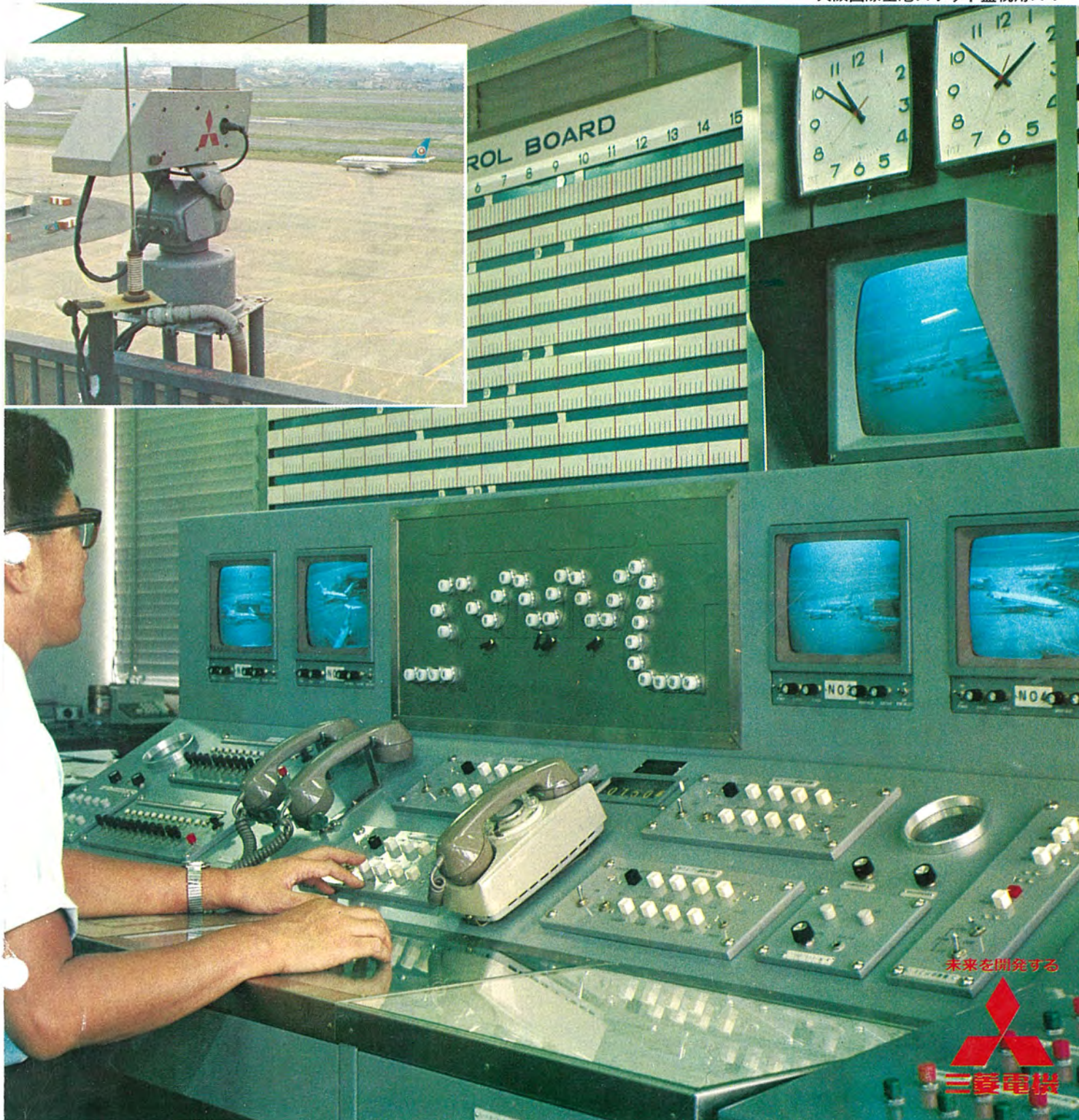


MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.45 November 1971
ITVとその応用機器/サイリスタ技術特集

11

大阪国際空港スポット監視用ITV





ITVとその応用機器特集／サイリスタ技術特集

目次

《ITVとその応用機器特集論文》

| | | |
|---------------------|----------------------------|------|
| ITVの展望 | 道家昭彦 | 1397 |
| IT-11形ITVカメラ | 大久保永造・池田謙一 | 1399 |
| XT-800シリーズX線テレビジョン | 道家昭彦・堀高明・仲佐節男 | 1402 |
| CV-902形カービジョン | 大久保永造・古東啓吾 | 1407 |
| 有線ITV伝送 | 大久保永造・山際豊行・三村和洋 | 1414 |
| 800MHz帯狭帯域ITV無線伝送装置 | 関川一彦・中村忠 | 1424 |
| 準ミリ波全固体化画像伝送装置 | 立川清兵衛・山野辺国雄・渡辺紀明・田中敏郎・藤林肇次 | 1429 |
| 光通信によるITV伝送 | 中原昭次郎・道家昭彦・大久保永造・長能宗彦・浪崎博文 | 1434 |
| 最近のITV応用 | 堀高明・伊藤修肇 | 1439 |

《サイリスタ技術特集論文》

| | | |
|-----------------------|-------------------------------|------|
| サイリスタ応用技術の最近の動向 | 大谷清二・塚本昭三 | 1447 |
| 電力用サイリスタの最近の進歩 | 岡久雄 | 1449 |
| 静止レオナード用大容量サイリスタ装置 | 上林巧・有賀恵蔵・開高徹 | 1454 |
| 普及形サイリスタレオナード装置 | 大道隆・長谷川雅言・西祥男 | 1458 |
| 逆導通サイリスタ式DCチョップ制御装置 | 北岡隆・蒲生浩・赤松昌彦・芦谷正裕・成戸昌司 | 1463 |
| 発電機用サイリスタ励磁装置 | 今井吉郎・監崎章 | 1468 |
| 電気化学用サイリスタ装置 | 大沢吉信・田中潤次郎 | 1473 |
| 三菱表面処理用交換装置 | 鈴木敏夫・姫野徹・新家吉雄 | 1478 |
| 無停電電源システムの計画 | 川畑隆夫・片岡康男 | 1484 |
| 最近のオンライン計算機用無停電電源装置 | 黒田義隆・増尾好昭・竹内三郎・鳥越良治 | 1488 |
| 可変周波インバータによる交流電動機の制御 | 川畑隆夫・柏野栄三・留井英明・矢野禎成・赤松昌彦・熊野昌義 | 1492 |
| サイクロコンバータによる誘導電動機速度制御 | 山村隆司・杉元幸郎 | 1499 |

《普通論文》

| | | |
|----------------------------|----------------------|------|
| 小形電子計算機 MELCOM 84 磁気元帳処理装置 | 加藤義明・渡辺秀也・山川隆志・中村忠教 | 1505 |
| 関西電力(株)宇治発電所納め自動応水装置 | 合田啓治・松村雅司 | 1511 |
| 最近の母線保護継電器 | 高田信治・辻倉洋右・海老坂敏信・江田伸夫 | 1519 |

《技術解説》

| | | |
|--------------------------------|------|------|
| 三次元レーダについて(その2) ー原理と実施例の全般的解説ー | 玉真哲雄 | 1526 |
|--------------------------------|------|------|

《新製品紹介》

| | |
|------------------------------------|------|
| 製鉄ラインの自動化に貢献する生産番号記録装置・無接触形銅板スリップ計 | 1542 |
|------------------------------------|------|

《ニュースフラッシュ》

| | |
|---|------|
| 薄銅板コイル送り出し用マグネットコンベヤ装置を完成・インドネシア向け 62,500 kVA 空気冷却タービン発電機 | 1544 |
|---|------|

《特許と新案》

| | |
|--|-----------|
| クラッチモートル・回転電機のヒューズ溶断検出装置・列車制御装置・ミシンの縫目調節装置・除霜装置・金属発熱体組成物を使用したカイロ | 1445&1503 |
|--|-----------|

《表紙》

表紙1 大阪国際空港スポット監視用 ITV

最近のテレビジョン応用技術の向上により、ITVの利用範囲は年とともに拡大されている。

昭和44年に新装改築された大阪国際空港においても多数のITVが利用されているが、その一例として、ターミナルスポット監視用ITVである。本装置は屋上に設置された4台の全天候カメラにより、国際線および国内線全域のスポットを昼夜監視するほか、航空機離着陸時刻通報装置、20回線の電話回線集合盤およびその録音用テープレコーダ等を備え、ワンマンによる集中コントロールを可能にしたものである。

