長である。

次に電圧反抗方式は、図 2.2 に示すような方式であって電流循環方式とは抑制回路と動作回路との配置が逆になっている。すなわち各端の入力変成ロハ器 IF の出力電流を、いったん抑制回路に流して電圧降下を発生させ、その電圧を各端同志表示線を介して比較するもので、内部故障時抑制回路と動作回路に電流が分流し外部事故時および常時は抑制回路のみに電流が流れる形となる。

この方式は片端電源の内部故障時（片端からのみ故障電流流入時）検出が不可能となること、CT 各端が電流循環式に比べて大きいことなど、適用上考慮すべき点が多い。

そのほか各端に方向継電器をおき、表示線には専用別電源で直流を流せるようにしておいて、この方向継電器の接点が各端で閉じたことにより、直流電流を検出して各端でトリップ指令を出す直流方式などもあるが、一般的でないので省略する。

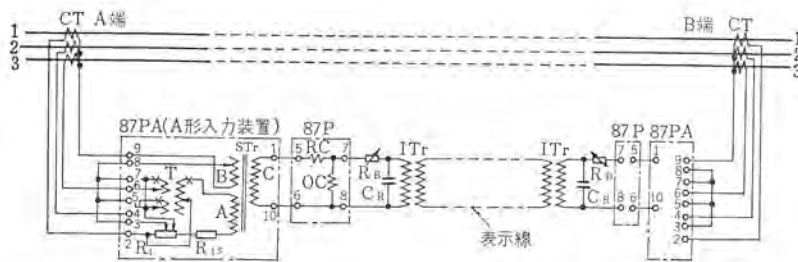
3. 三菱 HCB 形表示線継電方式

表示線継電方式として当社において標準方式として製作されている三菱 HCB 形表示線継電方式について説明する。

三菱 HCB 形表示線継電方式は電流循環式に属し、開発頭から同一原理に基づき基本的特長を維持しながら、改良標準化が行なわれ、現在の HCB-4 形継電装置に至っている。

図 3.1 に、HCB-4 形表示線継電装置の接続の一例を示す。

87PA は図 2.1 の入力変成ロハ器 IF に相当し、三相電流中か



87PA: 入力変成ロハ器 (A 形入力装置) 87P: 表示線継電器 (HCB-4 形表示線継電器)
R_B, C_B: 補償装置 I. Tr: 絶縁変圧器
(第 1 形式)……HCB-4 形継電器 1 組により短絡地絡保護を同時に行なう表示線継電装置例)

図 3.1 HCB-4 形表示線継電装置接続例

Fig. 3.1 Typical connection of Type HCB-4 pilot wires relaying.

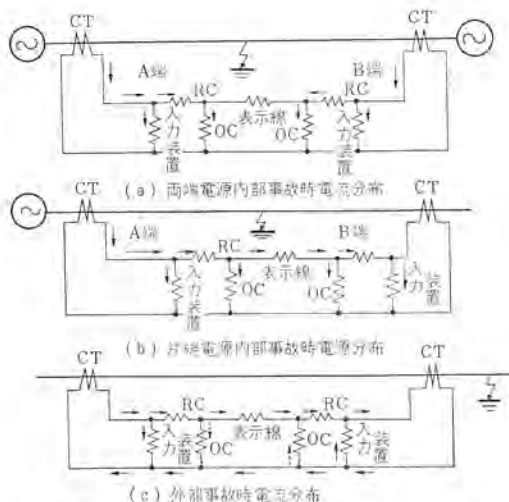


図 3.2 電流循環式表示線継電器の電流分布

Fig. 3.2 Principle of current circulating pilot wire relaying for typical internal and external failures.

ら適当な対称分電圧をとり出す入力装置である。87P は、抑制回路 RC、動作回路 OC をもつ表示線継電器であり、補償装置 (R_B, C_B) を介して絶縁変圧器一次側に接続されている。絶縁変圧器二次側は表示線に接続され、他端の絶縁変圧器に連結される。他端にも同様な装置があり、CT 入力を変成してその出力を表示線を介して相互比較できるようになっている。この接続で、電流循環方式の原理を説明すると図 3.2 のようになる。まず、

(1)の両端電源内部事故時には、両端 CT から加えられる電流が表示線を中心に対向する形となり、入力装置の励磁分を除いて抑制回路と動作回路にはほぼ同じ電流が流れる結果、継電器 87P の動作力が打ちかって動作する。

(2)の片端電源内部事故時には、片側の CT から加えられる電流が電源端および非電源端の継電器動作回路、抑制回路に流れるが抑制回路 RC、動作回路 OC、入力装置、表示線のインピーダンスを適当に選べば、両端の継電器が適当な動作値で動作するようにできる。普通このような電流分布では、非電源側の継電器が電源側の継電器より低い電流値で動作するようにしてある。これは平行回線の電源側至近端事故時、非電源端の電流が小さいので、両端継電器の動作入力倍数を互いに近づけ両端同時動作とさせるためである。またこのようにすることにより外部事故時の安定性が増す。

(3)の貫通外部事故時には、両端の継電器の抑制 コイル および CT、表示線を電流が循環する形となり、抑制回路 RC に流れる電流は多く動作回路 OC の電流は CT により動作回路が短絡さ

れて電圧が低いので小さく、抑制力が動作力に比して十分大きくなり、継電器は動作しない。

このように HCB 形表示線継電器は、一種の比率差動原理に基づき、その CT 二次には表示線がはいっている点が異なる。表示線は、上記説明により明らかなように、表示線継電器の動作感度に影響をおよぼすので、表示線回路に



(a) 表示線等価回路

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	382.5	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)

(b) 表示線定数例

図 3.3 表示線回路
Fig. 3.3 Pilot wires circuit.

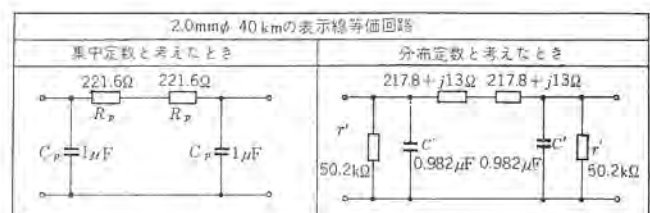


図 3.4 表示線回路の取扱い

Fig. 3.4 Equivalent circuit of pilot wires circuit.

について簡単に説明する。

表示線1対の等価回路は、その構造上 r, c 分布定数回路であり、インダクタンスは通常無視できる。その等価回路および r, c 定数の一例を図3.3に示す。表示線のコウ長は普通 20 km 程度だから、これを分布定数として扱っても、集中定数として扱ってもさほど差はなく、表示線継電器の動作には影響を及ぼさない。

三菱 HCB-4 形表示線継電装置は標準形で、概略 20 km 程度の表示線回路に使用できるよう設計されている。これより距離が短い場合は、補償装置により抵抗およびコンデンサをそう入して表示線継電器側からみた表示線回路のインピーダンスが一定となるようにできるので、表示線距離にかかわらず一定の特性を得ることができる。

さらに長距離の表示線の場合には、たとえば 0.9 mmφ の表示線でコウ長 40 km の場合にも現在のままで満足な2端子保護を行なえることが明らかにされている⁽¹⁾。

HCB-4 形表示線継電器は、このような表示線と絶縁変圧器によって結合される一種の差動継電器であるが、この継電器として、満足すべき条件は、

(a) CT 誤差に対する誤動作防止。

(b) 表示線直列インピーダンスにおける電圧降下によって生ずる見かけ上の動作力の補償。

の二つがあるが、抑制コイル RC、および入力回路の飽和変成器 STR により、ある入力以上で位相比較の特性をもたせている。したがって、CT に相当の特性差が過渡的に発しても誤動作しないようになっている。

図3.5に、このような飽和比率特性の一例を示す。

このような飽和比率特性により、3端子系保護に用いることができる。とくに既設2端子に追加して1端子を増設する場合にも既設分にとくに考慮を払わなくとも3端子保護が可能である。

HCB-4 形表示線継電装置では故障種類別に検出するよう、三

相入力を合成して対称分出力を得るようにしている。このうち、短絡故障に対しては逆相分を消去した成分を得る入力装置を用意し、また地絡故障の高感度検出のため、とくに零相成分を得る入力装置を用意している。

ここでとくに逆相分を消去する入力装置について説明する。

図3.6にその接続を示す。この接続で得られる出力は、

$$\begin{aligned} V_{\text{output}} &= k\{R_1 I_a + j\omega M(I_b - I_c)\} \\ &= k\{R_1 + j\omega M(a^2 - a)\}I_{a1} + k\{R_1 + j\omega M(a - a^2)\}I_{a2} \\ I_{a1} &= a \text{ 相基準正相電流} \\ I_{a2} &= a \text{ 相基準逆相電流} \\ \omega M &= R_1/\sqrt{3} \text{ とえらぶと,} \end{aligned}$$

$$V_{\text{output}} = 2kR_1 I_{a1} + kR_1 I_{a0}$$

となって逆相分電流は除去される。また高抵抗接地系の I_0 成分は小さいのと、継電器の感度の選定により、この出力は短絡故障時のみに継電器を動作させるようにできる。この入力装置は短絡保護として用いられるが、さらに零相分補償を行えば短絡地絡両用とすることもできる。図3.1は零相分補償を行なった例である。

以上は、HCB-4 形継電器の定常的な特性について述べたが、過渡特性についても HCB-4 形表示線継電器はすぐれており、過渡現象の激しいケール系統にも適する。その原因の一つは、入力装置の飽和変成器による直流分防止効果にあり、その二つは継電器の動作コイルと並列に構成された高調波 $\square$ 回路特性による、図3.7のような周波数特性である。

そのほかの原因としては、慣性のほとんどない直流極性要素を用いていることもあげられる。

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。

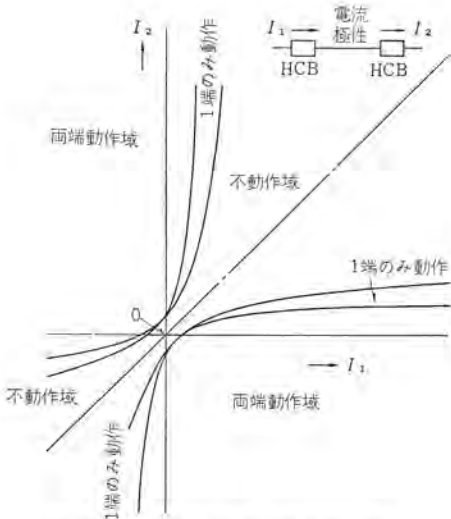


図 3.5 HCB-4 形表示線継電装置 2 端子差動特性
Fig. 3.5 Typical saturable differential characteristics of type HCB-4 relaying system.

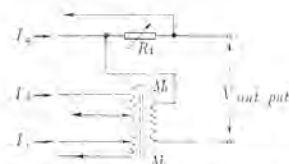


図 3.6 正相分 $\square$ 器式入力装置回路
Fig. 3.6 Connection of positive sequence filter type input circuit.

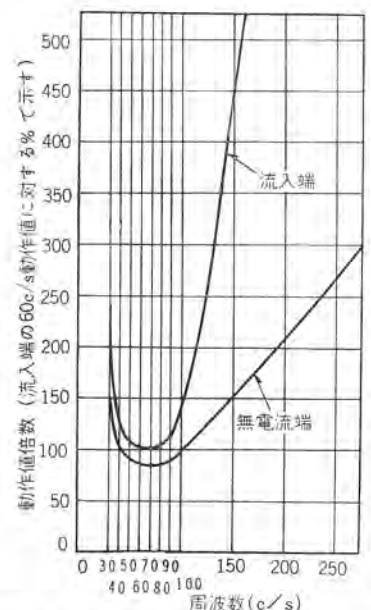


図 3.7 HCB-4 形表示線継電装置 2 端子組み合わせ周波数特性例
Fig. 3.7 Type HCB-4 pilot wire relay frequency characteristics in the case of two terminal line protection.

- (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端子増設でもななら問題ない。
 - (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) 各器具は完全に標準化され、十分な互換性をそなえている。
 - (h) 表示線定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。

4. 三菱表示線保護標準方式

4.1 抵抗接地架空系統用

一般に抵抗接地系の短絡事故と地絡事故とは、故障電流の値が大きく違うため、保護標準方式としては短絡保護装置と地絡保護装置とを完全に分離することによって、確実に保護動作を行なわせるとともに、保守を容易にしている。

図4.1は、抵抗接地架空系統用の表示線保護装置の主回路を示したものである。短絡保護はCT二次の三相電流を正相分ロハ器と飽和トランスからなるC-2-D形入力装置(87PSC)に導入し、正相分電流をつくり、これをHCB-4-D形表示線継電器(87PS)に加えることによって行ない、一方、地絡保護は残留回路あるいは三次回路の零相電流をB-2-D形入力装置(87PGB)に導入し、適当な値に変換して、短絡保護と同じ設計のHCB-4-D形表示線継電器(87PG)に加えることによ

て行なう。

さらに、表示線継電器の表示線側は、短絡保護、地絡保護ともに表示線定数補償用のNW-1形抵抗コンデンサ箱(C_R , R_B)を経由して、NT-10形絶縁

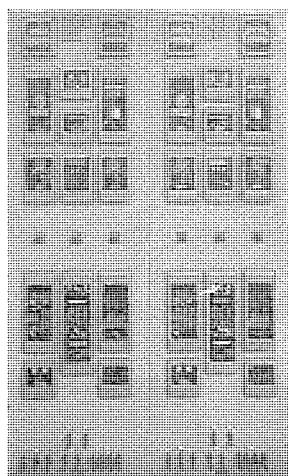


図 4.1 抵抗接地架空系用
表示線保護装置(2端子分)
Fig. 4.1 Pilot wire relaying
panel for overhead trans-
mission of resistance earthed
system.

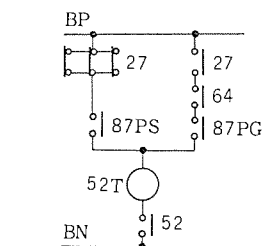


図 4.3 抵抗接地系の表示線
シタ断回路
Fig. 4.3 Tripping circuit by
pilot wire relaying for resistance
grounded system.

変圧器(ITr)によって表示線と接続されている。したがって、入力装置以外は短絡保護も地絡保護もまったく同一の装置を使っている、十分な互換性を持っている。

以上のような装置を、表示線を介して相手端の装置と結合させれば、常時は短絡用の表示線にだけ潮流分が循環し、87PSは抑制力を受けて不動作であり、87PGも常時は零相電流がないので不動作である。両端のCTにはさまれた送電線に事故が起これば、短絡事故の場合は87PSが、1線地絡および2線地絡事故の場合は87PGが、背後電源の有無にかかわらず両端同時に動作する。

シタ断回路は、図4.3のように、短絡故障検出継電器27と地絡故障検出継電器64を用いて各種の誤動作を防止している。すなわち、87PSの回路の27は、表示線が断線すると潮流によって87PSが動作してしまうので、これによるシタ断をロックする。また、87PGの回路の27と64は短絡優先を行なうためのもので、1φGの場合だけ条件ができる。短絡優先というのは、一般に抵抗接地系では短絡電流感度と地絡電流感度が大きく違うため、短絡事故時に発生するCTの誤差による零相電流が地絡電流感度より大きく、地絡継電器を誤動作させるおそれがあるので、短絡事故発生時には地絡継電器によらないで、短絡継電器の動作によるというものである。27にはSFU-2-D形不足電圧継電器を、64にはSE-3-D形接地過電圧継電器を使用している。なお、87PGとしては保護区間外の1φGから2φGへ移行時の短絡優先回路の接点協調および各種過渡電流による誤動作防止のため、HCB-4-D形継電器に内蔵されている補助継電器で動作を遅らせて、使用するのが普通である。

以上、2端子系について説明したが、架空線系統では3端子系になることが多い。この場合でも2端子系の装置とまったく同一の装置を追加するだけで、図4.4のように表示線を各端子に接

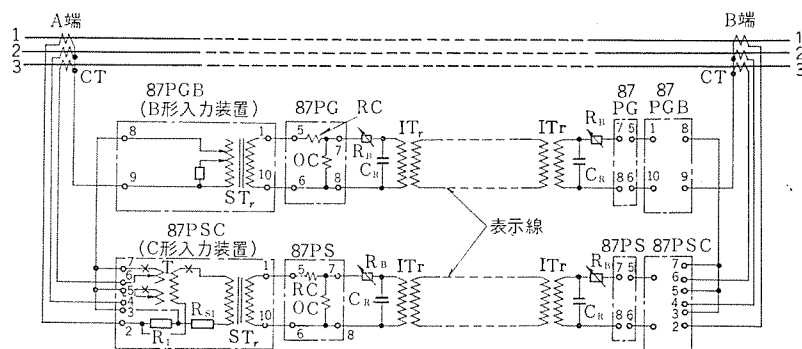


図 4.2 抵抗接地架空系の表示線保護方式
Fig. 4.2 Pilot wire relaying for overhead
transmission of resistance grounded system.

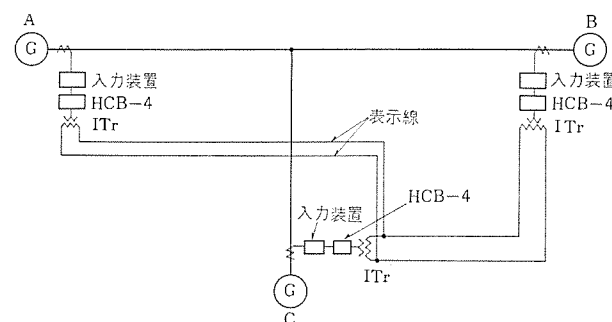


図 4.4 3端子表示線保護方式
Fig. 4.4 Pilot wire relaying method for 3 terminals.

続すれば、容易に保護することができる。

後備保護は、その系統の後備保護方式によって違ってくるが、表示線保護を行なう必要のある系統ということから考えて、短絡はモ-特性の KDA-D 形方向距離継電器による時限シ断、地絡は DGB-D 形方向地絡継電器による時限シ断を標準としている。しかし短絡後備についてはその系統の重要性から、2 段ないし 3 段の方向距離継電器による時限シ断方式を行なうこともある。この場合の方向距離継電器としては、トランジスタ式のリアクタンス 1 段、2 段、モ-3 段を内蔵した KMS-12-D 形継電器、あるいはトランジスタ式のリアクタンス 1 段、2 段を内蔵した KKS-64-D 形継電器と機械式のモ-特性をもった KZA-2B-D 形継電器の組み合わせを使用する。

4.2 抵抗接地地中系統用

(1) ケーブル系統保護の特長

ケーブル系統を架空線と比較した場合、その大きな特長は線路インダクタンスが小さく、キャパシタンスが大きいことである。保護方式も種々考慮すべき問題がある。

ケーブル系統において、異常電圧抑制、リレー動作の確実化の観点から低抵抗接地にすることが最も望ましい。高抵抗接地系でも区間内充電電流がある程度以下であれば、4.1 節の高抵抗接地架空系統用の三菱 HCB 形表示線継電方式がそのまま適用できる。

この場合、適用限界として区間内充電電流が継電器の最小保護電流の 1/2 以下であればよい。4.1 節の抵抗接地架空系統用の三菱 HCB 形表示線継電方式は、前述のごとく高信頼度を有しすぐれた方式であるが、ケーブル系統の充電電流が外部地絡時、表示線継電器にとって見かけ上の差電流となること、およびケーブル系統特有の過渡現象が激しいことから、そのまま有効分の少ない高抵抗接地系に適用できない場合が生ずる。

(2) 三菱 NC 形充電電流補償方式

このような高抵抗接地系ケーブル系の地絡保護方式として提案実用されたのが、三菱 NC 形充電電流補償付 HCB 形表示線継電方式である。これは保護区間内のケーブル充電電流に相当する電流を表示線継電器入力側で補償してやることにより、充電電流の影響を根本的に除去する方式である。

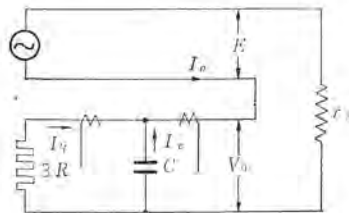


図 4.5 ケーブル系統 1 線地絡時等価回路
Fig. 4.5 Equivalent circuit of the cable system at one phase grounded.

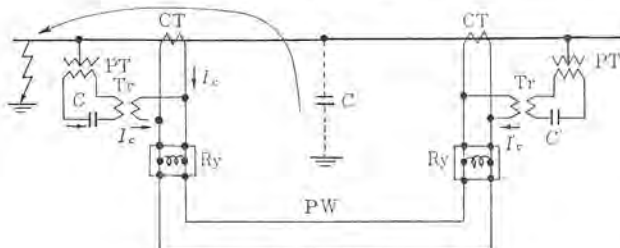
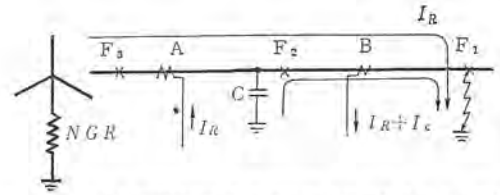


図 4.6 三菱 NC 形充電電流補償式原理説明
Fig. 4.6 Principle of the Mitsubishi type NC charging current compensating scheme.



下記ベクトルにおける極性は流入の有効分電流を下向きにとっている
下表の I_c' は補償電流で $I_c' = \frac{1}{2} I_c$

番号	故障点	A 端継電器入力電流 (I_A)	B 端継電器入力電流 (I_B)	動作
1	F ₁	I_B 流入 I_c 流入 I_A	I_B 流出 I_c 流入 I_R	$I_A = -I_B$ で不動作
2	F ₂	I_c 流出 I_c 流入 I_A	I_B 流出 I_c 流入 I_R	$I_A = -I_B$ で不動作
3	F ₃	I_B 流入 I_c 流入 I_A	I_B 流出 I_c 流入 I_R	I_A, I_B はほぼ 同相動作

図 4.7 充電電流補償装置付表示線継電器入力ベクトル
Fig. 4.7 Vector diagrams of charging current compensation scheme.

次に充電電流補償方式の原理を説明する。図 4.5 はケーブル系統 1 線地絡時の等価回路である。系統電圧を E 、零相電圧を V_0 、零相電流を I_0 、区間内充電電流の残留回路における値を I_c 、中性点電流を $3I_0$ 、中性点接地抵抗を R 、1 相対地静電容量を C 、故障点抵抗を r_g とすれば、以下の式が成立する。

$$V_0 = \sqrt{3} RE / \{ (r_g + 3R) + j3\omega CRr_g \}$$

$$I_c / 3 = j\sqrt{3} \omega CRE / \{ (r_g + 3R) + j3\omega CRr_g \}$$

$$I_c = j3\omega CV_0$$

上式により I_c と V_0 とは r_g に関係なく比例することが明らかである。

この関係に着目した充電電流補償方式の原理を、図 4.6 に示す。すなわち系統零相電圧 V_0 を適当なコンデンサ C' に印加し、その電流を補助 CT で適当な値に変成し、 I_c と逆極性になるようにして外部事故時の I_c 影響を完全に排除する。

この方式を使用した表示線継電器の入力ベクトルを図 4.7 に示す。この図から外部事故時には両端電流は完全に逆位相となることおよび内部事故時充電電流分が動作入力として印加される形となり、条件がよくなる。

これらの特長を有する充電電流補償方式は、補償電流印加用のコンデンサ、変成器類をリレー箱に収納し、一般の 60~70 kV ケーブル系で約 20 km 程度まで実用に供しよう設計されている。

(3) 三菱ケーブル系統用表示線継電装置

上記のように NC 形充電電流補償方式を採用すれば、充電電流の影響が完全に排除される。

したがってケーブル系統用表示線継電装置としては、架空線用の HCB 形表示線継電器に NC 形入力装置を付加しただけのものとなり、わずかの追加で架空線用装置を地中線用装置に転用できるという特長がある。

後備保護用としては、ケーブル系統の場合インダクタンスが小さいため整定範囲を定めるのが困難であるが、架空線系統の場合と同様な継電器を使用する。

4.3 直接接地系統用

直接接地系統で表示線保護を行なう場合、通常、単相再閉路や多相再閉路を行なうので、相別ごとに表示線保護を行なう方式を標準としている。

図 4.8 のように、各相ごとに B 形入力装置を設け、各相電流

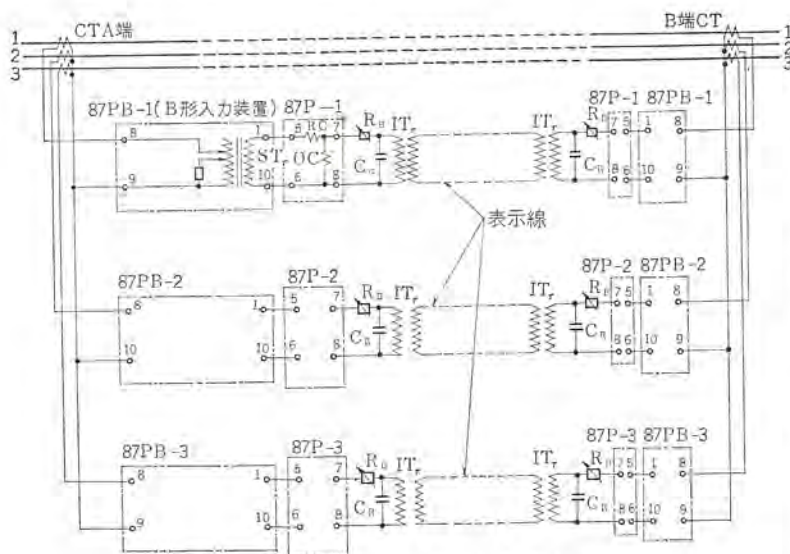


図 4.8 直接接地系の表示線保護方式
Fig. 4.8 Pilot wire relaying for solid grounded system.

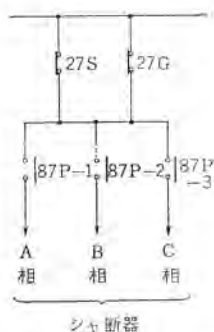


図 4.9 直接接地系の表示線シヤ断回路
Fig. 4.9 Tripping circuit by pilot wire relaying for solid grounded system.

を適当な値に変換して架空線用の場合と同様に HCB-4-D 形継電器へ導入すれば、故障相の 87P が動作することによって短絡、地絡とも保護することができる。

シヤ断回路は図 4.9 のように短絡故障検出継電器 27S と地絡故障検出継電器 27G を用いて、表示線継線時に 87P が動作して誤シヤ断するのをロックする。27S としては、SFU-2-D 形不足電圧継電器、27G としては、SFU-3-D 形不足電圧継電器を用いて、それぞれ、線間電圧・相電圧によって故障検出を行なう。

表示線保護関係の器具は B 形入力装置以外は架空線用とまったく同一で、それぞれ 3 組を必要とし表示線は通常 3 対を必要とするが、1 本を共通線にして 4 本で行なうこともある。

後備保護としては、各種の方向短絡距離継電器や方向地絡距離継電器を使用する。

5. 最近の技術

5.1 多重故障対策

一般に高インピーダンス接地系の表示線保護においては、区間内短絡故障検出用として正相電流差動方式が、地絡故障検出用として零相電流差動方式が広く採用されている。この場合外部 2 線地絡事故時に CT 誤差によって零相電流が CT 残留回路に流れ、地絡故障検出継電器が誤動作するのを防止するため、2 線以上の故障に対しては故障検出継電器により地絡差動継電器によるトリップ回路をロックしている。いわゆる短絡優先方式である。

したがって異相地絡時には短絡差動継電器のみによって保護することになる。この場合短絡差動継電器の入力装置は三相入力を単相入力に変換する総合変成器を使用するので、異相地絡の際両

端電源では問題ないが、片端電源で区間内にまたがる事故では動作しないことがある。たとえば HCB-4 形表示線継電器、C-2 形短絡保護用入力装置について考えてみると、

その総合出力は、

$$V = I_A + j(I_A - I_B) / \sqrt{3}$$

であるから、片端電源における両端の入力対入力装置の出力は図 5.1 のような関係になる。

すなわち、

(1) HCB は大電流域では位相比較の特性をもつから $F_1 - F_2$ が b-c, c-b, の場合入力装置出力比 V_a/V_b が 2:1 でも当然不動作となる。

(2) b-a, c-a, でも V_a と V_b の位相差とベクトル差 ΔV いずれも小で不動作となる。

(3) a-b, a-c, が V_a と V_b の位相および両者のベクトル差 ΔV いずれも大であるから動作する。などの結論になる。これを表に示すと表 5.1 となる。これに対する対策としては次の手段が考えられる。

- 短絡差動リレーが不動作とならないように考慮する。
- 短絡検出リレーによりロックされている地絡差動リレーを、

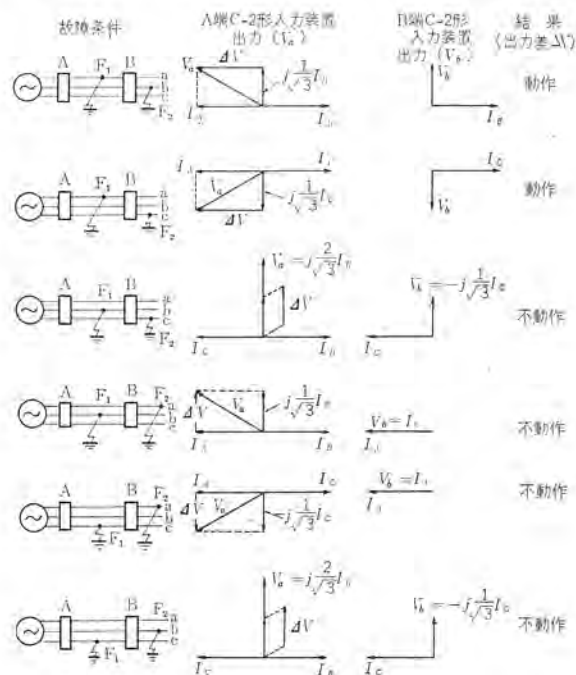


図 5.1 片端電源における C-2 形入力装置(短絡用)の出力電圧
Fig. 5.1 Output voltage of type C-2 input circuit device when one side power source.

表 5.1 異相地絡故障時の継電器動作

故障 (相)		継電器動作	
F1	F2	A 端	B 端
A	B	動作	動作
A	C	動作	動作
B	C	不動作	不動作
B	A	"	"
C	A	"	"
C	B	"	"

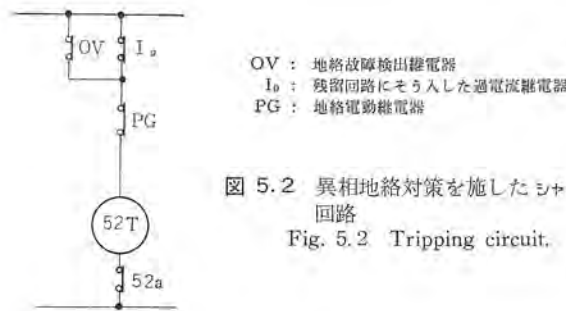


図 5.2 異相地絡対策を施したシナ断回路
Fig. 5.2 Tripping circuit.

区間にまたがる異相地絡のときだけ、ロックを解いて保護に使用する。

a. の方式は、多重故障時に入力装置の出力が打消されないように零相分出力を大とすることである。すなわち正相分の比例定数を k_1 、零相分の比例定数を k_0 とすれば k_0/k_1 は大なるほどよい。しかし単純 2 線地絡事故の場合、事故相と系統事故点からみた Z_0 と Z_1 の位相関係によって I_1 と I_0 とが打ち消し合う極性となる。この I_1 と I_0 とが打ち消し合わぬためには下記条件が成立せねばならぬ。

$$k_0/k_1 \neq I_1/I_0 \neq Z_0/Z_1$$

通常事故電流の範囲としては $I_0=0$ または $30 \sim 300$ A, $I_1=1,500 \sim 20,000$ A であるから、条件を整理して $k_0/k_1 < 5$ (最小) となる。ただし、入力装置の補償は多重事故時の動作を改善するが、系統条件から相当制限をうける。

b. の方式は異相地絡事故の際でも地絡差動継電器は、いずれも正動作するのを利用している。すなわち各端の変流器残留回路に過電流継電器をそう入し、このような事故の際に地絡差動継電器のロックを解除するのに使用する。過電流継電器の整定は単純地絡事故では動作せず、異相地絡事故の場合のみ動作するようにしている。図 5.2 はこの方法のトリップ回路である。現在の重要な系統はほとんど並行回線のため一端電源というのは非常にまれなケースである。(並行回線では他回線からのまわりこみがあるので両端電源となる。) したがって異相地絡事故などの多重事故に対しても、表示線継電器はとくに考慮しなくてもよいのであるが、系統運用上一端電源となる場合もあるので、上記の対策を述べたのである。したがって HCB-4 形表示線継電方式にもこの方式、すなわち IT-1B 形過電流継電器を残留回路にそう入する方式を採用している。

5.2 充電電流補償式の過渡特性

4.2 節 (2) に述べた NC 形充電電流補償装置の過渡特性について検討した結果を述べる。

ケーブル系統 1 線地絡事故時発生する過渡電流は直流分と高調波を含んでいることが確認されている。

そのような直流分および高調波を含む過渡差動電流に対する三菱 HCB-4 形表示線継電器の安定性については、前述のとおりである。

従来はとくに系統外部 1 線地絡事故発生時の現象に、多くの関心が向けられていたが、事故除去時については注意が払われていなかった。ここではとくに、外部 1 線地絡事故除去時の過渡現象について検討してみた。

通常 NGL 併用ケーブル系統 1 線地絡時の等価回路は図 5.3 のようになる。一般にケーブル系統の C と電源周波数に共振するような NGL が NGR に併用されるので図 5.2 の場合の電流は、

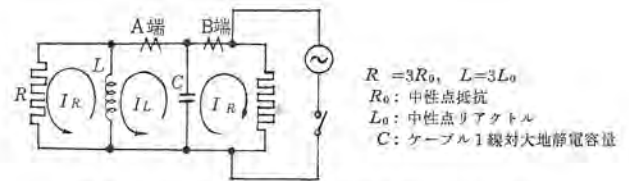


図 5.3 NGL 併用ケーブル系統 1 線地絡時の等価回路および電流分布

Fig. 5.3 Equivalent circuit of the cable system with NGL.

表 5.2

	A 端補償のとき	B 端補償のとき
A 端リレー入力	$i_A = i_L + i_C$ $= -\frac{\sqrt{2}}{R_N} E \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \sin \omega t$	$i_A = i_L$ $= -\sqrt{2} \omega C E \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \sin \omega t$
B 端リレー入力	$i_B = i_R$ $= \frac{\sqrt{2}}{R_N} E \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \sin \omega t$	$i_B = i_R + i_C$ $= \sqrt{2} \omega C E \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \sin \omega t$

$$\left\{ \frac{1}{C} \left(\frac{S}{\omega^2} + \frac{1}{S} \right) I_L(S) - \frac{1}{C} \left(\frac{S}{\omega^2} - \frac{1}{S} \right) I_R(S) = -\sqrt{2} \frac{E}{\omega} \right. \\ \left. \frac{1}{CS} I_L(S) + \left(R_N + \frac{1}{CS} \right) I_R(S) = 0 \right.$$

ただし故障除去の位相を C の両端電圧がゼロとなったときに選んである。なお S はラプラスの演算子である。

これを解けば、

$$i_L(t) = -\sqrt{2} \omega C E \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \cos(\omega_0 t)$$

$$i_R(t) = \frac{\sqrt{2} E}{R_N} \cdot \frac{\omega}{\omega_0} \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \sin(\omega_0 t)$$

$$\text{ここに } \omega_0 = \left(\omega_0^2 - \frac{1}{C^2 R_N^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

長距離ケーブル系統で、接地抵抗が比較的高い場合

$$\omega_0^2 \gg \frac{1}{C^2 R_N^2}$$

とみなすことができるので

$$i_L = -\sqrt{2} \omega C E \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \cos \omega t \dots \dots \dots (\text{A 端電流})$$

$$i_R = \frac{\sqrt{2} E}{R_N} \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \sin \omega t \dots \dots \dots (\text{B 端電流})$$

$$V_0 = \sqrt{2} E \varepsilon^{-\frac{t}{CR_N}} \sin \omega t$$

となる。

充電電流補償装置は前述のとおり

$$I_C = j\omega C V_0$$

なる関係に着目して補償を行なうものであるから、上記の式から各端リレー入力を示せば表 5.2 のようになる。

すなわち、いずれの場合にも両端電流が逆位相となり充電電流補償を行なえば、過渡時にも電流補償が完全に行なわれていることがわかる。これらのことは模擬送電線を用いた試験でも確認されており、実際の使用状態も良好である。

5.3 多回線併架系統用への適用 (零相循環電流対策)

最近の送電系統の複雑化に伴い、多回線送電線を同一鉄塔に併架する場合が一般となってきた。このような系統で 1 回線が休止すると各回線導体間の相互インダクタンスが不ぞろいのため、見かけ上零相循環電流が発生し、運転中の回線を貫流することになる。この結果方向比較式パイロットリレーをそのまま適用することが困難になる。この対策の一つとして、電流循環式のパイロットワイヤリレーを使用することが考えられる。その検出原理を図 5.4 に示す。すなわち見かけ上の零相電流の貫流は、常時表示線継電器へ抑制電流として作用しており、これにより両端の表示線継電器は不動

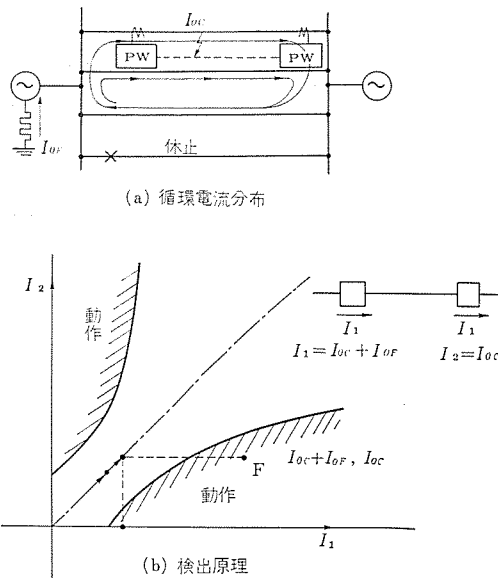


図 5.4 零相循環電流対策
Fig. 5.4 Countermeasure against zero phase sequence current by unbalanced mutual induction.

作である。外部事故時も貫通事故電流がこれに重畳されるので同様に不動作である。内部事故時にはこの見かけ上の貫流零相電流に電源端 NGR から供給される内部事故電流が重畳されて、図の F 点のような電流分布となり、適当な比率特性を選ぶことにより検出可能となる。

通常は表示線継電器の抑制度をやや減らして、最小動作値付近の比率特性の傾きをかえることにより検出を容易にしている。

5.4 特殊系統への適用

(1) 特高受電ケーブル保護

工業関係の特高変電所から受変電所への送電線、いわゆる特高受電線の保護は距離が短く、受電変圧器用のシャ断器がない場合一般に比率差動継電器が用いられる。しかし距離が長くなるとリードワイヤ負担増加、誘導障害、CT 二次導線の信頼度の低下などの理由により使用できないことがある。そのような場合前述の表示線継電装置を使用すれば効果的である。

図 5.5 は特高受電ケーブルを表示線継電装置で保護した例で、ケーブル保護は 87P で受電変圧器は 87T で保護する。87T の動作は表示線を介して電源端に送信され転送トリップを行なうように

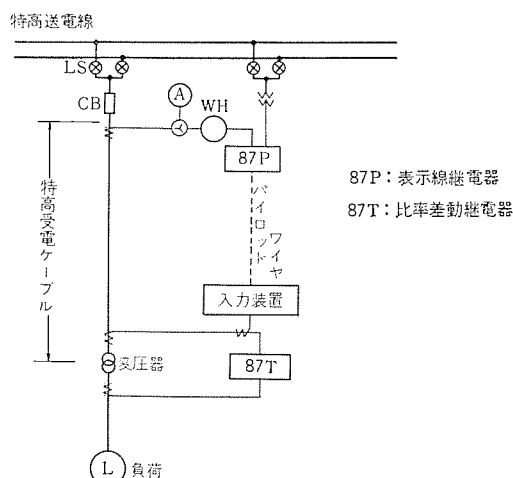


図 5.5 特高受電系統例
Fig. 5.5 Type pilot wires relaying 66 kv or 77 kv feeder.

送電線保護継電器—表示線保護—寺田・天野・鈴木・下迫

してある。

(2) ケーブル故障検出装置

最近架空線とケーブルとが併用される特高送電系統が増してきただけでなく、ケーブル事故は一般に 1 線地絡事故が多く、いったん発生すれば事故電流を高速でシャ断しても、故障の自復性がないのが普通である。したがって送電線保護継電装置の再閉路は、この場合ロックしたほうがよい。ケーブル故障検出装置は、ケーブル部分の事故のみに応動する地絡用表示線継電器を主体とした装置で、この装置の動作により再閉路ロック信号を出す。

6. 表示線監視方式

6.1 表示線回路

表示線継電装置を実用に供する際、その信頼度を大きく左右するものは表示線回路の信頼度といつてよい。

表示線は保護する送電線とは別に布設されるのであるが、架空送電線保護の場合は近くの配電線に添架されたりとくに線路を確保したりして布設され、地中送電線の場合は地中線と同一管路内で管路壁に沿って布設されるのが普通である。したがって近くの線路の影響を大なり小なり受けること、および外部の条件により故障発生する可能性があることはさけられない。

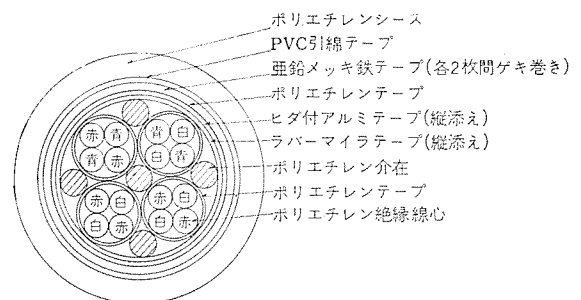
表示線回路はそこで、表示線自体が高信頼度を有すること、表示線回路を監視する適当な手段を有することの二つの条件を備えている必要がある。

表示線自体の信頼度としては機械的強度、化学的強度もさることながら、外来誘導電圧に対する耐力が問題となる。そのために通常の CT 二次回路ケーブルとは異なるケーブルを、とくに表示線ケーブルとして用意し注意をはらって布設する。普通心線径 0.9~2.0mm の銅線にポリエチレン絶縁を施し、ポリエチレンまたはポリビニルクロライドのシースを巻いたケーブルを用いる。

これらのケーブルは近くの強電流線路から誘導される電磁誘導電圧、および高電圧線路から誘導される静電誘導電圧に耐えるよう適当な絶縁構造をもつことが必要である。(図 6.1 参照)

表示線の誘導電圧は普通電磁誘導電圧が関心の対象となる。その計算方法としては、カーソンボラチェックの式、あるいはその土地に応じた適当な近似式がある。

表示線回路が上記の誘導電圧以外の原因で異常をきたしたことを検出するため、表示線監視装置を使用する。通常は表示線に直流を通電し、その大きさにより表示線の短絡・断線・地絡を検出



電氣的特性例		
商用周波絶縁耐力	心線対大地	AC 6 kV 1 分間
心線抵抗	心線対心線	AC 3 kV 1 分間
心線間静電容量		29 Ω/km
		約 0.034 μF/km

図 6.1 表示線ケーブルの構造例
Fig. 6.1 Typical construction of pilot wire cable.

し、表示線継電装置に対し適切な処置をとる。それらの詳細についてはあとに述べる。

これら表示線監視装置あるいは表示線継電装置に使用されて表示線に接続される器具は、通常の CT 二次回路に接続される器具と異なり、上のような特異性に注目して、高絶縁耐力をもち表示線の絶縁強度と適当な協調を持つことが必要である。なお器具のみならず、これを収納する盤についても、このような配慮があり、取り扱いも容易なものである必要がある。また表示線に接続される サージ 吸収回路についてはその信頼度を十分吟味し、主継電器の動作に悪影響を与えないものを使用すべきである。

6.2 表示線監視方式

前述のように表示線は信頼度の高いものが使用されるべきであるが、外部条件による表示線自体の故障がないとはいえない。

したがって適当な監視装置が必要となる。表示線がなんらかの原因により短絡あるいは断線故障が発生すればその程度によっては、表示線継電装置が誤動作したり、または不動作になったりする可能性がある。表示線監視方式には表示線 1 対ごとに監視する直接監視方式と、代表監視線のみを監視する代表監視方式とがある。(いずれも新技術による高耐圧設計となっている。)

(1) 直接監視方式

監視する表示線に直接電流を流して、その電流の大きさにより表示線の故障を検出する方式で、代表監視方式に比べ確実に表示線を監視することができる。従来の表示線監視装置は表示線に流す直流電流により直流回路の故障検出としてだけ考えてきたが、今回表示線主継電器を誤動作、または不動作とさせる表示線故障を検出するよう感度を考慮した。その性能および条件は表 6.1 に示すとおりである。これは表示線主継電器に対して最悪の系統条件を考えて、表示線に短絡および断線・地絡故障が発生したとき、表示線継電器が誤不動作、不要動作となる限界に対し余裕をとって故障を検出することができるように定めたものである。

監視継電器としては表示線の短絡断線検出用の PS-4C-D 形表示線監視継電器、地絡検出用の DGE-3C-D 形表示線監視継電器がある。

(2) 代表監視

多心の表示線 ケーブル の外側にとくに代表監視線を巻き、この代表監視線の電流を監視して、異常があれば表示線心の故障とみなす方式である。

したがってその検出対象とする故障は断線・地絡となるが監視

表 6.1 直接監視方式表示線監視継電器性能限界

継電器	性 能	検出抵抗
短 絡 検 出	3 端子系統において 1 端子電源の場合、CT 二次側にて最小内部故障電流の 120% でリレー不動作となる表示線故障点短絡抵抗の 120% 以上を検出する。	検出抵抗 16.0 kΩ 以上
断 線 検 出	2 端子系統において CT 二次側で最大外部故障電流 80 A でリレー誤動作する表示線故障点断線抵抗の 80% 以下を検出する。	検出抵抗 2.5 kΩ 以上
地 絡 検 出	CT 二次側で最大外部故障電流 80 A の系統において 誘導電圧 10 kV 発生したときリレー誤動作するワイヤ地絡故障点抵抗値の 120% 以上を検出する。	検出抵抗 700 kΩ 以上

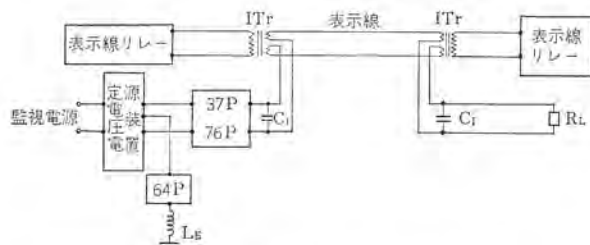


図 6.2 DGE-3C-D 形表示線監視継電器



図 6.3 PS-4C-D 形表示線監視継電器

Fig. 6.2 Type DGE-3C-D pilot wire supervisory relay. Fig. 6.3 Type PS-4C-D pilot wire supervisory relay.



37P, 76P: 短絡断線監視継電器 64P: 地絡監視継電器
ITr: 絶縁変圧器 L_E: リアクト
C_j: 蓄電器箱(表示線継電装置の交流回路形成用)
R_L: 監視電流制限用抵抗器

図 6.4 直接監視式監視装置回路

Fig. 6.4 Circuit of the direct supervisory scheme.

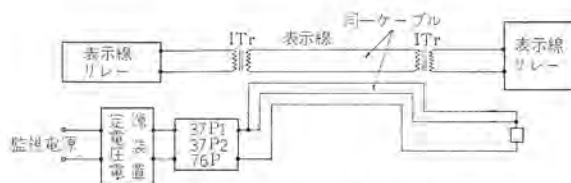


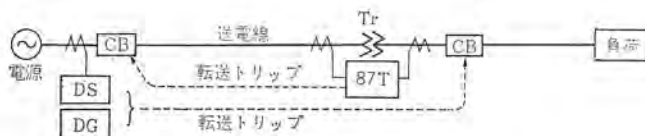
図 6.5 代表監視式監視装置回路

Fig. 6.5 Circuit of the over all supervisory scheme.

装置が直接監視に比べ簡単となるのが大きな特長である。通常代表監視線は 3 本使用し図 6.5 のように構成する。

7. 転送トリップ方式

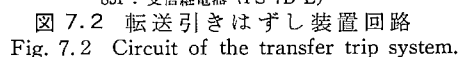
一般に継電器の設置されているところにはシャ断器が設置されているが、場合によっては、図 7.1 のようにシャ断器または継電器が省略される系統がある。転送トリップ装置はそのような系統に用いられるもので、ある端子の継電装置の動作により遠方端子のシャ断器を引きはずす方式である。この場合トリップ信号を送信する回路を設けねばならないが、表示線継電装置を使用した場合は、その表示線を利用できるので非常に有利である。



(DS, DG による負荷側転送トリップ)

図 7.1 転送トリップ使用系統例

Fig. 7.1 The example system transfer trip.



85PX は送信継電器で信号電源と監視電源を切り換え、表示線の直流電流の極性をかえる。85P は受信継電器で有極性となっている。なお、85P は監視電流では不動作極性となる。85PX 動作により電流の極性が反転してこれを検出することにより、転送信号を受信する。

終わりに、三菱表示線継電方式の進歩発展にあたり、各電力会社ならびに関連需要家の関係各位から賜ったご指導ご協力を深謝する次第である。

(1) 森, 寺田, 西浜: 表示線 γ 長増加時表示継電器の適用
限界, 昭 38, 連大

送電線保護継電器 —搬送保護—

古谷昭雄*・山内成周*・前田耕二*・小林 茂**

Line Protection —carrier Protective Relaying—

Kōbe Works Akio FURUYA・Shigechika YAMAUCHI・Kōji MAEDA
Communication Equipment Works Shigeru KOBAYASHI

For simultaneous interruption of whole terminal against faults on a protecting section. It needs to have information of the terminals of counterparts as well as that of a location concerned. This is accomplished by the pilot wire relaying or the carrier relaying. The latter is more advantageous than the former when the protecting section is of a great distance. This carrier relaying is subdivided to a phase comparison system and a direction comparison system. Mitsubishi has set up the direction comparison as standard now-a-days. Based on this concept the article describes the latest problems and special relays for the carrier system developed by the Company.

1. ま え が き

保護区間のいかなる故障に対しても全端同時シタ断を満足するためには、自端のみならず相手端情報の入手が必要である。

自端および相手端の情報を相互に伝達しあい、その総合判定によって動作させようとする方式(パイロット 継電方式)には、信号伝送手段に表示線を使用するパイロットワイヤリレー方式と、搬送波を使用するキャリアリレー方式とがある。(後者には搬送波を一部マイクロ波とする場合も含んでいる。)保護区間が短く、表示線の敷設が容易の場合は、パイロットワイヤリレー方式で十分であるが、コウ長が長く表示線の敷設が困難の場合はキャリアリレー方式のほうが有利となる。

表 1.1 三菱搬送保護継電装置形式名称一覧

形 式	特 長	備 考
PC-100 ダイ	短絡位相比較, 地絡方向比較	昭31~34年ごろ納入のものに多い
PC-200 ダイ	短絡, 地絡とも位相比較	昭34~35年ごろ納入のものに多い
PC-300 ダイ	短絡, 地絡とも方向比較	昭36年以降納入のものに多い

なお、マイクロ波使用の場合は MC-○○○となる。



図 1.1 方向比較搬送保護継電装置外觀
(高抵抗系, 3端子用2回線1端子分)
Fig. 1.1 Exterior view of directional
comparison protective carrier relaying
scheme.

キャリアリレー方式には位相比較と方向比較の両者があり、それぞれ一長一短があるが、方向要素に使用したメインリレーを後備保護に兼用する方向比較方式(超高压系では、後備保護を別置きとする傾向も一部にはあるが)が最近では一般的に採用されている。当社は、昭和30年ごろからキャリアリレーを製作し、頭初は位相比較方式のものを主としていたが、超高压の各相位相比較など特殊用途を除いて、昭和35年ごろから方向比較方式を標準としている。このためここでは、方向比較方式の標準的な考え方を主体に、最近の問題点およびキャリアリレー用の特殊継電器(主として故障検出)などについて述べることにする。なお参考までに、当社搬送保護継電装置の形式名称を表 1.1 に示す。また代表的な装置の写真を図 1.1 に示す。

2. 三菱方向比較方式の動作原理

理想系統の保護のみを考えた方向比較方式では、従来行なわれている方式のままで適用可能であるが、わが国電力系統の下記特殊条件が加味された場合は、そのままでは適用困難となる。

- (a) 無電流端子
- (b) 多端子系統
- (c) 多回線併架送電線
- (d) 多重故障

当社では、上記の特殊な系統条件、故障条件に対しても適用しうる「打返し方式」を標準的に採用し、好成績をあげているので以下その動作原理を紹介する。

この方式の2端子の場合の原理構成図を図 2.1 に、また原理動作を図 2.2 に示す。なおこの考え方は多端子の場合もそのまま適用しうる。

一般に方向比較方式の動作を吟味する上に、図 2.2 に示されている貫通外部、両端流入内部、1端流入内部、無電流外部の四つのケースを考えれば十分である。またそれぞれのケースは、以下の信号の発振状態によって判定できる。図 2.2 から(1)の貫通状態では1端は搬送停止しても他端発振中(4)の外部故障では両端発振のままでいずれもトリップロック、(2)の両端流入状態では両端とも搬送停止でトリップ、そして(3)の1端流入内部故障時には、流入端が搬送停止、非電源端では相手がやめたこと(85-b復帰)と、

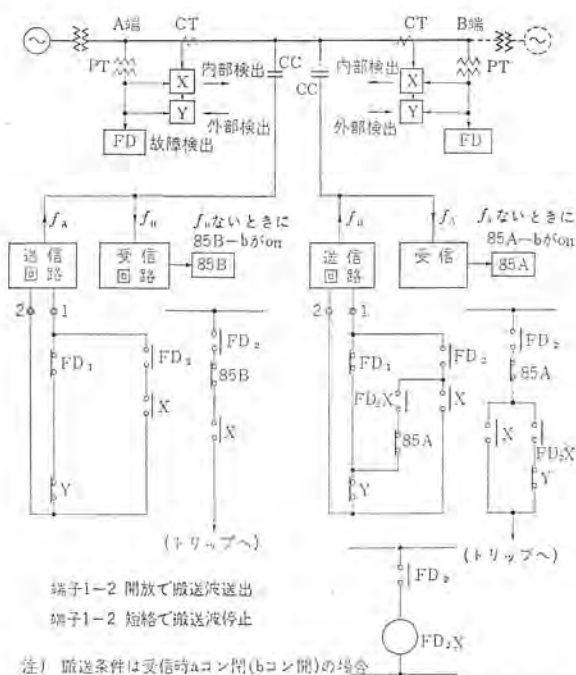


図 2.1 2 端子系搬送保護継電装置原理構成
Fig. 2.1 Construction in principle of two terminal carrier relaying.

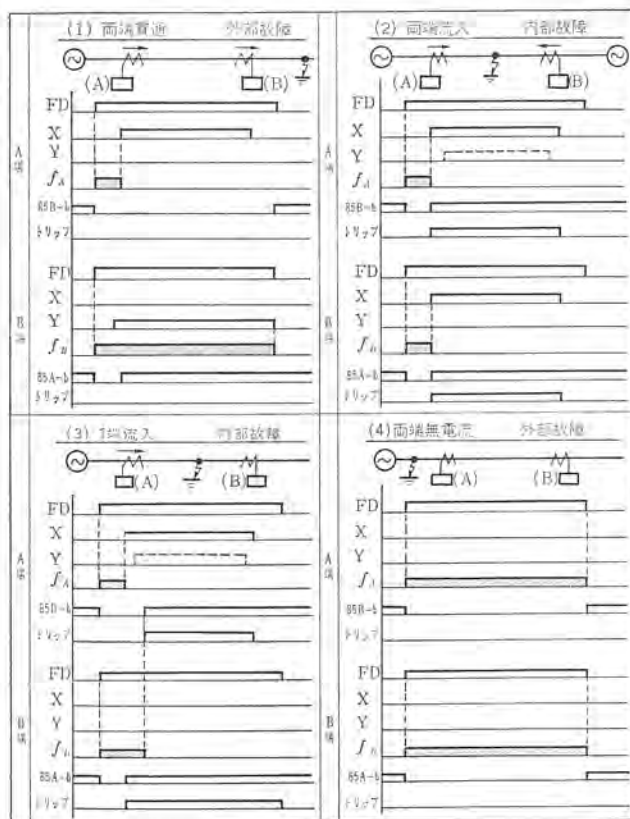


図 2.2 2 端子系搬送保護継電装置原理動作
Fig. 2.2 Operational principle time chart.

自端の外部 (Y) が不動作で、しかも、重故障検出中 (FD₂) であることを条件に搬送波を停止させていることが明らかとなる。すなわちこの方式の特長は、「受信継電器 (85) が相手端搬送波のみ受信し、自端搬送波を受信しないこと (自己受信阻止)」を利用して、内部故障時故障電流が 1 端のみから供給される場合の保護を確実にこなうよう考慮されている点にある。

以上の点を除けば、通常の故障時送出阻止積放式「故障によつて送電線保護継電器—搬送保護—古谷・山内・前田・小林

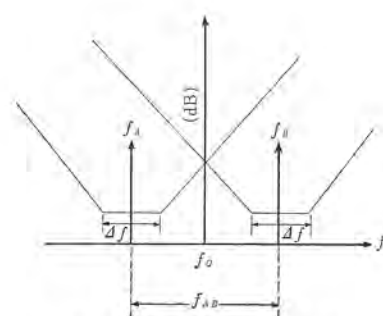


図 2.3 周波数配置図
Fig. 2.3 Allocation of frequencies.

表 2.1 応動時間と周波数帯域幅との関係

TB ms	Δf c/s	f_{AB} c/s
5	200	600
7	150	500
10	100	300

て発振 (FD₁)、内部検出 (X) によって阻止、搬送停止 (85復帰) によってトリップ」の方向比較と変わるところはない。

なお、この場合の周波数配置は各端の周波数差を表 2.1 のように 300~600 c/s 設けることのみを考慮すれば、通常の方法比較搬送装置の許容帯域内で使用可能であり、キャリアビートの心配なく運用できる。図 2.3 で、 f_{AB} は各端送信周波数差、 f_A は A 端中心周波数、 f_B は B 端中心周波数、 f_0 は 2 端子 1 対向の中心周波数、そして Δf は各端受信 0.8 器の通過帯域幅を示す。なお f_{AB} をいくにするかの選択は、搬送受信リレーの動作スピード T_B をいくにするかによって決まる。表 2.1 にその関係を示す。通常 $f_{AB} = 500$ c/s、 $\Delta f = 150$ c/s、 $T_B = 7$ ms が使われる。

標準動作スピード

T_X : 内部検出リレー動作スピード (協調時間 5ms プラス) 25ms 以内

T_B : ビルドダウン 5~7 ms

T_S : シーケンスリレー協調時間 5 ms

両端流入内部故障時

動作時間 $T = T_X + T_B + T_S = 35 \sim 37$

一端流入内部故障時

動作時間 $T = T_X + 2T_B + T_S = 40 \sim 44$

3. 抵抗系標準方式

従来、抵抗系用のキャリアリレーは、154~110kV 系送電線に主として使用されていたが、最近では 77~66kV 系送電線にも適用されるケースが多くなってきている。以下、それらに使われる方向比較キャリアリレーに関し、回線数、端子数、コウ長、背後電源、再閉路の有無などの変化条件を加味した標準的な考え方について、紹介する。

(1) 標準形式

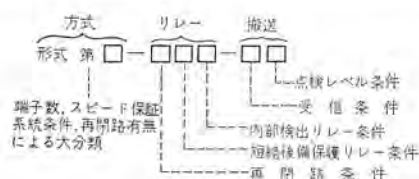
表 3.1 に故障時送出阻止積放式の場合の標準形式を示す。常時送出の場合もこの表に準ずる。なお形式は、系統方式上の大分類と、運用上の小分類とからなるものとしている。また、いずれの場合も所要盤面は 2 回線あたり 700 幅 3 面以内である。

(2) 特長

a. 打返し方式 (異周波方式) を採用しているが、送受信装置の規模内容は同周波方式と同等であり、所要周波数帯域幅が表 2.1 に示すように、若干余分に必要となる程度で以下に述べる種々の特長が発揮される。

表 3.1 三菱方向比較式 (故障時送出) 搬送保護継電装置標準形式

摘 要 形 式	形 式 分 類			添 字 (サフィックス) 分 類							〔リレー条件〕			〔搬 送 条 件〕	
	端 子 数	動作スピード	短絡故障 検 出	再 閉 路		短 絡 後 備			短絡内部 リレー	受信条件	点 検 条 件				
				No		No	1 段	2 段				3 段			
		短絡 50ms 地絡下配	電流補償	0	不 要	1	モ ー	モ ー		S 単 相 リレー	A 受信で 閉	N 正 規 レベル			
				1	高速三相(潮流検出)	2	リアクタンス	モ ー							
	2 端 子	50ms 以内	不 要	2	低速三相(同 上)	3	リアクタンス	リアクタンス (切換式)	モ ー	P 多 相 リレー	B 停止で 閉	L レベル ダウン			
3 端 子	70ms 以内	要	3	低速三相(電流端 先行投入)	4	リアクタンス	リアクタンス (別置き)	モ ー							
第 1	2	50	不 要	0		2, 3, 4			S,P	A,B	N,L				
2	2	50	不 要	1, 2, 3		2, 3, 4			S,P	A,B	N,L				
3	2	50	要	0		1, 2, 3, 4			S,P	A,B	N,L				
4	2	50	要	1, 2, 3		1, 2, 3, 4			S,P	A,B	N,L				
5	2	70	不 要	0		2, 3, 4			S,P	A,B	N,L				
6	2	70	不 要	1, 2, 3		2, 3, 4			S,P	A,B	N,L				
7	2	70	要	0		1, 2, 3, 4			S,P	A,B	N,L				
8	2	70	要	1, 2, 3		1, 2, 3, 4			S,P	A,B	N,L				
9	3	50	要	0		1, 2, 3, 4			S,P	A,B	N,L				
10	3	50	要	2, 3		1, 2, 3, 4			S,P	A,B	N,L				
11	3	70	要	0		1, 2, 3, 4			S,P	A,B	N,L				
12	3	70	要	2, 3		1, 2, 3, 4			S,P	A,B	N,L				



(例) 形式第4-13 S-AN

すなわち、2端子系用、短絡地絡とも50ms、コウ長長く電源大のため27に電流補償必要、高速度再閉路採用、短絡1,2,3段(切換式)、短絡内部方向リレーに単相形使用、受信リレーは、搬送停止で閉、点検は正規レベルの場合を示す

b. 異周波方式であるから、キャリアビートによる誤動作の可能性はまったくない。とくに多端子系統ではこの特長が顕著である。

c. 非電源端対策が確実に取られる。すなわち一般の高抵抗2端子系または3端子系の場合、零相電源(中性点抵抗電流)あるいは正相電源(背後電源)がすべての端子に期待できるケースはきわめて少なく、ときには、1端子しか期待できないケースがよくある。このように、短絡、地絡いずれの場合も、故障電流が1端局のみから供給される状態で確実に全端トリップ動作可能となる。

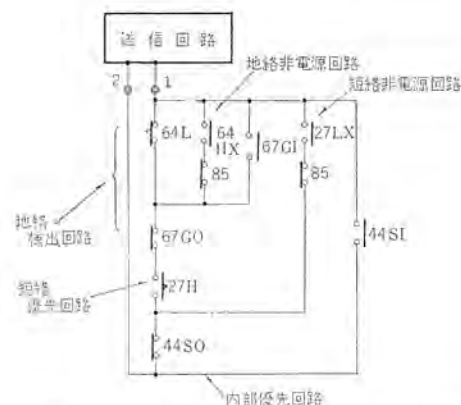
d. 系統条件の変更に伴う移設、増設、改造が容易である。すなわち、3端子系統から4端子系統への変更などが簡単で多端子系への適用に適している。

e. 相手端局を含む点検方式(打返し方式)を採用している。搬送保護継電装置は、お互いに相手の状況を連絡しあうことによって判定動作を行なうものであるから、その点検方式は当然相手を含めて行なうことが望ましい。とくに、伝送回路を含めて行なう方式が理想的である。

f. 多回線併架送電線に生ずる環流誤差電流の対策として、地絡回路について全端対称構成(全端非電源回路を用意)とすれば、一般に回線数に関係なく、内部故障時いずれかの端局から全系NGR電流 I_N の1/2以上が流入するものと期待しうるから、任意の端局が電源端または非電源端となっても保護しうるこの方式の特長が生かされ、従来方式に比較して必要とするNGR電流 I_N を減少しうる。また後述の零相循環電流対策を採用する上に、「任意の端局が電源端または非電源端となっても保護できる」ことが必要となるが、この方式では、簡単にその条件を満たしうる。

(3) シーケンスの考え方

3.2節記載の動作原理および特長を具体化してゆくときの考え方について以下補足説明を行なう。



64L: 地絡故障検出(高感度) 27H: 短絡故障検出(高感度)
 64HX: 同上(低感度) 27LX: 同上(低感度)
 85: 受信リレー 44SI: 短絡内部検出
 67GI: 地絡内部検出 44SO: 短絡外部検出
 67GO: 地絡外部検出

図 3.1 短絡優先付搬送制御回路の代表的な例
 Fig. 3.1 Typical examples of carrier relay control circuit.

a. 短絡、地絡回路の分離(短絡優先)

図 3.1 に搬送制御回路に短絡優先回路をもうけた場合のシーケンスの例を示す。図から明らかなように、地絡検出部分は短絡高感度検出リレー 27H 動作によって殺され、短絡回路が優先される。この部分は2線地絡故障または異相地絡故障時両端の判定動作をそろえることに絶対必要となるものである。なお、トリップ回路も同じ思想で構成されている。

b. 故障電流反転対策

図 3.2 のように2号線B端至近端故障で、B端のみシャ断したときの1号線のリレーについて考えてみると、はじめは実線のように動作し、続いて鎖線のような動作となる。この場合には、44SIによって搬送停止していた条件はすぐ復帰することができず、健全回線誤シャ断することが起こりうる。このため44SIは働かず、

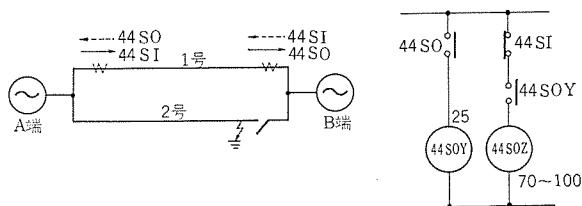


図 3.2 故障電流反転時の対策回路
Fig. 3.2 Counterplan sequence in fault current reversing operation.

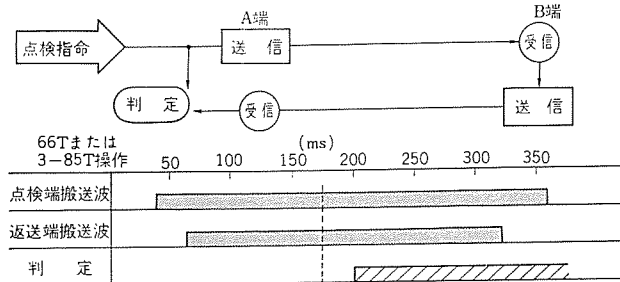


図 3.3 打返し点検方式原理
Fig. 3.3 Diagram in principle of check back inspection scheme.

44SO のみ働いたときは図 3.2 の回路の 44SOZ を検出させ、暫時の間搬送波送出、トリップロックをつづけさせている。なお、内部故障で 44SO、44SI 同時に働いたようなときの不必要 ロックを防止して 44SOY を追加している。

c. 脱調検出回路

内方向検出用 44SI とそれを囲む動作円を持った 56 とを組み合わせて、内部故障時には両者はほぼ同時に動作、脱調発生時には 56 動作してから 44SI 動作まで一定時間（通常 4c/s）以上あることを利用して、脱調ロックをかけている。なお、このロックは 56 復帰後 30c/s 継続させ、脱調周期が早くなっても確実にロックを継続させている。以上は一般に行なわれている検出方式と変わるところはない。

d. 打返し点検回路

図 3.3 に打返し点検方式の原理および点検波送出状況を示す。図から明かなように、1 回の点検で両端の送・受信回路および伝送回路の良否を判定できる。なお、この点検には周期的に時限継電器によって行なう自動点検と、押しボタン手動による手動点検とがある。

e. 非電源端扱い端子の運用上の問題として、全停時または PD フェーズ断時誤シ断の問題があるが、下記対策によりこれを防止している。

(a) 全停一定時間経過後短絡非電源回路をロックする。

(b) 短絡については少なくとも一端を電源扱いとし、過電流リレーを併用する。

(c) PD フェーズ断時には、高速度でトリップ回路をロックするための電圧平衡リレーを併用する。

f. 短絡後備保護に関しては、表 3.1 記載のように種々の方式がとられる。当社は、リアクタンスリレーを必要とするところには、方形特性形の距離リレーを使用してモータ要素との接点協調を不要としている。（詳細 平衡保護の項参照）

なお、短絡については距離リレーを方向判定要素と、バックアップとに兼用させる方式（距離方向比較）を採用しているが、地絡については方向判定要素プラス時限による方式（電力方向比較）を採用

することを標準としている。

4. 最近の技術

4.1 多端子系への拡張

多端子送電線に保護継電方式を適用する場合考慮すべき事項は、

- (1) 系統構成の変更
- (2) 故障回線から故障電流流出現象
- (3) 分岐点誤差
- (4) 不平衡分岐または不平衡流出などである。

以上の諸点は、方向比較キャリアリレーを適用する場合そのまま問題となる点である。以下、実例によってその対策を述べる。

(1) 系統構成の変更に伴って発生する問題として、端子数の増加、電源端扱いの変更および休止端の存在などがある。端子数の増加の場合はある程度の装置改造はやむを得ないが、電源端扱いの変更、休止端の存在などの場合は、スイッチ操作によって簡単に対処できる。

図 4.1 に、3 端子キャリアに電源端選択スイッチを置いた例を示す。図において、電源端扱いを A 端のみとすれば、B 端、C 端では 43S (A) とすることによって A 端キャリア停止を条件に、それぞれ自端の搬送波停止回路を構成する。なお、図では受信リレー 85 として搬送波停止時、接点メークするよう書いてあるので注意されたい。この電源端選択の操作方式を採用すれば、非電源端扱いの端子（図では、B 端、C 端）が任意に休止端となっても、そのままで保護動作に支障ない。さらに、この考え方を保護動作、点検動作いずれにも問題ないよう拡張する考え方として、図 4.2 の方式を推奨する。この方式は下記の問題点を解決するものである。すなわち、

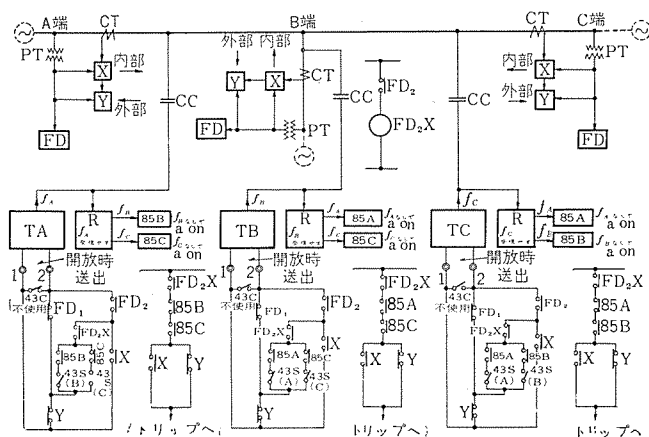


図 4.1 3 端子系搬送保護継電装置原理
Fig. 4.1 Construction in principle of three terminal carrier relaying.

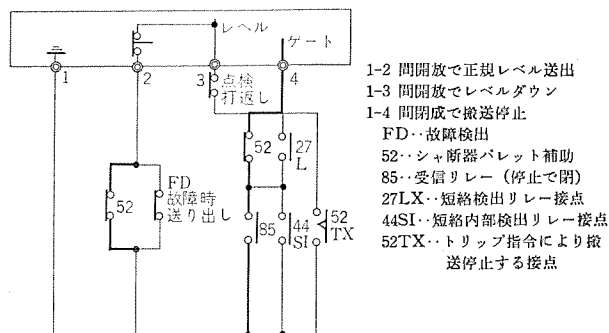
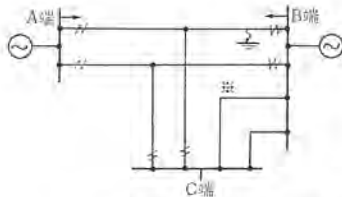


図 4.2 シェ断器開放中の休止端搬送制御回路
Fig. 4.2 Example of carrier control scheme.



※B-C間のループのためB端至近端故障の際、C端では故障回路にもかかわらず流出電流が存在する

図 4.3 内部故障時故障電流出の例
Fig. 4.3 Example of fault current flowing out at inner fault.

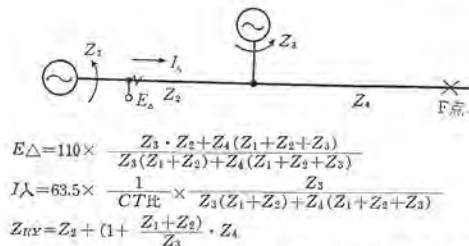


図 4.4 分岐点系統の電圧、電流、インピーダンス関係
Fig. 4.4 Relation among voltage, current and impedance with branch transmission line.

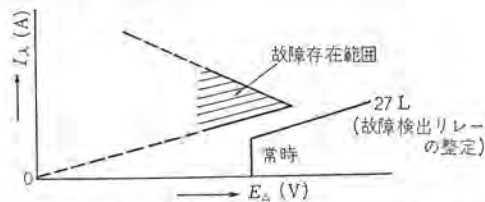


図 4.5 E_{Δ} - I_{Δ} 座標による故障存在範囲の図示
Fig. 4.5 Fault existence sphere with E_{Δ} - I_{Δ} co-ordinate.

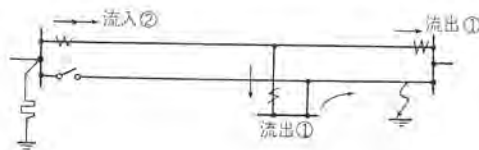


図 4.6 不平衡流出の例
Fig. 4.6 Example of unbalanced fault current flowing out.

(a) 休止端で、シャ断器開放中でも母線電圧健全の場合は、他端からの送出波によって点検波を送り返すので、この間内部故障時のトリップが遅れる。

(b) 非電源端でシャ断器開放中には点検不良を出す。

この対策として、図 4.2 太線部分を追加し、非電源端でシャ断器開放中でも点検動作に異常なく、しかも点検打返しによるトリップ遅れはないよう考慮している。

(2) 故障回路から故障電流出の現象は、図 4.3 のような構成の場合起こりうる。これを防止するためには一般に下記運用によって解決している。

(a) 1 端子休止するときは、2 回路とも停止するか、または全端子とも 1 回路とすること。

(b) 図のような C-B 間のループを作らないよう系統構成する。万々ループがある場合でも流出電流が無視できる程度であること。以上が満足されないときは、距離継電器 1 段の組み合わせによる方法、または差動方式を加味させる方法など複雑な継電方式を考慮する必要がある。

(3) 分岐点誤差の問題には、距離リレーの測定インピーダンスが延びる問題と、故障検出が困難となる問題がある。たとえば図 4.4 の場合、リレー設置点の見る電圧、電流、インピーダンスは図の

付記ようになる。すなわち、分岐点に電源があることによって距離継電器の測定インピーダンスは $Z_1 + Z_2/Z_3$ 分だけ延び、一方、故障電圧、電流は Z_3 によって電圧のみつき上げられるが、 Z_1 による電流は少なく、故障検出がむずかしくなるというケースが多端子系の場合は起こりやすい。このため、適用に当たっては、前述の計算を行ない、その結果にもとづいて内部検出要素の整定を十分大きくするとともに、故障検出リレーについては、図 4.5 のような E_{Δ} - I_{Δ} 座標を描いて整定を決定する必要がある。

(なお、2 端子の場合は図 6.1 のように簡単に求め得られる。)

(4) 不平衡流出の例として図 4.6 をあげることができる。この対策として、外部検出の感度を内部検出の 2 倍以上に選ぶことによって解決している。

4.2 多重故障対策

2 回路送電線で両回路にわたる多重故障の際、一般の搬送リレーでは両回路ともシャ断してしまうのが普通であるが、最近、両回路にわたる多重故障の際、表 4.1 のような動作を行なうものが作られている。この根本思想は短絡回路優先、進み相優先、指定回路優先のいわゆる優先シャ断を行ない、しかも両回路とも短絡故障の場合は必ず両回路ともシャ断するものである。なお、この条件は、片端電源の場合も満足するものである。

以上の検出動作は、再閉路動作と組み合わせて両回路故障でもまったくの無停電送電を可能とするものである。図 4.7 に短絡優先条件検出回路の原理図を示す。図は並行 2 回路 1 端子 1 回路分を示している。

〔記号説明〕

27H: 短絡故障検出高感度 (常時メーク、故障で a コン閉)

27L: 短絡故障検出低感度 (常時オフ、故障で b コン閉)

27LX: 同上 補助リレー

144SI: 短絡内部方向検出

144SO: 短絡外部方向検出

85: 相手端搬送受信リレー (停止で b コン閉)

1A, 1B, 1C: 1 号線各相故障検出要素

1AX, 1BX, 1CX: 同上 補助リレー

2A, 2B, 2C: 2 号線各相故障検出要素

2AX, 2BX, 2CX: 同上 補助リレー

150: 1 号線選択条件

250: 2 号線選択条件

なお、1A~2C の各相故障検出要素は、表 4.2 を入力とした

表 4.1 優先シャ断条件一覧

ケース	1号 2号	故障形態	動作性能	備考
1	AB (ABC)	単純短絡	故障回路のみトリップ	
2	A—B'	両回路異名相地絡	進み相故障回路のみトリップ	
3	AB—A'	両回路短絡、地絡 (2 相にわたる)	短絡故障回路のみトリップ	
4	AB—A'B'	両回路短絡、短絡 (2 相にわたる)	両回路ともトリップ	
5	ABC—A'B'	両回路 3 線、2 線短絡 (流出端あっても)	*	
6	AB—B'C'	両回路 2 線、2 線 (3 相にわたる)	*	
7	AB (ABC)—C'	両回路短絡、地絡 (4 相にわたる)	*	5 を満足させるため
8	A	単純地絡	故障回路のみトリップ	
9	A—A'	両回路同名相地絡	指定回路のみトリップ	

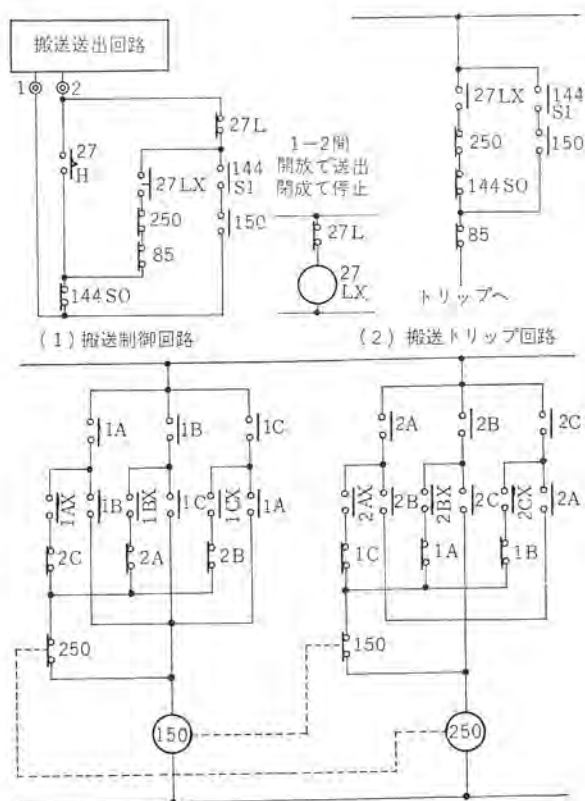


図 4.7 短絡優先条件回路動作説明
Fig. 4.7 Operational principle circuit.

表 4.2 多重故障対策付搬送 リレー 用多相距離継電器入力一覧

相	基準コイル E_{ref}	動作コイル	E_{pot}	I_a
A	E_{BC}	1 号検出	E_a	$-Z[(I_a - kI_a') + k'(I_b - I_b')]$
		2 号検出		$-Z[(I_a' - kI_a) + k'(I_b' - I_b)]$
B	E_{CA}	1 号検出	E_b	$-Z[(I_b - kI_b') + k'(I_c - I_c')]$
		2 号検出		$-Z[(I_b' - kI_b) + k'(I_c' - I_c)]$
C	E_{AB}	1 号検出	E_c	$-Z[(I_c - kI_c') + k'(I_a - I_a')]$
		2 号検出		$-Z[(I_c' - kI_c) + k'(I_a' - I_a)]$

注) ' 印のものは、他回線電流を示す

多相距離継電器である。(多相距離継電器の一般説明については後掲 平衡保護の項を参照されたい。)

以下、この方式の各故障時の動作を説明する。

(1) 単純故障保護動作 (たとえば 1 号 AB 故障)

両端とも 27L 検出, 144SI 動作, 1A, 1B 動作によって 150 検出, 両端 キャリヤ 停止, 85b コン閉じ, 両端トリップする。片端電源の場合は, 上記動作によって電源端搬送停止し非電源端では 27LX 動作, 2 号 A~C 不動作のため 250 不動作, 85b コン閉, 144SO 不動作によって搬送波停止され, 両端トリップする。

(2) 進み相優先動作 (たとえば 1 号 A-2 号 B' 故障)

A 相回線側は 1A, 1AX 動作, 2C 不動作によって 150 検出, B' 相回線側は 2B, 2BX 動作しても, 1A 動作によってロックされる。ゆえに, A 相回線側は 27L 検出, 144SI, 150 動作によって搬送停止, B' 相回線側は 250 不動作により 244SI 動作しても搬送波停止, トリップすることはない。

(3) 重故障優先動作 (たとえば 1 号 AB-2 号 A' 故障)

AB 相回線側は 1A, 1B 動作によって 150 検出, A' 相回線側は 2A, 2AX 動作, 1C 不動作となっても 150 によって, ロック

送電線保護継電器—搬送保護—古谷・山内・前田・小林

され, 250 は動作しない。

(4) 両回線短絡時両回線 2 号断

(たとえば 1 号 AB-2 号 A'B')

AB 相回線側は 1A, 1B 動作によって 150 検出

A'B' 相回線側は 2A, 2B 動作によって 250 検出によって, 両回線ともトリップする。

(5) 指定回線優先動作 (たとえば 1 号 A-2 号 A' 故障)

両回線同名相地絡故障に対しては, 2 回線を指定回線と非指定回線にわけ両回線にトリップ指令が出たときは非指定回線のトリップ時間を数 c/s 遅らせ指定回線のトリップを先行させる方式によっている。

4.3 零相循環電流対策

零相循環電流対策の必要性は, わが国の送電線に限られた敷地で最大限の電力を供給しようとする 2 回線あるいは数回線, ときには異系統を同一鉄塔に併架してゆかなければならないという宿命に起因するものであり, 最近, 送電線保護継電器技術において脚光を浴びている問題である。キャリヤリレーにおいて零相循環電流が問題となるのは, 「誤動作することなく不動作となること」を防止するためのものである。たとえば, 常時の零相循環電流が 200 A あり, NGR 100 A の系統の例を考えてみると図 4.8 のように, 健全回線は同一電流が貫通し通常の外部故障と変わることはないが(不動作), 故障回線では, 内部故障にもかかわらず流出してしまい トリップ 不能をきたすことが, 明らかである。

この対策として, 方向のみを判定して内外を検出させている方向比較の考え方に, 何らかの差動方式(両端の電流値を比較)を加味させる必要を生じる。すなわち, 図 4.8 (2), (3) に着目すれば下記が明らかとなる。故障回線は必ず |流入電流| > |流出電流| であり, しかもこの差は NGR 電流に等しいということである。

当社では, 上記を打返し方式の搬送方式(地絡に関しては, 全端非電源回路を準備した対称構成とする)を適用し, 次に述べるような周期伝達方式の採用によって具体化している。以下, 周期伝達方式の原理動作について説明する。なお, この対策を施した搬送保護継電器装置は, 模擬送電線によるテストの結果, NGR 電流 100 A, 循環電流 300 A の系統でも確実に故障回線トリップ, 健全回線ロックが可能であり, 循環電流発生相と故障相とが違っ

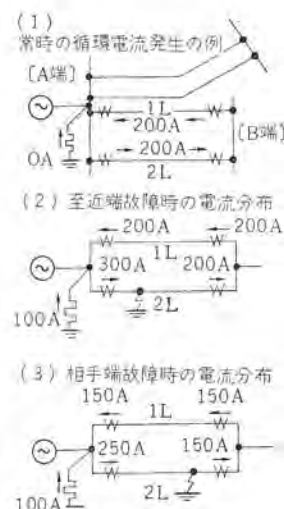


図 4.8 零相循環電流発生している系統の地絡故障の例
Fig. 4.8 Earth fault example of the system generating zero-phase sequence circular current.

NO	問題点	原因	備考
1	内部1φGで短絡距離リレー（内向）動作することあり	短絡リレー（ab相用）動作 $V_{ab} = 63.5V$ $I_k = 27A$	背後電源大きいときは常に発生する 地絡事故時短絡回路ロケツ（地絡優先）必要
2	内部1φGで短絡距離リレー内向不動作外向の動作することあり	短絡リレー、外部検出内部は、AB、BC、CAも不動作 内部 外部	地絡優先必要
3	背後1φGで内部地絡リレーの健全相が動作することあり	内部地絡リレー健全相（a相）動作することあり $V_a = 63.5V$ $I_a = 0.65(3I_k) \approx 0.65 \times 70A = 40A$	地絡方向リレーの値に地絡相検出動作を入れる必要がある
4	背後2φSで内部地絡リレー動作することあり	A相地絡リレー動作することあり $V_a = 31.7V$ $I_a = 60A$	前方電源大きときに閉路 地絡方向リレーの値に地絡相検出動作を入れる必要がある
5	2線地絡時進み相側リアクタンスリレーがオペリ-チすることあり	正相 零相 電流 > 約2 通常のケース b相故障時各相検出リレーの見るインピーダンス	進み相側ロックスの必要あり
6	2線地絡時遅れ相側リアクタンスリレーがオペリ-チすることあり	正相 零相 電流 < 約2 通常のケース b相故障時各相検出リレーの見るインピーダンス	遅れ相側ロックスの必要あり

次に地絡優先の場合、一般にとられている地絡相検出回路例を図 5.3 に示す。図で特長とするものは 1φG 故障時のみ復帰して短絡回路をロックさせる 27GX の存在と地絡故障時常にトリップ回路ができていたため 2 線地絡時のオーバーチ 対策を必要とする点とにある。なお、この方式を、背後電源大きく 100V 長大のところを使用する場合には、27G に電流補償をしたり、または、相別距離リレーを使用したりすることにより拡張できる。図 5.3 に示

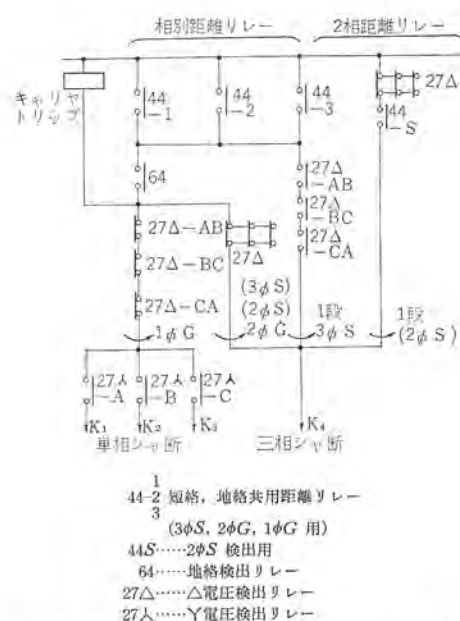


図 5.1 短絡地絡用 リレー 使用時の基本回路 (短絡優先)
Fig. 5.1 Basic connection of trip circuit
(short circuit superior).

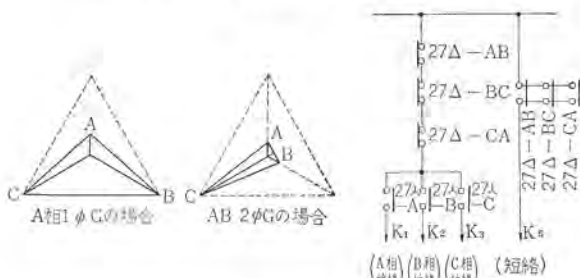


圖 5.2 短絡優先式地絡相檢出動作原理
Fig. 5.2 Diagram showing the principle of detecting the phase of ground fault.

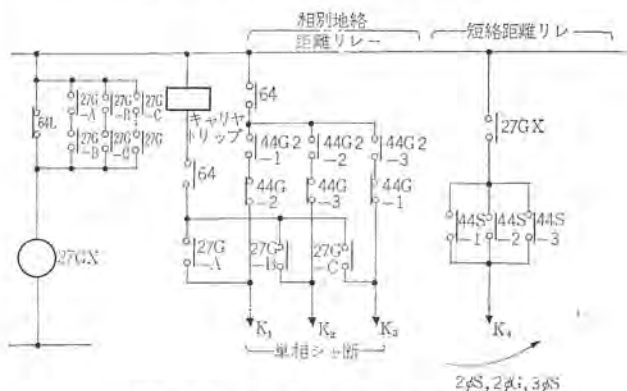


図 5.3 地絡優先時の基本回路
Fig. 5.3 Basic connection of trip circuit
(ground fault superior).

されるシーケンスのものは、27 Gに上記の変形を加えれば適用範囲が広がるので、2 ϕ Gのオーバーチ対策の点で多少シーケンスは複雑となるが実際にはいちばん多く使用されている。ただし、この方式は非電源となったときの地絡相検出が不能となるため、その可能性あるところでは別に図5.2の部分を付加する必要がある。

終わりに、最近「1線地絡故障時のみ動作し、 $2\phi S$ 、 $2\phi G$ 、 $3\phi S$ 故障には絶対働くことのない地絡相検出リレー」の開発に成功したので、その概要を紹介する。図 5.4 にこの地絡相検出リレーを使用した場合の基本回路を示す。図から明らかなように、

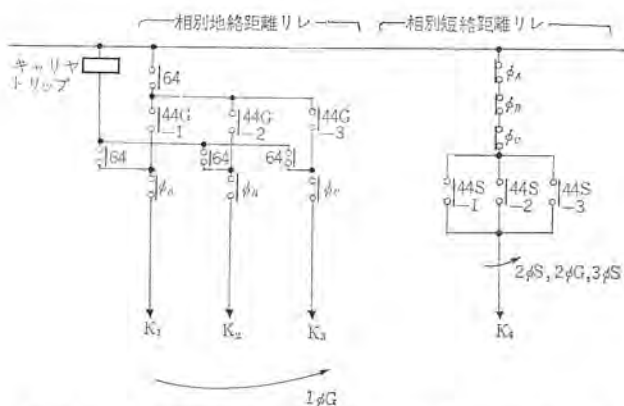
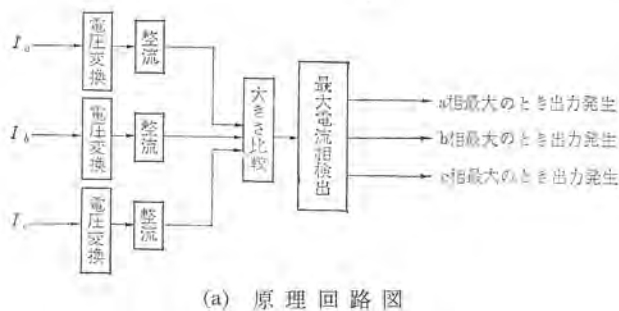
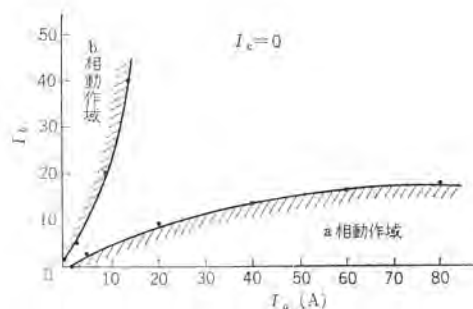


図 5.4 最大電流検出式地絡相検出 リレー 使用時の基本回路
Fig. 5.4 Basic connection of trip circuit using detector of max. current phase.



(a) 原理回路図



(b) 比率特性

図 5.5 最大電流検出式地絡相検出継電器原理
Fig. 5.5 Block diagram I characteristics of detector "max. current phase".

この方式は現在考えられる最もシンプルなシーケンス構成である。しかもこの リレーは、1 線地絡以外には絶対に動作することがないという特長を生かせば、表 5.1 のような問題点を完全に解決でき、従来地絡相検出困難といわれる系統（3 端子系の分岐端で電圧はほとんど下がらず電流もない系統）にも適用可能となる。そこで、図 5.4 に 図 5.3 を加味させれば、いかなる系統にも適用可能な万能形の地絡相検出が可能となる。なお、この方式は、オルトランジスタ、キャリヤリレー方式に適用、工場テストの結果きわめて良好な結果を得ているものである。

将来キャリヤリレーのオルトランジスタ化ということを考えればこの方式の実用化も比較的早く到来するものと考えられる。図 5.5 に上記、地絡相検出継電器の原理図および特性例を示す。すなわち、この継電器は、三相電流をお互いに抑制しあうことによって、1 相の電流のみがほかの相より著しく大きいときのみ検出し、ほかの 1 相、または 2 相に同程度の大きさの電流あるときは必ず出力発生を阻止させるものである。1φG に対しては、1 相のみであれば、1A 程度という高感度検出が可能であるが、2φS、2φG、3φS に対してはいずれかの 2 相が 30A、15A とばらついてても不動作状態

を示す点特筆すべきものである。

6. 搬送保護用特殊継電器（主として抵抗系用）

方向比較式搬送保護 リレー 用の主要継電器はほとんど 3 章記載のものと同一であるのでこの項での説明は省略し、キャリヤ 専用継電器についてのみ簡単に概要を紹介する。

(1) 搬送継電器

表 6.1 のように 4 種が標準である。

(2) 短絡故障検出継電器（詳細は参考文献（2）を参照されたい）

表 6.2 のように 2 種が標準である。

なお、表で電流補償の必要有無をチェックする方法として、図 6.1 に示す作図法は 実用価値の大きいものである点を付記しておく。

(3) 地絡故障検出継電器

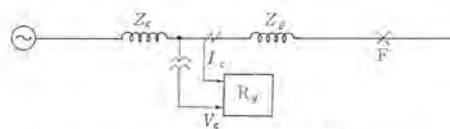
数年前までは V_0-V_2 座標で動作をうねぬる KVG 形 1 線

表 6.1 搬送継電器標準

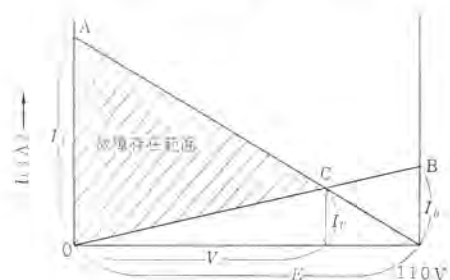
選択基準	形 名	定 格	備 考
端子数 2 受信条件 A (受信で閉)	TPC-2A-N 形 搬送継電器	DC 110V	受信リレー 3 個入り 動作表示器 2 個入り
* 受信条件 (停止で閉)	TPC-2B-N 形 搬送継電器	同 上	同 上
端子数 3 受信条件 A (受信で閉)	TPC-3A-N 形 搬送継電器	同 上	受信リレー 6 個入り 動作表示器 2 個入り
* 受信条件 B (停止で閉)	TPC-3B-N 形 搬送継電器	同 上	同 上

表 6.2 短絡故障検出継電器標準

選 択 基 準	器具番号	形 名	定 格	備 考
「区間内故障電圧、電流補償」の算定結果により、電流補償不要のとき	27H	KVA-1-D 形 故障検出継電器	AC 110V 80-95V	27L, 27H 0P 0
	27L	KVA-2-D 形 故障検出継電器	AC 110V 65-80V	
電流補償必要のとき	27H	KVC-3-D 形 故障検出継電器	AC 110V, 5A 75-90V	27L, 27H 0P 0
	27L	KVC-2-D 形 故障検出継電器	AC 110V, 5A 65-80V	



(1) 系統図 (リレー 換算 Ω 値とする)



(2) 作図法

$$I_A = \frac{E/\sqrt{3}}{Z_g}$$

$$I_B = \frac{E/\sqrt{3}}{Z_e}$$

$$I_C = \frac{E/\sqrt{3}}{Z_g + Z_e}$$

$$V_c = \frac{E}{Z_g + Z_e} \cdot Z_e$$

図 6.1 短絡故障検出 リレー のみる区間内故障電圧電流存在範囲

Fig. 6.1 Voltage and current distribution in case of the internal fault at protective zone.

地絡検出継電器を使用していたが、最近では 27H による短絡優先の採用により、単なる V_0 検出式のものに変えている。なお、 V_0 検出式には普通 スピード のときは、シリンダ形の KV-D(25~35V または 20~50V) を、高速度形の場合はトランジスタ式の KVB-2-D(25~50V) を使用する。後者は、1 要素の中に 64H, 64L を内蔵し、64L は 70ms 以上の復帰時間をもたせている点に特長がある。

7. 電力線搬送電流装置

この装置は、保護継電器装置からの接点信号を相手端に伝送し、じん速に事故処理を行なうもので、装置の信頼度、動作の安定度にとくに留意されている。

(1) 特 長

- a. 1 端子が架高 1,000 に収容されており、増設、移設が容易である。
- b. すべて小形実装されており、保守試験に便利なよう考慮してある。
- c. 全トランジスタ化されており、周囲温度 0~40°C で完全密閉でも安定に動作する。
- d. 電源は、交流 200V、または直流 24V を用い、消費電力を極力小さく設計している。したがって、フロート電池が小さくてよい。

(2) 仕 様

- a. 方 式
方向比較、故障時送出、阻止解放方式
- b. 適用系統
2 端子系 (送信回路 1, 受信回路 1)
3 端子系 (送信回路 1, 受信回路 2)
- c. 使用条件
温度範囲 0~40°C
湿 度 40~85%
電源変動 $\pm 10\%$
ただし 20% 上昇 1 時間継続して支障なし
- d. 受け渡し条件
送出制御 接点
レベル制御 接点
受信出力 電流 または 接点
- e. 性 能
動作時間 7 ms 以下
出力レベル 線路端で +37 dB
入力レベル +5~35dB に適合 (線路端)
受信特性 入力レベル ± 10 dB 変動で動作に支障なし
- f. 電源消費電力 (DC 24 V)
搬送波阻止 約 1.5 A
搬送波送出 約 2.5 A
- g. 構 造
1 端子を架高 1,000 標準搬送架に収容
架上端子 中継線、搬送同軸接栓
架下端子 電源線
- h. 警報、表示および試験
警 報 ヒューズ断、過電圧および打返し点検不良
表 示 使用、不使用、トリップ、過電圧
試 験 試験送出 (全出力)



図 7.1 PC-4AM 形 搬送電流装置外観
Fig. 7.1 Type PC-4AM carrier equipment.

測 定 各盤にはすべてレベル測定端子が設けてある。
また、受信出力には出力電流計が入れてある。

(3) 回路の機能および特性

装置は下記盤から構成されている。

搬送発振器盤	C, OSC
ゲート盤	GATE
送信増幅器盤	TA
線路ロハ器盤	LF
受信ロハ器盤	RBF
受信検波器盤	DET
電源盤	POW ₁ , POW ₂

a. 搬送波発振器盤

水晶発振回路からなり、安定度は ± 10 c/s 以内である。また、経年変化によりレベル変動しないよう、振幅制限回路を設けている。

b. ゲート盤

外部接点の開閉により搬送波の送出、阻止とレベル制御を行なう回路で、送出阻止の比は 60 dB 以上、また、レベル制御は 1 dB ステップで、0~20 dB に設定できる。

c. 送信増幅器盤

シリコントランジスタ 2 個による B 級 PP 回路で、高効率で動作し、消費電力が著しく少ない。したがって温度上昇が低いため安定度がすぐれている。この盤には、線路出力計が設けてある。

d. 受信ロハ器盤

線路端入力レベルに適合する減衰器と水晶ロハ器からなる。入力側には過大な線路雑音により破壊されないよう雑音吸収回路が設けてある。

e. 受信検波器盤

負帰還増幅器と波形成回路からなり、出力は搬送波着信で電流ありと、着信なしで電流ありの 2 回線を有している。出力

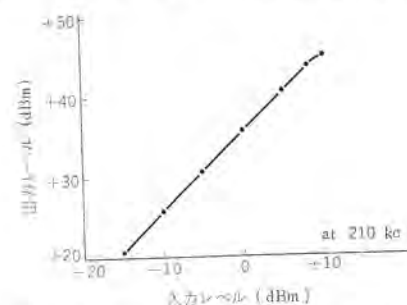


図 7.2 電力増幅器盤過負荷特性
Fig. 7.2 TA. Over Load characteristic.

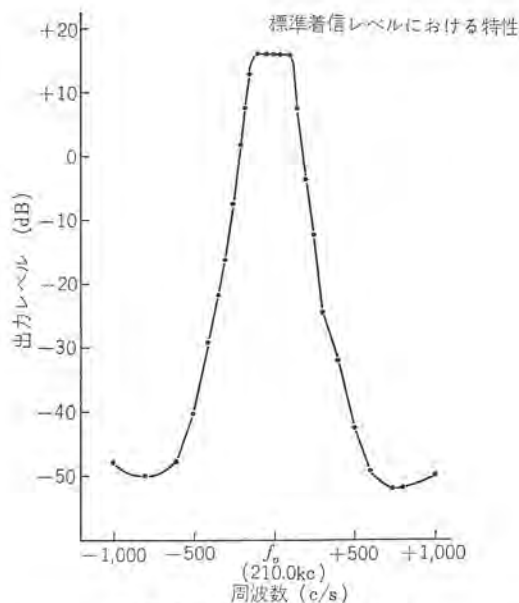


図 7.3 受信総合利得特性
Fig. 7.3 RA-Over all frequency characteristic.

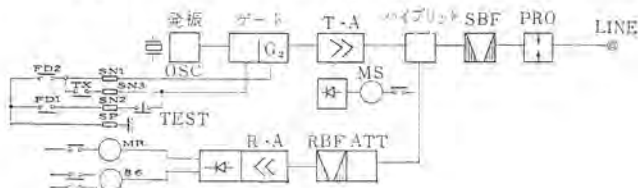


図 7.4 装置構成
Fig. 7.4 PC-4AM block diagram.

電流は 30 mA.

f. 電源盤

交流、直流電源盤にわかれており、装置は直流 24V、⊕接地で動作するよう設計されている。

交流電源盤には整流盤と浮動充電盤の 2 種類がある。

各盤ともラダー構造になっている。

そのほか、試験盤は、動作状態の表示と送信試験が可能であり、内部のコセン(跨栓)盤は中継線の切り開き試験ができるようになっている。

(4) 装置の動作 装置構成を図 7.4 に示す。

a. 送出阻止動作

(a) 正常時 ゲート G_1 , G_2 には地気が与えられ、搬送波は阻止されている。

地気-SP-FD₁-SN₂-TEST-SN₃-TX-SN₁- G_2 (送出制御)
— G_1 (レベル制御)

(b) 打返し点検時

地気-SP-FD₁-SN₂-TEST-SN₃-TX…………… G_2 (地気なし)
— G_1 (地気あり)

G_1 地気あり, G_2 地気なしで、レベル低下で送出される。

(c) 装置内試験

地気-SP-FD₁-SN₂-TEST…………… G_2 (地気なし)
…………… G_1 (地気なし)

G_1 , G_2 共に地気なしで、最大出力送出となる。

(d) 線路故障時 (FD₁ 動作)

地気-SP-FD₁…………… G_2 (地気なし)
…………… G_1 (")

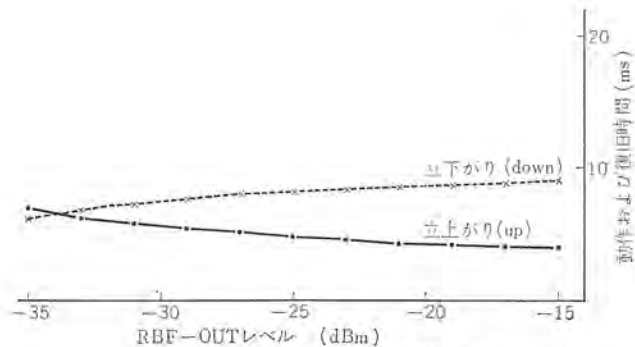


図 7.5 受信リレー動作運動時間
Fig. 7.5 Receiving relay operation time.

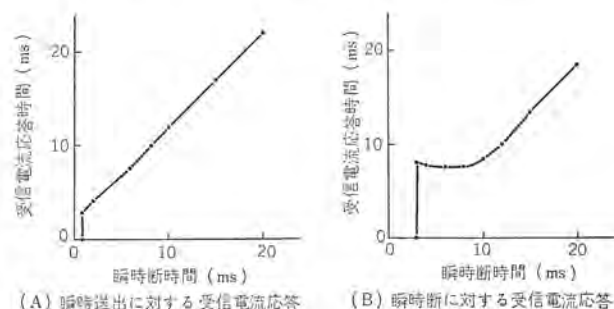


図 7.6 受信継電器過度応答時間
Fig. 7.6 Receiving relay carrier transient response time.

G_1 , G_2 ともに地気なしで最大出力送出。

(e) 内部故障時 (FD₂ 動作)

地気-SP-FD₂-SN₁- G_2 (地気あり)

G_2 に地気が与えられ、強制的に阻止される。

なお、搬送波送出により、MS リレー動作し、その接点を閉じる。

b. 受信動作

到着搬送波は、ハイブリッドコイルから受信ロハ器を通して増幅され、受信リレーを動作する。図で、85は信号リレー、MR は搬送波ありで動作し、接点を閉じるリレーである。

受信出力の瞬時送出、瞬時断に対する応答を図 7.6 に示す。

(a) 装置実装方式

各盤はすべて新しく開発された M 形実装方式が用いられている。空間の利用率が高いため、通風が良好であるとともに、架束線の引き込みが容易になっている。

8. む す び

以上、搬送保護の各方式および継電器について当社の現状を述べたのであるが、さらに新たな方式、継電器について研究開発を進めており、これらについては稿を改めて発表する。

終わりに、上述の搬送保護継電装置製作納入にあたって各電力会社をはじめ関係各位のご指導ご協力を深謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 曾我, 百瀬, 加藤, 北浦, 古谷: 多重故障対策, 零相循環電流対策付搬送保護継電方式, 「三菱電機技報」39, 1351 (昭 40)
- (2) 北浦, 古谷: 最近の送電線保護継電装置 (4) —故障検出継電器—「三菱電機技報」37, 1372 (昭 38)

送電線保護継電器 —平衡保護(距離・方向保護を含む)—

古谷昭雄*・高田信治*・中村勝己*

Line Protection —Balance Protective Relaying (Including Distance Protective Relaying)—

Kōbe Works

Akio FURUYA・Nobuharu TAKATA・Katsumi NAKAMURA

As the electric power systems expand and the service to the power consumers improves, higher reliability and higher selectivity are demanded on protective devices for transmission lines at below 60~70 kV. Especially for the balanced protective relaying used for two circuit transmission lines, establishment of a standard system in conformity with the condition of the power system is strongly called for. This article deals with the operating principle and problems on the latest balanced protective relaying technology and also on the countermeasure for multi faults and on technique of transistorized relay scheme. Portable high speed transmission protective relays with all static elements stated last are of particular interest.

表 2.1 三菱 バランスリレー 標準形式

形式	HSS	HSG	短絡待偏	地絡待偏	盤面	適用基準
第 1 形式		(短絡待偏付)		HDG + TL	700 2面	重要送電線 超高圧系に連係している送電線
第 2 形式		(短絡待偏付)		HDL + TL	700 2面 または 800 1面	同上 ただし、1線用として モー・リレーの 適用可能な場合
第 3 形式		(短絡待偏付)		HDG + TL (誘導形使用の場合もある)	700 (600) 1面	一般60kV系保護
第 4 形式		(短絡待偏付)		HDG + TL 2回線用のOC付	700 (600) 1面	同上 前号機内保護付
第 5 形式				2回線合成 HDG + TL	700 (600) 1面	HSSを短絡1段で代用 その他第1形式に準ずる
第 6 形式				2回線合成 HDG + TL	700 (600) 1面	同上 ただし、1線用として モー・リレーの 適用可能な場合
第 7 形式			は例題時インピーダンスリレー(電圧抑制付) 誘導形過電流OC付 または電圧抑制付OC付	HDG + TL (誘導形使用の場合もある)	700 (600) 1面	負荷線でも方向性不用 相手端にも電圧あるときは第3形式とする
第 8 形式	(誘導形使用の場合もある)		誘導形過電流OC付 または電圧抑制付OC付	誘導形過電流OC付	700 (600) 1面	30kV以下の送電線の場合

1. ま え が き

本文では搬送、表示線保護を除いた一般の送電線保護方式および送電線保護継電器全般について紹介する。最近の電力系統拡大サービス向上に伴って 60~77 kV 系以下の送電線の保護装置には従来に増して信頼性および選択性の高いものが要求されている。とくに 2 回線送電線に使用される平衡保護方式については、系統条件に見合った標準方式の確立が強く要求されている。2 章にそれらの標準方式について述べ、さらに多重故障時の保護動作をも加味した方式について言及する。

5~7 章では、パイロット 継電装置の方向要素にも使用されている距離継電器及び方向地絡継電器について、機械式のものとトランジスタ式のものと両者を紹介する。

また最近、継電装置の試験時の回線ロック、リレーロックが困難となり、その対策として PHR 形可搬式送電線保護継電装置が開発されているのでその概要を紹介する。

最後に以上の各章に載らない一般の送電線保護継電器について簡単な紹介を行なう。

2. 平衡保護標準方式

20~70 kV 系送電線の保護装置に信頼性および選択性の高いものが要求されていることは衆知のとおりであるが、既設装置の性能向上のための取り換えまたは限られた盤スペース内での増設ということを考えると、盤面占有面積の縮小も必要な条件となってくる。一方既設保護方式との協調も無視することはできない。

(1) 標準形式

以上のようなあい反する要求をともに満足させるため、当社の標準方式を吟味集約したものを表 2.1 に示す。

これらの形式のうち最も多くの実績を有するものは、第 1 形式、第 3 形式および第 8 形式である。図 2.1 に第 1 形式の盤面図例を示す。

(2) 特 長

以下これらの各形式について共通的な特長を要約する。

a. インピーダンス、バランス方式を採用している。

従来、選択短絡用には高速度電力方向継電器が使用されている



図 2.1 三菱 バランスリレー 盤面図例
(第 1 形式の場合の例)
Fig. 2.1 Front view of Mitsubishi balance relay panel
(Type I).

が、適用上方向要素と過電流要素との接点協調の問題、不平衡負荷時の選択性の向上および不平衡電流による誤動作防止のための電圧抑制効果付加の問題、および至近端故障時の記憶効果の必要性など、十分の留意を払う必要がある。当社では、これらの条件をともに満足させるものとして、モータリ・インピーダンス 継電器 2 組を使用することを標準的に採用している。

モータリ・インピーダンス 継電器は、本質的にインピーダンス検出と方向検出とを兼ね備え、同時に電圧抑制の効果も十分に持っているため、不平衡負荷送電線の選択短絡方式の適用範囲拡大に益するところ大である。なお、インピーダンス・バランス採用の場合の問題点については(3)で検討する。

b. 選択地絡リレーの適用にとくに留意している。

従来、高抵抗系の選択地絡リレーに、しばしば問題となっている事項を考察すると、下記諸点をあげることができる。

- (a) 電圧抑制ないための振動、衝撃などによる不要動作
- (b) 過大入力(異相地絡)時のリレー破損の問題
- (c) 過大入力域における不動作現象(位相特性の問題)
- (d) 高調波過渡入力による不要動作

以上の問題はいずれも選択地絡リレー自体の特性に起因するものである。地絡方向継電器には上記に対し十分の考慮を払うべきである。6章に上記を満足した地絡方向継電器の例を記述する。

c. 最も確実なインターロック方式を採用している。

通常選択回路のシーケンスの頭には、両回線主断器のバレットスイッチ接点を直列に入れており、1回線選択トリップ後選択回路を殺して、故障電流反転による健全回線ミストリップを防止しているが、このバレットスイッチの動作にバラツキあるときは、インターロックが不十分となる。このため従来一般に採用されている方式は、別にトリップ電流によって起動するインターロックリレーを使用し、その接点によって他回線をロックし、しかもそのロック接点に復帰時間を与えているのが通常である。一般にはこの復帰時間を適当に選ぶことによって、十分その効果を期待できるが、「このインターロックの復帰時間特性付加の責務は、バレットスイッチ開放までである」点に着目すれば、図 2.2 の 150TL, 250TL に予励磁を与えて置き、一度トリップ電流が流れたことによって、バレットスイッチ 152, 252 開放まで確実に健全回線ロックを継続する方式が可能となる。

d. 短絡バックアップ(回線別短絡保護)方式に柔軟性を持たしている。

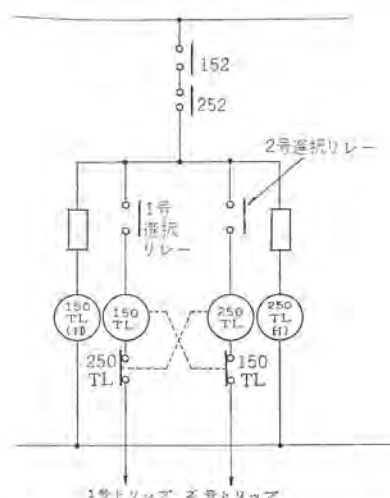


図 2.2 インターロックシーケンス回路
Fig. 2.2 Inter-lock sequence circuit.

また、リアクタンスリレーとモータリとの接点協調の問題を解決している。バランスロにおいて同時に回線別の短絡保護をどうするかということが問題となる。たとえば、超高圧送電線に直接関係されているものや、重要送電系統の一面をなしているものでは、選択短絡のほか、保護区間の短絡故障が上位系統に波及することを防止するため、各回線ごとに短絡 1, 2, 3 段と用意する必要がある。一般には、1, 2 段用としてリアクタンスリレーが使用されるが、この場合 3 段用のモータリ要素と、1, 2 段用リアクタンス要素の接点協調がしばしば問題となる。通常リアクタンス要素は負荷状態で動作中のため、モータリ要素との接点協調をとるためのシーケンス回路を必要とするが、当社では、リアクタンス要素として四辺形特性のもの(KKS形)を使用しているため、図 2.3 のようにまったく接点協調回路不要の方式としうる。また、第 5 形式のもの(第 3 形式にも採用できる)では、モータリ、リアクタンス要素とも静止化形(KMS形)しており、回路内で論理的結合をしているので、同じく接点協調不要の方式となる。

e. 短絡優先を原則的にかけている。

一般に短絡優先が必要となる理由として、異相地絡時の SG リレーの動作をロックすることがあげられるが、これ以外に背後電源大きいときの 2 回線が結ばれた相手端子近くの 2 線地絡故障時に、大きな短絡電流のため、両回線 CT のわずかの特性差で容易に零相電流を生じ、選択地絡リレー誤動作が起こることを防止する目的もある。

f. 盤面スペースの縮小を計っている。

これは技術的な特長とはいえないが、案外問題となるものとして盤面の問題を見のがすわけにゆかない。最近の傾向として短絡

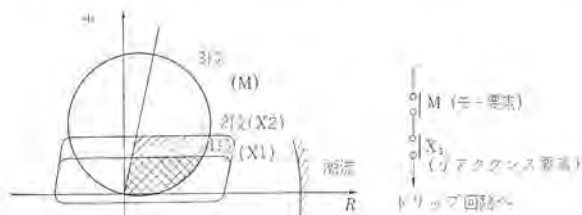


図 2.3 短絡距離継電器整定図およびトリップ回路
Fig. 2.3 Principle of 3rd. step distance relaying & trip circuit of 1st step.

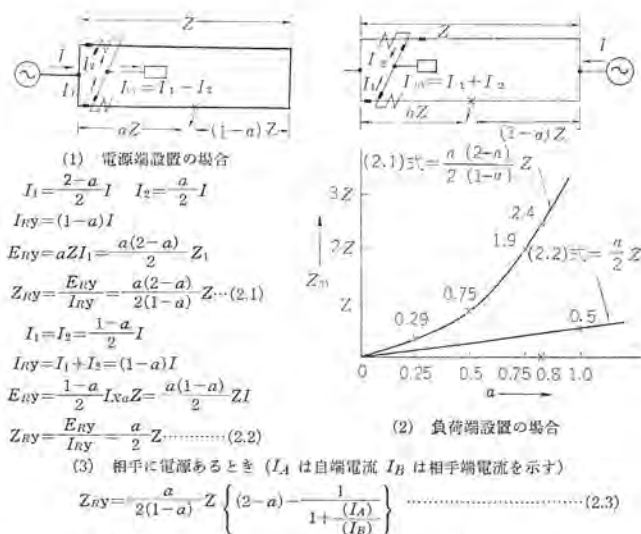


図 2.4 インピーダンスバランスの整定説明(その1)
Fig. 2.4 Calculation to set the tap of impedance balance relay.

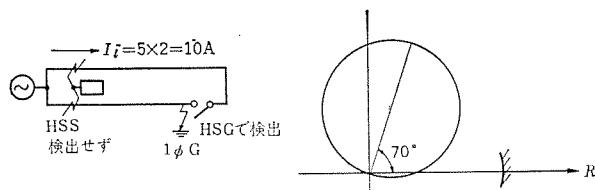


図 2.5 インピーダンスバランスの整定説明 (その2)
Fig. 2.5 Check point to apply impedance balance relay.

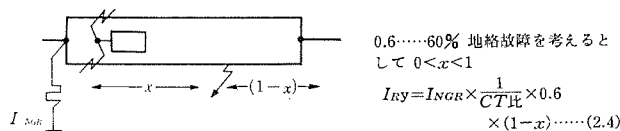


図 2.6 選択地絡リレーの整定説明
Fig. 2.6 Calculation to set the tap of selective ground relay.

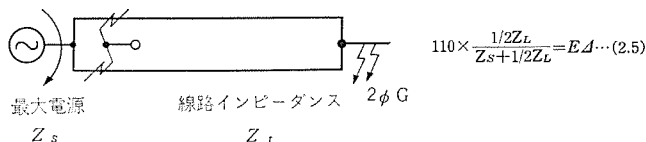


図 2.7 短絡優先リレーの整定説明
Fig. 2.7 Calculation of under voltage relay for preferential short circuit.

後備に何段か置くもの以外は、2回線1組で700幅1面に収納することが常識となっている。表 2.1 にそれぞれの標準方式の盤面数を示している。

(3) 適用上の問題点吟味

a. インピーダンスバランスリレーの整定基準

一般に保護区間の 80% までを確実に選択するためには、リレーの整定として保護区間インピーダンス (1回線) の 250% 以上にする。たとえば、10 km, PT 比 77 kV/110 V=700, CT 比 800/5=160 の場合では $Z=10 \text{ km} \times 0.5 \Omega/\text{km} \times 160/700=1.25 \Omega$, そこで選択リレーの整定は $1.25 \times 2.5 \div 3 \Omega$ となる。図 2.4 に 250% 整定の根拠を示す。

なお、図の式 (2.3) で $I_R=0$ とすれば式 (2.1) が、 $I_A=0$ とすれば式 (2.2) が得られることより式 (2.2) すなわち、電源端設置の場合が最もきびしい場合であり、相手に電源があればそれだけ検出能力は上ってくることは明らかとなる。一般に、整定が大きいほど検出感度は上るため、図 2.5 に示すような「1回線開放したとき、負荷電流により HSS 誤動作する」心配のない範囲で、負荷端、電源端、両端電源のいかに関係なく 250% 以上の整定 (図 2.5 にかからない範囲では 500% でもよい) にすることが推奨される。

b. 選択地絡リレーの整定基準

図 2.6 式 (2.4) において、NGR 電源が自端または相手端いずれにあって両者の合成電流を I_{NGR} とし、 $x=0.8$ (80% 故障) で I_{Ry} の値が使用タップの 200% 以上になるよう選択する。なお、上記使用タップで異相地絡時短絡電流が零相回路に流れることを考慮し、その短絡電流でコイル破損しないことをチェックする必要がある。(DGB 形ではタップ値の 400 倍 2 秒を保証している)

c. 短絡優先リレーの整定基準

図 2.7 式 (2.5) の算出電圧値の 150% 以上の電圧タップに選ぶ。

送電線保護継電器—平衡保護—古谷・高田・中村

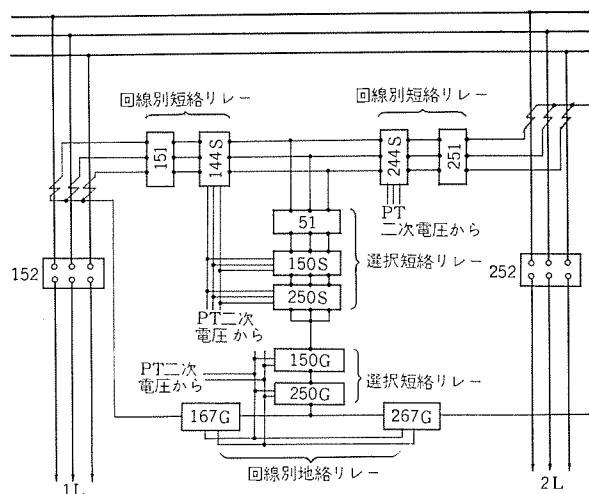


図 2.8 標準的バランスリレー方式 (第三形式) の主回路
Fig. 2.8 Basic connection.

表 2.2 KD バランス方式の動作一覧

1 号	2 号	1 号		2 号	
		選択用	回線用	選択用	回線用
abc	—	○	○		
ab, bc, ca	—	○	○		
a	b'	○	○		○
b	c'		○		○
c	a'	○	○	○	○
ab	a'	○	○		○
ab	b'	○	○		○
ab	c'	○	○		○
bc	a'	○	△	○	○
bc	b'	○	○		○
bc	c'	○	○		○
ca	a'	○	○		○
ca	b'	○	○	○	○
ca	c'	○	○		○
ab	a'b'		○		○
ab	b'c'	○	○	○	△
ab	c'a'	○	○	○	○
bc	c'a'	○	○	○	○
abc	a'b'	○	○		○
abc	b'c'	○	○		△
abc	c'a'	○	○		○
abc	a'	○	○		○
abc	b'	○	○		○
abc	c'	○	○		○

どうしても上記タップ値の選択が困難の場合は、電流補償を施す。

d. 標準的なバランスリレー方式

図 2.8 に表 2.1 第3形式の場合の標準的なバランスリレー方式の主回路図を示す。ここでは選択用 (150 S, 250 S) と回線用 (144 S, 244 S) に 4 章記載の三相式の KD 形距離継電器を各 1 組ずつ使用している。この方式は最も少ないリレー構成で、通常のバランスリレーが満足できるものである。(すなわち、バランス保護動作が、700 または 600 幅 1 面で満足される。) なおこの方式の各故障時の動作を模擬送電線により確認した結果について表 2.2 に示す。表から明らかのように、選択用、回線用いずれかの KD 形リレーの動作によってすべての異相地絡故障に対して十分の保護動作を期待できる。

e. 零相循環電流に対する対策

多回線併架送電線などで零相循環電流が問題となる場所では、外部故障発生の際 SG リレー誤動作することが起こりうる。一般には、NGR 電流の増加、併架系統の改良、SG リレーの整定変更などによって解決するが、必要の場合はパイロット継電方式に変

圧が進み位相となるか遅れ位相となるかを弁別すれば、故障相のみ選択するもの、故障回線のみを選択するもの、または前記の優先方式を完全に満足するもの、または満足しやすいものなどが得られる。また、前記の諸電圧中3組以上を選出し、それらの相回転が正逆いずれかを弁別しても、上記目的をうるものが得られる。

ここに $K, L_a, M_a, \dots, L_c', M_c', N_c'$ は保護目的および系統条件により選定されるベクトル定数である。

以上の組み合わせにより、種々の方式が考え出されるが、その中で最も入力との与え方が簡単でしかも優先方式を満足しやすいものについて紹介する。なお、キャリヤ使用の場合については、「搬送保護」の記事中に記載の入力表によって付勢される多相入力継電器を使用しており、キャリヤ不使用の場合は(3)項に記載のものが使われている。

b. 優先シタ断の動作性能

- a 単純短絡、地絡故障の場合は故障回線のみを。
- b 両回線異相地絡故障の場合は進み相故障回線のみを。
- c 両回線短絡、地絡故障の場合は短絡故障回線のみを選択シタ断すること。

以上を満足する原理回路図を 図 3.5 に示す。

〔記号説明〕

- 152・252 : 1, 2号シタ断器パレットスイッチ
- 51 : 両回線差電流検出リレー(3相形)
- 27-AB, BC, CA : 線間電圧検出リレー(常時メーク, 短絡故障時オフ)
- 64 : 地絡検出リレー(V_0 電圧検出)
- 1A, 1B, 1C : 1号線各相選択要素
- 1AX, 1BX, 1CX : 1号線各相補助リレー
- 2A, 2B, 2C : 2号線各相選択要素
- 2AX, 2BX, 2CX : 2号線各相補助リレー
- 150G : 1号線地絡選択要素
- 150GT : 1号線地絡協調用補助
- 250G : 2号線地絡選択要素
- 250GT : 2号線地絡協調用補助
- 150TL : インタロックリレー(1号トリップ時2号ロック)
- 250TL : インタロックリレー(2号トリップ時1号ロック)

なお 1A~2C の各相故障検出要素は(3)項記載の入力によ

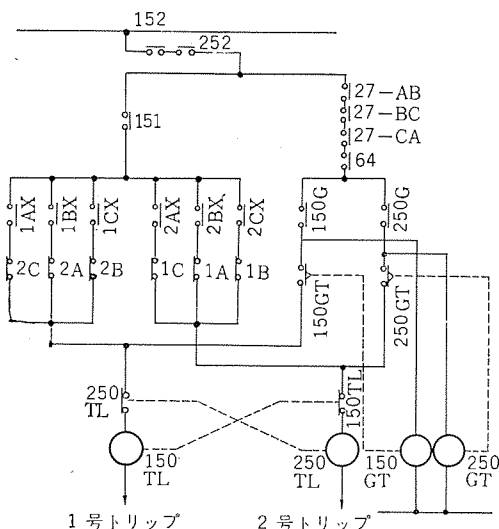


図 3.5 優先シタ断付選択継電装置原理動作
Fig. 3.5 Diagram showing principle of preferential trip circuit of selective relaying.

って動作する多相距離継電器である。

(a) 単純短絡保護動作(たとえば1号 AB 故障)

51検出, 1AX 動作によって1号線トリップ 150 TL により2号線ロックする。

(b) 進み相優先動作(たとえば1号A-2号 B' 故障)

一般に進み相 1A, 1AX のみの動作となるが、故障点によっては 2B が動作することがあるが、2BX 回路は 1A によってロックされ、1号線のみトリップする。

(c) 重故障優先動作(たとえば1号 AB-2号 A' 故障の場合)

1号線 1A 検出動作し、外重故障回線側のみトリップする。

(d) 地絡保護動作(たとえば1号 A 故障)

64 検出, 27-AB, BC, CA いずれも動作中を条件に、1号線出リレー 150G, 150GT (約 50 ms) 動作により1号線をトリップする。なお 2線地絡または異相地絡時は、27-AB, BC, CA のいずれか復帰し、地絡トリップ回路はロックされる。

(3) 優先選択継電器の原理動作

この継電方式に使用した優先選択継電器の主回路構成図を 図 3.6 に、入力導入表を 表 3.2 に、また、この継電器の基本的な動作を 表 3.3 に示す。

また、表 3.2 において、 k の値を 0.5 程度に選んだ場合の各故障時の動作ベクトル図を 表 3.4 に示す。

表から明らかごとく、この継電器のみで、AB-C' 故障以外は確実に進み相優先、多重故障優先を満足していることがわかる。なお表では、地絡を伴う場合を示しているが、地絡を伴わないほうが、動作ベクトル関係は有利となるので省略している。

なお、(注)の AB-C' 故障時は、A, B, C' 動作すること

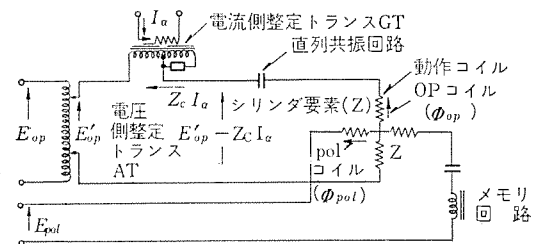


図 3.6 搬送優先選択継電器主回路構成図(1要素分)
Fig. 3.6 Diagram showing principle of preferential trip selective relay.

表 3.2 優先選択継電器入力導入 (KZD-3 形)

相	基準コイル E_{pol}	動作コイル E_{pol}	I_a
A	$-E_c$	1号検出	$-Z\{(I_a - I_a') - k(I_b - I_b')\}$
		2号検出	$-Z\{(I_a' - I_a) - k(I_b' - I_b)\}$
B	$-E_a$	1号検出	$-Z\{(I_b - I_b') - k(I_c - I_c')\}$
		2号検出	$-Z\{(I_b' - I_b) - k(I_c' - I_c)\}$
C	$-E_b$	1号検出	$-Z\{(I_c - I_c') - k(I_a - I_a')\}$
		2号検出	$-Z\{(I_c' - I_c) - k(I_a' - I_a)\}$

表 3.3 優先選択継電器動作ベクトル(90°接続一般の場合)

	健全時	検出動作時	抑制動作時
ベクトル図			
動作力	抑制力	動作力	抑制力

表 3.4 優先選択継電器各故障時動作ベクトル一覧

ケース	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
故障種別	ab	a-b'	ab-a'	ab-b'	ab-c'	abc-a'
系統図						
故障種 電圧電流						
リレー	1号op, 2号op	1号op, 2号op	1号op, 2号op	1号op, 2号op	1号op, 2号op	1号op, 2号op
-Ec	$E_{ab}-Z(h+0.5l)$ ○	$E_{ab}-Z(-h+0.5l)$ ×	$E_{ab}-Z(h+0.5l)$ ○	$E_{ab}-Z(-h+0.5l)$ ×	$E_{ab}-Z(h+0.5l)$ ○	$E_{ab}-Z(-h+0.5l)$ ×
A 相用						
-Ea	$E_{bc}-Zl$ △	$E_{bc}+Zl$ ×	$E_{bc}+Zl$ △	$E_{bc}-Zl$ ×	$E_{bc}-Z(h+0.5l)$ △	$E_{bc}-Z(-h+0.5l)$ ×
B 相用						
-Eb	$E_{ca}+0.5Zl$ △	$E_{ca}-0.5Zl$ ×	$E_{ca}+0.5Zl$ ×	$E_{ca}-0.5Zl$ △	$E_{ca}+Z(h+0.5l)$ △	$E_{ca}-Z(-h+0.5l)$ ×
C 相用		左に同じ				
トリップ	○, ×	○, ×	○, ×	○, ×	○, △	○, ×

なるため図 3.5 のシーケンスでは、もし、2号C相リレーの動作が早いと、1号A相は2号C相によりロックされ、1号Bと2号Cの競走となり最悪の場合は、2号をシャ断してしまうことが考えられる。一般にはこのようなケースはきわめてわずかの区間の故障の場合しか考えられないので問題ないが、対策として3線故障検出リレーを併用して「3相にわたる故障に限って進み相優先より遅れ相優先に切り換える」ことを行なっているものもある。

(4) 優先選択リレーの整定

インピーダンス、パランスの整定式として、図 2.4 式 (2.3) を与え、最悪の場合を考えても区間インピーダンスの 240% 整定とすれば、区間内 80% までの故障を検出しようことを 2 章 (3) 項で述べたが、異相地絡を考えた表 3.2 記載の優先選択継電器 (KZD-3 形) の場合はどうなるかについて考えてみる。

結論的にいえば、図 2.4 式 (2.3) を 4 倍した式 (3.1) となる。

$$Z_{Ry} = 4 \times \frac{a}{2(1-a)} Z \left\{ (2-a) - 1 \left(1 + \left(\frac{IA}{IB} \right) \right) \right\} \dots (3.1)$$

式 (3.1) の 4 倍の意味は、図 3.7 に示すごとく、a-b' のリーチと、ab-a' の場合のリーチをそろえるためのものである。

式 (3.1) から明らかのように、電源端設置の最もきびしい条件の時には、 $Z_{Ry} = \frac{2a(2-a)}{(1-a)} Z \dots (3.6)$

で、 $a=0.8$ を代入し、 $Z_{Ry}=9.6Z$ を得る。

すなわち、このリレーで確実に 80% まで、すべての多重故障時の動作に優先シャ断を満足させるためには、最悪の場合は、保護区間の 9.6 倍の整定を必要とすることとなる。実際には、背後電源を考慮し、また、多重故障に対する検出範囲を若干許容すれば、保護区間の 3~5 倍で十分である。

表 3.2 のごとく、他回線電流を 1/2 だけ導入した優先選択継電

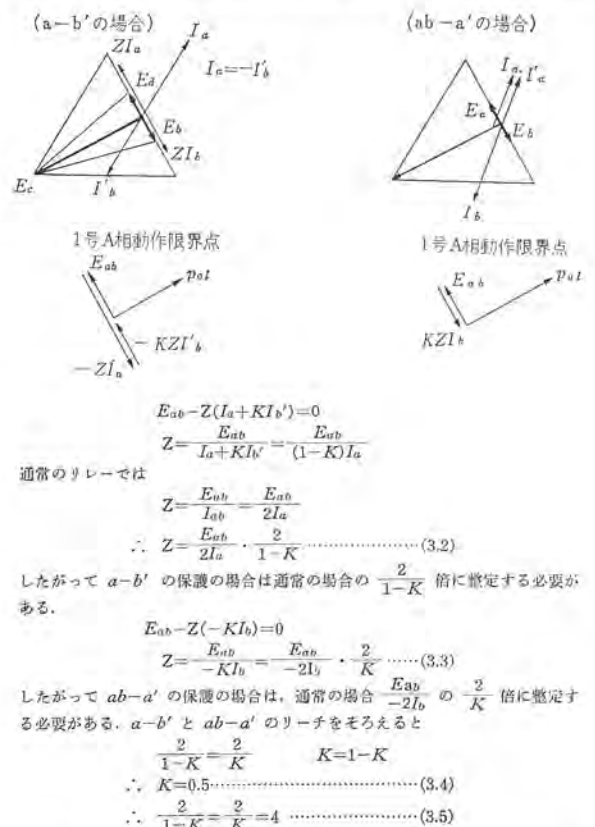


図 3.7 KZD-3 形優先選択継電器整定式説明
Fig. 3.7 Explanation of setting formula for type KZD-3.

電器は、自動的に優先条件を満足するという点ですぐれているが、保護区間が長いときには整定が大きくなり、図 2.5 のごとき相手端開放時の潮流による、不必要動作が問題となることが考えら

表 3.5 優先条件を考慮しない選択継電器入力導入表
(KZD-5 形)

相	基準コイル E_{pol}	動作コイル E_{pol}	I_a
A	E_{bc}	1 号検出	$-Z(I_a - I_a')$
		2 号検出	$-Z(I_a' - I_a)$
B	E_{ca}	1 号検出	$-Z(I_b - I_b')$
		2 号検出	$-Z(I_b' - I_b)$
C	E_{ab}	1 号検出	$-Z(I_c - I_c')$
		2 号検出	$-Z(I_c' - I_c)$

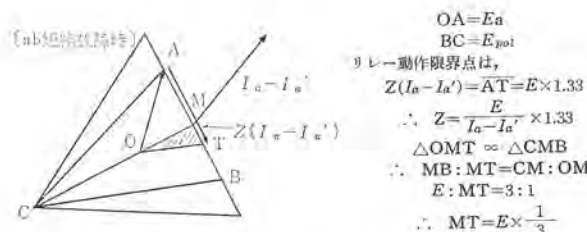


図 3.8 KZD-5 形優先選択継電器整定式説明
Fig. 3.8 Explanation of setting formula for type KZD-5.

れる。このような場合には自動優先条件を無視した表 3.5 のとき入力のもの (KZD-5 形) が使用される。

この形のリレーでは、図 2.4 式 (2.3) を 1.33 倍したもの、すなわち電源端設置の最もきびしい条件時には、

$$Z_{RY} = \frac{0.67a(2-a)}{(1-a)} Z \quad (3.7)$$

で $a=0.8$ を代入し、 $Z_{RY}=3.2Z$ を得る。

すなわち、このリレーでは 3.2 倍の整定で多重故障を含めて、最もきびしい場合でも 80% 内の故障を検出できることが明らかとなる。なお、1.33 倍の意味については、図 3.8 に示す。

4. 機械式距離継電器

機械式距離継電器といえ、主要素に 4 極誘導シリンダ要素を使用したものが大部分である。そしてその特性は、シリンダ要素の持っている位相判別の能力をそのまま利用し、距離測定と方向判定とを兼ね備えたモータ特性を示すのが通常である。

以下、上記の範ちゅうに属する 2 系列の距離リレーについて説明する。すなわち、短絡用の相別リレー KZ シリーズと故障種別リレー KD シリーズおよび地絡用の KZG シリーズである。

(1) KZ シリーズ (相別) 距離継電器

この形に属するものには、1 相のみ収納の KZ-4 形、3 相収納の KZA-2 形がある。いずれも 1 相分のみを考えれば図 4.1 のごとく表わせる。図から CT 入力部は、空け付変成器 GT および位相調整抵抗 R からなり、リレー供給電流 $I=I_a-I_b$ に対し、二次に $Z_c < O_c \cdot I$ なる電圧を導出する。ここで、 Z_c は GT の誘導係数を示し、 2Ω および 4Ω の 2 ヶうをもっている。また、 O_c は最大感度となる位相角を表し、抵抗 R によって 75° または 60° に調整されている。PT 入力部はオートトランス AT_1 からなり、リレー供給電圧に対し、二次に kE を導出する。 k の値は 10% ステップ値と 1% ステップ値との和として 100~20% まで 1% ステップで選択できる。以上二つの出力は差動的に接続され、直列共振回路を経て、シリンダ要素の動作コイルに $kE - Z_c I$ の形で与えられる。一方、基準コイルには、フェーズシフタによって継電器供給電圧 E から 90° 遅れた $k'E$ なる電圧がメモリ回路を介して与えられている。一般に距離継電器は、供給される電圧、電流の大小関係を比較して、その大きさ

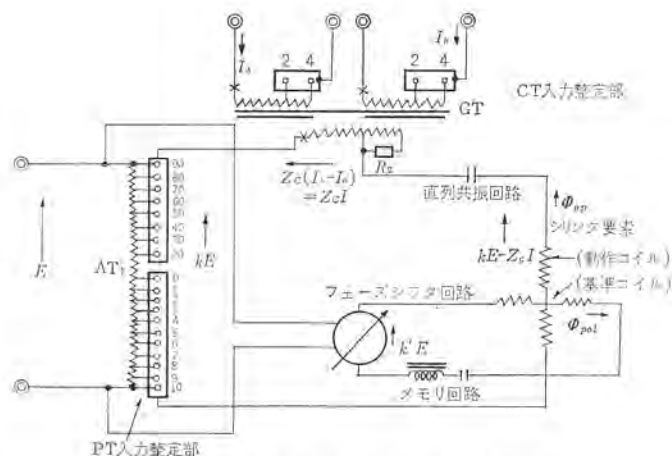


図 4.1 KZ 形継電器原理回路
Fig. 4.1 Diagram showing principle of circuit on type KZ.

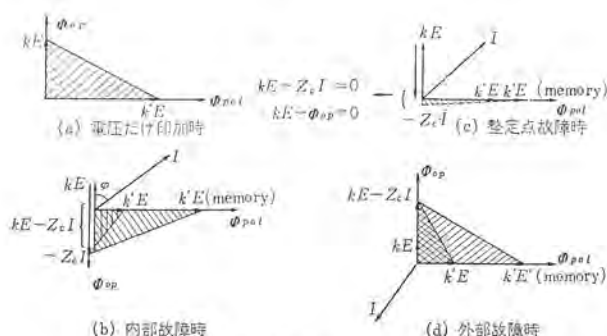


図 4.2 KZ 形継電器動作ベクトル三角形
Fig. 4.2 Operating vector diagram of type KZ relay.

(すなわち、測定インピーダンス) が予定値以下であるか否かを判別するものであるが、この継電器は、この大小比較を図 4.1 のような構成によって、位相関係におきかえ、シリンダ要素によって判定させている。すなわち、入力電圧より 90° 遅れた電圧 $k'E$ による基準コイル上の磁束 Φ_{pol} を基準として、 $kE - Z_c I$ による動作コイル上の磁束 Φ_{op} の向きが進みか遅れかを判定して動作、または抑制を決めている。以上のベクトル関係を図 4.2 に示す。図で故障電流 I は、電圧 E より ϕ だけ遅れ、整定角 O_c に等しい場合を考えている。

(a) 常時 (電圧のみ印加)

Φ_{pol} に対し Φ_{op} が進んでおり、斜線で示される大きさの抑制力を受ける。

(b) 内部故障

電圧が低下し、故障電流が供給されると、 $kE - Z_c I$ のベクトル方向は (a) と逆になり、 Φ_{pol} に対し Φ_{op} が遅れ、動作力となる。図中、 $k'E$ (Memory) はメモリ回路によって故障発生後暫時の間、始めの状態の Φ_{pol} が保たれることを示している。すなわち、斜線の大きさの動作力を受け、それに応じた動作スピードとなる。

(c) 整定点故障

入力関係が、 $kE - Z_c I = 0$ すなわち

$$Z_{RY} = E/I = Z_c/k \text{ で表わされ、}$$

シリンダの可動部はクリティカル状態となる。

(d) 自端背後の外部故障

外部故障時は供給電流の方向は反転し、ゆえに $kE - Z_c I$ の方向は kE と変わらず (a) と同様抑制力を受ける。

次に、このリレーの位相特性を図 4.3 および表 4.1 に示す。

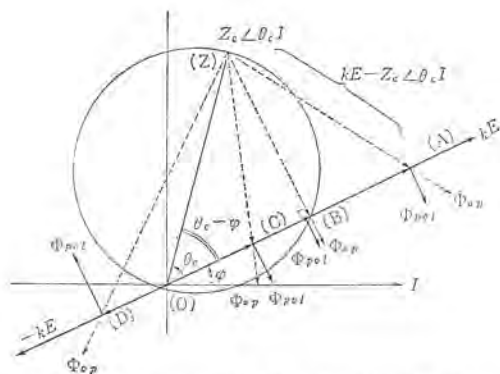


図 4.3 I を一定とし E を変えたときの KZ 形リレーの動作ベクトル図

Fig. 4.3 Operating vector diagram of type KZ relay (when I is constant, E is parameter)

表 4.1 図 4.3 の判定

Case	故障点	Φ_{pol} を基準として	判定
(A)	整定外故障	Φ_{op} 進み	抑制
(B)	整定点故障	" 同相	限界点 (critical)
(C)	内部故障	" 遅れ	動作
(D)	外部 (後方) 故障	" 進み	抑制

図から明らかなように、 I を一定とし、 ϕ だけ進んだ電圧 kE の軌跡を追ってみると、B 点が動作限界となる。すなわち、B 点は任意の角 ϕ に対しての動作限界点を示しており、 Φ_{pol} と Φ_{op} とが一致しかつ、 $\angle OBZ = \angle R$ (直角) となっていることから任意の ϕ に対する B 点の軌跡は OZ を直径とした円となる。なお、B 点の電圧、電流の関係は、

$$kE = Z_c I \cos(\theta_c - \phi) = Z_c I \cos(\phi - \theta_c)$$

$$Z_{pp} = E/I = \frac{Z_c}{k} \cos(\phi - \theta_c) \dots \dots \dots (4.1)$$

と表わされる。

式 (4.1) は、一般にモータ特性の式を表わすものである。

以上のごとく、KZ 形継電器は、入力をすべて空ゲキトランスを介して与えているために過渡現象に感応しにくく、DC 分を重ジョウした大電流に対してもほとんどオーバーチしない特性を有している。また、L, C, R からなるブリッジ回路によって、常時確実に 90° シフトした抑制電圧を印加しているため故障発生瞬時の電圧変化に対して、シリンダ要素内部の過渡的な磁束変化が与えられないため、不正トルク発生による不要動作の心配がまったくないのである。難をいえば電圧回路に 90° シフターを使用しているため、この損失により PT の VA が若干多くなる点がある。

(2) KD シリーズ (故障相別) 距離継電器

この形に属するものには、通常のモータ特性を持った KDA 形、オフセット特性を持った KDB または KDA-2 形 (メモリ付) のほか、脱調検出用の KDS 形等がある。KD 形リレーの最も特長とするところは、一般の短絡保護用距離継電器が各種故障を相単位に検出しているのに、このリレーでは、3 相故障検出要素 (以下 3 ϕ 要素と称する) および、2 相故障検出要素 (以下 2 ϕ 要素と称する) の 2 個から構成されている点にある。

このため、従来形と同一性能を得るのに盤面占有率、消費 VA を低減できる。なお、このリレーは KZ 同様、入力をすべて空ゲキトランスを介して導入しているために、過渡現象に感応しにくく、直流分によるオーバーチなどもほとんど見られない特性を有している。また KD 形リレーの利点として「2 相故障の際、記憶作用なしに確実に方向判定しうる点」は、従来のモータリレーに見ら

れない大きな特長と言える。

a. KD 形継電器の考え方

系統に短絡故障発生すれば、故障点では 3 相短絡の場合であれば電圧三角形はまったくゼロ、相間短絡の場合では故障相間の電圧は同じくゼロになり、故障点からの距離に応じて徐々に大きくなり、継電器設置点では故障点と電源との距離に応じた一定の電圧三角形 (3 相短絡の場合は正三角形、相間短絡の場合は 2 等辺三角形) として与えられることは衆知のとおりである。図 4.4、4.5 に 3 相故障、相間故障の場合の各点の電圧三角形を示す。

KD 形継電器の原理はこの点に着目し「あらかじめ故障点を仮想した電圧三角形を作っておき、実際の故障の際、継電器設置点で得られる電圧三角形がその仮想電圧三角形と比較して大きい小さいかを弁別すれば故障を検出しうる」という考え方によるものである。すなわち、仮想電圧三角形より小さいとき動作力を、大きいときは抑制力を得、ひとしいときはいわゆる限界 (クリティカル) 動作を行なうものであれば、それぞれ内部、外部、整定点故障を検出する距離継電器となる。具体化にあたっては、図 4.4、4.5 の場合をそれぞれ 3 ϕ 要素、2 ϕ 要素と称する別個の回路により判定し、いずれも電圧補償器を介して系統故障電流を取り入れ、最終的にシリンダ要素の位相弁別動作によって判定するものである。

b. 3 ϕ 要素の動作原理

図 4.6 に原理回路図を示す。構成部品の説明は図 4.1 の KZ と同様であるため省略し、図 4.7 によって各故障点での動作ベクトルを説明する。

図においてシリンダ要素は ZY に対し XY が進んだとき (または、X, Y, Z の 3 角形が正回転から X, Z, Y の逆回転となったとき) 動作するものとし、故障電流 I_d は E_d より ϕ だけ遅れ、整

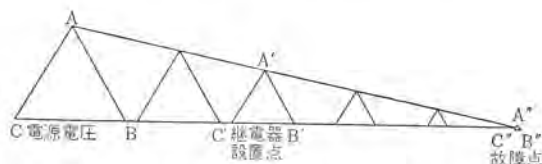


図 4.4 三相故障時各点における電圧三角形
Fig. 4.4 Voltage triangle at each 3 ϕ fault point.

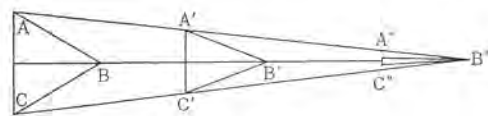


図 4.5 二相故障時 (AC 相) 各点における電圧三角形
Fig. 4.5 Voltage triangle at each 2 ϕ fault point (A and C phase fault)

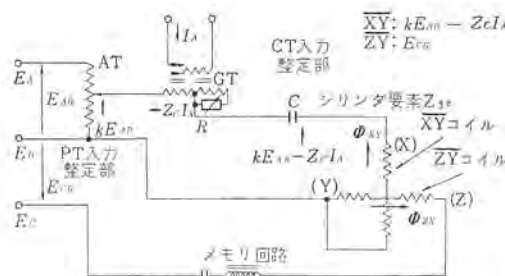


図 4.6 KD 形継電器 3 ϕ 要素原理回路
Fig. 4.6 Diagram showing principle of circuit on type KD relay's 3 ϕ unit.

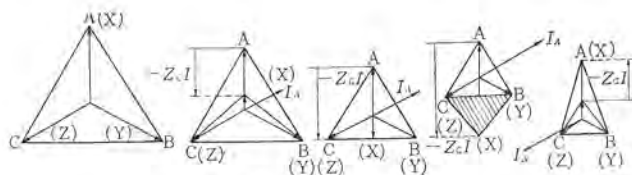


図 4.7 3φ要素動作ベクトル図
Fig. 4.7 Operating vector diagram of 3φ unit.

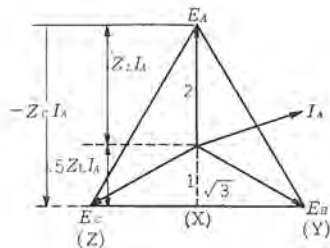


図 4.8 $Z_c=1.5Z_L$ とする理由説明図
Fig. 4.8 Explanatory diagram of $Z_c=1.5Z_L$.

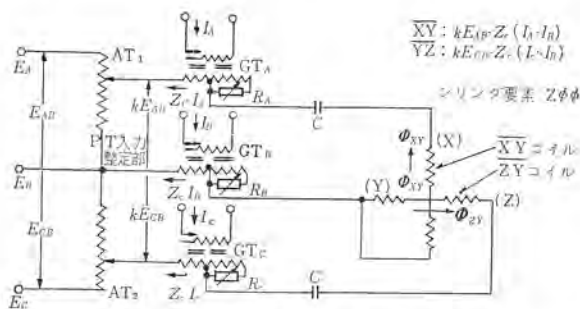


図 4.9 KD形継電器φφ要素原理回路
Fig. 4.9 Diagram showing principle of circuit on type KD relay's φφ element.

定角 O_c に等しい場合を考えている。

(a) 健全時 (電圧のみ印加されているとき)

X, Y, Z は正相回転 (ZY に対し XY 遅れ) X, Y, Z の面積に
応じた充分の抑制力を受けている。

(b) 整定外故障

電圧三角形小さくなり故障電流発生し X, Y, Z の面積は変わる
がまだ X, Y, Z の回転は変わらぬ。

(c) 整定点故障

図 4.8 の説明のように、

$$Z_c I_A = 1.5 Z_L I_A, \therefore Z_c = 1.5 Z_L$$

すなわち Z_c は、継電器換算の予定保護線路インピーダンス Z_L の
1.5 倍としてあるので X 点は ZY 上に達し動作はクリティカルの状態となる。

(d) 内部故障

ZY に対し XY 進み (X, Y, Z と逆回転) となり、斜線の面積に
応じた動作力を受ける。ここで ZY 電圧はメモリ回路によって故障発生後
暫時の間、故障前の電圧を保っているため、至近端故障に対しても十分の
動作力が得られるものである。またメモリ効果を加味したこの面積に
応じて動作スピードが決まる。

(e) 後方故障

外部故障時は供給電流は反転し X, Y, Z の面積は正回転のまま、
さらに大きくなり抑制力が強まるのみで決して動作力を得ることは
ない。すなわち、このリレーは方向性を兼備していることがわかる。

c. φφ要素の動作原理

図 4.9 に原理回路図を示す。

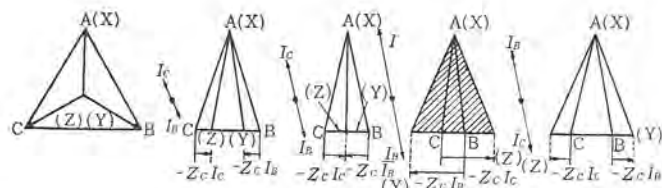


図 4.10 BC 相故障時 φφ 要素動作ベクトル図
Fig. 4.10 Operation vector diagram of φφ element in phase BC fault.

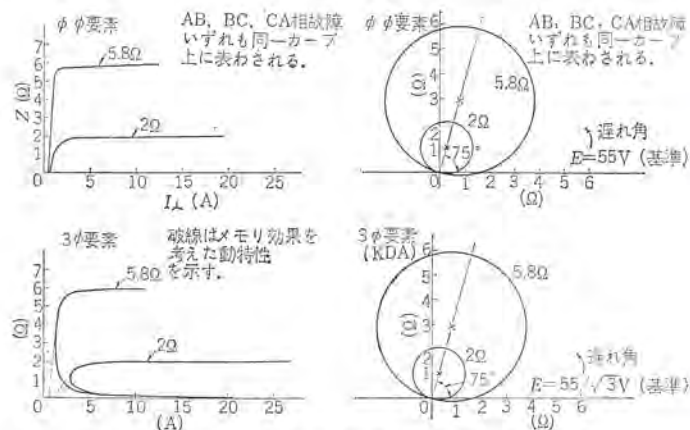


図 4.11 KD 形継電器特性図
Fig. 4.11 Typical characteristics of type KD relay.

相間短絡故障には AB, BC, CA 相故障の 3 とおりが考えられるが、φφ 要素では各相対称構成となっているので、いずれの故障
の場合も、まったく同一の保護動作をする。すなわち AB 相故障では、 I_A と $-I_B$ が、BC 相故障では I_B と $-I_C$ とが、CA 相故障では I_C と $-I_A$ とが加わりそれぞれ故障電圧、電流の
大小比較を シリスタ要素の位相関係におきかえ判定動作を行なう。

以上の関係を BC 相故障の場合につき、ベクトル図によって説明
したものを図 4.10 に示す。

(a) 健全時 (電圧のみ印加されているとき)

X, Y, Z は正相回転 (ZY に対し XY 遅れ) X, Y, Z の面積に
応じた充分の抑制力を受けている。

(b) 整定外故障

電圧三角形小さくなり、故障電流発生し X, Y, Z の面積は変わる
が、まだ X, Y, Z の回路は変わらぬ。

(c) 整定点故障

$$Z \text{ 相短絡時の BC 電圧は } Z_L I_B + Z_L I_C = 2 Z_L I_B$$

ここで線路インピーダンス Z_L と整定インピーダンスは等しく取っ
ているため Z, Y 点は一致し動作はクリティカルの状態となる。

(d) 内部故障

ZY に対し XY 進み (X, Z, Y と逆回転) となり、斜線の面積に
応じた動作力を受ける。この関係は至近端故障発生し、BC 電圧ゼロとな
っても変わらない。(すなわち、至近端故障時の記憶効果は必要である)

(e) 後方故障

外部故障時は供給電流は反転し X, Y, Z の面積は正回転のまま、
さらに大きくなり抑制力が強まるのみで決して動作力を得ることは
ない。すなわち、このリレーは原型的に方向性を兼備していることが
わかる。

d. 特性図

図 4.11 に KD 形継電器の位相特性、インピーダンス特性の実測例
を示す。

表 4.2 KZG 形距離継電器入力表

相	a 相用	b 相用	c 相用
E_{op}	E_a	E_b	E_c
E_{pnt}	E_{bc}	E_{ca}	E_{ab}
I_a	$I_a + k_1(3I_0) + k_2(3I'_0)$	$I_b + k_1(3I_0) + k_2(3I'_0)$	$I_c + k_1(3I_0) + k_2(3I'_0)$

(3) KZG シリーズ 距離継電器

直接接地系用の モー 形地絡方向継電器として KZG 形がある。この継電器は、直接接地系の短絡および地絡保護を 1 相に対して 1 台で行なわせることのできるものである。また短絡について別に短絡 リレー がある場合には単なる地絡方向継電器としても使用される。その回路構成は、図 3.6 と同様であるので詳細は省略するが、その入力関係を表 4.2 に明らかにしておく。

上表で $3I_0$ は自回線零相電流、 $3I'_0$ は相手回線電流を示す。また k_1 、 k_2 は下記の式(4.2)から一般に $k_1=0.65$ 、 $k_2=0.57$ となる。1 線地絡時の電圧電流関係を正相、逆相、零相について求めると、

$$\begin{aligned}
 E_1 &= Z_1 I_1, \quad E_2 = Z_2 I_2, \quad E_0 = Z_0 I_0 + Z_m I'_0 \\
 E_a &= Z_1 I_a + Z_2 I_b + Z_0 I_0 + Z_m I'_0 \\
 &= Z_1 (I_a + I_b + I_0) + (-Z_1 I_0 + Z_0 I_0 + Z_m I'_0) \\
 &= Z_1 I_a + (Z_0 - Z_1) I_0 + Z_m I'_0 \\
 &= Z_1 \left(I_a + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} I_0 + \frac{Z_m}{Z_1} I'_0 \right) \dots\dots\dots (4.2) \\
 k_1 &\equiv \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}, \quad k_2 = \frac{Z_m}{3Z_1}
 \end{aligned}$$

5. トランジスタ式距離継電器

トランジスタ式距離継電器には図 5.1 特性図に示しているように四辺形特性リアクタンス継電器の KKS シリーズと、1, 2 段用リアクタンス + 3 段用 モー 要素の KMS シリーズとがある。これらの継電器は「パルス消滅により出力を出す位相弁別回路」を使っているため、従来のパルス性入力があれば動作する方式に比べて、著しく信頼度が高くなっている。また従来リアクタンス継電器の、実用上避けることのできなかった宿命的な欠点、すなわち、接点協調の必要性、動作速度の遅延などを KKS, KMS シリーズを用いれば原理的に解決しうる。

次に KKS, KMS シリーズの分類表をかかげる。表 5.1 には定格表を、表 5.2 には特性表をあげている。なお図 5.1、表 5.1 および表 5.2 の KKS-22 形は、別に述べる交流・電線保護継電器であるが参考のために記してある。

以下、上記 KKS および KMS の 2 系列のトランジスタ式距離継電器について詳しく説明する。

(1) KKS シリーズ

KKS-12 形はリアクタンス 1 段、KKS-64 形はリアクタンス 1, 2 段

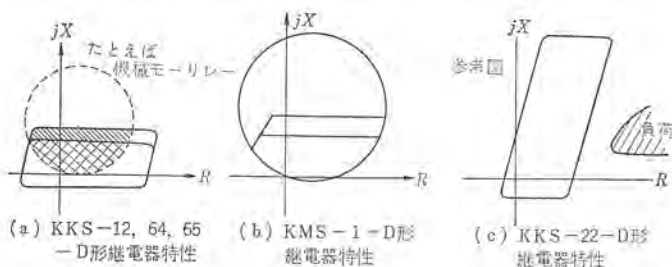


図 5.1 KKS 形, KMS 形位相特性
Fig. 5.1 Phase characteristics of type KKS and KMS.

表 5.1 KKS 形・KMS 形定格

形名	整定範囲	定 格	備 考
KKS-12-D	$X=0.25 \sim 2.5\Omega$ または $0.5 \sim 5\Omega$	AC110V 8.66A DC110V	タ形特性
KKS-64-D	$X_1=X_2=0.25 \sim 2.5\Omega$ または $0.5 \sim 5\Omega$	AC110V 5A DC110V	1 段 2 段切換式
KKS-65-D	$X_1=X_2=0.25 \sim 2.5\Omega$ } $X_2=0.5 \sim 5\Omega$ } または $0.5 \sim 5\Omega$ } 1.0~10 Ω	"	1 段 2 段別要素
KMS-1-D	$X_1=X_2=0.25 \sim 2.5\Omega$ } $M=2 \sim 20\Omega$ } または $0.5 \sim 5\Omega$ } 3~30 Ω	"	1 段 2 段リアクタンス特性 3 段モー特性
KKS-22-D	$X=12, 13, 14, 15\Omega$ $R=4, 5, 6, 7\Omega$	"	交流電化用

表 5.2 KKS 形・KMS 形特性

	KKS-12-D	KKS-64-D	KKS-65-D	KMS-1-D	KKS-22-D
タップ範囲	100~10% (1% Step)	100~10% (1% Step)	同 左	同左(みだし) $X=1\%$ Step $M=5\%$ Step	$X=12, 13, 14, 15\Omega$ $R=4, 5, 6, 7\Omega$
E-I 特性	5A 以上 $\pm 5\%$	同 左	同 左	同 左	同 左
動作速度 (80% 故障)	50 ms 以下	50 ms 以下	同 左	同 左	30 ms 以下
復帰速度	20 ms 以下	50 ms 以下	同 左	同 左	10 ms 以下
温度特性	-20°C ~ 60°C 異常なし 0~40°C $\pm 5\%$	同 左	同 左	同 左	同 左
消費 VA	CT	6VA	6VA	7VA	6VA
	PT	4VA	4VA	6VA	18VA
	DC	23W	23W	13W	13W

(切換式)、KKS-65 形はリアクタンス 1, 2 段 (別要素) からなり、これらの四辺形特性距離継電器の原理は KKS-12 形で代表される。すなわち KKS-64 形は、KKS-12 形の PT 入力を切り換えて 1, 2 段を得ており、KKS-65 形は KKS-12 形 2 個からなると考えてよい。以下四辺形特性距離継電器の原理を KKS-12 形により説明する。

図 5.2 は四辺形特性を得る原理図、図 5.3 は図 5.2 の特性 (1) を得るための原理回路図、図 5.4 は特性 (1) のベクトル図、図 5.5 はパルス消滅により出力を出すトランジスタ弁別回路図、図 5.6 は図 5.5 を説明する波形図である。

図 5.2 によれば四辺形特性は、特性 (1) (2) の二つの折線を組み合わせて得られることを示している。この 2 特性の合成は、2 出力が出た後で合成されるのではなく、特性 (1) (2) を出力として出す前に、トランジスタ回路の中で合成されているので(図 5.7 参照)、動作協調は確実である。

図 5.3 の中の T_R トランスは、入力電流と同相の電圧出力を得るためのものであり、 T_X トランスはギャップ付トランスで、入力電流よりほぼ 90° 進みの電圧出力を得るためのものであり、 T_K トラ

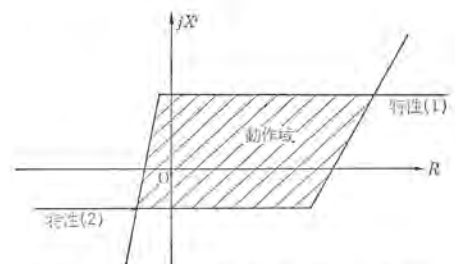


図 5.2 四辺形特性を得る原理
Fig. 5.2 Diagram showing principle of obtaining square characteristics.

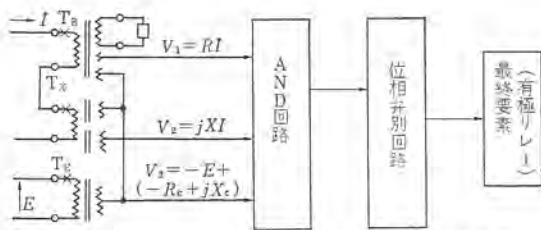


図 5.3 リアクタンス 特性 (図 5.2 特性(1)) の原理
Fig. 5.3 Diagram showing principle on reactance (Fig. 5.2 characteristics (1)).

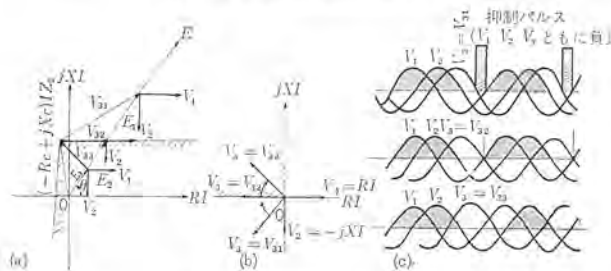


図 5.4 リアクタンス 原理 ベクトル図
Fig. 5.4 Vector diagram of reactance element.

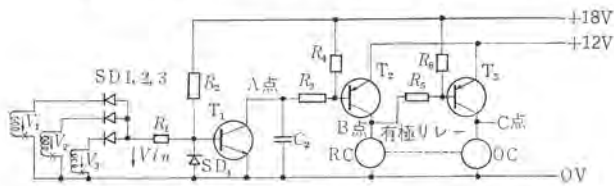


図 5.5 位相 弁別 回路 原理 図
(パルス 消滅 によつて 出力 を 出す 回路)
Fig. 5.5 Diagram showing principle of phase discriminator circuit.

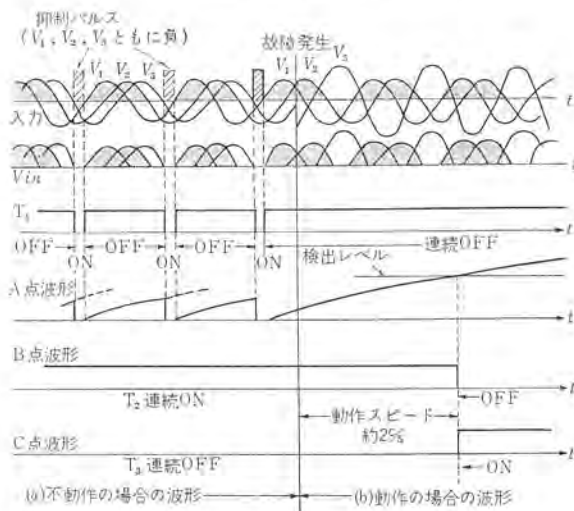


図 5.6 波 形 図 Fig. 5.6 Wave forms.