また制御卓の前に設けたスポットコントロールボードにより各航空会社のスポット使用スケジュールが一目でわかるようになっている。

表紙2 三菱定周波定電圧無停電電源装置

表紙3 三菱サイリスタ整流器

表紙4 三菱サイリスタ励磁装置





SPECIAL EDITION : (1) ITV AND ITS APPLIED APPARATUS (2) THYRISTOR TECHNIQUE

CONTENTS

SPECIALLY COLLECTED PAPERS (1)

| | |
|---|--|
| Outlook of ITV..... | A. Dôke...1397 |
| ITV Cameras Type IT-11..... | E. Ôkubo • K. Ikeda...1399 |
| XT-800 Series X-Ray Television..... | A. Dôke • T. Hori • S. Nakasa...1402 |
| CV-902 Carvision..... | E. Ôkubo • K. Kotô...1407 |
| Cable Transmission System of ITV..... | E. Ôkubo • T. Yamagiwa • K. Mimura...1414 |
| 800 MHz Radio Equipment for Industrial Television (ITV)..... | K. Sekikawa • T. Nakamura...1424 |
| 20 GHz Band All Solid State Radio Repeater for ITV..... | S. Tachikawa • K. Yamanobe • N. Watanabe • T. Tanaka • K. Fujibayashi...1429 |
| ITV Video Transmission using Optical Communication Equipment..... | S. Nakahara • A. Dôke • E. Ôkubo • M. Nagano • H. Namizaki...1434 |
| The Latest ITV Application..... | T. Hori • S. Ito...1439 |

SPECIALLY COLLECTED PAPERS (2)

| | |
|--|--|
| Recent Trend in Power Thyristor Application..... | S. Ôtani • S. Tsukamoto...1447 |
| Recent Progress of Power Thyristors..... | H. Oka...1449 |
| Large Capacity Thyristor Assembly for Variable DC Motor Drives..... | I. Uebayashi • K. Aruga • A. Kaiko...1454 |
| Small Capacity Thyristor Assemblies for Variable DC Motor Drives..... | T. Ohmichi • M. Hasegawa • Y. Nishi...1458 |
| New Thyristor Chopper Controllers using Reverse Conducting Thyristors..... | T. Kitaoka • H. Gamô • M. Akamatsu • M. Ashiya • M. Naruto...1463 |
| Thyristor Excitors for Synchronous Generators..... | Y. Imai • A. Kenzaki...1468 |
| Thyristor Rectifiers for Electrochemical Industry..... | Y. Ôsawa • J. Tanaka...1473 |
| Mitsubishi Converters for Plating and Chemical Treatment..... | T. Suzuki • T. Himeno • Y. Shinke...1478 |
| Design of Uninterruptible Power System..... | T. Kawabata • Y. Kataoka...1484 |
| The Latest Non-Break Power Supply for On-Line Computer System..... | Y. Kuroda • Y. Masuo • S. Takeuchi • R. Torigoe...1488 |
| AC Motor Control with Variable Frequency Inverters..... | T. Kawabata • E. Kashino • H. Tomei • S. Yano • M. Akamatsu • M. Kumano...1492 |
| Speed Control of Induction Motors with Cycloconverters..... | T. Yamamura • S. Sugimoto...1499 |

TECHNICAL PAPERS

| | |
|--|--|
| Compact Computer MELCOM 84 Magnetic Ledger System..... | Y. Katô • H. Watanabe • T. Yamakawa • T. Nakamura...1505 |
| Flow-Responsive Generation Control (FREC) Device for Uji Power Station of the Kansai Electric Power Co. | K. Goda • M. Matsumura...1511 |
| The Latest Bus Protective Relays..... | N. Takata • Y. Tujikura • T. Ebisaka • N. Eda...1519 |

TECHNICAL EXPLANATION

| | |
|---|------------------|
| Three-Dimensional Radars (II) —Exhaustive Review of Principle and Application—..... | T. Tamama...1526 |
|---|------------------|

| | |
|-------------------|------|
| NEW PRODUCTS..... | 1542 |
|-------------------|------|

| | |
|-----------------|------|
| NEWS FLASH..... | 1544 |
|-----------------|------|

| | |
|-------------------------------|-----------|
| PATENT AND UTILITY MODEL..... | 1445&1503 |
|-------------------------------|-----------|

COVER :

ITV for spot vigilance at the Osaka International Airport

ITV has been expanding its scope of utilization year after year through the latest improvement of television application.

In the Osaka International Airport newly remodelled and reconstructed in 1969 a good many sets of ITV are now in operation. As one example of the installations there is ITV equipment for the vigilance of the terminal spots. By means of 4 sets of the all weather cameras set up on the roof of the building, they are not only used for watching the spots of the whole area of the international lines and the local lines day and night, but also serve for making possible the central control by one man with the provision of information for the time of taking off and landing of planes, a concentrated board of 20 telephone circuits and tape recording arrangements. Also it is made possible to understand the schedule of using the spots by various aviation companies at a glance on a spot control board installed in front of a control desk.

UDC 621.397.61

IT-II形ITVカメラ

大久保永造・池田謙一

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1399～1401

ITVは産業界、社会に浸透し年々使用台数は増加する傾向にある。従来当社TVカメラは標準系列としてIT-T₃、IT-T₃、IT-T₇形がありそれぞれの用途に応じていたが、このたび新しくIT-II形カメラを製品化したので報告する。

特長の一つは従来T₃、T₃カメラの持つ高温度使用範囲、自動感度調整範囲の維持拡大をはかり、さらに外部同期、バックホーカス機構の追加など性能の向上である。もう一つは構成各回路を新しい視点から見直し、各回路ブロックを動作機能上で分析し必要最小限の部品で構成した新回路を多く採用したことであり、この結果部品数は従来の約2/3となり、小形化と信頼性の向上をうながした。



少限の部品で構成した新回路を多く採用したことであり、この結果部品数は従来の約2/3となり、小形化と信頼性の向上をうながした。

UDC 621.397.71

800MHz帯狭帯域ITV無線伝送装置

関川一彦・中村 忠

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1424～1428

UHF帯におけるITV無線伝送は、その広帯域性のため電波割当困難な面があったが、映像信号を1MHz以下の狭帯域にしても実用上支障がない利用分野が多くあることが明らかとなり、800MHz帯で狭帯域の伝送が許可されることになった。本文では、この映像音声同時伝送装置とトークバック装置につき方式と構成を説明したものである。また装置の実用限界についても説明し、本装置を利用できる分野を示した。



UDC 621.397.61:537.531.06

XT-800シリーズX線テレビジョン

道家昭彦・堀 高明・仲佐節男

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1402～1406

X線テレビジョンにはいくつかの方式が実用化されているが、今ではX線テレビジョンは、医用の透視診断や、工業用の非破壊検査になくてはならない重要なものとなっている。最近ではさらに感度の向上や画質の改善により診断時の被曝線量の減少に力が注がれている。

本文は、新しく開発したビジコンおよびプランビジコン方式のX線テレビジョンXT-800シリーズのおもな特長および画質改善について述べ、さらに信頼性向上、価格低減のために新しく採用した回路方式などについてその設計概要を紹介する。



UDC 621.397.71

準ミリ波全固体化画像伝送装置

立川清兵衛・山野辺国雄・渡辺紀明・田中敏郎・藤林肇次

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1429～1433

社会の発展に伴い、その応用範囲を広げてきたITVの伝送を、より広い地域へ拡張したいという要求が強くなってきた。この要求に応じうる経済的な方式は無線伝送方式であると考え、開発途上の準ミリ波に着目して、20GHz帯全固体化画像伝送装置を開発した。この装置の特長はガン発振器で直接発振した20GHz F M波でインパット発振器を注入同期発振させて、高出力(200mW)を得るとともに、ショットキバリアダイオードの低雑音ミキサ(NF≦8dB)を使用する等、マイクロ波半導体の実用化を計った点にある。可搬性と据付の容易さを考慮して、直径300mmパラボラアンテナと装置を一体化し、ユニット交換方式を採用した。



UDC 621.397.61:656.132

CV-902形カービジョン

大久保永造・古東啓吾

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1407～1413

路線バス業界は昨年、利用客の減少と、人手不足、人件費の高騰による車掌の絶対数不足により経営上困難な状況を迎えている。

そのため業界ではワンマン化を鋭意推進しているが、後退を禁止した現行ワンマン運行法令では今以上の進展はのぞめない。

その打開策、ならびに大形車両安全運転のため、このたび三菱電機ではバス業者との共同研究により、ITVを用い車掌に替る後方の目として車両用後方確認TV;カービジョンCV-902を開発した。

その特長は耐環境性、感度などの基本性能ばかりでなく、人間工学的手法により使う立場で製品を開発したことである。そして各地バス技術委員会では実用試験を行い、その有効性が確認されている。