ンスは単なる電圧トランスである。

トランスの出力は合成されて、 $V_1 = RI$, $V_2 = -jXI$, $V_3 = -E + (-R_c + jX_c)I$ の 3 出力となる。AND 回路はダイオードで構成され、図 5.5 の SD 1, 2, 3 のようなものである。

次にリアクタンス特性が得られることを図 5.4 のベクトル図を使って説明する。ここで弁別回路は次のような当社標準の位相弁別回路である。

V_1, V_2, V_3 の相互の位相差の中に

180° 以上のものが有れば不動作	}
180° のものが有れば限界点	
180° 以上のものが無ければ動作	

図 5.4 には、電流 I から θ 度進んだ電圧 E が $E_1 \rightarrow E_2 \rightarrow E_3$ と順に小さくなったとき、 $V_1 = RI$, $V_2 = -jXI$, $V_3 = -E + (-R_c + jX_c)I$ の位相関係がどのように変わるかを示してある。

$E = E_1$ の場合 $V_1 \sim V_3$ が 180° 以上で不動作域

$E = E_2$ の場合 $V_1 \sim V_3$ が 180° で限界点

$E = E_3$ の場合 $V_1 \sim V_3$ のどの位相差も 180° 以下で動作域

電圧 E の位相角 θ を変化させて動作域を調べれば、電圧 E が図 5.4 (a) の斜線部にあるときだけ動作となり、リアクタンス特性が得られることがわかる。 V_{31}, V_{32}, V_{33} と変化させ、これを同一面に描いた図を参考として (b) に示す。

次に図 5.5 位相弁別回路図、図 5.6 波形図について説明する。図 5.6 (a) リレー不動作 (たとえば図 5.4 の $E = E_1$) の場合には、入力 V_1, V_2, V_3 がともに負となる位相で図 5.5 のトランジスタ T_1 は ON となり、 T_1 のコレクタ、エミッタ間にパルスが発生する。 T_1 が一度 ON になれば、コンデンサ C_2 の電荷は T_1 を通して放電され、A 点電位は瞬時に 0 V になる。

T_1 が一度 ON の後に OFF となれば、コンデンサ C_2 は時定数 $C_2 R_3$ でトランジスタ T_2 のベースを通して充電され、 T_1 OFF 後も T_2 は ON を続ける。

不動作状態では、 T_2 が OFF となる前にふたたび T_1 ON となり、この状態を 1 サイクルごとに繰り返す。(時定数 $C_2 R_3$ は 1 サイクル以上に選んである。)

図 5.6 (b) リレー動作 (たとえば図 5.4 の $E = E_3$) の場合は、 T_1 連続 OFF となり、 T_2 OFF, T_3 ON となってリレーは動作する。

ここでは $V_1 = RI$, $V_2 = -jXI$, $V_3 = -E + (-R_c + jX_c)I$ なので、図 5.2 特性(1)のリアクタンス特性が得られる。図 5.2 特性(2)は入力として $V_4 = -RI$, $V_5 = jXI$, $V_6 = -E + (R_c - jX_c)I$ とすればよい。

特性(1)(2)の合成を含めたトランジスタの原理回路図を図 5.7 に示しているので参照されたい。なお図 5.7 は、トランジスタ ST_1, ST_2, ST_3 を増幅用に付加し、入力を ST_1 と ST_2 に分けてプッシュプルとしている点が図 5.5 と異なる。

(2) KMS シリーズ

KMS 形は 1, 2 段リアクタンス要素 (切換式) および 3 段モータ要素を 1 個の継電器に内蔵している。リアクタンス要素は(1)項の図 5.2 の特性(1)とまったく同一であるので、以下、モータ要素について説明する。トランジスタ式モータ要素は、図 4.1 ~ 4.3 に示してある機械式 KZ 形継電器と同一原理である。すなわち図 4.3 で ϕ_{on} より ϕ_{off} が遅れているとき動作であるが、これを図 5.5 の弁別回路で判定すれば、トランジスタ式モータ継電器ができる。

図 5.8 は原理ベクトル図で、AB 相短絡用継電器で示してある。 $V_1 = E_{ab} \angle \theta$, $V_2 = E_{ab} \angle \theta$, $V_3 = E_{ab} - Z I_{ab}$ の 3 入力を図 5.5 の入力とすれば、図 5.8 (a) の場合は $V_1 \sim V_2$ 間が 180° 以上あり不動作、(b) の場合は $V_1 \sim V_3$ のいずれの位相差も 180° 以下で動作状態を示す。

図 5.9 にはトランジスタ式モータ要素と機械式モータ継電器の特性比較をしっている。トランジスタ式の動作域は 180° 弁別回路 (図 5.5) を使うので、原理的に図 5.8 で $\theta < 90^\circ$ となる。図 5.8 で $V_1 \sim V_3$ が位相差 180° 以下である範囲は V_3 が図 5.9 (b) の斜線部分、すなわち $-V_1$ と $-V_2$ ではさまれた間になる。いいかえれば、 V_3 が V_1 より遅れかつ、 V_2 より進みの位相が動作域となる。したがってトランジスタ式モータ要素の最終出力は、 V_1 と V_2 できまる

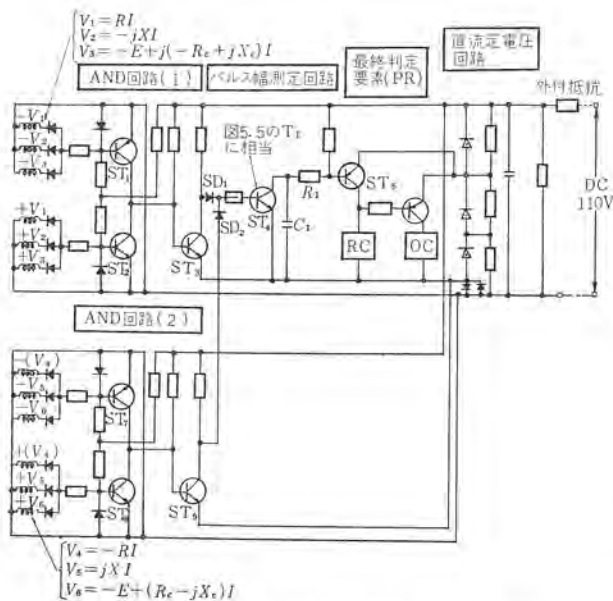


図 5.7 KKS 形四辺形特性継電器の完全回路
Fig. 5.7 Complete circuit of type KKS square characteristic relay.

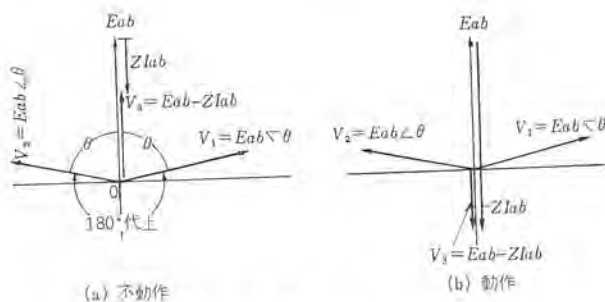


図 5.8 モー要素ベクトル図
Fig. 5.8 Vector diagram of Mho-element.

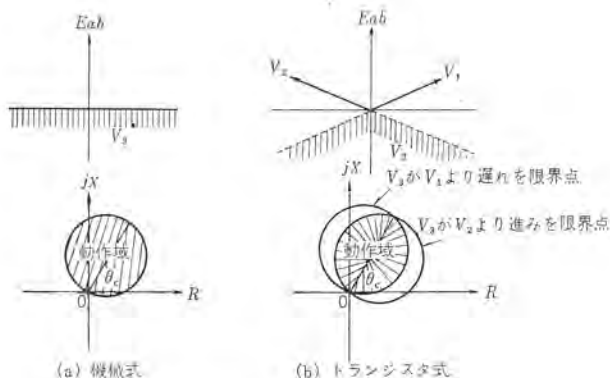


図 5.9 モー要素特性図
Fig. 5.9 Characteristic diagram of Mho-element.

2つの円を組み合わせた木の葉形の範囲となる。

KMS 形の 1, 2 段リアクタンス要素は、(1)項の図 5.7 のように、トランジスタ回路内でモー要素と結合されるので ($V_1 \sim V_3$ をリアクタンス用, $V_3 \sim V_5$ をモー用と考える), 出力としてはモー、リアクタンス特性が得られる。

6. 地絡方向継電器

(1) 概要

高抵抗系用地絡方向リレーで問題となるのは、次の点である。

- 過大入力 (異相地絡時) による破損
- 過大入力域における不動作現象
- 衝撃、振動による不要動作
- PT, CT 回路相互間の干渉によるトラブル
- 過渡入力 (高調波分) による不要動作
- 消費 VA (特に電流回路) 過大

したがって地絡方向リレーは上記を満足することはもちろんであるが、次の点も良好な特性であることが望まれる。

- $V_0 - I_0$ 特性 V_0 一定値以下では不動作
- 位相特性 動作角度が広く、双曲線特性
- 動作速度 3 c/s 程度の一定スピード
- 復帰値 動作値の 90% 以上

以上は、理想的な地絡方向継電器の具備条件について述べたが、次に上記諸特性を満足する DGB 形 (可動線輪), および KDG 形 (トランジスタ式) 地絡方向継電器について述べる。

(2) DGB 形地絡方向継電器

可動線輪を最終要素とする DGB 形継電器の特性図を図 6.1 に、入力回路原理図を図 6.2 に、ベクトル図を図 6.3 に、図 6.1 (b) の V_0 抑制付与の原理図を図 6.4 に示す。

図 6.1 (a) は位相特性図で双曲線特性を示し、(b) は $V_0 - I_0$ 特性で、 V_0 小では I_0 の大きさ、位相によらず不動作で、 V_0 抑制の有無により、DGB 形、DGB-2 形に分れることを示す。 V_0 抑制付の DGB 形は、PC 系の有効分電流を補償するものであり、 V_0 抑制なしの DGB-2 形は、高抵抗系に使われる。図 6.2 は V_0 , I_0 の和の絶対値から、差の絶対値を引き算する回路であり、その出力 e が正であれば、図 6.3 から、 V_0 と I_0 の位相差が 90 度以内であることがわかる。図 6.4 の D-5 要素は、可動線輪要素で (+) から (-) へ一定値以上の電流が流れれば動作する。したがって、 $|KV_0| < V_D$ の場合は、D-5 は V_D でバイアスされ、 $|KV_0| > V_D$ の場合は、 $|KV_0|$ でバイアスされ、したがって図 6.1 (b) の V_0 抑制付の特性となる。 V_0 抑制なしの場合は、図 6.4 の SD_1 を除けばよい。

(3) KDG 形地絡方向継電器

トランジスタ位相弁別方式による KDG 形継電器の特性図は

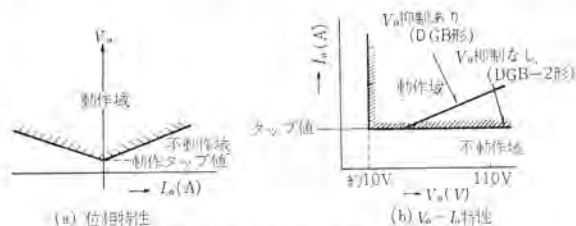


図 6.1 DGB 形特性図
Fig. 6.1 Characteristics of type DGB.

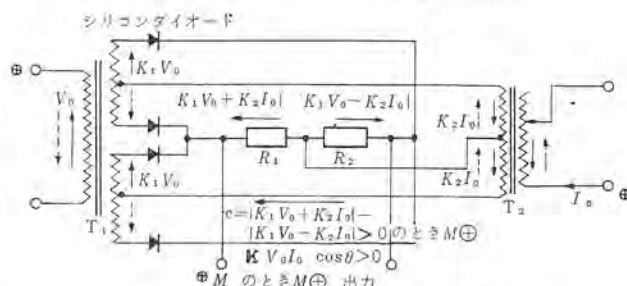
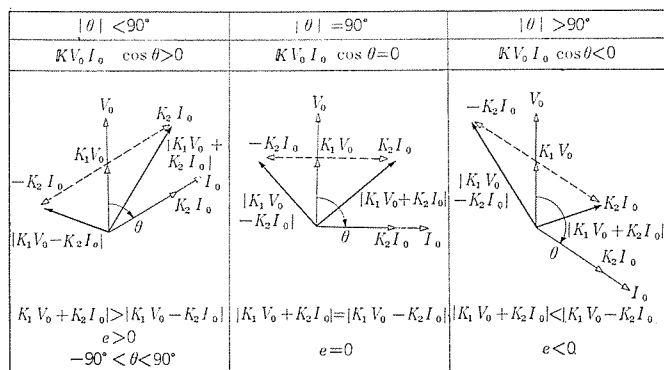


図 6.2 DGB 形入力導出回路原理図
Fig. 6.2 Diagram showing principle of type DGB input circuit.



$$\begin{aligned}
 e &= |K_1 V_0 + K_2 I_0| - |K_1 V_0 - K_2 I_0| \\
 &= |K_1 V_0 + K_2 I_0 \cos \theta + j K_2 I_0 \sin \theta| - |K_1 V_0 - K_2 I_0 \cos \theta - j K_2 I_0 \sin \theta| \\
 &= \sqrt{K_1^2 V_0^2 + K_2^2 I_0^2 + 2 K_1 K_2 V_0 I_0 \cos \theta} \\
 &\quad - \sqrt{K_1^2 V_0^2 + K_2^2 I_0^2 - 2 K_1 K_2 V_0 I_0 \cos \theta} \\
 &\approx 2 K_1 K_2 V_0 I_0 \cos \theta / \sqrt{K_1^2 V_0^2 + K_2^2 I_0^2} \geq 0 \\
 \therefore V_0 - I_0 \cos \theta &\geq 0 \quad \therefore \cos \theta \geq 0 \quad \therefore -90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ
 \end{aligned}$$

(注) $\sqrt{A+B} - \sqrt{A-B} = \frac{B}{\sqrt{A}}$

図 6.3 DGB 形ベクトル図
Fig. 6.3 Vector diagrams of type DGB.

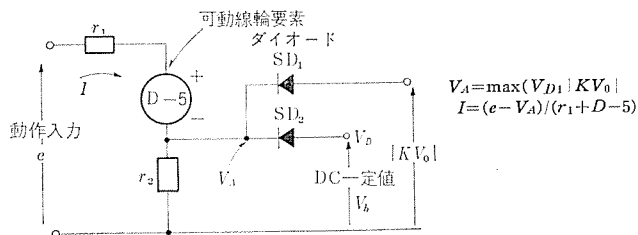


図 6.4 V_0 抑制付与原理図
Fig. 6.4 Diagram showing principle of V_0 restrain circuit.

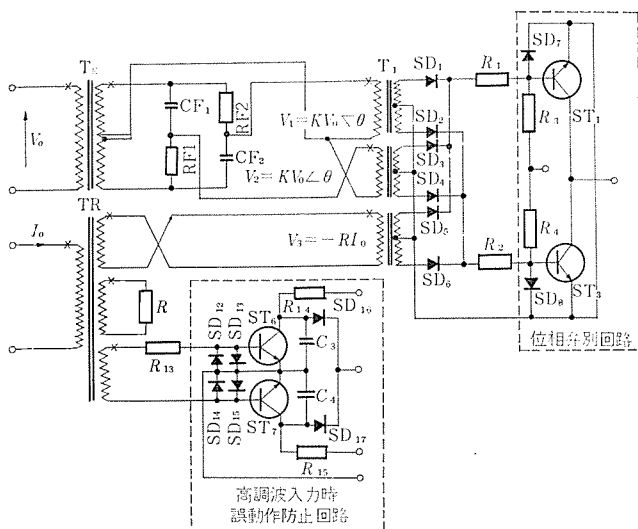


図 6.5 入力回路図原理図
Fig. 6.5 Input circuit of type KDG.

図 6.1 の DGB 継電器と同じである(ただし、 V_0-I_0 特性で V_0 抑制なし)。KDG 形継電器の入力回路原理図を 図 6.5 に、トランジスタ 位相弁別回路原理図を 図 6.6 に、ベクトル図を 図 6.7 に、高調波検出部の原理説明図を 図 6.8 に示す。

図 6.5 は、 V_0 より、 $V_1 = V_0 \cos \theta$ 、 $V_2 = V_0 \sin \theta$ 、 I_0 より、 $V_3 = -RI_0$ の 3 出力を導出し、 $V_1 \sim V_3$ の位相弁別により地絡方向継電器を得ることを示している。また、高調波入力時には、付属回

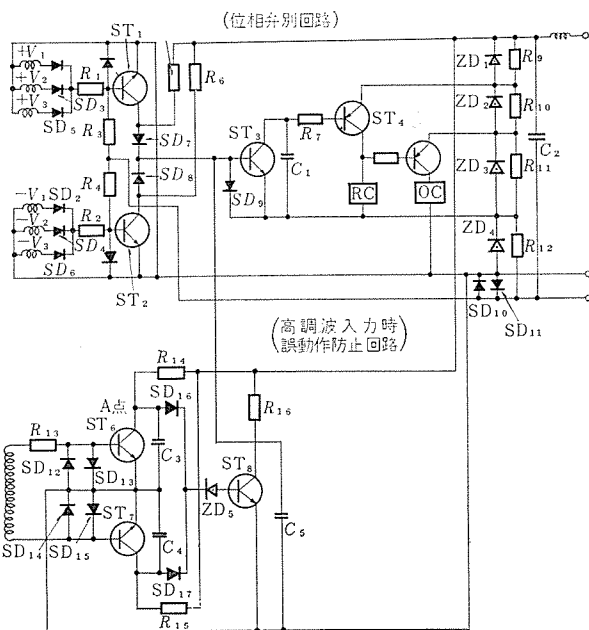


図 6.6 トランジスタ回路原理図
Fig. 6.6 Transistor circuit of type KDG.

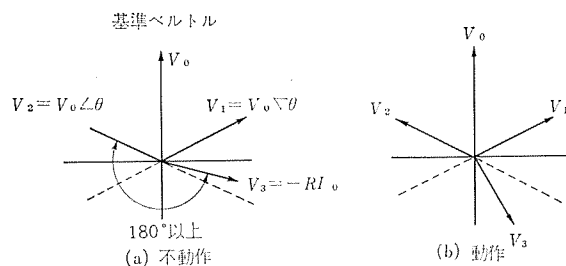


図 6.7 KDG 形ベクトル図
Fig. 6.7 Vector diagram of type KDG.

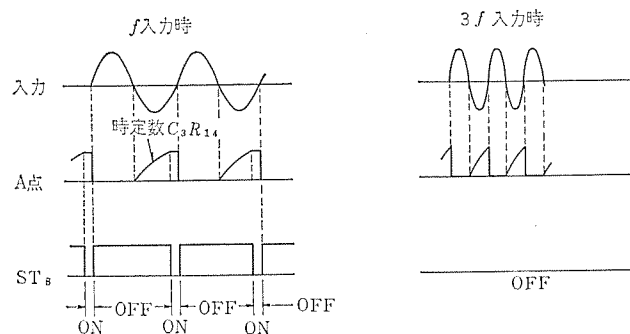


図 6.8 高調波検出原理説明図
Fig. 6.8 Wave forms of high harmonic detector.

路により、高調波を検出し、位相弁別回路の出力を ロック することを示している。図 6.6 はトランジスタ回路の原理図で、 $V_1 \sim V_3$ による位相弁別原理は、当社標準の パルス 消滅により出力を示す回路であるので、詳しい説明は省略する(図 5.5 参照)。図 6.7 はベクトル図である。すなわち (a) は $V_1 \sim V_3$ の位相差が 180° 以上で不動作、(b) は $V_1 \sim V_3$ いずれの位相差も 180° 以内で動作状態を示す。(b) の状態を更に詳しく説明すれば V_3 は I_0 と逆位相であるから、 I_0 が $V_1 \sim V_2$ にはさまれた位相にあれば動作することになり、方向継電器となることがわかる。図 6.8 は高調波検出回路の原理説明図で、入力周波数を f とすれば、半 サイクルは $1000/2f$ ms であり、この時間を CR 充電回路で測定していることを示している。

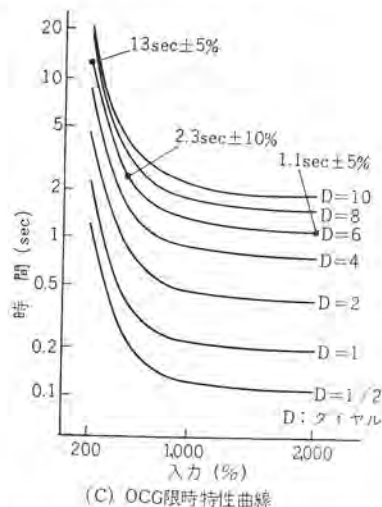
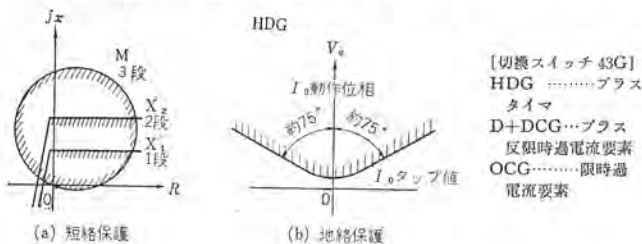


図 7.1 PHR 形可搬式継電装置
Fig. 7.1 Type PHR portable high speed relaying device.

架名称	用途	構成	備考
M2形	制御部	時限要素 3個 論理要素 1式 スイッチ・ランプ類 1式	重量 各架とも 約 30 kg
SC2形	短絡CA相用	1, 2段用リアクタンス 2個* 3段用モータ 1個	
SB2形	* BC *	*	
SA2形	* AB *	*	
GX2形	地絡部	方向要素DG 1個** 反限時過電流要素OCG 1個	

(注) * 出力はモータ・リアクタンス
** DG
DG+OCG — 43G 切換によりいずれでも使用できる
OCG —

図 7.2 PHR 形構成図
Fig. 7.2 Composite table of Type PHR



器具番号	主用途	個数	タップ	特性図
X ₁	A B C 短絡距離 1 段	3	0.25~2.5Ω	
X ₂	A B C " 2 段	3	0.5~5Ω	
M	A B C " 3 段	3	2~20Ω	
GX	地絡保護	1	0.4~2A	
T ₂	短絡2段時限	1	0.2~2秒	4 目盛
T ₃	" 3 "	1	0.3~3秒	6 "
T	地絡後備	1	0.3~3秒	6 "

図 7.3 PHR 形特性図
Fig. 7.3 Characteristic curve of type PHR relaying.

7. 可搬式送電線保護継電装置

(1) 概要

継電器の試験・修理のとき、その回線を休止するか、リレー・ロックしていたが、ここに述べる移動配電盤に相当する PHR 形可搬式継電装置を使用すれば、現地で簡単な外部接続をするだけで、短絡距離 1, 2, 3 段および地絡方向継電装置を構成し、高抵抗系 1 回線の保護ができる。図 7.1 には PHR 形の写真を、図 7.2 には構成表を、図 7.3 には特性図を示す。

(2) 特長

- オールトランジスタ化されているので、輸送中の振動に強い。
- 1 架約 30 kg、輸送箱付なので持ち運びが簡単。
- 耐圧 1500 V、温度 $-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ に使用できる。
- 保守、点検が容易。
- 1, 2 段のリアクタンスは、モータとの接点協調不要。
- 最終要素 52TX は 5A 開閉可能であり、一度動作すれば 150 ms 以上動作を続けるので、パレットスイッチ 52a は不要。
- 架間の結線がはずれると自動的に不動作側になるよう考慮。
- 架間の結線ミスがないように、誤そう入ロック付。

(3) 原理

PHR 形可搬式継電装置の距離要素は 5 章 KMS 形継電器と、地絡方向要素は 6 章 KDG 形継電器と同一原理であるので省略し、OCG 要素についてのみ図 7.4 により説明する。

図から明らかなように入力大きさにより、コンデンサ C への充電はつぎのように変わる。

- 入力が小さいときは、時定数 $C(R_2 + R_1)$ で A 点電位は充電される。

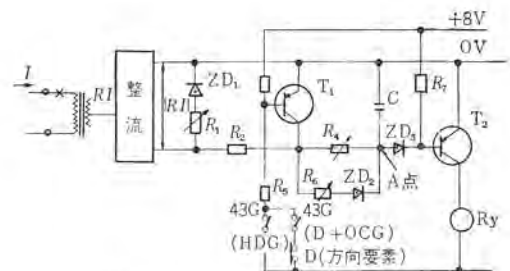


図 7.4 OCG 原理回路図
Fig. 7.4 Diagram showing principle of circuit on OCG relay.

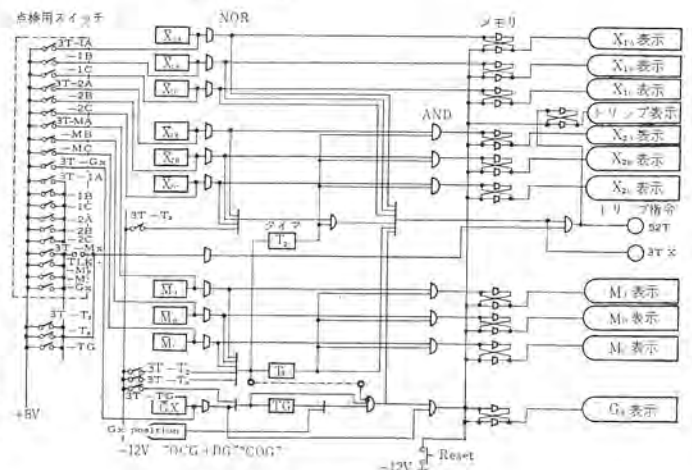


図 7.5 PHR 形シーケンス
Fig. 7.5 Sequence of type PHR.

b. 入力が大きくなれば、ゼナー ZD_2 が導通し、時定数が変化し小さくなる。

c. 入力がさらに大きくなればゼナー ZD_1 が導通し、入力トランスの飽和作用とともに入力電圧 $|Rf|$ を制限する。

図 7.5 に PHR 形のシーケンスを示す。図中 X_{1A} は A 相 1 段、 M_A はモーターで A 相 3 段、 G_X は地絡リレーの出力を、 $3T-1A$ は A 相 1 段の点検スイッチなどを示している。

8. 簡易送電線保護用継電器

前章までに、高速度形の距離継電器、方向地絡継電器および、それを使用した継電方式について述べてきたがここでは、それらに属さない一般の送電線保護継電器（ただし、電圧、電流リレーを除く）について述べることにする。すなわち、以下、CR 形方向過電流、KR 形高速度方向電流、COR-1,2 形電圧抑制過電流、LOR-3 形高速度電圧抑制式過電流、CZ 形比例限時インピーダンス継電器および CWC 形地絡継電器等について紹介する。

(1) CR 形方向過電流継電器

過電流要素 (CO) と方向要素 (D) とからなっている。CO 要素は E 形鉄心と渦巻形円板を用いた誘導形要素で主コイルのほか、ラグコイルをもっており、故障が予定方向を向いたことによって D 要素動作すれば、このコイルは短絡され CO 要素のスタートがなされる。(方向制御方式の採用)

D 要素はシリンダ要素で 30° 進みのとき最高感度となる位相特性を持っているため外部接続は 90° 接線 (A 相用では E_{0c} と I_d) を採用し、実故障時最高感度となるよう考慮している。なお、この形のリレーは従来は数多く使用されていたが最近では電圧抑制式のものに変わりつつある。

(2) KR 形高速度方向過電流継電器

KR 形は過電流要素、方向要素ともシリンダ要素を使用し高速度動作としたものである。この形には、短絡用、 V_0 基準の地絡用、 I_N (中性点電流) 基準の地絡用各種が考えられるが短絡用は、距離継電器をまた V_0 基準の地絡用は高速度地絡方向継電器を使用する方が得策のため製造中止し結局、 I_N 電流基準の KRC 形のみが使われている。これは直接接地系の方向比較キャリアリレーの地絡方向検出要素として使用される。

(3) COR-1, 2 形電圧抑制過電流継電器

電圧抑制付の誘導形過電流継電器には COR-1 形と COR-2 形とがある。後者は、方向継電器と組み合わせで方向制御を可能と

したものである。いずれも、110 V で 200~400% の抑制制度を持っているため、負荷電流と故障電流との選別が容易になされ時限ダイヤルにより動作時限を種々変更することが可能である。しかし、一般には、この種のリレーの時限協調は、系統構成の変化によってくずれやすいため、むしろ距離リレープラスタイムの方式のほうが運用上楽な場合もある。

(4) LOR-3 形高速度電圧抑制付過電流継電器

故障のときは 1A を検出、常時は 6A 以上の電流がなくては動作しないという特性の LOR-3 形リレーは、距離リレーのストップ、または、故障検出リレーとして使用される。主要素に三菱極性リレーを使用し、1~6A タップ 100~600% の抑制制度付きのものが製品化されている。

(5) CZ 形比例限時インピーダンス継電器

電圧抑制制度を変えたとき、電流感度も同時に大幅に変化するものだが、COR 形であれば、電流感度はほとんど変化せず、動作時限のみが変化するものに CZ 形がある。CZ 形は、誘導円板形の過電流要素とフレノイド形の電圧抑制要素とをもち、機械的に比例限時特性を出すものであるから正確な比例限時特性は満足していないが、抑制度、タップの変更によってかなり動作時限を変化させることが可能である。標準品としては、1000% 入力 100 V で約 1 sec の時限をもっており 80~120% の抑制度変更を連続的にできるよう考慮されている。

(6) CWC 形地絡継電器

直接接地系用の地絡継電器として I_0 および I_N によって誘導円板要素を駆動させる方式のものは、直接接地系キャリアのバックアップとして、また、簡単な直接接地系の区間選択として好適である。

すなわち、数区間にわたって接地箇所のある系統では、各区间ごとに入力電流が大幅にちがうため、きわめて時限協調がとりやすい方式といえる。

9. む す び

以上、平衡保護の各方式および継電器について最近の技術およびトランジスタ化継電器の現状を述べたのであるが、日進月歩する上述の技術について、さらに研究開発を進めており、これらについては稿をあらためて発表する。

終わりに、上記の各継電装置製作納入にあたって、各電力会社を始め、関係各位の、ご指導ご協力を深謝する次第である。

送電線保護継電器

—電鉄キ電線保護—

高田 信治*

Line Protection

—Protection for AC Train Feeder—

Kōbe Works

Nobuharu TAKATA

Electric railways mostly operated on DC power in the past, but AC electrification of the line is coming is popular recently. The most outstanding in the New Tōkaidō Trunk Line which is the epochal high speed transit operating on AC. In consequence protective relays for AC train feeders are now considered highly of their importance, making a rapid progress by the invention of "Square characteristic distance relays."

The article first deals with the mho type distance relays (mechanical relays) and with the above-mentioned square characteristic distance relays (transistorized relays) in relation to operating principles as well as the AC feeder protection. Next it discusses about fault locators by the techniques of the distance relay, especially of the reactance relay.

1. ま え が き

電鉄には直流式と交流式があり、10年前までは東海道線、山陽線などすべて直流式で電化されていた。昭和30年ごろからわが国でも交流式で電化する方針が打ち出され、現在、東北・北陸・鹿児島・日豊線などで交流電化が実用化されているが、中でも昭和39年10月に営業運転にはいった東海道新幹線に交流式が採用されたことにより、将来の電化方式として交流式が脚光をあびるようになった。

このことは、電鉄キ電線保護においても、従来の直流継電器ばかりでなく、一般に使用されている交流継電器(距離継電器)も使用されるようになったことを意味する。

以下、交流キ電線保護継電器の推移を当社納入実績にもとづいて記述する。

最初の交流キ電線保護は、昭和35年完成の鹿児島本線 門司港—二日市間でモ特性距離継電器(KZC形)により行なわれた。

東海道新幹線の中電線保護は四辺形特性距離継電器(KKS-2, KKS-22形)により行なわれた。なお、KKS-2形は主継電器として、KKS-22形は後備保護継電器として使用されている。

次に、最近交流電化された熊本電化(鹿児島本線、二日市—熊本間)では主継電器として、新幹線で使用された四辺形特性距離継電器(KKS-22形)が使われた。

以上の推移を見れば明らかなように、交流キ電線の保護継電器は、モ形(円特性)からキ電線を含んだ四辺形特性継電器へと移ってきた。事実、最近交流キ電線保護継電器の規格化の動きがあり、その最小動作域は四辺形特性に統一されつつある。

なお、キ電線の負荷電流、励磁電流、故障点抵抗などを考えて、モ特性距離継電器が適用できれば、モ形継電器を使用して何ら問題ないことは当然である。

以上交流キ電線保護継電器の経過を述べたが、この文では、その保護方式および継電器単体について述べ、さらに東海道新幹線にはじめて実用化された故障点標定継電器についてもあわせて述べることにする。

2. 交流キ電線保護

距離継電器をキ電線保護に適用する場合には、次の点に注意しなければならない。

- (1) 負荷電流(25~40度遅れ)が大きく、故障電流と区別しにくい。
- (2) 列車の起動時に発生する励磁電流が大きく、誤動作しやすい。
- (3) 故障点抵抗が大きい。

(a) モ特性距離継電器による保護(KZC形)

KZC形モ特性距離継電器の特性図を図2.1に、保護方式を図2.2に示す。

(b) 四辺形特性距離継電器による保護(KKS-2形, KKS-22形)

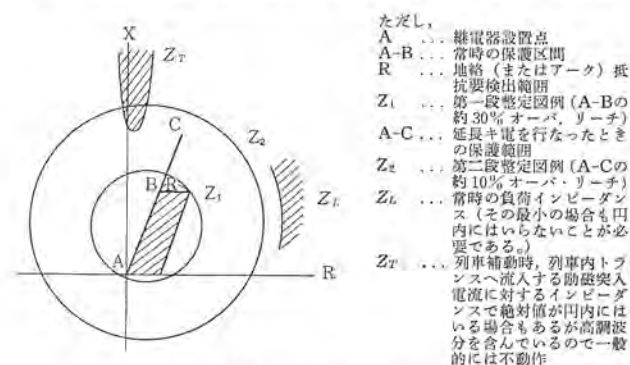


図 2.1 KZC 形 継電器 特性 図
 Fig. 2.1 Characteristics of the type KZC relay.

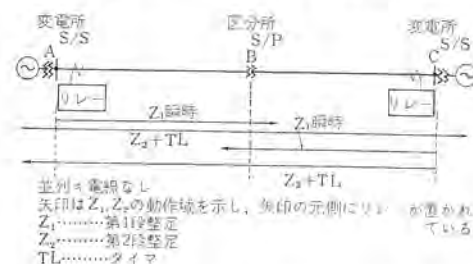


図 2.2 モ特性継電器による保護方式
 Fig. 2.2 Feeder protection with Mho type relays.

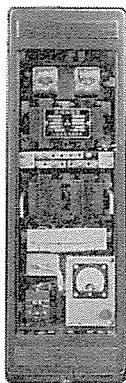


図 2.3 KKS-2 形四辺形特性距離継電器
Fig. 2.3 The type KKS-2 square characteristics relay.

形名	KKS-2形	KKS-22形
2相目	44F (主保護用)	44FB (バックアップ用)
特性図		

図 2.4 四辺形特性距離継電器特性図
Fig. 2.4 Characteristics of square type impedance relay.

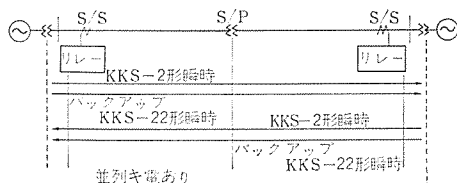


図 2.5 新幹線の場合の保護方式
Fig. 2.5 Protective scheme on New Tōkaidō line.

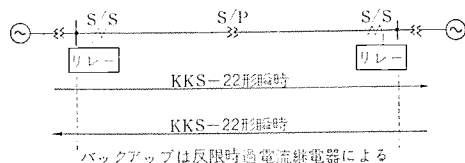


図 2.6 鹿児島線の場合の保護方式
Fig. 2.6 Protective scheme on of Kagoshima line.

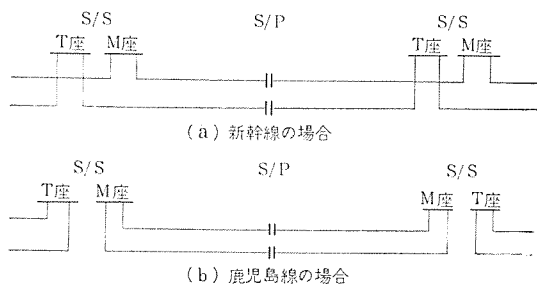


図 2.7 交流キ電線の種類
Fig. 2.7 The typical types of AC feeder.

KKS-2形四辺形特性距離継電器の写真を図 2.3 に、特性図を図 2.4 に、保護方式を図 2.5 (新幹線の場合) および図 2.6 (鹿児島本線 二日市一熊本間の場合) に示す。

図 2.7 には交流キ電線の種類をあげている。図中 (a) はスコットトランスの 2 相側の T 座, M 座が平行して走り, 保護継電器としては 44F (T 座地絡, M 座地絡 リレー) ばかりでなく, 44MT (T-M 座短絡 リレー) も必要となる場合であり, (b) は M 座, T 座が分離して走っているため 44F だけで, 44MT が不要な場合である。

図 2.8 に新幹線に使用された KKS-2 形の外部接続図例を示す。図 2.7 (b) の場合には, 図 2.8 の 44MT 相当 リレーは不

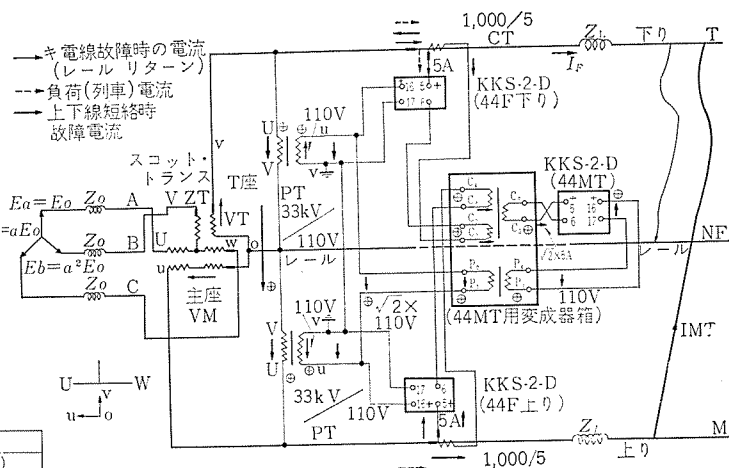


図 2.8 KKS-2 形使用時の外部接続図例 (新幹線の場合)
Fig. 2.8 The example of external connection using the type KKS-2 relay.

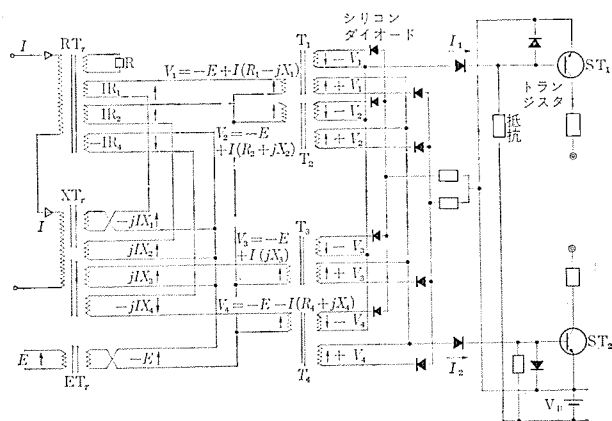


図 2.9 四辺形特性距離継電器入力部回路図
Fig. 2.9 Input circuit of square type impedance relay.

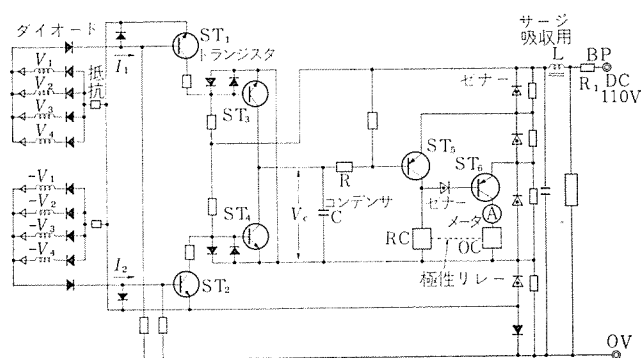


図 2.10 四辺形特性距離継電器弁別部回路図
Fig. 2.10 Phase discriminator of square type impedance relay.

要である。

次に四辺形特性距離継電器の原理について述べる。図 2.9 は入力回路図, 図 2.10 は弁別回路図, 図 2.11 はベクトル図である。図 2.9 の RT_r トランスは CT で入力電流と同相の出力を出し, XT_r はキッツ付トランスで入力電流より 90 度進んだ出力を出し, ET_r は普通の PT で, これらの出力を適当に合成して, $V_1 = -E + I(R_1 - jX_1)$, $V_2 = -E + I(R_2 + jX_2)$, $V_3 = -E + I(+jX_3)$, $V_4 = -E + I(-R_4 - jX_4)$ をうる。 $T_1 \sim T_4$ は絶縁トランスで, $V_1 \sim V_4$ はシリコンダイオードで整流されてトランジスタ ST_1 , ST_2 へ与えられる。図 2.10 は弁別回路図であり, 弁別方式は三菱の標準

表 2.1 図 2.9 の外部接続とした時の動作状況

故障間 リレー 故障%	(上り線故障)			(下り線故障)			(上下短絡)			(上下完全地絡)		
	M-N短絡			T-N短絡			M-T短絡			M-N-T短絡		
	44F (上)	44F (下)	44MT	44F (上)	44F (下)	44MT	44F (上)	44F (下)	44MT	44F (上)	44F (下)	44MT
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0	○	—	△	—	○	△	△	△	○	○	○	○
20	○	—	—	—	○	—	—	—	○	○	—	○
50	○	—	—	—	○	—	—	—	○	○	—	○
75	○	—	—	—	○	—	—	—	○	○	—	○
90	○	—	—	—	○	—	—	—	○	○	—	○
100	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	—	○

注) M……上り線
N……レール
T……下り線
○……動作
—……不動作
△……背後電源大きいときのみ動作

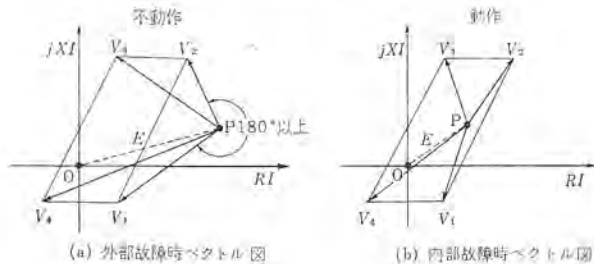


図 2.11 ベクトル図
Fig. 2.11 Vector diagram.

位相弁別方式である。すなわち図 2.11 (a) のように入力 $V_1 \sim V_4$ の中の相となる位相差に 180° 以上のものがあれば不動作、(b) のように $V_1 \sim V_4$ 相となる位相差がすべて 180° 以下ならば動作である。トランジスタ回路の詳しい説明は前掲の平衡保護継電器で述べた KKS, KMS 形と同一なので省略する。なお KKS-2, KKS-22 形ともに同一原理で、KKS-2 と KKS-22 形の相異点をひとことでいえば、KKS-22 形では前方整定タップを隠しタップとし、収納ケースを小形化した点にあり、特性上の相異点はほとんどない。表 2.1 に KKS-2 形の模擬送電線におけるデータを示してあるので参照されたい。

(c) 標準方式

今後、交流電化区間がますます多くなる傾向にあり、最近主継電器 4F の標準化が活発に行なわれつつある。その概略仕様を次に述べる。

a. PT 比 22,000/110 V, CT 比 400/5 A を標準とする。上記が異なるときは補助変成器を追加して使用する。

b. 線路インピーダンス角 $63 \sim 75^\circ$ 、負荷インピーダンス角 $25 \sim 45^\circ$ で問題ないようにする。

c. 前方タップ 6, 8, 10, 12, 16 Ω , R 分タップ 3.2, 6, 8, 10 Ω 。ただし上記は、PT 比 22,000/110 V, CT 比 400/5 A の場合のリレー値

d. 動作速度 5 A, 整定値の 90% 故障で 60 ms 以下。

e. 励磁突入電流 電圧 80~110 V, 波高値 20 A 以下で異常なし。

f. 過大入力 100 A, 1 秒間異常なし

g. 消費 VA CTVA, 20 VA 以下, PTVA 50 VA

上記規格にあるように交流電線保護継電器の動作範囲は、四辺形特性で規定される (c)、さらに動作限界点付近での高速度動作が規定されているので (d)、トランジスタなどの半導体による静止形継電器の電線保護への適用がますます盛んになると考えられる。

3. 故障点標定装置

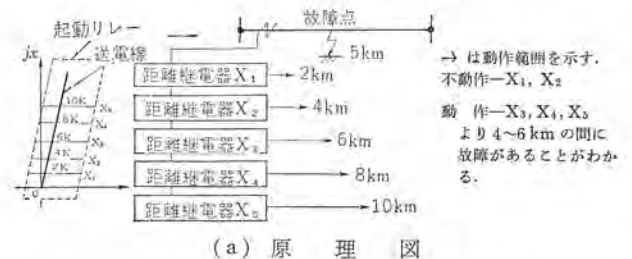
継電器の技術を用いて故障点標定装置 (ロケータ) を作る原理は、いろいろあるが、現在実用化しているものの原理について以下に述べる。

図 3.1 は原理図である。図中 $X_1 \sim X_5$ は距離継電器でその動作限界点はそれぞれ 2 km, 4 km, 6 km, 8 km, 10 km, である。今 5 km, の点で故障が起これば、 $X_{1,2}$ は不動作、 $X_{3,4,5}$ は動作し、このことから故障点は 4~6 km の間にあることがわかる。図 3.1 (b) には判定表を記入している。以上の原理ではロケータに使用する継電器を 5 個、区間を 2 km に選んだが、継電器個数を増しても、区間 α (互) 長を変えてもよいことはもちろんである。

継電器によるロケータは以上のようなことから、距離継電器 X としてどんな原理のものを使うか、 X を何個使用するか、区間を何 km くらいに選ぶかにより、いろいろなロケータができる。なおこの章で述べるロケータは抵抗系送電線の 1 線地絡などには使用できないので、一般の送電線には適用できない。

(1) 瞬時値比較形

電流のゼロ点において、電圧出力 E と電流出力 jXI とを比較すれば、故障点抵抗の影響のないリアクタンス特性継電器ができることは広く知られている。ロケータとして実用化するに際して問題となるのは小形化する点である。新幹線に用いられたロケータは図 3.2 のように、検出部すなわち X 部分と、表示部すなわち X



(a) 原理図

故障点	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	ランプ表示
0~2 km	○	○	○	○	○	L_1
2~4 km	×	○	○	○	○	L_2
4~6 km	×	×	○	○	○	L_3
6~8 km	×	×	×	○	○	L_4
8~10 km	×	×	×	×	○	L_5

○印動作 ×印不動作

(b) 原理を示す動作

図 3.1 故障点標定継電器原理図
Fig. 3.1 Principle diagram of fault locator.



(a) KKS-51 形検出部 KKS-52 形表示部

図 3.2 故障点標定継電器
Fig. 3.2 Fault locator with five step reactance relays.

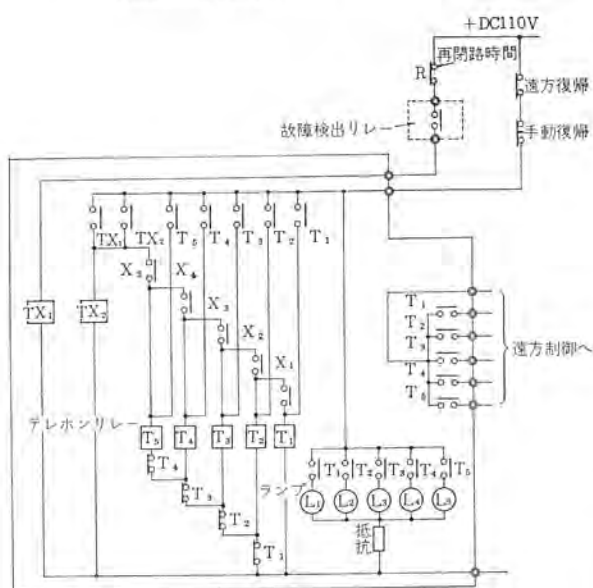


図 3.4 故障点検出継電器表示回路部(自己保持回路を含む)
Fig. 3.4 Indicating circuit of fault locator.

の動作から故障区間を判断する部分とからできていて、X としては上記瞬時値比較形のリアクタンス継電器、X の個数は 5 個、区間はリレー換算 1Ω (実系統 2 km) 前後である。X を 5 個含みながら図 3.2 のように小形化できたのは検出部をトランジスタにより静止化できたからである。

図 3.3 は検出部の回路図を、図 3.4 には表示部のシーケンスを、図 3.5 には図 3.3 のゼロ点検出部の波形図を示しているので参照されたい。

(2) 位相弁別形

瞬時値比較形ロケータの精度はよいが、パルス継電器であるため

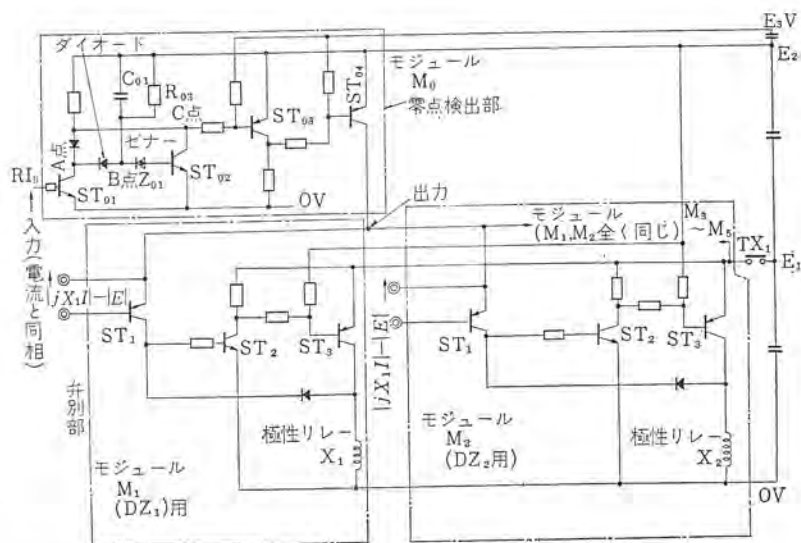


図 3.3 故障点検出継電器回路図
Fig. 3.3 Transistor circuit of fault locator.

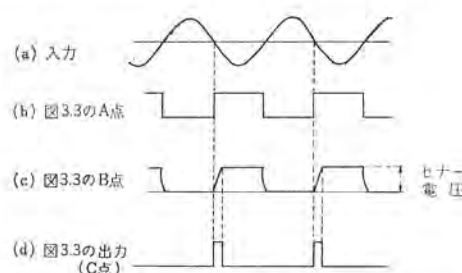


図 3.5 波形図
Fig. 3.5 Wave diagram of the gate of current=0

種々の協調が必要である。したがって組み合わせられる起動継電器 (たとえば 44 F) の性能、シヤ断器の性能、開閉サージなどに対する十分な検討が必要である。このような協調動作条件を少なくし、一般の交流キ電線へも、距離継電器によるロケータを適用するために、位相比較形リアクタンス継電器によるロケータを、昭和 40 年 7 月鹿児島本線瀬高 s/s における人工故障試験でテストし、十分な成果をおさめた。

なお位相比較形ロケータの原理は、前掲の平衡保護継電器で述べた KMS 形継電器のリアクタンス部と同一なので省略する。

4. む す び

以上交流キ電線保護について当社の現状を述べたが、さらに高信頼性、小形軽量化をめざして、鋭意研究開発中ゆえ、これらについては文をあらためて発表することとする。

終わりに、電鉄保護の発展進歩について、日本国有鉄道ならびに関係各社から賜わったご指導を厚く感謝する次第である。

送電線保護継電器

—再閉路装置—

鈴木健治*・山内成周*

Line Protection

—Reclosing devices—

Kōbe Works Kenji SUZUKI・Shigechika YAMAUCHI

The reclosing method of transmission lines can be divided into two categories from the operating speed: high speed reclosing and low speed reclosing. In the high speed reclosing the operation is made in combination with the protective relaying for the transmission lines. The reclosing for the preferential tripping by carrier protective relaying and confirmation of tripping at all terminals with pilot wires are put into practice. The low speed reclosing consists in a standard method applicable to all system conditions depending on the combination of the number of power terminals and of lines. Devices capable of not only reclosing but of recovering the power system are worthy of attention. Feeder reclosing relays and system condition detectors are also important items.

1. ま え が き

送電線の故障の大部分は雷などによるアーク地絡で、永久故障は全故障回数の10%程度にすぎない。したがって、故障電流をシャ断したのち、アーク路の消イオン時間を待ってシャ断器をふたたび投入すれば異常なく送電が継続される場合が多い。

再閉路装置とは、故障電流シャ断後の再投入を自動的に行なわせるもので、各種の送電線保護継電器からの信号で起動し、系統の各種条件を確認して規定時間後に投入指令を出すものである。この規定時間を無電圧時間と呼ぶが、これの長・短によって高速再閉路と低速再閉路とに区別され、その意味は大きく異なる。再閉路後、ふたたび事故シャ断すれば、一般に、以後の再閉路をロックする。以下各方式の継電器について述べる。

2. 高速度再閉路装置

送電線の過度安定度の向上、送電容量の増加を目的として無電圧時間を1sec以下にしたものである。安定度の見地から無電圧時間はできるだけ短かいことが望ましいが故障点のイオン消滅時間として系統電圧によって異なるが10~15c/sを必要とするので一般に0.2~0.5秒である。

一般に高速再閉路方式は、両端電源の重要送電線に使用されるので搬送保護継電装置、表示線保護継電装置のように両端同時高速シャ断の可能なものと組み合わせ、安定度を向上させるとともに、無電圧時間後ほぼ同時に投入できるようにする必要がある。

2.1 搬送保護と組み合わせの場合

a. 単相再閉路

主として直接接地系統で使用され、単回線のみの場合にも適用可能である。この方式は1線地絡時に事故相を単相シャ断し、無電圧後に再閉路を行なうものであるが、単相再閉路においてとくに重要なことは事故相のみをシャ断するものであるから一線地絡の検出と接地相の検出を確実にしなうことである。単相シャ断すれば送電線の両端系統は健全な二相と大地により連携されている

ので系統安定度は非常によい。

b. 三相再閉路

送電線の故障種類に関係なく三相ともシャ断し再閉路を行なうものである。三相再閉路は三相ともシャ断するため送電線両端系統が同期している必要があり、シャ断回線以外に健全なほかの1回線以上が連携していることが必要条件である。すなわち平行2回線あるいはループ系に適用され、単回線により両端系統が連携されているような所には使用できない。この連携確認を再閉路投入条件とするもので、平行回線では健全回線の潮流検出と母線電圧健全を使用する。ループ系ではパイロット信号による連携確認と母線電圧健全を投入条件としている。三端子以上の系統では平行回線であっても他回線の潮流検出のみでは後述の2.2節cのように不ぞろいシャ断した場合に非同期並列投入するおそれがある。この対策としてパイロット信号の授受により確認して投入する方法がある。

c. 単相、三相再閉路

前述の単相および三相再閉路の組み合わせであり、1線地絡事故時のみ単相再閉路を行ない、それ以外は三相再閉路を行なう方式である。単相シャ断し無電圧時間カウント中に他相に故障が発生すると残り相をシャ断して起動中の単相再閉路を三相再閉路に切換える考慮が必要である。

d. 多相再閉路方式

平行2回線において多重故障時故障相のみシャ断し、両回線を通じて異名2相以上が連携されていることを条件に再閉路を行なう方式である。この方式で二相以上が連携されていることが最大条件となるが、この条件検出の一方法として搬送による各相位置比較を行なう方法がある。

e. 優先シャ断再閉路方式

多重故障時進み相回線または重故障回線を選択シャ断し、再閉路後、遅れ相または軽故障回線をシャ断再閉路する優先シャ断再閉路方式がある。これは三相再閉路あるいは多相再閉路の方式の変形である。

図2.1において(a)は1L優先シャ断により2Lにロック信号

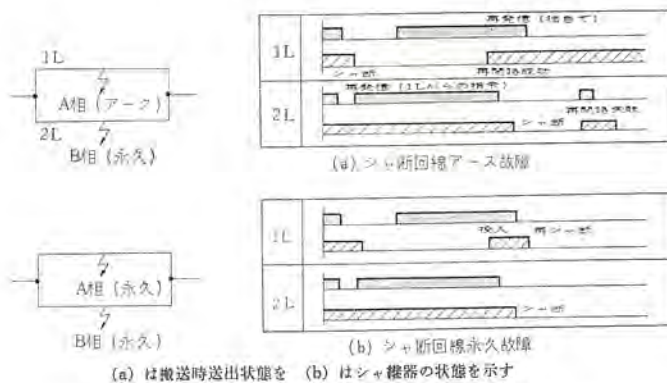


図 2.1 優先シャ断再閉路動作説明図
Fig. 2.1 Reclosing method combined with preferential tripping.

を送り、1L 投入によって初めて2Lのロックを解き1Lは再閉路成功、2Lは引き続いてシャ断、相手端再閉路条件成立していれば再閉路を行なう。(a)は2L側永久故障の場合であるが、アーフであれば無停電送電可能となる。なお優先シャ断した1Lでは下記2点をシケンス上考慮し、キャリブ再発振するよう考慮している。

(イ) シャ断器開放(パレットスイッチ復帰)による搬送停止回路は再閉路中ロックする。

(ロ) 故障回線の地絡回路は両端非電源対策回路をとっている場合、シャ断原因を作った搬送停止の条件が互いに記憶しあうことになるため、シャ断器を開放してから一定時間後に再送出する回路を用意する。

(b)は2L側で1Lシャ断開放したことによって優先選択回路を殺すよう考慮し、1L投入と同時に1L、2Lともシャ断し2Lの再投入をロックして永久故障時の不必要投入を防止している。

2.2 表示線保護と組み合わせの場合

a. 三相再閉路

一般に表示線保護装置と組み合わせる場合、三相再閉路が用いられる。方式は搬送保護装置と組み合わせる三相再閉路とまったく同じで、2端子系並行2回線では隣回線の潮流確認と母線電圧健全を再閉路条件としている。

b. 単相、多相再閉路

超高压系の重要送電線などに、各相別の表示線保護を行なう場合、単相再閉路、多相再閉路を容易に行なうことができる。また各相別の表示線保護装置でなくても、搬送保護装置と組み合わせる単相再閉路と同様に接地相検出継電器を使用すれば、単相再閉路を行なうことができる。

c. 多端子系における三相再閉路

2端子の並行回線系統において三相再閉路を行なう場合、隣回線の潮流確認と系統故障なしの条件だけで両端のシャ断器のシャ断を確認することができる。しかし3端子以上の多端子系統においては、これだけの条件では全端のシャ断を確認することができない。すなわち、図2.2のように、不ぞろいシャ断したとき、B端、C端では隣回線の潮流を確認して再閉路してしまうのでA系統とB系統とを非同期並入するおそれがある。

これを防ぐため、図2.3のように送電線保護用の表示線とは別の表示線を用いて全端子のシャ断を確認することができる。すなわち、各端子のPT電圧 E_A 、 E_B 、 E_C 、シャ断器補助接点52A、52B、52Cを図のように表示線で接続し、各端子にRR-2-D形受信継電器を設置すれば全端子のシャ断器が開放されたときだけ全端子の受信継電器が動作する。シャ断器が1端子でも開放されて

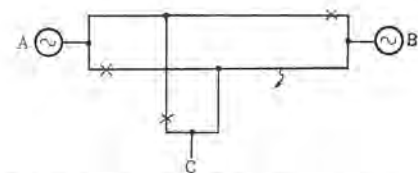


図 2.2 3端子系の不ぞろいのシャ断
Fig. 2.2 Imperfect tripping of three terminal system.

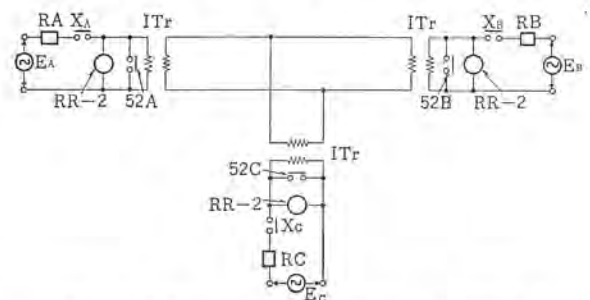


図 2.3 3端子系におけるシャ断器シャ断確認方式
Fig. 2.3 Confirming method of tripping of circuit breaker at another terminals.

いなければ全端子のPT電圧は短絡され、全端子の受信継電器は不動作となって、全端子の再閉路をロックすることができる。しかし、全端のシャ断器が開放されたうえに隣回線も連携を断たれて異系統運転されれば、両系統のスリップによって受信継電器が動作・不動作を繰り返すので、各種再閉路条件が成立したときに動作する X_A 、 X_B 、 X_C によって各端のPT電圧を制御して受信継電器の不要動作を防止している。

3. 低速度再閉路方式

高速度再閉路方式にくらべて、無電圧時間が長く、60 sec程度であり、普通、三相再閉路にだけ使用される。したがって送電線の安定度向上は期待できないが、系統の復旧を確実にすみやかに自動的に行なうことを目的としたもので、各種の送電線保護装置と組み合わされて使用される。適用範囲は以下のように広い。

3.1 低速度再閉路標準方式(表3.1参照)

(1) 単独1回線

a. 1端電源

区間内故障時には電源端のシャ断器だけがシャ断されるので電源端で再閉路する。再閉路条件としては母線電圧健全を確認する。負荷端がシャ断される可能性のある場合は線路電圧健全あるいは無条件に再閉路する。

b. 多端電源

区間内故障時には電源端のシャ断器はすべてシャ断されるので

表 3.1 低速度再閉路標準方式

回線数	電源端数	端子数	系 統
1	1	2以上	
1	2以上	2以上	
2	1	2以上	
2	2	2	
2	2以上	3以上	

電源端の1端を母線電圧健全、線路電圧なしを条件に先行再閉路し、残りの電源端では KVP-D 形同期検出継電器によって同期投入する。負荷端がシャ断される可能性のある場合は、a. と同様に再閉路する。

(2) 並行2回線

a. 1端電源

1回線事故あるいは2回線同時事故時には、電源端は(1)aと同様に再閉路する。負荷端も(1)aと同様に再閉路する。

b. 多端電源

(a) 2端子系(両端電源)

1回線事故時だけ再閉路する場合は高速度三相再閉路の条件と同様に、隣回線の潮流確認と母線電圧健全を条件に再閉路する。したがって両端同時再閉路が可能である。

1回線事故、2回線事故時とも再閉路する場合は1端を先行投入し、他端は同期検出継電器によって同期投入する必要がある。

(b) 3端子以上の多端子系

1回線事故だけ再閉路する場合、3端子以上の多端子系では隣回線の潮流確認と母線健全の条件だけでは、前述したように非同同期並入のおそれがあるので、低速度再閉路では普通1端先行投入を行なっている。すなわち電源端の1端を隣回線の潮流確認、母線電圧健全、線路電圧なしを条件に先行投入し、他端では線路電圧が規定時間(一般に無電圧時間より短かい)以上なくなったのちに健全、隣回線のシャ断器が閉、母線電圧健全を条件に後続投入する。この方法によれば、確実に非同同期投入を避け、条件の成立した端子だけが再閉路される。

1回線事故、2回線事故時とも再閉路する場合はaと同様に、1端を先行投入し、他の全端に同期検出継電器を設置して同期投入する。

3.2 自動復旧形低速度再閉路方式

最近従来の送電線低速度再閉路方式のほかに、電気所の復旧操作をも考慮した一種の簡易形自動復旧装置が使用されている。

これは電気所の運転員が行なっていた復旧操作の一部を自動化することにより、より確実に停電区域を最小減に押え、停電回復時間を短縮化して需要家へのサービスを向上しようとするものである。したがって全系統に協調をとって設置すればより効果がある。

装置自体としては回線数の多い既設電気所に装置する場合が多いので極力小形化の必要がある。現在下記の2方式がある。

a. RC-101 形低速度再閉路装置

再閉路方式としては1端先行投入方式を採用し、原則として先行端は母線電圧健全で再閉路し、後続端は線路電圧健全で再閉路する。多端電源の際は全端に非同同期検出継電器を設置して母線電圧と線路電圧のスリッパを一度でも検出すれば、異系統と見なして再閉路をロックする。したがって連携が断たれた場合は同期並入を行なわない。

以上は従来の送電線再閉路に準じたものであるが、このほかに全停時にも警報やシャ断器操作を行なわせ、線路の永久故障に対して2度充電を絶対に避けて電源へのショックを減らすとともに、停電回復間の短縮を行なっている。

構成としては、図3.1のように幅700mmの標準配電盤に回線ユニットで、6回線分を収納できるようにしてある。再閉路条件検出は、トランジスタ化により小形化されたRCV-N形継電器を使用し、複雑な系統条件に応じられるようにしてある。無電圧時間、



図 3.1 RC-101 形低速度再閉路装置
Fig. 3.1 RC-101 type low speed recloser.

表 3.2 RC-101 形低速度再閉路方式

送電側	運用系統	受電側
1-1 母線電圧あれば投入		1-2 無条件に投入して母線電圧の回復を確認
1-1 母線電圧あれば投入		2-2 1. 線路電圧あり、母線電圧ありで投入(他回線が生きている) 2. 線路電圧あり、母線電圧なければ他回線のシャ断器間を確認して投入他回線のシャ断器閉のときはこれをシャ断してから投入
3-1 母線電圧あり、線路電圧なしで投入(線路電圧あるときは両電源を分離したままとする)		3-2 母線電圧なしで投入
4-1 1. 母線電圧あり、線路電圧なしで投入 2. 母線電圧あり、線路電圧があるときは同一系統であることを確認して投入		4-2 1. 線路電圧あり、母線電圧あれば同一系統であることを確認して投入。 2. 線路電圧あり、母線電圧なければ他回線のシャ断器間を確認して投入他回線のシャ断器閉のときはこれをシャ断してから投入
		自動切除受電回線の線路、母線電圧ともなく他回線の線路電圧あれば受電回線のシャ断器をシャ断して他回線投入

表 3.3 RC-102 形低速度再閉路方式

送電側	運用系統	受電側
1-1 母線電圧あれば投入		1-2 線路電圧あれば投入
1-1 母線電圧あれば投入		2-2 線路電圧ありで投入
3-1 母線電圧あり、線路電圧なしで投入(線路電圧あるときは両電源を分離したままとする)		3-2 母線電圧なしで線路電圧ありで投入
4-1 1. 母線電圧あり、線路電圧なしで投入 2. 母線電圧あり、線路電圧があるときは同一系統であることを確認して投入		4-2 1. 線路電圧あり、母線電圧あれば同一系統であることを確認して投入 2. 線路電圧あり、母線電圧なしで投入

準備時間などの長時限 タイマ は、AC タイマ を静止形 DC-AC インバータ と組み合わせて確実な時限をとるとともに小形化を行なっている。またシーケンス部はテレフォンリレーを使用している。

b. RC-102 形低速度再閉路装置

線路の再閉路方式は、a の RC-101 形とほぼ同じで母線電圧確認、線路電圧確認、非同期確認などを条件として行なう。全停後の操作は多少違い、全停後全回線を開放し、系統復旧を待って自動的に投入する。

構成としては、幅 700 mm の標準配電盤に 8 回線分を収納できるようにしてあり、母線電圧確認、全停確認などの共通部を収納したユニットと、線路電圧確認、非同期確認、各種長時間 タイマ、シーケンス用補助リレーなどの回線部を収納した回線ユニットとからなる。各ユニットの検出要素、タイマなどはトランジスタ化を行なうことによって小形化してある。

4. キ電用再閉路継電器

配電線、キ電線においてはそのほとんどが背後に電源を有する負荷供給端であるので、故障シタ断時の再閉路は非常に簡単である。すなわち両端系統が非同期投入のおそれがないため潮流検出などを必要とせず故障シタ断から起動し、一定時限をおいて投入すればよい。とくに無人変電所とか屋外ユニット配電所などにおいては一部の永久故障以外のほとんどが再閉路装置を設置することにより故障シタ断後自動再閉路を行ない、人力を要せずふたたび送電を継続することができる。この種の再閉路装置において考慮を必要とすることは再閉路時間の整定である。一変電所においてキ電線が非常に多いものを同一整定同一起動とするとシタ断器操作電源容量が不足していれば電圧低下して投入およびシタ断に支障をきたすことがあるので、時限を少しずつ違える必要がある。またシタ断器の動作責務時間を考慮して 1 回目、2 回目と責務時間を十分考えた整定が必要である。RC-2-D 形自動再閉路継電器は、上記目的に使用するものでこの 1 個の継電器で完全な再閉路動作を行なうことができる。この継電器は最大 5 回まで、投入時間は連続変更可能であり、図 4.1 に 3 回投入成功時のシーケンスを示す。また永久故障時には所定投入回数終了後、投入動作をロックすると同時に警報するようになっている。また再閉路投入および失敗回数を付属の度数計に表示できるようになっている。

5. 再閉路用主継電器

再閉路装置用として種々の継電器を必要とするが以下に代表的なものを述べる。

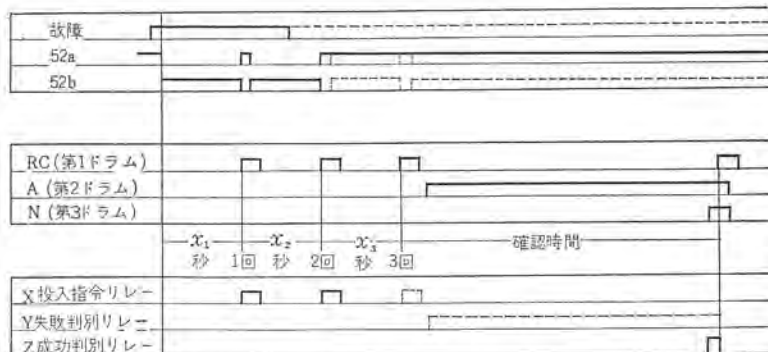


図 4.1 RC-2-D 形継電器シーケンス
Fig. 4.1 Sequence diagram of type RC-2-D relay.

5.1 同期確認用

故障シタ断され分離された系統を再閉路する際に一端先行投入し、受電端で母線電圧と線路電圧の同期確認を行なう必要がある。KVP-D 形継電器はこの同期確認用として、両端電圧の位相角と周波数が等しいかどうかの判定を行なうものである。この継電器は図 5.1 に示すように基準電圧 E_2 と測定電圧 E_1 から所定の変換ベクトルを導出する「移相回路」、その変換ベクトルの位相関係を判定する「位相弁別回路」、その結果が一定時間以上継続することを判定する「周波数弁別回路」および以上の結果により指令を与える「判定要素」から構成されている。この移相弁別のベクトル関係を図 5.3 に示す。また周波数弁別回路は E_1 と E_2 のスベリ周波数が一定であれば

$$f' = \frac{\theta}{0.18T} \dots\dots\dots (5.1)$$

f' : スベリ周波数 (c/s)

θ : 継電器の整定角 (度)

T : 継電器の動作時間 (ms)

の関係があるので、シタ断器の投入時間を考慮して下記の関係を満足する整定ができるようになっている。

$$\theta_c \geq \theta \left(1 + \frac{2T_c}{T} \right) \dots\dots\dots (5.2)$$

θ_c : 許容最大投入位相角

T_c : シタ断器の投入時間



図 5.1 KVP-D 形同期確認継電器
Fig. 5.1 KVP-D type synchro verifier.

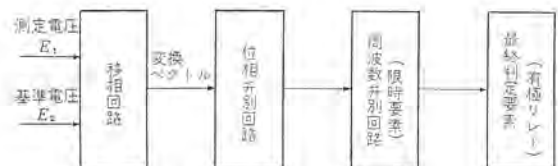


図 5.2 ブロック線図
Fig. 5.2 Block diagram of phase discrimination.

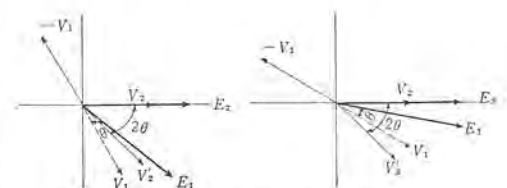


図 5.3 位相弁別ベクトル図
Fig. 5.3 Vector diagram of phase discrimination.

KV-20 形継電器は上記程度を必要としないときに使用するもので E_1 と E_2 の差電圧を四極誘導要素に導入，差電圧の有無で判定するものである。

5.2 潮流確認用

再閉路投入時両端系統連携確認用として潮流検出を行なうが，線路の電流または電力が規定値以上あることを一般に投入条件として使用する。KI-3-D 形および KIA-2-D 形継電器は線路電流を検出するもので，KI-3-D 形は四極誘導要素に相電流を導入し，各相接点を直列に使用する。また KIA-2 形は各相電流を導入し，デルタ電流の各出力をトランジスタによりアンド回路によって構成したものである。

一方 KRA-4 形継電器は系統に潮流があり電力授受が一定値以上あることを検出するもので四極誘導要素を使用している。この継電器は一相の電流と線間電圧の積により動作するものであるから，一線地絡故障などによる地絡電流によりあたかも潮流があるごとく誤判定を行なう場合がある。このため潮流検出継電器を使用するときは，系統に地絡故障有無を検出する継電器と併用して使用する。

5.3 総合確認用

前述した RC-101 形低速度再閉路装置の各種再閉路条件検出継電器として RCV-N 形継電器がある。この継電器は，トランジスタ化することにより動作値が高く復帰値の低い単相形電圧検出要素



図 5.4 RCV-3-N 形再閉路条件検出継電器
Fig. 5.4 RCV-3-N type reclosing condition detector.

を2要素（母線および線路用）と，非同期検出要素，全停確認要素を各1要素ずつ収納できるようになっていて必要な要素だけを収納できるようララインになっている。

6. む す び

以上再閉路の各方式および継電器について当社の現状を述べたのであるが，さらに新たな方式，継電器について研究開発を進めておりこれらについては稿を改めて発表する。

終わりに上述の再閉路装置製作にあたって各電力会社をはじめ関係各位のご指導ご協力を深謝する。

送電線保護継電器 —配電線保護—

松本 忠士*

Line Protection —Distribution Protection—

Kōbe Works Tadashi MATSUMOTO

Receiving and distribution line protection generally consists in the prevention of trouble caused by short circuit and ground fault as its chief aim. At a distribution substation definite minimum time overcurrent relay are used for short circuit protection, while directional ground relays are operated to perform selective protection of ground circuit. On the other hand, high voltage power customers employ overcurrent relays with instantaneous elements for the protection against short circuit to prevent the troubles affecting other consumers as much as possible. As for the ground fault grounding relays operating only on zero phase request current are provided there. Those receiving high voltage power from loop systems provide for bus short circuit fault by the use of simple bus protection system and apply low energy overcurrent relays or ground directional relays to protect 100 A grounded system from grounding fault.

1. ま え が き

電力系統の最終段階の系統である配電線の保護は、一次、二次系統にくらべれば、比較的簡単なものとなるが、一度事故が生ずればそれが直接需要家に影響し、また場合によっては人畜に直接危害を与えることになりその必要性はおのずから生まれてくる。

事故の対象としては、短絡事故（過負荷を含む）と地絡事故の二つがおもなものであるが、以下本文はこれらに対処する保護方式について述べるものである。

2. 短 絡 保 護

2.1 放射状線路

わが国における配電系統で最も多く普及し、一般的な構成は配電用変電所から各フィーダが放射状に各負荷に給電している形である。

フィーダに生ずる短絡事故電流は、変電所の近所では大きく遠方の所では小さくなり事故の除去も事故電流の大きな場合は早く、そうでない場合には適当な時限を持たせて行なう必要がある。

フィーダの過負荷は、その状態により変圧器、電線路などの配電機器を損壊するおそれが多分にあり、またこれらの配電機器の過負荷耐量は一般に反限時特性を有していることが知られている。

また高圧需要家において設置される保護方式との時間的な協調を合理的に得るために、フィーダ保護には限時特性を加味した継電器で行なうのが理想的である。

三菱ではこの要求に最もよく合致する保護継電器として CO-6 形過電流継電器を製作している。なおこのほかに、CO シリーズとして表 2.1 に示すように CO-2~11 形過電流継電器があるのでご参照願いたい。

2.2 ループ系受電線路

図 2.1 に示すようなループ系統につながる需要家変電所あるいは 2 回線受電式需要家変電所の高圧側母線を簡易かつ確実に保護する方式として三菱では主継電器に CA-6 B 形比率差動継電器を用いた BP-280 B 形母線保護装置を用意している。（図 2.2）

表 2.1 新 CO 形継電器応用指針

ただし方向過電流（CR ライン）、電圧抑制付過電流（COR, CZ ライン）を含まず

形 名	動作時間特性	時限(2)比較	主 要 用 途	理 由	(1)取扱
CO-2	短限時	0.47 秒	①準瞬時保護 ②差動保護 ③高速後備保護	現時選択を必要としないときに適す。 抑制なしで差動保護をするときに適す。 安定度の見地から非常に短時間動作が必要となるときに適す。	B
CO-5	長限時	24.0 秒	電動機保護	長限時なので起動電流で誤動作しない。短絡事故は IIT 形瞬時要素で瞬時トリップするように通常 CO-5E-D (引出し形) または CO-5E-E として用いる。	A
CO-6	反限時 定限時	2.0 秒	①送電線保護 (後備保護を含む) ②発電機保護 (中容量以上)	同一地点の故障で電流が大幅に変動するような場合つまり送電線保護に適す。 協調段階の終段として協調上最適な場合が多い。	A
CO-8	反限時	2.52 秒	①フィーダ保護 (配電線保護を含む) ②変圧器保護 ③短距離線路そのほかの後備保護の一部 ④接地保護の一部	一次、二次、高圧配電線およびフィーダ保護に適す。反限時特性のなめ電流による故障判別によく、変圧器の過電流耐量特性にも特性がよく合っている。 反限時特性ゆえ電流により時限が変化し事故の拡大防止に適す。CT 負担が小さくである。 CT 負担が小さくても標準的な継電器である。	A
CO-9	反限時	1.50 秒	①フィーダ保護の一部 配電線保護の一部 ③接地保護の一部	負荷の保護用遮断器過電流トリップ特性やヒューズの特性などに対しフィーダ保護の第 1 段として CO-9 が適することがある。 接地保護の第 1 段として協調上必要になることがある。	B
CO-11	超反限時	0.8 秒	①電動機保護の一部 ③接地保護の一部	起動電流の小さい電動機保護に適す。その場合協調上 CO-11E-D とするほうがよい。 CT 負担が CO-2~11 で最小なので利用されることがある。	B

(注) (1) “A”……とくに標準と考えられているもの “B”……準標準

(2) 時限比較はダイヤル 10 位置動作電流 100% のときのものを比較してある

この装置は図 2.1 のような母線構成において送電線短絡保護が母線保護を兼ねることができない容量の需要家に設置される。

この装置は、受電線 2 本で、負荷側は変圧器で低圧側に接続されている母線であり受電送電線にはそれぞれ変成比の等しい CT が設置されていれば既設の設備にも適用することが可能である。

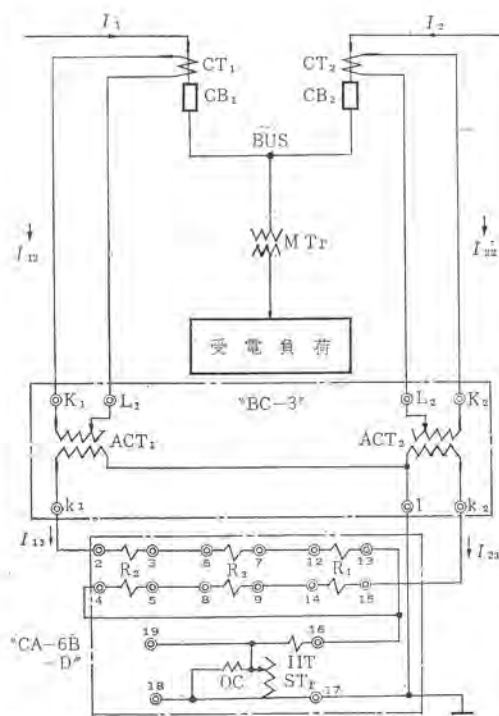


図 2.1 CA-6 B-C 形比率差動継電器と BC-3 形入力装置の組み合わせによるループ系受電母線の保護
Fig. 2.1 Bus protection scheme for the loop system substation.



図 2.2 CA-6 B-D 形比率差動継電器
Fig. 2.2 Type CA-6 B-D ratio Differential relay.

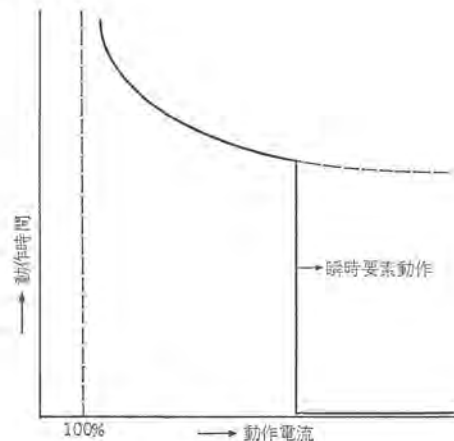


図 2.4 瞬時要素付過電流継電器の動作特性例
Fig. 2.4 Typical characteristics of a over-current relay.



図 2.3 COT-6-R 形過電流継電器
Fig. 2.3 Type COT-6-R Over-current relay.



図 2.5 IT-3C-D 形瞬時過電流継電器
Fig. 2.5 Type IT-3C-D instantaneous overcurrent relay.

この場合、この装置は 2 回線の CT 2 次回路を直接接続しなくてもよいようになっているので非常に便利である。

2.3 過電流継電器の特殊使用例

CO-6I-R 形、COT-6I-R 形、CON-6I-R 形、COA-6I-R 形継電器は、瞬時過電流要素 (10~40A または 20~80A 可調整) を付加した誘導円板形の過電流継電器で、とくに高压需要家 (3kV、または 6kV 受電) の受電用として最適の特性を有するものである。

従来は高压受電保護に瞬時過電流要素を付加されていない過電流継電器を使用していたため、限時目盛が 10 または 11 までであるのに、実際は 1 以下につめて使用していた。それでも短絡故障時には、より電源側のシャ断器をトリップするという不都合がしばしば見うけられた。

また、限時目盛を 1 以下にするため、電動機負荷がある場合など単なるダッシュカレントでも誤動作するおそれもあった。

CO-6I-R 形、COT-6I-R 形、CON-6I-R 形、COA-6I-R 形瞬時要素付過電流継電器を使用すれば図 2.4 のように短絡事故のような大電流では瞬時要素が高速度で故障除去し、過負荷保護のためには余裕を持った限時整定ができるから、高压需要家用には最適な継電器と推奨される。

この継電器の用い方は、下記のように選択する必要がある。

(a) CO-6I-R

直流電源のある場合、いわゆる DC トリップ用のシャ断器と組み合わせ使用。

(b) COT-6I-R (図 2.3)

直流電源のない場合に CT 引きはずし式のシャ断器と組み合わせ使用。

(c) CON-6I-R

直流電源がなく、また CT 引きはずし式のシャ断器もないとき

に不足電圧引きはずし式 (ノーボルトトリップ) のシャ断器があればこれを使用して保護する。この場合接点は常時閉路で動作時に開路することになる。

新設の場所では、前記 COT-6I-R 形瞬時要素付過電流継電器を用いればよいのであるが、既設の CT 引きはずし式誘導形過電流継電器がすでにある場所には別に IAT-1 形瞬時過電流継電器を用いればよい。

また、CT 引き外しのシャ断方式でなく過電圧引きはずし方式のシャ断器であれば単なる瞬時要素 (IIT) のみで瞬時保護が可能になる。

IIT のみを 1~3 個組にしたものとして IT-1C、IT-2C および IT-3C-D 形瞬時過電流継電器を製作している。(図 2.5)

3. 地絡保護

3.1 非接地系の保護

配電用変電所の一つの母線からは数多くの配電線が出ており、またわが国における配電系統は一般に中性点が接地されておらず、事故回線を検出することは困難であり、高感度の地絡方向継電器を設け、どの回線に地絡事故を生じているかを知ることが必要で、その要求に答えてくれるのが CWG-3 形継電器である。(図 3.1)

CWG-3 形地絡方向継電器はすこぶる鋭敏な動作感度をもちたとえ $V_0=110V$ の場合事故回線に 150mA 程度 (ZCT1 次側) 流れれば確実に事故回線を選択する。

この継電器は非常に高感度に調整されているので配電盤の衝撃に対してあまり強いとは言えないが、衝撃が起こるおそれのある場合には、CV-8 形 (誘導円板形) や SEV-1 形 (トランジスタ形) 電圧継電器を併用し誤動作防止を行なうことができる。(図 3.2)

高压需要家の配電線は普通非接地で運転され、変電所において接地をとって接地検出を行なっている。



図 3.1 CWG-3-R 形接地継電器
Fig. 3.1 Type CWG-3-R directional ground relay.



図 3.2 SEV-1-D 形接地電圧継電器
Fig. 3.2 Type SEV-1-D ground voltage relay.



図 3.3 LOE-2-R 形接地継電器
Fig. 3.3 Type LOE-2R ground relay.

従来どおりの接地保護だと需要家の接地事故のために変電所のシタ断器が動作し、その配電系統下の全需要家が停電となり、その停電損失はきわめて大きいのである。

最近の電力需要の増大に伴い接地事故発生率も高くなってきているので、停電の局限をはかるうえにおいて各需要家にも接地継電器を備えて接地保護を行なうことが必要となってきた。

LOE-2-R 形および LOE-3 形接地継電器は、このような用途に適したもので、零相変圧器を使用しないで、零相変流器 (ZCT) により接地零相電流のみによって動作する高感度 トランジスタ式接地継電器である。(図 3.3, 3.4)

この接地継電器は所定の零相変流器 (ZCT) と組み合わせたものを標準とする。

3.2 抵抗接地系の保護

100 A 程度以上の抵抗接地系の保護としては、その系統の構成によって過電流保護方式と、方向地絡保護方式に分類することができる。

単一回路送電線あるいは放射状送電線でその系統の接地点が送電端のみ (一点) であり、線路の充電電流が小さく地絡事故時の地絡電流に比較しほとんど問題のない場合には CT 残留回路に過電流継電器をそう入し地絡時に流れる零相電流で動作させ地絡を検出する。

この方式に用いられる継電器として COG-2 形小勢力過電流



図 3.4 CZ-54 形および CZ-77 形零相変流器 (LOE-2-R 形継電器用)
Fig. 3.4 Type CZ-54 and CZ-77 zero phase CT for type LOE-2-R relay.

図 3.5 COG-2-D 形小勢力過電流継電器
Fig. 3.5 Type COG-2-D low energy overcurrent relay.



図 3.6 CWP-2-D 形方向地絡継電器
Fig. 3.6 Type CWP-2-D directional ground relay.



継電器が用いられる。(図 3.5)

系統の充電電流が大きく地絡電流と識別できない場合、あるいは系統の接地点が送受電端で2点以上ある場合には、CWP-2 形方向地絡継電器を用い、地絡時に生ずる零相電圧と零相電流のワット分の大小により地絡を検出する。(図 3.6)

COG-2 形過電流継電器も CWP-2 形地絡方向継電器も地絡時の継電器入力としては小さいので、小勢力で必要な動作を行ない得るよう設計されている。

4. む す び

以上、配電線、受電線の保護について当社の現状を述べたのであるが、需要の増大にともなって新しく必要とされるであろう保護方式および継電器については稿を改めて発表する。

終わりに、受配電線保護についてたまわった関係ご各位のご指導、ご協力を深謝する次第である。

三菱保護継電器分類一覽

Classified Table of Mitsubishi Standard Protective Relay

この表は三菱保護継電器の標準品を収録したもので、標準外品・調整継電器および補助継電器は除外してある。なおこの表に収録してある継電器の詳細については、説明書（説明書番号は表中に記載してある）を参照されたい。

表 1 継電器一般

形式記号	名 称	摘 要	説 明 書
1.1 継電器一覧			
三菱保護継電器分類一覧			C-20233
三菱標準継電器形式一覧			
三菱ハン用継電器一覧	(三菱配電機器ハンドブック)		
1.2 継電器標準ケース			
D-A	リレーケース	テストスイッチ式引出端子形	特 L-31984
D-B	〃	〃	〃
D-C	〃	〃	〃
D-D	〃	〃	〃
D-E	〃	〃	〃
E-A	〃	固定式埋込形	〃
E-B	〃	〃	〃
E-C	〃	〃	〃
1.3 共通補助部品			
ICS	表示接触器	3点接触形	特 L-31984
ICS-2	〃	独立2 a 接点形	〃
IIT	表示付瞬時要素	3点接触形	〃
IIT-2	〃	独立2 a 接点形	〃
一	10点テストプラグ	D形リレーケースに収納した継電器	〃
FT	付属品箱	テスト用	〃
一	リレー用調整工具	電流、電圧、補助、各テストプラグ収納	〃
A-K	アダプタ	各種旧形継電器を新形に取換用アダプタ	〃
一	ICS カバー	ICS、IIT の表示不要の場合のカバー	〃

表 2 交流電流継電器

形式記号	名 称	摘 要	説明書
2.1 反限時動作過電流継電器			
BL-1D-D	温度(熱動)	機器の過負荷耐量特性に相似の特性を有する	L-31788
BL-1F-D	"	同上(自己保持用テレフォンリレー内蔵)	
CO-6,8,9-E	過 電 流	誘導円板形	
CO-5L,6L,8L,9L-E	"	同上 IIT付	"
CO-2-11-D	"	CO-2, 5, 6, 7, 8, 9, 11 誘導円板形	"
CO-21-11I-D	"	同上でIIT付	"
CO-6-R	"	誘導円板形丸胴ケース DCトリップ用	L-31509
COT-6-R	"	" CTトリップ用	"
CON-6-R	"	" ノーボルトトリップ用	"
COA-6-R	"	" 交流トリップ用	"
CO-5I-R	"	電動機保護用長限時特性 DCトリップ用	IL-2208
COT-5I-R	"	" CTトリップ用	"
CON-5I-R	"	" ノーボルトトリップ用	"
COA-5I-R	"	" 交流トリップ用	"
CO-6I-R	"	誘導円板形丸胴ケースIIT付	L-31640
COT-6I-R	"	" DCトリップ用	
CON-6I-R	"	" CTトリップ用	
COA-6I-R	"	" ノーボルトトリップ用	"
COG-2-D	小勢力過電流	地絡保護用	IL-3229
COQ-D	過相過電力	同期機回転子過熱保護用相分フィルタ	L-31886
COR-1-D	電圧抑制付過電流	誘導円板形	IL-3259
COR-1-E	"	"	"
COV-6,7,8,9-D	不足電圧起動付過電流	不足電圧要素内蔵過電流要素はCO形と同一	L-31757
COV-6L,7L,8L,9L-D	"	同上 IIT付	
CZ-2-D	電圧抑制付過電流	誘導円板形、比例限時インピーダンスリレー、一般送電線用	
LOR-3-D	"	3相高速度過電流検出用	L-31845
2.2 瞬時動作電流継電器			
IAT-1	過 電 流	CTトリップ用 表面形	L-31765
IT-1B	"	2 a 接点 1要素入	L-31801
IT-1C	"	1 a " "	"
IT-2B	"	2 a " 2要素入	"
IT-2C	"	1 a " "	"
IT-2C-R	"	" 丸胴ケース	"

形式記号	名 称	摘 要	説明書
IT-3B	過 電 流	2 a 接点 3要素入 表面形	L-31801
IT-3C	"	1 a " "	"
IT-3C-D	"	" " 引出形	"
ITS-3-D	"	" " ICS内蔵	IL-3265
KI-3C-D	電 流	3相形高速度 (シリンダ要素)	IL-6109
LOA-1-D	"	単相高速度過電流検出用	IL-3204
LOA-3-D	"	3相 "	L-31808
OCD-3-D	過 電 流	D-5要素(可動線輪形)	"
OCD-3B-D	"	" 接点キャップ一定	"
SFA-1,2,3,4-D	電 流	SF要素 (フランジ形)	L-31891
2.3 電圧平衡継電器			
CM-D	相 平 衡	3相不平衡, 欠相検出	IL-3211

表 3 交流電圧継電器

形式記号	名 称	摘 要	説明書
3.1 反限時動作電圧継電器			
CP-D	逆相電圧	不足電圧, 逆相, 検出 3相面積形	L-31903
CP-E	"	同 上	"
CV-2,5,7-E	電 圧	CV-2 不足, CV-5 過, CV-7過不足	L-31192
CV-1, 2, 4, 5, 6, 7-D	"	CV-1,2 不足, CV-4,5 過, CV-6,7 過不足	"
CV-8-D	地絡過電圧	高感度	L-31758
CV-2-R	電 圧	不足電圧 DCトリップ	L-31633
CVN-2-R	"	" ノーボルトトリップ	"
CVA-2-R	"	" 交流トリップ	"
CV-5-R	"	過 電 圧 DCトリップ	L-31533
CVN-5-R	"	" ノーボルトトリップ	"
CVA-5-R	"	" 交流トリップ	"
OVD-3-D	"	D-5 要素 (可動線輪形)	L-31771
OVD-4B-D	"	同 上	
3.2 瞬時動作電圧継電器			
KV-D	電 圧	シリンダ形	IL-7030
KVA-1-D	"	搬送短絡故障検出用 (シリンダ形)	IL-7045
KVA-2-D	"	" 動作力印加用 (")	"
KVB-2-D	"	搬送地絡故障検出 (トランジスタ式)	IL-7072
LOV-1-D	"	単相高速度過電圧検出用 有極リレー	IL-3205
SE-3-D	地絡過電圧	阻止継電器用, 地絡検出用独立2a接点	L-31889
SEV-1-D	"	高感度トランジスタ式	L-31807
SEV-1-E	"	"	
SFB-1,2,3,4-D	電 圧	SF要素 (フランジ形)	L-31892
SFU-2-D	三相不足電圧	三相各相△形	L-31761
SFU-3-D	"	" 人形	"
SVAR-E	電 圧	フランジ形 整流器外部取付	L-31857
SVBR-E	"	" " "	"
SV-1R-E	"	" " "	"
NW-12	整 流 器	単相全波, 主としてSVリレー用	"
3.3 電流補償付電圧継電器			
KVC-2-D	電 圧	搬送送出用 (トランジスタ式)	IL-7071
KVC-3-D	"	搬送動作力印加用 (")	
3.4 電圧平衡継電器			
LVB-D	電圧平衡	電圧低下検出用 三相用	IL-3224
LVB-2-D	"	PT ヒューズ断線時距離継電器ロック用三相用	"
LVB-3B-D	"	伊電PD内部事故検出用 三相用	L-31997

表 4 方向過電流および電力継電器

形式記号	名 称	摘 要	説明書
4.1 方向過電流継電器			
CR-6-D	方向過電流	短絡用 方向制御誘導門板反限時定限時	IL-7039
CR-8-D	"	同上 反限時	"
CRG-2-D	"	地絡用(抵抗系)誘導門板形	IL-7052
KRC-D	"	*(直接接地系)シリンダ要素高速度形	"
4.2 方向地絡継電器			
CWC-D	地絡方向	直接接地用 誘導門板形 (I_0 I_N)	IL-7037
CWG-3-D	"	高圧配電線地絡事故検出	IL-3203
CWG-3-E	"	"	"
CWG-4-D	"	三相4線直接接地系配電線地絡事故検出	IL-3220
CWP-2-D	"	抵抗接地系 V_0 基準	IL-3254
DGB-D	"	高抵抗系用 コンダクタンス形(可動線輪形要素)	IL-7066
DGB-2-D	"	同上 コンダクタンスなし	"
EG-4	抵抗器	CWG-3用	IL-3203
KDG-4	地絡方向	搬送用 トランジスタ形	IL-7068
4.3 電力継電器			
CW-11-D	電力	三回路 2電力要素形	IL-3007
CW-12B-D	"	発電機の電動機保護	L-31799
CW-13-D	"	三回路单相電力検出	IL-3202
CW-14-D	"	スコット結線変圧器電力方向保護	IL-3203
CW-15-R	"	船用発電機逆電力検出	IL-2232
KRA-D	"	メモリ付 シリンダ形	IL-7031
KRA-4-D	"	潮流検出用	IL-7033
PDA-D	"	三回路 単相にて有効分検出	特 L-32084
PDB-D	"	" 無効分検出	"

表 5 直流継電器

形式記号	名 称	摘 要	説明書
5.1 D-5要素(可動線輪形)直流継電器			
D-5A-D	電 流	電流, 速度, 温度, 周波数	L-31926
D-5B-D	電 圧	同上	"
DGE-2-D	制御回路地絡	電圧補償形	IL-3227
DGF-D	界磁地絡	界磁回路地絡検出 不感動帯移動	L-31947
5.2 電圧継電器			
SC-1-E	電 流	ブランジャ形	L-31857
SCA-E	"	"	"
SCB-E	"	"	"
SC-2-E	鎖 錠	平衡回路保護誤シャ断防止	L-31907
5.3 電圧継電器			
SV-1-E	電 圧	ブランジャ形	L-31857
SVA-E	"	"	"
SVB-E	"	"	"
SV-4-E	"	直流制御回路電圧低下検出用	L-32030

表 6 限時継電器

形式記号	名 称	摘 要	説明書
6.1 直流限時継電器			
JD-2-F	限 時	0.2~2秒	L-30749
JD-3-F	"	0.3~3 "	"
JD-5-F	"	0.5~5 "	"
JD-10-F	"	1~10 "	"
JD-30-F	"	3~30 "	"
JD-60-F	"	6~60 "	"
JD-300-F	"	30~300 "	"
JDA-2-F	"	0.2~2 "	"
JDA-3-F	"	0.3~3 "	"
JDA-5-F	"	0.5~5 "	"
JDA-10-F	"	1~10 "	"
JDA-30-F	"	3~30 "	"
JDA-60-F	"	6~60 "	"
JDA-300-F	"	30~300 "	"

形式記号	名 称	摘 要	説明書
6.2 交流限時継電器			
JD-2-F	限 時	0.2~2秒	L-30749
JD-3-F	"	0.3~3 "	"
JD-5-F	"	0.5~5 "	"
JD-10-F	"	1~10 "	"
JD-30-F	"	3~30 "	"
JD-60-F	"	6~60 "	"
JD-300-F	"	30~300 "	"
GIT-D	比例限時	零相循環電流対策用	IL-7058
6.3 トランジスタ形限時継電器			
TD-4-D	限 時	単一起動 二要素式	L-32006
TD-42-D	"	別個起動 "	"

表 7 線路保護継電器(表示線保護は除く)

形式記号	名 称	摘 要	説明書
7.1 距離継電器			
KDA-D	短絡方向	故障種別方向距離(シリンダ要素)	特 L-32042
KDA-2-D	"	同上微小オフセットメモリ付(搬送外部用)	"
KDB-D	"	同上 微小オフセット付(距離3段用)	"
KZ-6-D	短絡方向	相別モーリレー(シリンダ要素)	IL-7048
KZA-2B-D	"	同上 3相収納(")	IL-7056
KZD-3-D	優先シャ断選択	バランスプロ用(")	IL-7065
KZD-4-D	優先選択	搬送用(")	IL-7051
KZG-1-D	方向距離	直接接地用 地絡モー(")	IL-6052
KZG-2-D	"	同上 オフセット付(")	"
KKS-12-D	方形特性	方形距離リアクタンス1段形(トランジスタ式)	IL-7069
KKS-22-D	"	交流電化用方形特性(")	IL-6096
KKS-64-D	短絡距離	短絡リアクタンス一,二段切換形(")	"
KKS-65-D	方形特性	同上 1,2段別要素付(")	IL-7069
KMS-12-D	距 離	短絡モーリアクタンス形 3段式(トランジスタ式)	IL-7060
7.2 脱調検出継電器			
KDS-1-D	脱調検出	距離搬送保護用 オフセット1個収納(シリンダ要素)	IL-7036
KDS-3-D	"	系統分離搬送保護用オフセット2個収納(")	"
7.3 その他			
KVG-2-D	一線地絡検出	V_0 V_2 検出式(トランジスタ式)	IL-8545
KVP-D	同期検出	位相角確認 時限判定用(")	特 L-32065
7.4 可搬式送電線保護継電装置			
PHR-2	送電線保護	$M, S_A, S_B, S_C, (GX)$ 架組合わせ(トランジスタ式)	特 L-32088

表 8 表示線保護継電器

形式記号	名 称	摘 要	説明書
8.1 交流循環式表示線継電器			
B-2-D	入力装置	地絡事故検出用入力装置	L-32049
C-2-D	"	短絡 " " "	"
HCB-4-D	表示線	表示線保護主継電器	"
8.2 地絡保護専用表示線継電器			
NC-3-D	充電電流補償	ケーブル系統の充電電流補償用	IL-3267
RR-2D	受信	多端子系のシャ断器シャ断確認用	L-31780
8.3 表示線監視継電器・転送引きはしり継電器			
DGE-3C-D	表示線監視	表示線地絡検出	ML-3219
PS-4C-D	"	" 短絡, 断線検出	"
PS-7B-E	"	転送トリップ受信用	"
PS-10-N	補助	表示線監視装置補助リレー2セット収納	"
PS-11-N	"	" 1セット "	"

形式記号	名 称	摘 要	説明書
8.4 表示線保護補助装置			
NT-4	接地リアクタ	表示線地絡監視継電器接地用	ML-3219
NT-10	絶縁トランス	表示線継電器装置と表示線の絶縁トランス	L-32049
NW-1	補償装置	表示線定数補償用	"
NW-10	電源装置	表示線監視装置の定電圧電源	ML-3219
NW-15B	負荷抵抗器	表示線監視電流調整用（片端監視）	"
NW-15C	"	"（両端監視）	"
NW-21	コンデンサ箱	表示線交流回路形成用	"
NW-22	"	中和変圧器接地回路用	"
NW-23	"	転送送信継電器接点保護用	"
NW-17	"	転送装置ネットワーク用	"

表 9 母線保護継電器

形式記号	名 称	摘 要	説明書
9.1 空心変成器母線継電器			
LC-4B-D	母 線	短絡保護用主継電器	IL-3023
LC-6-D	"	地絡保護用主継電器	IL-3271
9.2 通常形CTによる母線継電器			
BC-2	入力装置	地絡継電器用（LBC-1-Dと組合わせ）	L-31335
BC-5A	"	短絡 "（CA-6B-D と組合わせ）	"
BC-5C	"	"（ " ）	"
CA-6B-D	比率差動	短絡保護用主継電器	"
LBB-1B-D	母線（位相比較）	" " "	IL-3029
LBC-1-D	母 線	地絡保護用主継電器	IL-3049
LBE-1-D	"	外部地絡事故判別用（多重母線用）	L-31959
LBS-1-D	"	外部短絡事故判別用（ " ）	IL-3226
LBS-2-D	"	母線短絡方向継電器	IL-3257
LD-1D-D	入力装置	抑制制御入力装置（LBB-1B-D と組合わせ）	IL-3247
LT-1-D	"	各端子入力導出用（ " " ）	L-31809
LT-2-D	"	" "（ " " ）	IL-3261
LTD-1	"	差動入力変成用（ " " ）	IL-3259
LTD-2	"	" "（ " " ）	"
BS-1-D	"	位相比較基準入力導出用（LBS-1 と組合わせ）	IL-3227
BS-2-D	"	" "（LBS-2 と組合わせ）	IL-3257

表 10 機器保護継電器

形式記号	名 称	摘 要	説明書
10.1 回転機保護用継電器			
CAG-D	比率差動	相間および層間短絡保護 誘導円板形	L-31783
CWR-2-D	"	地絡保護 "	IL-3238
HAG-2-D	"	相間および層間短絡保護三相分内蔵	"
HLF-D	界磁喪失	高速度形 変形距離特性	"
10.2 変圧器保護用継電器			
CAT-D	比率差動	誘導円板形 引出形	L-30751
CAT-E	"	" 非引出形	IL-3262
HUB-2-D	"	第2高調波抑制式 高速度形	L-31028
HUB-2E-D	"	同 上 母線保護もふくむ	IL-3255
SH-4	補償変流器	CT 2 次電流補償が必要な場合使用	"

表 11 表示警報継電器

形式記号	名 称	摘 要	説明書
DA	故障表示器	電圧二重表示形 保持付	L-31985
DAC	"	電流 " "	"
DAD	補助	電流付勢、電圧保持	"
DAO	故障表示器	電流二重表示形 表示のみ	"
MCM-E	断続	1分間70回程度の継続警報可能	"

表 12 そのほかの継電器

形式記号	名 称	摘 要	説明書
12.1 周波数継電器			
CF-2-D	周波数	周波数上昇または下降で動作、誘導円板形	IL-3253
12.2 接地継電器			
LOE-2-R	接地	高圧需要家用、トランジスタ形	L-31872
LOE-3	"	同 上 バイプフレーム取付形	"
12.3 再閉路継電器			
RC-2-D	再閉路	配電線キ電線再閉路	IL-7074
RCV-1-N	条件検出	母線電圧検出	L-31958
RCV-2-N	"	（母線電圧＋線路電圧）検出	"
RCV-3-N	"	（母線電圧＋線路電圧＋非同期）検出	"
12.4 補助			
SH	小形トランス	変圧比0.25：1～0.8：1 単巻トランス	L-31894
SP-6	ストップバ	直流制御回路用	
SP-10	"	"	
SS-1	"	"	
SS-2	"	トリップ回路用 6A	

表 13 工業用継電器

形式記号	名 称	摘 要	説明書
TR	熱動過電流	電動機巻線焼損保護	L-31567
TI	熱動安全器	"	
KC	過電流	"	
NT	回路シヤ断	変圧器の過負荷信号および巻線焼損保護	L-31704
TMR	モータリレー	電動機の巻線焼損保護、逆相保護	
—	電圧リレー	過電圧、不足電圧保護	
—	電力リレー	電力検出による電動機の過負荷保護	TL-00005
—	逆電力リレー	逆電力リレー	L-31750
—	アークリレー	高圧電動機の正逆転または入-△ 切換時のアーク短絡保護	

保護継電器の保守と試験

藤井 重夫*

Maintenance and Test for Protective Relays

Kōbe Works Shigeo FUJII

The protective relays are silent sentinels of electric power systems. To keep them in the best condition is a vital requisite in the electric industry. Too much attention can never be paid to their maintenance and test. The Company suggests a number of items to carry through the operations with success. Of many points of caution, it shall be noted that the following conditions are to be taken into consideration in testing the relays. Ambient temperature, relative humidity, mounting angle, frequency, waveform, pulsating current, auxiliary powers source voltage, vibration and shock. Particular remarks are also needed for the test on transistor type relays. Including all the above, the article describes information essential to the operators of power equipment with examples of completion test projects on pilot wire protective relays.

1. ま え が き

無言のしょう兵である保護継電器の保守と性能の確認は、その正常な保護能力を期待するうえで不可欠のものである。顧客におかれても、受入れ時はもちろんのこと、定期的な性能確認試験とか平常の点検、手入れを実施する必要がある。以下保守と試験についての一般参考事項および当社保護継電器を構成する各種継電要素の構造、機能とともに、保守、試験上の参考事項について述べる。

2. 一般関連事項

2.1 試験条件

保護継電器を試験する場合、できるだけ下記試験条件を満足させる必要がある。

- (1) 周囲温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$
- (2) 相対湿度 80%以下
- (3) 取付角度 正規位置 $\pm 2^{\circ}$
- (4) 周波数 定格周波数 $\pm 1\%$
- (5) 波形 (AC) ヒズミ率 5%以下 (実効値 2 乗平均)
- (6) 脈流 (DC) リップル 3%以下
- (7) 補助電源電圧 定格電圧 $\pm 5\%$ 以下
- (8) 振動、衝撃、異状な振動、衝撃を受けない状態

2.2 一般関係規格

JEM 1168 電力用保護継電器一般編 (1963年 9 月) から一般関係規格を下表に示す。

- (1) 温度上昇限度

表 2.1 継電器の温度上昇限度

測 定 部		温度上昇限度 (deg)	
		抵 抗 法	温 度 計 法
コ イ ル		55	50
接 点		—	50
抵 抗 器	内 付	A 種絶縁のもの	50
		その他のもの	80
	外 付	—	150

(2) 絶縁抵抗

表 2.2 継電器の絶縁抵抗

測 定 部 分	絶 縁 抵 抗 (M Ω)
電気回路と外箱間	10
電気回路相互間	5
接 点 相 互 間	5

注) 直流 500 V の絶縁抵抗計で測定すること。ただし相対湿度は 80% 以下とする。

(3) 耐電圧

表 2.3 継電器の耐電圧

階 級	電気回路と外箱間および電気回路相互間	接点相互間
A	$2E+1,000$ ただし最低 1,500 V	1,000 V
B	$2E+1,000$ ただし最低 2,000 V	1,000 V

注) 1. 電気回路相互間に対しては、回路電圧は両回路の回路電圧差とする。
2. 接点間ゲキが動作時間整定により変化するものでは、最大動作時間整定値の 1/10 に整定して試験するものとする。
3. 階級 A は一般標準仕様であり
階級 B は特殊仕様である。

2.3 定期試験の適当周期

当社としては、一般に下記程度の定期試験周期が適当と考えている。

- (1) はん(汎)用継電器……2年に1回
- (2) 補助継電器 4年に1回 (動作ひん度数高いものを除く)
- (3) 調整継電器 1年に2回 (とくに動作ひん度数の高いもの)
- (4) 限時継電器 1年に1回 (とくに動作ひん度数の高いもの)
2年に1回 (普通の動作ひん度数のもの)
- (5) 高級継電器
母線保護装置 } …3年度までは1年に1回
表示線保護装置 } 3年度以降は2年に1回
搬送保護装置 }

2.4 トランジスタ形継電器に対する試験

当社のトランジスタ形継電器は従来の電磁形継電器とまったく同等の取り扱いが可能のように設計されている。したがってその試験にあたっても、継電器入力端子から見る限り、なんら特別の考慮は不要である。すなわち下記性能目標で設計されている。

- (1) 耐 圧 1,500 V または 2,000 V 1 分間
- (2) サージ 標準波形 4,500 V 1 回
- (3) 温 度 特性保証 $0 \sim 40^{\circ}\text{C}$
動作保証 $-10 \sim 60^{\circ}\text{C}$

ただし室内総合装置の場合は

動作保証 $-10 \sim 50^{\circ}\text{C}$ としている。

- (4) 制御電圧 DC110Vの場合
変動幅 DC80~140V
- (5) 過大入力 対応する電磁形継電器と比較し同等以上、
特殊品を除き 100 A 2 秒以上としている。

注) 個々の継電器についてはそれぞれのリーフレット保証性能の項を参照願いたい。

2.5 試験、点検の分類

保守業務上の試験、点検は次のように区分されている。

(1) しゅん工試験

継電器の新増設または改修を行なった場合に行なう試験で、装置の性能が使用目的に合致するかどうかを付属機器を含め、総合的に検査する試験を称し、保守運用上基準となる性能を検査、試験する。

(2) 定期試験

運用後、定期的に性能を検査する試験を称す。変成器の一次側からの試験を一次試験、変成器二次側、継電器単体の試験を二次試験と称す。

(3) 臨時試験

定期試験以外に継電器調査の必要を認めたとき、不定期に実施する試験を称し、事故解析、不正動作原因調査および設備変更のための試験。

(4) 点検

継電器機構部の外部調査、清掃、継電器専用付属点検装置による点検および手動接点閉路による制御回路動作確認などを称す。一般に主機停止の機会を利用して実施する。

2.6 点検、保守、試験上の一般注意事項

(1) CT 回路関係

(a) CT 二次回路は絶対開放しないこと、とくに CT 回路のタップ切換時に注意すること。

(b) CT 二次回路各接続点の締付け不良、テストスイッチなどの接触不良に注意すること。

(c) CT 二次回路は必ず 1 点アースであること、とくに差動保護回路の場合とか ZCT 二次回路において要注意。

(d) とくに方向性をもつ継電器が接続されている場合とか差動保護（母線保護を含む）の場合、極性関係、人△の関係位相に注意すること、補助 CT、単巻変成器があるような場合誤りやすい。

(e) CT 二次回路では負荷インピーダンスの大小により、必ずしも変成比どりの出力電流が得られるとは限らない。高感度タップに切り換えると、かえって感度低下をまねくことがあるので注意が必要。

(f) 150/5A 比以下の BCT は差動保護用には誤差が大きいのので適用しないこと。

(2) PT 回路関係

(a) PT 回路は絶対に短絡にならぬよう注意のこと。

(b) PT 二次回路においても 1 点アースは原則である。

(c) GPT の V_0 出力中に高周波が含まれていないことの確認およびその極性に注意

(d) PD の場合のメモリ現象を考慮に入れること。

(3) 継電器関係

(a) 高感度継電器が対象となる場合、CT・PT 回路および制御回路に発生する他回路からの電磁誘導、静電誘導などに注意し、配線上の考慮が必要。試験の際も試験用リード線、とくにブラウン管、

電磁 遮り 用 リード 線などの配置、誘導防止に考慮が必要。

(b) トランジスタ形継電器または装置の試験は原則として継電器または装置の外部端子、または試験端子から行なうこと。内部要素への直接つなぎ込みは特性に悪影響を与える可能性が大きいので避けること。

(c) トランジスタ式 モジュール またはカードの着脱は、原則として電源を開いた状態で行なうこと。

(d) ショット試験を行なう場合でもできる限り等価な電気入力を与えて行なうこと。

(e) 継電器の重要部分に無意味にさわらないこと、とくに接点部、渦巻スプリング、軸受、回転円板、微調整部に触れないこと。

3. 単体試験

当社の保護継電器の単体試験を行なう場合、継電器を構成している各種継電要素の構造および機能についての概略を知っていたく必要があり、以下おもなものについて説明する。

3.1 各種継電要素の構造および機能

(1) ヒンジ形継電要素

動作条件式 $\dots K(IN)^2 \geq F_s$

動作速度(平均) $\dots 20 \sim 40 \text{ms}$

この形式は主として多接触補助継電器に採用され、交直両用の要素である。

K : 定数
 I : コイル 電流
 N : コイル 巻数
 F_s : 反抗 パネ力

(2) プランジャー形継電要素

動作条件式 $\dots K(IN)^2 \geq W$

動作速度(平均) $\dots 20 \sim 40 \text{ms}$

この形式は主として簡易形電流、電圧継電器用として採用されているが、要素としては直流専用である。交流用とするときは整流器と組み合わせる。

W : 可動部重量
ほかは前記に同じ

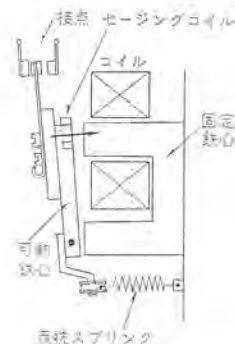


図 3.1 ヒンジ形継電要素
Fig. 3.1 Hinge type relay elements.

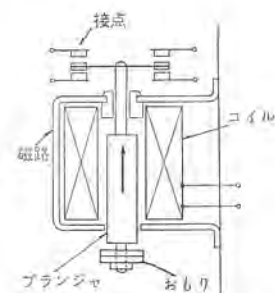


図 3.2 プランジャー形継電要素
Fig. 3.2 Plunger type relay elements.

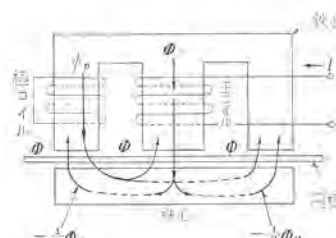


図 3.3 E 形誘導円板要素
Fig. 3.3 Type E induction disc elements.

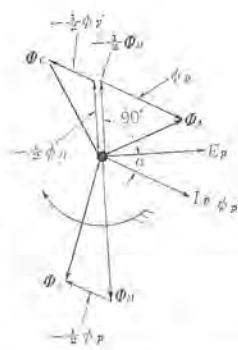


図 3.4 E 形要素のベクトル関係
Fig. 3.4 Vector relations between type E element.

(3) E形誘導円板要素

動作条件式 $\dots K \cdot f (IN)^2 \geq F_s$ $\left\{ \begin{array}{l} f: \text{周波数} \\ \text{ほかは前記に同じ} \end{array} \right.$
 動作速度 $\dots$ 各種反限時特性

この形式は当社誘導円板形電流、電圧継電器シリーズの主要素として採用され、任意の反限時カーブがだせる3点調整機構（反抗スプリング、制御磁石、磁気ラジ）を有し、所要VAもきわめて少ない特長を有している。

動作原理を図によって説明すると、電流 I による主磁束 ϕ_M は $-\frac{1}{2}\phi_M$ ずつにわかれて両脚にもどるとき、左脚に極コイルが巻いてあるため $-\frac{1}{2}\phi_M$ より 90° 遅れて、反起電力 E_p を誘起し、これより α 角遅れた極コイル電流 I_p が流れ、これと同相の ϕ_p を作る。この ϕ_p は図示のように中央脚および右脚に $-\frac{1}{2}\phi_p$ ずつ分流するので、各脚の合成磁束はそれぞれ下式のようなになる。また移動磁界の方向はベクトル図に示すように $\phi_A \rightarrow \phi_B \rightarrow \phi_C$ の順となり、円板はこの方向に回転する。

$$\left. \begin{array}{l} \text{左脚の合成磁束} \dots \phi_A = (-\frac{1}{2}\phi_M + \phi_p) \\ \text{中央脚の合成磁束} \dots \phi_B = (\phi_M - \frac{1}{2}\phi_p) \\ \text{右脚の合成磁束} \dots \phi_C = (-\frac{1}{2}\phi_M - \frac{1}{2}\phi_p) \end{array} \right\}$$

(4) 積算電力計新形誘導円板要素

動作条件式 $\dots K \cdot f \cdot \phi_p \cdot \sin \theta \geq F_s$
 または $\dots K \cdot f \cdot I \cdot \cos(\theta_1 - \theta_3) \geq F_s$
 記号 $\left\{ \begin{array}{ll} \phi_m: \text{主コイル磁束} & \theta: \phi_m, \phi_p \text{ 間位相角} \\ \phi_p: \text{極コイル磁束} & E: \text{主コイル端子電圧} \\ I: \text{極コイル電流} & \theta_1: E, I \text{ 間位相角} \\ \theta_2: E \text{ コイル力率角} & \theta_3: 90^\circ - \theta_2 \\ D-D: \text{位相特性} & I_e: E \text{ コイル励磁電流} \end{array} \right.$

この要素は各種電力形継電器の主要素として採用され、一般に主コイルに電圧をまた極コイルに電流を供給する。

(5) クマ取りコイル形誘導円板要素

動作条件式 $\dots K \cdot f (IN)^2 \geq F_s$

この形式はとくに小勢力を必要とする地絡過電流用に採用され、円板と可動接点の間に歯車機構をそう入することによって適当な反限時特性を得ている。

(6) 誘導円筒形継電要素（シリンダ形）

動作条件式 $\dots K \cdot f \cdot \phi_A \cdot \phi_B \cdot \sin \theta \geq F_s$
 動作速度（平均） $10 \sim 30 \text{ ms}$ $\left\{ \begin{array}{l} \phi_A: I_A \text{ による磁束} \\ \phi_B: I_B \text{ による磁束} \\ \theta: \phi_A, \phi_B \text{ 間位相角} \end{array} \right.$

この形式は回転体が円筒状であるところからシリンダ要素と呼ばれ、その動作原理は、簡単にいえば二相誘導電動機と同じで、アルミ

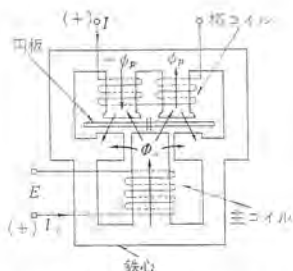


図 3.5 積算電力計形誘導円板要素
Fig. 3.5 Watthour meter type induction disc elements.

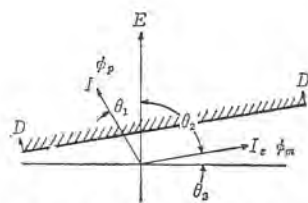


図 3.6 積算電力要素のベクトル関係
Fig. 3.6 Vector relations between watthour meter type elements.

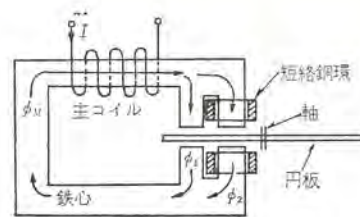


図 3.7 クマ取りコイル形誘導円板要素
Fig. 3.7 Shading coil type induction disc type elements.

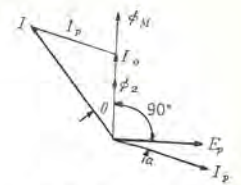


図 3.8 クマ取りコイル要素のベクトル関係
Fig. 3.8 Vector relations between shading coil type elements.

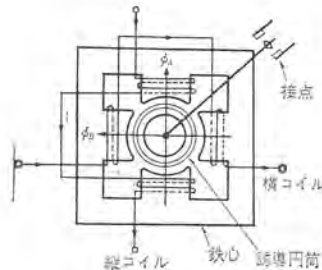


図 3.9 誘導円筒形継電要素
Fig. 3.9 Induction cylinder type relay elements.

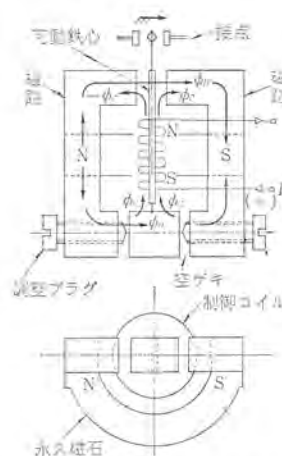


図 3.10 有極形継電要素
Fig. 3.10 Polar type relay elements.

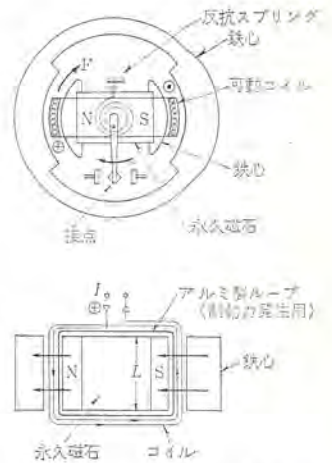


図 3.11 可動コイル形継電要素
Fig. 3.11 Moving coil type relay elements.

製誘導円筒（ケージロータに相当）が図示 ϕ_A, ϕ_B によって作られる回転磁界に追従するトルクを受けることを利用したものである。なおこの要素は主として送電線保護用高速度距離継電器などに適用されている。

(7) 有極形継電要素

この要素は図示のように永久磁石によるバイアス磁束 ϕ_B が常時は可動鉄心を貫通しないような構造配置としておき、この可動鉄心上に巻いた制御コイルに図示極性の微小電流 I を流して制御磁束 ϕ_C を生じさせたとき、可動鉄心の置かれている磁場の両側において、 $(\phi_B + \phi_C)$ および $(\phi_B - \phi_C)$ の合成磁束を生ずるようにすれば、可動鉄心は吸引力の強い $(\phi_B + \phi_C)$ 側磁極に瞬時に吸引され、制御電流の極性を反転すれば可動鉄心も反転することを利用したもので、高感度、高速度の継電要素として高級継電器に採用される。

動作速度（平均） $\dots 5 \sim 15 \text{ ms}$

(8) 可動線輪形継電要素

動作条件式 $\dots K \cdot \phi_M \cdot I \cdot N \geq F_s$ $\left\{ \begin{array}{l} \phi_M: \text{永久磁石有効磁束} \\ \text{ほかは前記に同じ} \end{array} \right.$

この要素は最も高感度の直流有極継電要素で直流電圧、電流要素としてまた回路網継電器の

最終判断要素として有用である。なおきわめて高感度であるのかかわらず制動が有効に作用しているため耐振性が高くまた適度の積分特性を有し、そのうえ入力倍率も非常に大きい(30倍以上)特長をもっている。

3.2 単体継電器の試験項目と選択基準

単体継電器の形式試験項目としては、当社では表 3.1 に示すように諸項目について十分な試験を実施しているが、受入試験とか定期試験に際し、どの程度の試験項目を選択すべきかの原則的選択基準を以下まとめてみる。

(1) 原則として受入試験においては機構点検および性能確認を目的として、表中(1)～(10)の試験項目のうち、その機種に関係する項目について、必要最小限の管理点を定めて実施すること。整定は一般に現地整定値により総合試験項目と重複しないこと。なお定期試験においては試験項目をさらに厳選し、一般に試験項目(1)～(3)、(5)～(6)、(8)程度とするのが普通である。(機種により(3)も省略する)。

(2) 次に試験項目(11)～(15)については必要に応じて追加されるのがよい。ただし毎回実施する必要はない。

(3) また試験項目(16)以下のものは特別の問題が発生しない限り実施する必要はなく、もし動作解析などで必要となれば臨時

表 3.1 単体継電器形式試験諸項目一覧

No.	単体継電器形式試験諸項目一覧表	
	試験項目	補 足 説 明
1	機構点検	すべての試験に先行して行なう
2	動作値試験	タップ値、目盛値、起動値、開放値、復帰値など
3	限時特性	定限時、各種反限時、比例限時、復帰時間など
4	位相特性	極性チェック、各種位相特性、位相比較特性など
5	比率特性	差動特性、比率動作特性、飽和比率差動特性など
6	インピーダンス特性	インピーダンス特性またはE-I特性(静的、動的)
7	クリーピング	電圧クリーピング、電流クリーピング特性
8	制御回路試験	表示、自己保持、引きはずし動作確認、接触抵抗測定
9	反転試験	抑制入力急激時の可動部反転試験
10	反送試験	接点動作復帰時のチャタリング バウンス特性チェック
11	絶縁試験	繰返し実施することは望ましくない
12	耐電圧試験	インパルステストに関しては全般的な規定なし
13	消費VA測定	動作値消費VA、定格時消費AV(Tap変更)など
14	協調試験	感度協調、時限協調、接点協調など
15	慣性試験	誘導用板形継電器に限らず静止形継電器にも必要
16	周波数特性	主要特性(2)～(6)に対する影響チェック
17	温度特性	主要特性(2)～(6)に対する影響チェック
18	浮動特性	誘導用板形過電流継電器(OC)のみに行なう
19	電源電圧変動	DC制御電圧変動 AC制御電圧変動試験
20	温度上昇試験	定格時温度上昇、最悪条件での温度上昇など
21	メモリ効果	とくに分離継電器、共振回路を有するものに実施
22	過渡特性	DC分、高調波分、入力急激時の応動状況を見る
23	サージテスト	DC回路開閉による電磁誘導
24	過大入力テスト	主として電流回路、個々の継電器保証値による
25	繰返し積分効果	とくに静止形タイマ、電圧調整継電器について
26	振動試験	全般的な規定なし、当社保証値による
27	衝撃試験	全般的な規定なし、当社保証値による
28	耐久試験	機構的、電気性能的試験および放置試験など
29	ヒートサイクルテスト	高感度、高精度重要継電器について実施する
30	計設目標確認	設計諸定数の確認、電圧電流の分布測定、性能限界の確認調整精度の確認、バックアップの決定など
31	模擬送電線による性能確認	とくに問題となる重要機種について動的性能限界の確認、特異現象、異状故障に対する応動特性の解明など

試験として実施することになる。このような場合にはぜひ当社あてご連絡をいただき、その解明にご協力させていただきたい。

なお個々の当社継電器に対する整定方法・調整方法・試験方法・試験回路などでとくに注意を要するものについてはそれぞれの継電器説明書に詳細を記載してあるのでご参照願いたい。

4. 総合試験

総合試験とは継電器単体と組み合わせ機器または保護継電装置と組み合わせ、機器全体の構成および総合機能が所期の仕様と合致しているかどうかを試験するものである。したがって継電器単体の場合にも CT・PT・シヤ 断器 および 付属機器 (組合せ継電器、補助 CT、ZCT、GPT など) を含めた総合機能を確認することはぜひ必要である。しかし継電器単体の場合には上記組み合わせ機器はそのほとんどが現地にあるため工場における総合試験は一般には実施しない。

一方、継電装置の場合には、たとえ組合せ機器と結合することができなくても装置の総合機能を十分に確認して置くことが必要であり、当社としては各種の試験項目についてげん重な総合試験を実施しており、重要保護装置については模擬送電線を使用してあらゆる系統現象に対する総合性能を確認している。

4.1 総合試験における確認項目

工場において保護継電装置の総合試験を行なう場合、確認すべき諸項目を表 4.1 に示す。なおしゅん工試験(または受入試験)では表中準備項目(1)～(16)を確実に実施し、試験項目(17)～(20)を必要最小限度に管理点を定めて実施するのが普通である。

表 4.1 総合試験における確認諸項目

No.	確 認 項 目 (準備)	No.	確 認 項 目 (試験、測定)
1	試験計画の確認	17	総合保証性能の試験と確認、精度、性能限界、適用限界など
2	整定の確認	18	協調関係の試験と確認、感度協調、接点協調、相手端との協調など
3	単体継電器性能の確認	19	連動動作およびシーケンス動作
4	盤内シーケースの確認	20	総合VAの測定
5	盤外接続関係の確認	21	相対誤差関係(とくに CT間)
6	試験回路つなぎ込みと確認	22	不平衡残留誤差関係
7	測定装置調整と確認	23	接点状況の総合性能への影響
8	極性関係確認	24	強磁界の影響(特殊ケース)
9	相関係、相回転確認	25	系統過渡現象の影響
10	位相関係確認(△など)	26	系統特異現象の影響
11	変成比関係確認	27	絶縁試験
12	1点アース確認	28	耐電圧試験
13	誘導防止処置の確認		
14	給合部接触状況の確認		
15	引きはずし動作確認		
16	警報表示関係確認		

注) 25: 系統過渡現象の影響

直流分、高調波分、減衰入力、波形、励磁ラッシュ、ケーブル系過渡入力、アレスタ放電の影響など

26: 系統異状現象の影響

アーク抵抗、バックパワーの相違、脱調、動揺、電圧上昇、零相循環電流、分岐誤差、異状電圧、共振現象、多重事故、飽和現象など

5. しゅん工試験(または現地据付試験)

特定の保護継電器単体または保護継電装置を現地に据え付ける場合工場出荷後の輸送中、保管中、工事中に発生する可能性のある破損・変形・吸湿・汚損・紛失などが生じているかどうかのチェックが必要であり、次に各単体機能、性能の確認、次いで総合の構成点検、総合機能、性能の確認が必要となる。これら一連の作業がしゅん工試験の内容である。

5.1 電気的な総合試験を必要とする単体継電器

(1) 方向性を有するものととくに配電線用地絡方向継電器。

- (2) 差動接続を行なうものと一緒に変圧器用比率差動継電器。
 (3) 交差接続を行なうもの一平衡保護、とくに三次回路。
 (4) 位相比較を行なうもの一変成比、極性、相に要注意。
 (5) 既設装置と総合一主継電器の取換え、更新の場合総合化されるもの一性能の再確認が必要。
 (6) 被制御装置と一体化一電圧調整、力率調整、などされるもの各種系統制御用主継電器

5.2 しゅん工試験計画例

しゅん工試験の内容は保護継電装置の種類によって大きく相違し、そのすべてを述べるわけにいかない。以下当社 HCB-4 形表示線継電装置の場合の一例を示すことにする。

三菱表示線保護継電装置しゅん工試験計画例

(1) 試験工程

(2) 継電器単体試験

下記主要継電器に対し必要最小限度の管理点を定めて実施する。
 87SP、87GP、44S、67G、87SPC、87GPB、27、64、51S、51GH、44ST、67GT、27L、52TX。

その詳細については省略させていただく。

(3) DC シーケンステスト

この試験は輸送中における盤内外部の配線に異状がないかまた接続が正常であるかどうかを確認するもので、下記のケースにつき継電器の接点を手で動作させ、シヤ断動作、表示動作、警報動作などを確認する。

- | | |
|-------------|-------------|
| 87SP：短絡主継電器 | 85P：受信継電器 |
| 87GP：地絡主継電器 | 表示線監視継電器 |
| 44S：短絡後備 | 1点アースの確認 |
| 67G：地絡後備 | (PT・CT回路とも) |

(4) 対向試験

この試験は表示線回路と継電器盤を組み合わせた場合の特性に問題がないかを確認するものである。

表示線の定数測定

- a. ループ抵抗 b. 静電容量 c. 絶縁抵抗

対向試験

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| (a) 1 端電源内部模擬故障試験 | 2φS、1φG、
故障について行なう。 |
| (b) 両端電源内部模擬故障試験 | |
| (c) 外部貫通模擬故障試験 | |
| (d) 表示線故障試験……地絡、短絡、断線故障。 | |
| (e) 転送トリップ試験……動作確認、表示確認。 | |

注意事項

上記対向テストの際、予備表示線を利用して電話連絡しながら実施する。

両端電源内部模擬故障試験の際は、さらに別の表示線を利用して電圧 (AC110V 程度) を相手端に送り、これを基準として両端の電流位相を合わせること。

(5) 実負荷試験

この試験は線路から見た機器および継電装置総合の極性、動作が正常であるかどうかを確認するものである。

(a) 検相

既設盤の基準電圧との電圧のつき合わせと相回転測定。

(b) 盤端子入力測定

電流の絶対値と位相差測定

(c) 表示線継電器の方向試験

負荷電流通電時の HCB-4-D 形表示線継電器の動作コイルおよび

表 5.1 試験工程

No.	試験主項目	所要口数	所要人員	施行	協力
1	継電器単体試験	1 端局 1 日	2 人	三菱	注文元
2	DC シーケンステスト	1 端局 0.5 日	2 人	※	※
3	対向試験	1 対向 1 日 1 端局 2 人	※	※	※
4	実負荷試験			御注文元	三菱
5	所要器材				

表 5.2 単体試験時の所要試験器材リスト

計器	継電器	87関係	44S	67G	27	64	51S	51GH	44ST 67GT	52TX	27L
電流計 (AC 0.3/1A)				○						○	
* (AC 5/20/50A)		○	○				○	○		○	
電圧計 (AC 150V)		○	○×2	○	○	○					○
スライダック			○×2	○	○	○					○
ミリ秒コンドメータ			○	○	○					○	
位相計			○	○							
電圧計 (DC 150V)									○		
移相器			○	○							
電流試験器		○	○	○							
サイクルカウンタ									○		

抑制コイル端子電圧を測定する。

(d) 後備保護継電器の方向試験

44S：短絡後備—ML—6331 による。

67G：地絡後備—線路電圧、負荷電流を利用して V_0 、 I_0 を模擬的に発生させる。

(6) 所要試験器材

(a) 単体継電器試験時

(b) シーケンステスト時

テスタ 1 台 メガー (500V) 1 台

(c) 対向試験時 (各端子について)

テスタ、位相計、電圧計 (AC10V/30V、75/150V)

電流計 (AC 0.2/1A、5/20A) 各 1 台

虚負荷継電器試験装置 1 セット、リード線、SW など

(d) 実負荷試験時 (各端子について)

テスタ、検相器、電圧計 (AC 10V/30V、75/150V)

電流計 (AC 0.2/1A、5/20A)、電話 各 1 台

ナイツスイッチおよびリード線若干。

6. む す び

以上、保護継電器の保守と試験に関する一般関連事項および基本的な諸事項について述べたわけであるが、個々の当社継電器を保守、試験していただくにあたっては、性能保証限界、試験回路および試験方法などを詳述したそれぞれの継電器説明書を参照いただきたい。

終わりに当社継電器の進歩発展にあたって各電力会社および関係各位のご指導、ご協力を深謝する次第である。

模 擬 送 電 線 設 備

北 浦 孝 一*

Artificial Transmission Line

Kōbe Works

Kōichi KITAURA

The artificial line (A.T.L.) is a device for testing the protective relaying of various kinds and control devices by actually operating them and also used for an analogue computer to analyze the phenomena with electric power systems. The device shall be designed and built to retain the similarity of the A.T.L. with actual power systems economically and with the size minimized.

System voltages, current, terminal power source capacity, number of apparatus, power source characteristics, line constants, system change over method, circuit breakers, fault generators and instrumentation are dealt with herein.

1. ま え が き

模擬送電線設備（以下は A. T. L と略す）は実系統の模形である。すなわち PT, CT 二次回路に接続される各種保護継電装置、制御装置を実際に駆動する試験設備であり、また各種現象を解析する設備である。以下は A. T. L をいかにして実系統との相似性を失わずに経済的な設計製作したかについて述べるものである。

2. 使用電圧・電流

CT 負担 40 VA, PT 負担 100 VA を考慮し、直列にはいるインピーダンスが CT 比 5 A/5 A のとき $j1.6 \Omega$ 、約 3.2 km 分、CT 比 20 A/5 A のとき $j0.1 \Omega$ 、約 200 m 分程度、また並列にはいる負担も 300 VA 程度なら試験目的を達成しうるので、電圧・電流を実系統の 1/100 に決定した。したがって、インピーダンス・アドミタンスとも実系統に等しくなり、CT・PT 一次タツとして実系統の 1/100 のものを使用した場合、まったく整定を変更せず、そのまま実系統に適用できるという特長をもっている。また容量は実系統の 1/100 となり、この程度の機器ならば、実系統機器に比べて多少抵抗分が増大するのみで実用上支障がない。

3. 端子電源総容量と電源機数

系統総容量は、将来の増加をみこして 560 万 kVA を考慮し、端子電源総容量を 560 kVA とした。これを何機かの電源に分割するのであるが、多端子継電方式の検討および多機系統の電力協調制御の実験が可能となるよう端子電源として水力 50 kVA、火力 50 kVA、火力 200 kVA 合計 3 セットの MG を完成した。

図 3.1 は、A. T. L. 主回路接続図である。

4. 端子電源の特長

発電機の大きさにより R/X が異なるので、 X を実系統発電機に合致せしめれば A. T. L. の発電機は小形であるから R 分が大となり、各時定数は小となる。この内電機子回路時定数 T_a の小なることはいかんともしがたく、突発短絡電流の直流分の減衰は早い。界磁回路時定数は図 4.1 に示す制御方式により実用上支障ない程度まで延ばすことができた。

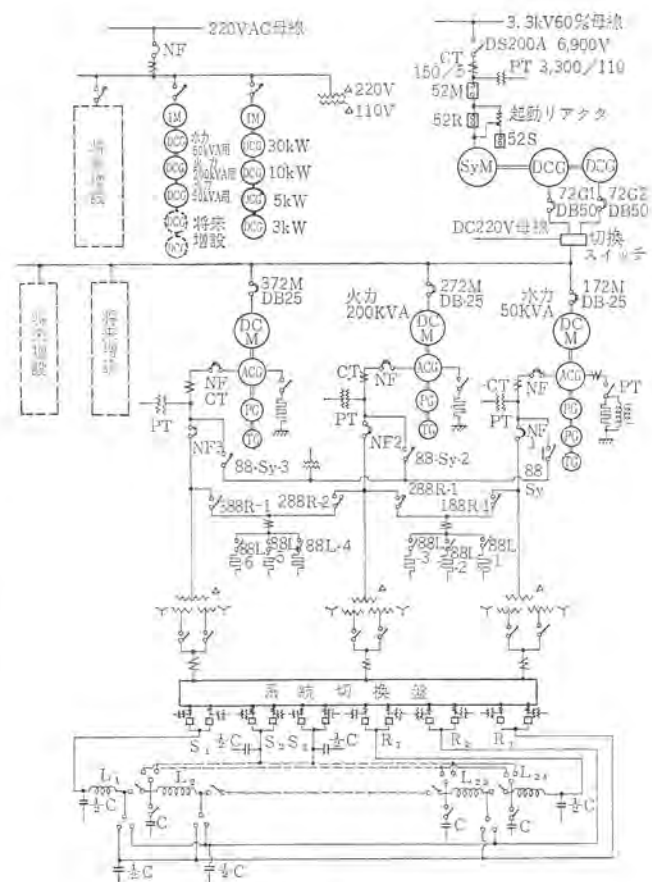


図 3.1 ATL 主回路接続図
Fig. 3.1 Skeleton diagram of A.T.L.

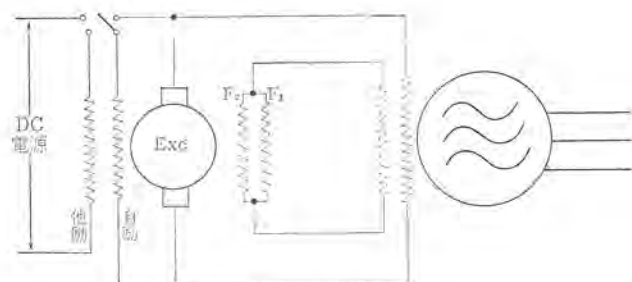


図 4.1 界磁時定数調整法
Fig. 4.1 Connection diagram of time-constant regulating circuits.

表 4.1 火力 200 kVA 発電機定数表

定 数	測定および算定法	実 測 値 60c/s	実 測 値 50c/s
短 絡 比	無負荷飽和・三相短絡試験	0.77	0.77
X_d	無負荷飽和・三相短絡試験	140	140
X'_d	突発短絡試験	20.8	20.6
X''_d	突発短絡試験	16.0	16.4
X'''_d	Da-Ca法	23.1	28.9
X_2	単 相 短 絡	22.3	23.2
X_2	Da-Ca法 (M/2)	27.25	32.0
T'_{do}	界磁減衰試験	1.435	—
T'_d	界磁減衰試験	0.343	—
T''_d	突発短絡試験	0.15	0.154
T'''_d	$\left[\frac{X'_d}{X_d} \right] T'_{do}$	0.211	0.210
T''_d	突発短絡試験	0.02	0.018
T_a	突発短絡試験	0.034	—
T_a	$\frac{X_2}{2\pi f r_a}$	0.055	0.0573

定 数	測定および算定法	フライホイール全部つけたとき	フライホイール無	備 考
		実 測 値	実 測 値	
GD^2 (kg-m ²)	減 速 法	375	235	直結されたすべての機械の GD^2 合計
H	$H = \frac{10.95 GR^2 (\text{rpm}/1000)^2}{\text{kVA}}$	106	866	

表 4.1 は火力 200 kVA の諸定数測定結果である。

また、各発電機には固定子を手動で回転しうるパイロット正弦波発電機をつけて、内部相差角測定を可能ならしめ、フライホイールを設けて慣性定数を 4 段に切り換えうるようにするとともに、水力 50 kVA 発電機に対しては簡単にダンパ巻線を着脱しうるごとくした。

5. 線 路 定 数

線路定数は図 5.1、表 5.1 線路定数測定結果に示すごとく超高压送電線定数によく合致している。図 5.2 は A.T.L. の外観図である。

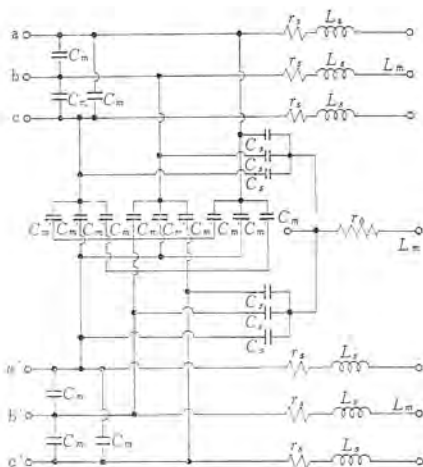


図 5.1 模擬送電線線路単位接図
Fig. 5.1 Connections and constants of the A.T.L. line unit.

表 5.1 模擬送電線線路定数測定結果

	r_s (Ω)	L_s (mH)	L_m (mH)	L_m' (mH)	$Z_{11}=Z_{10}=Z_{21}=Z_{20}$ (Ω at 60c/s)	Z_{01} (Ω at 60c/s)	Z_{00} (Ω at 60c/s)
設計値	0.555	21.82	8.62	7.40	$0.555+j4.98$	$0.555+j6.36$	$6.635+j23.100$
全コイル平均	0.555	22.05	8.64	7.42	$0.555+j5.055$	$0.555+j6.435$	$6.733+j23.219$



図 5.2 ATL 外観図
Fig. 5.2 Exterior View of A.T.L.

6. 系統切換盤およびシャ断器多数設置

各種系統の構成および各種故障の発生が図 6.1 に示すごとく系統切換盤のスイッチ切換により簡単確実に行なわれる。また、単相シャ断器 12 台、三相シャ断器 4 台設備し、とくに多重故障対策の研究に重点をおいている。

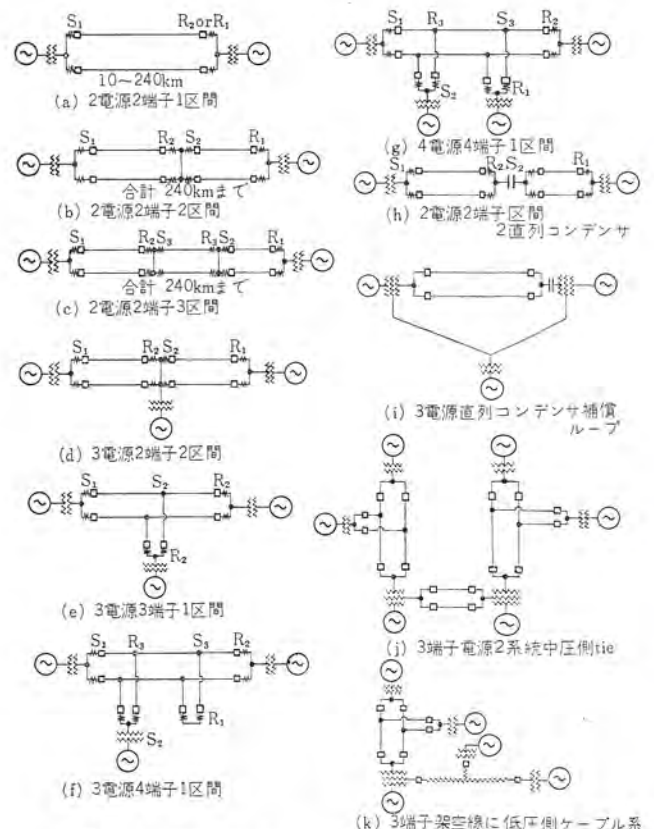


図 6.1 系統切換盤により簡単に構成できる系統
Fig. 6.1 Typical power system capable of composing with change over panels.

7. 発電機および変圧器内部故障発生端子

水力 50KVA 発電機および火力 200KVA 用変圧器には図 7. 1, 7. 2 に示すごとく内部故障発生用端子を設け発電機保護及び変圧器保護の研究が容易に行ないうるごとくした。

8. 計算盤計測装置

線路は PT 主変圧器 タップ 電圧に合わせて一次に 3,800, 3,300, 2,750, 2,200, 1,540, 1,100, 770, 660 V の 8 タップを設け, 線路 CT は各回線用は一次切換 20, 15, 12, 10, 8, 7.5, 6, 5 A/5 A とし, 三次は一次 タップ 10 A のときの巻線比を 3/1 とした。なお, 三次巻線には補助 CT を設け, 一次 タップ いかんにかかわらず, 三次タップには実系統の 1/30 の巻線比に等しくなるよう一次タップ切り換えと同時に補助 CT タップも切り換えることとした。

9. む す び

以上, 三菱模擬送電線設備の概要を紹介したが, 今後この設備により研究開発を推進するとともに品質管理を徹底し, 設備の完成にご協力賜った方々のご期待におこたえすることを誓って謝辞とする次第である。

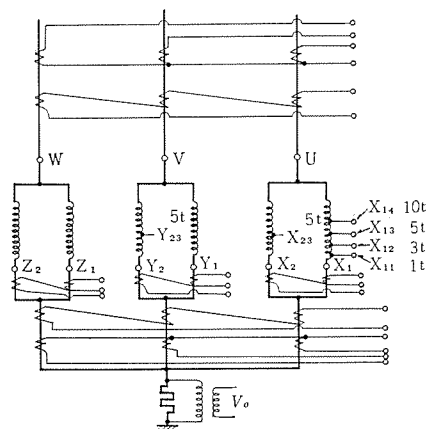


図 7. 1 水力 50 kVA 発電機内部故障発生用タップ
Fig. 7. 1 Artificial fault taps of the 50 kVA water-wheel generator.

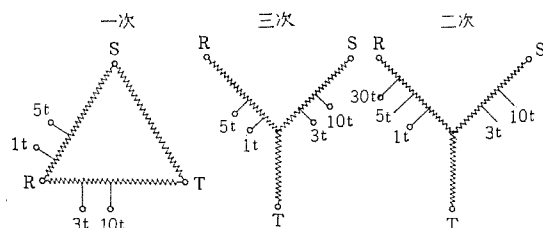


図 7. 2 200 kVA 変圧器内部故障発生タップ
Fig. 7. 2 Artificial fault taps of the 200 kVA transformer.



特許と新案

位相差検出装置

発明者 北 浦 孝 一

この発明は、2個の交流量の位相差を検出する装置に関するものである。

この検出装置は図1ベクトルに示されるように2個の交流量 E_1 , E_2 がある場合に、 E_2 を基準電圧量として $+ \theta_1$ 位相、 $- \theta_2$ 位相 (図は $\theta_1 = \theta_2$ を示す) を変化させた二つの交流量 V_1 , V_2 を得、変動交流量 E_1 が V_1 , V_2 の間にあれば位相差は $\pm \theta$ 以内であるが (図1(イ)), E_1 が V_1 , V_2 の外部にあれば位相差は $\pm \theta$ 以上である (図1(ロ)) と判定することをその骨子としている。これを波形図についてみると、図2(イ)は E_1 が V_1 , V_2 の間にある場合で、 V_1 , V_2 がともに正、またはどちらかが正の期間を $(+)T$, E_1 の負の期間を $(-)t$ とすれば、中間にある場合は $\{(+)T + (-)t\}$ は連続となるのに対して、外部にある場合(ロ)は不連続となる。すなわち $(+)T$ 期間と $(-)t$ 期間の時間経過についての合成 $\{(+)T + (-)t\}$ および $(-)T$ 期間と $(+)t$ 期間の時間経過についての合成 $\{(-)T + (+)t\}$ を総合的に観察すれば、変動交流量 E_1 のベクトルが基準交流量 V_1 と V_2 のそれぞれのベクトル間にはさまれている(イ)の場合だけ $\{(+)T + (-)t\}$ および $\{(-)T +$

$(+)t\}$ がいずれも連続的に存在し、外部に存在するときは1サイクルの周期でとぎれを生ずる。図3において(1)(7), (13)は3巻線変圧器で、それぞれの1次巻線(2), (8), (14)に対して2次巻線(3), (9), (15), 3次巻線(4), (10), (16)を図のように結線し、図の極性に電圧をうるようにする。今、変動交流量が V_1 , V_2 の外部にある場合は、 $\{(+)T + (-)t\}$ と $\{(-)T + (+)t\}$ にとぎれが生ずるため、その期間中は負荷抵抗(19)の回路には電流が流れない。したがってトランジスタ(21), (24)は導通となり、判定回路(27)内のトランジスタ(28)が導通し表示装置(29)を動作させる。一方 E_1 が V_1 , V_2 の間に存在する場合は、 $\{(+)T + (-)t\}$ および $\{(-)T + (+)t\}$ は連続的に存在するからトランジスタ(21), (24)は連続的に阻止されトランジスタ(28)もその導通が阻止される。また上記不連続時に RC を半周期適度に選定しておけば連続的に表示装置(29)を動作させる。

(特許第439092号) (太田記)

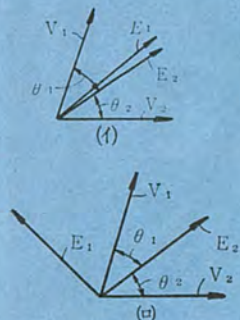


図1

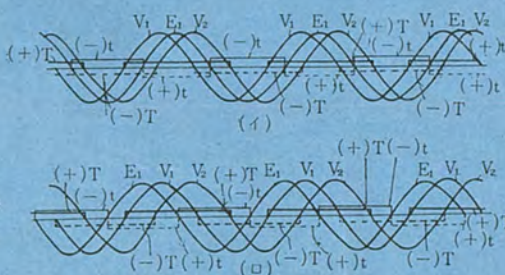


図2

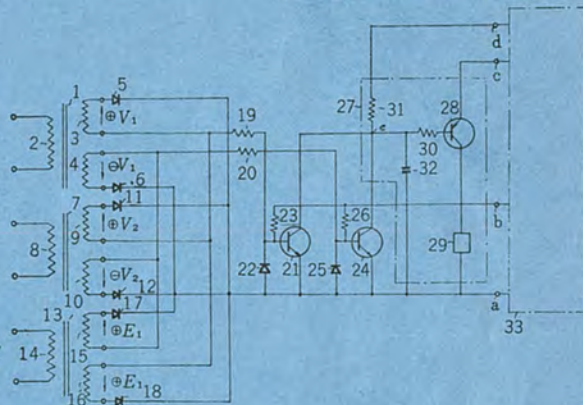


図3

制御極付半導体整流素子を用いた直流電動機制御装置

発明者 吉 田 太 郎

この発明は制御極付半導体整流素子を介して、交流電源より駆動される直流電動機(速度)制御装置に関するものである。

従来この種の装置は、キヨ(鋸)歯状波発生回路、位相推移回路あるいは可飽和リアクトルなど制御極付半導体整流素子の点弧位相を制御するための余分の装置を必要とした。この発明はこれら余分の装置を設置せず、しかもそれと同等の制御効果を発揮する直流電動機の制御装置を提供しようとするものである。

図1はその実施例を示し、図2, 3はその作動を説明する図である。図中aは交流電源端子(1), (2)に加わる電圧波形、 θ 相は制御極付半導体整流素子(4)の順方向、 ϕ 相は逆方向を示す。bは電機子(3a)の電圧波形、cは界磁巻線(3f)の電圧波形で ϕ 相のときだけ供給される。dは界磁巻線(3f)の電流波形である。界磁電流が曲線のように変動するから直流電動機の誘起電圧も変動する。この発明はこの漸減特性を利用するもので、図3(イ)に示すように指令電圧をAとし、誘起電圧をBとすれば、AよりBが小さくなる時点Fで、抵抗(11)を介して整流素子(4)の制御極に入力を加え、こ

れを点弧することができる。指令電圧AをA'に増加させれば点弧時点はFからF'に変化し、速度制御をすることができる。

しかし、この装置では低速の場合は誘起電圧の漸減特性の傾斜が緩やかとなり、安定な制御が困難になる。そこでこの発明ではさらに抵抗(12)を設け、これを整流素子(4)に並列に接続する。この場合は電機子電圧に電源電圧波形が重畳され、図3(ロ)

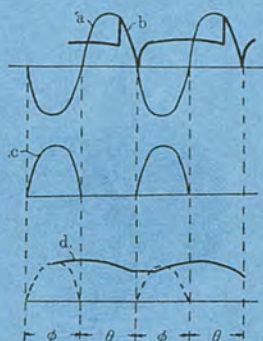


図2

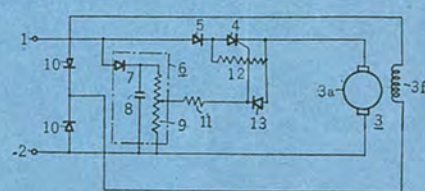
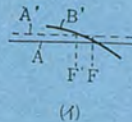


図1



(イ)

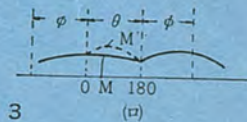


図3

(ロ)

M'に示すようになり、 θ 相のうち 180 度付近の電機子電圧の漸減

特性がはっきり得られ、安定な制御が可能となる。

(特許第 441035 号) (太田記)

押しボタン操作スイッチ

考案者 都築 勇吉・杉浦 博

この考案はスイッチ部の操作棒が直接操作カムに接触して簡単な構造で多種多様な動作をするとともに、押しボタン操作、切換押しボタン操作の各操作にわたって目的を同じくするものは共通部品とし、部品手配、工程、保管、生産性などを有利にし、さらに装置を小形化および構造簡化した押しボタン操作スイッチにおいて、固定接点の下部に可動接点に対応する複数の接点取付穴を設け、接点の取付位置を変えることによって異なる組立品を作れるようにしたものである。

図 1 はこの押しボタン操作スイッチ組立体を示した図、図 2 はスイッチ部分を分解して示した各部品の斜視図である。

図 2 においてコンタクトブロック 50 のミジ 64 にはいる操作棒 65 は角穴 67 に相対向する 2 個の可動接触子 68 と接点 パネ 70 が組み込まれ、また下端の穴 71 に戻し パネ 75 がはまりミジ 55 にはまたった パネ受け 76 により常に矢印方向に押されている。端子 80 はミジ 57 にはまり固定接点 83 は可動接点 69 と対応する位置にある。コンタクトブロック 50 の両端がお互いに逆方向に組み合わせられて取付ねじ 59 によりケース 4 のネジに締めつけられる。パネ 6 に抗して押された押しボタンヘッド 1 は操作円板 13 により直接接している操作棒を押して接点 69、83 を開閉する。端子 80 に固定接点 83 を取り付け、コンタクトブロック 50 のミジにはめ込む。接点を取り付けられていない側 88 は固定壁 56 の部分に対応する。

この考案は前記コンタクトブロック 50 内に納められ形状を有する固定接点 83 の下部に可動接点 69 に対応する複数の接点取り付け穴を設けたもので、同一部品で接点の取付位置を変えることによって異なる組立品を作ることができる。これにより従来装置のように 4 個端子のうち少なくとも 2 個とも異なる形状をしていたために起こる型代の増加、単価高、その他部品の手配および管理におよぼす欠点を除去し非常に簡単な接触方式が得られるものである。

(登録実用新案第 760179 号) (秋山記)

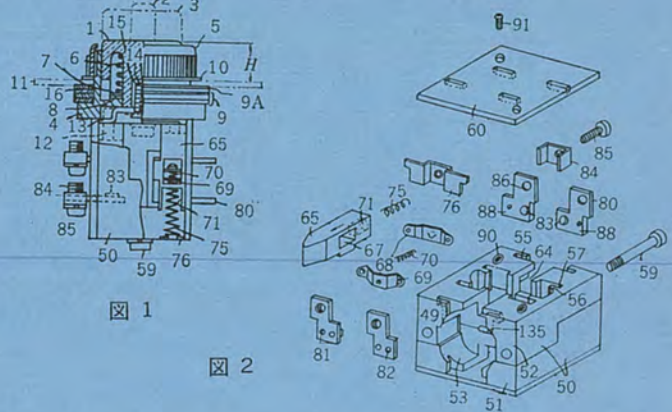


図 1

図 2

押しボタン操作スイッチ

考案者 都築 勇吉・杉浦 博

この考案はスイッチ部の操作棒が直接操作カムに接触して簡単な構造で多種多様な動作をするとともに、押しボタン操作、切換押しボタン操作の各操作にわたって目的を同じくするものは共通部品とし、部品手配、工程、保管、生産性などを有利にし、さらに装置を小形化および構造簡化した押しボタン操作スイッチにおいて、コンタクトブロックのそれぞれの接合面にランプのソケットはめ込み用のミジと前記ランプ用リード線を収納するミジとを設けたものである。

図 1 はこの押しボタン操作スイッチ組立体を示した図、図 2 はスイッチ部分を分解して示した各部品の斜視図、図 3 はランプソケット機構と端子およびコンタクトブロックの裏面斜視図である。

図 2 においてコンタクトブロック 50 のミジ 64 にはいる操作棒 65 には角穴 67 に相対向する 2 個の可動接触子 68 と接点 パネ 70 が組み込まれ、また下端の穴 71 には戻し パネ 75 がはまりミジ 55 にはまたった パネ受

け 76 により常に矢印方向に押されている。端子 80 はミジにはまり固定接点 83 は可動接点 69 と対応する位置にある。コンタクトブロック 50 の両端 51、52 がお互いに逆方向に組み合わせられて取付ねじ 59 によりケース 4 のネジ穴に締めつけられる。パネに抗して押された押しボタンヘッドは操作円板 13 により直接接している操作棒を押して接点 69、83 を開閉する。端子 80 に固定接点 83 を取り付け、コンタクトブロック 50 のミジ 57 にはめ込む。図 3 に示すようにコンタクトブロック 50 にミジ 130 を設け、ランプ 113 のソケット 114 のワグ部 115 をこれにはめ込み支持する。さらにランプ 113 のリード線 126 を端子板 121 の端子 127 に導くためコンタクトブロック 50 の裏面にミジ 129 を設け、両コンタクトブロックを合わせた場合、図 2 のような穴 135 が形成され、ここをリード線 126 を通す。

この考案は上記のように構成することによりランプソケットの簡単な構造とあいまってスイッチの取り付けスペースを狭くすることができるものである。

(登録実用新案第 77952 号) (秋山記)

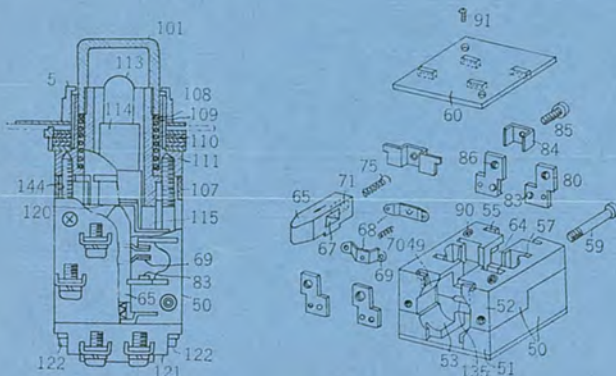


図 1

図 2

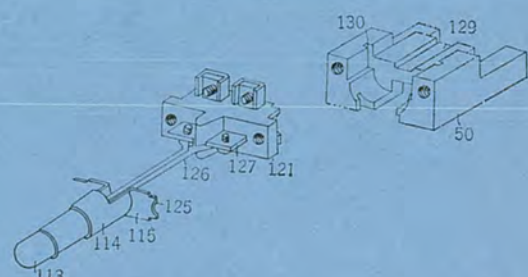


図 3

中部電力昭和町変電所納め配電盤設備

長町恒資*・遠島 徹*

Switchboards delivered to Shōwachō Substation
of the Chūbu Electric Power Co.

Kōbe Works Hisashi NAGAMACHI・Tōru TŌSHIMA

A primary substation typical of the kind has been built at Shōwachō by the Chūbu Electric Power Co. It receives power from a new Nagoya Thermal Power Plant and Ōtaka Substation at a transmission voltage of 154 kV, stepping down it to 77 kV with 120 MVA main transformer and making a tie with Ōtaka substation and Nagoya Harbor system as well as supplying power to the south of the city. All of the power substation equipment except existing one have been built and delivered by the Company. This article describes the outline of arrangements. As the switchboard components, unit type panels are employed carrier current relay scheme to which zero phase circulating current countermeasure is taken as one of many novel features.

1. ま え が き

中部電力昭和町変電所は図 1.1 に示しているように 154 kV 特別高圧送電線で、大高変電所および新名古屋火力発電所から受電しこれを 77 kV に降圧して、名古屋市南部に電力を供給するとともに、一方 77 kV 系においても、大高変電所および築港系と連係運転される代表的な一次変電所である。この変電所の配電盤設備は、一部既設々備を除きすべて当社で一貫製作納入したので、以下これらについて述べるが、配電盤設備としてはユニット形配電盤の採用および零相循環電流対策を施した搬送保護継電装置など、多数の創意とくふうが盛り込まれた最新鋭の設備といえることができる。

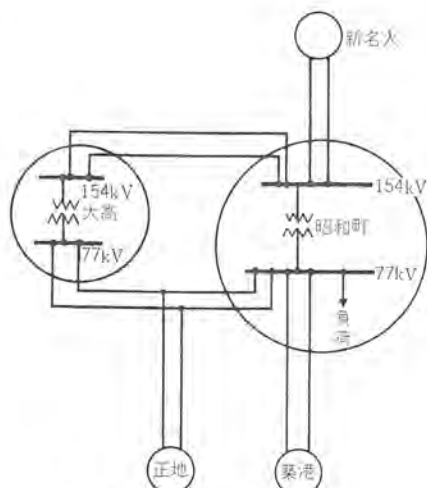


図 1.1 概略系統図
Fig. 1.1 System diagram in brief.

2. 変電所の概要

表 2.1 に昭和町変電所の設備概要を示しているが、元来この変電所は配電用変電所を併設した 77 kV 開閉所であったものを 120 MVA 主変圧器の新設に伴い 154 kV, 77 kV 油入シャ断器を新設して、154 kV 級一次変電所となったもので、主変圧器は将来 3 パンク分の増設を考慮しており、これの並列自動運転が考えられている。

* 神戸製作所

表 2.1 変電所設備概要

設 備	当初使用	配電盤設備
154 kV 送電線	4	10
154 kV 母線連絡	1	1
155/77 kV 120 MVA 主変圧器	1	3
77/11 kV 15 MVA 変圧器	1	1
77/6.6 kV 10 MVA 変圧器	1	3
77/6.6 kV 500 kVA 接地変圧器	1	1
77 kV 送電線	10	14
77 kV 母線連絡	1	1
11 kV 送電線	2	3
11 kV 接地変圧器	1	1
6.6 kV 配電線	6	18

一方既設 11 kV, 6.6 kV 配電用変電所は局部配電用として、そのまま流用され一部配電盤設備のみ改修されている。また 77 kV 系中性点接地は 500 kVA 接地変圧器でこの変電所で行なわれ、この変圧器二次側は 6.6 kV に降圧され所内制御用としても使用されている。

3. 監視と制御

3.1 概 要

図 3.1 は主配電盤、図 3.2 は制御機盤の概要写真を示しているが、主配電盤には変電所の監視に必要な計器がすべて集約して取り付けられている。また、制御機盤には制御開閉器を電圧系統別に区分し集約して取り付けられている。

3.2 監 視

監視面から見た場合のおもな特長は次のとおりである。

- (1) 模擬母線上に配置されたシャ断器および断路器シンボルの照光式で機器の開閉により点滅制御していること。
- (2) 故障表示は、ランプ照光式で系統電圧側に区分され、その中で組み合わせ表示を行なっていること。
- (3) 一部の計器は選択計測式としていること。

3.3 制 御

3.3.1 シャ断器および断路器の制御

これら開閉器の操作は制御機盤に取り付けられた照光式押しボ

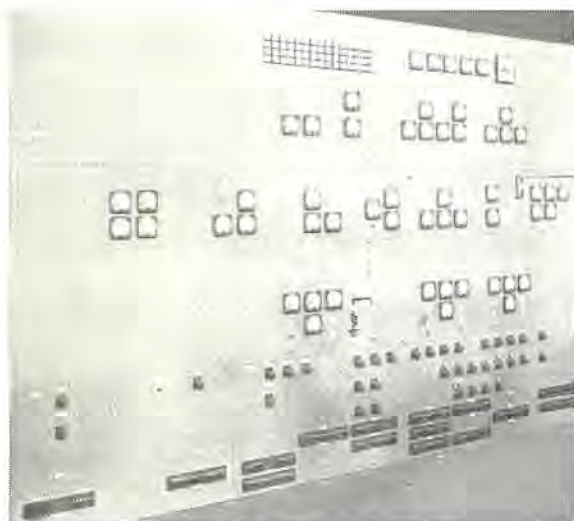


図 3.1 照光式主配電盤
Fig. 3.1 Front view of luminescent switchboards.



図 3.2 操作机盤
Fig. 3.2 Control desk board.

タンススイッチにより選択のうえ、制御される2段操作方式である。すなわち開閉器の操作に際しては、各開閉器ごとに設けられた選択用押しボタンススイッチと全体に共通な1個の操作用スイッチによって、次の順序で行なわれる。

- (1) 選択用押しボタンススイッチにより操作機器の選択を行ない、主配電盤上の機器表示灯をフリッカさせ選択の確認を行なう。多重選択した場合はただちに選択回路はリセットされる。
- (2) 同時にシャ断器投入の場合は、同期検定回路が導入され、同期検定を行なうことができる。
- (3) 機器の選択は復帰ボタンススイッチにより、リセットすることができる。
- (4) 一括操作スイッチを引き、かつネン(捻)回操作することにより機器操作を行ない、完了すればスイッチを押し込むことによって選択および操作回路はリセットされる。
- (5) 操作完了すれば系統盤上の機器シンボルは“点”または“滅”となり、機器の開閉状態を表示する。

以上が概要であるが、継電器を用いた間接制御方式であるため、直接式に比べて操作回路が複雑になるのはやむを得ないが、これを共通、故障表示、送電線、変圧器など、機能別および主回路別に区分し、これらの組み合わせにより全体を構成する方法を採用し、実用上不便をきたさないよう考慮した。

3.3.2 故障表示

シャ断器の引きはずしを伴う故障にたいしては、系統盤上の回路名称表示灯と故障表示盤上の故障種別表示灯との組み合わせにより、原因と場所を確認でき、シャ断器引きはずしを伴わない故障

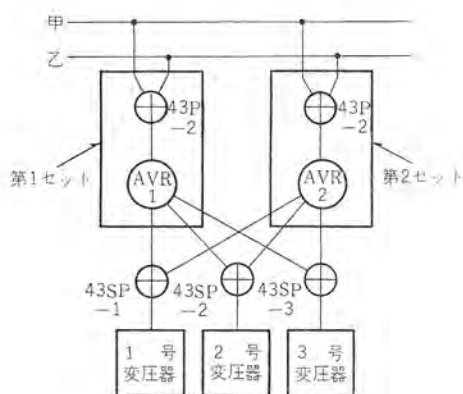


図 3.3 自動電圧調整方式ブロック線図
Fig. 3.3 Block diagram of automatic voltage regulating system.