UDC 621.397.61:656.132

光通信によるITV伝送

中原昭次郎・道家昭彦・大久保永造・長能宗彦・浪崎博文

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1434～1438

GaAlAs発光ダイオードを光源とし、Si-アバランシフォトダイオードを光検出器に用いた光通信装置を試作し、ITV画像を広帯域FM-AM方式で伝送した。実験では250mまで良好に動作することがわかり、さらに300m以上についても用途を得た。本文では、小形コンパクトに構成された光通信装置について、光学系・回路系・機構など簡単に紹介するとともに、信号伝送可能最大距離の検討結果と実験状況との比較をし、室温連続発振する半導体レーザの実現に伴う将来の光通信の展望についてもふれている。



UDC 621.397.71

有線ITV伝送

大久保永造・山際豊行・三村和洋

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1414～1423

ITVの用途は広範囲に広がり構成も複雑になってきた。

一例として、カメラとモニター間の距離が長く数十kmにおよぶ場合がある。このような長距離を約4MHzの広帯域ビデオ信号の伝送をするには、私設無線回線は電波割当に限りがあり、有線伝送方式が現実的である。伝送線は電話通信用ペアケーブルや同軸ケーブルが使用され、既設電話回線なども利用されることがある。

有線伝送にはビデオ直送方式とFM変調方式があり、伝送回線の質、中継増幅器設置条件により使い分けられる。なおITV伝送としてはこの他付属装置の制御信号、連絡用電話伝送も必要である。

本文では上記ITV伝送

装置の概要と代表的実施例を紹介する。



UDC 621.397.61

最近のITV応用

堀 高明・伊藤修肇

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1439～1444

ITVが多くの分野で利用されているが、さらに新しい応用が考えられ、利用台数も増加の一途をたどっている。ある需要予測によれば、ITV需要の年平均伸び率は約34%とされている。

従来、ITVの利用は、いわゆる監視用として用いられることが多かったが、情報化時代の波とともに、音声による通話に映像をプラスした画像通信への応用が注目されるようになった。

本文では、これら各種のITV利用法の傾向を今一度整理し、なかでも実用化されるようになってきた日の浅い画像通信としてのITV応用機器についてその概要を紹介する。



UDC 621.382.3.026: 621.314.63.07

電力用サイリスタの最近の進歩

岡 久雄

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1449～1453

最近、サイリスタの性能は一段と向上し、機種も増大しているところから、その応用範囲はいっそう広げられつつある。

電力用サイリスタの最近の進歩と今後の問題点について、高耐圧化、大電流化およびスイッチングの高速化という三つの面から論じるとともに、これらの目的に対する設計パラメータは互いに相反する条件が少なくないで、目的に応じ、諸特性間の調和を図りながら最適設計を行なうこと、それによってサイリスタの多様化もやむを得ないことを述べている。



UDC 621.314.58: 621.316.728

発電機用サイリスタ励磁装置

今井吉郎・監崎 章

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1468～1472

最近の同期発電機の励磁装置には、サイリスタを使用した静止形励磁装置が大半を占めるようになった。

これは、経済性・保守・連応性・小形化の面において、従来の直流励磁機にくらべて非常に有利であり、最近の同期発電機の単機容量の増大の傾向に相まって、サイリスタ素子・シリコン整流素子の定格の増大と、信頼性が向上されたからである。

本文では発電機の界磁コイルに直結されるサイリスタ励磁装置について、特に問題となる界磁回路に誘起される異常電圧と電流に主眼をおき、その考え方と対策について述べる。AVRについては触れない。



UDC 621.314.63

静止レオナード用大容量サイリスタ装置

上林 巧・有賀恵蔵・開高 徹

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1454～1457

数多くの静止レオナード用サイリスタ装置が、圧延用直流電動機駆動用電源として使用されている。当社における静止レオナード用サイリスタ装置の主回路の構成方法、サイリスタキュービクルおよびサイリスタスタックの構造について述べた。

制御特性については、非整数階積分法によって求めた値と実測値を比較した。さらに、制御増幅回路の基本的構成について述べた。



UDC 621.314.63: 621.314.22

電気化学用サイリスタ装置

大沢喜信・田中潤次郎

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1473～1477

電気化学用でサイリスタを使用すれば、負荷時タップ切換器や電圧調整リアクトルを必要とせず、簡明な主回路構成が得られるばかりでなく、すぐれた制御特性・運転性能が得られる。当社の平形サイリスタスタックによるサイリスタレクチフォーマは、大電流装置特有の技術的問題を合理的に解決する数々の特長を有している。本文ではその基本構造・制御回路について解説する。



UDC 621.314.58: 621.316.71

普及形サイリスタレオナード装置

大道 隆・長谷川雅言・西 祥男

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1458～1462

一般工業用の可変速電動機電源としてのTHL-A形、-C形、-D形シリーズサイリスタレオナード装置の概要と、新開発のTHL-E形シリーズサイリスタレオナード装置の紹介を行ない、あわせて、従来まで製作した精密速度制御、電機子切換え可逆運転方式、自動界磁弱め制御等の具体的応用例について説明する。



UDC 621.314.63

三菱表面処理用変換装置

鈴木敏夫・姫野 徹・新家吉雄

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1478～1483

金属表面処理用の直流電源は、最近ほとんどサイリスタ化されており、鉄鋼プロセスラインをはじめ、アルマイト処理電源・一般金属メッキなどの多くにサイリスタ整流器が採用されている。最近の表面処理プラントの合理化・自動化・省力化のすう勢にあつて、サイリスタ電源部においても小形で据付上の制約が少なく簡単で、かつ保守・運転取扱いの簡単なものが要求される。この要求にこたえてこのほど新しく水冷式サイリスタ整流器の新系列を完成した。この整流器は、内部組立てはユニット化されており、小形で量産できると同時に、水冷式で耐周囲環境性もすぐれている。本文ではこの新系列の仕様・構成・特長など、その概要について紹介する。



UDC 621.337

逆導通サイリスタ式DCチョップ制御装置

北岡 隆・芦谷正裕・成戸昌司・蒲生 浩・赤松昌彦

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1463～1467

大容量半導体素子の著しい性能向上とチョップ制御技術の進歩により、車両へのチョップ装置の適用は実用期にはいった。当社は多数の量産形装置を世界に先駆けて納入しており、順調に営業運転中である。逆導通サイリスタ素子を使用した新しいチョップ制御装置についてもいち早く開発製作し、このたび帝都高速度交通営団千代田線において、営業運転中で5ヵ月になる。この逆導通サイリスタ式チョップ装置は回路が簡素化され、転流装置が小さくなり、将来のサイリスタ大容量化に有利であるなどの特長を有しており、チョップの標準形としての要素を備えている。ここでは素子、回路および装置についてその内容および試験結果を紹介する。



UDC 621.314.63: 621.312

無停電々源システムの計画

川畑隆夫・片岡康男

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1484～1487

オンラインコンピュータシステムは、いよいよ本格的な実用期を迎え、銀行業務や座席予約システム等に大幅に導入されつつある。

このように情報システムのコンピュータによる自動化が進むにつれ、これらのシステムの電源は、良質の電力を供給すると同時に、高度の信頼性を要求されることになる。また、一般にコンピュータシステムは、処理すべき情報量が年とともに急速に増大するので、固定した設備でなくて成長するものであるため、電源も将来の増設に対処しうるものとして計画されなくてはならない。本文は、当社の研究開発と製作経験をもとに、無停電々源システムの計画にあたって参考になることを願って作成したものである。



UDC 621.316.72:621.312:681.14

最近のオンライン計算機用無停電々源装置

黒田義隆・増尾好昭・竹内三郎・鳥越良治

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1488～1491

静止形無停電々源装置は、ここ数年間に著しい発展を示し、大容量化の一途をたどっている。その背景として電子計算機の利用範囲が拡大してオンラインシステムが全盛時代を迎えたことがある。電算機の処理内容の高度化に伴って電算機システムも大規模になり、そのために無停電々源装置も大容量化されて高信頼性の要求もさらに強くなってきた。これらの要求に対して当社では高信頼性の並列冗長電源システムをいち早く完成して、多数の電源装置を市場に送り出し、わが国初の150kVA×4台常時並列の大容量電源も営業運転にはいっており、また単機容量300kVAの電 源装置も完成されるに至ったので、当社の大容量無停電々源装置の概 要を報告する。

UDC 621.311.21:621.316.728

関西電力(株)宇治発電所納め自動応水装置

合田啓治・松村雅司

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1511～1518

ここに紹介する関西電力(株)宇治発電所納め自動応水装置は、マイクロ コントローラを応用し、制御シーケンスを論理演算として処理することにより、複雑な自動応水シーケンスを組込んだ新しいタイプの省力化機器である。この装置はあらかじめ設定された運転優先順位にしたがい、5台の水車発電機を上水そう水位により自動起動、自動停止および負荷調整を行なうもので、これ等のプログラムをマイクロ コントローラの読出し専用メモリーに収納したシーケンス制御装置である。本文はその概要を報告したものである。