に対してもいわゆる組み合わせ表示方式を採用した。

故障表示回路は表示項目の性格によって回路構成が異なり、それらを集約的に取り付けた場合、回路の統一が取れなかったものを各故障回路に共通な部分と、表示項目によって相違する部分に区分し、相違する部分を外部に抽出し、切換端子板に集約し、その部分の切り換えのみによって、表示項目による回路構成の変化に追従せしめた。

3.3.3 負荷時タップ切替器の制御

主要変圧器は負荷時タップで切替器付であり、77 kV 母線の電圧調整を行なわせているが、そのおもな特長は次のとおりである。

(1) 図 3.3 に示すように、電圧調整継電器装置は積分形ものを2組有し、これらはそれぞれ切換スイッチにより甲、乙いずれの母線の制御にも任意に使用でき、かつ各変圧器は個々の切換スイッチによって上記組のうち、いずれにも切換接続できること。

(2) 各セットはタイムプログラム装置により、調整電圧を1日を8段階に分けて、タイムプログラム運転ができるようにしていること。

3.3.4 変圧器冷却制御

主変圧器1台に対し、冷却ファンは12群あり、手動で制御した場合は12群一括運転とし、自動制御の場合は2段階に区分して運転する方式とした。

3.3.5 事故記録

フランスのカルパンチェ製自動オシロを使用して、77 kV 母線電圧および主変圧器二欠総合電流の記録と合わせて77 kV 系故障のうち、過電流、距離、方向短絡、選択短絡、地絡、選択地絡、変圧器衝撃圧力、比率差動の8種故障にたいし、事故時の記録を自動的に行なわしめた。

4. 保継電方式

4.1 154 kV 高線搬送保護継電装置

この装置は高抵抗接地系2端子2回線送電線を対象とした故障時送出阻止積放式方向比較式搬送保護継電装置であり、これの特長を列記すれば次のとおりである。

(1) 地絡・短絡とも、各端固有の搬送波を使用し、他端からの選出搬送波のみを受信(自己受信阻止)により、自端搬送波の制御を行なっていること。

(2) 地絡・短絡とも、非電源端対策が施されていること。

(3) 両回線にわたる多重事故時は、短絡回線優先、進み相優先、指定回線優先のいわゆる優先シャ断を行なうとともに、両回

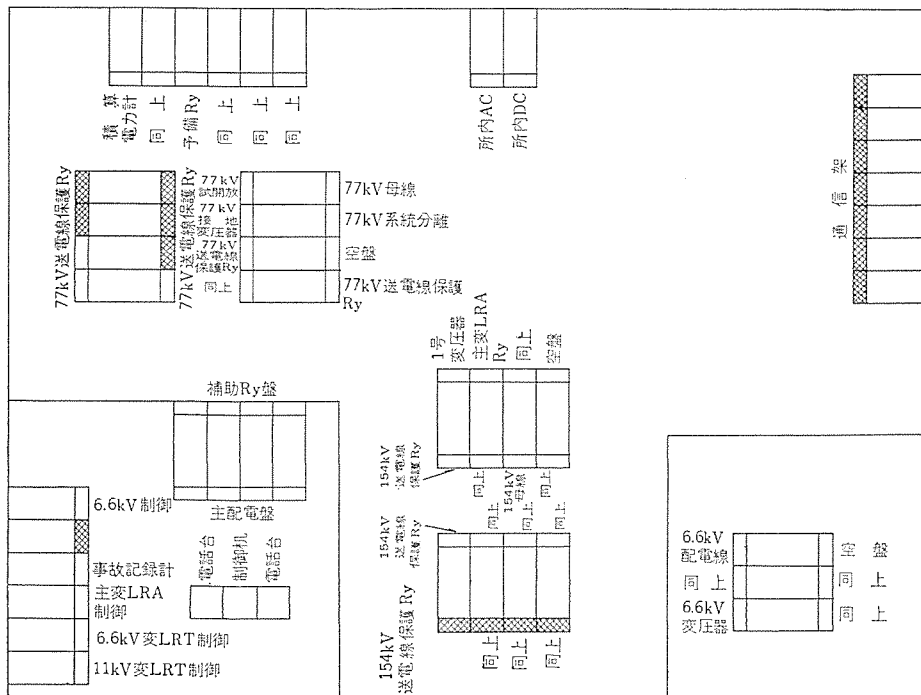


図 5.1 配電盤配置図
Fig. 5.1 Layout of each switchboard of Shōwachō Substation.

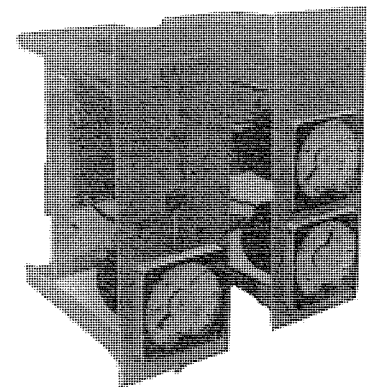


図 5.2 照光配電盤ユニット
Fig. 5.2 Units for luminescent switchboards.

線とも短絡の場合は必ず両回線 シュ断し得るよう、考慮されていること。

- (4) 零相循環電流対策が施されていること。
- (5) 搬送部の点検は打返し方式を採用していること。

などである。

4.2 154 kV 母線保護継電装置

154 kV 母線保護継電装置は多数の納入実績を有する当社 LBB 形母線保護方式を採用した。一般にこの方式の特長は

- (1) 位相比較方式プラス比率差動方式ゆえ CT 飽和に対して問題ない。
- (2) いかなる CT 比に対しても、入力装置により補償できる。
- (3) CT 負担が小さい。
- (4) 内部事故時

動作力	最大
抑制力	ゼロ
- 外部事故時

動作力	ゼロ
抑制力	最大

となっているから、内・外部の判別能力が大きい。などであり、当変電所用母線保護方式の概要は、次のとおりである。

- (1) 短絡保護は甲、乙母線を1括して LBB 方式とし、母選択は母線連絡回路にそう入された電力方向継電器によっていること。

- (2) 地絡保護は警報のみであること。

4.3 77 kV 送電線保護装置

系統連系線は既設平衡継電装置がそのまま流用されたが、負荷回線については単回線保護方式とする。

- (1) 短絡保護としては第 1 段リアクタンス (方形特性)、第 2 段モープラスタイムを使用した距離継電方式を使用した。
- (2) 地短保護としては方向過電流方式を使用した。

4.4 その他保護継電装置

以上述べた保護継電装置のほかに製作納入されたものは、主変中部電力昭和町変電所納め配電盤設備・長町・遠島

圧器、接地変圧器などの機器保護継電器および 77 kV 系にたいしては永久地絡時の試開放装置、周波数制御装置および、154 kV 系と 77 kV 系を分離する系統分離装置などがある。

一方、前述したとおり、この変電所は配電用変電所を併設しており、これの保護継電器類も中部電力殿の標準方式で今回同時に納入した。

5. 配電盤

5.1 構成

図 5.1 は昭和町変電所配電盤配置図を示す。主配電盤室には主配電盤のほかに補助継電器盤、各種制御盤、事故記録計盤、制御機盤および電話切換装置を装備した監視機が設置され、そのほかの配電盤はすべて継電器盤室に設置されている。

5.2 主配電盤

主配電盤は監視盤面と補助継電器盤面の前後対向とし、監視盤面は上下 3 区分し、上段は故障表示灯を、中段は模擬系統盤にして監視計器を、下段は切換スイッチ・テストスイッチをそれぞれ取り付けた。模擬系統盤は図 5.2 に示すようなユニット板を各種組み合わせで構成されており、ユニット板は各々単独に容易に着脱でき、系統の変更、増設などにたいして容易に対処できる点、この方式の配電盤の大きな特長となっている。また、このユニット板は当社独特の方式で盤面が曲げ加工をしない鉄板で製作されているため、ユニット板のヒズミ、大きさなどにむらがなく、それらを組み合わせでできあがった配電盤は非常にいいものとなっている。

6. むすび

以上昭和町変電所の配電盤設備について概要を述べたが、この変電所は今後、名古屋市周辺の電力供給に偉力を発揮するものと思われる。最後に製作にあたり終始ご指導を賜った中部電力の各位に厚くお礼を申し上げる。

三菱 RC-101 形低速再閉路装置

藤川 卓也*・浜野 賢**・鈴木 健治***

Mitsubishi RC-101 Low Speed Reclosers

Kansai Electric Power Company

Takuya FUJIKAWA

Mitsubishi Electric Corporation Osaka Sales Office

Masaru HAMANO

Mitsubishi Electric Corporation Kobe Works

Kenji SUZUKI

These reclosers are intended for automatic restoration of power systems when faults occur on the transmission lines, taking place of the power station attendants. If these devices are provided to all the stations, the area of power failure shall be decreased and the service restoration time shall be shortened in comparison with those taken care of by the operators, thus electric power of good quality being made available. The reclosers perform the function of automatic low speed reclosing with one minute power suspension and the opening of circuit breakers similar to the operation of the power station attendants. The detecting part of the device being transistorized, it is possible to mount the units for six transmission lines on a standard panel of 700 mm wide. The article describes the method and performance in demonstration of the equipment.

1. ま え が き

電力系統に事故が発生した場合、従来、各電気所の運転員が適切な操作を行なうことによって、事故復旧を行なっているが、これらの操作をすべて自動的に行なわせることを目的として、この低速再閉路装置を製作した。この装置を全電気所に設置することによって、人間が操作するよりも正確かつ最適な事故後の操作を行なわせ、停電区域の減少と停電回復時間の短縮を行ない、電力需要家に良質の電気を供給することができる。

当社では、関西電力と協同開発し、昭和40年4月に、約120端子分を製作納入したので、以下紹介する。



図 1.1 RC-101 形低速再閉路装置
Fig. 1.1 RC-101 Low speed recloser.

2. 再 閉 路 方 式

2.1 特 長

この再閉路装置は、従来の再閉路方式と異なった方式を採用し、故障除去後の自動復旧操作をある程度実施できるように考慮して、下記の特長を備えている。

(1) 無電圧時間1分間の電源端先行投入方式を採用することによって、連係送電線でも、従来のような隣回線潮流検出などに

よるルーラ確認を必要としない。

(2) 両端電源の場合、両系統の連係が切れれば、投入動作をロックし、非同期投入を避ける。

(3) 従来と異なり、継電器シヤ断器のほか、全停電によっても、この装置を起動し、また投入動作のほか、引きはずし動作をも行なう。線路の永久故障点に対して2度充電を絶対に避け、電源へのショックを減らし、停電回復時間の短縮を行なう。

(4) 2回線受電端では、系統条件による1回線受電を行なう場合を考慮して、自動切換えも兼用できる。

2.2 方式分類

適用する送電線によって表2.1のように分類した。

2.3 方式概要

再閉路方式の基準シーケンスは図2.1のとおりである。すなわち、シヤ断器投入後、準備時間3分間経過すれば再閉路準備完了状態となり、準備完了後継電器シヤ断すれば、無電圧時間1分間

表 2.1 再閉路方式一覧

適 用 系 統	送電側	受電側	送電側 自動切換	受電側 自動切換
	1-1	1-2	1-3	
	1-1	2-2	2-3	2-4
	3-1	3-2	3-3	
	4-1	4-2	4-3	4-4

※ コントロールスイッチ 43S の切換操作で、送電側方式と受電側方式の切り換えが可能なもの。

※※ コントロールスイッチ 43J の切換操作で、受電側方式と自動切換方式の切り換えが可能なもの。

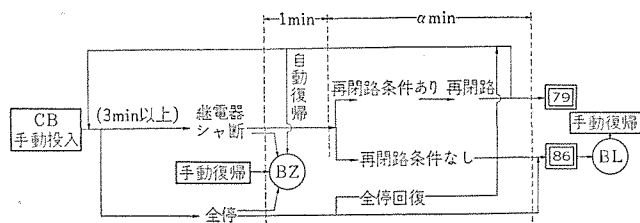


図 2.1 再閉路基準シーケンス
Fig. 2.1 Standard sequence of reclosing.

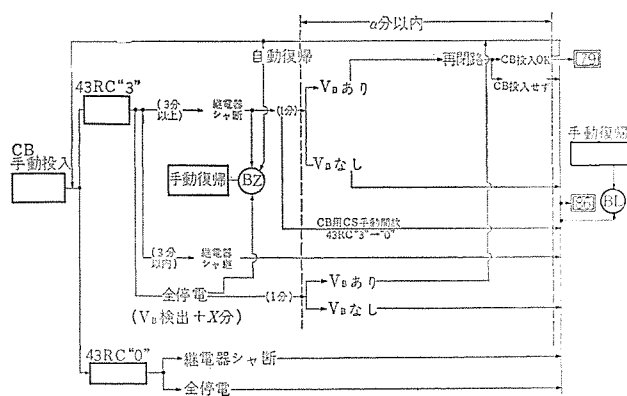


図 2.2 再閉路方式 1-1
Fig. 2.2 Reclosing method 1-1.

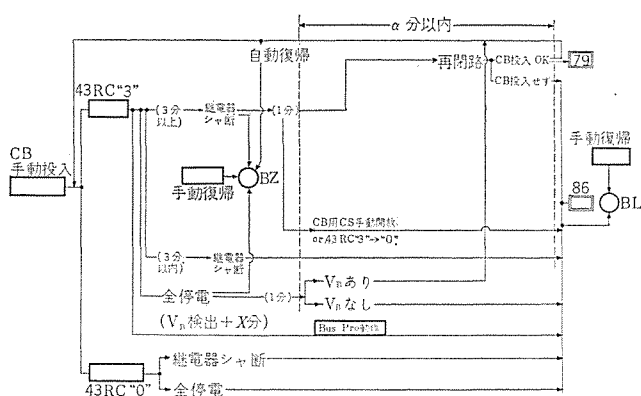


図 2.3 再閉路方式 1-2
Fig. 2.3 Reclosing method 1-2.

経過後、再閉路条件が備わっていれば投入する。無電圧時間経過後 α 分経過しても、再開路条件不成立であれば最終シャ断となる。また、全停電が発生後 $1+\alpha$ 分経過しても回復しなければ、最終シャ断表示を出し警報する。

以下、各方式について説明する。

(1) 1-1 方式 (図 2.2)

継電器シャ断 1 分経過後、母線電圧があれば再開路し、電源端先行投入を行なう。

(2) 1-2 方式 (図 2.3)

継電器シャ断 1 分経過後、無条件に再開路し、母線電圧が回復しなければ、最終シャ断表示を出す。

(3) 2-2 方式 (図 2.4)

(a) 1 回線継電器シャ断 1 分経過後、シャ断回線の線路側に電圧あり、母線電圧ありで再開路する。

(b) 1 回線継電器シャ断と同時に全停電となった場合、1 分経

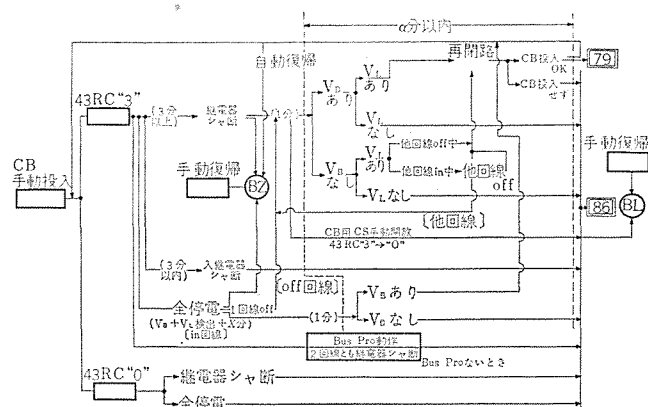


図 2.4 再閉路方式 2-2
Fig. 2.4 Reclosing method 2-2.

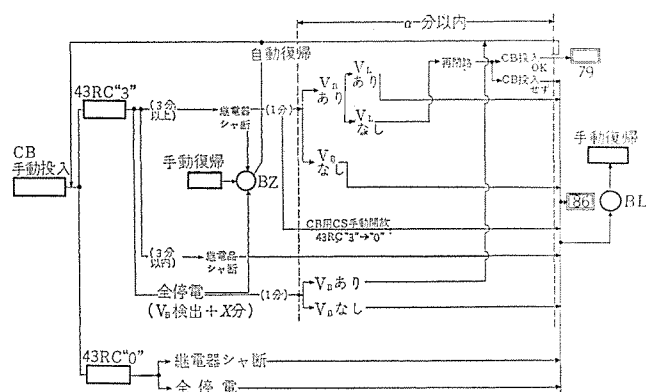


図 2.5 再閉路方式 3-1
Fig. 2.5 Reclosing method 3-1.

過後、投入回線に電圧がなく、シャ断回線の線路側に電圧が早くきたときには、投入回線のシャ断器を開放したうで、シャ断回線のシャ断器を投入する。その後、再開路装置により開放された回線の線路側に電圧がくれば、母線電圧があることを確認のうで、2 回線を自動併用する。

(c) 継電器シャ断を伴わず、全停電となった場合には、あらかじめ定められた回線のシャ断を開放して電源側からの充電を持つ。開放回線の線路側に電圧が早くきたときの動作は、(b) 項と同様に行なう。

(d) 2 回線継電器シャ断時には、構内故障とみなして再開路させない。ただし、母線保護継電器が設置されていて、これが不動作時には、2 回線継電器シャ断であっても再開路する。

(4) 3-1 方式 (図 2.5)

継電器シャ断 1 分経過後に母線電圧があることおよび線路電圧がないことを確認して再開路する。線路電圧があるときには、非同期投入を避けるため再開路しない。

(5) 3-2 方式 (図 2.6)

継電器シャ断 1 分経過後に母線電圧がないことを確認して再開路する。母線電圧があるときは、非同期投入を避けるため再開路しない。

(6) 4-1 方式 (図 2.7)

(a) 継電器シャ断 1 分経過後に母線電圧があることおよび線路電圧がないことを確認して再開路する。

(b) 継電器シャ断 1 分経過後に母線電圧・線路電圧ともある

ときは、両電圧の位相角が $\pm 15^\circ$ 以内で静止していれば、同一系統の電圧とみなして投入する。この位相角が 15° 以上のとき、および位相角測定中に $\pm 15^\circ$ の範囲を1度でも出たときは、異系統とみなして再閉路しない。

(7) 4-2 方式 (図 2.8)

(a) 1 回線継電器 シュ断 1 分経過後、シュ断回線の線路側に電圧あり、母線電圧ありで (6) (b) 項と同様に位相角測定のをえ再閉路する。

(b) 1 回線継電器 シュ断と同時に全停電となった場合には、

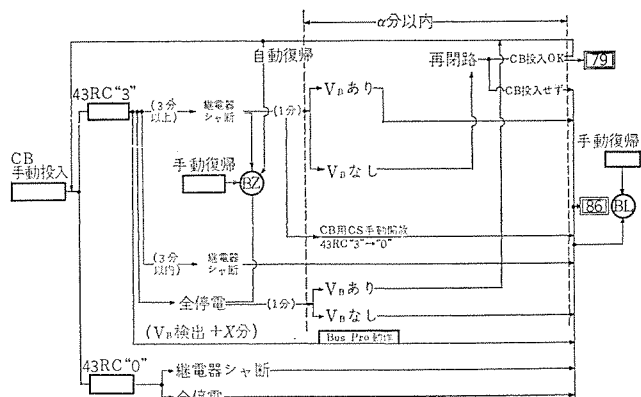


図 2.6 再閉路方式 3-2
Fig. 2.6 Reclosing method 3-2.

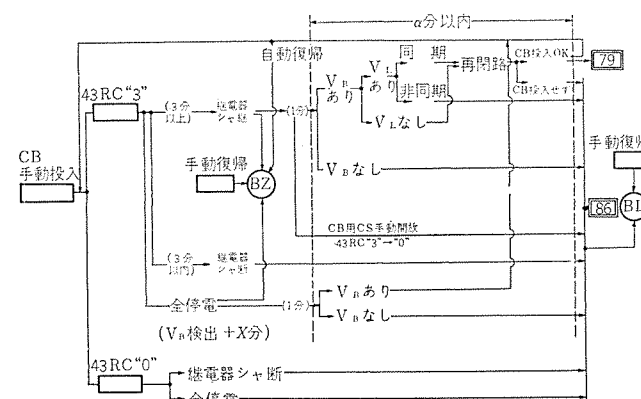


図 2.7 再閉路方式 4-1
Fig. 2.7 Reclosing method 4-1.

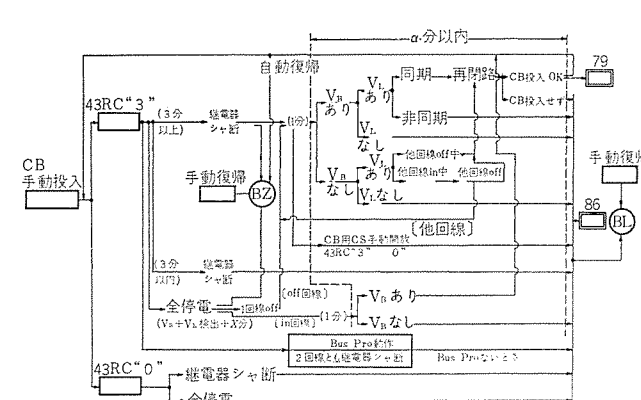


図 2.8 再閉路方式 4-2
Fig. 2.8 Reclosing method 4-2.

(3) (b) 項と同一動作を行なう。ただし、2 回線の併用は、位相角測定のをえ行なう。

(c) 継電器 シュ断を伴わず、全停電となった場合には、(3) (c) 項と同一動作を行なう。ただし、2 回線の併用は、位相角測定のをえ行なう。

(d) 2 回線継電器 シュ断時には、(3) (d) 項と同様に行なう。

(8) 2-4, 4-4 方式 (図 2.9, 2.10)

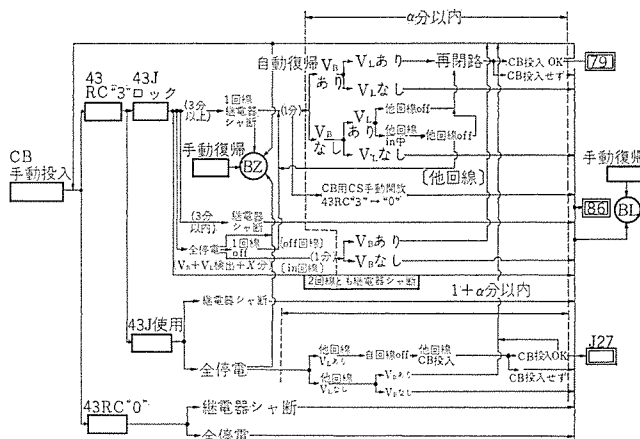


図 2.9 再閉路方式 2-4
Fig. 2.9 Reclosing method 2-4.

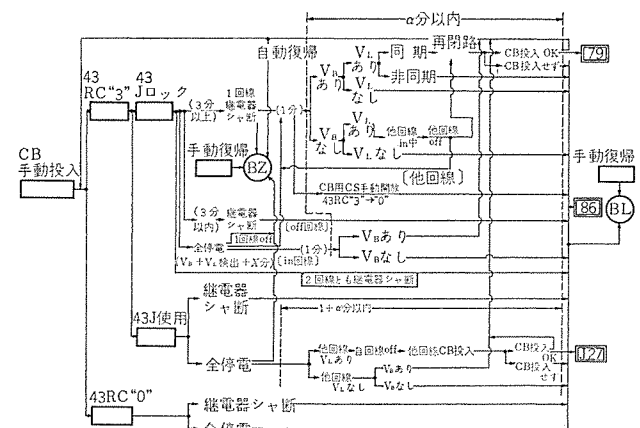


図 2.10 再閉路方式 4-4
Fig. 2.10 Reclosing method 4-4.

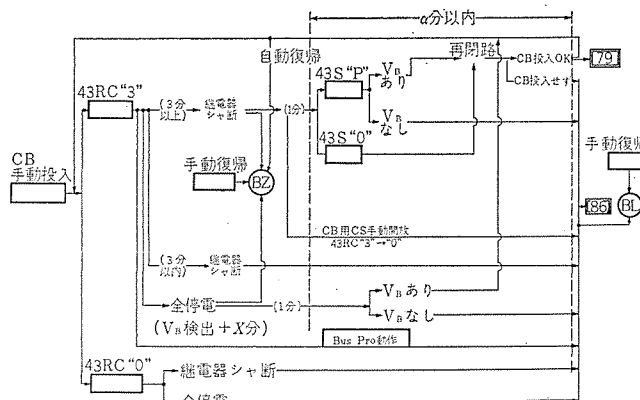


図 2.11 再閉路方式 1-3
Fig. 2.11 Reclosing method 1-3.

コントロールスイッチ 43J の操作によりそれぞれ 2-2 方式 4-2 方式と下記自動切換方式との切り換えができるようにした方式である。自動切換方式は、下記のとおりである。

(a) 1 回線受電中に全停電になり、開放回線の線路側に電圧がある場合、受電回線のシヤ断器を開放して、開放回線のシヤ断器を投入する。開放回線の線路側に電圧がない場合には、切り換えを行なわないで、電圧の回復を待つ。

(b) 切り換え後に、もとの受電回線に電圧がきても、切り戻しは行なわない。

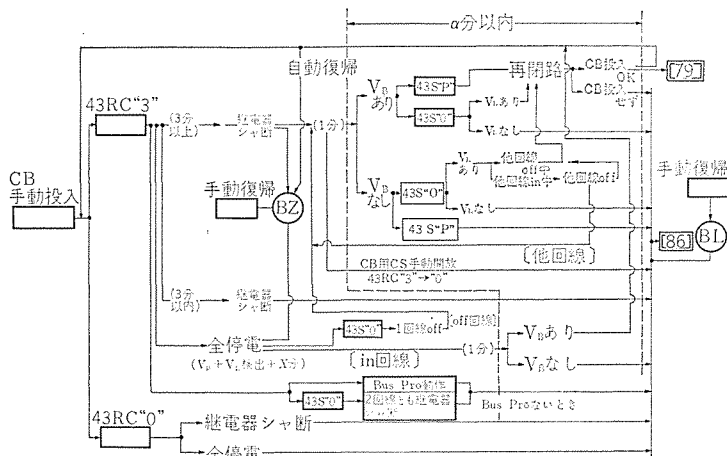


図 2.12 再閉路方式 2-3
Fig. 2.12 Reclosing method 2-3.

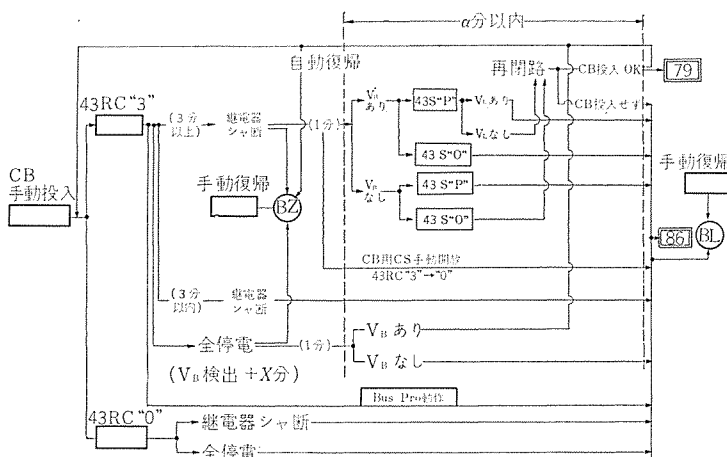


図 2.13 再閉路方式 3-3
Fig. 2.13 Reclosing method 3-3.

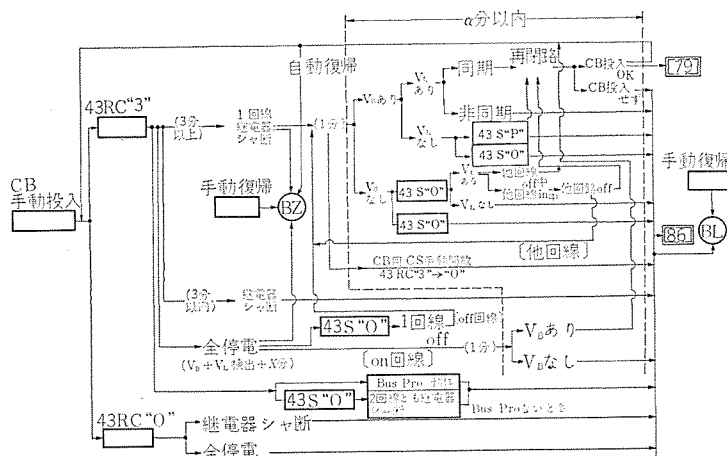


図 2.14 再閉路方式 4-3
Fig. 2.14 Reclosing method 4-3.

(9) 1-3, 2-3, 3-3, 4-3 方式 (図 2.11, 2.12, 2.13, 2.14)

コントロールスイッチ 43S の操作により、

1-3 は 1-1 と 1-2
2-3 は 1-1 と 2-2
3-3 は 3-1 と 3-2
4-3 は 4-1 と 4-2

の切り換えができるようにした方式で、系統構成の変更に対応できるようになっている。

2.4 各方式の適用系統

2.3 節の各方式は、適用する系統条件によって、以下のように入れられる。

- (1) 単独負荷 1 回線 (図 2.15)
- (2) 単独負荷 2 回線 (図 2.16)
- (3) 1 端小電源の存在する 1 回線 (図 2.17)
- (4) 1 端小電源の存在する 2 回線 (図 2.18)

1-2 方式は、末端の系統事故で、直列引きはずしのおそれがある、構内事故時にシヤ断可能な場合にだけ適用する。また、1 回線末端の受電側では、送電線事故で継電器シヤ断することがないので、この装置を適用しない。

2.5 電源への 2 度ショックの防止と停電回復時間の短縮対策

(1) 下記のように、永久故障に対して不ぞろいシヤ断が生じた場合、このシヤ断された故障点の両側のシヤ断器の投入、再シヤ断により、健全回線まで、シヤ断され、停電回復時間が長くなるとともに、電源へ 2 度のショックを与える。これを防止するため、2 回線の非(小)

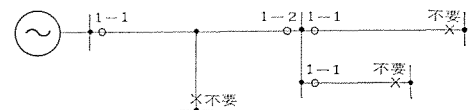


図 2.15 各方式の適用系統 (1)
Fig. 2.15 Application of reclosing method for power system (1).

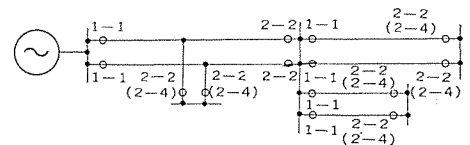


図 2.16 各方式の適用系統 (2)
Fig. 2.16 Application of reclosing method for power system (2).

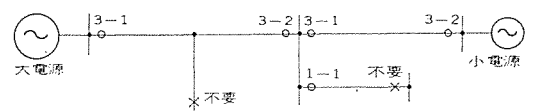


図 2.17 各方式の適用系統 (3)
Fig. 2.17 Application of reclosing method for power system (3).

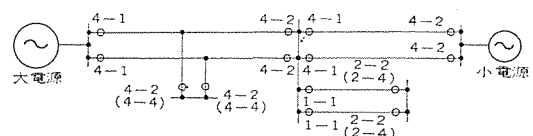


図 2.18 各方式の適用系統 (4)
Fig. 2.18 Application of reclosing method for power system (4).

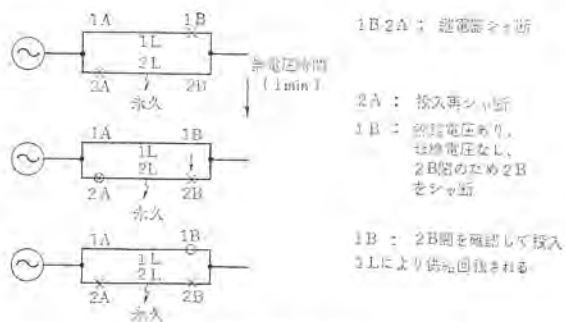


図 2.19 事故復旧動作例 (1)
Fig. 2.19 Example (1) of restoring operation.

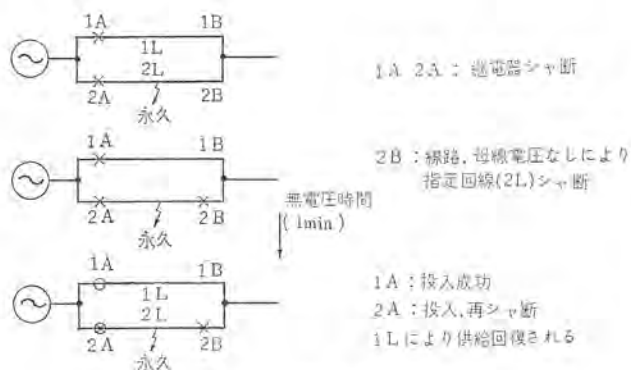


図 2.20 事故復旧動作例 (2)
Fig. 2.20 Example (2) of restoring operation.

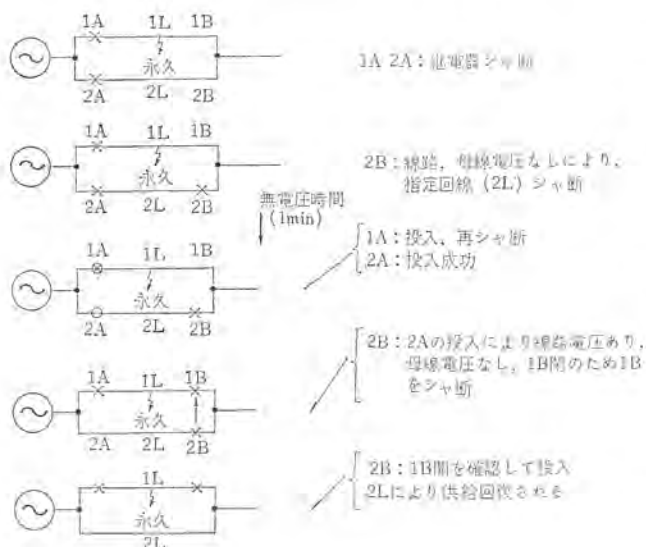


図 2.21 事故復旧動作例 (3)
Fig. 2.21 Example (3) of restoring operation.

電源側では、

(a) 線路電圧あり母線電圧なしで他回線のシャ断器が閉であれば、これを開放してから自回線を再閉路する。(2.3節の(3)(b)、(7)(b)参照)

(b) 継電器シャ断を伴わないで全停電になった場合、指定回線のシャ断器を開放して待機する。(2.3節の(3)(c)、(7)(c)参照)などのシャ断動作を行ない、永久故障回線を分離して、健全回線による供給故障回復を行ない、かつ、電源へのショックを一度にとどめる。

例 1 2B を開放しないで、1B が再閉路すれば、永久故障に対する2Aの再閉路・再シャ断と別に、もう一度電源へショックを



図 2.22 27L に単相要素を使用した場合の2度ショック例
Fig. 2.22 Example of two shocks by using single phase element for 27L.



図 2.23 負荷潮流によって連係を誤認する例
Fig. 2.23 Example of misjudging the connection between different power systems.

与えることになり、健全回線 1L の 1A あるいは 1B がシャ断されれば、供給回復が遅れる。

例 2 2B を開放しないで、1A・2A が再閉路すれば、それぞれ別々に電源へショックを与えることになり、健全回線 1L の 1A あるいは 1B がシャ断されれば、供給回復が遅れる。

例 3 2B および 1B を開放しなければ、前例と同様に健全回線による供給回復が遅れる。

(2) 故障検出要素として、単相形の電圧検出要素を使用しているため、図 2.22 のように受電側の検出相と違う相に永久故障が発生したときは、電源側で再閉路・再シャ断する間に、受電側の線路電圧検出リレーが動作し、線路電圧・母線電圧とも健全と見て再閉路・再シャ断して、電源へ2度のショックを与える。これを防止するため、電源側のリレー動作時間およびシャ断時間を考慮し、安全側に見込んで、線路電圧検出要素に5秒間の動作時間をもたせている。

(3) 構内事故時の再閉路・再シャ断を防止するため、フスプロがある場合には、フスプロの動作によって再閉路をロックし、またフスプロのない場合には、受電側の2回線同時継電器シャ断を構内事故と考え、再閉路をロックする。

2.6 両端電源の再閉路動作

両端電源を有する送電線の再閉路方式は、異系統並列を避けるために、従来から隣回線の潮流によって、両電源の連係を確認しているが、3端子以上の多端子系では、図 2.23 のように不ぞろいシャ断が発生し、連係が断たれたときには、負荷潮流によって連係ありと誤認することがある。

この方式では、多端子連係線でも適用できるように、同期検出により連係を確認している。すなわち、母線電圧と線路電圧の位相を検出し、同一系統の電圧かどうかを確認することができる。ただし、異系統であっても、再閉路実施時に同相となれば、強制並列となることが考えられるので、同期検出中に一度でも検出角を越えれば、異系統と見なして再閉路をロックする。

3. 構成

3.1 概要

この装置は、あらゆる点で小形化をはかり、盤幅 700 mm の標準配電盤に最大6回線分を収納できるようにしてある。1回線分のおもな所要器具は、再閉路条件検出継電器、各種時限をカウントする AC タイマー、各種シーケンス動作を行なう補助継電器などであり、共通部として、AC タイマーの電源となる DC-AC インバータがある。これら各器具は、従来の保護継電器盤にも小スペースで

表 3.1 各方式別所要器具一覧

大別	器具番号	形 名	用 途	定 格	方 式 に よ る 所 要 数												
					1-1	1-2	1-3	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3	4-1	4-2	4-3	4-4
1 回線 あたり 所要 器具	79D	RCV-1-N 形 条件検出リレー	再閉路 条件 検出	27T・27B	母線電圧 AC 110V												
	79D	RCV-2-N 形 条件検出リレー		27T・27B・27L	母線電圧 AC 110V 線路電圧 AC 63.5V												
	79D	RCV-3-N 形 条件検出リレー		27T・27B・27L 25	母線電圧 AC 110, 63.5V 線路電圧 AC 63.5V												
	79PT	SYT-M-1 形 AC タイマ	準備時間カウント		AC 100V DC 110V 0~180 sec												
	79T12	SR-MD 形 AC タイマ	無電圧時間、確認時間		AC 100V DC 110V 60, 60+0~60 sec												
	79AUX	TAR-1-N 形 補助リレー	シーケンス動作		DC 110V												
	OPC	MS 形 動作回数計	79, 86, J27 の表示 回数カウント		DC 110V 4 ケタ												
	30-1Y 30-2Y	DA 形 故障表示器	表示文字 79, 86		DC 110V												
	43RC	CSS 形 コントロールスイッチ	再閉路使用切換 (3-0)		DC 110V												
	43S	RSS 形 コントロールスイッチ	再閉路方式切換 (P-0)		DC 110V												
	43RCX	MM4KPF 形 キーブリレー	43RC 遠方制御用		DC 110V												
	WL	小角形信号灯	43RCX 復帰中点灯		DC 110V 白色												
2 所 回線 あたり 器具		AS-11 形 電源装置	79D の定電圧電源		DC 110V 外部抵抗 2 本												
	30-3Y	DA 形 故障表示器	表示文字 J27		DC 110V												
	43S	RSS 形 コントロールスイッチ	再閉路方式切換 (P-0)		DC 110V												
	43J	HRS 形 コントロールスイッチ	自動切換方式切換 (使用-ロック)		DC 110V												
共通 所要 器具		SI-73-2 形 DC-AC インバータ	79PT, 79T12 の AC 電源		DC 110V 出力 AC 100V 60 c/s 50VA												
	8R	RSS 形 コントロールスイッチ	DC 電源 (入-切)		DC 110V												
	8RT	611TPF 形 遅延リレー	79D 誤動作防止用		DC 110V 2 sec												
	B2X, BZY BLX, BLY	MM2PF 形 パワーリレー	警 報 制 御		DC 110V												

取付け可能であり、平衡保護継電器盤・搬送保護継電器盤・表示線保護継電器盤に組み込むことが容易である。各器具の特長は以下のとおりである。

(1) 再閉路条件検出継電器

回路をトランジスタ化することにより、各種の複雑な再閉路条件要素を小形化し、電圧継電器 4 個、同期継電器 1 個・限時継電器 2 個相当の性能を持たせ低負担とした。

(2) AC タイマ

長時間 (最大 3 分) DC タイマとして、トランジスタタイマを用いた場合、大容量のコンデンサを必要とし、コスト・小形化の面で問題があるので、この装置では、同期モータを内蔵した AC タイマを SCR 式の DC-AC インバータで駆動することにより、DC タイマの小形化を行なった。

(3) 補助継電器

電磁形継電器を使用することによって、保守を容易にし、信頼性の向上をはかっている。また、13 種類の再閉路方式に応じられるよう考慮してあるので、将来系統条件に変化があっても、この継電器端子の接続変更によって簡単に方式の変更が可能である。

各方式別所要器具の詳細は表 3.1 のとおりである。

3.2 RCV-N 形再閉路条件検出継電器 (図 3.1)

(1) 概 要

再閉路条件検出要素として、母線電圧および線路電圧の状態を

三菱 RC-101 形低速再閉路装置・藤川・浜野・鈴木

表 3.2 RCV-N 形継電器形式

収納要素	ユニット	収 納 状 態			定 格
		RCV- 1-N	RCV- 2-N	RCV- 3-N	
27T (タイマ)	M1 カード TR1 リレー	○	○	○	タップ 0, 5, 1, 2, 3, 4, 5 秒
27B (電圧リレー)	M2 カード TR2 リレー B1 ブロック	○	○	○	110V 60 c/s 動作値 70V 復帰値 25V
27L (電圧リレー)	M3 カード TR3 リレー B2 ブロック		○	○	63.5V 60 c/s 動作値 40V 動作時間 復帰値 15V 5 秒
25 (同期リレー)	M4 カード TR4 リレー B3 ブロック			○	63.5V 60 c/s $\pm 15^\circ$ 補助リレー 25X, 25Y, 27BX, 27LX; DC110V

表 3.3 AS-11 形定電圧電源装置形式

形名	DC 入力電圧変動範囲 (V)	出 力	外部抵抗
AS-11	110 ± 20	RCV-N 形継電器 2 台まで供給可能	B1 形 2 本

検出する、動作値が高く、復帰値の低い電圧継電器、母線電圧と線路電圧の同期状態を検出する同期継電器、停電を確認する短時間限時継電器をすべてトランジスタ化してコンパクトに収納した。また、これら各要素はユニットになっていて、再閉路方式により簡単に着脱できるようにしてあり、配電盤に取り付けたまま、中味

全体の引き出しもできる。

- (2) 形 式
- (3) AS-11 形定電圧電源装置

RCV-N 形継電器のトランジスタ回路の定電圧電源として、シリコンゼナーダイオードを用いた電源装置を別置とした。(表3.3)

- (4) 性 能 (表 3.4, 図3.2)

表 3.4 RCV-3-N 形継電器性能限界

とくに記入したもの以外は、60 c/s DC 110 V 20°C における値を示す。

1. 特性値

要素	項 目	特 性
27T	動 作 時 間	5~2 秒タップ タップ値の ±5% 1~0.5 秒タップ タップ値の ±0.1秒以内
	復 帰 時 間	200 ms 以内
27B	動 作 値	70V ±5%
	復 帰 値	25V ±5%
	動 作 時 間	入力 0→110 V 50 ms 以内
	復 帰 時 間	入力 110 V→0 60 ms 以内
27L	動 作 値	40V ±5%
	復 帰 値	15V ±5%
	動 作 時 間	入力 0→63.5 V 5 秒 ±5%
	復 帰 時 間	入力 63.5 V→0 200 ms 以内
25	復 帰 値	15° ±1°
	動 作 時 間	復帰値の 2° 外側→2° 内側 100 ms 以内
	復 帰 値	復帰値の 2° 内側→2° 外側 150 ms 以内
	動作値と復帰値の差	1° 以内

2. DC 電圧変動

要素	項 目	DC 110 ±20V おいて
27T	動 作 時 間	DC 110 V のときの ±5% 以内
27B	動 作 値	
	復 帰 値	
27L	動 作 値	
	復 帰 値	
	動 作 時 間	
25	復 帰 値	DC 110 V のときの ±1° 以内

3. 負荷変動

要素	項 目	電源装置に RCV-3-N 形リレーを 2 台接続したとき
27T	動 作 時 間	1 台のみ接続したときの ±5% 以内
27B	動 作 値	
	復 帰 値	
27L	動 作 値	
	復 帰 値	
	動 作 時 間	
25	復 帰 値	1 台のみ接続したときの ±1° 以内

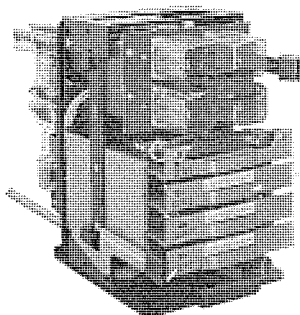


図 3.1 RCV-3-N 形継電器
Fig. 3.1 RCV-3-N reclosing condition detector.

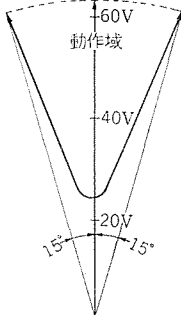


図 3.2 25 の位相特性
Fig. 3.2 Phase characteristic curve of 25.

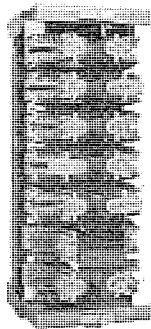


図 3.3 TAR-1-N 形継電器
Fig. 3.3 TAR-1-N Auxiliary relay.

3.3 TAR-1-N 形補助継電器 (図 3.3)

- (1) 概 要

電力用 テレフォンリレー 14 個を内蔵し、外部端子の接続変更だけで 13 種類のシーケンスに応じられるようにした。また、配電盤に取り付けたまま、中味の引き出しができるようにした。(表 3.5)

- (2) 形 式

4. 温度変動

要素	項 目	20°C ±20°C おいて
27T	動 作 時 間	20°C のときの ±10% 以内
27B	動 作 値	
	復 帰 値	
27L	動 作 値	
	復 帰 値	
	動 作 時 間	
25	復 帰 値	20°C のときの ±1° 以内

全要素とも -10°~35°C まで動作に支障はない。

5. 消費 VA

母 線 PT	110 V	2.3 VA 以下
	63.5 V	1.5 VA 以下
線 路 PT	63.5 V	2.0 VA 以下

6. 消費 ワット

DC 110V RCV-3-N 形リレー 2 台負荷にて 7.5 W 以下。

7. 温度上昇

27B, 27L, 25 動作状態にて DC 130 V 連続 3 時間印加時の温度上昇

RCV-3-N	ト ラ ン ス	10.9°C
	T R リ レ ー	18.0°C
	抵 抗	27.4°C
	ケ ー ス	10.1°C
AS-11	リ ア ク タ	2.1°C
	ゼ ナ ー ダ イ オ ー ド	54°C ※
	外 部 抵 抗	157°C

※ 無負荷時の値を示す。負荷時はかなり小さくなる

8. 接点容量

DC 110 V 0.5 A 開閉可能 (R/L=0.2)

9. 絶縁抵抗 (500 V メガー にて)

電気回路一括~ケース間 } 100 MΩ 以上
電気回路相互間 }

10. 絶縁耐圧

電気回路一括~ケース間 } 60 c/s 2000 V 1 分間印加して異常を認めない。
電気回路相互間 }

11. 重 量

RCV-1-N 形リレー	7.7 kg
RCV-2-N 形リレー	8.8 kg
RCV-3-N 形リレー	10.6 kg
AS-11 形電源装置	4.2 kg

表 3.5 TAR-1-N 形継電器収納 テレホンリレー

器具番号	形 名	動作速度 (ms)	復帰速度 (ms)	接点 構成	用 途	備 考
52X	110-4A	30	10	4a4b	遮断器補助接点増幅	
79PTX	"	"	"	"	準備完了記憶	
27X	"	"	"	"	全停止条件接点増幅	
30-2X	"	"	"	"	86 表示補助	
X	"	"	"	"	ブスプロ動作 2 回線同時遮断	
52Y	110-4C	100	100	"	52X 補助	
30-2Z	"	"	"	"	30-2X 補助	
52TY	110-4BL	30	150	"	トリップ指令接点増幅	
27Y	"	"	"	"	27X 補助	
30-1X	"	"	"	"	79 表示補助	
79S	21-D	30	10	7a1b	再閉路起動	
52CX	93-2	"	"	4a	投入指令	DC 100V 5A (誘導負荷) 閉閉可能
52TZ	"	"	"	"	トリップ指令	"
86X	"	"	"	"	ボンピング防止	"

表 3.6 TAR-1-N 形継電器性能限界

- 絶縁抵抗 (500 V メガーにて)
電気回路一括へケース間 100 MΩ 以上
- 絶縁耐圧
電気回路一括へケース間
60 c/s 2000 V 1 分間印加して異常を認めない。

定格 DC 110 V

(3) 性 能 (表 3.6)

3.4 SYT-MI-1 形および SR-MD 形 AC タイマ (図 3.4)

(1) 概 要

再閉路準備時間 (最大 3 分間) をカウントするタイマ、無電圧時間 (1 分間) および無電圧時間経過後の確認時間 (0~1 分間) をカウントする 2 接点付 タイマ の 2 種類を使用した。小形であるため、盤面スペース がきわめて小さく、また可動指針を持っているため、カウントの経過状態を目視することができる。AC 電源は、静止形 DC-AC インバータを用い、所内 DC 電源から得ているので、所内全停時にも動作可能である。

(2) 形 式 (表 3.7)

(3) 性 能 (表 3.8)

3.5 SI-73-2 形 DC-AC インバータ (図 3.5)

(1) 概 要

SCR を用いたインバータにより、所内 DC 電源を方形波に変換し、AC タイマ の駆動電源に用いている。入力電圧は最大 140 V まで印加してもさしつかえないようにしてあるが、各所にフュースを設け、内部の半導体を完全に保護している。

(2) 形 式 (表 3.9)

(3) 性 能 (表 3.10)

3.6 点検・試験

RCV-N 形継電器、TAR-1-N 形継電器は点検・試験などのために、中味引出形となっているが、引き出した中味を外部接続



図 3.4 SYT-MI-1 形および SR-MD 形 タイマ
Fig. 3.4 SYT-MI-1 and SR-MD AC timer.

表 3.7 AC タイマ 形式

器具番号	形 名	用 途	定 格	整 定	備 考
79PT	SYT-MI-1	準備時間用	モータ回路 AC 100 V 60 c/s クラッチ回路 DC 110 V	0~180 秒可変	1 接点式
79T 1,2	SR-MD	無電圧時間 確認時間	同 上	第 1 接点 60 秒固定 第 2 接点 0~60 秒可変	2 接点式

表 3.8 AC タイマ 性能限界

- 駆動電圧波形 方形波・正弦波いずれでも駆動可能
- 時 限 精 度 AC 100 ±10 V (正弦波)、DC 110 ±20 V 変動しても、最大目盛の ±2% 以内
- 最小動作電圧 AC 80 V (正弦波)、DC 90 V 以下
- 接 点 容 量
DC 110 V 0.15 A (力率 20%) 閉閉可能
DC 110 V 0.5 A 通電可能
- 消費 VA (モータ回路)
AC 100 V において
SYT-MI-1 形 4 VA 以下
SR-MD 形 3 VA 以下
- 消費ワット (クラッチ回路)
DC 110 V において
SYT-MI-1 形 } 5W 以下
SR-MD 形 }
- モータ回路の力率
AC 100 V において
(55 ±5) %
- 温 度 上 昇
SR-MD 形のクラッチ回路に DV 110 V 連続 4 時間印加時の温度上昇
抵 抗 50°C 以下
クラッチコイル 45°C 以下
- 絶縁抵抗 (500 V メガーにて)
電気回路一括へケース間 100 MΩ 以上
- 絶 縁 耐 力
電気回路一括へケース間
60 c/s 2000 V 1 分間印加して異常を認めない。



図 3.5 SI-73-2 形 DC-AC インバータ
Fig. 3.5 SI-73-2 DC-AC inverter.

表 3.9 SI-73-2 形 DC-AC インバータ 形式

形 名	DC 入力電圧 (V)	出力電圧 (V)	出力周波数 (c/s)	出力容量 (VA)
SI-73-2	110	110	60	50

表 3.10 SI-73-2 形 DC-AC インバータ 性能限界

- 出 力 電 圧
90~140 V、負荷 ∞~200 Ω (力率 60%)、温度 0~40°C の変動があっても、出力電圧変動は 85~110 V
- 出 力 周 波 数
入力電圧 90~140 V、負荷 ∞~200 Ω (力率 60%)、周囲温度 0~40°C の変動があっても、出力周波数変動は 60 c/s ±1.5 c/s
- 無 負 荷 損 失
DC 110 V において 30 W 以下
- 効 率
DC 110 V、負荷 200 Ω (力率 60%) において 60% 以上
- 最大連続印加電圧
DC 140 V
- 温 度 上 昇
DC 140 V、負荷 200 Ω (力率 60%) 連続通電時の温度上昇
出力トランス 50°C 以下
- 周 囲 温 度
-10°C~50°C まで動作に支障はない。
- 絶縁抵抗 (500 V メガーにて)
電気回路一括へケース間 100 MΩ 以上
- 絶 縁 耐 力
電気回路一括へケース間
60 c/s 2000 V 1 分間印加して異常を認めない。



図 3.6 AT-11 形点検装置
Fig. 3.6 AT-11 card checker.



図 3.7 AT-12 形試験端子台
Fig. 3.7 AT-12 test terminal board.



図 3.8 AT-13 形試験端子台
Fig. 3.8 AT-13 test terminal board.

するための端子台として、それぞれ AT-12 形、AT-13 形試験端子台を用意している。また RCV-N 形継電器のプリントカードのチェックを行なうため、AT-11 形点検装置を用意し、簡単に動作の確認ができるようにしてある。(図 3.6, 3.7, 3.8 参照)

4. む す び

この低速度再閉路装置は、上述したように、単なる再閉路装置と異なり、事故発生時の運転員の判断によって行なっていた操作

を自動的に正確かつ最適に行なおうとするものであり、一種の自動復旧装置と考えられる。

今後、電気所の自動化が急速に行なわれる模様であるが、従来の事故検出装置さらに事故発生以前の各種自動給電装置と、上述したような事故発生後の自動処理装置とを組み合わせれば、系統全体の自動化も可能である。こういう観点から、この装置は、電気所自動化の一端として、重要な意味を持っているとともに、今後、この分野の開発が望まれる。

ME-30 形 7 Gc 帯 全 固 体 化 多 重 無 線 装 置

丸 浜 徹 郎*・阿 部 修**・君 川 治***・花 房 正 昭***

Type ME-30 7 Gc Band All Solid State Radio Equipment

Kamakura Works

Tetsurō MARUHAMA

Communication Equipment Works

Osamu ABE・Osamu KIMIKAWA・Masaaki HANABUSA

All solid state radio equipment used in 7 Gc band has been brought to completion. In the past the Company made semi solid state type radio equipment for multi-channel communication in 7 Gc band and 12 Gc band. As for all solid state type, 400 Mc band radio equipment for local communication was produced. As a result of incorporated effort with manufacturing technique and the circuitly technique of semiconductor elements, all solid state radio equipment in SHF band has been accomplished by the Company. This new set is of a transmitting output of 100 mW, being capable of transmitting telephone of 450 channels in SS-FM system through the combination with receivers of which the noise figure is reduced to 7 dB with a provision of tunnel diode amplifiers.

Built in a mobile unit operating outdoor, it can be used with effect for propagation test, and repeater in the case of passive. reflectors or active repeater stations in trouble. A paraboloidal balloon antenna of 1.8 m in diameter is attached for use in the field.

1. ま え が き

半導体素子および回路技術の発達がめざましく、これを応用して、多重通信用無線機の固体化が盛んである。われわれはすでにマイクロ波帯真空管を除いた固体化については、7 Gc 帯⁽¹⁾、12 Gc 帯⁽²⁾を完成し、さらに受信局発系を固体化した ITV⁽³⁾、レーダリレー伝送用⁽⁴⁾ 7 Gc 帯無線機の実用化に成功してきた。一方、UHF 帯では、全固体化 400 Mc 多重無線機⁽⁵⁾を完成している。

筆者らは、これらの経験と新しい研究を結集して、今回 SHF 帯において全固体化多重無線機を完成したものである。

2. 特 長 と 用 途

2.1 特 長

本機はつぎのような特長を有している。

(1) マイクロ波回路を含めて完全固体化がなされているので、信頼度が高く、小形で低電力消費 (70 W Dc 以下) である。

(2) マイクロ波電子管を使用していないので、高電圧を必要とせず、したがって、無接点制御⁽⁶⁾が可能で回線瞬断時間が軽減されている。

(3) 送受信局発回路は、水晶制御発振器によるパラメトリック固体周波数テイ倍⁽⁷⁾を使用しているので周波数安定度がきわめて良好である。

(4) 超階段接合ダイオードによる IF 帯広帯域変調および upper side band up-converter の採用によって、ビデオ中継、ヘテロダイン中継の多用途に適応性を有する。

(5) 機器を超高周波部と変復調部 (本体) に分割し、可搬形構造とした。防水キャブ (筐) 体の実装された超高周波部は、可搬形気球空中線⁽⁸⁾に直結することにより、給電線損失を軽減している。

(6) トンネルダイオード増幅器を使用し、受信雑音指数を低減して送信出力を補っている。

2.2 用 途

本機は次のような各種用途に使用できる。

(1) 伝搬試験

可搬形で、直流 24 V で動作し、気球空中線と組み合わせて屋外使用ができる。とくに受信機は最大 480 CH の伝送容量を有するので、実回線に動作中の多重通信電波の電測が可能である。

(2) 中継局、端末局の代用

多重通信回線が非常災害となったとき、端末構成あるいは、Back-to-Back 方式に設置すれば中継回線も構成できる。とくに中継局の場合、ビデオ方式による中継、分岐、そう入、ヘテロダイン中継構成もでき、また、同一周波数、異周波数中継のいずれでも可能である。

(3) 反射板の代用

災害によって反射板が倒壊あるいは、傾斜したような場合に、Back-to-Back 方式に設置して、同一周波数の中継が可能である。

3. 無線装置の概要

3.1 無線機の構成および構造

無線機は可搬形キャブ体に分割し、本体と超高周波部とから構成される。

本体は、幅 520 mm、奥行 225 mm、高さ 470 mm、重さ 39 kg

超高周波部は幅 520 mm、奥行 225 mm、高さ 500 mm、重さ 56 kg

図 3.1 の総合系統図に示すように、本体には変復調部、中間周波部、電源部および制御部を実装し、超高周波部には、送受信導波管回路、送受信テイ倍部および空中線共用回路を実装している。本体と超高周波部の間は、40 m の複合ケーブルで接続し、送受中間周波信号、各種信号の受渡し、および本体から超高周波部への電源供給を行なっている。超高周波部はアンテナ背面に据え付けて、可とう (撓) 導波管で接続する。このため、屋外で使用できるよう防滴構造になっており、また直射日光によるキャブ体内部の温度上昇をさけるため、キャブ体内側に断熱材を用いると同時に、換気が十分に行なわれるように通風筒を設けて自然空冷を行なうようにしている。図 3.2 は本体実装図、図 3.3 は超高周波外観図、図 3.4 は無線装置一式である。

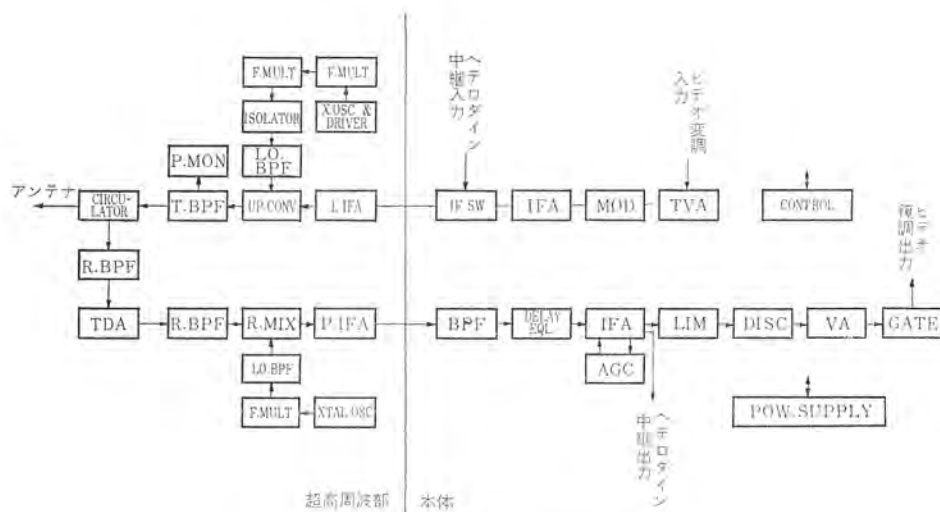


図 3.1 中継装置統合系統図

Fig. 3.1 Block diagram of radio relay equipment.



図 3.4 無線装置一式

Fig. 3.4 A set of radio equipment.



図 3.2 無線機本体実装
Fig. 3.2 Assembly of main equipment.



図 3.3 超高速部外観
Fig. 3.3 Appearance of SHF head.

3.2 無線機の主要定格

通信方式	SS-FM
電波形式	F9
送受信周波数	6.7~7.7Gc/s 帯の 160Mc/s はなれた 2 波
中継方式	ヘテロダイン 中継または ビデオ 中継または ヘテロダイン 同一周波数中継
伝送容量	標準 240 CH, 最大 480 CH
所要電源	DC-24 V $\pm$ 10 % 70 W 以下または AC 100/200 V, 120 VA 以下
送信出力	100 mW 以上
局発方式	水晶原振による プラクタイ 倍
周波数安定度	$\pm 2 \times 10^{-5}$ 以下, ヘテロダイン 中継の場合 $\pm 5 \times 10^{-5}$ 以下, ビデオ 中継の場合
伝送周波数範囲	48~2044 kc, ペースバンド 信号 0.3~3.4 kc, 打合わせ信号
標準周波数偏移	± 200 kc, rms/CH
変調入力 レベル	-25 dBm/CH, 75 Ω UB.
復調出力 レベル	-15 dBm/CH, 75 Ω UB
受信方式	スーパーヘテロダイン 方式
中間周波数	70 Mc
最小受信入力	-80 dBm.
AGC 特性	入力 -50~-75 dBm の変化にたいし出 力偏差 ± 1 dB 以下

トンネルダイオード 増幅器の特性

雑音指数	5 dB 以下
利 得	15 dB 以上

3.3 気球空中線の概要

3.3.1 構 造

この空中線は可搬形、組立式構造で、図 3.4 に外観図を示す。空中線は大別して、気球膜反射鏡、一次フック射器、支持ウク体および方向調整装置からなっている。気球膜反射鏡は外径 2.0 m でガラス布にアルミ糸を織り込んだ布にネオプレンゴムをコーティングして作っている。この反射鏡は標準内圧 100 mm 水柱の空気によって回転放物面状に保持され、内圧が 30~300 mm 水柱に変動しても、ほぼ所要の精度が保たれる。有効反射直径は 1.8 m である。この気球膜反射鏡は周辺部を 4 分割されたチャンネルリングによって保持され、このリングはパイプでできた 6 本の支持棒によって中心リングに固定される。このようにしてできた反射鏡ウク体は耐食アルミニウムパイプの 3 本の支持棒によってそれぞれ上下および左右方向調整装置に連結されている。一次フック射器は反射鏡の裏面からそう入される構造である。

3.3.2 おもな性能

有効開口径	1.8 m ϕ
周波数範囲	7,396~7,655 Mc
利 得	40.0 dB (7500 Mc)
電力半値幅	1.7°
VSWR	1.2 以下
偏 波 面	垂直または水平
組立時間	1 時間 $\times$ 4 人
耐風速性	最大瞬間風速 20m/s までは電氣的性能にまったく支障なく動作し、瞬間風速 40m/s 以内で破壊しない。
耐外気性	気温変動 ± 10 度で電氣的性能に支障をきたさない。
方向調整	上下方向調整装置を使ってつ(俯)仰角 $\pm 5^\circ$ 左右方向調整装置を使って方位角 $\pm 5^\circ$

4. 主要部の詳細

(1) 送信局発 ティ 倍励振部

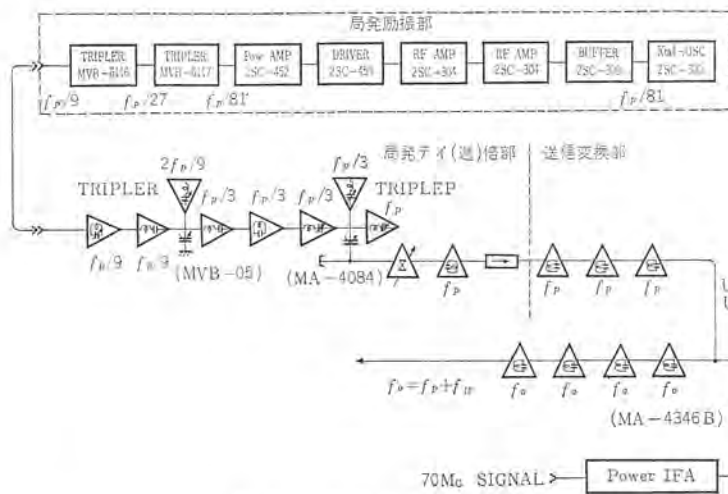


図 4.1 送信局発変換回路系統図

Fig. 4.1 Block diagram of local oscillator and up-converter of transmitter.

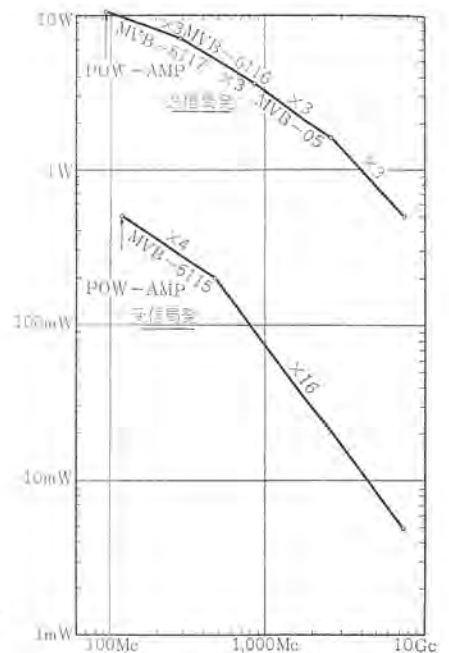


図 4.2 送受信局発 レベルダイヤ

Fig. 4.2 Level diagram of TLO multiplier.



図 4.3 送信局発 ティ倍器
Fig. 4.3 TLO multiplier.

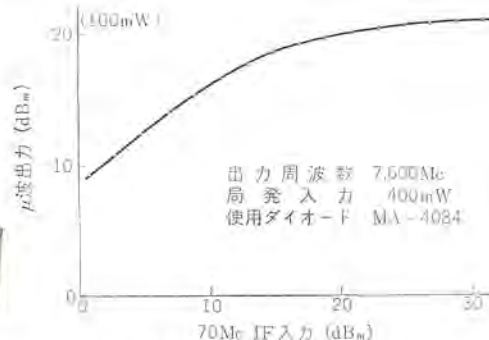


図 4.4 送信変換器の特性
Fig. 4.4 Characteristics of up-converter.



図 4.5 受信局発 ティ倍器
Fig. 4.5 RLO multiplier.

送信局発は約 90 Mc の水晶発振器を原振とする パラメトリック 81 ティ倍器でえている。その系統を図 4.1 に、レベルダイヤを図 4.2 に示す。原振信号は、シリコン 電力 トランジスタ で約 12 W まで増幅後、 $\times 3 \times 3$ で約 800 Mc に ティ 倍される。この ティ 倍はすべて集中定数で構成し、その出力は約 4.5 W (50 Ω , UB) である。さらに、同軸形 3 ティ 倍器、導波管形 3 ティ 倍器によって所要局発周波数信号 500 mW を得ている。これらに使用している トランジスタ および可変容量 ダイオード は最終段を除いて、すべて当社製品である。図 4.3 に送信局発 ティ 倍器を示す。

(2) 送信変換部

後置 IF 増幅器は LIM 2 段、AMP 4 段から構成し、出力約 20 V_{r-p} である。変換器は、可変容量 ダイオード を用いた Parametric upper-side up-converter で送信局発と中間周波信号とで送信周波数信号をうる。その変換損失は入出力 BPF および空中線共用部 サークュレータ 損失などを含めて 7 dB 以下である。図 4.4 は変換特性であるが局発入力 (pumping power) に対する特性は 500 mW 程度の入力では飽和しない。

(3) 受信局発励振 ティ倍部

水晶原振の約 60 Mc 信号を合計 128 ティ 倍して受信局発を得ている。レベルダイヤを図 4.2 に示す。すなわち 60 Mc 信号を トランジスタ で 2 ティ 倍増幅して 0.5 W としたのち、可変容量 ダイオード によって 24 ティ 倍する。ここで約 500 Mc, 0.2 W の出力がえられ、これを一挙に 16 ティ 倍し、約 5 mW の受信局発信号をえている。この場合、2, 4, 8 倍の アイドラ 回路を用いているので効率がよく、かつ損失約 16 dB は負荷と電源側との アインレータ の効

果もあって、きわめて安定である。図 4.5 に局発終段 ティ 倍器を示す。

(4) 送受導波管回路および空中線共用回路

共用回路は送受信帯域 ロハ 器および サークュレータ からなる。サーキュレータ の採用は各帯域 ロハ 器の減衰特性規格を軽減し、回路を簡単、小形にするのに効果的である。また送受導波管素子は温度、湿度条件がきびしいために普通の WRJ-7, BRJ-7 で構成したが、超高周波部の重量を軽減し、あわせて経済的にするために今後はくふうを要すると考えている。

(5) トンネルダイオード 増幅器

同軸形増幅器本体、5 port 同軸形 サークュレータ および トランジション 2 個から構成される。最適動作点における利得は標準 15 dB、雑音指数約 5 dB である。受信機と接続した総合の雑音指数は約 6.5 dB で、受信機の場合に比較して約 5 dB 改善される。

なお、この トンネルダイオード 増幅器は、本機の送信機 (出力 100 mW) が対向する相手局 (既設の端末局あるいは中継局) の受信機にも移設できるように ヒンジ 式 フランジ で装着されていて、乾電池電源とともにきわめて簡単に着脱ができ、取除いたあとには同一寸法の単向管を実装するようにくふうされている。周波数特性および入出力特性を図 4.6, 4.7 に示す。

(6) 受信変換器および中間周波増幅器

受信変換器には 1 N 23 F を使用した。また、Pre-AMP には低雑音 シリコン・トランジスタ 2 N 918 を使用し、変換器入力における雑音指数は約 10 dB である。Main AMP は シリコン・エピタキシャル・プレーナ・トランジスタ を用いた変成器形広帯域増幅器、位相平坦

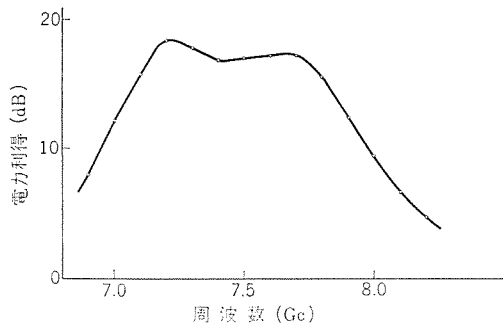


図 4.6 トンネルダイオード増幅器周波数特性
Fig. 4.6 Frequency response of tunnel diode amplifier.

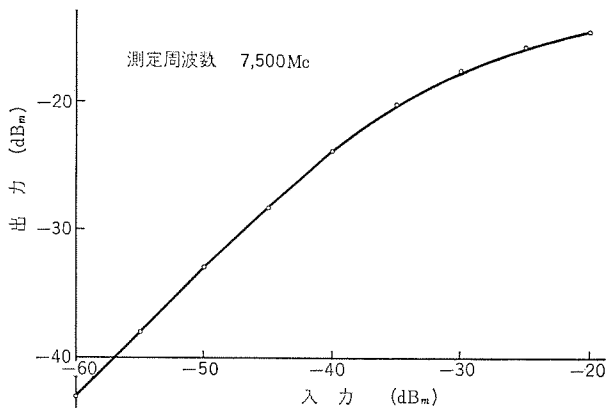


図 4.7 トンネルダイオード増幅器入出力特性
Fig. 4.7 Linearity of TDO.

形ロハ器、位相補償回路からなる。増幅器の広帯域化にはエミッタ帰還による補償を行なっている。

(7) 変復調部

変調器は 70 Mc のハートレ形、トランジスタ発振器の出力共振回路の同調容量に可変容量ダイオードを使用し、変調信号によりダイオードの接合容量を変化させて FM 信号を得ている。ダイオードは接合容量が印加電圧の逆 2 乗に比例する超階段接合ダイオードを使用し、また 2 本のダイオードを並列接続して広帯域化を計っている。変調器の直線性および変調感度は、クライストロンによる変調特性よりもすぐれている。また、変調感度として 5 Mc/V が得られるので、ビデオ増幅器の利得、出力とも少なく済み、この点からも固体化により回路が簡略化されている。なお、温度特性がすぐれているので AFC は不要である。

復調部は、2 段のダイオードリミッタ、複同調形ディスクエリミネータおよびビデオ増幅器から構成される。復調直線性をよくするため、同調回路の Q を低くし、これによる復調感度の低下は前段のドライバ出力を大きくして防いだ。さらに、ビデオ増幅器初段の雑音指数を小さくして、復調部の雑音の増加を防いだ。ビデオ増幅器出力段はシリコン電力トランジスタを使用したプッシュプル回路により 2 次ユガミの軽減を計った。

(8) IF スイッチ および ビデオスイッチ

受信部中間周波出力信号と変調器出力とを IF スイッチにより切り換えを行ない、後置中間周波増幅器へ信号を伝送する。スイッチの動作はビデオ中継あるいはヘテロダイン中継の指定信号によって切り換え動作をするほか、ヘテロダイン中継器に受信障害が起こった場合瞬時に変調器側に接続する。IF スイッチは接合容量の小さな computer diode を使用しそう入損 0.5 dB 以下、アイソレーション 80 dB 以上である。

ビデオスイッチはベースバンド帯域外の雑音を検知してスケルチ動作を行なう。とくにヒズミの点に留意し、ダイオードを平衡形に接続している。入出力インピーダンスは 75 ΩUB である。

(9) 電源回路

全固体化により装置の消費電力はきわめて少なくなり、電源回路を含めて DC-24 V、70 W 以下である。装置は DC-24 V の一次供給電圧で動作し、トランジスタ AVR により安定な -12 V、-20 V を得、さらに、この -20 V から DC-DC コンバータにより昇圧して、-28 V および -48 V を得る。コンバータの発振周波数を 3 kc とし、電源効率を少しぎせいに装置の小形化を計った。

なお AC で運用する場合には付属の整流電源部を使用し、この場合の消費電力は 120 VA 以下である。

5. 総合機能

5.1 総合特性

図 5.1~5.5 に送受総合微分特性、ビデオ周波数特性、振幅特性、遅延時間特性、雑音負荷特性を示す。

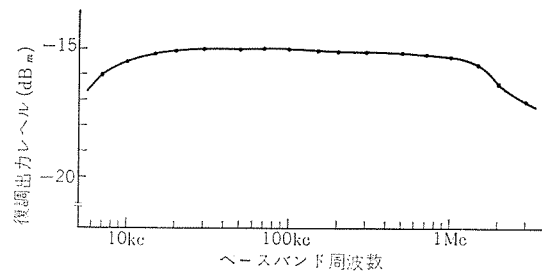


図 5.1 変復総合ベースバンド特性
Fig. 5.1 Over-all frequency response.

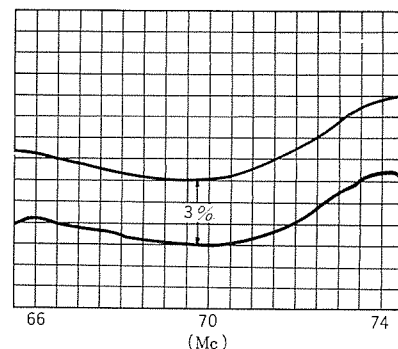


図 5.2 変復総合微分特性
Fig. 5.2 Over-all D-G characteristics.

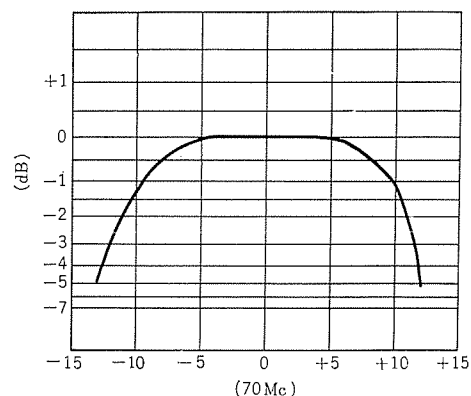


図 5.3 受信振幅特性
Fig. 5.3 Frequency response of receiver.

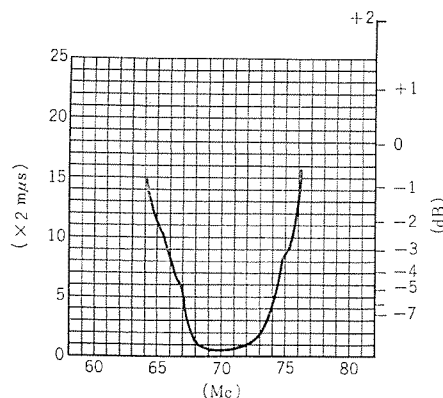


図 5.4 送受総合遅延特性
Fig. 5.4 Over-all delay time.

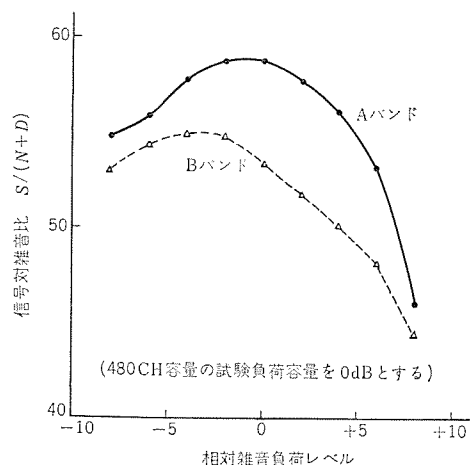


図 5.5 総合雑音負荷特性
Fig. 5.5 Noise loading characteristics.

表 5.1 回線設計表 (1)

自由空間損失	144 dB
分波器損失	2 dB
導波管損失	≈ 0 dB
空中線利得	80 dB
全区間損失	66 dB
送信出力	+ 20 dBm
全区間損失	66 dB
受信入力	- 46 dBm
受信入力	- 46 dBm
スレッシュホールドレベル	- 85 dBm (TDA つき)
ドロップアウトマージン	39 dB

表 5.2 回線設計表 (2)

	本機中継	反射板中継
自由空間損失	142 dB	272 dB
分波器損失	2.5 dB	3 dB
導波管損失	3 dB	6 dB
アンテナ利得	84 dB	88 dB
反射板利得	—	100 dB
全区間損失	63.5	93.0 dB
送信出力	+ 20 dBm	+ 33 dBm
全区間損失	63.5 dB	93 dB
受信入力	- 43.5 dBm	- 60 dBm

5.2 通信可能距離

周波数 7.5 Gc (波長 4 cm), 距離 50 km として計算すれば,
表 5.1 のとおりで, ドロップアウトマージン 39 dB が得られ, トンネルダイ

ME-30 形 7 Gc 帯全固体化多重無線装置・丸浜・阿部・君川・花房

オード増幅器がない場合にも, ドロップアウトマージン 34 dB である。

5.3 反射板の代用構成

送信出力 2 W, アンテナ利得 44 dB (分波器損失合計 3 dB と仮定)の両局間に一方から 40 km, 他方から 10 km の位置に利得 100 dB の反射板があり, これが災害によって傾斜したため, この代用として, 本機を用いたときを検討する。

この場合, 本機と 40 km 離れた局への受信入力を計算すれば, 他方はこれよりも約 12 dB よいことが明らかである。40km 区間の既設局受信入力を表 5.2 に示す。反射板構成の場合の受信入力と比較して約 16 dB 増加し, 臨時構成における回線性能の保持に十分な性能を有する。なお, 本機で中継した場合にはフェージングによる受信入力変動はいずれか 1 区間のみですむから回線性能は実質的にさらに向上する。

6. む す び

以上, 最近完成した 7 Gc 帯全固体化無線装置の概要を報告した。

本機は主として伝搬試験, 非常災害用可搬形の用途を対象として製作したので, 構造, 構成上, かなりのくふうを要したが, それだけになお改良すべき点もある。その第 1 は回路構成の簡易化, とくに導波管回路の改良による小形軽量化であり, 第 2 は本体と超高周波部を接続する複合ケーブル, とくに中間周波信号を受け渡す同軸ケーブルと入出力回路の整合の簡易化とエコーヒズミの軽減, 第 3 には振動, 温度, 湿度などのきびしい環境条件に対するより高い安定性である。

しかし固定装置として構成する場合の技術に関しては十分な解明と実績が得られたので今後さらに小容量伝送用直接変調 10 倍方式無線装置, 広帯域伝送用変換方式無線装置の研究に資するところが大きいと考えている。

終わりにこの装置の開発にあたってご指導を賜った日本国有鉄道技術研究所富田氏, 藤田氏ほかの各位に厚く感謝の意を表するしだいである。

参 考 文 献

- (1) 尾形, 天野ほか: ME-9 形 7 Gc 帯 TV 化多重, 「三菱電機技報」38, No. 5 (昭 39)
- (2) 尾形, 沼田ほか: 12 Gc 帯簡易多重, 「三菱電機技報」36, No. 5 (昭 35)
- (3) 尾形, 嶋田ほか: 7 Gc 帯 テレビ 多重, 「三菱電機技報」38, No. 12 (昭 39)
- (4) 阿部, 尾形ほか: 富士山気象レーダリレー装置, 「三菱電機技報」39, No. 4 (昭 40)
- (5) 沼田, 笹田ほか: 400 Mc 帯全固体化多重無線装置, 「三菱電機技報」38, No. 10 (昭 39)
- (6) 沼田, 笹田ほか: 無線機制御機能の半導体化, 電連大, 1517 (昭 39)
- (7) 丸浜, 笹田ほか: 可変容量ダイオードによる周波数 10 倍, 電連大, 1770 (昭 40)
- (8) 東野, 三宅ほか: 気球空中線, 「三菱電機技報」37, No. 6 (昭 38)
- (9) 丸浜, 君川ほか: 全固体化 7 Gc 帯多重無線装置, 通全大, 11 (昭 40)

全トランジスタ式 400 Mc FM 4W 移動用無線電話装置

黒田 忠光*・荻野 完*・桂川 弘*

All Transistorized 400Mc FM 4W Mobile Radio Telephone Equipment

Communication Equipment Works Tadimitsu KURODA・Tamotsu OGINO・Hiroshi KATSURAGAWA

All transistorized All-in-One mobile radio telephone equipment has been realized with the use of newly developed silicon transistors and varicaps for VHF and UHF power stages, as well as new circuit techniques, which were considered difficult in the past. With due considerations on such problems (peculiar to mobile radio) as electric power drain, power source voltage, ground polarity of batteries, vibration, ambient temperature and mounting, this is so designed as to enable ① balance between small size and cost, ② mounting on a dashboard by integrating the device, ③ easy maintenance through the full or partial block replacement, ④ reduction of multiplication by means of wide angle phase modulation, and ⑤ improvement of spurious response with single super-heterodyne system; these features and also characteristics of each section are described with measurement results.

1. ま え が き

移動無線は移動しているものとの通信という特質、さらに経営の合理化に寄与することによりその需要は増加の一途をたどり、それに使用する無線機はトランジスタの性能の向上などから小形、軽量、低電力化が叫ばれるようになった。当社ではこれらの要望にこたえるべく従来困難とされていた超高周波電力用シリコントランジスタおよびパリアキアの研究開発をおし進め、これと並行して機器の機構、回路設計に新技術を導入し、待望の一体構造（送信・受信・電源・制御・スピーカ、必要に応じて選択呼出装置が一体化）の全トランジスタ式 FM-17D 形 400Mc/FM 4W 無線電話装置の量産発売を開始したのでその概要を紹介する。

2. 400Mc 帯陸上移動無線の動向

昭和 34 年 10 月郵政省から 400 Mc 帯周波数の使用方針が打ち

出されて以来、364.5~365.6 Mc が地方公共団体そのほか、372.5~373.6 Mc が電力関係、そのほか 414.5~415.5 Mc がサービス関係に割り当てられ、その後国鉄東海道列車無線用、新幹線列車無線用と 400 Mc 帯の電波利用は急速に増大してきた。昭和 39 年 5 月にはタクシー用として 450 Mc 付近の周波数が全国 27 地域に分割した地域ごとに明示され、いわゆるタクシー無線として 60 Mc、150 Mc に代り、実車率の向上、固定した顧客の確保など企業の安定化、合理化に大幅に使用されるようになってきつつある。今後日本の経済、産業の成長発展につれてこの移動無線の使用目的はさらに各方面に拡大され、需要は増加の一途をたどるものと考えられる。過去 10 年間の移動無線の増加状況を図 2.1⁽¹⁾に、昭和 30 年度から 40 年までの移動局（車両）の生産実績および予測を図 2.2⁽²⁾に、将来 10 年間の陸上移動局の増加予想を表 2.1⁽³⁾に示す。

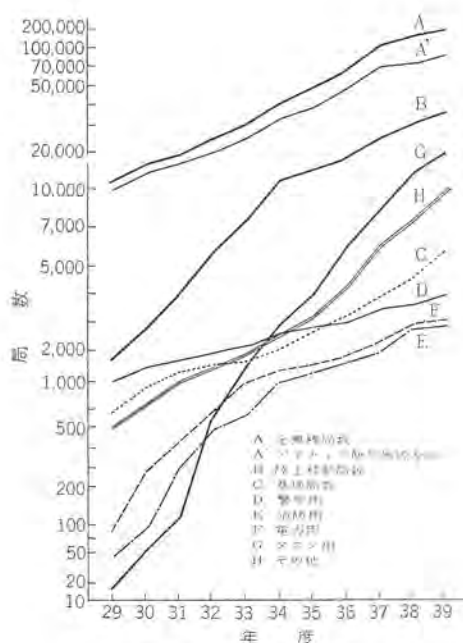


図 2.1 移動無線増加状況

Fig. 2.1 Graphical explanation of increase in mobile radio telephone equipment.