UDC 621.314.5:621.316.72

可変周波インバータによる交流電動機の制御

川畑隆夫・柏野栄三・留井英明・矢野禎成・赤松昌彦・熊野昌義

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1492～1498

交流電動機は速度制御に用いられるサイリスタ式可変電圧可変周波数電源装置は、電動機のAC化のにない手として、サイリスタレオナードによる直流モータの速度制御とまったく同じように、各種産業機器駆動電源として用いられている。これは、各種鉄鋼プラント、紡糸機巻取機等の繊維機械、各種工作機械などで、かご形誘導機・永久磁石同期電動機・リラクタンスモータ等の種々の交流電動機の広範囲可変速制御を必要とする分野で、効率よく円滑に可変速駆動を行なうのに適している。当社におけるサイリスタ式可変周波数電源装置の標準系列、同期機・誘導機 との組合せ試験結果、制御方式、使用上の注意事項等について詳述する。

UDC 621.316.925

最近の母線保護継電器

高田信治・辻倉洋右・海老坂敏信・江田伸夫

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1519～1525

母線は電力系統のつなぎ目であり、送電線に比べ、事故発生率が小さいとは言え、母線事故が発生すれば、停電域が広く、その影響範囲が大きい。また最近では、従来母線保護装置が設置されていなかった末端母線・需要家母線等にも、母線保護装置が採用されはじめた。

このような情勢にかんがみ、最近開発完了した下記三種の、三菱母線保護継電器を紹介する。

1. LABS-1-D形電圧差動継電器
2. TABS-1-D形 位相比較式比率差動継電器
3. UABS-1-K形 過電流ロック付き比率差動継電器

UDC 621.313.333.07:621.314.26

サイクロコンバータによる誘導電動機は速度制御

山村隆司・杉元幸郎

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1499～1502

従来、電動機は可変速分野は比較的制御の簡単な直流電動機が大勢を占めてきた。しかし、最近の半導体技術の発達には各種可変周波数電源の研究を促し、直流電動機の長所である制御性の良さを残して商用電源で駆動できる可変速交流電動機が実用化されようとしている。なかでも、誘導電動機は構造的に堅固で安価、かつ保守が容易であるなどの大きな長所をもっている。われわれは3台の可逆コンバータを用いた全波形サイクロコンバータ電源によって100kWの誘導電動機の可変速制御を行ない、良好な結果を得たので、ここに報告する。

UDC 621.396.96.001

三次元レーダについて(その2)

一原理と実施例の全般的解説—

玉真哲雄

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1526～1541

三次元レーダについて全般的に解説する。

従来のレーダは二次元的で距離と方位とを測定するものが大多数であったが、これに加えて高度も連続して一度にわかるレーダを三次元レーダという。航空機など飛ぶものを対象とする場合効果が大きい。技術的困難からその発達は比較的近年のことに属し、決定版の方式の確立は今後の課題である。

世界各国で開発中の諸方式を分類・解説し、各方式の実施例を紹介し、総合的所見を述べる。わが国を含む6か国、十余方式、約15社40機種にわたり網羅的に解説し所見を記した。公開の資料に現われる限りはお、むね説明をつくしたと思われる。

UDC 681.142.04:159.953:621.318

小形電子計算機MELCOM 84磁気元帳処理装置

加藤義明・渡辺秀也・山川隆志・中村忠教

三菱電機技報Vol.45・No.11・P1505～1510

MELCOM 84はMELCOM 83を基本にして、これに磁気元帳処理装置を付加することにより、歴史的継続記録を取扱う元帳処理を可能にするとともに、元帳処理に必要なデータを元帳上に磁気的に記録し、必要データを自動的に入出力する。磁気元帳とは、元帳用紙上の片隅に印刷、コーティング、またはその他の方法で磁気皮膜を形成し磁気的な記録を可能にした元帳である。タイプライタ上に取付けた用紙送り装置(Insertor)により、元帳を一定速度で送り、用紙送り装置に取付けた磁気ヘッドにより、元帳の磁気ストライプ上にデータの書込み、あるいは、読出しを行なうシステムを完成したので概説する。

ITV の 展 望

通信機製作所 道家 昭彦

わが国の ITV の歴史はまだあまり古いものではなく、昭和 29 年ごろより実用期に入り、急速にあらゆる方面に利用されるに至った。

用途としては、当初その『工業用 テレビジョン』と呼ばれた名の示すとおり、ほとんどが工業用で、しかも重工業用が主であった。当社においても、昭和 30 年には第 1 号機を中国電力(株)小野田火力発電所に、IT-1 型 ITV 装置をボイラの炉内監視用として納入、続いて同湯原第 1 水力発電所に、ダム の監視用として、約 2.5 km の同軸ケーブルによる長距離伝送の ITV を実用化した。

以後重工業に、道路・鉄道に、船舶に、水中に、教育に、医学に、X 線用に、あるいは消防望遠監視用に等々、レジャー から原子力産業に至るまで、電子機器としては最も広い用途に使用され、その納入台数も、当社だけでも数千台を越えるに至った。

このように急速に利用され、また今後もますます広い分野に有効に使われるであろう“ITV”の最近の傾向について、使用する機器そのもの、いわゆるハードウェアと、この利用分野すなわちソフトウェアとの両方の面からながめてみたい。

1. ハードウェア

今 ITV のハードウェアに対する技術を、端末機と伝送路という面から考えてみる。

(1) 端末機

テレビジョンの端末機のおもなものは、テレビジョンカメラと受像機であるが、これらは使用される部品により大きく左右されることになる。なお ITV の端末機として種々の環境に対しカメラを適合させる付属品類、たとえば水中用カメラケース、炉内用カメラクーリングシステム等が重要な役割をはたすが、これらのものについては次の機会にゆずることとする。

カメラおよび受像機共、電子回路の能動素子としては他の電子機器と同様に、真空管からトランジスタへと進み、さらに IC 化が実用期を迎えた段階と言える。

このような使用素子の変化は、明らかにカメラを小形および安定化し使いやすしいものとし、普及の速度を急速に早めた。

ITV カメラの技術的進歩の中で撮像管の進歩もまた非常に大きい。すなわち ITV が電子エンジニア以外の手で使われることが可能になったのは、光導電形撮像管“ビジコン”の完成によるといっても過言ではなく、現在はビジコン形撮像管の全盛期ともいえる。

しかし最近では、フィリップス社により開発された酸化鉛 PbO を光電面としたブラウン管が実用時代に入ったのをはじめ、シリコン半

導体面板の光電面をもつシリコンビジコンも開発され、実用の寸前まできており、さらに、月面からのテレビジョン中継で全世界を魅了したテレビジョンカメラには、ウエスティングハウス社が開発した SEC 形撮像管が使用されており、この高感度でダイナミックレンジの広い撮像管もそろそろ実用期に入りつつあると言える。

このようにテレビジョンカメラの心臓部である撮像管は、逐次改良と新形の開発が行なわれているが、今後は、IC、LSI の技術の進歩に伴って、撮像管の全固体化も夢ではなくなりつつあり、すでにいくつかの実験例などが発表されている。この撮像管が本格的に実用化されるのは、まだ数年先のことと考えられるが、実用化の暁には、テレビカメラの様相は一変し、用途もさらに飛躍的に開けるものと、その出現が大いに期待されている。

一方受像機のほうも、回路素子としては電子管からトランジスタへ、さらに IC へと進んできてはいるが、カメラと同様に、心臓部にブラウン管が現存しており、基本的形態は変えられないのが現状である。ただしこのブラウン管に対しても全固体化の研究がすすめられており、いわゆる壁掛形テレビジョンとして、日本万国博三菱館において実演されたように、実験的なものはすでに発表されており、将来が期待されるものである。

(2) 伝送路

テレビジョンはその名の示すとおり、テレ——ビジョン、すなわち遠く離れた所で見るものであるが、一般のテレビジョン放送と異なり、ITV においては、見ることは主目的ではなく、何らかの他の目的の補助手段に過ぎないため、あまり費用のかかる大がかりな長距離の TV 信号伝送はとり入れられず、一般には、数百 m せいぜい 2~3 km が限度であった。しかし現在では社会が高度化して、いわゆる情報化社会となり、情報の伝達が重要な意味を持つようになった。

またその規模や、地域も広範囲にわたるようになったため、ITV の信号を伝送しなければならない距離の要求も次第に長くなり、数 km から十数 km に及ぶものも実用に供せられつつある。