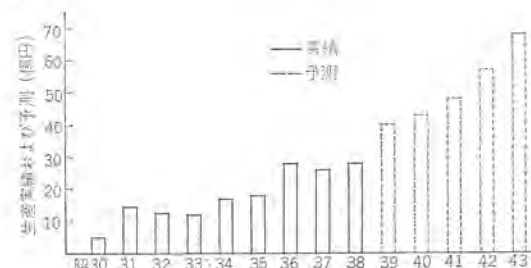


図 2.2 移動局（車両）の生産実績および予測
Fig. 2.2 Actual result and estimate of mobile radio products.

表 2.1 陸上移動に関する日本およびアメリカの資料

	ア メ リ カ		日 本	
	1950 年	1962 年	1963 年	1973 年
人 口 (万)	15,500	18,660	9,700	10,500
面 積 (万km ²)	936	同 左	37	同 左
車 両 ⁽¹⁾ (万)	5,000	7,960	490	2,000~3,000
陸上移動局(ML) ⁽²⁾ (万)	14.5	155	3	40~70
公共安全業務用 (%)	41	25	33	25~30
陸上運輸業務用 (%)	36	23	48	25~30
一般産業用 (%)	23	52	19	40~50
1 ML あたり人口	1,070	120	3,230	150~250
1 ML あたり車両	345	51	163	40~60
1 km ² あたり ML	0.015	0.17	0.08	1~2

(注) (1) 車両数は 4 輪以上の自動車（軽自動車を含む）であり軍用を含まない。
(2) 移動局は車載、携帯すべてを含み、送信機数である。

3. 移動無線機の実環境条件

陸上移動無線機は固定用と異なり、車に積むため、車の条件をよくつかんでおく必要がある。

3.1 電源の問題

電源の問題には電力消費と電源電圧および接地極性がある。

(1) 電力消費

一般に中形車の蓄電池の容量は 40 AH か 50 AH であり、しかも公称電池電圧は 12 V であるので、無線機の消費電力としては 100 W 前後とし、自動車の電源を共用することが望ましい。

(2) 電源電圧

自動車の電池電圧は、自動電圧調整器により押えられているが、最近 AC ダイオードの普及により電圧は高く、実測によると表 3.1 に示すような電圧変動であり、乗用車をおもに考えると、基準電圧として 13.8 V 位を考えたほうが妥当である。EIA⁽⁴⁾ では 13.8 V $\pm$ 10% を公称 12 V の基準電圧としている。

(3) 電池の接地極性

現在市販の自動車は、メーカーにより電池端子の接地極性がまちまちで統一されてなく、⊕接地と⊖接地の比は約 1:1 で、あらゆる種類の自動車に取り付け可能とするためには、無線機側でこれ

表 3.1 電池電圧変動 (V)

昼間走行時	14.0 ~ 15.0
夜間	13.4 ~ 14.1
停止時	12.3 ~ 13.0

表 3.2 各種車両の振動比較

注) 加速度は全振幅とする

車 両	条 件	上下方向		左右方向		前後方向		備 考	試験最高速度 (km/h)
		路面または軌道	荷重	加速度 (g)	振動数 (c/s)	加速度 (g)	振動数 (c/s)		
電 車	郊外電車最新形	良	積	0.5	1.5~30	0.4	0.6~20	0.05	4~10
トラック	4 ton 積	悪	積	0.15	2~30	0.1	0.8~20	0.1	4~10
		良	空	2.8	2~50	1.5	8~50	0.7	8~50
		良	積	2.0		1.3		0.5	
		悪	空	2.4		1.4		0.6	
		悪	積	1.8		1.2		0.5	
バス	普 通	良	積	1.0	0.8~50	0.2	5~50	0.2	5~50
		悪	積	2.0	8.0~50	0.9	5~50	0.6	5~50
小形自動車	4輪車 1ton 積	良	25%積	0.8	2~20	0.5	2~20	0.3	2~20
		悪	25%積	1.6	2~20	0.8	2~20	0.8	2~20

表 3.3 振動に対する各種規格

	全振幅 (mm)	振 動 数 (rpm)	周波数 (c/s)	加速度 (g)	時 間
形式検定規則	3	0 ~ 500	0 ~ 8.3	0.4	30分間ずつ3方向
	1	500 ~ 1,800	8.3 ~ 30	1.8	
電力統一仕様	3	120 ~ 600	2 ~ 10	0.6	1時間間ずつ3方向
	2	600 ~ 2,000	10 ~ 33.3	4.4	
EIA Standard	0.03" (0.75 mm)	600 ~ 1,800	10 ~ 30	1.36	5分間3周30分3方向
	0.015" (0.38 mm)	1,800 ~ 3,400	30 ~ 60	2.76	

表 3.4 自動車各部の温度上昇

各 部	車 種	温 度 上 昇 (°C)	
		セダン形	ジープ形
ダッシュボード	窓 閉	15 ~ 17	16 ~ 18
	窓 開	6 ~ 8	9 ~ 11
ト ラ ン ク 部		18	—
座 席 後 部		—	20 ~ 25

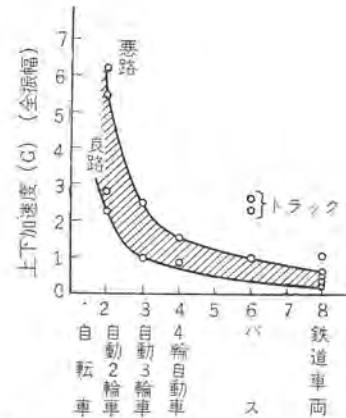


図 3.1 車両車輪数と上下振動加速度

Fig. 3.1. Car wheel number vs vertical vibration acceleration.

を解決しなければならず、接地極性に無関係にしておくことが望ましい。

3.2 振 動

自動車の振動は普通 1 g 前後であるが、無線機に要求される基準にはかなりきつく、また タクシ など運転時の状況を考えてとくに ネジレ など考慮しておく必要があり、これらを満足するように設計しなければならない。表 3.2、図 3.1 に振動衝撃専門委員会の各種車両の振動比較表ならびに車両車輪数と上下振動加速度に関するデータ⁽⁵⁾を、また表 3.3 には郵政省形式検定規則、電力統一仕様および EIA 基準⁽⁴⁾を示す。

3.3 周囲温度

自動車内の温度は、自動車の走行、停止、窓の開閉などによって異なるが、警察庁通信課のデータによれば温度上昇は表 3.4 のようになり、窓をあければ気温 +35°C としても周囲温度が +50°C になることはほとんどないと考えてよい。しかし使用しないときに周囲温度 +50°C を越すことがあり、これを越えても +50°C にもどったとき機能復帰を保証しなければならない、また冬季カーヒータを入れる車が多いため、熱風をまともに受けないよう考慮する必要がある。

3.4 取り付け

無線機を取り付ける場合、振動、温度条件がもっともよく、しかも取り扱いが便利な場所はダッシュボードであるが、車種も多く、車のアクセサリすなわち カーウラ、カーヒータなどを取り付けるものが増加している現在、これらを勘案し、さらに保守、操作、音響学的、美的な面からも満足する取り付けができる構造、寸法の無線機にしなければならない。

4. 機器の概要

4.1 設計の方針

前章において移動無線機の実環境条件について述べたが、これらの諸条件を満たすため、つぎの基本方針に基づいて設計を行なった。

(1) 小形化と価格のバランス

この無線機はあらゆる種類の自動車に取り付けることを考え、小形軽量化をはかるが、小形化と価格の点では価格低減に重点を置いた。

(2) 取付場所と寸法

無線機の寿命を縮める原因として、温度・湿度・振動・ホコリ

の四つが考えられる。無線機障害の発生状況を長期間にわたって統計的に調査すると、同一無線機でも基地局として使用する場合と、自動車に積んで使用する場合とでは障害発生数が約7.5倍も異なる。自動車内でもっとも環境条件のよい、すなわち信頼度が高くなる場所で、取り扱いやすいという見地から無線機は運転席前面のダッシュボードつり下げ形とした。しかもひざが無線機に当たらないという条件から、無線機の高さ(厚さ)は80mm以下になるようにした。

(3) 装置の一体化

従来の無線機は無線機本体・制御器・スピーカ・選択呼出し装置などの部分にわかれ、この間をケーブルで接続するのが普通であった。しかしこれらケーブルまたは接続部に起因する障害が意外に多く、またケーブルが足に引っかけたり、保守点検の際にも不便があった。したがって信頼度の向上、保守の便からも、これら各部を一つの箱内に収めたいいわゆる All-in-One 形が上記信頼度の向上、保守に便利というだけでなく、そのまま価格の低減に役だつものである。

(4) 保守の構造

送受信部と電源・制御部をそれぞれ一体化し、これを背面積層化し、各部の保守点検が上下両面から容易に行なえるようにした。

(5) 装置の保守単位

移動無線の特長の一つである緊急機動性という性質から、装置の保守はじん速さが要求され、実効率を上げるためには MTTR (Mean Time To Repair) を小さくする必要があり、具体的な保守に関しては使用者側からの要求、立場を想定して、つぎの4段階を考えた。

a. 本体ごとの交換……第1次交換

パチン錠2個と接セン類をはずすだけで本体を引き出し、予備セットと交換する。この操作には工具をいっさい使用しない。

b. 調整点検

引き出した無線機の上面下面には調整点検用の端子が出ており、簡単な FM テスターで故障個所の発見、再調整ができる。

c. 送受信部または電源部の交換……第2次交換

数本のネジをゆるめるだけで、送受信部と電源・制御部に2分でき、この単位で予備と交換する。

d. 細分化ユニットまたは部品の交換……第3次交換

送受信部はそれぞれ、前段、後段の2部の合計4部分からなり、これらを構成するブロックを交換するか、またはこれらに使用している部品の交換を行なう。

(6) 発熱部とその構成

発熱する部分は電源部と送信後段部のみであるところから、これらをそれぞれ上下最後部に配置し、放熱片によってトランジスタ、バリキャップなどからの発熱を逃がすと同時に、ほかの部分に熱が伝わらないように考慮した。

(7) 高能率、高利得の三菱製シリコン・プレーナ形トランジスタおよびバリキャップを用いて、無線機の全トランジスタ化、小形化、低電力消費をはかった。

(8) 回路の単純化から送信変調器には広角度高直線変調回路を採用し、テリ倍数の低減をはかって、スプリアス放射に対して有利にした。

(9) 同様に回路の単純化、スプリアスレスポンス向上から、シングルスーパーヘテロダイン方式とした。

(10) 電源部のトランジスタ DC-DC コンバータのスイッチング周波数

を高くして小形化をはかった。

(11) 電池の接地極性に対して無関係にするとともに、電源誤接続破損防止回路を付加した。

(12) 選択呼出し装置を接センによって取り付け内蔵可能とした。

4.2 構造と構成

前節の設計方針に基づき、非常に小形でしかも一体構造にまとめあげたのが図4.1で、小形、軽量であるため各種乗用車、ジープなどのダッシュボードに容易に取り付けることができる。図4.2および図4.3に無線機の実装例を示す。図からもわかるように無線機と助手席にいる人との間にはかなりの余裕があり、無線機を積むことによって居住性の悪化はない。

従来のセミトランジスタ式無線機との比較を表4.1に示す。これからもわかるように電池の負担はかなり軽くなっている。

送受信部の内部構造を示したのが図4.4であり、一面構造になっており保守に便利である。



図 4.1 FM-17D 形無線電話装置外観図
Fig. 4.1 Exterior view of FM-17D radio telephone equipment.



図 4.2 乗 用 車 実 装 例
Fig. 4.2 Example of unit equipped on a car.



図 4.3 乗 用 車 実 装 例
Fig. 4.3 Example of unit equipped on a car.

表 4.1 新旧無線機比較

	FM-17D	FM-11D	FM-17D/FM-11D
体 積	80×255×225	140×350×300	約 1/3
重 量	5.5kg	16kg	約 1/3
電 力 消 費	送信時 55W	送信時 72W	送信時比 1/1.3
	受信時 11W	受信時 24W	受信時比 1/2.2

注) FM-11D はセミトランジスタ式

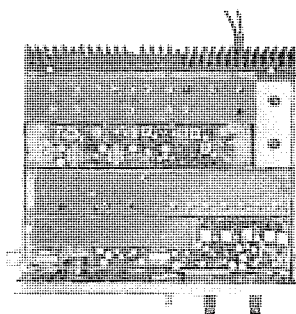


図 4.4 送受信部の構成
Fig. 4.4 Composition of transmitting and receiving section

表 4.2 電力統一仕様、形式検定規則および当社の標準仕様

項 目	電力統一仕様	形式検定規則	三菱標準仕様
(1)周 波 数	372.5~373.6 Mc		340~470 Mc
(2)通話方式	プレストーク方式		プレストーク方式
(3)電力消費			DC 13.8 V で 送信時 4 A 受信時 0.8 A
(4)使用定格	送信 1 分, 受信 3 分の線返しで使用		送信 1 分, 受信 3 分の線返しで使用
(5)周囲条件	1 周囲温度 -10°C~+50°C 2 相対湿度 +35°C で 95%	1 使用する環境 2 (周囲温度 -10°C ~+50°C) 2 相対湿度 +35°C で 95%	1 周囲温度 -10°C~+50°C 2 相対湿度 +35°C で 95%
送信部			
(1)空中線電力	4 W +20% -40%	公称値 +20% -50%	4 W +20% -40%
(2)出力インピーダンス	50 Ω 不平衡		50 Ω 不平衡
(3)変調方式			可変リアクタンス位相変調
(4)最大周波数偏移	±12 kc	±12 kc	±12 kc
(5)周波数許容偏差	±0.001%	±0.002%	±0.001%
	温度範囲 -10°C~+50°C 電圧変動 ±10%		
(6)テ ィ 倍 数			18 (3×2×3)
(7)変調周波数特性	1 kc を基準として 0.3kc -10.5±3dB 3kc +6.0±3dB		1 kc を基準として 0.3kc -10.5±3dB 3kc +6.0±3dB
(8)占有周波数帯幅	30 kc 以内	30 kc 以内	30 kc 以内
(9)スプリアス放射強度	1 mW 以下であり, かつ -60 dB 以下	1 mW 以下であり, かつ -60 dB 以下	1 mW 以下であり, かつ -60 dB 以下
(10)ヒ ズ ミ	1 kc70%変調にて 20 dB 以下	1 kc70%変調にて 20 dB 以下	1 kc70%変調にて 20 dB 以下
(11)標準変調入力	1 kc70%変調入力 -4±3 dB (mW)		1 kc70%変調入力 -4±3 dB (mW)
(12)変調入力インピーダンス	600 Ω および 40 Ω (標準)		40 Ω
(13) S/N	1 kc 100%変調 45 dB 以上		1 kc 100%変調 45 dB 以上
(14)残存AM変調	1 kc 100%変調 5%以下		1 kc 100%変調 5%以下
受信部			
(1)受 信 方 式	水晶制御スーパーヘテロダイナ方式		水晶制御シングルスーパーヘテロダイナ方式
(2)中間周波数			10.7 Mc
(3)入力インピーダンス	50 Ω 不平衡		50 Ω 不平衡
(4)周波数許容偏差	±0.001%	±0.002%	±0.001%
(5)感 度	20 dBQS +6dB (μV) 以下 温度範囲 -10°C~+50°C 電圧変動 ±10%	20 dBQS +6dB (μV) 以下 温度範囲 -10°C~+50°C 電圧変動 ±10%	20 dBQS +6dB (μV) 以下 温度範囲 -10°C~+50°C 電圧変動 ±10%
(6) S/N	1 kc 70%変調 15 dB (μV) 入力 35 dB 以上 30 dB (μV) 入力 40 dB 以上		1 kc 70%変調 15 dB (μV) 入力 35 dB 以上 30 dB (μV) 入力 40 dB 以上
(7)通過帯域幅	6 dB で 20kc 以上	6 dB で 20kc 以上	6 dB で 20kc 以上
(8)選 択 度	70 dB 減衰 60kc 以内	70 dB 減衰 60kc 以内	70 dB 減衰 50kc 以内
(9)スプリアス感度	-70dB 以下	-70dB 以下	-70dB 以下
(10)感度抑圧効果	±50 kc で 80 dB (μV) 以上	±50 kc で 80 dB (μV) 以上	±50 kc で 80 dB (μV) 以上
(11)相互変調感度	同方向 50 kc, 100 kc で 65 dB(μV) 以上	同方向 50 kc, 100 kc で 65 dB(μV) 以上	同方向 50 kc, 100 kc で 65 dB(μV) 以上
(12)低周波出力	0.5 W 以上		0.3 W 以上
(13)ヒ ズ ミ	-20 dB 以下	-20 dB 以下	-20 dB 以下
(14)周波数特性	1 kc を基準として 0.3kc +6.0 ±3dB 3kc -8.0 ±3dB		1 kc を基準として 0.3kc +6.0 ±3dB 3kc -8.0 ±3dB
(15)スケッチ特性	10dBQS から 20dBQS まで調整可能		10dBQS から 20dBQS まで調整可能
寸法, 重量	180(H)×280(L) ×(350(W))mm		80(H)×225(L) ×255(W)mm
(1)寸 法			
(2)重 量			約 5.5 kg

また 400 Mc 帯無線機の郵政省形式検定規則, 電力統一仕様および当社標準仕様を表 4.2 に示す。

4.3 送信部

(1) 広角度位相変調器

従来 400 Mc 帯無線機においては, 変調器の変調度が深くとれず, 36 ティ 倍が普通であった。そのため近傍のスプリアス特性が問題となり, ティ 倍数の低減が望まれていたが, そのほか機器の小形化, 回路の単純化, 標準化から広角度位相変調器を採用し, 150 Mc, 60 Mc 帯無線機とも極力共通化を計っている。

この変調器は同調回路の容量をバリキャップ (可変容量ダイオード) に置き換えて, これを変調信号で変化させることによって, 通過搬送波の位相偏移量を変化させる方式で図 4.5 に変調回路を示す。この回路の定数は回路の遅延特性が平坦になるように選んであり, この変調器の位相偏移対 ヒズミ 特性を従来のバリキャップ変調器 (バリキャップ 1 個) と比較図示したものが図 4.6 で, 温度に対してもきわめて安定である。

(2) 高周波大電力シリコン・トランジスタ および バリキャップ

送信後段部には当社製シリコン・トランジスタおよびバリキャップを用いており, これらトランジスタは NPN 3 重拡散プレーナ形シリコン・トランジスタで, 各電極間耐電圧, コレクタ損失, 利得が高く, VHF 帯電力増幅用に適しており, いずれのトランジスタもコレクタがケー

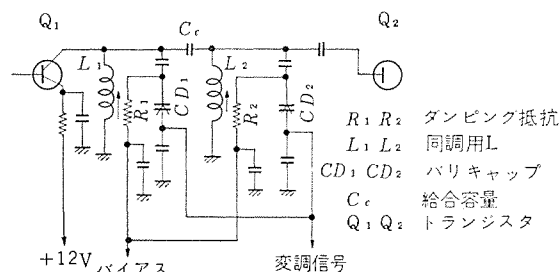


図 4.5 変調回路
Fig. 4.5 Modulation circuits

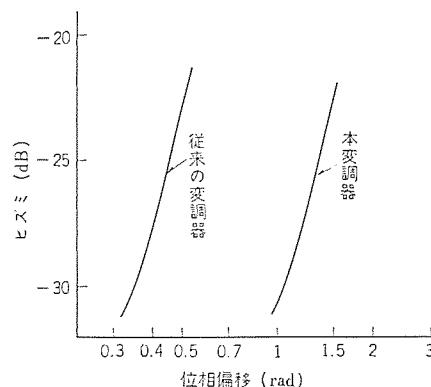


図 4.6 変調器のヒズミ特性

Fig. 4.6 Modulator distortion characteristics.

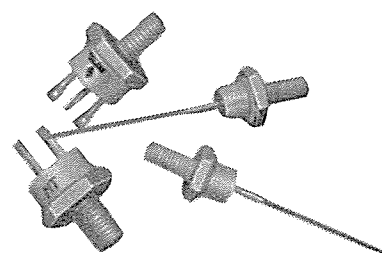


図 4.7 シリコントランジスタとバリキャップ
Fig. 4.7 Silicon transistor and varicap.

表 4.3 トランジスタおよびバリキャップ特性

記号 トランジスタ 条件	最大定格					電 気 的 特 性					記号 バリキャップ 条件	電 気 的 特 性		
	V_{CE0} (V)	V_{CE0} (V)	V_{CE0} (V)	I_C (A)	P_C (W)	I_{CBO} (μ A)	h_{FE}	h_{je}	C_{ob} (PF)	G_P (dB)		CJ (PF)	Q	V_{max} (V)
						$V_{CE}=28V$	$V_{CE}=28V$	$V_{CE}=28V$ $I_C=100mA$ $f=70Mc$	$V_{CE}=28V$ $I_C=0$ $f=1Mc$	$V_{CE}=28V$		-4 V 50Mc	-4 V 50Mc	$I_B=10\mu A$
MTF205	60	40	4	0.5	2.5	<10	$I_C=100mA$ TYP 25	TYP 2.7	<15	$I_C=100mA$ $f=70Mc$ >9	MVB 6114	47	>50	>100
MTD305	75	V_{CE0} 60	4	1.2	20	<10	$I_C=350$ TYP 25	TYP 2.1	<40	$I_C=350mA$ $f=30Mc$ >9	MVB 6116	22	>100	>100
MTD355	100	V_{CE0} 100	4	1.2	25	<10	$I_C=350mA$ >15	TYP 2.2	<30	$V_{CE}=45V$ $I_C=350mA$ >9				

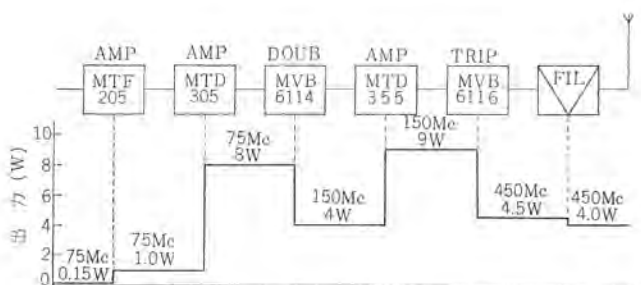


図 4.8 送信後段部ラインアップとレベルの配分
Fig. 4.8 Line-up and level diagram of transmitter high power stages.

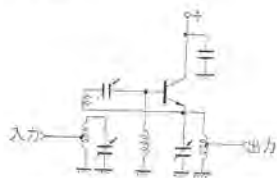


図 4.9 トランジスタ増幅回路
Fig. 4.9 Transistor amplifier circuit.

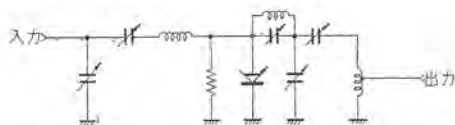


図 4.10 バリキャップ周波数2倍回路
Fig. 4.10 Varicap frequency doubler circuit.

スから絶縁されている。バリキャップは容量が $1/\sqrt{V}$ にしたがって変化するシリコン・ダイオードで Q が高く、最大動作電圧が高いので VHF、UHF 帯の高電力周波数 2 倍に適する。図 4.7 にダブルエンド形トランジスタ (MTD 300、MTD 350 シリーズ) と高 Q バリキャップの外観を、また表 4.3 にこれらの特性を示す。

(3) 送信後段部

送信後段部は、送信前段部から受け継いだ約 75 Mc の信号を (2) にあげたシリコントランジスタおよびバリキャップを用いて増幅 2 倍し、さらにここで発生する高周波を除去するスプリアスフィルタを通して最終 4 W 以上の出力が得られるようにしている。そのラインアップとレベル配分は図 4.8 のようで、とくに電力消費の低減をはかり、電力利得に余裕をもたせ、安定な動作が得られるような回路構成にしてある。また各トランジスタにはプラス電圧をキ電し、万一調整保守時誤まって各電極をアースしても、トランジスタが破損しないように配慮してある。トランジスタ増幅器の回路例を図 4.9 に示す。

2 倍はバリキャップによって 2 倍 (図 4.10) および 3 倍

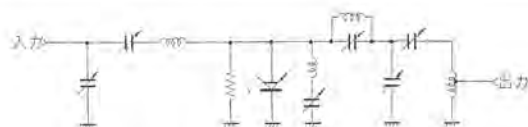


図 4.11 バリキャップ周波数3倍回路
Fig. 4.11. Varicap frequency tripler circuit.

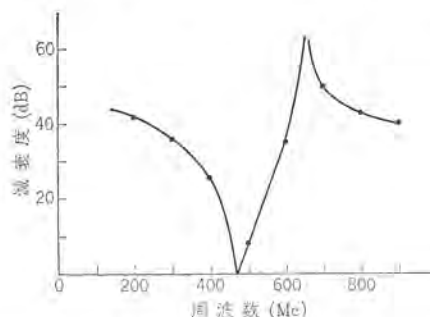


図 4.12 スプリアスフィルタ特性
Fig. 4.12 Selectivity characteristic of spurious eliminated filter.

表 4.4 スプリアス放射特性の一例

スプリアス組成	スプリアス強度 (dB)
$1/6 f$	83
$1/3 f$	89
$2/3 f$	75
$4/3 f$	不感
$5/3 f$	不感
$2 f$	95

倍 (図 4.11) を行なっているがその能率はそれぞれ約 50%、50% である。2 倍の能率の悪いのは回答の簡略化のためである。最終段に高調波除去用のスプリアスフィルタを使用しているが、その損失は 0.5 dB 以下で、小形ではあるが図 4.12 のような特性を有している。

(4) 総合性能

この機は、送信の 2 倍数を 18 2 倍にしてあるから、搬送波と 2 重パイ・スプリアスとの間が 24 Mc 位離れており、簡単な同調回路でも、スプリアス特性は良好でその特性例を表 4.4 に示す。

この機を 1 分送信、3 分受信の割り合いで連続運転した場合の送信出力変動および送信後段部の電力増幅トランジスタ用放熱板での温度上昇例を示せば図 4.13 のとおりである。

(5) ブロック線図

送信部の総合ブロック線図を示したのが図 4.14 である。

4.4 受信部

(1) 基本設計

従来は 2 重または 3 重スーパーヘテロダイン方式が採用されていたが、

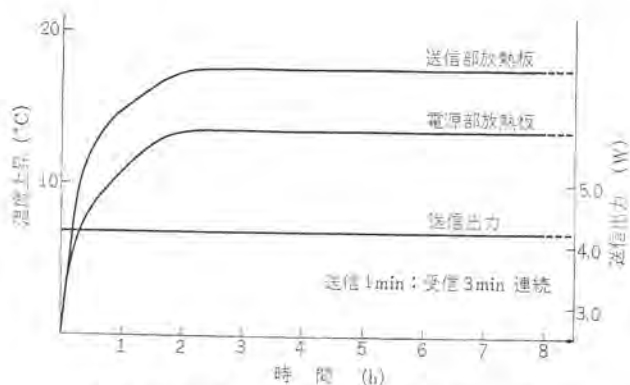


図 4.13 FM-17D 400 Mc 無線機の連続試験
Fig. 4.13 Continuous test of FM-17D 400 Mc radio communication equipment.

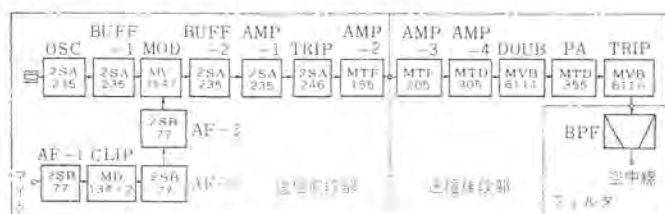


図 4.14 400 Mc 帯全トランジスタ式 4 W 送信部ブロック線図
Fig. 4.14 Block diagram of 400 Mc band transistorized 4 W transmitting section.

150 Mc 帯 FM-15A 形無線機との共通性、および高周波段のイメージスプリアスに対する減衰特性向上などより、シングル・スーパー受信方式を採用した。これによりスプリアス特性の向上を計るとともに、プリントパターン の大幅採用により性能の均一化を行なっている。

本部は前段部と後段部に分け、中間周波以降を後段部に実装して、VHF、UHF 帯との共通化をはかっている。

(2) 感度と相互変調特性およびスプリアス感度



図 4.15 高周波同調ブロックの外観図
Fig. 4.15 Exterior view of RF tuning unit

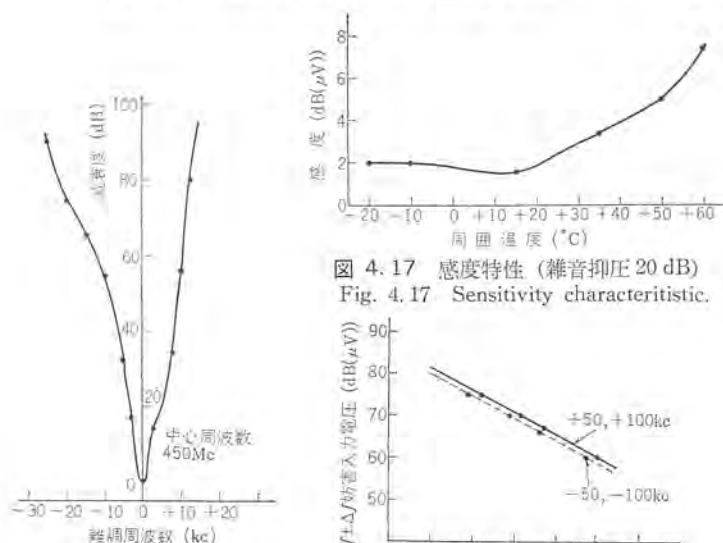


図 4.16 高周波同調ブロックの選択特性
Fig. 4.16 RF tuning unit selectivity.

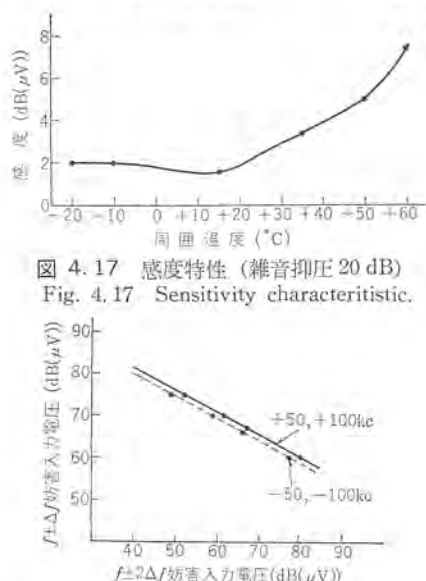


图 4.17 感度特性 (雑音抑圧 20 dB)
Fig. 4.17 Sensitivity characteristic

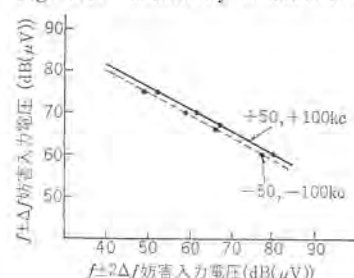


Fig. 4.18 Intermodulation characteristics.

受信機について感度と相互変調特性の性能を良くすることが一つの大きな課題であるが、その対策として高周波増幅トランジスタとして雑音指数の小さい2N1742を用い、高周波同調回路としては低損失、高選択性を維持し、しかも浮遊容量、アース不完全による劣化をなくするため、ヘルカル同調素子を使用した小形の高周波同調ブロックを採用した。そのブロックの外観と選択特性を図4.15、4.16に示す。さらに隣接チャネルを除去する水晶フィルタまでの利得をしぼり、各段の雑音指数を小さくして、相互変調特性を劣化させずに、できるだけ感度を上げること、すなわち総合雑音指数を小さくすることを行なった。図4.17に感度特性を示す。

(3) 混合器

相互変調特性は岩井、森永氏⁽⁶⁾らによって明らかにされているように、隣接、次隣接チャネルなどの信号による妨害変調値に支配され、これを良くするためには、ヒズミ係数を小さく選ぶか、非直線部分に加わる妨害波振幅を小さくすることである。そのため混合器では、トランジスタ 2N1742 を選んで雑音指数を小さくするとともに、4 次のヒズミ係数が小さくなるような動作点を選び、約 1mW のローカル注入電力をエミッタに印加している。注入電力を増しているのは温度による変換利得の減少を防ぐとともに、相互変調の改善にも寄与している。図 4.18 に相互変調特性、図 4.19 に感度抑圧効果特性を示す。

(4) 中間周波増幅部

(1)でも述べたように、中間周波増幅部以降は受信後段部に実装されていて、VHF 帯他機種と共通化をはかっている。中間周波数を 10.7Mc に選び、2 信号特性を改善するために水晶フィルタを増幅部の前段におき、所要の利得をとるのに 6 段増幅とした。とくにこの段では安定な増幅を行なうため、2 ブロックに分けるとともに、増幅器の入力電圧の変化により動作点が動いて不安定になるのをさけるため、ダイオードを相互並列にしたリミッターを各段に併用している。

周波数弁別器は温度補償を行なっても、その周波数安定度はたかだか $\pm 10 \times 10^{-5}$ が限度であるため、この機では水晶1個を用いた周波数検出回路を採用し、中間周波数の簡単、じん速、正確な点検および局部発振器の修正ができるようにしている。図4.20に一信号選択度特性を示す。

(5) オーディオ特性

受信機の S/N を向上させる方法として、雑音指数

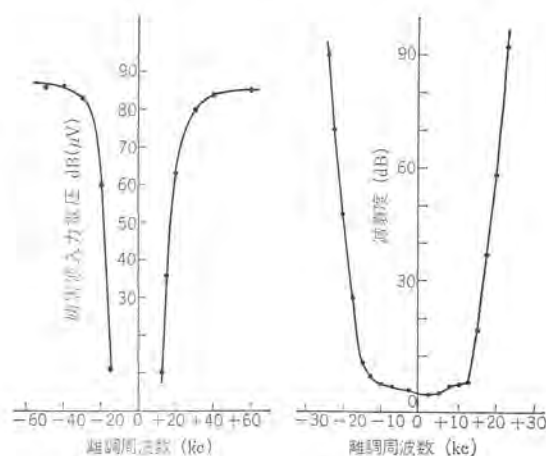


图 4.19 感度抑压效果特性
Fig. 4.19 Desensitization characteristic.

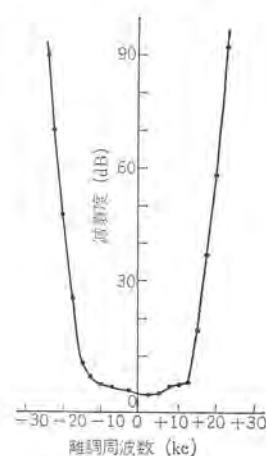


図 4.20 選択度特性
Fig. 4.20 Selectivity characteristic.

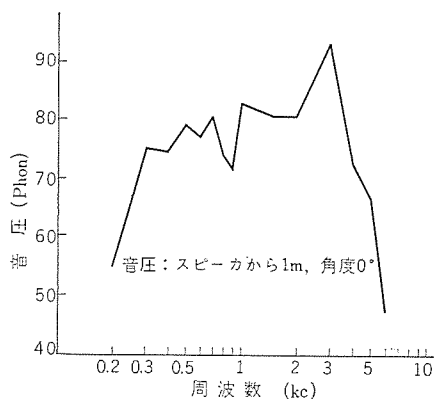


図 4.21 スピーカの特性
Fig. 4.21 Characteristic of speaker.

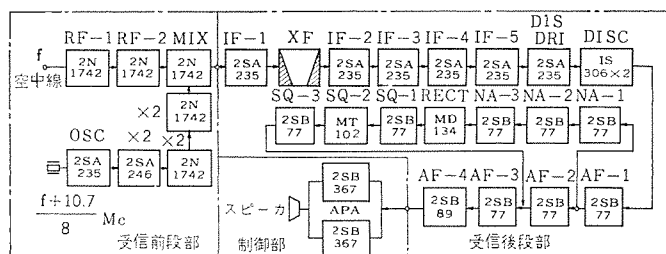


図 4.22 400 Mc 帯全トランジスタ式受信部ブロック線図
Fig. 4.22 Block diagram of 400 Mc band all transistorized receiving section.

を小さくすることは当然のことであるが、オーディオの通信帯域をもっとも聞きやすい特性までしぼることによってかなり改善できる。オーディオ部は選択呼出装置の特定周波数など通過させる必要があるため、この改善策をこの機ではつぎのように行なっている。スピーカ増幅器の前までは送受総合特性として平坦になるような回路構成を取り、スピーカ増幅器で1kcを中心にして“かまぼこ”特性になるようにしてある。またスピーカは明瞭度がよくるように吟味しその特性として、図4.21のような音圧を得ている。

(6) ブロック線図

受信部のブロック線図を図4.22に示す。

4.5 電源部

この無線機においては、送信部の全トランジスタ化により、送受信部に必要な電圧、電流が小さくすみ、電源の小形化の可能性が見いだされた。そこで鉄損の小さい小形コアを採用することにより、DC-DCコンバータのスイッチング周波数を従来の400 c/sから2kc以上に上げ、電源部的小形化をはかった。また各直流出力電圧端子までを鉄ケース内に収めて、送受信部のS/Nの劣化を防いでいる。さらに入力電圧変動に対しては、基準電圧よりも高い電圧をクリップするトランジスタAVRをDC-DCコンバータの一次側に設けるとともに、入力電源の逆接続時の保護回路をこの中にそう入している。またDC-DCコンバータの二次側低圧回路にはさらにAVRをそうし、基準電圧±10%以上の電圧変動を押えている。図4.23、4.24にAVR特性およびDC-DCコンバータ特性を示す。

4.6 選択呼出装置

4.1節にも述べたように、この機は必要により簡単に選択呼出装置が電源部の空スペースに接センにより装着できるようになっており、この装置の信頼度を向上させるため、1個の呼出用ピエゾフォークと3個のリードセクタ以外はダイオードとトランジスタを使用し

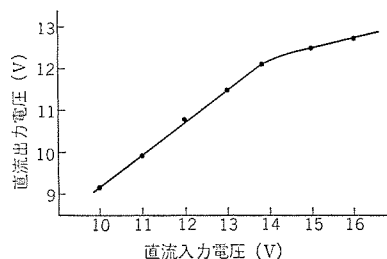


図 4.23 主AVRの入力電圧変動特性
Fig. 4.23 Input voltage variation characteristic of main AVR.

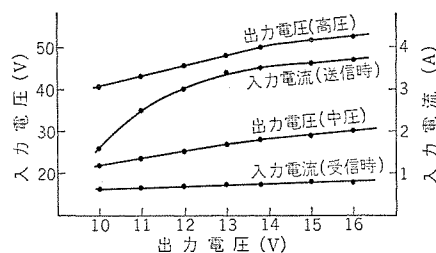


図 4.24 DC-DCコンバータの入力電圧変動特性
Fig. 4.24 Input voltage variation characteristic of DC-DC converter.

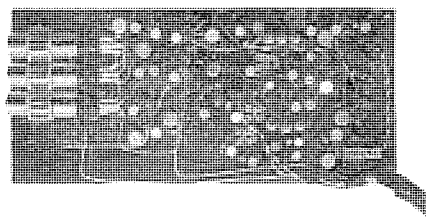


図 4.25 選択呼出装置
Fig. 4.25 Selective calling unit.

た電子スイッチを採用し、図4.25に示すようにコンパクトにまとめた。これにより従来見られたようなリレーによる故障はなくなり一段と使いやすくなったと確信する次第である。

5. む す び

以上で、このたび量産発売を開始した全トランジスタ式FM-17D形400 Mc/FM移動用無線電話装置の概要紹介を終わるが、今後さらに広くご使用いただくため、生産の合理化により価格の低廉化をはかるとともに、より使いやすい無線機にすべく努力を続ける所存である。また、技術的に重要な課題としては現行の50kc割り当てをせばめる狭帯域化があり、これに対しては目下鋭意試作を行なっている。最後にこの機の開発量産にあたり、種々ご指導ならびにご協力をいただいた関係各位に対し厚く謝意を表わすものである。

参 考 文 献

- (1) 電波時報 38年1月
- (2) 電波時報 40年6月
- (3) 電波技術審議会資料 39年6月
- (4) EIA Standard
- (5) 振動衝撃専門委員会, 振動衝撃試験法に関する調査報告, 昭32.12. 電気学会技術報告
- (6) 岩井, 森永: 移動無線通信における干渉妨害, 通研研究実用化報告 11, 第10号 (1962)

ル変動による混変調の増加、あるいは S/N の劣化およびわずかな障害などでは、回線断、雑音検出回路は応動せず、この状態では、ほかの通信系たとえば電話、テレメータなどにおいては全然機能上支障はなく、保守員は対策を必要としない。この変動や異常がさらに拡大して通信機能に直接支障を与える障害発生まで従来検出不能であった。この場合度数計は、伝送符号が著しいヒズミを受けると、符号検定不良となり登算する。したがって、回線状態が多少低下しているという情報を得ることによって次に発生するおそれのある回線障害に対し、準備対策ができ、障害時の復旧時間の短縮あるいは必要に応じて事前修理も可能であり、保守員に安心感を与えるとともに結果として高品質回線を常時維持することができる。前述のとおり伝送は 10 系統あり、その伝送路はマイクロ、電線、ケーブルなど各種のものを中継使用しており、コウ(互)長、中継数、回線状態も異なり、度数計の動作実績はいちがいにはいえないが、回線が不安定な場合、大体、数分～数時間ごとに登算する。非常に安定しているときは、1 ヶ月以上にわたって一度も登算していないというデータも出ている。一般にマイクロのように多重度が高く、中継数も多く、また予備機を設けているものでは、回線の増設、変更、点検作業による切り換えによる登算が大半をしめている。

5. 現地据付調整

論理動作する伝送装置の現地調整は最小限、信号伝送レベル設定のみでよい。現地試験としては下記項目について行なった。

- (a) 雑音そう入試験 S/N 10dB 伝送に支障なし
- (b) レベル変動試験 15dB 低下で伝送に支障なし
- (c) 符号ヒズミ $\pm 30\%$ ヒズミで伝送に支障なし

これ以上の回線障害に対しては伝送渋滞になるだけで誤り表示

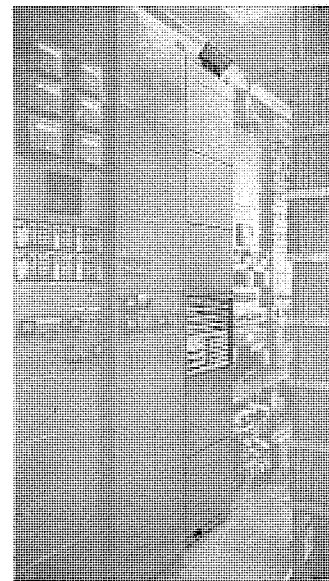


図 5.1 中央通信所内受信架

Fig. 5.1 Receiving equipment at communication center.

はみられなかった。

6. む す び

この工事は39年4月中旬三菱電機に発注を決定、同年10月1日運用開始という突貫工事であったが、製作および、現地工事はすべて順調に進み、中央給電指令所系統表示盤（三菱電機神戸製作所製）とともに予定どおりに運用を開始、満一ヵ年正常に実動中であり、関係者一同とともに深く喜びとしている。

高温気体の熱力学的特性の解析

—オープンサイクル MHD 発電作業流体の特性—

伊藤 利朗*・村井 裕**

Analysis of Thermodynamic Properties of High-Temperature Gas

Central Research Laboratory Toshio ITÔ・Yutaka MURAI

In the analysis of the thermodynamic properties of a high-temperature gas, a generalized method has been worked out by means of statistical machines on the assumption that all the chemical reactions taking place are in thermal equilibrium.

The method has been applied, as an example, to the numerical evaluation of the thermodynamic properties of heavy oil combustion products expected to be as a fuel for the commercial open cycle MHD generator.

The results show that the combustion gas of heavy oil can be treated as an ideal gas in approximation in the temperature below around 2,000°K, but if the temperature exceeds 2,000°K, its thermodynamic properties widely deviate from those of the ideal gas.

1. ま え が き

たとえば MHD 発電機の発電ダクトあるいは燃焼室では、2,000～3,000°K 程度の高温が実現されているが、この程度の高温の空間では、一般に原子、分子の励起および解離がかなり進行するので、気体の熱力学的特性は理想気体のそれとはかなり相違することが予想される。この論文の目的は、原子および分子の励起および解離が進行している高温気体空間の熱力学的特性の解析法を求め、重油燃焼生成物に関する解析結果の一例を提示することにある。

ここでは上記の相違を解析するために、気体のすべての状態が熱平衡状態にあるものと仮定して統計力学的手法を適用している。しかしながら実存の気体空間には、かならずエネルギーの流れが存在するので、厳密な意味での熱平衡が成立していないことは明らかである。したがってこの論文のように、熱平衡を仮定した解析方法によって得られる結果は、あくまで近似値を与えるに過ぎない。しかし一般に気体では、熱平衡への緩和時間がきわめて短い

のが通常であるから、この解析方法による結果が十分よい結果を与えることは確かであろう。

この稿で取り扱われている解析方法は十分一般化され、気体空間を構成する分子あるいは原子の分光学的特性（たとえば電子軌道の励起エネルギー、分子の振動周波数、分子の慣性モーメントなど）を与えれば、任意の気体空間の特性を求めることができる。したがって、この解析法は単に MHD 発電機内の気体特性の解析にとどまらず、一般の燃焼問題、ミサイルの大気圏回収の問題などの究明に対しても大きな応用価値を有している。ここでは解析の一例として、オープンサイクル MHD 発電機の作業流体に使用されることが予想されている重油燃焼生成物を例にとり、IBM 7090 電子計算機を用いて具体的な計算を行なった結果を与えている。なお後の議論の便宜のために記号を表 1.1 のように定義する。

2. 解析に要する基礎的な関係

2.1 分配関数と分光学的特性との関係

気体のあらゆる熱力学的特性は気体粒子の分配関数から決定できるので、気体の熱力学的特性に関する考察の第一段階として、まず分配関数が分光学的特性とどのように関係づけられているか以下に述べよう。

統計力学によれば、分配関数 Q は次式によって与えられる。

$$Q = \sum_i \omega_i \exp\left(-\frac{\epsilon_i}{kT}\right) \dots\dots\dots (2.1)$$

ここに ϵ_i および ω_i はそれぞれ気体粒子の励起エネルギーレベルおよび統計的重み、 k はボルツマン定数、 T は絶対温度である。

一般に核の励起エネルギーは、この論文で考察の対象としている粒子の運動エネルギーに比べてきわめて高いので、核は常に基底のエネルギー状態にあると考えることができる。したがって Q を決定するエネルギーモードは並進、回転、振動および電子の軌道運動の 4 者に限られると考えることができる。すなわち、

$$Q = Q_t Q_r Q_v Q_e \dots\dots\dots (2.2)$$

式 (2.2) の右辺の $Q_t \dots Q_e$ はそれぞれ粒子の並進運動、回転運動、振動運動および電子の軌道運動に関する分配関数をあらわし、統計力学によって次のように与えられる。

(1) Q_t 量子力学および統計力学によれば、粒子の並進運動

表 1.1 記 号 表

A	化学反応に関与する系	R	気体定数
a	音 速	S	モル当たりのエントロピー
C	化学量論数	s	単位質量当たりのエントロピー
c_p	単位質量当たりの定圧比熱	T	絶対温度
c_v	単位質量当たりの定積比熱	U	モル当たりの内部エネルギー
ΔE	反 応 熱	u	単位質量当たりの内部エネルギー
H	モル当たりのエンタルピー	V	体 積
h	単位質量当たりのエンタルピーまたはプランクの定数	v	比体積 (=1/ ρ)
I	分子の慣性モーメント	X	成 分
J	原子の回転量子数	$x(A)$	系のモル分率
i, j	成分および系に対する添字	z	Compressibility
K_r	粒子密度に対する平衡定数	γ	比 熱 比
K_p	圧力に対する平衡定数	ϵ	エネルギーレベル
k	ボルツマン定数	Θ	特性温度
L	一次元的な長さ	λ	成分の混合比
M_0	解離反応が発生していない場合の平均分子量	ω	統計的重み
$\bar{M}$	平均の分子量	ν	分子の振動数または系における成分の数
m	気体粒子の質量	ρ	密 度
$n(A)$	系の粒子密度	σ	対 称 数
p	圧 力	添字 t, r, v, e	並進、回転、振動、および電子軌道
$p(A)$	系の分圧	[]	モトリックス
Q	状 態 和		

のエネルギーモードに関する特性温度 Θ_l は、考察の対象となる空間の一次元的な長さを L とすると、

$$\Theta_l = \frac{h^2}{8mL^2k}$$

で与えられるが、 L が cm のオーダーであるわれわれの空間では Θ_l は、

$$\Theta_l \ll 1$$

の条件を満足する。したがって Q_l の積分表示が可能となり Q_l は次式で表現される。

$$Q_l = \left(\frac{2\pi mkT}{h^2} \right)^{3/2} V \dots\dots\dots (2.3)$$

ここに m は粒子の質量、 T は絶対温度、 V は体積、 k および h はそれぞれボルツマン定数およびプランクの定数である。

(2) Q_r 一般の分子では回転のエネルギーモードに関する特性温度 Θ_r は常温すなわち 300°K に比べてはるかに低いので、 Q_r の古典統計力学的な表現が可能である。回転運動に関する自由度を m_r とすると Q_r は次式によって与えられる。

$$Q_r = \frac{T^{m_r/2}}{\sigma} \left(\prod_{i=1}^{m_r} \Theta_{ri} \right)^{-1/2} \dots\dots\dots (2.4)$$

ここに σ は分子の対称数、 Θ_{ri} は特性温度であって次式で与えられる。

$$\Theta_{ri} = \frac{h^2}{8\pi^2 I_i k}$$

ただし I は i 回転主軸に関する慣性モーメントである。

2 原子分子の場合には回転に関する自由度 m_r は 2 であるから Q_r は次のようになる。

$$Q_r = \frac{8\pi^2 kT}{\sigma h^2} I \dots\dots\dots (2.5)$$

対称数 σ は等核 2 原子分子の場合に 2、異核 2 原子分子の場合に 1 となる。3 原子分子の場合には、分子が直線状であるか、いなかによって異なり、直線状分子では 2 原子分子の Q_r と一致し、直線状でない分子では m_r は 3 となり、 Q_r は次式によって与えられる。

$$Q_r = \frac{\sqrt{\pi} (8\pi^2 kT)^{3/2}}{\sigma h^3} \left(\prod_{i=1}^3 I_i \right)^{1/2} \dots\dots\dots (2.6)$$

(3) Q_v 分子の振動運動の自由度を m_v とし、分子の零点エネルギーをエネルギーレベルの原点にとると Q_v は次式によって表現される。

$$Q_v = \prod_{i=1}^{m_v} \left(1 - e^{-\frac{h\nu_i}{kT}} \right)^{-1} \dots\dots\dots (2.7)$$

ここに ν_i は各振動軸に対する振動数である。

(4) Q_e 原子または分子の基底状態のエネルギーレベルをエネルギーの零点

と定め、 n 番目の励起エネルギーレベルを ε_n であらわすと Q_e は次式によって与えられる。

$$Q_e = \sum_{n=0}^{\infty} \omega_n \exp\left(-\frac{\varepsilon_n}{kT}\right) \dots\dots\dots (2.8)$$

ここに ω_n は n 番目の励起エネルギーレベルの統計的重みである。一般に各励起エネルギーレベル間の間隔はかなり開いているので、式 (2.8) の級数項としては ε_n の小さい方から 2, 3 項を選んでおけば十分である。また ω_n は原子の場合には全角運動量に対する量子数 J_n の関数として次式で与えられる。

$$\omega_n = 2J_n + 1$$

2 原子分子の場合の ω_n は電子軌道核運動量の核軸方向への成分によってことなる。Σ 状態では多重度 (= 2S + 1) に等しく、その他の状態では多重度が 2 以上の場合には 2 に等しく、多重度が 2 以下の場合には多重度に一致する。

表 2.1 に原子、分子に関する分光学的諸特性ならびに諸定数

表 2.1 代表的な分子および原子の諸定数

系	対称数	慣性モーメント (kg m ²)	振動数 (sec ⁻¹)	統計的重み	エネルギーレベル (Joule)	質量 (kg)	生成熱 (Joule/mole ⁻¹)	分子量 (g mole ⁻¹)
CO ₂	2	71.467 × 10 ⁻⁴⁷	4.0091 × 10 ¹⁴ 2.0005 × 10 ¹⁴ 2.0005 × 10 ¹⁴ 7.0430 × 10 ¹³	(1)		73.061 × 10 ⁻²⁷	3.9370 × 10 ⁵	44.011
H ₂ O(g)	2	1.0239 1.9199 2.9459	10.948 × 10 ¹³ 4.7817 × 10 ¹³ 11.260 × 10 ¹³	(1)		29.908 × 10 ⁻²⁷	2.4195 × 10 ⁵	18.008
O ₂	2	19.357	4.6466 × 10 ¹³	3 1 3	0. 1.57269 × 10 ⁻¹⁹ 2.62082 × 10 ⁻¹⁹ 7.16935 × 10 ⁻¹⁹	53.122 × 10 ⁻²⁷	0.	32.000
N ₂	2	13.922	6.9594 × 10 ¹³	1 3 2 1	0. 9.97187 × 10 ⁻¹⁹ 11.8429 × 10 ⁻¹⁹ 13.7623 × 10 ⁻¹⁹	46.508 × 10 ⁻²⁷	0.	28.016
KOH(g)	1	164.138 1.5030 1.6616	10.7925 × 10 ¹³ 1.9277 × 10 ¹³ 0.80944 × 10 ¹³			93.143 × 10 ⁻²⁷	2.3556 × 10 ⁵	56.108
SO ₂	2	13.78 81.16 95.14	3.4506 × 10 ¹³ 1.5589 × 10 ¹³ 4.0802 × 10 ¹³			106.353 × 10 ⁻²⁷	2.9690 × 10 ⁵	64.066
NO ₂	2	3.14022 × 10 ⁻⁴⁷ 53.1557 × 10 ⁻⁴⁷ 5.9981 × 10 ⁻⁴⁷	3.9573 × 10 ¹³ 1.9427 × 10 ¹³ 4.8596 × 10 ¹³			76.376 × 10 ⁻²⁷	-0.33865 × 10 ⁵	46.008
H ₂	2	0.46018 × 10 ⁻⁴⁷	12.710 × 10 ¹³	1 1 2 3	0. 18.2111 × 10 ⁻¹⁹ 19.0166 × 10 ⁻¹⁹ 19.0551 × 10 ⁻¹⁹	3.3467 × 10 ⁻²⁷	0.	2.016
NO	1	16.416 × 10 ⁻⁴⁷	5.6051 × 10 ¹³	2 2 2 2	0. 0.024053 × 10 ⁻¹⁹ 8.73242 × 10 ⁻¹⁹ 9.12019 × 10 ⁻¹⁹	49.815 × 10 ⁻²⁷	-0.90419 × 10 ⁵	30.008
CO	1	14.489 × 10 ⁻⁴⁷	6.3969 × 10 ¹³	1 2 3 2	0. 9.67026 × 10 ⁻¹⁹ 11.1030 × 10 ⁻¹⁹ 12.3738 × 10 ⁻¹⁹	46.500 × 10 ⁻²⁷	1.1060 × 10 ⁵	28.011
OH	1	1.4829 × 10 ⁻⁴⁷	11.115 × 10 ¹³	2 2 2	0. 6.49137 × 10 ⁻¹⁹ 7.94476 × 10 ⁻¹⁹	28.234 × 10 ⁻²⁷	-0.3535 × 10 ⁵	17.008
N	1			4 6 4 6	0. 3.81805 × 10 ⁻¹⁹ 3.81964 × 10 ⁻¹⁹ 5.72817 × 10 ⁻¹⁹	23.254 × 10 ⁻²⁷	-4.7083 × 10 ⁵	14.008
O	1			5 3 1 5	0. 0.031481 × 10 ⁻¹⁹ 0.044987 × 10 ⁻¹⁹ 3.15163 × 10 ⁻¹⁹	26.561 × 10 ⁻²⁷	-2.4516 × 10 ⁵	16.000
H	1			2 2 2 4	0. 16.3382 × 10 ⁻¹⁹ 16.3382 × 10 ⁻¹⁹ 16.3383 × 10 ⁻¹⁹	1.6733 × 10 ⁻²⁷	-2.16027 × 10 ⁵	1.008
K(g)	1			2 2 4	0. 2.5791 × 10 ⁻¹⁹ 2.5906 × 10 ⁻¹⁹	64.908 × 10 ⁻²⁷	-0.90041 × 10 ⁵	39.100
OH ⁻	1					28.235 × 10 ⁻²⁷	1.6734 × 10 ⁵	17.008
electron	1			2	0.	0.91085 × 10 ⁻³⁰	0.	5.4876 × 10 ⁻⁴
N ₂ O	2		6.66665 × 10 ¹³ 3.85234 × 10 ¹³ 1.76512 × 10 ¹³			73.0692 × 10 ⁻²⁷	0.81546 × 10 ⁵	44.016

を示す⁽¹⁾⁽²⁾。

2.2 化学方程式の一般化

化学反応が関与する現象を論ずる場合、一般にまず反応に関係する原子、分子の間にいくつかの化学方程式を樹立する必要があるが、筆者らはこれらの方程式を簡潔でしかも応用範囲のきわめて広い形で自動的に求められる方法を考案している。この方法について述べるまえに、まずこの論文で使用される用語について以下にその定義をしておこう。

(1) 集合を構成している最小の単位すなわち原子、分子、イオンなどを系とよぶ。

(2) 集合の、独立な化学的構成要素をその成分とよぶ。
以上のような定義のもとに化学方程式の一般化を試みよう。

さて、とりあつかいの対象となる系を A_j ($j=1, 2, \dots, N_s$)、成分を X^i ($i=1, 2, \dots, N_e$) とし、 A_j は次のような関係で結ばれているものとする。すなわち、

$$A_j = X_{\nu_{1j}}^1 X_{\nu_{2j}}^2 \cdots X_{\nu_{N_e j}}^{N_e} \cdots (2.9)$$

$$(j=1, 2, \dots, N_s)$$

このような条件では A_j は $(N_s - N_e)$ 個の独立な化学方程式によって相互に次のように関係づけられる。

$$\begin{bmatrix} C_{11} & \cdots & C_{1N_s} \\ \vdots & & \vdots \\ C_{N_s - N_e, 1} & \cdots & C_{N_s - N_e, N_s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ \vdots \\ A_{N_s - N_e} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \cdots (2.10)$$

ここに $[C]$ は化学量論数を表現する行列、 $[A]$ は系を表現する行列である。したがって $[C]$ を式 (2.9) の ν_{ij} から、いいかえれば系を与えることによって決定することができればよいわけである。そのためにまず式 (2.9) の ν_{ij} から構成される行列を次のように定義する。

$$[\nu] = \begin{bmatrix} \nu_{11} & \cdots & \nu_{1N_s} \\ \vdots & & \vdots \\ \nu_{N_s - N_e, 1} & \cdots & \nu_{N_s - N_e, N_s} \end{bmatrix} \cdots (2.11)$$

さて化学方程式を式 (2.10) のように表現すると、式 (2.10) の左辺に出てくる系における各成分の代数和は 0 にならなければならない。したがって $[\nu]$ と $[C]$ との間には次の関係が成立する。

$$[\nu][C]^T = [0] \cdots (2.12)$$

ただし $[C]^T$ は $[C]$ の転置行列である。ここで議論の便宜のために $[C]$ の各行を次のように表現する。

$$C_i = (C_{i1} C_{i2} \cdots C_{iN_s}) \cdots (2.13)$$

$$(i=1, 2, \dots, N_s - N_e)$$

式 (2.12) と式 (2.13) とから次の関係式が得られる。

$$[\nu][C_1^T C_2^T \cdots C_{N_s - N_e}^T] = [0]$$

したがって次式が成立する。

$$[\nu] C_i^T = [0] \cdots (2.14)$$

$$(i=1, 2, \dots, N_s - N_e)$$

$[\nu]$ は A_j の並べ方によって変化するが $[\nu]$ の階数が N_e であることは明らかであるから、

$$[\nu] = [\nu_1 \nu_2]$$

ただし、

$$[\nu_1] = \begin{bmatrix} \nu_{11} & \cdots & \nu_{1N_e} \\ \vdots & & \vdots \\ \nu_{N_e, 1} & \cdots & \nu_{N_e, N_e} \end{bmatrix} \quad [\nu_2] = \begin{bmatrix} \nu_{1N_e+1} & \cdots & \nu_{1N_s} \\ \vdots & & \vdots \\ \nu_{N_e, N_e+1} & \cdots & \nu_{N_e, N_s} \end{bmatrix}$$

とした場合、 $|\nu_1| \neq 0$ でしかも $[\nu]$ ができるかぎり安定な系の順に、それらに対応する ν_{ij} から構成されるように系の並べ方を定めることが可能である。以下の計算ではこのようにして決定さ

れた $[\nu]$ を用いる。

式 (2.14) において未知数は N_s 個、 $[\nu]$ の階数は N_e であるから、 C_i は $(N_s - N_e)$ 次元のベクトル空間を形成する。したがって C_i を次のように定めることができる。

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= (C_{11} \quad C_{12} \cdots C_{1N_s} \quad -1 \quad 0 \cdots 0) \\ C_2 &= (C_{21} \quad C_{22} \cdots C_{2N_s} \quad 0 \quad -1 \cdots 0) \\ &\vdots \\ C_{N_s - N_e} &= (C_{N_s - N_e, 1} \quad C_{N_s - N_e, 2} \cdots C_{N_s - N_e, N_s} \quad 0 \quad 0 \cdots -1) \end{aligned} \right\} (2.15)$$

式 (2.14) と式 (2.15) とから $N_e(N_s - N_e)$ 個の未知数を決定することができるから、結局系を与えることによって化学量論数から構成される行列 $[C]$ を決定することができる。

2.3 化学反応に関する平衡定数の分配関数による表現

すでに述べたように系を与えることによって系に関する分配関数を容易に決定できるので、この分配関数を使用して化学反応の平衡定数を表現してみよう。

系 A_j の数を $N(A_j)$ 、分配関数を $Q(A_j)$ とすると、統計力学から次式が成立する。

$$[C] \begin{bmatrix} N(A) \\ Q(A) \end{bmatrix} = \frac{1}{RT} [JE] \cdots (2.16)$$

ここに $[C]$ は 2.2 節で求められた化学量論数を表現する行列である。また $[N(A)/Q(A)]$ は次のように表現される行列である。

$$\begin{bmatrix} N(A) \\ Q(A) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N(A_1) \\ Q(A_1) \\ \vdots \\ N(A_{N_s}) \\ Q(A_{N_s}) \end{bmatrix}$$

右辺の $[JE]$ は化学反応における反応熱を表現する行列であって系の生成熱 $U_f(A_j)$ と次式によって関係づけられている。

$$[JE] = \begin{bmatrix} JE_1 \\ \vdots \\ JE_{N_s - N_e} \end{bmatrix} = [C] \begin{bmatrix} U_f(A_1) \\ \vdots \\ U_f(A_{N_s}) \end{bmatrix}$$

Q は式 (2.2) に示すように Q_t , Q_r , Q_v および Q_e の積で表現されるが式 (2.3), (2.4), (2.7) および式 (2.8) から明らかのように Q_e 以外はすべて温度 T だけの関数であるから $Q(A_j)$ は次のように書くことができる。

$$Q(A_j) = V \cdot f(A_j) \cdots (2.17)$$

$$\text{ここに、} f(A_j) = \left(\frac{2\pi m_A kT}{h^2} \right)^{3/2} Q_r(A_j) Q_v(A_j) Q_e(A_j)$$

したがって式 (2.16) は式 (2.17) を用いると次のように書きなおすことができる。

$$[C] \begin{bmatrix} n(A) \\ f(A) \end{bmatrix} = \frac{1}{RT} [JE] \cdots (2.18)$$

ここに $n(A)$ は各系の粒子密度である。

一方粒子密度に対する平衡定数 K_e は次式で定義される。

$$[\ln K_e] = [C][\ln n(A)]$$

ただし、

$$[\ln K_e] = \begin{bmatrix} \ln K_{e1} \\ \vdots \\ \ln K_{e, N_s - N_e} \end{bmatrix}$$

この関係と式 (2.18) と結合することによって、 K_e を分配関数の関数として次のように表現することができる。

$$[\ln K_e] = [C][\ln f(A)] + \frac{1}{RT} [JE] \cdots (2.19)$$

また圧力に対する平衡定数 K_p は次式によって定義される。

$$[\ln K_p] = [C][\ln p(A)] \cdots (2.20)$$

ここに $p(A)$ は系の分圧である。したがって式 (2.20) に $p = nkT$ なる関係式を代入すれば K_p に関する次の式が得られる。

$$[\ln K_p] = [\ln K_e] + [C][\ln kT] \cdots (2.21)$$

結局、分配関数から $f(A)$ が求めれば、これと前節で求めた

[C] とから K^c が求まり、さらに式 (2.21) から K_p が求められるわけである。

3. モル分率の求め方

高温気体の熱力学的特性を決定するもっとも重要な量は、気体を構成する系の密度または分圧である。本節ではこれらの系のモル分率を求める方法について述べる。

まず系の分圧の間には式 (2.20) に示すような化学平衡式が成立する。すなわち、

$$[C][\ln p(A)] = [\ln K_p] \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

つぎに成分の混合比を与えた場合、状態の変化に対しても成分の混合の割合は不変であるから系の密度と成分の密度との間には次の関係が成立する。

$$[\nu][n(A)] = [n(X)] = \left(\sum_{i=1}^{N_c} n(X^i) \right) [\lambda] \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

ここに $[n(X)]$ は各成分の密度を表現する行列、また $[\lambda]$ は成分の混合比を表現する行列であって次の形を有しており、行列の要素 $\lambda_1 \dots \lambda_{N_c}$ は計算のインプット資料として与えられるべき性格のものである。

$$[\lambda] = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_{N_c} \end{bmatrix}$$

式 (2.11) で与えられる行列 $[\nu]$ の各行を、

$$\nu_i = (\nu_{i1} \nu_{i2} \dots \nu_{iN_c}) \\ (i=1, 2, \dots, N_e)$$

のように表現すると、系の密度と成分の密度との間には、また次の関係式が成立しなければならない。

$$(\nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_{N_e})[n(A)] = \sum_{i=1}^{N_c} n(X^i) \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

式 (3.2) と 式 (3.3) とから次式が得られる。

$$[\nu'][n(A)] = [0] \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

ここに、

$$[\nu'] = \begin{bmatrix} \nu'_1 \\ \vdots \\ \nu'_{N_e} \end{bmatrix}, \quad \nu'_i = \nu_i - \lambda_i(\nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_{N_e})$$

式 (3.4) を分圧 $p(A)$ を用いて表現すると次のようになる。

$$[\nu'][p(A)] = [0] \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

さらに分圧 $p(A)$ と全圧 p との間には次の関係が存在する。

$$\sum_{j=1}^{N_s} p(A_j) = p \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

さて系の分圧に対する関係式 (3.1)、(3.5) および (3.6) が求められたので、これらの式に $x(A_j) = p(A_j)/p$ を代入して無次元化すると次の連立方程式が得られる。

$$[C][\ln x(A)] = [\ln K_p] - [C][\ln p] \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

$$[\nu'][x(A)] = [0] \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

$$\sum x(A) = 1 \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

式 (3.8) は斉次方程式であるから式 (3.8) に式 (3.9) を含ませることができる。したがって上の連立方程式は次のように書きなおすことができる。

$$\left. \begin{aligned} [C][\ln x(A)] &= [\ln K_p] \\ [\nu''] [x(A)] &= [1] \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

ここに、

$$[\ln K_p'] = [\ln K_p] - [C][\ln p] \\ \nu''_{ij} = \nu'_{ij} + 1$$

けっきょく、連立方程式 (3.10) を解くことによってモル分高温気体の熱力学的特性の解析・伊藤・村井

率を決定することができるが、式 (3.10) は非斉次連立方程式であるから、解析的に解くことはできない。筆者らは Newton Raphson の方法を適用し、IBM 7090 電子計算機を使用して、その解を求めている (付録参照)。図 4.1 は計算の一例として重油を酸素窒素の混合物で燃焼させた場合の温度と組成との関係を図示したものである。

4. 熱力学的特性の解析

4.1 単一系からなる気体の内部エネルギー・エンタルピー・エントロピー

統計力学によれば単一系だけからなる気体のモル当りの内部エネルギー $U(A)$ 、エンタルピー $H(A)$ およびエントロピー $S(A)$ は以下の式によって与えられる。

$$\frac{U(A) - U_0(A)}{RT} = T \left(\frac{\partial \ln Q(A)}{\partial T} \right)_v = T \frac{d \ln f(A)}{dT} \quad \dots\dots (4.1)$$

$$\frac{H(A) - U_0(A)}{RT} = T \left(\frac{\partial \ln Q(A)}{\partial T} \right)_p \\ = T \frac{d \ln f(A)}{dT} + 1 \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

$$\frac{S}{R} = \ln Q(A) + T \left(\frac{\partial \ln Q(A)}{\partial T} \right)_p \\ = \ln Q(A) + \frac{H(A) - U_0(A)}{RT} \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

ここに $U_0(A)$ は 0°K における系のエネルギーをあらわす定数であって、ここでは対称にしている成分から構成される化合物のうちで、もっとも安定な化合物の $U_0(A)$ をエネルギーの零点と定めることにする。

4.2 混合気体の熱力学的特性

種々の系が混合された気体の熱力学的特性は、単一系だけからなる気体の内部エネルギー、エンタルピー、エントロピーおよび前節で求められた各系のモル分率とから計算することができる。

この節では混合気体の各種の熱力学的特性を計算する場合に必要な関係式と誘導するとともに、前節でその組成が求められた重

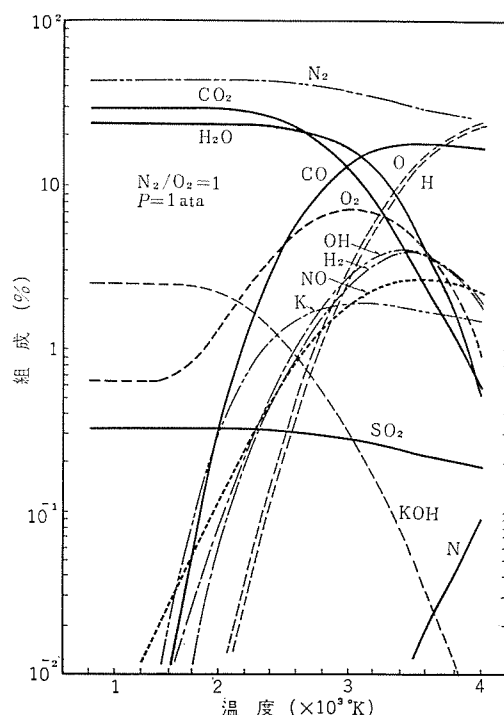


図 4.1 重油燃焼生成物の組成
Fig. 4.1 Mol fraction of combustion gas of heavy oil.

油燃焼生成物を例にとって計算結果を例示する。

(a) compressibility

compressibility z は次式によって定義される。

$$z = \frac{M_0}{M} = \frac{M_0}{\sum x(A)M(A)} \quad (4.4)$$

ここに M_0 および M はそれぞれ室温および任意の温度における混合気体の平均分子量であり、 $M(A)$ は各系の分子量である。図 4.2 は $N_2/O_2=1$ の場合の compressibility の変化を圧力をパラメータにとり、温度の関数として示したものである。

(b) 内部エネルギー・エンタルピー・エントロピー

4.1 節で求めた単一系からなる気体の内部エネルギー、エンタルピーおよびエントロピーを用いて、混合気体のモル当たりの内部エネルギー U 、エンタルピー H およびエントロピー S を表現すると次のようになる。

$$U = \sum x(A)U(A) \quad (4.5)$$

$$H = \sum x(A)H(A) \quad (4.6)$$

$$\frac{S}{R} = \sum x(A) \frac{S(A)}{R} - \sum x(A) \ln x(A) \quad (4.7)$$

なお単位質量当たりの値は式 (4.4) を用いるとそれぞれ次のようになる。

$$u = \frac{U}{M} = \frac{z}{M_0} U \quad (4.8)$$

$$h = \frac{z}{M_0} H \quad (4.9)$$

$$s = \frac{z}{M_0} S \quad (4.10)$$

図 4.3 に $N_2/O_2=1$ の場合のエントロピー-エンタルピー線図を示す。

(c) 比熱および比熱比

単位質量当たりの比熱 c_p は次式によって定義される。

$$c_p = \left(\frac{\partial e}{\partial T} \right)_p + \left(\frac{\partial p v}{\partial T} \right)_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p \quad (4.11)$$

したがって式 (4.9) を用いれば c_p の値を容易に求めることが

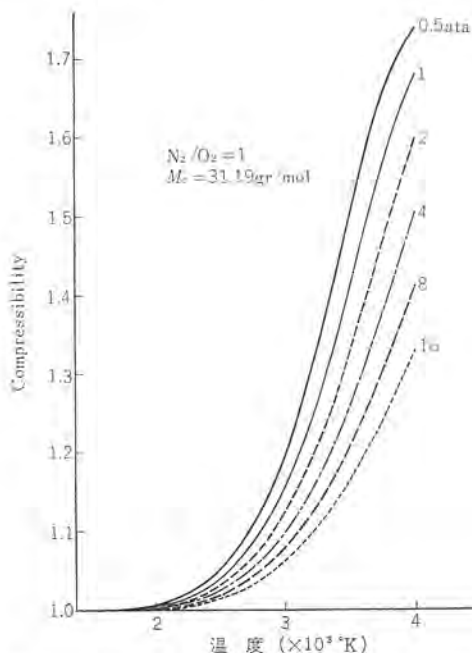


図 4.2 Compressibility と温度との関係
Fig. 4.2 Compressibility of combustion gas of heavy oil as a function of temperature.

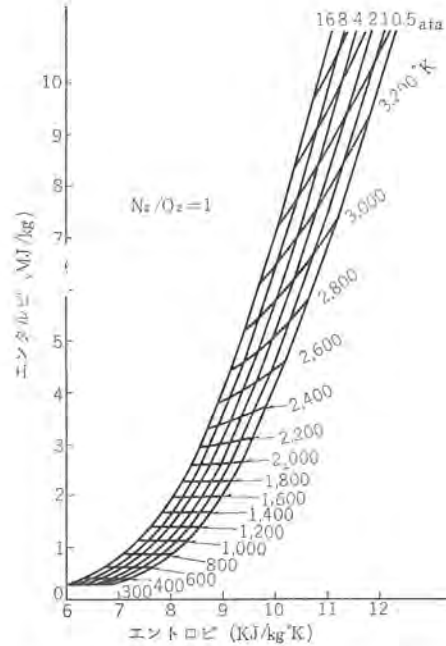


図 4.3 エンタルピー-エントロピー曲線
Fig. 4.3 Mollier diagram of combustion gas of heavy oil.

できる。一方熱力学によれば c_p と c_v の間には次式が成立する。

$$c_p - c_v = -T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_T \quad (4.12)$$

式 (4.12) に状態方程式

$$v = \frac{z}{M_0} \frac{RT}{p} \quad (4.13)$$

を代入すれば次式が得られる。

$$c_p - c_v = \frac{zR}{M_0} \frac{(1-\xi)^2}{1+\eta} \quad (4.14)$$

ここに、

$$\left. \begin{aligned} \xi &= -\frac{T}{z} \left(\frac{\partial z}{\partial T} \right)_p \\ \eta &= -\frac{T}{z} \left(\frac{\partial z}{\partial p} \right)_T \end{aligned} \right\} \quad (4.15)$$

比熱比 γ は式 (4.14) から次式によって与えられる。

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{c_p}{\frac{zR}{M_0} \frac{(1-\xi)^2}{1+\eta}} \quad (4.16)$$

図 4.4 および図 4.5 は $N_2/O_2=1$ の場合の比熱および比熱比の変化を温度の関数として示したものである。

(d) 音速および断熱指数

音速 a は次式によって与えられる。

$$a^2 = \gamma \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right)_T = -\gamma \frac{(\partial p / \partial T)_T}{(\partial \rho / \partial T)_T} \quad (4.17)$$

式 (4.13) を用いて変形すると式 (4.17) は次のようになる。

$$a^2 = \frac{p}{\rho} n \quad (4.18)$$

ここに、

$$n = \frac{\gamma}{1+\eta} \quad (4.19)$$

式 (4.19) によって与えられる無次元量 n は断熱指数として知られているものである。図 4.6 および図 4.7 に $N_2/O_2=1$ の場合の音速および断熱指数の変化を温度の関数として示した。

(e) 理論燃焼温度

燃料が燃焼する場合の燃焼温度は、燃焼生成物の単位質量に対応する燃料の燃焼生成熱 ΔH と酸化剤のもつエンタルピー h_0 との

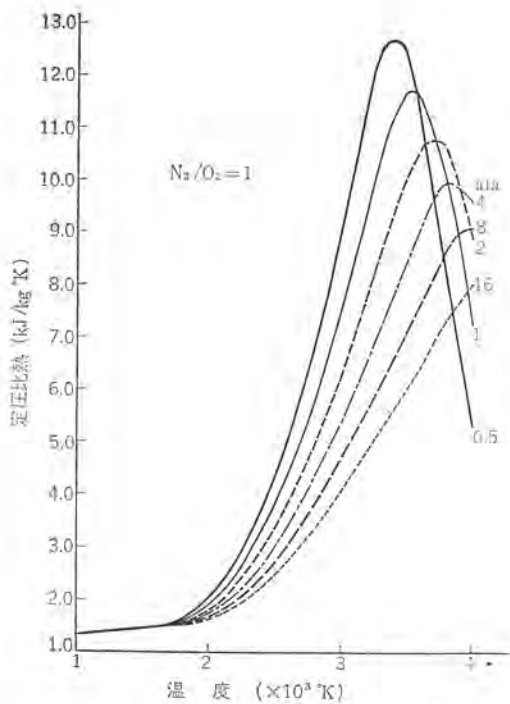


図 4.4 定圧比熱と温度との関係
Fig. 4.4 Specific heat of combustion gas of heavy oil at constant pressure as a function of temperature

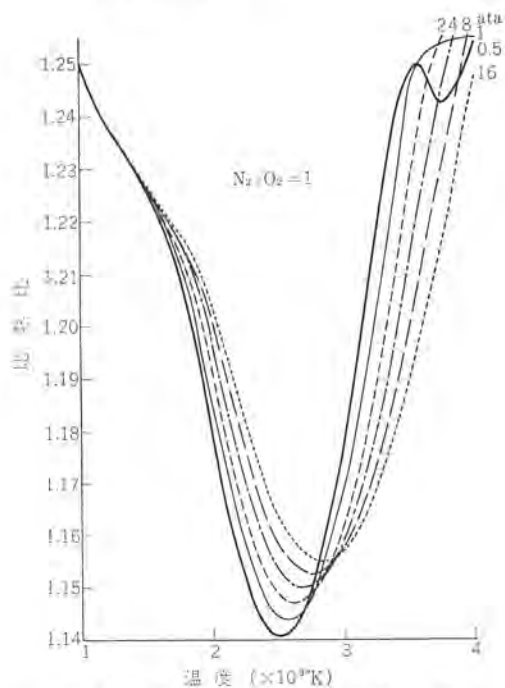


図 4.5 比熱比と温度との関係
Fig. 4.5 Ratio of specific heats of combustion gas of heavy oil as a function of temperature.

和が式 (4.9) で与えられる燃焼生成物の単位質量当たりのエンタルピー h に等しいときの温度で与えられる。すなわち、

$$h(T) = \Delta H + h_0$$

となる温度を求めればよい。図 4.8 は重油の総発熱量を 10,300 kcal/kg とし、酸化剤に混合する空気温度を 300°K, 1,000°K, 1,500°K にそれぞれ予熱した場合の理論燃焼温度を N_2/O_2 比の関数として示したものである。

5. む す び

気体空間を構成する粒子の分光学的基礎特性さえ与えれば、任
高温気体の熱力学的特性の解析・伊藤・村井

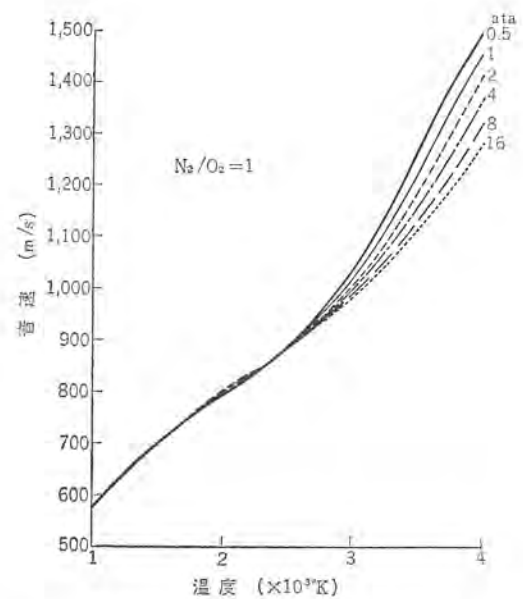


図 4.6 音速と温度との関係
Fig. 4.6 Sound speed of combustion gas of heavy oil as a function of temperature.

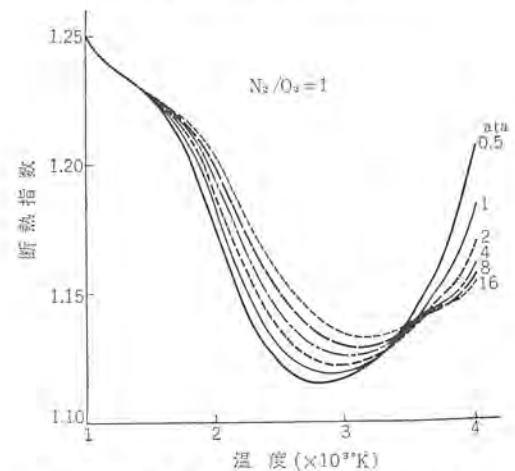


図 4.7 断熱指数と温度との関係
Fig. 4.7 Adiabatic index of combustion gas of heavy oil as a function of temperature.

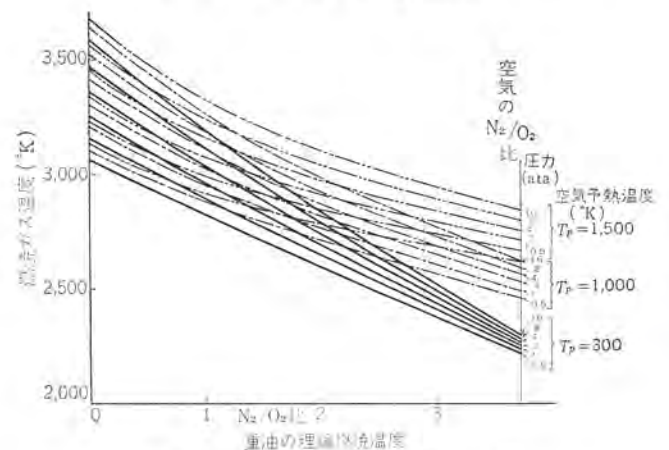


図 4.8 重油の理論燃焼温度
Fig. 4.8 Combustion temperature of combustion gas of heavy oil as a function of N_2/O_2 .