ITV 信号のケーブルによる伝送としては

- (a) 同軸ケーブルによるビデオ信号の直送
- (b) 平衡対ケーブルによるビデオ信号の直送
- (c) 同軸ケーブルによる低搬送波 FM 伝送
- (d) 平衡対ケーブルによる低搬送波 FM 伝送

の 4 種類が現在完全に実用になっており、さらに(c)に対しては、1 本の同軸ケーブルに ITV の制御信号 2~3 チャンネルの映像信号、他のテレメータ、テレコンの信号などを必要に応じて多重化して送ること

も可能となっている。

実例としては、三重県企業庁に昭和44年に納入した約8.5km無中継で、映像のほかに音声、電話、テレメータ、テレコントロールおよびカメラの回転や切換え等を多重化して伝送したものがある。

ITV信号の伝送としては、上記のほかに無線電波によるもの、および光通信によるものがある。

無線電波によるものは、現在ITV用として800MHz帯を割当てられており、電波の公共性のゆえに、ITV用としてあまり広い帯域を占有することが許されず、チャンネルパレージョン1MHzに納まるビデオ信号の帯域がささえられている。この電波は映像帯域が600~700kHzしかない狭帯域TVで、ファクシミリと比べて動きのある情報を送るのを目的とするので、毎秒像数は必要なだけ送り、走査線の低さを減らすことになる。このような考えから現在では、毎秒30枚走査線数約270本のものが実用化されているが、工事現場の状況監視、事故や災害現場の情報伝送などには十分役に立つものであり、この波の有効な利用が望まれるものである。

このほか無線電波による伝送としては、さらに高い周波数の、準ミリ波(20GHz)帯がTV信号の伝送用に着目されており、半導体技術の進歩により、実用の域に入りつつある。

有限な割当数を持つ電波に対し、光によるTV信号の伝送は、広い帯域を必要とするTV信号の伝送手段として有望なものであるが、伝送距離は1スパンではあまり取れず、レーザを用いたもので1~2km、発光ダイオードを用いたものでは数百mが現在のところ限度である。ただし発光ダイオードを用いたものは、このようにあまり長距離は望めないが、装置が簡便で、価格もレーザを用いたものに比べ安価であるので、道路や川、鉄道などを横切るような所では有効な伝送手段といえる。

今後はさらに、これらの光による長距離伝送の技術の進歩が期待されるものである。

2. ソフトウェア

ITVの開発当初にはほとんどの用途が、製造業や電力プラントなど、産業の中での自動化や遠隔操作のための監視が主であったが、最近の用途の特長としては、安全や、運営のための監視を主体としたシステム化したもの、および音に対する映像の情報伝達用としての用途が注目をあつめつつあることがあげられる。

たとえば大都市の消防望楼の集中監視、空港におけるスポットの集中管理や、高速道路の集中管理のためのITVシステムなどが前者に属し、教育用や旅客機関の対客サービス、デパートなどにおける買物案内や迷子のお知らせなどは、後者の例である。

この後者の例としてさらに、計算機のキャラクタディスプレイなどの表示装置に、スライドやオペクまたは実物をITVで写した信号を重畳

して表示する、コンピュータアウトプットの直視サービスや、駅や空港での案内サービスの表示をITVにより行なうなど、従来は企業が使うものが多かったのに対して、企業から顧客へのサービスが重要視されてきた。

さらに最近での用途の目立った方向として、双方向の情報サービスがあげられる。

テレビ電話はその最も代表的なものであるが、事務所間を結ぶ文書伝送や、設計と工場等とを結ぶ図面伝送などは、いわゆるファクシミリと異なり、図面や文書上での対話が行なえるのが特長で、単なる書面の伝送と異なって非常に有用なシステムといえる。

また最近では、2カ所以上の会議場を互いに結んで、複数の人間が相互に行なう会議テレビなども試用の域を脱しているが、このような、双方向コミュニケーションとして、音に対する電話と同じように、実用化されつつあり、このための電子式画像交換機も実用化の域に達している。

次に大きな特長は、特定な用途に対する専用機が作られ利用される点で、たとえば自動車の後方の安全確認用テレビジョン(カービジョン)や、X線テレビジョン、消防望楼監視用テレビジョンなどがあげられる。

以上ITVの最近の傾向について、ハードウェアおよびソフトウェアの両面から述べたが、今後はITVの計測分野への応用、すなわちTV受像機を見ていなくても、TVカメラよりの信号から警報信号や自動制御信号を、直接うるようなシステムが重要視されるようになると考えられるものの一つで、現在は、撮像管の暗電流が比較的多く、しかも温度依存性が大きいこと、偏向が電磁偏向であるため、計測に使うほどの偏向の直線性の信頼度が得がたいなどのため、あまり実用化されていないが、前記撮像管の固体化が実現したときには大いに期待できる分野である。

最後に、今後のハードウェアおよび用途で見のがすことができないのが、カラーITVであろう。

ITVのカラー化については、すでに各方面で試みられており、当社でも昭和35年には、ビジコンを使ったフィールド順次式カメラの出力を、トライカラーブラウン管上に表示する方式のものを完成して注目を集めたが、ITVに要求される、しろうとでも扱える取扱いの容易さ、ITVが置かれる環境の悪さ、たとえば広い温度範囲の中での24時間連続使用や、日中の太陽直射光から夜間の弱い人工光線までというような被写体の大きな照度、コントラスト、色温度の変化に対する忠実な色再現などを満足しつつ、安価で、無調整で働くシステムという困難さのゆえに、いまだ完全な決定版を見るに至っていないが、近い将来には逐次解決され、普及する時代がくるものと確信し、これらを実現することがわれわれに与えられた任務であると自負する次第である。

IT-11 形 ITV カメラ

大久保 永造*・池田 謙一*

ITV Cameras Type IT-11

Communication Equipment Works

Eizō ÔKUBO・Ken-ichi IKEDA

ITV has passed into the industrial world and business circles and the number of installations is increasing year after year. ITV cameras built by Mitsubishi are now available as standard series of IT-T 3, IT-T 5 and IT-T 7, which are used depending on the purposes. Now type IT-11 cameras have been newly added to the Company's line, of which a report is made herein.

One of their features is that: a high temperature working range and an automatic sensitiveness adjustment range of the old T 3 and T 5 cameras are retained and expanded and external synchronization and back focus mechanism are added to improve the performance. One more feature is that each circuit of the composition is reexamined and each circuit block is functionally analyzed to employ new circuits made up of the minimum components, thus parts being reduced two thirds. This promotes compactness and high reliability.

1. ま え が き

ITV に対する要求は発電プラント、鉄鋼業工程監視のような環境条件のきびしい重工業向けばかりでなく、スーパーマーケットの売場監視などのようなはん用向けにも手軽に使用されるようになってきており、動作の安定度はもとより、できるだけむだを省き合理的な設計をする必要にせまられている。

従来当社は重工業向け高温度用 ITV として IT-T 3, T 5 形カメラを、また一般向けとして T 7 形カメラを製品系列化していた。しかしこのたび使用温度範囲は T 3, T 5 に劣らず、低照度感度、自動感度調整範囲をさらに向上させ、新たに外部同期切換えと接写可能なバックホーカス機構を追加した IT-11 形カメラを製品化した。

性能は前記のように従来機より向上しているが、各回路ブロックを従来のように個々の回路の積み重ねではなく、一つの動作単位として新しく見直し、設計した新回路を用いることにより部品点数を約 2/3 に減少させた。この結果は機構設計上にも反映され、小形で取扱いやすいものになった。部品点数の減少は信頼性の向上とともに価格面でも従来の一般用として十分使用いただけるものとなっている。以下この IT-11 形カメラについて概要を報告する。



図 1.1 IT-11 形カメラ
IT-11 camera.

2. IT-11 形カメラの特長

IT-11 形カメラは重工業向けなどの耐環境性能の要求をみたすことを出発点とし、最近需要の高まってきた一般用としても手軽に使用されるよう外観、価格面でも考慮した設計である。耐環境性能など性能面での考慮について、使用温度範囲を広げるための設計思想は従来の IT-T 3, T 5 (以下従来機と称する。)を解説した参考文献

(1)「高温度用 ITV」に述べた内容とほぼ同じく使用部品の選定、負帰還による回路の安定化、内部発熱を減ずるための消費電力の軽減を基礎としている。

低照度および自動感度調整幅の拡大は、従来機に比べさらに低雑音のビデオアンプを開発することにより達成したものである。これはビデオアンプの S/N 改善量に応じて増幅度を増し、低被写体照度による撮像管出力の低下をおぎなえるからである。また高照度においては、従来より利得の上がった量に応じ撮像管感度を下げさせるから、結局広がった低照度感度分が自動感度調整幅の拡大になる。

外部同期は複数カメラの映像合成や、VTR との組合せ時に有効であり、IT-11 では基板上一部接続換えにより切換えが可能である。

バックホーカスは撮像管位置をネジ送り機構により前後させ、焦点調整できるようにしたもので、操作がカメラ後方からおこなえるため屋外カメラケースに収納する場合など便利であるし、またレンズでは調整しえない極端な接写ができるという別の利点もある。

回路は映像増幅回路、垂直発振偏向回路、水平発振偏向回路、フォーカス電流・電源電圧安定回路、高圧安定回路、ブランキング、同期混合回路、ビジコン電極電圧調整回路、電源トランスから構成されており、それぞれ動作の最大単位であり、これ以上の統合は一応不可能と考えられるものである。IT-11 では上記分類の各回路につき、最少の構成部品数で必要機能が達成される回路を求めた。

すなわちある機能が必要な回路を構成する場合、その機能を分解しそれぞれに対応した基本回路を組合せる方法と、動作は複雑になっても一つの回路で複数の機能をもたせ、全体での部品数を減らす方法のふたとおりの設計法が考えられる。

IT-11 では後者の立場をとり、性能を劣化させずに最少限の部品数で構成し得る各回路を追求した。

3. IT-11 に採用したおもな回路

IT-11 のねらい、設計方針を前章に記したが、それに基づき設計した新回路のうち特長あるものの概要を説明する。

3.1 垂直同期、発振・偏向回路

垂直偏向コイルにきよ歯状波電流を規定の周波数とレベルで流すため、従来は外部同期のバッファ増幅器、発振器、積分回路、直線性補正回路、出力増幅器の基本構成で約 5 石のトランジスタが必要であっ

た。IT-11 では 2 ～ 3 石で複合的にこれ等一連の動作をする回路を設計し、これを用いた。(特許出願中)

3.2 水平偏向回路

従来水平偏向回路は主発振器、駆動パルス増幅器、偏向回路の3段構成であった。主発振器は周波数安定度が要求されるため、従来機で採用した安定化ブロッキング発振器⁽¹⁾を用いているが、この出力パルスは幅が約 2 μs と狭く、従来の偏向回路はその入力に低インピーダンスで、幅約 12 μs 以上パルスが必要なため、必然的にパルス変換器としての駆動パルス増幅が必要であった。

しかし、IT-11 では帰還形偏向回路を設計し、これを直接発振器で駆動し得たので駆動パルス増幅器が省略できた。(特許出願中)

3.3 定電流・定電圧回路

高温環境でカメラを動作させるため内部発熱を極力おさえる必要があり、このため各回路の消費電流を減らし、電源安定回路の効率を上げねばならない。ITV カメラではおもな電源消費部としてフォーカス電流と、各回路電圧端子があり、ともに安定化を要求される。そして両者の消費電流がほぼ等しいことから、従来機では一単位の安定化回路で同時にこれを安定化し、パワートランジスタの節約と電源効率を上げる効果を得ていた。しかし若干構成が複雑であった。

IT-11 では動作原理は同じであるが、回路構成を合理化し大幅に部品数を減じたものを得て、これを採用した。

3.4 映像増幅回路

映像増幅器にとって高インピーダンス、低レベルの撮像管出力をいかに S/N よく増幅するかが一番の問題であり、次に広帯域、高利得増幅の安定性、調整の難易などがある。

IT-11 では S/N 改善について初段に低雑音 FET を採用し、入力容量を減らす回路上、構造上の考慮を払った。

利得、周波数特性の安定性については、後述する入力への負帰還を用いて安定化し、完全に無調整化した。

従来ビジコンなど高出力インピーダンス信号源の増幅器利得の表現には、電圧利得や電流利得を用いていたがともに不明確なので、入力電流、出力は電圧で表わす伝達インピーダンスを提案したい。この表現を適用して負帰還映像増幅器の利得決定法を示す。

図 3.1 の帰還増幅器の伝達インピーダンス Z_T を求める。

$$Z_T = \frac{v}{I_S} \cong \frac{-R_f \cdot \mu_R}{R_f + r_{in} + \mu_R} \dots\dots\dots (3.1)$$

ここに I_S は入力信号電流、 r_{in} は増幅器入力インピーダンス、 $-\mu_R$ は増幅器伝達インピーダンス、 R_f は帰還抵抗、 v は出力電圧をあらわすものとする。

ここで $\mu_R \gg R_f$ 、 $\mu_R \gg R_{in}$ とすると

$$Z_T \cong -R_f \dots\dots\dots (3.2)$$

となり伝達インピーダンスは任意に制御できる。

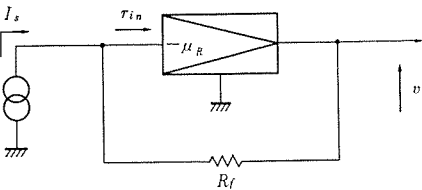


図 3.1 帰還増幅器
Feedback amplifier.

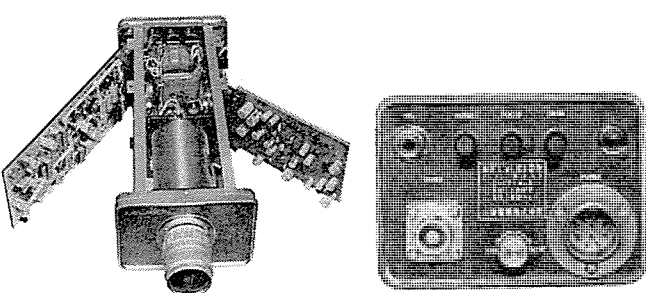


図 4.1 (a) カメラの内部構造 (a) Interior structure of camera.
図 4.1 (b) カメラ後面 (b) Camera back view.

4. 機器の概要

4.1 構造

カメラのきょう(筐)体はシャシ、前後面化粧わく、外部カバーで構成している。シャシが機械強度の中心となり、前後の化粧わくとトランス取付け板、三脚取付け板によって組立精度を保っている。コイルアセンブリはテフロン製のガイドで支持され前後移動可能となっている。シャシの外側には右に映像基板、左に電源偏向基板がコネクタにより取り付けられている。

後面にはターゲット、フォーカス、ビームの各電圧調節用ツマミが出ている。信号出力・電源接せん(栓)・電話接せん等は従来機種と互換性を持っている。カバーは塩化ビニルラミネート鋼板を使用した。

その他新たな特長としてインスタント ON 用のリレー、EE レンズ用電源接せんが取付け可能な構造になっている。

4.2 定格・仕様

(1) 方式

| | | |
|-------|-----------------------|--------------|
| 垂直周波数 | 60 Hz | (50 Hz) |
| 毎秒送像数 | 60 枚/秒 | (50 枚/秒) |
| 水平周波数 | 15.75 kHz | (15.625 kHz) |
| 走査線数 | 525 本 | (625 本) |
| 走査方式 | ランダム、外部同期によるインタレースも可。 | |
| 同期方式 | 電源同期または外部同期 | |

(2) 撮像機仕様

| | | |
|--------|------------------------------------|--|
| 撮像管 | ビジコン, 7262 A | |
| 映像帯域幅 | 50 ～ 6 MHz | |
| 信号出力 | 1.4 V P-P (複合)/75 Ω | |
| 電源定格 | 100/115 V ± 10 % 50/60 Hz 約 8.5 VA | |
| トランジスタ | 20 石 | |
| 寸法・重量 | 90(H) × 120(W) × 250(L) 約 3.4 kg | |

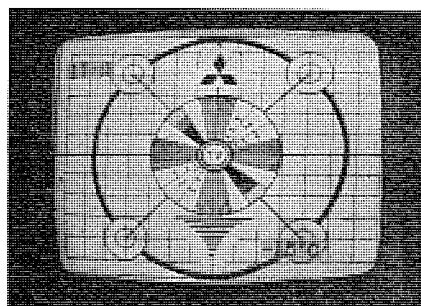
(3) 主要性能

| | | |
|--------|-----------------------------|--|
| 解像度 | 水 平 400 本以上 | |
| | 垂 直 300 本以上 (350 本以上) | |
| 使用可能温度 | -10 ～ +55°C | |
| | ただし自然通風で熱ふく射のない場合 | |
| 使用可能照度 | 10 ～ 10 万 ルクス (F : 1.4 レンズ) | |
| 自動感度調整 | 1 : 2,000 | |