意の気体空間について、気体分子の解離状態から始めて、高温における熱力学的な特性を解析する一般的な方法を論じた。そして一例として オールサイクル MHD 発電機の作業流体に適用されることが予想されている重油燃焼生成物について、その熱力学的

特性に関する計算結果を示した。

すなわち重油燃焼生成物の場合、2,000°K 以下の温度では近似的に理想気体として取り扱うことができるが、それ以上の温度では、分子の解離が進行し解離熱が空間に放出されるので、熱力学的特性は理想気体のそれから大きくずれ、たとえば定圧比熱の急激な上昇をきたし、断熱指数が極端に1に近づくという重要な事柄を明らかにした。

なお筆者らはすでにこの方法を SF₆ シェア断器内のアーク空間の解析、特殊な水銀 ランプ 内の現象の解析などにも適用して興味

ある結果を得ているが、これについては別の機会にゆずる。

最後に本計算に御協力いただいた本社企画部技術計算課の遠藤技師に謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) Charlotte E. Moor: Atomic Energy Levels, (N.B.S) 1949.
- (2) G. Herzberg: Spectra of Diatomic Molecules, (D. Van Nostrand C.) 1950.

付 録 Newton Raphson 法による近似解法

近似解法としては各種の方法が提案されているが、この場合には Newton-Raphson の方法がもっとも適していると思われるので、この方法の適用について述べる。

式 (3.10) の一次展開を求めると次のようになる。

$$[C][y + \Delta y] = [\ln K_p'] \quad (\text{A} \cdot 1)$$

$$[\nu''] [e^y + e^y \Delta y] = [1] \quad (\text{A} \cdot 2)$$

ここに、

$$y = \ln x$$

$$[y + \Delta y] = \begin{bmatrix} y_1 + \Delta y_1 \\ \vdots \\ y_{N_s} + \Delta y_{N_s} \end{bmatrix} [e^y + e^y \Delta y] = \begin{bmatrix} e^{y_1} + e^{y_1} \Delta y_1 \\ \vdots \\ e^{y_{N_s}} + e^{y_{N_s}} \Delta y_{N_s} \end{bmatrix}$$

$[y]$ の初期値を $[y_r]$ とすれば式 (A・1), (A・2) から次式が得られる。

$$[C][\Delta y] = [\ln K_p'] - [C][y_r] \quad (\text{A} \cdot 3)$$

$$[\nu''] [e^{y_r} \Delta y] = [1] - [\nu''] [e^{y_r}] \quad (\text{A} \cdot 4)$$

これは Δy に関する連立一次方程式であるから $[y_r]$ が求められれば Δy を容易に求めることができる。

以上が Newton-Raphson 法の原理であるが、つぎに $[y_r]$ の求め方および誤差の計算方法について述べる。

(1) 初期値 y_r の選定法

混合気体の場合、300°K 近傍の温度では、もっとも安定な系以外の系の存在はほとんど無視できるので $[y_r]$ を容易に推定することができる。

一般に安定な系の数は成分の数 N_c と一致するので次のようにして 300°K に対する $[y_r]$ を決定することができる。式 (3.10) から解くべき連立方程式は次のようになる。

$$[C][y_r] = [\ln K_p'] \quad (\text{A} \cdot 5)$$

$$[\nu''] [e^{y_r}] = [1] \quad (\text{A} \cdot 6)$$

まず式 (A・6) で $e^{y_{rN_c+1}}, \dots, e^{y_{rN_s}}$ を 0 とおくと式 (A・6) は、

$$[\nu''] \begin{bmatrix} e^{y_{r1}} \\ \vdots \\ e^{y_{rN_c}} \end{bmatrix} = [1]$$

となり、これから $e^{y_{r1}}, \dots, e^{y_{rN_c}}$ を決定することができる。このようにして決定された $y_{r1}, \dots, y_{rN_c}$ を式 (A・5) に代入して上で負の無限大と仮定した $y_{rN_c+1}, \dots, y_{rN_s}$ を有限な値として決定することが可能となる。

(2) 誤差の検討

解くべき方程式は、

$$\{[C][y] = [\ln K_p'] \quad (\text{A} \cdot 7)$$

$$[\nu''] [e^y] = [1] \quad (\text{A} \cdot 8)$$

の形を有しているが、これを各行についてみると、

$$f(y_1, \dots, y_{N_s}) = 0 \quad (\text{A} \cdot 9)$$

の一般形で表現できることは明らかである。そこで式 (A・9) を y_r の近傍で二次まで Taylor 展開すると、

$$\begin{aligned} f(y_1, \dots, y_{N_s}) &= f(y_{r1}, \dots, y_{rN_s}) + \left(\Delta h_1 \frac{\partial}{\partial y_1} + \dots + \Delta h_{N_s} \frac{\partial}{\partial y_{N_s}} \right) \\ &\times f(y_{r1}, \dots, y_{rN_s}) + \frac{1}{2!} \left(\Delta h_1 \frac{\partial}{\partial y_1} + \dots + \Delta h_{N_s} \frac{\partial}{\partial y_{N_s}} \right)^2 \\ &\times f(y_{r1}, \dots, y_{rN_s}) = 0 \quad (\text{A} \cdot 10) \end{aligned}$$

ここに、

$$\Delta h_i = y_i - y_{ri}$$

ここで Newton-Raphson の方法で求められた近似値を $(y_{ri} + \Delta y_i)$ とすると、 Δy_i は次式を満足する。

$$\left(1 + \Delta y_1 \frac{\partial}{\partial y_1} + \dots + \Delta y_{N_s} \frac{\partial}{\partial y_{N_s}} \right) f(y_{r1}, \dots, y_{rN_s}) = 0 \quad (\text{A} \cdot 11)$$

式 (A・10) と式 (A・11) とから次式が得られる。

$$\begin{aligned} &\left\{ (\Delta h_1 - \Delta y_1) \frac{\partial}{\partial y_1} + \dots + (\Delta h_{N_s} - \Delta y_{N_s}) \frac{\partial}{\partial y_{N_s}} \right\} f(y_{r1}, \dots, y_{rN_s}) \\ &= -\frac{1}{2} \left(\Delta h_1 \frac{\partial}{\partial y_1} + \dots + \Delta h_{N_s} \frac{\partial}{\partial y_{N_s}} \right)^2 f(y_{r1}, \dots, y_{rN_s}) \\ &\doteq -\frac{1}{2} \left(\Delta y_1 \frac{\partial}{\partial y_1} + \dots + \Delta y_{N_s} \frac{\partial}{\partial y_{N_s}} \right)^2 f(y_{r1}, \dots, y_{rN_s}) \quad (\text{A} \cdot 12) \end{aligned}$$

上述の方法を式 (A・7), (A・8) の各行に適用すると、けっきょく誤差に関する次の方程式が得られる。

$$\begin{aligned} &\begin{bmatrix} C_{11} & \dots & C_{1N_s} \\ \vdots & & \vdots \\ C_{N_s-N_c+1,1} & \dots & C_{N_s-N_c+1,N_s} \\ \nu''_{11} e^{y_{r1}} & \dots & \nu''_{1N_s} e^{y_{rN_s}} \\ \vdots & & \vdots \\ \nu''_{N_c+1,1} e^{y_{r1}} & \dots & \nu''_{N_c+1,N_s} e^{y_{rN_s}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta h_1 - \Delta y_1 \\ \vdots \\ \Delta h_{N_s} - \Delta y_{N_s} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ -\frac{1}{2} (\nu''_{11} e^{y_{r1}} \Delta y_1^2 + \dots + \nu''_{1N_s} e^{y_{rN_s}} \Delta y_{N_s}^2) \\ \vdots \\ -\frac{1}{2} (\nu''_{N_c+1,1} e^{y_{r1}} \Delta y_1^2 + \dots + \nu''_{N_c+1,N_s} e^{y_{rN_s}} \Delta y_{N_s}^2) \end{bmatrix} \quad (\text{A} \cdot 13) \end{aligned}$$

不飽和ポリエステル粘弾性

柴山 恭一*・鈴木 康弘**

Viscoelastic Properties of Unsaturated Polyesters

Central Research Laboratory Kyōichi SHIBAYAMA・Yasuhiro SUZUKI

Mechanical properties of unsaturated polyesters, a typical example of network polymers, were studied in a glass to rubber region. The frequency dispersion of dynamic modulus, the temperature dependence of relaxation time and the thermal expansion behaviors were investigated on a homologous series of polyesters with varying network density. Effect of the network density is found to appear through a change in the amount of free volume of the system. Localization of the restriction due to network junctions is shown an essential feature of the network system. Study was also made on behaviors arising from structural heterogeneities. The broadening of viscoelastic dispersion for which heterogeneity in a molecular chain would be responsible, and the appearance of multiple dispersion which would be caused by heterogeneity in the mode of aggregation of molecular chains are found to be realized by using a mixture of vinylmonomers and by blending two kinds of polyesters, respectively.

1. ま え が き

不飽和ポリエステルはポリエステル分子鎖中の不飽和結合がビニル単量体と共重合し、三次元的に発達した巨大網目構造を形成するもので、エポキシ樹脂とならんで熱硬化性樹脂の代表例の一つであり、注形、コイル含浸、被層などの用途に広く使用されている。硬化時の収縮や耐薬品性の点ではエポキシ樹脂がまさるが他方不飽和ポリエステルは低粘度で取り扱えること、すぐれた誘電性質さらに一般的に低価格であることなどの特長をもち、それぞれに適した用途が開かれている。

不飽和ポリエステルやエポキシ樹脂の名で総称されるものの中にも、その構成単位の種類や網目構造の差によって広範囲の性質のものが得られる。経済性や機器性能を考えるとすでに工業材料としてかなりの実績をもつ、これらのプラスチックについても目的に最適のものを採用し、また必要な新しい性質をつけ加えてゆく努力がなされねばならない。そのため、まず必要なことはそれらのもつ性質が各種の構造要因によってどのように影響されるかについてよい見通しを持つことである。われわれは、ここで不飽和ポリエステルを現実利用されている重要な例であると同時に、網目高分子一般に対する一つの代表例として取り上げ、材料として基本的に重要な力学的性質について研究した結果を述べる。

網目高分子にはいわゆる熱硬化性樹脂のほかに加硫ゴムや放射線または化学的手段で橋かけ処理したものが含まれるが、いずれにおいても本質的問題は一次元的に成長した分子鎖のところで、網目結合が存在し、全体として三次元的な網目構造を形成することである。網目構造について最初に知らねばならない要点は分子鎖上に存在する網目結合という特異点の効果であり、これは各種特性の網目密度依存性を調べることによって追究される。

次に問題になるのは構造の微視的な均一性である。この問題については線状高分子ではある程度の知識が得られている。要素的単位(単量体)が連結して分子鎖をつくり、分子鎖が集合して巨視的寸法の高分子ができるという各レベルでの均一性が一般的には考慮されねばならない。単位が1種類のときは分子鎖の集合様式の段階で結晶組織が問題になる。単位が2種類以上である場合

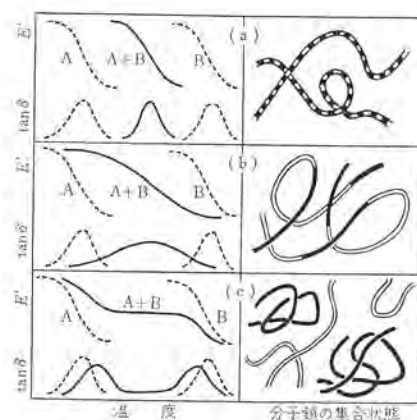


図 1.1 構造単位の共存様式による粘弾性分散の変化
Fig. 1.1 Changes in viscoelastic dispersion caused by the mode of coexistence of structural units.

には結晶の問題を別にしても1本の分子鎖中での単位の分布、異なった単位からなる分子鎖の相溶性が限られている場合の多相構造の示す効果が知られている。2種類の単位からなる線状高分子の力学的性質はそれらの単位の共存様式によって図1.1に示したような三つの場合がある。

(a) は2種類の単位が交互にまたは無秩序に連結した共重合体に見られ、A、Bそれぞれの単位だけからなる高分子の中間の温度域に両者の中間程度の鋭さの弾性率の分散がある。この場合分子鎖として新しい性質をもつに至ったと考えられ1種類の単位からなる高分子と同様に扱うことができる。

(b) では中間の温度域に幅広い分散が観察され、相溶性のよい2種類の分子鎖が分子状に均一混合する場合や、一方の単位がある程度かたよって存在する共重合体の場合にみられ、分子鎖としてはそれぞれの単位のみからなる高分子の特長を保ちながら、分散は単一の機構で生じているものと考えられる。

(c) はそれぞれの単位からなる高分子の分散域に近いところで段階的な分散があり、相溶性の限られている分子鎖の混合物やブロックまたはグラフト重合体のある場合に観察されている。この場合それぞれの分子鎖が力学的な応答単位として挙動するための十

分な大きさに集合した相として共存すると考えられる。構造上のこれらの差は実用的にも重要であって、たとえば図 1.1 (b) のように設計された高分子は感温性が小さく使用温度範囲はより広がる。また (c) の場合は相の境界面での結合を強固なものにすれば、一方の相が緩衝単位として働き耐衝撃性や耐摩耗性などを飛躍的に向上させることが可能であろう。ABS 樹脂などはその顕著な例と考えられる。

高分子は天然に生体構成要素として広く存在するが、いずれも均質な構造であることは少なく高度に組織化された構造によってそれぞれの機能を発揮している。合成高分子において意識的に不均一構造をとらせることは将来組織構造によって特定の機能を強調した新しい用途を開くことの一つの出発点とも考えられる。網目高分子では分子鎖が共有結合で結ばれているために図 1.1 に示したような共存様式はかなり改変されると考えられる。また不飽和ポリエステルのように比較的低分子量の多官能性 プレポリマ の重合によって網目を形成させる場合、図 1.1 の (c), (d) のような挙動が見られるかどうかについても明確な知見は得られていない。

この報告では次のこと目的として研究を行なった。

- (1) 均一構造体について網目密度の効果を定量的に知ること
- (2) 不飽和ポリエステルにおいて各レベルでの不均一構造がどのように実現されるかを知ること。

2. 均一構造体における網目密度の効果

2.1 結果と解析法

表 2.1 に示したようにグリコル成分にジェチレンジグリコルを用い、コハク酸とフマル酸のモル比を変えることにより不飽和基濃度の異なるポリエステルをつくり、ビニル単量体と共重合したものを試料とした。フマル酸残基が網目結合点になることを除いては鎖員としてコハク酸残基と同等と考えると、この方法によって網目密度のみ異なる同族高分子が得られる。網目密度 ρ はゴム弾性の統計理論を用いて高温のゴム弾性率の値から計算することができるが、ここで得た試料については網目密度がかなり高いため理論の適用の可否は検討を要する。そこでここではフマル酸単位が定量的に網目結合になるものとして樹脂単位重量あたりのフマル酸のモル数を ρ の表示とした。この 3 系列の試料についての動的弾性率と力学的 $\tan \delta$ の測定結果は、図 2.1, 2.2 に例示したように各系列とも網

目密度が増すと分散域は高温側に移動し、またこの範囲では単一の分散しか観察されない。 $\tan \delta$ の温度依存性は先に報告したように⁽¹⁾、動的弾性率 E' の周波数依存性が緩和弾性率に対して Tobolsky が与えた経験式⁽²⁾と同形の式 (2.1) で示されまた緩和時間の温度依存性が WLF 式で従うと仮定すれば式 (2.2) のように書かれる。

$$\log E'(\omega) = \frac{1}{2} [\log E_1' \cdot E_2' + \log E_1' / E_2' \cdot \operatorname{erf} \{h \log \omega / k\}] \quad (2.1)$$

$$\tan \delta(T) = \sqrt{\pi} / 2 \cdot h \cdot \log E_1' / E_2' \cdot$$

$$\exp [-\{h C_1 (T - T_m) / (C_2 + T - T_m)\}^2] \cdots (2.2)$$

ここで E_1' と E_2' はそれぞれ ガラス 状態および ゴム 状態での動的弾性率、 h は周波数分散の鋭さを示すパラメタ、 C_1 と C_2 は WLF 式中の定数、 h は $\log E_1' = 1/2 \cdot (\log E_1' E_2')$ に相当する周波数である。式 (2.1) から式 (2.2) の誘導は本質的には Schwarzl-Staverman 近似と同様である。式 (2.2) を用いて単一周波数での温度分散の測定から周波数分散の鋭さ h および緩和時間の温度依存性 C_1 C_2 の両者に関する知識が得られる。この目的のためには式 (2.1) から得られる式 (2.3), (2.4) を使用するのが便利である。

$$h = 2 \tan \delta(T_m) / [\sqrt{\pi} \log (E_1' / E_2')] \cdots (2.3)$$

$$h C_1 (T - T_m) / (C_2 + T - T_m) = \frac{1}{2} \log \{ \tan \delta(T_m) / \tan \delta(T) \} \cdots (2.4)$$

式 (2.3) で h を求め、その値を用いて式 (2.4) から C_1 と C_2 を知ることができる。図 2.3 に式 (2.4) のプロットの例を示した。こうして得られた C_1 と C_2 は式 (2.5), (2.6) によってガラス転移温度

表 2.1 試料の組成

試料 番号	ポリエステル (1) (mol)			ビニル単量体 (2) (mol)		ρ (3) (mol/g)
	フマル酸	コハク酸	ジェチレンジグリコール	スチレン	酢ビ	
S-1	0.30	0.70	1.05	1.00	0.00	1.71×10^{-3}
S-2	0.35	0.65	1.05			2.00×10^{-3}
S-3	0.50	0.50	1.05			2.86×10^{-3}
S-4	0.60	0.40	1.05			3.44×10^{-3}
S-5	0.70	0.30	1.05			4.02×10^{-3}
SA3-1~5	S 系列と同じ			0.70	0.30	S 系列と同じ
SA5-1~5	S 系列と同じ			0.50	0.50	S 系列と同じ

(1) 常法によりエステル化 (170~200°C, 酸価 20)

(2) 樹脂 70 部に対し 30 部、硬化条件: 1% BPO, 2h, at 80°C, 2h, at 100°C, 5h, at 130°C, 8hr, at 150°C/0.1 mmHg.

(3) 樹脂単位重量あたりのフマル酸モル数

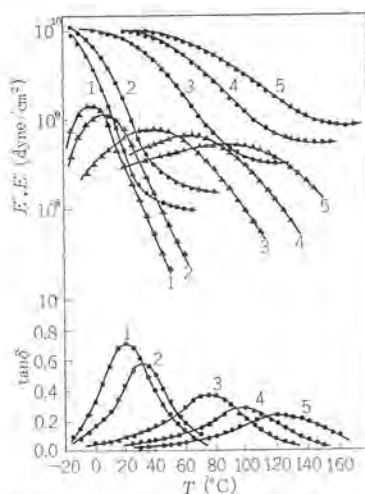


図 2.1 S 系列の粘弾性温度分散 (138c/s)
Fig. 2.1 Plots of E' , E'' , and $\tan \delta$ vs temperature for series S (138c/s).

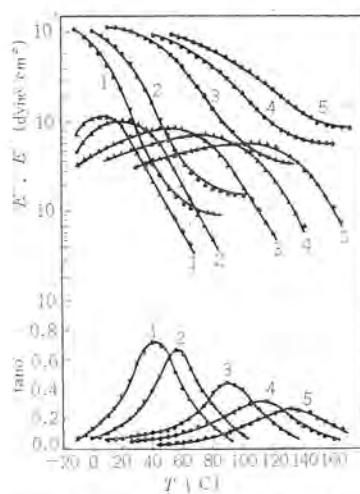


図 2.2 SA 5 系列の粘弾性温度分散 (138c/s)
Fig. 2.2 Plots of E' , E'' and $\tan \delta$ vs temperature for series SA5 (138c/s).

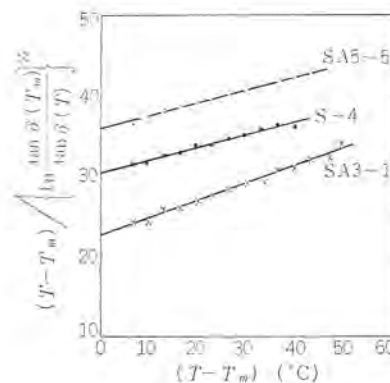


図 2.3 WLF プロットの例
Fig. 2.3 Example of WLF plots.

表 2.2 粘弾性を特長づける パラメータ

試料 No.	h	C_1	C_2	f_g	α_f
S-1	0.397	18.1	78.5	0.0233	3.07×10^{-4}
S-2	0.415	18.9	73.5	0.0230	3.13
S-3	0.323	30.5	93.7	0.0142	1.52
S-4	0.266	41.0	105.5	0.0105	1.00
S-5	0.259	51.3	267.0	0.0085	0.31
SA3-1	0.374	18.6	82.0	0.0233	2.86×10^{-4}
SA3-2	0.333	22.1	88.5	0.0197	2.23
SA3-3	0.307	30.7	110.3	0.0141	1.28
SA3-4	0.250	45.7	147.8	0.0095	0.65
SA3-5	0.238	55.3	256.0	0.0079	0.31
SA5-1	0.384	15.2	79.3	0.0286	3.63×10^{-4}
SA5-2	0.341	16.8	79.5	0.0258	3.25
SA5-3	0.286	31.2	74.1	0.0139	1.88
SA5-4	0.252	40.0	104.0	0.0109	1.05
SA5-5	0.234	50.2	171.5	0.0085	0.51

T_g に関する値 C_1^g と C_2^g に変換される.

$$C_1^g = C_1 C_2 / (C_2 + T_g - T_m) \quad (2.5)$$

$$C_2^g = C_2 + T_g - T_m \quad (2.6)$$

WLF 式と Doolittle 式の比較によって T_g での自由体積分率 f_g および自由体積の熱膨張係数 α_f は式(2.7), (2.8)で計算される.

$$f_g = 1/2.303 C_1^g \quad (2.7)$$

$$\alpha_f = 1/2.303 C_1^g \cdot C_2^g \quad (2.8)$$

このようにして粘弾性の温度分散曲線の形は f_g , α_f および h の三つのパラメータで表わされることになる. なお式(2.5), (2.6)中の T_g に対してはあとに述べる凍結過程開始の温度 T_{g2} を用いた. 表 2.2 に粘弾性を特長づける諸数値をまとめた. 図 2.4, 2.5 に比体積温度曲線を例示した. 比体積は屈折率の温度変化から Lorenz Lorentz の関係を用いて計算したものである. C_1 と C_2 に対する規準温度 T_g を決定することと, さらに f_g および α_f の値と比較検討するために熱膨張の測定を粘弾性とあわせて行なうことは有用である. 図で明らかなように各場合とも二つの屈折点が認められ, 低温側の屈折点 T_{g1} は系列によらず $-20 \sim 10^\circ\text{C}$ の範囲にあり, 高温側の屈折点 T_{g2} は $\text{SA5} < \text{SA3} < \text{S}$ の順序で高くなっている. 同一系列内では T_{g1} , T_{g2} ともに網目密度とともに上昇する. 比体積温度曲線には 100°C までの範囲にこのほかの異常は認められなかった. 表 2.3 に熱膨張に関する諸数値をまとめた. T_{g1} 以下の熱膨張係数は測定温度範囲がせまく不正確であるため省略した. T_{g2} 以上での膨張係数の値は網目密度が増すと小さくなる傾向が明らかである. 比屈折の値は屈折率から比体積

表 2.3 比体積の温度依存性を特長づける パラメータ

試料 No.	$T_{g1} (^\circ\text{C})$	$T_{g2} (^\circ\text{C})$	$v_g (\text{cc/g})$	α_a	r
S-1	-23	4	0.783	4.69×10^{-4}	0.2453
S-2	-19	11	0.790	4.50	0.2443
S-3	-16	20	0.787	3.48	0.2445
S-4	-13	28	0.785	2.73	0.2440
S-5	-11	32	0.784	2.25	0.2442
SA3-1	-22	2	0.785	4.76×10^{-4}	0.2391
SA3-2	-18	8	0.782	4.35	0.2386
SA3-3	-14	16	0.778	3.91	0.2381
SA3-4	-11	24	0.773	2.42	0.2386
SA3-5	-10	27	0.772	2.38	0.2385
SA5-1	-22	1	0.779	4.58×10^{-4}	0.2351
SA5-2	-18	6	0.776	4.41	0.2344
SA5-3	-13	14	0.771	3.57	0.2341
SA5-4	-11	19	0.767	2.67	0.2343
SA5-5	-7	25	0.763	2.08	0.2337

を計算する途上で得られるが, 同一系列内では大体一定値を保っており各系列が化学的には同族体であるための必要条件をみたしている.

2.2 ガラス転移

先に報告したように, 網目の束縛が橋かけ点近傍に局在化されると仮定すれば橋かけ密度が ρ_0 から ρ へ増加するときの比体積の変化 Δv は式(2.9)によって示される.

$$\Delta v = -a \ln(\rho/\rho_0) \quad (2.9)$$

ここで a は $0.02 \sim 0.04$ の範囲の値をもつ比例定数で, 多くの高分子の自由体積分率の値とより一致を示す. 図 2.4, 2.5 のデータから Δv を ρ の対数に対してプロットすると図 2.6 のようになり, 式(2.9)から期待される直線関係を各系列とも示す. a の値は単量体混合物中の酢ビの割合の増加とともに大きくなる傾向が明らかで, 橋かけに伴う体積収縮は分子鎖の性質に依存性があることを示し, 橋かけ点近傍ではポリ酢酸ビニル連鎖はポリスチレン連鎖より分子鎖のより密な充填状態をとりうると考えられる.

橋かけ密度とガラス転移温度の関係は式(2.10)により表わされ, この関係は多くの橋かけ高分子について有用性が確かめられている.⁽³⁾⁽⁴⁾

$$T_g = K_1 \ln K_2 \rho \quad (2.10)$$

ここで K_1 , K_2 は同族系列の高分子に対する定数である. T_{g1} , T_{g2} と網目密度の関係は図 2.7 に示したように式(2.10)の形にしたがう. T_{g1} については 3 系列とも K_1 , K_2 は大体同一であるが T_{g2} については各系列によって網目密度依存性は異なっている.

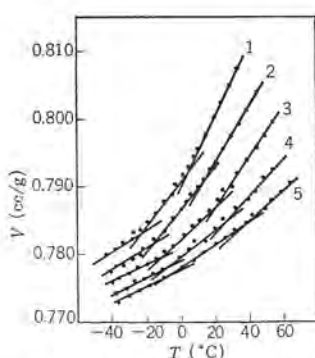


図 2.4 S 系列の比体積温度曲線
Fig. 2.4 Specific volume vs temperature curves of series S.

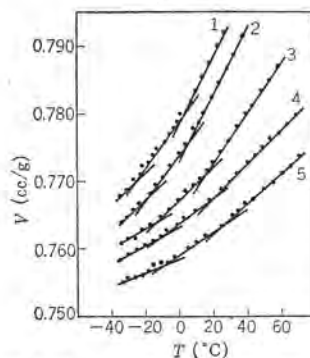


図 2.5 SA5 系列の比体積温度曲線
Fig. 2.5 Specific volume vs temperature curves of series SA5.

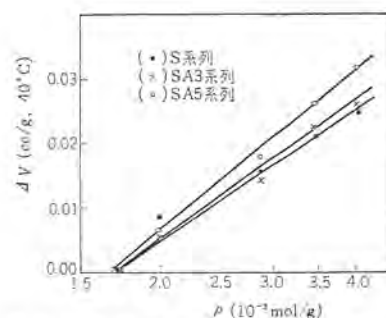


図 2.6 比体積の変化 Δv と網目密度 ρ の関係
Fig. 2.6 Change in specific volume Δv vs network density ρ .

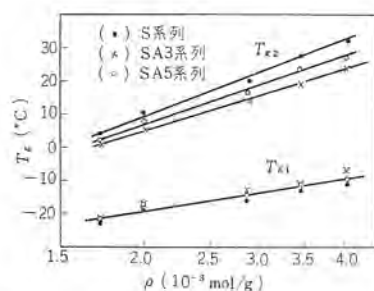


図 2.7 ガラス温度 T_g と網目密度 ρ の関係
Fig. 2.7 Glass temperature T_g vs network density ρ .

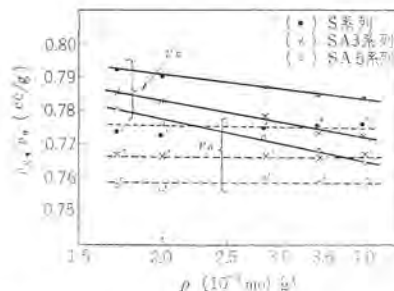


図 2.8 T_{g2} における比体積 v_0 , 占有体積 v_0 と網目密度 ρ の関係
Fig. 2.8 Specific volume at T_{g2} v_0 and occupied volume v_0 vs network density ρ .

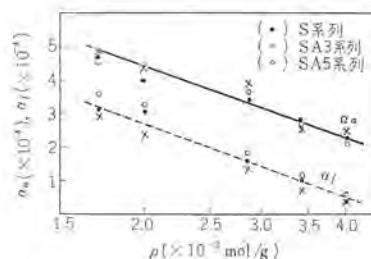


図 2.9 熱膨張係数 α_g , 自由体積の熱膨張係数 α_f と網目密度 ρ との関係
Fig. 2.9 Thermal expansion coefficient α_g and expansion coefficient of free volume α_f vs network.

網目密度依存性におけるこの差違は K_2 の値について顕著で、これは一般の共重合系における観察と一致した傾向である。 T_{g1} , T_{g2} はこのように網目密度に対していくぶん異なった依存性を示すが、このことだけでこれら二つの温度において異なった機構に基づく転移が生じていると結論するのは早計である。

T_{g1} と T_{g2} の間の温度差も二つの機構を必然的に考えねばならぬほど大きいものではない。Hideshima⁽⁵⁾ は緩和効果のためにガラス転移はある温度で鋭く起こるものではなく、ある温度範囲にわたって起こり、その範囲の両端では比体積が急激に変化することを指摘した。この考えに従えば、 T_{g2} と T_{g1} はそれぞれ凍結過程の開始と終了の温度を示すものと考えられ、さらに $\tan \delta$ が単一のスムーズな極大を示すことからこの解釈が支持される。凍結過程の開始と終了が、それぞれ剛直なポリスチレン鎖長とポリエステル主鎖の組成によって影響されると考えるのは自然である。

表 2.2 からわかるように T_{g2} での自由体積分率 f_g は ρ の増加にともない減少している。このような f_g の ρ 依存性は一本の分子鎖に沿った自由体積の局所的な分布を想定して修正したなど自由体積⁽⁴⁾の考えと一致する。 $v_0 = v_0(1 - f_g)$ の関係からとめた占有体積の値 v_0 は図 2.8 に示したように一つの系列では一定となる。このことから、橋かけのおもな効果を自由体積量を減少させることにあると結論される。

2.3 熱膨張

図 2.9 に示したように、 T_{g2} 以上の温度範囲での熱膨張係数 α_g は ρ の増加とともに規則的に減少する。WLF 式から求めた自由体積の熱膨張係数 α_f も同様な ρ 依存性を示す。 $(\alpha_g - \alpha_f)$ の値は約 1.8×10^{-4} の値を示し、これは多くの高分子に対して観測された T_g 以下の膨張係数と一致する。 T_{g2} 以上の熱膨張は一般的には自由体積の増加によるものである。Gibbs および Dimarzio は無定形線状高分子に対して擬格子理論を展開し、空孔の数 n_0 の最確値は式(2.11)で表わされることを示した。

$$\ln(\bar{V}_0(z-1)/S_0 z^2) - (z\varepsilon S_0^2/2kT) = 0 \quad (2.11)$$

ここで $S_0 = [(z-2)x + 2]n_x / [(z-2)x + 2](n_x + \pi n_0)$

$$S_0 = 1 - S_0, \bar{V}_0 = n_0 / (xn_x + \pi n_0)$$

z は格子の配位数、 ε は隣接セグメント対間の相互作用エネルギー、 x は重合度、 n_x は高分子の数である。自由体積分率 f_g の温度依存性は $x \gg 1$, $xn_x/n_0 \gg 1$ として $z = 4$ と仮定すると式(2.11)から、式(2.12)のように表現できる。

$$f_g \approx n_0/xn_x = 1/4 \cdot \exp\{-2\varepsilon/kT\} \quad (2.12)$$

式(2.12)は平井によって以前に導かれた結果と本質的には同一である。式(2.12)を一般的な自由体積分率の表現式

$f = f_g + \alpha'_f(T - T_{g2})$ と対応させれば式(2.13)を得る。

表 2.4 α_f と α'_f の比較

試料 No.	α_f	α'_f
S-1	3.07×10^{-4}	1.99×10^{-4}
S-2	3.13	1.92
S-3	1.52	1.38
S-4	1.00	1.09
S-5	0.31	0.94
SA3-1	2.86×10^{-4}	2.00×10^{-4}
SA3-2	2.23	1.77
SA3-3	1.28	1.40
SA3-4	0.65	1.05
SA3-5	0.31	0.91
SA5-1	3.63×10^{-4}	2.26×10^{-4}
SA5-2	3.25	2.09
SA5-3	1.88	1.39
SA5-4	1.05	1.16
SA5-5	0.51	0.96

$$\alpha'_f T_g = -f_g \ln(4f_g) \quad (2.13)$$

式(2.13)の左辺は多くの高分子に認められたように⁽⁸⁾⁽⁹⁾, f_g を定数とみなせば一定になることが期待される。われわれの場合、表 2.2 でわかるように f_g は一定でなく ρ 依存性を示す。自由体積の増加に必要なエネルギーは網目高分子に対しては分子鎖が互いに共有結合によって結びあっているから大きくなることが考えられる。表 2.2 で示した f_g と T_{g2} の値を用いると式(2.12)から ε はただちに計算でき、それは ρ とともに増加することが明らかである。式(2.9), (2.10) が現在の試料に対してもなり立つ、いはいかえれば網目結合の効果がエネルギー ε の増加によってもっぱら与えられるものと仮定すれば、表 2.2 で得た T_{g2} と f_g の値を用い式(2.13)により α'_f を計算でき、これは α_f と同一値を示すことが期待される。

表 2.4 に示したように計算した α'_f は α_f と一致しない。 α_f は ρ の増加によって α'_f よりもより急激に減少し、この不一致は式(2.11)から(2.12)の誘導が正しいものとすれば Gibbs-Dimarzio の理論が適用されないか、あるいは WLF 式が成立しないかのいずれかの原因によると考えられる。しかし WLF 式が図 2.3 に示したように、よくなりたつことから考えて Gibbs-Dimarzio の理論は網目高分子に対してはそのままでは適用できないと結論するのが妥当である。網目結合の導入はエネルギー ε だけでなく、系の配位エントロピーにも影響を与えると考えるべきである。空孔の数 n_0 の増加は一般に分子鎖の再配列の可能な数を増加させるが、その増加割合は網目結合の導入によって抑制され有効でなくなる。そのためにエネルギー ε だけを考慮した式(2.13)による計算値 α'_f

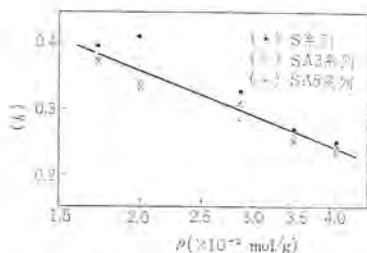


図 2.10 周波数分散の鋭さと網目密度 ρ の関係

Fig. 2.10 Steepness of frequency dispersion h vs network density ρ .

に比べ α_f はより急激な減小を示すと考えることができる。

2.4 周波数依存性

図 2.10 に示したように周波数分散の鋭さを表わすパラメタ h は ρ の増加とともに規則的に減小する。 h の値は緩和スペクトルの傾斜と定性的に一致する。粘弾性の分子理論として提出された Rouse 理論に規則的な網目構造を考慮してもスペクトルの形は変わらないことが知られている。 h の ρ 依存性においても、 ρ の増加によって Rouse 理論では考慮されなかった網目構造上の特殊性が積み重ねられてゆくことを考慮することが必要と思われる。この挙動に対する一つの説明として網目結合点にはさまれた分子鎖の鎖長分布が ρ の増加に伴い不均一になることがあげられる。しかし網目密度の増加が鎖長分布の不均一化をもたらす必然性は必ずしも強いとは考えられない。われわれは先に ladder network model のアナログ計算機による解析の結果、周波数分散の鋭さが網目結合による束縛の空間的集中を考慮した場合、顕著に変化することを知った。⁽¹²⁾ 網目結合による束縛の集中効果はガラス-ゴム転移域の粘弾性関数の形におよぼす網目密度の効果を説明するためのもう一つの機構となる可能性がある。

3. 不均一構造に基づく挙動

3.1 分散の広幅化

2章でジェチレンジグリコルを用いた不飽和ポリエステルについての結果を述べた。その場合ビニル単量体にスチレンを用いてもスチレンと酢酸ビニルの混合物を用いても分散の鋭さに関してはほとんど差が見られなかった。不飽和ポリエステルにおいて図 1.1 (b) に示したような分散の広幅化を実現させるためには図 1.1 に示した線状高分子の場合からの類推では異種ポリエステル一次鎖を混合し、ビニル単量体と共重合硬化させるのが最も可能性のある手段のように思われる。

ところが実際は3.2節で述べるようにこの方法は意外に一般性がないことがわかった。このほかにポリエステルの種類によってはビニル単量体との共重合の様式によって混合ビニル単量体を用いた

表 3.1 混合単量体試料の組成

No.	ポリエステル(1) (mol)			ビニル単量体(2) (mol)		
	フマル酸	コハク酸	プロピレングリコル	系列	スチレン	酢ビ
1	0.2	0.8	1.05	I	1.0	0.0
2	0.3	0.7	1.05	II	0.7	0.3
3	0.4	0.6	1.05	III	0.5	0.5
4	0.5	0.5	1.05	IV	0.3	0.7
5	0.6	0.4	1.05	V	0.0	1.0

(1) 常法によりエステル化 (170~200°C, 酸価 20)

(2) 樹脂 70 部に対し 30 部。硬化条件: 1% BPO, 2h at 80°C, 3h at 100°C, 5h at 130°C, 8h at 150°C/0.1 mmHg.

場合に分子鎖の段階での不均一性が生ずる可能性も考えられる。2章で試料としたジェチレンジグリコルを用いたポリエステルとプロピレングリコルを用いたポリエステルでは、その重合反応性の点で大きな差のあることが経験的に知られている。そこで表 3.1 に示したようにプロピレングリコルをグリコル成分とし、2章と同様にコハク酸とフマル酸のモル比によって不飽和基濃度を変えたポリエステルのスチレンと酢酸ビニルの混合比の異なるビニル単量体と共重合させることにより 5 系列の試料を作成した。図 3.1 に系列 I について例示し

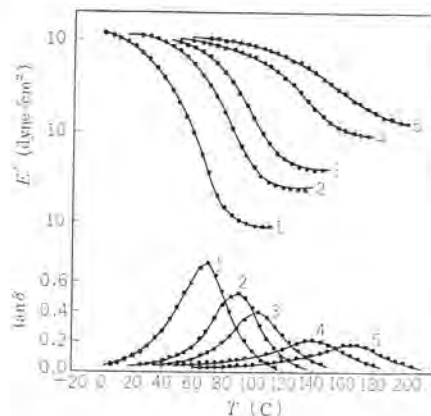


図 3.1 I 系列の粘弾性温度分散

Fig. 3.1 Plots of E' and $\tan\delta$ vs temperature of series I. (138c/s)

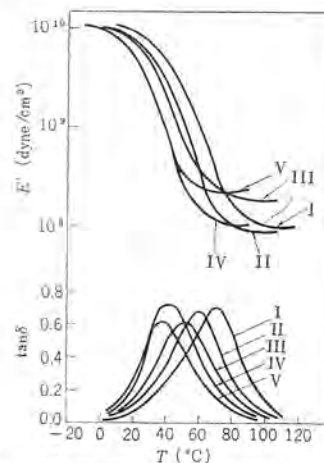


図 3.2 粘弾性分散に及ぼす単量体組成の効果 No.1 (138 c/s)

Fig. 3.2 Effects of monomer compositions on viscoelastic dispersions for No.1. (138c/s).

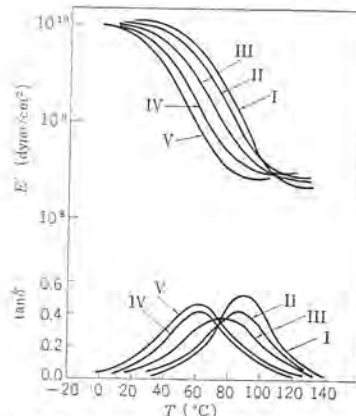


図 3.3 粘弾性分散に及ぼす単量体組成の効果 No.3 (138 c/s)

Fig. 3.3 Effects of monomer compositions on viscoelastic dispersion for No. 3. (138c/s).

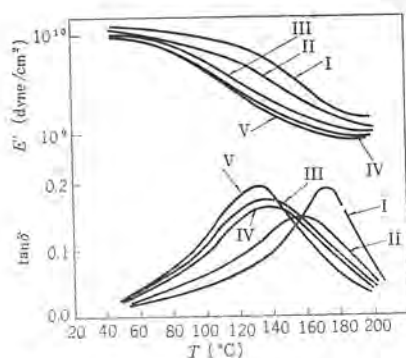


図 3.4 粘弾性分散に及ぼす単量体組成の効果 No.5 138 c/s
Fig. 3.4 Effects of monomer compositions on viscoelastic dispersion of No.5 (138c/s).

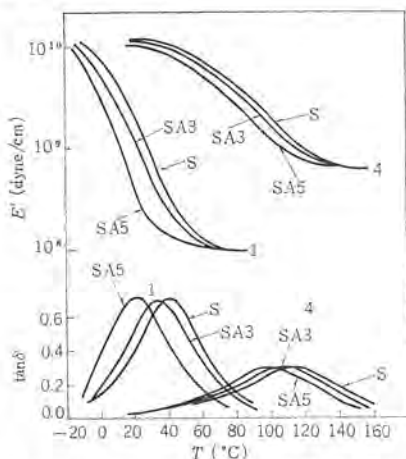


図 3.5 ジエチレングリコールポリエステル の粘弾性分散に及ぼす単量体組成の影響
Fig. 3.5 Influence of monomer composition on viscoelastic dispersion of diethylene glycol polyesters.

たように各系列内の比較では2章で述べたのと定性的に同様な網目密度依存性を示す。

しかし同じ網目密度で系列間の比較を行なうと図3.2~3.4に例示したように単量体混合比によって分散の広幅化が明らかに認められる。参考のために ジエチレングリコール 系についての同様な比較を図3.5に示した、これらの結果は高度に橋かけされた網目高分子においても分子鎖レベルでの構造の不均一性を考慮する必要性を示す実験的知見を得たものといえる。ここで用いた試料は単に相溶性のよい2種類の分子鎖の混合体ではなく、また共重合体としてみた場合はポリエステルと2種類のビニル単量体からなる3元共重合体である、それにもかかわらず、2成分からなる混合系または鎖長分布にカタヨリのある2成分共重合体のような粘弾性挙動を示す理由についてはここで詳しい考慮を行なうことはできないが、分子鎖レベルでの不均一性が必ずしも異種分子鎖の共存や、鎖長分布におけるカタヨリのような簡単な構造要因のみに直接結びつくものではないことを示すものと考えられる。

分散の広幅化は可塑剤や膨潤など低分子物質の共存によっても生じ、その様子は図1.1(b)ときわめてよく類似している⁽¹³⁾。これらの分散の広幅化は経験的事実としては広く知られているが、その機構に関する研究は少ない。筆者らの ladder network model⁽¹²⁾による取り扱いによれば2本の分子鎖の範囲でセグメントの易動性に非対称的な不均一性のあるときに、分散の広幅化が現われるという結論が得られている。このように一般化された解釈にしたがえば不飽和ポリエステルと2種類のビニル単量体の組み合わせにおいてもそれぞれの間の共重合の反応性によっては図3.2~3.4の

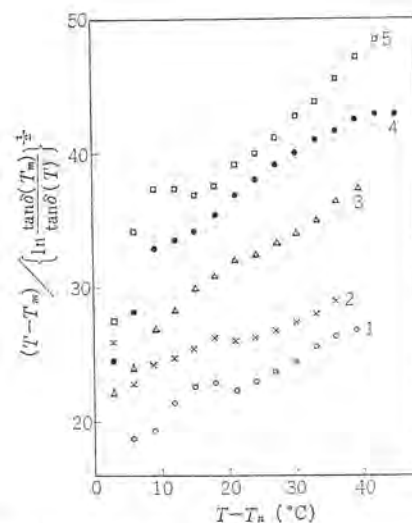


図 3.6 WLFプロットの例 (系列II)
Fig. 3.6 Examples of WLF plots (series II)

表 3.2 各系列の粘弾性を特長づけるパラメータ

I			II			III			IV			V		
No	h	C'	No	h	C'	No	h	C'	No	h	C'	No	h	C'
1	0.41	0.13	1	0.38	0.14	1	0.36	0.14	1	0.43	0.11	1	0.41	0.13
2	0.36	0.14	2	0.31	0.14	2	0.29	0.12	2	0.30	0.13	2	0.34	0.14
3	0.32	0.13	3	0.23	0.15	3	0.22	0.13	3	0.24	0.13	3	0.31	0.13
4	0.24	0.16	4	0.18	0.16	4	0.20	0.13	4	0.23	0.13	4	0.28	0.13
5	0.23	0.13	5	0.17	0.15	5	0.19	0.14	5	0.20	0.14	5	0.23	0.13

ような広幅化を示すような存在状態をとることも可能と考えられる。図3.2~3.4の結果は温度分散の形であって単に分散の鋭さといっても粘弾性の周波数依存性と温度依存性のどちらが影響をうけているかを明らかにしなければならない。式(2.3)を用いて求めた分散の鋭さを示すパラメータ h の値は表3.2のようになった。混合単量体の場合に h が小さくなる傾向が明らかである。

緩和時間の温度依存性については式(2.4)によって C_1, C_2 を求めるを試みたが、図3.6に例示したように式(2.4)の形には適合せず期待される直線関係からはずれる場合が多い。式(2.4)から C_1, C_2 を求める手続は限られているから、この結果からただちにWLF式が成立しないと結論するのは早計であるがジェチレングリコールを用いた場合と比較して注目される。式(2.4)の適用が困難であるので、混度依存性を示す特性パラメータとしてTobolskyにならって次式によって C' を求めた。

$$hC'(T-T_m) = [\ln\{\tan\delta(T_m)/\tan\delta(T)\}]^{\frac{1}{2}}$$

計算結果は表3.2に示した。 C' の値は大体0.13と一定であり温度分散の鋭さに対する効果は主として周波数依存性 h を通じて現われることがわかる。

3.2 多重分散

分子鎖レベルでの不均一性が3.1節でのべたように1種類のポリエステルと2種類のビニル単量体の組み合わせで発現することが明らかになった。これより高い次元での問題である分子鎖の集合段階での不均一性は硬化前に、すでにかかなりの分子量になっているポリエステル成分を混合することによって現われる可能性がある。そこでジェチレングリコールとフマル酸からのポリエステル(ポリジェレンフマラト)とプロピレングリコールとフマル酸のポリエステル(ポリプロピレンフマラト)の混合割合を変え、スチレンと共重合させた試料を表3.3のように調製し、その粘弾性を調べた。

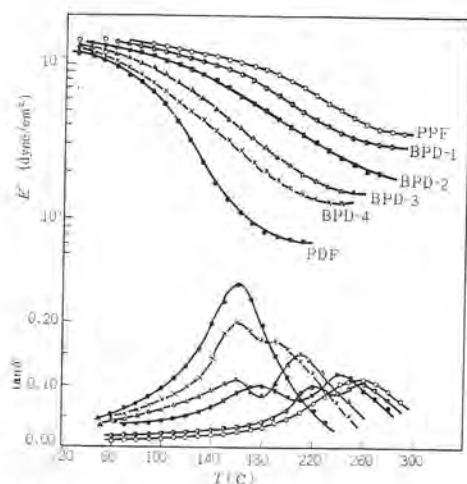


図 3.7 混合ポリエステル系に現われた多重分散 (138 c/s)

Fig. 3.7 Plots of E' and $\tan \delta$ vs temperature with blended polyesters.

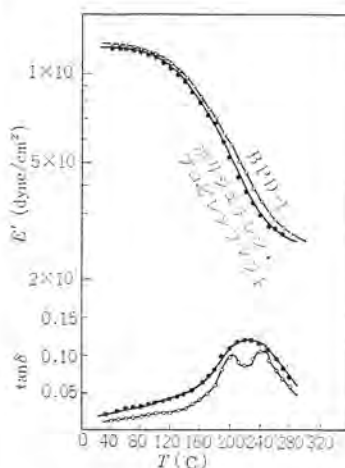


図 3.8 混合、共縮合ポリエステルの粘弾性分散の比較 (138 c/s)

Fig. 3.8 Comparison of viscoelastic dispersions between blended and copolymerized polyesters. (138c/s).

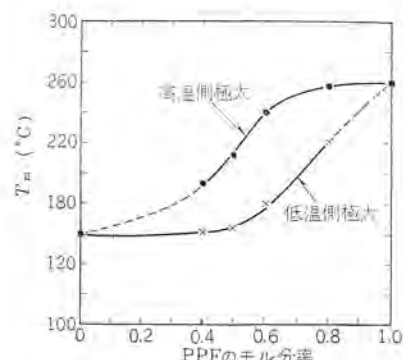


図 3.9 混合ポリエステル系における $\tan \delta$ 極大を示す温度 T_m と混合組成の関係

Fig. 3.9 Temperature of $\tan \delta$ maximum vs blending composition.

表 3.3 混合ポリエステル試料の組成*

試料 No	混合割合 (mol)	
	ポリプロピレンマラト	ポリジエチレンマラト
PPF	1.0	0.0
BPD-1	0.8	0.2
BPD-2	0.6	0.4
BPD-3	0.5	0.5
BPD-4	0.4	0.6
PDF	0.0	1.0

(注) 1. PPF, PDF は常法によりそれぞれエステル化 (170~200°C, 酸化 20).
2. スチレンを樹脂 70 部に対し 30 部使用.
3. 硬化条件: パーマック N 1% 添加, 2h at 80°C, 3h at 110°C, 5h at 130°C, 8h at 150°C/0.1 mmHg.

結果は図 3.7 に示したように混合ポリエステルでは明らかに分散は 2 段階に起こり $\tan \delta$ 曲線には 2 個の極大が観察される。図 3.8 には参考のためにプロピレングリコールとジエチレングリコールをフマル酸と同時に共縮合し、同一ポリエステル分子鎖中に両単位が共存する場合 (ポリジエチレン・プロピレンマラト) の結果を混合系と比較した。図 3.8 で明らかなように共縮合系では単一の分散しか観察されない。図 3.7 の $\tan \delta$ 曲線に見られる 2 個の極大のうち高温側はポリプロピレンマラト分子鎖に、低温側のそれはポリジエチレンマラト分子鎖にそれぞれ大きく依存した分散機構によると考えられる。これらの極大の位置は図 3.9 に示したようにポリエステルの混合組成によって変化している。これは 2 種類の分子鎖がある程度の相溶性をもって質的に異なる集合体 (相) を形成していることを示す。線状高分子における図 1.1 (c) のような不均一系では各相の大きさは 0.1μ の程度に達することが多く、試料は不透明な外観を示す。ここで扱った試片は外観上は透明均一であり、2 相構造をとっているとしても集合単位はかなり小さいと考えられる。

不飽和ポリエステルのように プレポリマ の重合によって高度の網目構造をつくる場合にもこのような 2 相構造に基づくと考えられる挙動が現われる事実はこれまで明確には指摘されなかったことである。この場合、多相構造が全体としての網目構造の中にどのように形成されるかについては今後の研究によって明らかにされねばならない。不均一構造と各種物性の関係については、線状高分

子に関してもまだ十分な知見が得られているとはいえない。総合的な観点からの研究がさらに必要である。

4. む す び

網目高分子の代表例の一つである不飽和ポリエステルの力学的性質をガラス状態からゴム状態へ変化する温度域でしらべた。網目密度の異なる同族体について弾性率の周波数分散と緩和時間の温度依存性を熱膨張の結果と比較して調べた結果、網目密度の効果は系の自由体積量に対する影響として理解され、また網目構造における本質的問題は網目結合による束縛の空間的集中にあることを知った。構造上の不均一性に基づく挙動については分子鎖レベルでの不均一性による多重分散性が、ポリ単量体の混合およびポリエステルの混合によってそれぞれ実現されることを知った。

(昭 40 11 8 受付)

参 考 文 献

- (1) 柴山:「高分子化学」, 19, 543(1962)
- (2) A. V. Tobolsky: Journal American Chemical Society 74, 3786 (1952)
- (3) 柴山:「高分子化学」, 18, 183(1961)
- (4) 柴山:「高分子化学」, 19, 219(1962)
- (5) 秀島:「材料試験」, 10, 246(1961)
- (6) J. H. Gibbs, E. A. Dimarzio: J. Chem. Phys., 28, 373 (1958)
- (7) 平井:「日本化学雑誌」, 75, 683 (1954)
- (8) R. F. Boyer, R. S. Spencer: J. Applied. phys., 15, 389 (1944)
- (9) R. Simha, R. F. Boyer: J. Chem. phys., 37, 1003(1962)
- (10) J. D. Ferry: Viscoelastic properties of Polymers, Wiley New York, 269(1961)
- (11) T. Takemura: J. Polymer Sci., 28, 185(1958)
- (12) 柴山:「高分子化学」, 20, 221(1963)
- (13) 柴山, 児玉:「色材協会誌」, 38, 31(1965)
- (14) A. V. Tobolsky: J. Amer. chem. soc., 76, 4204(1954)

コアメモリスタック (その3)

水上 益 良*

前号 (Vol. 39・No. 10) の章が4~7章になっておりますが、5~8章のまちがいです。本号から正しい番号で掲載しております。つつしんで訂正、おわび申し上げます、なお文中()内は掲載済みの旧番号です。

9. マトリックスプレーンの性能

9.1 性能項目 (読出し出力波形)

マトリックスプレーンの性能としては、ある定められた駆動条件・外部条件における読出し出力が主になり、下記項目があげられる。

(μVIt_p) max……バラツキを問題にする場合に必要

(μVIt_p) min……“1”出力の min で S/N 判定

DVZ max……ストローパルスを入れないときの“0”出力 max で S/N

(dVZt_p) max……ストローパルスを入れたときの“0”出力 max で S/N 判定

(Ts) max……サイクルタイム決定

(Ts) min……バラツキを問題にする場合に必要

すなわちマトリックスプレーンでは、コア単体の場合の性能項目である UV1, DVZ, Ts, T_p (UV1 T_pを兼ねて μVIt_p) およびその範囲 (たとえば 55mV < UV1 < 60mt) の代わりに上記のような最大、最小値が必要になってくる。すなわちあるアドレスの性能が代表することになる。しかも T_p およびそのバラツキは不必要になり、コアの T_p 平均値における μVI を問題にする (UV1 ではない) もちろんその許容範囲が与えられて、その条件を満たすかどうかは規格としての別の問題になる。

ここでジョウ乱をうけた“1”出力である (dV1t_p) min が ($\mu V1t_p$) min より必要であることはいうを待たないが、測定パルスパターンのステップ数がふえること、またはコア極性に依じてパターンを換えるやっかい (後述) さと、情報出力としての UV1 と DV1 の値の差が小さく、半選択雑音にカバーされてしまうところから、しいて問題にする必要はない (10.2 節参照)

9.2 語数と S/N

マトリックスプレーンのあるアドレスの情報を読出したときその情報出力のほかにその row, column にある半選択コアから発生する半選択電圧が重ジョウされてセンス線に出るので、センス出力がコア単体の読出し出力とは異なったものになることはすでに述べたとおりである。すなわち下式である。

$$V_{sense} = V_{signal} - 2V_h \pm (n-2) (V_h + \sim V_h -)$$

V_h……選択コアとペアになるコアから発生する半選択電圧

V_h+……⊕ コアから発生する半選択電圧……平均値

この場合右辺第3項の値は、各コアの記憶情報が“1”、“0”アットランダムであると、⊕⊖ コアから発生する半選択電圧がキャンセルされてほぼゼロになるので特別に問題ない。しかしもし記憶情報のぐあいではたとえば⊕ コアが“1”、⊖ コアが“0”という場合には

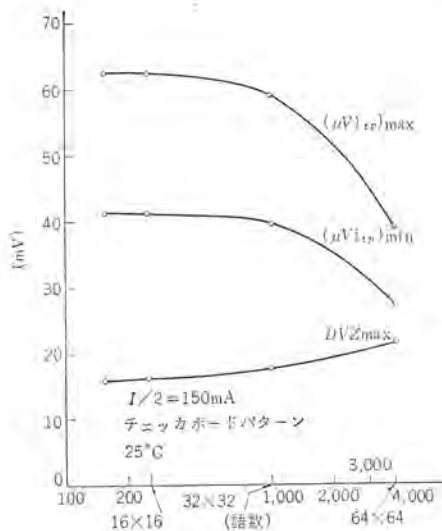


図 9.1 語容量と“1”、“0”センス出力

⊕⊖ コア間に、ある極性の半選択雑音が残留し、トータルの半選択雑音としては (n-2) 倍された大きさにもなる。すなわちこの値はプレーン内のコアの容量に関係してくる。

マトリックスプレーンの性能をうんぬんする場合、上記のような雑音の大きな記憶状態になる可能性が実際使用面である限り、性能の保証面からは、このような状態における性能を対象にしなければならないことになる。このような場合の記憶状態の一つが前述のチェッカボードパターンである。図 9.1 は 10.2 節の測定法における語数と“1”、“0”センス出力との関係であり、メモリの SN が、コア容量の 1/2 乗に比例して増加する半選択雑音の影響をうけていることが理解できる。

なお前述の 6(5) 章において、メモリアの性能比較を述べたが、マトリックスプレーンの性能比較においてはさらに複雑になり、センス負荷抵抗のほかに上記コア容量をぬきにしては論じられないことになる。

9.3 駆動条件の相違による特性変化

メモリアの項で述べたように駆動条件 (パルス幅、立上がり時間、クロック周波数……) の変化により、その特性値 (出力波形) が変化することはマトリックスプレーンでも同じである。

しかしマトリックスプレーンの測定法がメモリアの場合と大きく異なり、すなわちそれぞれ独立の電源による X, Y, デジタル駆動であること、デジタルパルス幅が“0”書き込みを完全に行なうための X, Y のそれより大きいこと、測定対象が最悪性能を示すあるアドレスのコアに限られてしまうことなどのためにこれらの変化特性は非常にあいまいになる。サイクルタイム 6~7μs, 2,500 語プレーンの例を表に示す。

表 9.1 はパルスの立ち上がり時間を変化させたときの ($\mu V1t_p$) min, (μVIt_p) max, DVZ max およびそのアドレス。表 9.2 はパ

表 9.1 立ち上がり時間の変化による特性変化

情報配置 性能項目		T_r 0.32 μ s	0.4 μ s	0.5 μ s
all 0	$(\mu V ltp)_{min}$	68mV (12.36)	65mV (12.36)	53mV (10.2)
	$(\mu V ltp)_{max}$	79mV (0.10)	74mV (30.40)	58mV (30.40)
	DVZ max	15mV (0.40)	13.5mV (0.40)	10.5mV (0.40)
C.B.P	$(\mu V ltp)_{min}$	55mV (45.27)	57.5mV (46.30)	48mV (0.10)
	$(\mu V ltp)_{max}$	65mV (36.16)	69mV (30.40)	56mV (0.30)
	DVZ max	24mV (39.47)	15mV (30.40)	8mV (0.30)

注) ()内はその性能を示すアドレス

表 9.2 パルス幅の変化による特性変化

情報配置 性能項目		T_w						
		1 μ s	1.5 μ s	2 μ s	2.5 μ s	3 μ s	X	Y
all 0	$(\mu V ltp)_{min}$	64.9	64	63	63	62	12	36
	DVZ max	13.5	13	12	11	11	6	16
	$(Ts)_{max}$	1.2	1.2	1.22	1.23	1.25	1	40
C.B.P	$(\mu V ltp)_{min}$	58	56	54.5	54.5	55	2	0
	DVZ max	20.8	20.5	20	20	19.3	42	25
	$(Ts)_{max}$	1.2	1.2	1.2	1.21	1.21	6	16

注) X, Y は $T_w=2.5\mu$ s のときのアドレス

表 9.3 クロック周波数の変化による特性変化

性能項目		パルス間隔(μ s)					X	Y
情報配置		38	44	51	55	69		
all 0	$(\mu V ltp)_{min}$	64.6	64	62	62	60	12	36
	DVZ max	11.2	11	11	10.5	10.8	1	40
	$(Ts)_{max}$	1.15	1.16	1.18	1.18	1.22	42	25
C.B.P	$(\mu V ltp)_{min}$	59	58.6	58	58	58	36	16
	DVZ max	14.5	13.5	12.3	12.5	12.8	0	40
	$(Ts)_{max}$	1.2	1.2	1.21	1.18	1.22	42	25

注) アドレスはパルス間隔 55 μ s(クロック周波数 18.2kc) のときのもの

ルス幅($X=Y$, $D=1.24X$)を変化させた場合の $(\mu V ltp)_{min}$, DVZ_{max} , $(Ts)_{max}$. 表 9.3 はクロック周波数を変化したときの $(\mu V ltp)_{min}$, DVZ_{max} , $(Ts)_{max}$ の変化である(all 0, C.B.P. については 10.1, 10.2 節参照).

しかしもともと上記駆動条件の変化特性は、マトリックスプレーン、メモリスタックにコアを組みあける場合の最適駆動条件の決定に必要なものであり、プレーン・スタックとしては実際使用の場合の性能をつかむこと、保証がより大きな問題であるので、情報配置変化による S/N , X , Y , デジタル電流振幅変化による S/N 変化 (マージンテスト), 温度変化による S/N 変化, 使用可能温度範囲などのチェックが重要になる(後述).

9.4 コアとプレーンの性能の相関

プレーンが多数のコアから構成されており、その性能項目がほぼ同じであるところから、コアとある容量のプレーンの性能の相関関係は求められそうである。しかしすでに記したとおり編組法、情報配置(後記 all 0, チェックボードパターン), 半選択雑音およびその効果に関連する容量、駆動波形・センス線負荷抵抗の相違といっ

表 9.4 メモリコアとプレーンの性能の相関

		C.B.P	all 0	C.B.P	all 0
マトリックスプレーン	$(\mu V ltp)_{max}$	71mV	75mV	59mV	58mV
	$(\mu V ltp)_{min}$	52mV	59mV	47mV	49mV
	DVZ max	24mV	17mV	22mV	15mV
	$(dVZtp)_{max}$	3mV	2.5mV	2mV	1.5mV
	$(Ts)_{max}$	1.25 μ s	1.3 μ s	1.3 μ s	1.35 μ s
メモリコア	DV1	78~88.5mV		67~70mV	
	DVZ	7.5~8.5mV		7~7.5mV	
	T_s	0.7~0.75 μ s		0.75~0.8 μ s	
	T_p	0.3~0.35 μ s		0.35~0.4 μ s	

注) $T_w=1.5\mu$ s $T_r=0.4\mu$ s $F_c=1/55\mu$ s $I/2=250$ mA 2,500語

たメモリコア単体では考えられない別の条件がプレーンには数多く存在するので、コア性能値およびそのバラツキからプレーンのそれを簡単に類推することはできないと言ってよい。

1 例として 500mA 駆動の 50ミルコア, 2,500語のコアとそれを使用したプレーンの性能比較を表 9.4 にあげておく。

しかし容量の差による特性変化などはある程度計算、実験、経験により予測可能であり、実際的には適当な条件によってそれを類推、利用している向きもある。ただセンスアンプの相違による出力波形変化、測定器の相違による相関データの正確性などは十分注意する必要がある。

9.5 半選択雑音

書き込まれた2進情報は、初めは1または0 $_W$ であり、その後この情報が読み出されるまで種々の半値電流によるジョウ乱をうけ、その記憶状態が変わってゆくことはすでに述べた。この模様は図 9.2 に示すとおりである。したがってプレーン内のコアの記憶状態は“1”なら1 $_R$ か1 $_{RW}$ 、“0”なら0 $_W$ か0 $_{WR}$ の4種と考えればよい(9.4 節参照)。しかしこれらの状態から半選択電流をうけて発生する半選択電圧は図 9.3 のように相違し、reversible な磁束変化によって発生する電圧は、irreversible なそれより小さい(図 9.4)。すなわち $(1_{RW} \rightarrow 1_R) > (0_W \rightarrow 0_{WR}) > (1_R \rightarrow 1_R) > (0_{WR} \rightarrow 0_{WR})$

よってあるアドレスの情報を読み出したとき、その row, column 上のコアで、ペアの $\oplus$ コアと $\ominus$ コアに記憶されている情報の組み合わせは、同一状態のペアを除いて6種類あり、これらコア内の半選択電圧の差の大小関係は下式のようになる。

$$(1_{RW} - 0_R) > (0_W - 0_{WR}) > (1_{RW} - 1_R) > (0_W - 1_R) > (1_R - 0_{WR}) > (1_{RW} - 0_W)$$

よってもし全コアが同じ組み合わせであれば、半選択雑音は、その $(n-2)$ 倍となり、 n の大きさおよび情報配置によっては情報出力より大になる可能性を生ずる。上式から半選択雑音の大きさを

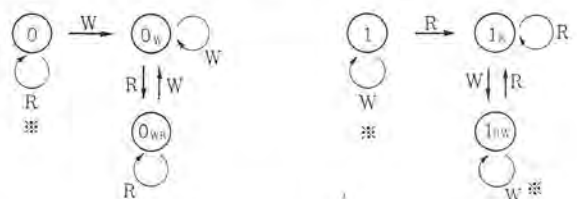


図 9.2 記憶状態の変化

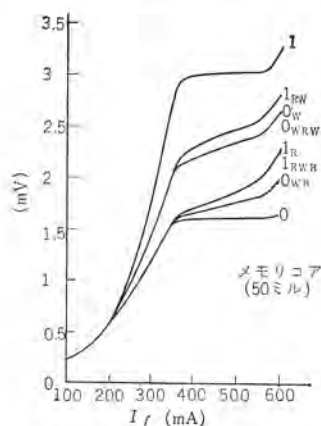


図 9.3 半選択電圧の電流特性

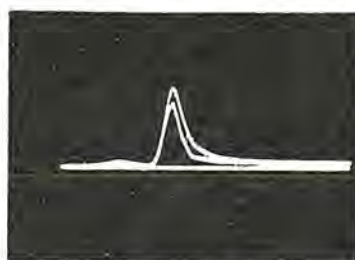


図 9.4 半選択電圧波形

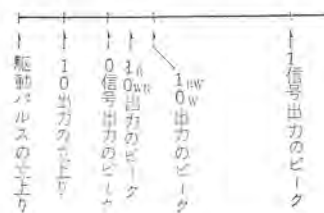


図 9.5 情報出力、半選択電圧の出力位相

情報の質はジョウ乱電流により低下し、あるポイントに収束すると見たほうが正しい。

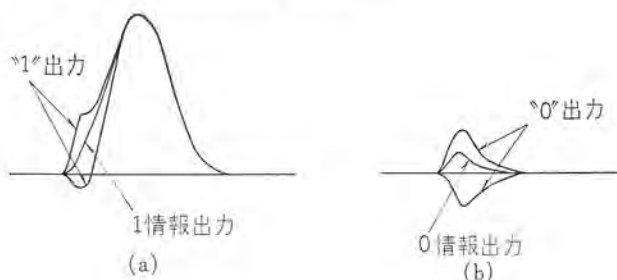


図 9.6 センス出力と情報出力

表 9.5 半選択電圧および半選択雑音

情報状態		(1)	(1RW)	(0W)	(1R)	(WR)	(0)
フルカレント							
500mA		3.0	2.45	2.33	1.97	1.8	1.64
550mA		3.0	2.55	2.4	2.03	1.83	1.65
600mA		3.3	2.8	2.63	2.0	2.0	1.7

半選択雑音		(1RW-0WR)	(0W-0WR)	(1RW-1R)	(0W-1R)	(1R-0WR)	(1RW-0W)
フルカレント							
500mA		0.65	0.53	0.48	0.36	0.17	0.12
550mA		0.72	0.63	0.52	0.37	0.2	0.15

比較すると、reversible な磁束変化をおこす状態 (1R, 0WR) と irreversible なそれ (1RW, 0W) をおこすペア (☆) の場合が大きくなり、同一状態のペアが小さいことを示しており、さらにチェックボードパターン (アンダーライン) のときに大であるとは必ずしもいえないことがわかる。

またこの雑音の情報出力に対する効果を考えると、その出力位相が図 9.5 であるので“0”情報出力に対してきびしく、“1”のそれに対しては効果がうすい。すなわち電圧値の大きい 1 情報出力のピーク値に対してはさほど影響もせず、たとえ低い電圧値の 0 情報出力でも半選択雑音は同位相に発生して“0”出力を増大させることになる (図 9.6)。

表 9.5 はある 50 ミル 寸法の メモリコア の半選択電圧と半選択雑音 (1 ペア) のを情報状態、フルカレントによって示したものである。

なお前記では (0WR) = (0WRWR), (0W) = (0WRW) としたが、げん密には (0WR) ≤ (0WRWR) ≤ (0WRWRWR), (0W) ≤ (0WRW) ≤ (0WRWRW) の傾向が見られ (“1” についても同様のことがいえる)。

10. マトリックスプレーンの高速測定法

マトリックスプレーンの性能測定においても、アレー内に多数のメモリコアが含まれているので特性チェック、性能保証を含めて高速に行なう必要がある。コア単体の場合は、ハンドラというフィード機構が必要であったが、プレーンではフィード、巻線が行なわれていると見てよいから駆動電流そのものをアドレスごとに移行 (スキャン) し、選択させればよい。測定パターンについては半値電流によるジョウ乱は、スキャン動作で自動的に与えられると見てよいからことさら設ける必要はなく、たとえば図 10.1 の電流パルス系を与えて 1 系列で “1” “0” 出力 (3, 1 step 読出し) をチェックする。しかしこの方法であると “1” 情報出力としては $\mu V1$ しかとれないので step 数を増し、ジョウ乱を与えて $dV1$ を測定するパターン (図 10.2)、またはチェックボードパターンにおける測定をするために図 10.3 のよ

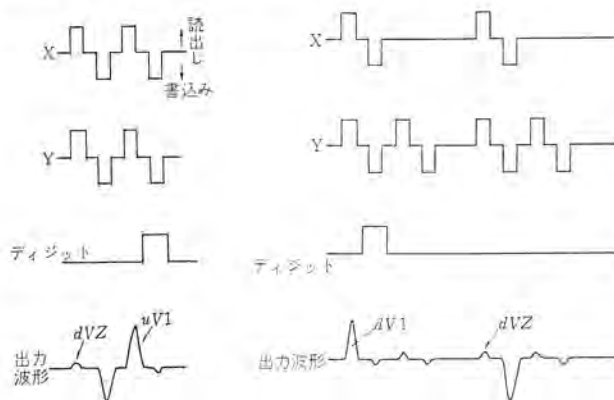


図 10.1 パルスパターンと出力波形

図 10.2 パルスパターンと出力波形

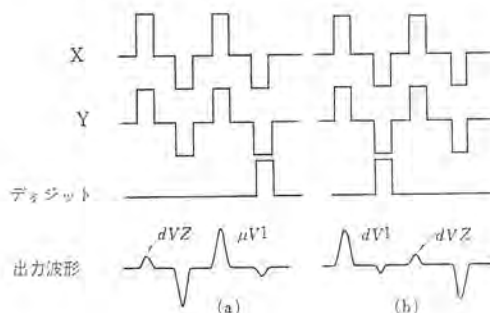


図 10.3 S/N 測定 パルスパターン

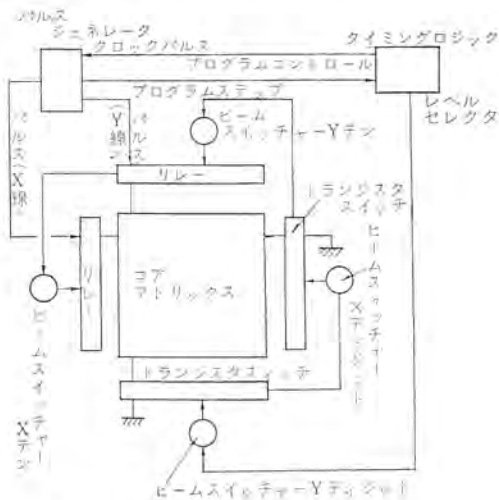


図 10.4 マトリックスプレーン測定系

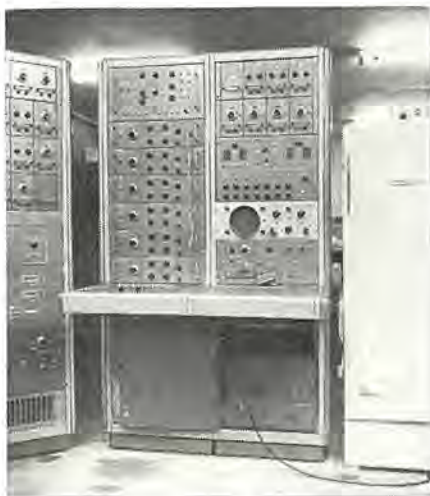


図 10.5 マトリックスプレーン測定器

うなものもある(図 10.3 のパターンの場合, 6 step の読出し出力は μV に見えるが, 実際は dV 読出しになっている)。

図 10.4 はスキャン機構を含む測定回路のブロック線図の 1 例であり図 10.5 はその装置の全景である。

10.1 all ゼロの情報出力

今図 10.6 のようにマトリックスプレーンを $X_1 Y_1, X_2 Y_1, \dots, X_n Y_1, X_1 Y_2, X_2 Y_2, \dots$ の方向に図 10.1 のパルスを与えて順に全コアをスキャンするとすれば, 選択したコアには図 10.7 (a) のパルス電流が作用する。したがって今 $X_1 Y_2$ が選択されたコアとすると, そのとき $X_2 Y_1, X_3 Y_1, \dots$ は半選択コアとなり, これらのコアには図 10.7 (b) が作用する。同様に $X_3 Y_2$ などの非選択コアには図 10.7 (c) が作用することになる。このようにして, コアが順次選択され, それぞれのコアの“0”, “1”情報が読出されるが, 4 step めでは記憶状態は全コアとも“0”になる(これを all 0 のパターンと呼ぶ)。

したがって今 $X_1 Y_1$ コアに着目すると, そのコアは選択されてからスキャンによりあるときは半選択コアになり, またあるときは非選択コアになり, 種々のジョウ乱をうけてまた選択されることになる。図 10.8 がコアに与えられる選択およびジョウ乱パルス電流パターンである。よって第 1 step の“0”出力は複雑な

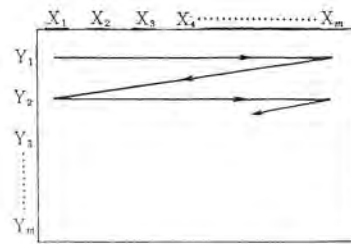


図 10.6 マトリックスプレーンのスキャン法

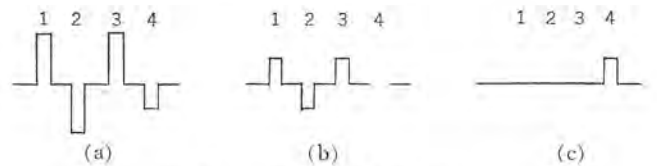


図 10.7 コアに作用するパルス



図 10.8 スキャンニングにより一つの与えられるパルス系列

ジョウ乱のあとの dVZ になり, 第 3 step の“1”出力はジョウ乱のない μV となる。もちろんプレーンにおける測定であるから半選択雑音がセンス線に重ジョウするが, 選択コア以外のコアは常に最後に read ジョウ乱をうけるので(半選択コアは 3 step, 非選択コアは 4 step), 全コアが同じ記憶状態すなわち 0_{WR} になり $\oplus \ominus$ コア間が半選択電圧はキャンセルされる。ただし選択コアの隣の異極性のコアの出力は雑音として残り, コア単体の出力とはやや異なってくる。すなわち上記測定法における“0”, “1”出力を求めてみると, “0”出力はコアのアドレスにより異なり, 直前のコアが異極性のとき $[0_{WR}] - (0_{WR}) - (0_{WR})$, 同様に直前のコアが同極性で $\oplus$ のとき $[0_{WR}] - 2(0_{WR})$

直前のコアが同極性で $\ominus$ コアのとき $[0_{WR}] - 3(0_{WR}) + (0_{WR})$ となる。しかし“1”出力は常に $[1] - 2(0_{WR})$ となる。

もしあるアドレスのコアのみを上記測定法でチェックするとき(スキャンしない)はセンス出力が $[0_{WR}] - 2(0_{WR})$ になる(“1”は上記に同じ)。

すなわちこのような測定法では高速化は実現できるが, アットラムな情報記憶が行なわれる実際の記憶装置で問題になる半選択雑音が発生しないパターンになるのでメモリアレーンの S/N 保証の測定としてはぐあいが悪い。

同様のことが表 10.2 の 8 step 法でもいえる。これは all 1 情報配置であり, “0”情報出力は常に $[0_{WR}]$, “1”情報出力は直前の選択コアを含むラインでは $[1_{RW}]$, ライン外では $[1_R]$ といわゆる dV が読めるが, 半選択雑音はキャンセルされてしまう。

10.2 チェッカボードパターンの出力

実際使用の場合に発生する半選択雑音を予想して, 性能保証という面から最悪状態を仮定すれば, チェッカボードパターンを作るのが常識である(げん密な考察は後述する)。以下チェッカボードパターンを作る種々のパルス系列とその方法およびその場合の“1”, “0”出力をながめてみる。

10.2.1 (2 step 法)

図 10.9 のパルスパターンで全コアに“1”を書き、次にセンスアンプの全波整流部の片方をスイッチで切り離す。この場合⊕コアか⊖コアのいずれか1分の“1”センス出力はスイッチ off のため送られず、デジタルパルスが流れて“0”をふたたび書き込みしてチェックボードパターンが画ける。あとはそのコアに書込まれた 1, 0 情報をスキャンして読むわけである。

ジョウ乱電流の方向は表 10.1 であるから、各コアの記憶状態は、最後のジョウ乱が“1”の半選択であれば 1_{RW} か 0_W になっており“0”の非および半選択では 1_R か 0_{WR} になっている。よって選択コアの情報 $1_{RW}, 0_W$ のときは半選択雑音は $\frac{n-2}{2}(1_{RW}-0_W) + \frac{n-2}{2}(1_R-0_{WR})$ になる(図 10.10, 10.11 参照)。また情報出力が 1_R か 0_{WR} のときは (1_R-0_{WR}) になる(図 10.12, 10.13)。

すなわちこの測定法では、チェックボードパターンにはなっているが雑音は考えられる組み合わせのうち最小(8.5 節参照)の 2 組の

表 10.1 ジョウ乱の種類と方向

ジョウ乱の種類	ジョウ乱	
	1	2
1 の半選択	R	W
1 の非 "		
0 の半 "	R	
0 の非 "		R

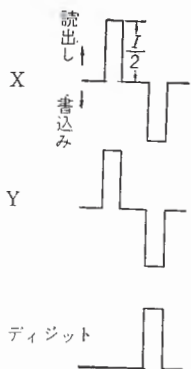


図 10.9 パルスパターン

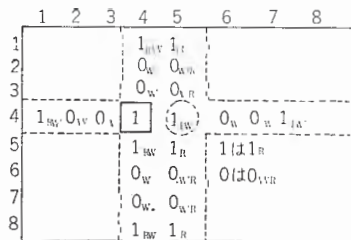


図 10.10 記憶情報配置

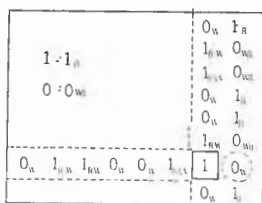


図 10.11 記憶情報配置

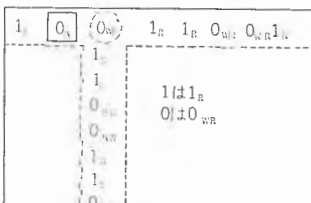


図 10.12 記憶情報配置

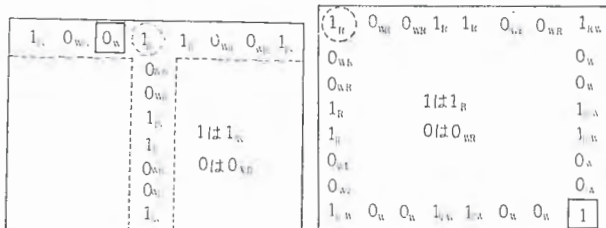


図 10.13 記憶情報配置

ものになっている。しかも 1 出力では $(1_{RW}) > (0_W)$, $(1_R) > (0_{WR})$ ゆえに雑音の極性は情報出力 1_{RW} , 1_R と同符号であるから、センス出力は情報出力より小にならない。

10.2.2 (8 step 法)

図 10.1 のパルスパターンを⊕コアの選択時に与え、⊖コアの選択時には図 10.1 と極性の違うパターンを与えると 4 step めの記憶状態は⊕コアは 0_W , ⊖コアは 1_R になる(チェックボードパターン)。⊕コアの場合は 9.1 節の all 0 の場合と同じになるが、⊖コアの 1 step めには書き込み方向の $1_R \rightarrow 1$ の電圧が発生し、これはメモリアの対象性から読み出し方向の $0_W \rightarrow 0$ と同じになり、しかもコアの極性が⊖であるから⊕コアの出力方向に dV_Z が出る。3 step も同じように 1 出力が μV_I として⊕コアと同方向に発生する。

コアの記憶状態は選択された⊕コアは 0_W になり、その後順次スキャンによるジョウ乱をうけるが、それは表 10.2 の方向であるから、最後に与えられたパターンが図 10.1 のものであれば 0_{WR} になり、逆のパターンであれば 0_W になる。⊖コアも同様に 1_R から始まり 1_R か 1_{RW} になる。よって 1 step における⊕コアの 0 読み出しは、直前に同符号のコアがあるとき 0_{WR} が情報出力で雑音は (1_R-0_{WR}) になる。直前に異符号のそれは 0_W で $(1_{RW}-0_W)$ である。⊖コアの場合もまったく同じである。

次に 1 読み出しは情報出力は常に 1 で、1.2 step では R, W のジョウ乱が加わるので $(1_{RW}-0_W)$ が雑音となる。⊖コアについてもまったく同じである。

この場合は同じコアに 1, 0 を記憶させて読出すから 1 回の操作でよいが 10.2.1 の方法では、あるコアには 1 か 0 かの記憶しか行なわないので、情報をかえて再度測定する必要も生ずる。1 出力が半選択雑音で情報出力より小にならないこと(11.2.1 項では dV_I だが μV_I となっている)は 10.2.1 項と同じである。

10.2.3 (8 step 法)

図 10.3(a)のパルスパターンを⊕コアに、図 10.3(b)のそれを⊖コアに与えれば、4 step めでは⊕コアは“0”, ⊖コアは“1”に記憶される。

まず⊕コアの第 1 step の 0 出力について考えると、ジョウ乱の方向が表 10.3 であるから直前のコアが“0” (⊕)であると 0_{WR}

表 10.2

ジョウ乱の種類	ジョウ乱			
	1	2	3	4
図の a 半選択	R	W	R	
" 非 "				R
図の b 半選択	W	R	W	
" 非 "				W

表 10.3 ジョウ乱方向

パターン	ステップ	ジョウ乱方向			
		1	2	3	4
9 a 半選択		R	W	R	
9 a 非 "					R
9 b 半 "		R		R	W
9 b 非 "					R

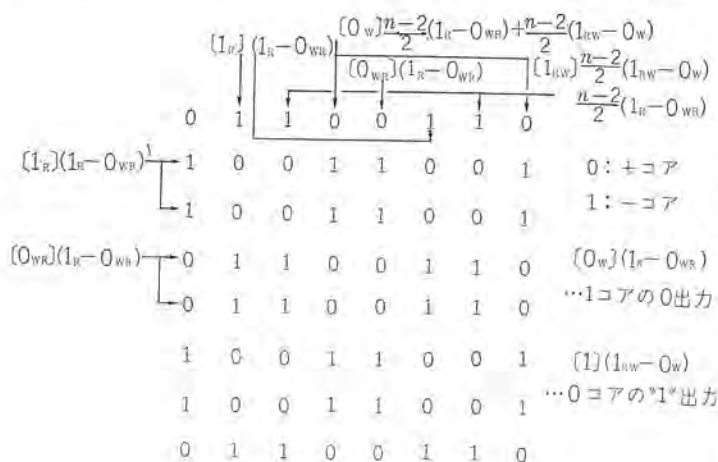


図 10.14 アドレスによる I/O 出力

($1_R - 0_{WR}$). 直前のコアが“1”(⊖)であると、直前のコアを含むライン上の選択では、“1”の半選択をうけたコアは 1_{RW} , 0_W , 非選択のコアは 1_R , 0_{WR} になっているので、情報出力は $[0_W]$ で半選択雑音は $\frac{n-2}{2}(1_{RW} - 0_W) + \frac{n-2}{2}(1_R - 0_{WR})$ になる。直前に選択されたコアがライン外にあるときは $[0_{WR}](1_R - 0_{WR})$ である。