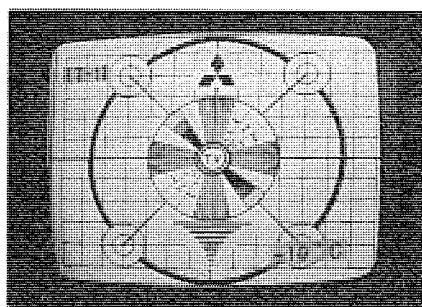
5. 性 能

5.1 温度試験

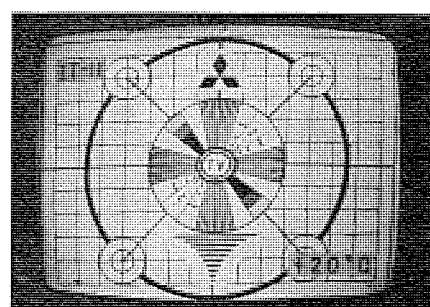
カメラの周囲温度を -15 ～ +65°C までかえて試験し、その映像信号を受けた受像機の画面写真を、図 5.1 (a) ～ (e) に示す。試験方法は恒温そうにカメラを入れ、そう外のテストパターンを窓越しに写



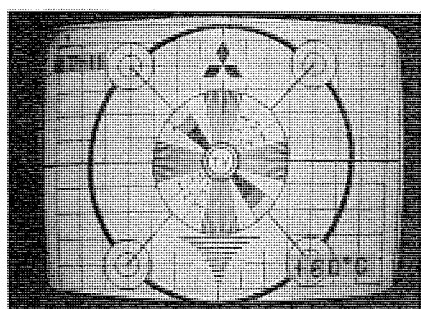
(a) -15°C



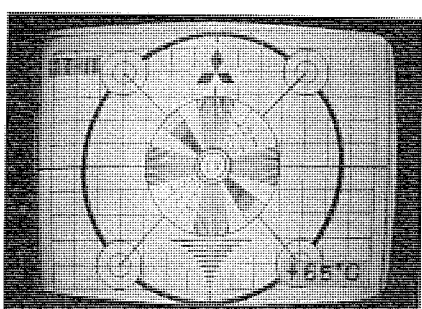
(b) -10°C



(c) $+20^{\circ}\text{C}$

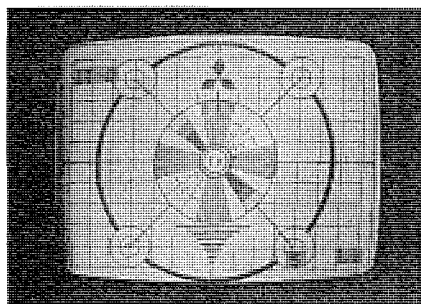


(d) $+60^{\circ}\text{C}$

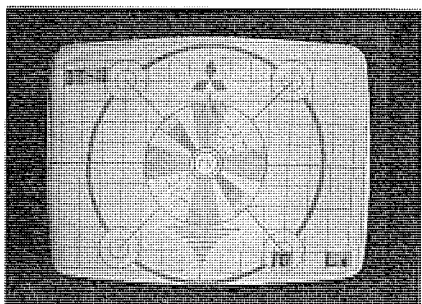


(e) $+65^{\circ}\text{C}$

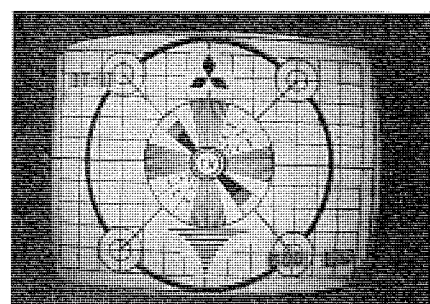
図 5.1 各温度における ITV 画像
ITV picture at various temperatures.



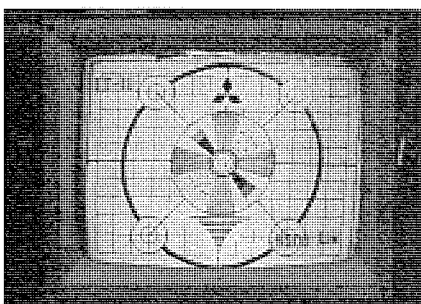
(a) 5 lx



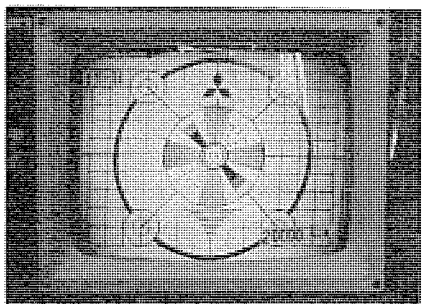
(b) 10 lx



(c) 500 lx



(d) 5,000 lx



(e) 20,000 lx

図 5.2 各照度における ITV 画像
ITV picture at various illuminations
of test pattern.

した。被写体照度は 250 lx を保った。受像機は映像信号の暗電流分の変化等に応じて、輝度・コントラストを調整した。この結果は目的とした温度性能を十分果たしたものといえる。

5.2 照度試験

被写体照度を 5~20,000 lx と約 4,000 倍変化させた場合の画面写真を図 5.2 (a)~(e) に示す。照明は 2,000 lx 以下は白熱電球を、2,000 lx 以上は太陽光を用いた。照度の調節は、 $F=1.4$ のレンズを基準としておもにレンズ絞りで行なった。絞りで調節できない場合は光源を調節した。受像機の輝度・コントラストは映像信号の暗電流分の増減等に応じて調整した。

この結果は目的とした低照度感度、E.E 特性を十分満足している。

6. む す び

この 2~3 年 ITV は社会に浸透しますます一般化してきた。従

来当社の製品 IT-T 3, T 5 形はどちらかといえば重工業指向形であったが、このたび性能は従来機種に劣らず、ある面では向上させたにもかかわらず、価格面で一般化した新製品 IT-11 形カメラを開発した。それは重工業、高温度用として信頼性に重点を置いた従来機の設計法のうえにさらに新しい設計思想を盛り込んだことによる。本文ではこの重工業向けとはん用向けの両面をもった IT-11 の性能と設計方針を記述した。

参 考 文 献

- (1) 道家, 大久保: 三菱電機技報, 44, 581 (昭 45)
- (2) R. E. Johnson: Vidicon Performances in Extreme Thermal Environments, RCA Elect. Components and Devices, Lancaster Pa.

XT-800 シリーズ X 線テレビジョン

道家 昭彦*・堀 高明*・仲佐 節男*

XT-800 Series X-Ray Television

Communication Equipment Works

Akihiko DÔKE・Takaaki HORI・Setsuo NAKASA

Several methods of X-ray television have come into practical use. In the diagnosis by the fluoroscopy and in the nondestructive inspection of machinery for industrial purposes, X-ray television is considered indispensable nowadays. Recently further improvement has been worked on the sensibility of the apparatus and on the quality of pictures so as to reduce as much as possible the dosage to avoid ill effect on the humanbody during the operation.

This article describes the primary features and improvement of the quality of pictures with newly developed vidicon and plumbicon type X-ray television XT-800 series, and further introduces the outline of the design of newly employed circuits for cutting down the price.

1. ま え が き

X線透視像をテレビ画像に変換する、いわゆるX線テレビジョンの方式には二三のものが考えられるが、最も広く利用されているのはX線イメージング管とテレビジョンを組合せて用いる方式で、XT-800シリーズX線テレビジョンもこの方式に用いるテレビジョンである。当社は島津製作所とX線テレビジョンを研究開発して以来、国内、国外に多数納入してきた。その間、電子技術の発展によりテレビジョンは初期の真空管式からトランジスタ式に変わり、トランジスタもゲルマニウムからシリコンに、またICやFET（電界効果トランジスタ）の応用も進んでその性能は次々改善されていった。

最近、X線テレビジョンの普及はめざましいものがあり、その性能に対する要求はますます高くなり、コントラスト・S/N・解像度などすぐれたものが要求されている。また、その需要は経営規模の大きい病院から中小の病院にまで拡大し、性能の向上とともに価格の低減が必要となった。XT-800シリーズは、このような要望にそって開発されたもので、性能の向上をはかるとともに生産合理化のため徹底

した標準化を行なったものである。現在、XT-800シリーズは多数の納入を完了し、納入先をはじめ各方面から好評をいただき、工場での量産体制も完備した。以下その概要を説明する。

2. X線テレビジョンの課題

X線テレビジョンの性能は、放送用ITV用のテレビジョンと異なり、むずかしい面があるが、一般的に要求される事項としては次のようなものがあげられる。

- (1) 取り扱い保守が容易で信頼性が高いこと
- (2) 装置が小形であること
- (3) 性能が十分高いこと
- (4) X線テレビジョンとしての機能をもっていること

(1)では装置を取り扱う人はテレビジョンの専門家でなく、しかも診断、検査に注意を集中しなければならないため、テレビジョンは無調整化などで取り扱いの簡単なものが要求される。また、医療用装置という点から故障によって長時間運転を休止することが許されないため、故障が起りにくく信頼性の高いことに留意しなければならない。