次に⊖コア (“1”記憶)の“0”読出しは 3 step なので、情報出力は $[0_W]$ 。半選択雑音は半選択コアは第 1 step の R ジョウ乱をうけ、非選択コアは 2 step の R ジョウ乱をうけるので ($1_R - 0_{WR}$) になる。

次に⊕コアの第 3 step の“1”読出しは情報出力は $[1]$ であり、半選択雑音は、半選択コアを含むラインでは W ジョウ乱 (2 step) が与えられるので ($1_{RW} - 0_W$)。

次に⊖コアの 1 step 読出しの“1”は、表 10.3 から直前のコアが“0”(⊕)であると $[1_R](1_R - 0_{WR})$ 、直前のコアが“1”であると、直前のコアを含むライン上のコアは W ジョウ乱、ほかのコアは R ジョウ乱であるから $[1_{RW}] \frac{n-2}{2}(1_{RW} - 0_W) + \frac{n-2}{2}(1_R - 0_{WR})$ 。しかし直前のコアがライン外であると $[1_R](1_R - 0_{WR})$ となる。

上記“1”、“0”出力をアドレスにより図示したのが図 10.14 である。この方法では“1”の出力としてジョウ乱をうけた情報出力 $[1_R]$ (直前選択のコアが異極性か、ライン外にある 1 記憶コア)および $[1_{RW}]$ (直前に同極性の“1”があるとき)が得られることでもしるが“0”記憶のコアの dV1 が見られぬのでパターンを変えてチェックしなければならないめんどろさが残る。もちろん半選択雑音の方向は“1”情報出力と同極性であり、半選択雑音そのものが小さいことは前 2 者と同じである。

10.3 測定パターンとコア極性

前述のように最悪雑音状態を作る一つの方法(必要条件)としてチェックボードパターンをあげたが、これはあくまでコア極性に応じた 1, 0 記憶すなわち ⊕ コアに“1”, ⊖ コアに“0”を意味している。すなわち、あるコアの極性配置で最悪雑音を示す測定パターンをコアの極性配置が別のメモリプレーンに当てはめたとき雑音状態は最悪ではないということである。もちろん 10.1.2 節に述べた方法では問題ない、今その実例をあげてみる。

図 10.15 に示すコア極性を持ったプレーンの測定パターンは図 10.16 のような情報を記憶しながら S/N の測定が行なわれる。しかしこの測定パターンで図 7.17 のプレーンをチェックする場合記

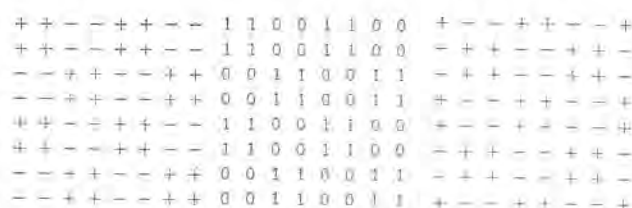


図 10.15 コア極性配置

図 10.16 コア極性配置のチェックボードパターン

図 10.17 コア極性配置

表 9.4 アドレスによる I/O センス出力

選択コアのアドレスおよび情報	“0” または “1” 出力
“0” (+) の次の “0” (-) 読出し	$-[0_{WR}] + 2[0_{WR}]$
“(-) “1” (-) “	$-[1_R] + 2[1_R]$
“ “ “0” (+) “	$+ [0_{WR}] - 2[0_{WR}]$
“1” (-) “1” (+) “	$+ [1_{RW}] - (1_{RW}) - (1_R)$
“ (+) “0” (+) “	$+ [0_W] - (0_W) - (0_W)$
“ (+) “1” (+) “	$+ [1_R] - 2[1_{RW}]$

憶状態とコア極性は⊕, ⊖ コアが同じ情報状態になり、読出しの場合の半選択雑音はキャンセルされてほぼゼロになる。正確にはアドレスによりセンス出力は異なり 12 とおりある (6 とおりの出力を表 10.4 に示す) がほぼ all 0 における出力と同程度になる。

理論的には、あるプレーンの S/N 測定で最悪パターンが一つしかないところから、別のパターンでチェックしたとき最悪ではないことは明らかであるが、その場合の雑音状態が非常に小さいことおよび実際問題として間違いが起こりやすい可能性もあるので注意する必要がある。

11. 最悪雑音状態

ここで最悪雑音状態を詳しく考えてみると、半選択雑音の大きさや情報出力に対するその発生方向が問題になる。すなわち情報出力は“1”の場合最小で、“0”の場合最大を考え、半選択雑音の大きさは 8.5 節の中で情報出力との効果を考えた組み合わせを選べばよい。したがって

(a) “1”の場合は、情報が 1_R で、その row, column にあるコアの ⊕ ⊖ ペアの情報が 1_{RW} と 1_R (半選択雑音の出力符号が情報出力と逆方向で最大)

(b) “0”の場合は、情報が 0_W で、その row, column にあるコアの ⊕ ⊖ ペアの情報が 1_{RW} と 0_{WR} (半選択雑音の出力符号が情報出力と逆方向……絶対値が問題になるから……) かまたは 0_W と 0_{WR} (半選択雑音の出力符号が情報出力と同方向) の場合に“1”センス出力が最小になり、“0”センス出力が最大になるので、S/N としては最悪になる (もちろんこのような状態になる確率は非常に小さいが)。このような情報配置が最悪雑音状態と呼ばれるものであり、このような状態でメモリの S/N はチェックされなければならない。これに比べ前に述べた一般に最悪状態と称されるチェックボードパターンにおける測定の雑音が非常に小さいことは十分認識しておかなければならない。

以上述べたように最悪雑音状態は選択されるコアの情報が“1”と“0”では別々な形をとり、しかもチェックボードパターンとは限らない (“0”読出しの場合 0_W , 0_{WR} のペアがある) ことを注意すべきである。なお“0”読出しの場合最悪雑音状態としては 2 種類あり、

これはそのコアの半選択電圧も関係するが語数によって決まり、8.5節で示した不等式のとおり語数の大なるときは $(0_W, 0_{WR})$ のペアが(たとえ情報出力と逆方向でも半選択雑音の値が最大のため)、語数の小なるときは $(0_W, 0_{WR})$ のペアとなる。その境界語数は

$$n = \frac{[0_{WR}] - [0_W] - 2(1_{RW}) + 2(0_{WR})}{(0_W) + (1_{RW}) - 2(0_{WR})} + 2$$

となる $(1_{RW}$ と 0_{WR} のペアのとき情報出力として $[0_{WR}]$ を採用した)。

もしチェックボードパターンが最大雑音配置と考えると最悪情報配置は下ようになる。

(a) “1” 読出しの場合は $[1_R]$ の情報出力に対して情報配置は 0_W と 1_R になる

(b) “0” 読出しの場合は語数の大なるとき前記と同じで、語数の小さいときは $[0_W]$ の情報出力に対して情報配置は 0_W と 1_R となる。

“1” 出力は最悪条件より有利に表われ語数の小さい“0”出力も小さく出てしまう。しかしこの場合は(語数の小さいとき)、“1” “0” 出力チェックパターンは一つでよいことになる(ただしスキャンの高速測定では実現できないが)。

11.1 各種雑音状態の起こる可能性

以上一般に行なわれているチェックボードパターンにおける測定が最悪雑音配置における測定になっていない(最悪 S/N を求められない)と述べたが、はたしてそのような大きな雑音が発生することが実際あるかどうかを検討してみる。

(a) $[1_R](1_{RW}-1_R)$ の場合

図 11.1 のプレーンの全コアに図 10.9 のパターンにより 1 書込みをすると全コアが 1_{RW} になる(最後の選択コアのみ 1)。次に図 11.1 の A 部に 0 書込みをすると A 部の 1_{RW} は 0_{WR} になるが、さらに同じ A 部のコアを 1 書込みするとこれらのコアはまた 1_{RW} になる。しかし外辺の $\oplus$ コアは 1_R 、 $\ominus$ コアは 1_{RW} になるので、コアの $\oplus$ コアを選択すれば情報出力は $[1_{RW}]$ で雑音は $6(1_{RW}-1_R)$ となる($n=8$ 故)。

(b) $[0_{WR}](0_W-0_{WR})$ の場合……情報出力と雑音出力が逆であるが……

図 11.1 のプレーンの全コアに上記のように 0 書込みをすると全コアは 0_{WR} になる(最後に選択したコアのみ 0_W)。次に上記のように A 部に 1 書込みをする。外辺の $\ominus$ コアは 0_W になるが $\oplus$ コアは 0_{WR} のままである。よってコアの $\oplus$ コアを読出せば $[0_{WR}]$ の情報出力に雑音として $6(0_W-0_{WR})$ が発生する。

(c) $[0_{WR}](1_{RW}-0_{WR})$ の場合

図 11.2 のように、あるアドレス(A)の情報が“0”でその row, column 上のコアの情報がチェックボードパターンになっており、特定

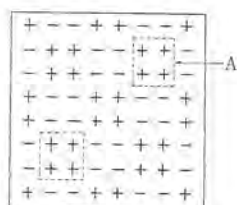


図 11.1 コア極性配置

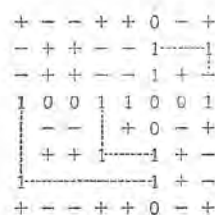


図 11.2 コア極性配置と記憶情報

の $\frac{n-2}{2}$ 個のアドレスの位置に“1”が書込まれている場合を考えてみる。まず、あるアドレスの“0”を選択すると“1”、“0”は 1_R 、 0_{WR} になる。次に上記特定の“1”を選択すれば A の row, column の“1”は 1_{RW} になり、A アドレスの“0”を読出せば $[0_{WR}](1_{RW}-0_{WR})$ になる。この場合 A アドレスの隣の“1”は 1_R であるが、特別に問題にする必要はない。ただし $(1_R) < (1_{RW})$ であるからこの“1”も 1_{RW} にすれば密な意味で最悪になる(この場合特定アドレスの位置に“1”が書かれている必要数は n になる)。

もし全アドレスにチェックボードパターンが書かれていれば、上記 n 個の“0”を“1”に書き改めをしなければならないことになる。いずれにしても最悪の雑音状態は実現することが明らかになった。

11.2 最悪雑音状態における測定とデルタノイズ

以上 10.2 節に示した高速測定法はすべて最悪雑音状態における測定になっていないことが明らかになった。よって簡単に最悪 S/N をチェックするには前記高速測定法で最悪“1”および“0”出力を示すアドレスのコアを見つけ、最悪雑音状態のパターンをそのコアに適用して最悪性能を代表させればよい。すなわち図 11.3 をセンス線に与え、その“0”コアを読出せば $[0_{WR}](0_{RW}-0_{WR})$ が、図 11.3 をディジット線に、次に図 11.3 をセンス線に与えてその“0”コアを読出せば $[0_W](0_W-0_{WR})$ が、図 11.3 (d) をセンス線に与え、その“1”コアを読出せば $[1_R](0_W-1_R)$ が得られる。

0.5 ディスタースの I_f が $160 \sim 165$ mA、メモリストックとしての最適駆動電流が $X=Y=135$ mA、ディジット 120 mA のメモリがあるとすると、あるアドレスのチェックボードパターンにおける最悪“1”、“0”出力を駆動電流を変えて求めてみると下表のようになる。

さらにこのジョウ乱を 0.6 にして“1”出力をチェックすると図 11.4 (b) のようになり、0.5 の I_f 付近で負極性の出力が出るようになる。

図 11.4 (d) はこの最悪雑音状態における“1”、“0”センス出力と 10.2 節で述べた測定法における“0”センス出力を比較したものである。このように最悪雑音状態における S/N ははなはだしく小さくなるので、このような状態の起こる可能性(確率)とその S/N をメモリの性能保証面からあらためて考えねばならない。

以上のように半選択雑音はメモリの S/N に微妙な影響を与え、とくに“0”出力としてはコア単体の“0”出力 $[0_W]$ と表わされる)よりはるかに大きくなる。しかもその原因がメモリコアの長方

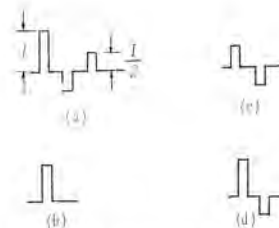


図 11.3 最悪出力発生パターン

表 11.1 1.0 センス出力

$I/2$	140mA	150mA	160mA
センス出力			
$[1_R](0_W-1_R)$	50mV	65mV	80mV
$[0_{WR}](1_{RW}-0_{WR})$	30mV	35mV	45mV

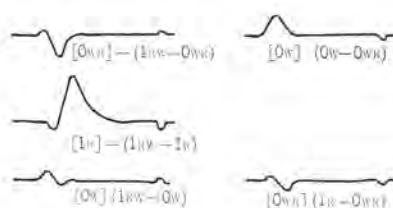


図 11.4 (a) 1.0 センス出力

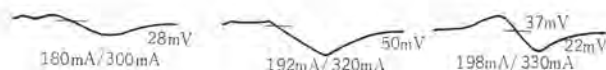


図 11.4 (b) 1 センス出力



図 11.5 デルタ雑音測定法

形性につながるところから、その性能項目としての価値は見のがせないものである。ただそれがマトリクスプレーンの性能として終局的には現われるので(語容量と関係して)、一般にはメモリア単体の性能項目としては与えられていない。すなわち現状ではある語数のマトリクスプレーンを作る場合のメモリアの選択に考慮される程度である。

具体的には1個のコアを“1”および“0”に書き込み、その状態からの半値電流により現われる電圧(半選択電圧と同じ)の差が小さいコアがよいわけであるので、それをチェックすることになる。これをデルタノイズと呼んでいるが、実際にはこの値が非常に小さいことと誘導雑音との分離がむずかしいこともあって多数のコアを対象にし、その半分を“1”半分を“0”に記憶させた場合の半選択電圧の差の平均値をとっている。

しかし各種コアのデルタ雑音の比較ということになると、デルタノイズにも電流特性があり(8.4節および図9.3参照)、コアにより読出し電流が異なり、さらに“1”、“0”記憶状態の何(たとえば $(1_{RW}-0_W)$ か (0_W-1_R) か...)をとるかも大きな問題になり、むずかしくなってくる。その測定法の一例を図11.5にあげておく。なおある一つのコア(図中A)を加え、R線を2回巻きにすれば、マトリクスプレーンとはほぼ等価の“1”、“0”出力が得られる。すなわちコアの合計が29個の場合256語のプレーンの性能というわけである。

12. メモリ S/N

12.1 メモリの S/N とストローブパルス

以上のように“1”、“0”センス出力のセン頭値だけでは、最悪条件でのプレーンの性能すなわち $(\mu V I_{tp})_{min}$ 、 DVZ_{max} が接近し、“1”、“0”信号の識別(マルチバイブレータがトリガーされるか、されないか)はむずかしくなる。よってセンス線出力を増幅整流したのち、“1”信号出力の極大時刻(T_p)にストローブパルスを与えてサンプリングした同一時刻の電圧値で“1”“0”を判別する方法をとる。“0”情報出力としての dVZ_{tp} がこれである。実際にはセンスアンプ

の整流用ダイオードの非直線性が加わるので、コア出力のみの S/N よりよくなる。

$8 \times 8 \sim 16 \times 16$ などの小容量のものでは駆動パルスの誘導雑音に注意して配線さえすればストローブパルスを用いなくてもよい。しかし大容量では、各プレーンで個々の出力位相があるので、さらにストローブ位置を順次移行することも必要になる。

いずれにしろストローブパルスを加える以前の波形はできるだけ周波数帯域の広いラングまたはトランスを用いて伝送し、“0”出力がだらだらと伸びてストローブパルスにひっかからないようにしなければならない。

なお増幅前にストローブして動作マージンを改善し、2倍の語数(1本のセンス線で形成する)まで動作させるようにしたものもある。

12.2 メモリの S/N 向上法

サイクルタイム(速度)、駆動電流振幅および $(S/N)_{min}$ が与えられると自らメモリアの材料、寸法が決まるが、必要語数が与えられても1本のセンス線で構成する単位プレーンのコア数は、半選択雑音のため、どの雑音配置での性能(メモリの S/N)を保証すればよいかが決められなければ、決定しにくいことになる。ここに現在のコアメモリ設計と性能保証の盲点があるといえないこともない。

経験的に1本のセンス線で形成される語容量は4,000~8,000語が限界とされている。すなわち前記10.2節の測定法で 64×64 のプレーンでは $(\mu V I_{tp})_{min} = 38mV$ (ただしコアの $dV1 = 60mV$)、 $DVZ_{max} = 20mV$ 、 $(dVZ_{tp})_{max} = 8mV$ くらいが実用の値になる。

このため記憶語数の大容量化には、半選択雑音の効果を減ずるための方法が種々とられている。

12.2.1 センス線編組法

半選択雑音は、あるコアを読出したときにその選択コアを通っているセンス線に結合し、しかもrow, column上に配置しているコアの数に依存する。したがってもし図12.1のように対角線上のコア群A、Bを1本のセンス線に結合させれば図中のC、Dのコア群の半選択電圧はセンス線に誘起されないから全コアを1本のセンス線で結合する場合の半分の半選択雑音の効果しかない。すなわち一般の方法では4本のセンス線が必要なところ(センスアンプが4個必要)を2本でことたりるわけである。このようにしてセンスアンプの増大を防ぎながら大容量化が可能になる。

12.2.2 駆動電流波形

半選択電圧および“0”情報出力を小にするには読出し電流振幅を小さくするが、出力位相をずらすしかない。たまたま上記出

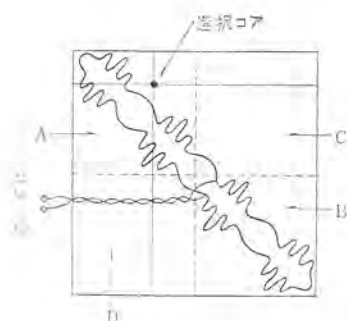


図 12.1

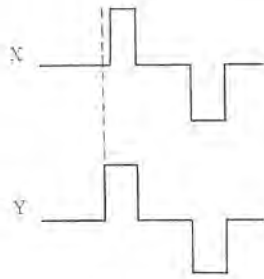


図 12.2

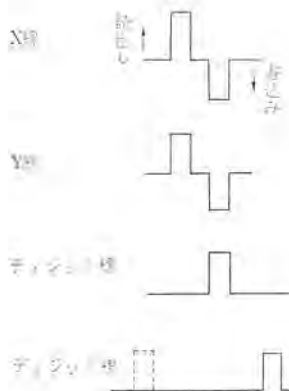


図 12.3

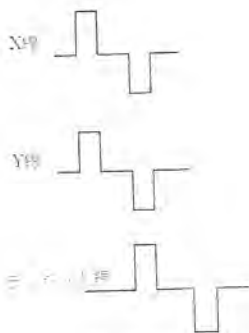


図 12.4

力電圧が駆動電流パルスの立上がり部に発生すること、選択が X, Y 両駆動パルスの一致で行なわれるところから図 12.2 のように読出しパルスを stagger して、半選択電圧の位相を row, column でずらし、“0”情報出力に対してはパルス立上がり部の電流振幅を半分にしておいてその出力を減少させることができる。これは大容量化はもちろん、一般の場合の S/N 向上法としても採用されている。このほか電流振幅の面で、デジタル電流振幅を X, Y のそれよりやや小さくすることにより S/N の向上をはかっている（詳しくは後述）。

12.2.3 PWD 方式

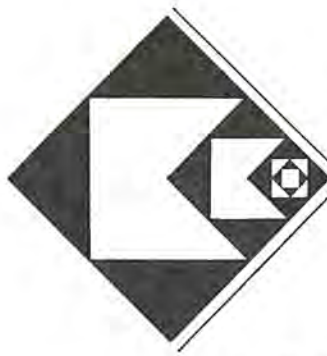
一般の駆動法では、最悪の雑音状態で S/N が非常に悪くなる可能性がある。図 11.3 のように書き込みのあとか読出しの前に読出し方向の半値電流を全コアに加え、どのアドレスの情報を読出す場合にも半選択コアをして 1_R か 0_{WR} にする方法が P. W. D 方式と呼ばれるものである。すなわちこの方法では、半選択雑音の値は最高でも $(n-2)(1_R-0_{WR})$ になり考えられる雑音としては小さくなり、10.2 節で述べた測定法で S/N の保証が可能になる。

この方法の欠点は速さを問題にする記憶装置でジョウ乱パルス一つ余計に入れるのでそれだけ遅くなることである（よってこの防止にはパルス幅を小にするなどの配慮がはらわれる）。

これと同じような考えかたで、全コアを書込み方向にジョウ乱する方法もある。この場合は最大雑音は $(n-2)(1_{WR}-0_W)$ になるが、駆動パルスは図 12.4 のように上記方法より簡単になる。すなわち“1”の半選択では常に書き込みジョウ乱が起こるので、“0”書き込みのときの半選択、非選択コアの読出しジョウ乱のみを防げばよい。これにはデジタルパルスに図 12.4 のパルスを与えることでことたり、駆動系が安易になる。

参考文献

- (1) 水上：コアメモリストック（その1）『三菱電機技報』39, 1273（昭40）
- (2) 水上：コアメモリストック（その2）『三菱電機技報』39, 1403（昭40）



技術講座

MATHEMATICAL PROGRAMMING の動向 (その3)

福永圭之介*・田村坦之**

1. ま え が き

この文の最終回にあたり、今回紹介する諸手法は最適化理論の中でおもに物の流れ (flow) を扱ったものである。これらの手法は、企業における仕事の計画や、統制の面で有効に適用しうる管理手法であり、産業界の各分野で今後広範囲に応用され話題を呼ぶものと期待される。

- ☆ Network Programming
- ☆ Travelling Salesman Problem (Partitioning Method)
- ☆ Scheduling (Job-shop Scheduling)
- ☆ PERT/CPM
- ☆ Heuristic Programming

を中心に、各手法の概略を紹介する。

2. Network Programming^{(1),(2)}

問題の数学モデルは、後述のごとく Linear Programming そのものであるが、これを Simplex 法で解くのではなく、変数間の関連パターンの特殊性を生かして、簡単なアルゴリズムで解こうとしている点に、Network Programming の特長がある。

各作業の実施順序関係を、図 2.1 に示す arrow diagram で表示する。各 node に node 番号をつけ、1 からはじまる連続整数とし、node i が node j よりも作業順序が手前であれば $i < j$ であるようにする。

node 1……source
node n ……sink

2.1 問題の定式化

arc (i, j) の capacity c_{ij} は既知

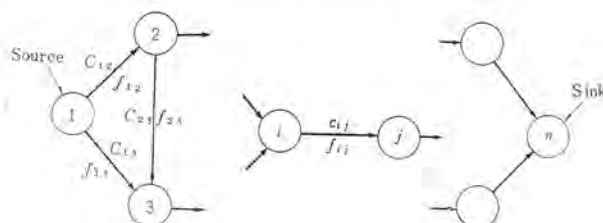
$$\sum_j f_{ij} = \sum_k f_{ki} \quad (i=2, 3, \dots, n-1) \quad (2.1)$$

$$0 \leq f_{ij} \leq c_{ij} \quad \text{for all } i, j \quad (2.2)$$

のもとで

$$\sum_k f_{1k} = \sum_j f_{jn} \quad (2.3)$$

を最大にする flow $F = \{f_{ij}\}$ を求めよ。



① ②…… n : node
(1, 2) (2, 3)…… (i, j) …… $(n-1, n)$: arc
 c_{ij} : arc (i, j) の capacity
 f_{ij} : arc (i, j) を流れる flow

図 2.1 Network

式 (2.1) は流れの保存式、式 (2.2) は arc の容量制限式である。そして source から sink へ流れる flow を最大にすることを目的とする。

式 (2.1)~(2.3) から明らかなごとく、この問題は線形の制限条件式のもとで線形の評価関数を最大化するという代表的な LP の問題である。

2.2 Max-flow Min-cut Theorem⁽¹⁾

node 1 から node n まで連なっている arc の集合を node 1 と node n を結ぶ chain と呼ぶ。source と sink を結ぶ chain が必ずそこを通らなければならない arc の集合を cut set と呼ぶ。cut set で、そのどの部分集合も cut set にならないものを cut と呼ぶ。また、cut に属する arc の capacity の和を cut capacity と呼び、cut capacity の最小のものを minimal cut capacity と呼ぶ。

定理 (Max-flow Min-cut Theorem)

いかなる network においても、source から sink へ流れる maximal flow value は、minimal cut capacity に等しい。(証明略)

この定理は Network Flow 理論の基本となるものである。

2.3 Labelling Method⁽¹⁾

Labelling Method の algorithm は、まず式 (2.1), (2.2) を満たす一つの flow f_{ij} (for all i, j), すなわち feasible solution をもとにして計算がはじめられる。feasible solution がない場合には $f_{ij}=0$ (for all i, j) からはじめる。

Routine A (Labelling Process)

各 node は (1) unlabelled (2) labelled and scanned (3) labelled and unscanned の三つの状態のいずれかにあり、最初はすべての node が unlabelled である。

node 1 (source) には $(-, \varepsilon(1)=\infty)$ とラベルされ、この状態が labelled and unscanned で、ほかのすべての node は unlabelled である。

一般に labelled and unscanned node i があって $(k^i, \varepsilon(i))$ とラベルされているものと仮定する。 $f_{ij} > c_{ij}$ が成立している unlabelled node j に $(i^+, \varepsilon(j))$ なるラベルを assign する。ただし

$$\varepsilon(j) = \min [\varepsilon(i), c_{ij} - f_{ij}]$$

このとき node j の状態を labelled and unscanned と呼ぶ。 $f_{ji} > 0$ なる unlabelled node j に $(i^-, \varepsilon(j))$ なるラベルを assign する。ただし

$$\varepsilon(j) = \min [\varepsilon(i), f_{ji}]$$

このときの node j , node i の状態を unlabelled and unscanned と呼ぶ。

この step を (1) node n (sink) が labelled and unscanned

の状態, または (2) これ以上 labelling が不可能で node n (sink) が unlabelled という状態になるまで繰り返す。前者の状態に至ったときには Routine B へ, 後者の状態に至ったときには labelling 終了となり, このときの各 arc の flow f_{ij} が最大の flow を構成している。

Routine B (Flow の変更)

node n (sink) が $(j^+, \varepsilon(n))$ とラベルされているとき, f_{jn} を $f_{jn} + \varepsilon(n)$ でおきかえる。node n が $(j^-, \varepsilon(n))$ とラベルされているとき, f_{jn} を $f_{jn} - \varepsilon(n)$ でおきかえる。

次に node j に注目し, $(i^+, \varepsilon(j))$ とラベルされていると f_{ij} を $f_{ij} + \varepsilon(n)$ で, $(i^-, \varepsilon(j))$ とラベルされていると f_{ij} を $f_{ij} - \varepsilon(n)$ でおきかえる。次に node i に注目する。

この操作を繰り返し node 1 (source) に到達すれば, すべてのラベルを取り除き, ふたたび Routine A へもどる。

3. Travelling Salesman Problem

n 個の地点があって, 各 2 地点間の距離が与えられている。与えられた 1 地点から出発し, すべての地点を巡回して, もとへもどるのに総距離が最小となる回り方を求めよ, という形で問題が与えられる。ここでいう「距離」を, 時間, コストなどにおきかえ, 所要時間最小, 総コスト最小などの問題におきかえることはいうまでもない。

この問題はすべての場合をためしてみれば最適解が求まるが, $(n-1)!$ とおりあるから計算上容易でない。この問題を解くのに M. Held⁽³⁾ らは Dynamic Programming を適用しているが, あまり能率よく解が求まっていない。ここでは J. D. C. Little⁽⁴⁾ らの「Branch and Bound」algorithm を紹介する。

Travelling Salesman Problem のコストは matrix 表示でき city を $i=1, 2, \dots, n$ と i matrix の ij 要素で city i から j へゆくコストを示すと

$$C=[c(i, j)] \dots\dots\dots (3.1)$$

で表わされ, これを cost matrix と呼ぶ。最初に与えられる cost matrix は, algorithm が進むにつれて種々に変換されてゆく。

ある一つの tour t は

$$t=[(i_1, i_2)(i_2, i_3)\dots(i_{n-1}, i_n)(i_n, i_1)] \dots\dots\dots (3.2)$$

で表わされ, このときの総コスト $z(t)$ は

$$z(t) = \sum_{(i,j) \in t} c(i, j) \dots\dots\dots (3.3)$$

で表わされる。 t は cost matrix の各行から一つ, 各列から一つの要素が選び出されていなければならない。

cost matrix のある行の各要素から定数 h を差し引いても, 最適な tour は変化しない。列についても同様のことがいえる。そして, 各行からその行の要素の最小の値を差し引く操作を, 行に reducing を施すという。列についても同様である。すべての行および列に対して, この操作を完了するとその結果, 非負の要素と, 各行, 各列に少なくとも一つの 0 要素をもつ matrix が得られ, これを reduced matrix と呼ぶ。

$z_1(t)$ を reduced matrix から得られる tour t の総コストとし, h を, 差し引いた定数値の和とすると

$$z(t) = h + z_1(t) \dots\dots\dots (3.4)$$

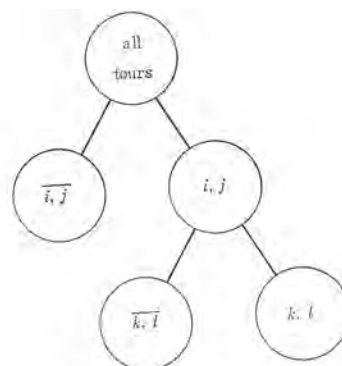
表 3.1 Cost Matrix (6-city problem)

(a) Original cost matrix

		To					
		1	2	3	4	5	6
From	1	∞	27	43	16	30	26
	2	7	∞	16	1	30	25
	3	20	13	∞	35	5	0
	4	21	16	25	∞	18	18
	5	12	46	27	48	∞	5
	6	23	5	5	9	5	∞

(b) Reduced cost matrix

	1	2	3	4	5	6
1	∞	11	27	0	14	10
2	1	∞	15	0	29	24
3	15	3	∞	35	5	0
4	0	0	9	∞	2	2
5	2	41	22	43	∞	0
6	13	0	0	4	0	∞



i, j : city pair (i, j) を含む tour

$\bar{i}, \bar{j}$: city pair (i, j) を含まない tour

図 3.1 Tour の Branching

が得られる。 h は, もとの matrix から得られる tour t のコストの lower bound を示す。表 3.1 に 6 city の例題の cost matrix およびその reduced matrix を示す。この例題では $h=48$ すなわち, いかなる tour t に対しても $z(t) \geq 48$ なることを示している。

図 3.1 に一般の tour を tree の形式で表現したものを示す。ここで i, j は, city pair (i, j) を含む tour, $\bar{i}, \bar{j}$ は, city pair (i, j) を含まないすべての tour を示す。 k, l は city pair (i, j) (k, l) をともに含む tour, $\bar{k}, \bar{l}$ は (i, j) は含むが (k, l) は含まない tour を示す。このような操作を Branching と呼ぶ。

$X, Y, \bar{Y}$: tree の node (たとえば i, j や $\bar{k}, \bar{l}$)

$w(X)$: lower bound すなわち $z(t) \geq w(X)$

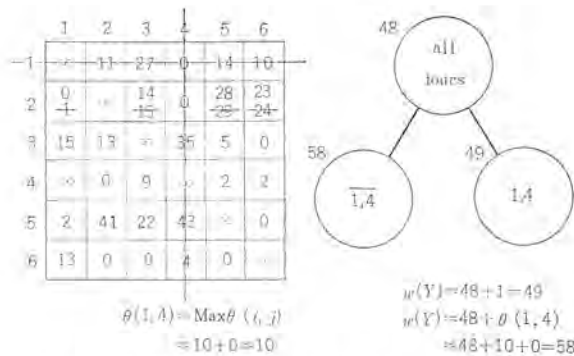
Z_0 : 最小コスト

とする, また

$$\theta(k, l) = \text{Max } \theta(i, j) \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\theta(i, j) = [\text{第 } i \text{ 行の最小要素, ただし } c(i, j) \text{ を除く}] + [\text{第 } j \text{ 列の最小要素, ただし } c(i, j) \text{ を除く}] \dots\dots\dots (3.6)$$

を満たす k, l を求め, Branching を行なうときの node として k, l を選ぶ。



(a) City pair (1,4) に関して branching を行ない、かつ reducing をほどこした matrix
(b) 第一回目の branching を行なったあとの tree
図 3.2 Branching を行なったあとの Cost Matrix および Tree.

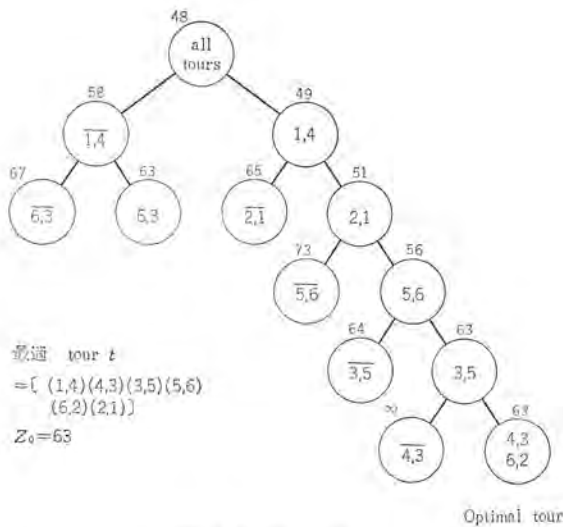


図 3.3 Final Tree

次に reduced matrix から k 行および j 列の各要素を除去し、先に述べた reducing の操作をほどこし、新たに lower bound を次の関係から求める。

$$w(Y) = w(X) + \theta(k, l) \quad (3.7)$$

$$w(Y) = w(X) + h \quad (3.8)$$

ただし h は、reduced matrix を求めるために各行、列から差し引いた値の総和を示す。

以上のように Branching を求める操作と、lower bound を求める操作を、 (2×2) matrix が得られるまで繰り返す。この最後に得られる lower bound の値が、各 terminal node における lower bound の値以下であれば、繰り返し操作を停止する。この関係を満たしていない場合には、その terminal node からふたたび同様の Branch and Bound algorithm にしたがって繰り返し計算を進める。

図 3.1 に示した例題について、第1回目の Branching 操作をほどこしたときの cost matrix の値と、tree の状態を図 3.2 に示し、最終結果を図 3.3 に示す。

すなわち、この例題では

$$t = [(1,4)(4,3)(3,5)(5,6)(6,2)(2,1)]$$

が最適な tour で、そのときの総コスト z_0 は

$$z_0 = 63$$

という結果が得られる。

4. Scheduling (Job-shop Scheduling)⁽⁵⁾

Scheduling という言葉で包含される範囲は非常に広いものであり、この文で紹介している手法は、すべて scheduling のための手法であるともいえる。この章では、Job-shop における仕事のスケジュールを作る問題にしばってこれまでに提案された手法を展望する。

Job-shop Scheduling における順序づけの問題は次のように述べるができる。いま n 個の item があり、item ごとに指定された順序に機械で加工せねばならない。各 item の加工時間は機械ごとに異なっている。この場合、問題はすべての item 加工完了までの時間を最小にするスケジュールを作ることである。

4.1 加工順序がすべての item に共通な場合

いま 2 台の機械 M_1, M_2 を用いて n 個の item を同じ順序で加工する場合を考えてみる。図 4.1 を参照して、 a_i, b_i をおのの item I_i の M_1, M_2 での加工時間、 x_i を I_i を加工する直前の M_2 のあき時間とすると、総所要時間

$$T = \sum_{i=1}^n b_i + \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.1)$$

を最小にする I_i の順序を求めよ、という形で問題が与えられる。式 (4.1) 右辺第 1 項は与えられた定数であるから、われわれの問題は右辺第 2 項の $\sum_{i=1}^n x_i$ を最小にすることである。

$$x_1 = a_1 \quad (4.2)$$

$$x_2 = \max(a_1 + a_2 - b_1 - x_1, 0) \quad (4.3)$$

$$x_1 + x_2 = \max(a_1 + a_2 - b_1, x_1) \\ = \max\left(\sum_{i=1}^2 a_i - \sum_{i=1}^1 b_i, a_1\right) \quad (4.4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = \max\left\{\left(\sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^{n-1} b_i\right), \left(\sum_{i=1}^{n-1} a_i - \sum_{i=1}^{n-2} b_i\right) - \left(\sum_{i=1}^2 a_i - \sum_{i=1}^1 b_i\right), a_1\right\} \quad (4.5)$$

$$\equiv \max_{1 \leq u \leq n} K_u \quad (4.6)$$

$$K_u = \sum_{i=1}^u a_i - \sum_{i=1}^{u-1} b_i \quad (4.7)$$

いま I_j と I_{j+1} を入れかえ、新しい K_u を K'_u とし、総所要時間を T' とすると、

$$\max(K_j, K_{j+1}) = \max(K'_j, K'_{j+1}) \text{ なら } T = T' \quad (4.8)$$

$$\max(K_j, K_{j+1}) < \max(K'_j, K'_{j+1}) \text{ なら } T < T' \quad (4.9)$$

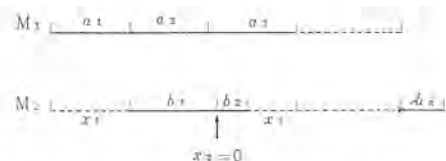


図 4.1 2 台の機械、 n 個の item の scheduling

なぜならば、 K_u と $K_{u'}$ が異なるのは、 u が j と $j+1$ の場合のみであるからである。式 (4.9) の両辺から $\sum_{i=1}^{j+1} a_i - \sum_{i=1}^{j+1} b_i$ を引くと

$$\max(-a_{j+1}, -b_j) < \max(-a_j, -b_{j+1}) \dots\dots\dots (4.10)$$

または

$$\min(a_j, b_{j+1}) < \min(a_{j+1}, b_j) \dots\dots\dots (4.11)$$

が成立する。逆に式 (4.11) が成立するときには、式 (4.9) が成立することも明らかである。すなわち、式 (4.11) が成立するときには、 I_j を I_{j+1} よりも先に行なうと、総所要時間は短くなる。また式 (4.11) の関係は transitive であって、最適な順序づけのルールは

$$^u \min(a_i, b_j) < \min(a_j, b_i) \dots\dots\dots (4.12)$$

が成立すれば、 I_i を I_j より先に行なう。”
与えられる。

このように2台の機械を用いる場合の順序づけの手順としては

- (1) a_i と b_i を縦に2列に並べる。
- (2) $\min(a_i, b_i)$ をさがす。
- (3) $\min(a_i, b_i)$ が a_i の中にあれば、その item を最初に行なう。
- (4) $\min(a_i, b_i)$ が b_i の中にあれば、その item は最後にまわす。
- (5) その item をリストから取り除き、残りの $(n-1)$ 個の item について同様の操作をほどこす。

表 4.1 に示す例題にこの手順をほどこすと、最適順序として、 $\{I_5, I_1, I_4, I_3, I_2\}$ が得られる。

Scheduling の問題は本質的に Multi-Stage Decision Process であり、Dynamic programming の手法で解こうとしている例もあり、 m 個の機械への拡張も行なわれているが、式 (4.12) に相当する順序ぎめの条件が複雑で比較する項が多すぎて手に負えない。

以上は解析的順序づけを考えたが、計算機による Sorting 法の応用が提案されており、実用的な方法として注目されている。

(1) Merging Method: item の順序を前から二つずつまとめて $\{(I_1, I_2), (I_3, I_4), \dots\}$ のような pair を作る。ほかを固定して一つの pair の中だけを入れかえてみて、 T が短くなるほうを取る操作を $n/2$ 回繰り返す。その結果 $\{(I_1, I_2), (I_4, I_3), \dots\}$ を得たとする。次には $\{(I_1, I_2), (I_4, I_3)\}, [\quad], \dots\}$ なる quartet のシリーズを作り、quartet の内部をいろいろ変えてよい順序を求める。このような操作を繰り返してゆく。

(2) Pairing: Merging で作った pair, quartet などの順序は固定されたものと考えて、それを一つの item と考えて次の pair を作ってゆく。

(3) Exchanging: 任意の順序から出発して、となりの item

表 4.1 最適順序を求める例題

i	a_i	b_i	
1	4	5	
2	4	①	→最後～
3	30	4	
4	6	30	
5	②	3	→最初～

表 4.2 Sorting 法の応用による各種スケジュール法の比較

問題	方 法	Merging	Pairing	Exchanging	Selection	Monte Carlo	Best *
item 7 機械 7	平均 total wasted time	231.2	251.8	253.0	270.3	240.8	215.4
	Best との比較	7.3	16.9	17.5	25.5	11.8	—
	計 算 時 間	20 sec	12	21	10	26	1,925 (=32 min 5 sec)
item 28 機械 7	total wasted time	539	729	882	631	725	
	Merging との比較	—	35%	64	17	34	
	計 算 時 間	35min	4	30~45	9.5	11.5	

使用計算機 Pegasus

* 7!=5,040 とおりの順序を作り、total wasted time 最小のもの

を入れかえて改良されれば交換する。一度前に作った順列にぶつかるまで繰り返す。

(4) Selection: すべての item を最初においてみて一番遊休時間の短くなる item を最初にする。次に $(n-1)$ 個の item の中から、2 番目におくと一番遊休時間が短くなるものを選ぶ。1 段ごとに item が一つずつ減り、 n 回繰り返す。

(5) Monte Carlo 法: n item がつくる $n!$ 個の順列の中から at random にいくつかの順列を抜きとる。

表 4.2 は以上の方法を用いて計算した例を示す。

なお、上記の方法では、 $n!$ 個のスケジュールから最適のスケジュールが得られるという保証はないが、実際問題に適用しうる方法として実用価値は高い。またこの方法は、機械加工のプロセスがかなり複雑になっても、シミュレーションの手法により処理できる⁽⁶⁾という利点を備えている。

4.2 加工順序が item ごとに異なる場合

item I_i の機械 M_j による加工所要時間 x_{ij} が与えられる。機械の加工順序だけを考えると、すべての i, j について $x_{ij}=1$ とした問題を non-numerical な問題、実際の加工時間を考慮する問題を numerical な問題と呼ぶ。

non-numerical な問題については、 n 個の item、 m 台の機械について可能なスケジュールの組み合わせ $(n!)^m$ とおりを作り論理的に不可能な組み合わせを除去してゆく手法が考えられているが、 n, m が少し大になると組み合わせの数が天文学的数字になり実用的でない。

numerical な問題については、

(1) non-numerical な問題について得た解に加工時間を加えて、time chart を描いてみて、総所要時間を最小にするものを取る。

(2) Linear programming による方法などが提案されている。

LP による方法では、 n 個の item、 m 台の機械について時刻 $1, 2, \dots, T$ まで動かすとすると mnT 個の変数を必要としばぐだいになり、実用化された例はない。

5. PERT/CPM⁽⁷⁾

5.1 PERT⁽⁸⁾

PERT (Program Evaluation and Review Technique) は、アメリカ海軍の SPO (Special Project Office) に OR チームを編成し構想を具体化したプロジェクト管理方式であり、現在では、そ

の実用的価値が認められて産業界の各分野に浸透しており、鉄鋼、機械、化学工業など広い分野で使われている。

PERT の目的は、確立された目標を時間どおり完成させるために仕事を計画し管理しまとめてゆくことで、主として各作業時間の random な変動が作業開始時刻や完了時刻、またプロジェクトと完成期間にどんな影響を及ぼすか、そしてさらに計画されたスケジュールの実行可能度はどうか、といったものを解析するものである。

各作業の実施順序関係を arrow diagram で表示する。ただし arrow diagram を描く上でのルールとして

- (1) すべての作業工程は $i < j$ なる唯一の arc (i, j) で表現される。
- (2) 一つの node にはいる作業工程は、同一の後続作業工程をもつ。
- (3) 一つの node から出る作業工程は、同一の先行作業工程をもつ。
- (4) 一つの node にはいる作業工程と、出てゆく作業工程間の関係は、その node によって完全に表現される。

以下に示す手順により各作業の余裕時間 (float) などを評価する。node i に達することのできる最も早い時刻、最早時刻 (Earliest node/Event time) t_i^E は

$$t_i^E = \max_{(k,j) \in P} \{t_k^E + D_{kj}\} \quad (5.1)$$

$$t_1^E = 0 \quad (5.2)$$

ただし D_{ij} : 作業 (i, j) の所要時間

t_n^E : 全 project の所要時間

t_n^E までに project を完了するために node i に遅くとも達していなければならない時刻、最遅時刻 (Latest node/Event time) t_i^L は

$$t_i^L = \min_{(k,i) \in P} \{t_k^L - D_{ik}\} \quad (5.3)$$

$$t_n^L = t_n^E \quad (5.4)$$

作業 (i, j) を開始しうる最も早い時刻、最早開始時刻 (Earliest start time) S_{ij}^E は

$$S_{ij}^E = t_i^E \quad (5.5)$$

作業 (i, j) を完了しうる最も早い時刻、最早完了時刻 (Earliest completion time) C_{ij}^E は

$$C_{ij}^E = S_{ij}^E + D_{ij} = t_i^E + D_{ij} \quad (5.6)$$

project を t_n^E までに完了するために、作業 (i, j) を遅くとも完了していなければならない時刻、最遅完了時刻 (Latest completion time) C_{ij}^L は

$$C_{ij}^L = t_j^L \quad (5.7)$$

そのために遅くとも作業 (i, j) を開始していなければならない時刻、最遅開始時刻 (Latest start time) S_{ij}^L は

$$S_{ij}^L = C_{ij}^L - D_{ij} = t_j^L - D_{ij} \quad (5.8)$$

この結果作業 (i, j) の余裕時間は

$$C_{ij}^L - C_{ij}^E$$

で与えられる。

PERT の特長は、計画にまつわる問題の所在 (Trouble spots) を指摘してはくれるが、その解決策を示してくれるものではない。

5.2 CPM⁽⁹⁾

CPM (Critical Path Method) も PERT と同様、network を

中心に論理構成がなされているが、特長的な点は時間とコストの問題をとりあつかい、計画がコスト最小で保証されるような最適解 (最適スケジュール) を求める点にある。

CPM の algorithm の基本になっているのは network flow の理論である。project の各作業の実施順序関係を arrow diagram で表示する。node i には node time と呼ばれる時刻 t_i が対応し、 t_i は node i に到達する時刻を示す。また各作業 (i, j) には作業時間 y_{ij} が対応している。ただし y_{ij} は

$$0 \leq d_{ij} \leq y_{ij} \leq D_{ij} < \infty \quad (5.9)$$

の範囲で決められる。 D_{ij} は作業時間の上限、 d_{ij} は下限で、あらかじめ与えられる。

node 1 の開始時刻 t_1 は

$$t_1 = 0 \quad (5.10)$$

project P に含まれる各作業に対して

$$y_{ij} + t_i - t_j \leq 0 \quad (5.11)$$

が成立しなければならない。この関係は、node j から始まる作業は、 j で終わる全作業が完了したあとでなければ開始できないことを示す。

$$t_n = \lambda \quad (5.12)$$

としたとき、この λ をスケジュールの完成期間と呼ぶ。このときにスケジュールの総費用

$$p(\lambda) = \min_{(i,j) \in P} \sum (-c_{ij}y_{ij} - k_{ij}) \quad (5.13)$$

を最小にするスケジュールを「スケジュール期間」 λ の最適スケジュールと呼ぶ。ただし、作業時間と作業費用の関係を一関係で近似し、 c_{ij} , k_{ij} はその係数である。

CPM の問題は、制限条件式 (5.9) (5.10) (5.11) (5.12) のもとで式 (5.13) を満たす $y_{ij} ((i, j) \in P)$, t_i ($i=1, 2, \dots, n$) を求めることである。この問題は、変数 (y, t) 、目的関数式 (5.13) の LP 問題であることがわかる。ここで λ は parameter であるので、Parametric Linear Programming の問題である。

上記数学モデルの matrix 構造は、その要素が 0 か ± 1 であり特殊な形をしており、この特殊性が Network Flow 理論に結びつくのである。(誘導は文献 (9) を参照されたい。)

6. Heuristic Programming

Heuristic Method⁽¹⁰⁾ と称する方法が最近話題になっており、F. M. Tonge⁽¹¹⁾⁽¹²⁾ が組立てラインのバランスをとる問題に適用しているので、これを紹介する。

Webster の英々辞典で“heuristic”の項を引くと、「発見を助ける方法」(serving to discovery or reveal) とあり、Heuristics と称される分野は「与えられた問題を解く (Problem-Solving) にあたって、探索の回数を減らすための原理」と定義されている。

問題の出発点は、Problem-Solver が、どのようにして求めたらよいかわからないような結果を要求することから始まる。もちろんある種の情報は最初から存在するから、Problem-Solver は、その利用できる情報を繰返し用いて、順次新しい情報を導き出しついに最後に求められた結果の発見にいたる。Heuristics が、まちがいない指導を行なうことはまれで、経験的価値のみをもった実際的な知識をわれわれに与える。

Assembly Line Balancing の問題 (組み立てラインのバランス

をとる問題) というのは、次のような形で与えられる。これは、ベルトコンベアによる同一製品の大量生産ラインのバランスをとる問題で、分割できないいくつかの仕事 (elemental task) の集合で構成される組立て工程が与えられる。

(1) 単位量を生産する際、各 elemental task を実行するに要する時間は、その仕事を始める時刻のいかんにかかわらず、一定で、かつあらかじめ与えられる。

(2) elemental task 相互間に、半順序関係が存在する。

(3) 1 サイクル時間が与えられる。

という条件のもとで、所要の生産比率を達成するのに、必要にして最小の作業人数 (または work station 数) を求めよ、という形で与えられる。

問題の最適解は、以下の条件をみたしながら、各 elemental task を各作業員 (または work station) に割りつけることで与えなければならない。

(1) 各 elemental task は、おのおの 1 人の作業員 (または work station) に assign される。

(2) 1 人の作業員 (または work station) に割りつけられた elemental task を実行するに要する時間の和は、1 サイクル時間以下でなければならない。

(3) 半順序関係をみださない。

(4) 作業員数 (または work station) の数を minimize する。

図 6.1 に組み立てラインの作業順序図の例を示す。

Heuristic Procedure は 3 段階にわけて行なわれる。

Phase I Grouping Procedure

サイクル時間を無視して、作業順序図の隣の elemental task を push-down list 式にまとめる。この際図 6.2 に示す chain, set, Z の 3 種類の複合要素にまとめる。

(1) front element が一つするとき

chain 構成を企てる。分岐点にくれば (2) の subproblem とする。

(2) front element が二つ以上するとき

Set 構成を企てる。→ (1)

↓ 失敗

成功

Z 構成を企てる。→ (1)

↓ 失敗

成功

各 front element を独立に考えて、いくつかの (1) の subproblem とする。

Phase I の output が Phase II の input になる。

Phase II 複合要素への作業員 (または work station) の割当てサイクル時間を考慮して

(1) すべての elemental task をひとまとめにした複合要素に必要な作業員を評価し、(2) を適用する。成功すれば Phase II の procedure は完了、失敗すれば最初に assign した作業員数を増す。

(2) (a) 2 人以上の作業員が assign された場合

各 element の必要時間に応じて分配する。→ (1)

↓ 失敗

成功

regrouping procedure により group 間

で task の交換を行なう。

→ (1)

↓ 失敗

次のレベルへゆく。

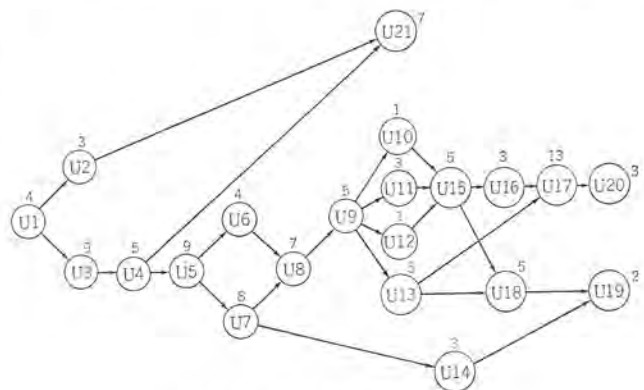


図 6.1 組立ラインの作業順序

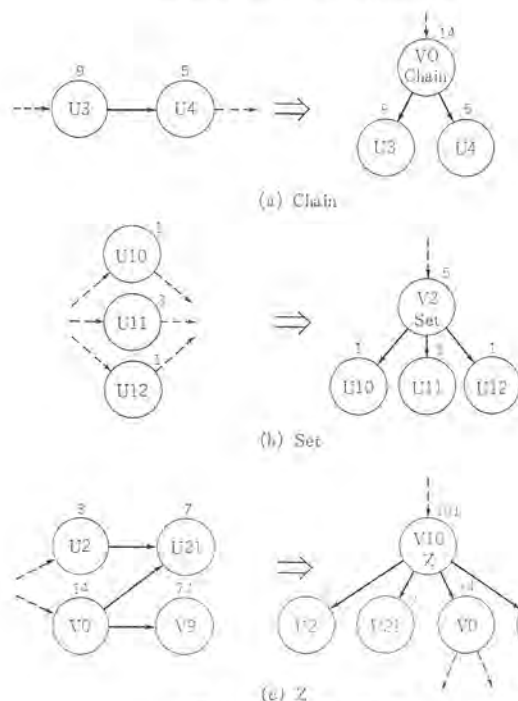


図 6.2 複合要素

(b) 1 人の作業員が assign された場合

この group に、さらに elemental task を加え得ないかを検討し、この group に属する task を 1 人の作業員が担当する。

Phase III Smoothing or Regrouping Procedure

各作業員に割りあてられた仕事を実行するに要する時間 (assigned time) を、できるだけ平等に分布させるために、regrouping procedure をとる。これには、Direct Transfer, Trading, Sequential Grouping, Complete Grouping, Exhaustive Grouping などのやり方がある。

以上の heuristic procedure を、図 6.1 に示した例題に適用して得られる最終結果を表 6.1 に示す。ここでサイクル時間は 20 である。

Heuristic procedure のもつ特長として次の項目があげられる。

(1) 与えられた問題を、小さい問題に小わけする。(しばしば meansend analysis, すなわち、すべてのものを機能ごとに分類し、その機能の要求する目的と、それを行なう手段の間を行ったりきたりするやり方が用いられる。)

表 6.1 図 6.1 の解

作業者	作業時間	Elemental Tasks
1	18	U1, U3, U4
2	19	U2, U5, U21
3	15	U6, U7, U14
4	17	U8, U9, U10, U11, U12
5	20	U13, U15, U16, U18, U19
6	16	U17, U20

(2) 多くの可能性の中から特定の決定をくだすきっかけを見出すこと.

(3) 繰り返えし操作を施す.

(4) 最適解あるいは実行可能解が得られるという保証がない.

7. む す び

以上紹介した手法のうち, Network Programming は電力系統の解析に適用されて, その実用的価値を発揮し, Scheduling (Job-shop Scheduling) に関しては, シミュレーションの段階ではあるが, 現実の project に数多く適用されている.

システム工学における最近の傾向は, 電子計算機システムの発展にともない, Large Scale System を一つの unit として最適化を図る, いわゆる, 総括管理制御を実現するということであり, 今後この分野の諸手法の開発および掘り下げが活発になされ, 現実の project に広範囲に応用され, ますま企業自動化を促進させるものと思う.

3 回にわけて, Mathematical Programming の諸手法の概略を紹介したが, これらは三菱電機(株)中央研究所第3研究部, 馬

場主任研究員室において, 一連の paper を輪読し, それを筆者がとりまとめたものであり, 有益な討論を行なっていただいた上記研究室の諸氏に深く感謝申しあげる. (昭 41-1-21 受付)

参 考 文 献

- (1) L.R. Ford, Jr. and D.R. Fulkerson: Flows in Network, Princeton University Press (1962)
- (2) R.E. Gomory and T.C. Hu: Multi-Terminal Network Flows, J. Soc. Indust. Appl. Math., 9, 551 (1962)
- (3) M. Held and R.M. Karp: A Dynamic Programming Approach to Sequencing Problems, J. Soc. Indust. Appl. Math., 10, 196 (1962)
- (4) J.D.C. Little, K.G. Murty and C. Karel: An Algorithm for Travelling Salesman Problem, Oper. Res., 11, 972 (1963)
- (5) 関根, 真鍋: スケジューリング問題, 日科技連数学計画シンポジウム, 報文シリーズ No. 8 (1963)
- (6) 福永, 田村, 羽根田: シミュレーションによる生産スケジューリング制御, 第8回自動制御連合講演会, 168 (1965)
- (7) 加藤: 計画の科学 (どこでも使える PERT・CPM), 講談社 (1965)
- (8) 小笠原: PERT 概論, 「電子計算機と OR」講習会テキスト, 日本電子工業振興協会 (1964)
- (9) 青沼: CPM 概論, 「電子計算機と OR」講習会テキスト, 日本電子工業振興協会 (1964)
- (10) A. Newell, J.C. Shaw and H.A. Simon: Report on a General Problem-Solving Program, Proc. Internat'l Conf. on Information Processing, Paris, pp. 256-264 (1959)
- (11) F.M. Tonge: Summary of a Heuristic Line Balancing Procedure, Mgt. Sci., 7, 21 (1960)
- (12) F.M. Tonge: A Heuristic Program for Assembly Line Balancing, Prentice-Hall, Inc. (1961)



新製品紹介

ディーゼルエンジン駆動

小形発動発電機 DN 形ダイヤパワー完成

当社では、従来から小形発動発電機 DP 形ダイヤパワー（ガソリンエンジン駆動）を全国的に広く販売しているが、このほどディーゼルエンジン駆動による小形発動発電機 DN 形ダイヤパワーのシリーズ化を完成した。

用途は、工事現場・工場・役所・商店・病院・農作業・漁船・家庭などの照明電源や無線・有線などの通信用電源または、電気カンナ・電気ノコギリ・家庭用小形電気機器などの動力用電源などに適する。

■ 特 長

(1) 電圧変動率が少なく、適応性がよい。

発電機は自動形としているため、負荷変動に対する変動率は少なく、突発的負荷変動に対する適応性も一段とすぐれている。

(2) 小形コンパクトで高出力

エンジン、発電機をパイプフレームにコンパクトに取り付け可搬式としている。また小形にもかかわらず、出力に十分な余裕があるため重負荷にも安定した運転を維持できる。

(3) 取扱い、保守が容易

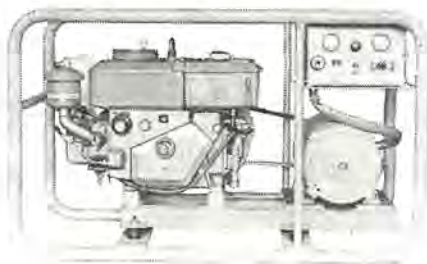
エンジンおよび発電機の手扱いは簡単であり、配電盤も操作はきわめて容易である。

(4) 保護が完全

電氣的にも機械的にも保護は、安全、確実である。

(5) 維持費が安い

ディーゼルエンジン使用のため、ガソリンエンジンより燃料費が安いので維持費が少なくすみ、常用電源に適する。



DN 形ダイヤパワー

■ 仕 様

項 目		形 名	DN-1	DN-2S	DN-2L	DN-3S	DN-3L
ディーゼルエンジン	形 式		横 形		頭上昇		予燃室式
	形 名		SD30H	SD40H	SD6H	SD6H	SD65H
	気 筒 数	1	1	1	1	1	1
	内 径×行 程(mm)	68×80	78×85	80×90	80×90	90×105	90×105
	総 排 気 量(CC)	290	406	452	452	667	667
	常 用 出 力(PS)	3.5	5	6	6	8	8
	回 転 数(rpm)	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
	燃 料 タンク 容 量(l)	4	6	8.5	8.5	11	11
	冷 却 方 式	ホッパ式	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
	始 動 方 式	増速手動式	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
単相交流発電機	乾 燥 重 量(kg)	60	74	88	88	120	120
	形 式	開放保護形	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
	出 力(kVA)	1	2	2	3	3	3
	電 圧(V)	100	100	100	100	100	100
	電 流(A)	10	20	20	30	30	30
	周 波 数(c/s)	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60
	回 転 数(rpm)	3,000/3,600	3,000/3,600	3,000/3,600	3,000/3,600	3,000/3,600	3,000/3,600
	力 率(%)	100	100	100	100	100	100
配電盤構成部品	励 磁 方 式	自 励	同 左	同 左	同 左	同 左	同 左
	重 量(kg)	33.5	54	54	64	64	64
	器 具 名	個 数	定 格	定 格	定 格	定 格	定 格
	交流電流計 RI-45 形	1	15A	30A	30A	50A	50A
	交流電圧計 RI-45 形	1	150V	150V	150V	150V	150V
	ノーヒューズ遮断器 BH 形	1	AC125V, 15A, 1P(25°C)	AC125V, 30A, 1P(25°C)	AC125V, 30A, 1P(25°C)	AC125V, 50A, 1P(25°C)	AC125V, 50A, 1P(25°C)
	コンセント(引掛形)	1	250V 15A	250V 20A	250V 20A	250V 20A	250V 20A
	カ (振動形)	1	250V 10A	250V 10A	250V 10A	250V 10A	250V 10A
	初期励磁用スイッチ	1	125V 15A	125V 15A	125V 15A	125V 15A	125V 15A
	非常励磁用スイッチ	1	125V 10A	125V 10A	125V 10A	125V 10A	125V 10A
	電圧調整器 HC 形	1	600Ω	225Ω	225Ω	225Ω	225Ω
	固定抵抗器 QG 形	1	150Ω	60Ω	60Ω	60Ω	60Ω
	フィルタ CP-102A 形	1	0.05μF 1,500V	0.05μF 1,500V	0.05μF 1,500V	0.05μF 1,500V	0.05μF 1,500V
	整 流 器	1					
	変 流 器	1					
	リアクトル	1					
	固定抵抗器 QG 形	1	200Ω	200Ω	200Ω	200Ω	200Ω

注) 2kVA および 3kVA の選定基準は原則として右表による。

標高1,000m未満で使用する場合	DN-2S および DN-3S
標高1,000m以上で使用する場合	DN-2L および DN-3L

NEWS FLASH

高層建築時代へ万全の用意

■ 世界一のエレベータ試験塔完成

—当社稲沢製作所—

昇降機専門の最新鋭工場として誕生した稲沢製作所にさらに世界最大の規模を誇るエレベータ試験塔が3月30日に完成、竣工式を行なった。

試験塔仕様

地上高さ 65.15 m, 地下4 m, 鉄骨造り (カーテンウォール)

エレベータシャフト

昇降行程 50 m

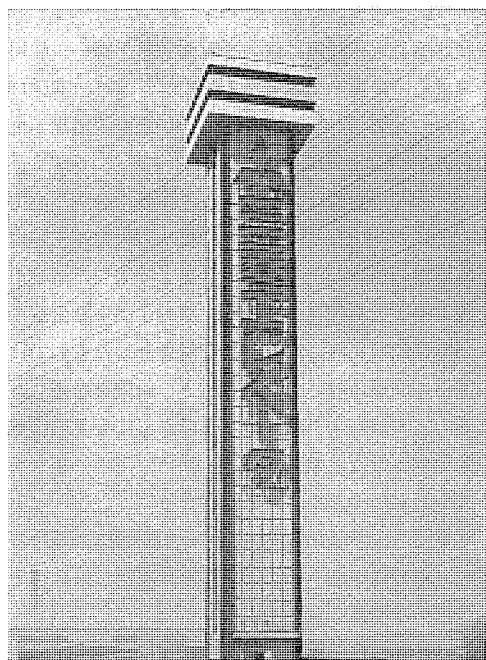
A シャフト 歯車なし高速エレベータシステム試験用を主とする。

B シャフト 歯車式エレベータシステム試験用を主とする。

C シャフト A, B シャフト用機器を取換える時、搬出入を行なう揚重機の運行および非常止め、緩衝器などの単体機器の試験用

特 長

- (1) 最近完成予定の世界最高と称する米国 Montgomery 社の試験塔の高さ 60 m をしのぐ世界最高のものである。
- (2) 設置場所、塔屋構造に注意をはらって、ホテルなどの静謐な環境での模擬試験ができるようにした。
- (3) 機械室、昇降路周囲、ピットなどを十分に広くとり、運転状況の調査、観察を便利にした。
- (4) 300 m/min までのみでなく 450 m/min の高速エレベータの試験まで可能である。



エレベータ試験塔

■ スペイン国鉄向け直流電気機関車受注

当社では、このほどスペイン国鉄から直流 3,000 V/1,500 V 複電圧式電気機関車 16 両を受注した。これは 40 年秋、フランスの Alsthom, イギリスの English Electric, スウェーデンの ASEA などヨーロッパ各国の有力メカが参加した入札において堂々 1 位を占め、このほど正式契約が結ばれたものである。当社は電気機関車の輸出では、すでにインド国鉄に交流電気機関車 70 両を納入した実績を有しているが、このたびの受注は日本製機関車のヨーロッパへの進出の第一歩として、きわめて意義深いものといえる。

契約はスペインの電気メカ CENEMESA 社と、車両メカの CAF 社および NAVAL 社との共同受注の形をとり、全 16 両のうち 2 両は日本で完全組立てを行ない、残り 14 両については主要部品を輸出して現地で組立てを行なうことになっている。第 1 両目は今年末に納入の予定で、42 年春にヨーロッパの鉄道に初の日本製機関車が活躍をすることになる。

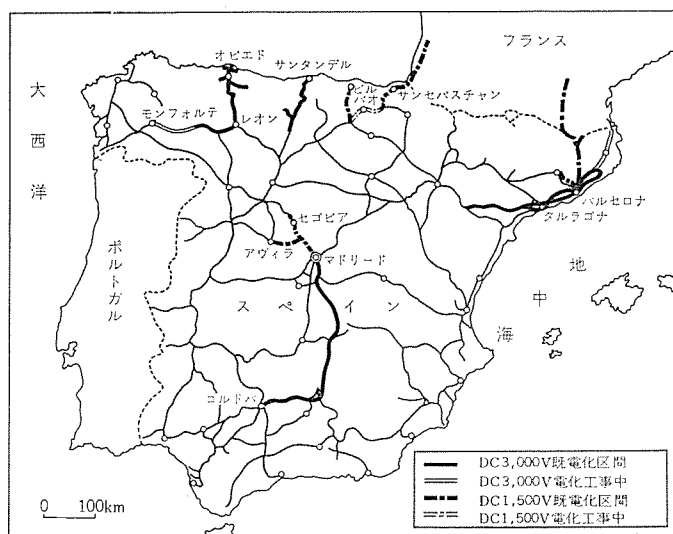
この機関車は性能面においてもわが国の機関車にみられない次のような特長を有している。

(1) 直流 3,000 V と 1,500 V の両区間において全出力で運転できる。

(2) 1 台車 1 電動機式で、主電動機としては 1 本の軸に 2 個の電機子を有するいわゆるタンデム方式を採用した。主電動機は出力 1,350 kW とわが国最大の容量を有している。

(3) 駆動方式は大容量の WN ドライブで、ギヤ比切換機構を有し、旅客列車、貨物列車にそれぞれ適したギヤ比に容易に切り換えて使用できる。旅客列車けん引時の最高速度は 130 km/h である。

なお制御装置はパーニヤ式超多段制御自動進段方式を採用し制



スペインの鉄道電化状況



御回路，保護回路は無接点化されている。

機関車の主要要目は次のとおりである。

用途	客貨両用	
電気方式	直流 3,000 V および 1,500 V 複電圧式	
軌 間	1,668 mm	
重量・軸配置	80 t (運転整備)，B-B	
機関車寸法	(長さ) 17,300×(幅) 3,126×(高さ) 4,310 mm	
機関車性能	(客車用)	(貨車用)
連続定格出力	2,700 kW	2,700 kW
連続定格速度	69.1 km/h	43.0 km/h
連続定格引張力	14.0 t	22.5 t
最大運転速度	130 km/h	80 km/h
主電動機	MB-3200-A 形 4 極 他力通風 ツンデム 式，F 種絶縁 連続定格 1,350 kW 3,000/1,500 V 485/970 A，1,000 rpm.	
動力伝達方式	1 台車 1 電動機 2 軸駆動式，WN 式， 歯車比切替方式，歯車比 3.30 (客車用) /5.31 (貨物用)	
制御方式	パーコヤ 付自動進段方式，抑速発電 ブレーキ， 重連総括制御可能。	
ブレーキ方式	機関車用空気 ブレーキ および列車用真空 ブレーキ。	

■ 国鉄北海道電化用 ED 75 S (試作) 形交流電気機関車受注

当社では，このたび国鉄東北線延長電化用(仙台—盛岡) ED 75 形交流電気機関車 6 両とともに北海道電化用(小樽—旭川)第 1 号電気機関車として，ED 75 S 形交流電気機関車試作車 1 両を受注した。

現在，国鉄の標準交流電気機関車としては，磁気増幅器を用いて，無電弧 ツップ 切替および ツップ 間電圧連続制御を行なう方式の ED 75 形交流電気機関車があるが，最近の大電力用サイリスタ素子の製作技術の進歩は著しく，これを用いた ノッチレス 制御方式が注目を浴び，上記機関車への適用が決定し，北海道電化線区用として試作車 1 両を製作することになった。

この機関車は今後の国鉄幹線用標準形交流電気機関車として北海道および九州地区向けに量産される予定である。

特長および主要要目は次のとおりである。

(1) 主回路に大電力用 サイリスタを用い，主回路の無接点化とともに ノッチレス AVR 制御方式による粘着性能の向上を計っている。

(2) 北海道向けであるため，耐寒耐雪対策を行なっている。すなわち周囲温度が -35°C まで低下することに対する凍結および機器動作特性の変化について考慮する一方，雪の侵入による絶縁破壊および通風方式についても考慮した設計となっており，必要な機器には保温用 ヒータ が設けてある。

(3) 制御回路にはサイリスタ，トランジスタ，GTO，PNPN 素子などの半導体素子を用いて完全な無接点化が実施され，これらは国鉄標準の無接点 トレイ として納めている。

(4) 現用の磁気増幅器式 ED 75 形交流電気機関車との重連運転が可能である。

主要要目

(1) 用途	客貨両用
(2) 運転整備重量	67.2 t
(3) 軸 配 置	B_0-B_0
(4) 機関車寸法	(長さ×幅×高さ) 13,800×2,800×3,600 mm
(5) 動力伝達方式	1 段歯車減速 ツリカケ 式，弾性歯車使用
(6) 電気方式	単相交流 50/60 c/s，20 kV
(7) 機関車性能	
1 時間定格引張力	14.0 t
1 時間定格速度	49.1 km/h
1 時間定格出力	1,900 kW
最高運転速度	100 km/h
(8) 制御方式	重連，主 サイリスタ による ノッチレス 制御，AVR 装置付，弱界磁 2 ノッチ (60%F まで)
(9) ブレーキ方式	空気ブレーキ および ネジ 手ブレーキ
(10) 主電動機	MT-52 900 V，510 A，425 kW 4 台
(11) 主変圧器	TM-12 二次巻線 4 分割式 2,290 kVA
(12) 主整流器および 主 サイリスタ 装置	RS-27 1,100 V，2,000 A， 2,000 kW

■ 国鉄北海道電化耐雪，耐寒試験を完了

国鉄では北海道電化計画に伴い，昭和43年小樽—旭川間の営業運転をめざして準備中であり，それにさきがけ，昭和41年11月には張碓—琴似 間の試験線区に 701 系交流電車が配置される予定である。

さしあたり今冬は貴重な一冬であり，国鉄の計画，協力のもとに去る 41 年 1 月 31 日から 1 週間，現地国鉄旭川工場内において交流電車で冷却装置の耐雪・耐寒試験を実施した。この試験は 701 系交流電車にとう載される主変圧器および主整流器の冷却装置，すなわち電動送風機，油冷却器を対象としたもので，これらの雪害・凍結の問題に対しては現在種々の対策を考慮し，最良と考えられる方法で計画中であるが，なにぶんにも不明な点が多く，これら現象をつかむことおよび雪害・凍結対策の効果を調査するために実施したものである。おもな調査事項は，

(1) 電車走行中の吸い込み雪，舞い上げ雪による冷却器の目づまり状況 (雪の吸い込み，たい積，凍結状況) およびそれによる冷却風量の減少程度

(2) 目づまり防止対策として，冷却器入口に融雪用 ヒータ を設けた場合の吸い込み雪の溶解状況およびその効果。

(3) 冷却風量を減少させた場合の目づまり状況およびその効果。

(4) 電車停留中における電動送風機羽根車の凍結状況および凍結した場合、短時間で運転可能にするための加熱装置(ヒータ)の容量と溶解時間。

(5) 電動油ポンプの低温時における性能、とくに絶縁油の高粘度時におけるポンプ吐出量、モータ入力。

(6) 溶解水の処理。

などである。

供試品について、主変圧器および主整流器は、おのおの独自の油冷却器、電動油ポンプ、および循環経路を有し、電動送風機を共用する形態をとっている。電動送風機は羽根車部にあたるケーシングに凍結時の氷を溶解するためのスペースヒータを装備し、送風機両側に油冷却器を設置して、冷却器で暖まった風をとおすなど雪害・凍結にそなえている。

これら供試機器は主変圧器、主整流器を損失発生用油タンクに置きかえたほかは、油冷却器、電動送風機および機器配置をふくめて、定格・形状・寸法を現在設計計画中のものとはほぼ同一として、実際に近い現象をつかむことにつとめている。電車走行時における試験は、実際に車両にとりつけての走行は行わず、機器を屋外に固定して外部から別の送風機で雪を吹きつけて行ない、電車停留中の模擬は機器を一晩中屋外に放置して行なった。これら一連の結果、

(a) 油冷却器の目づまりは、冷却風量の大きいほどはげしく、融雪用ヒータの効果は大きい。冷却風量を $2/3 \sim 1/2$ に減じた場合ヒータの有無には大差なくほとんど目づまりを呈しない。風量はあるところまで減少するとそれ以上進展せず逆に回復する傾向にある。

(b) 電動送風機の凍結については、排水が良好で凍結の心配はない。人工凍結で行なった溶解試験では容量、溶解時間も十分実用できる範囲にある。

(c) 電動油ポンプの吐出量は 0°C 付近で急激に減少するので

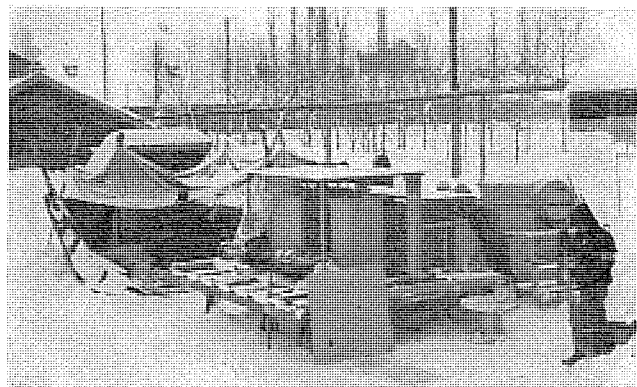


図1 現地試験風景



図2 冷却器の目づまり状況の一例

十分検討すべきである。

以上現地試験で得られたデータをもとに目下設計中である。

図1は現地試験風景、図2は冷却器の目づまり状況の一例である。

次号予定

三菱電機技報 Vol. 40 No. 5

リレー特集・船用電機品特集

特集論文 (リレー特集)

- 発電所用保護装置—水力発電所保護装置
- 〃〃〃〃—事業用火力発電所保護装置
- 〃〃〃〃—自家用火力発電所保護装置
- 〃〃〃〃—ディーゼル発電機保護装置
- 〃〃〃〃—高周波発電機保護装置
- 変電所用保護装置—系統用変電所における保護装置
- 〃〃〃〃—配電用変電所保護装置
- 〃〃〃〃—低圧ネットワーク方式の信頼と将来
- 〃〃〃〃—自家用変電所における保護装置
- 〃〃〃〃—電鉄用変電所の保護装置
- 〃〃〃〃—化学用直流変電所保護装置
- 〃〃〃〃—ポンプ場の保護装置
- 誘導電動機のはん用保護継電器
- 配電変圧器の NT-2 形, NT-3 形回路 シュ 断器

特集論文 (船用電機品特集)

- 三菱船用 E 種電動機
- 船用交流発電機の最近の動向
- 船用配電盤
- 船用起動器
- 船用主機遠隔操縦装置
- ソ 連向け魚工船電機品

普通論文

- NET 形 トライパック シュ 断器
- 電子計算機利用シリーズ
- 変圧器短絡強度の電子計算機による解析
- 技術解説
- コアメモリストック (その 4)

三菱電機技報編集委員会

委員長	小 倉 弘 毅
副委員長	片 岡 高 示
常任委員	明 石 精 二
〃	安 藤 安 二
〃	石 川 理 一
〃	宇 佐 見 重 夫
〃	大 野 寛 孝
〃	北 川 和 人
〃	小 堀 富 次 雄
〃	鈴 木 正 材
〃	祖 父 江 晴 秋
〃	馬 場 文 夫
〃	山 田 栄 一
〃	横 山 茂 行
委 員	尾 畑 喜 行
〃	樫 本 俊 弥
〃	神 崎 邇 介
〃	島 津 大 介
〃	林 昇 寿
〃	堀 真 幸

(以上 50 名順)

昭和 41 年 4 月 22 日印刷 昭和 41 年 4 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

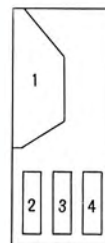
本 社	東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地 (三菱電機ビル内) (電) 東京 (212) 大代表 6111
大 阪 営 業 所	大阪市北区堂島北町 8 の 1 (電) 大阪 (312) 大代表 1231
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町 3 の 88・大名古屋ビル (電) 名古屋 (561) 大代表 5311
静岡駐在員	静岡市七間町 9 の 10 (池田ビル) (電) 静岡 (54) 70116~7
福岡営業所	福岡市天神 2 丁目 12 番地 1 号 天神ビル 5 階 (電) 福岡 (75) 代 表 6231
札幌営業所	札幌市北二条西 4 の 1・北海道ビル (電) 札幌 (26) 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	富山市桜木町 1 番 29 号・明治生命館 (電) 富山 (31) 代表 3151
広島営業所	広島市中町 7 番 32 号・日本生命ビル (電) 広島 (21) 大代表 5111
高松営業所	高松市鶴屋町 45 番地 (電) 高松 (2) 代表 0001
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 (561) 大 代 表 5311
福岡商品営業所	福岡市天神 2 丁目 12 番地 1 号・天神ビル 5 階 (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	富山市桜木町 1 番 29 号・明治生命館 (電) 富山 (31) 代表 3151
広島商品営業所	広島市中町 7 番 32 号・日本生命ビル (電) 広島 (21) 大代表 5111
高松商品営業所	高松市鶴屋町 45 番地 (電) 高松 (2) 代表 0001
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
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 (3) 代 表 1601
横浜出張所	横浜市中区富士見町 2 の 12 (電) 横浜 (65) 2691~3
新潟出張所	新潟市万代町 69 番地 (電) 新潟 (45) 1378
松本市出張所	松本市白坂 212 番地 (電) 松本 (3) 1453
京都市出張所	京都市中京区壬生坊城町 5 (古橋ビル) (電) 京都 (82) 1245
神戸出張所	神戸市兵庫区西宮内町 82 (万統ビル) (電) 神戸 (68) 1396
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
金沢出張所	金沢市幸町 13 番 28 号 (電) 金沢 (63) 代表 1341
岡山出張所	岡山市西長瀬字村北 122 の 1 (電) 岡山 (24) 代表 0331
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) 鎌倉 (6) 代表 6111
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町 3 丁目 (電) 神戸 (67) 大代表 5041
伊丹製作所	尼 崎 市 南 清 水 字 中 野 80 番 地 (電) 大 阪 (481) 大 代 表 8021
長崎製作所	長崎市平戸小屋町 122 番地 (電) 長崎 (3) 大代表 6211
稲沢製作所	稲沢市井之口町 1100 番地 (電) 稲沢 (32) 代表 4121~9
和歌山製作所	和歌山市岡町 91 番地 (電) 和歌山 (3) 代表 1275~9
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋 325 番地 (電) 鎌倉 (6) 大代表 6171
通信機製作所	尼 崎 市 南 清 水 字 中 野 80 番 地 (電) 大 阪 (481) 大 代 表 8021
北伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池 1 番地 (電) 伊丹 (72) 大代表 5131
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 (721) 大 代 表 2111
福岡製作所	福岡市今宿青木 690 番地 (電) 福岡 88 代表 0431
福山製作所	福山市緑町 1 番 8 号 (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 224 の 224 (電) 相 模 原 (72) 大 代 表 5131
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	中津川市駒場町 1 番 3 号 (電) 中津川 (5) 大代表 2121
大船製作所	鎌倉市大船 800 番地 (電) 鎌倉 (6) 代表 6111
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) 新 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園所 1 (電) 京 都 西 山 (92) 大 代 表 4171
伊丹製作所	三 田 市 三 輪 町 字 父 々 部 85 番 地 (電) 三 田 4371~4375
三田工場	三 田 市 三 輪 町 字 父 々 部 85 番 地 (電) 三 田 4371~4375
相模製作所	東 京 都 世 田 谷 区 池 尻 町 437 番 地 (電) 東 京 (414) 代 表 8111
札幌営業所	札幌市北二条東 12 丁目 98 番地 (電) 札 幌 (22) 3976

三菱LBB方式 母線保護継電装置

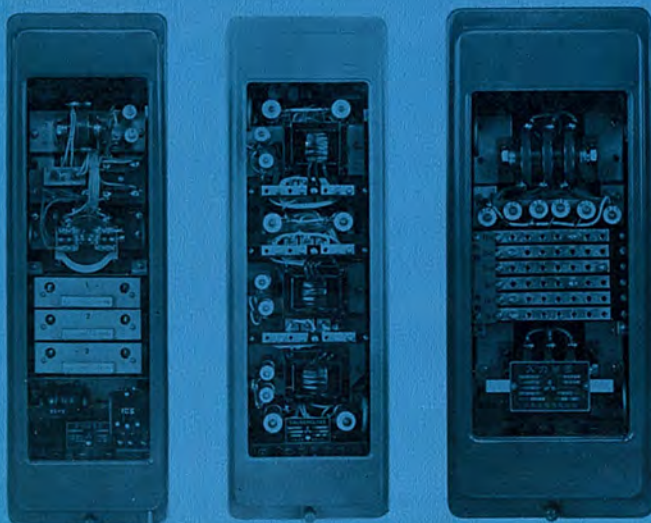
三菱 LBB 方式母線保護継電装置は、もっとも合理的な位相比較方式に、さらに比率差動方式の特長を加味した、最良の母線保護継電装置であります。この方式は既設の変成器が使用できる上に、多重母線の切換運用が可能とすぐれた特長を有しております。

写真は関西電力（株）南大阪変電所に納入した 250 kV 超高圧母線の保護に用いられている装置であります。

この装置はすでに各電力会社約 40 電気所にご採用いただきいずれも好評を得ております。三菱母線保護継電装置はその他に、空心変成器を用いた LC 方式、誘導門板形、比率差動継電器を用いた CA-6 方式があり、それぞれ条件によりご採用いただいております。



- 1
三菱LBB方式母線保護継電装置
2. 3. 4.
三菱LBB方式母線保護用主要継電器
2. (LBB-1B-D) 3. (LD-1D-D) 4. (LT-1-D)



三菱 表示線保護継電装置

表示線保護継電装置は 短距離重要送電線の保護にもっとも適した方式であります。

三菱電機では各電力会社およびその他の電気所に約 220 端子分納入して そのすぐれた性能を確認いただいております。

とくに最近では製鉄会社 化学会社の構内重要連絡線の保護にもご採用いただき注目をあびております



今日もあなたと共に



(東京電力(株)旭変電所納め 140kV送電線保護用)