例をビジコンを使用したテレビジョンにとると、取り扱いを容易にするため撮像管のフォーカス調整・ターゲット電圧調整・映像信号のペダスタル調整などを自動化して、温度変化・電源変動あるいは被検体の厚さが変わった場合などに無調整で最適のテレビ画像が得られるようにする必要がある。内部回路については、トランジスタ化・IC化で小形化・高信頼性を得るだけでなく、着脱式のプリント板にして点検・保守を容易にする必要がある。

(2)についてはX線テレビジョンに限らず要求されることであるが、X線装置・透視台・テレビジョン装置などを総合したX線テレビジョン全体を考えるとかなり大がかりなものとなるので、テレビジョン機器としても小形化が要求される。また、外科手術用のX線テレビジョンや小口径イメージング管などに直結するテレビジョンでは、当然小形・軽量であることが必要となる。このような場合でも支障なく適合するためには、特にテレビカメラの部分の小形にしなければならない。

(3)の性能は、放送用・ITV用などよりかなり高いものが要求される。まず、イメージング管の出力像は一般のテレビカメラの被写体よりかなり暗いため、それに使用する撮像管は高感度であることが



図 1.1 XT-800シリーズカメラ
XT-800 X-ray television.

要求される。被写体が暗く、撮像管の信号出力が少ない場合は、映像増幅回路の雑音量がテレビ画像の良否を決定する重要な因子となるため、映像増幅回路は S/N ができるだけ高くなるような回路方式を考案する必要がある。イメージリファイアの出力像は暗く低照度であるだけでなく、その像のコントラストも種々の理由によって低下しているため、細部を鮮鋭にするには一般のテレビジョンと異なったレスポンス特性により補正する必要がある。

(4)では映像の上下・左右反転、ネガ・ポジ反転などがあり、その他のイメージリファイアの出力像が円形であるところから映像の縦横比を1:1にし、受像機を円形画面にすること、テレビ画面との視距離が短いため走査線を多くし、垂直解像度を上げて水平解像度とバランスした画像を得ることなどがある。

X線テレビジョン装置に要求される事項は、この他にもあるが、最も重要なのはイメージリファイア出力像をいかに見やすいテレビ画像にするかという点にある。これは、イメージリファイア出力像を、忠実にテレビ画像として再現することとは異なる場合がある。

3. XT-800 シリーズの概要

3.1 構成

XT-800シリーズには、ビジコン用・プラumbicon用の2種類があるが、制御器は両方に互換性のあるものとした。図3.1にXT-800シリーズX線テレビジョンの構成系統を示す。

3.2 特長

XT-800シリーズの開発に際しては、①カメラ部分の小形化、② S/N の向上、③信頼性向上の3点を主眼とした。これらの詳細は後述し、ここではおもな特長について説明する。

(a) 小形・軽量

IC化と新しい回路方式の開発により、カメラ・制御器とも小形軽量化した。特に、カメラ部分は最小限度の回路を有するだけとし、他は制御器側からドライブする方式を開発した。前置増幅回路・偏向回路などの性能は従来のものより向上させ、撮像管保護回路はトランジスタにより小さくまとめ、カメラの小形化のために装置の機能を限定した

り低下させたりはしなかった。図3.2は、新形カメラと旧形カメラの比較を示す。また、図3.3は、ビジコン用・プラumbicon用のカメラ外觀を示す。

(b) トランジスタ化・IC化

IC化を増大し、小形化をはかるとともに信頼性を向上させた。特に同期信号発生回路・シェーディング補正回路は全体をIC化し、出力回路の一部にのみトランジスタを用いた。同期信号発生回路の性能は、インタレースの良否に直接影響をおよぼし、走査線のベアリング・線間隔比のアンバランスを誘発する。特に、X線テレビジョンの場合は視距離が短く、インタレースのかかり具合で画像の良否が左右される。そのため、同期信号発生回路は放送標準方式とし、切込みパルス、等価パルスを含んだ位相関係の正確なものとした。

シェーディング補正回路は、ディジタルICで小形に製作した。回路の単なるトランジスタ化は、現今においてさほど特異なことではないが、テレビジョン機器の映像信号プロセス系、偏向系では特にむずかしい面がある。ネガ・ポジ反転、撮像管保護部などがそれで、この部分は、継電器を用いて信号の切換えあるいは電圧の切換えを行なうのが普通とされている。本装置ではこれらをトランジスタ化し、小形にしかも信頼性の高いものとした。

(c) 高解像度

水平解像度は映像帯域幅によって決まるが、本装置では標準を6MHzとし、3~8MHzまで任意に調整可能とした。解像度を論ずるときは、テレビ画像を全体的に見た場合の良否もあわせて考えるべきであるが、 S/N レスポンス特性などはX線透視像に適合した性能が持たせてある。本装置の走査線数は、625本2:1インタレース方式で、商用放送より多く、それだけ垂直解像度は高く、水平解像度とバランスした画像となっている。

(d) S/N の改善

前置増幅器は、電界効果トランジスタと低雑音トランジスタで構成し、高 S/N を得た。

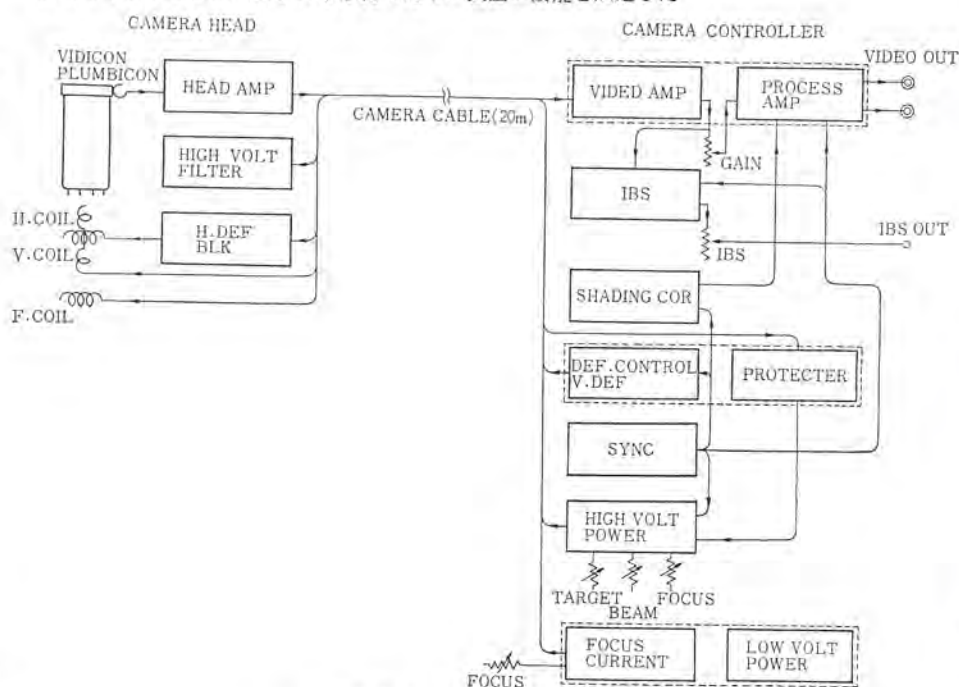


図 3.1 XT-800 シリーズ系統図
Block diagram of TX-800 X-ray television.



図 3.2 新形・旧形ビジコンカメラ
New and old vidicon camera.



図 3.3 ビジコン用・プラumbicon用カメラ
Vidicon camera and Plumbicon camera.

(e) 付加機能

上下・左右反転……制御器側から透視像の上下・左右を反転可能とした。

IBS 機能……制御器内に IBS(Image Brightness Stabilizer)を組み込み、被検体に応じた最適な X 線量をコントロールし、透視操作を自動化した。

(f) リモートコントロールと無調整化

カメラ部分の調整がすべて制御器側からできる方式としたため、遠隔操作方式の X 線装置の据付・調整、あるいは保守が非常に便利になった。また、その際に調整員が受ける X 線被曝をほとんどなくすることができた。装置は、温度範囲 $-10\sim+50^{\circ}\text{C}$ 、電源変動 $100\pm 10\text{ V}$ で完全に規格を満足しており、長期間無調整で運用できるものとした。

4. X線テレビとしての画質

4.1 映像増幅回路

(1) 前置増幅回路

イメージング管の出力像の明るさは、一般の被写体に比べて非常に暗く、しかも像のコントラストも低下している。そのような条件下の像を鮮明なテレビ画像とするには、映像増幅回路の S/N をできるだけ高くしなければならない。また、周波数成分はやや低いが、X線透視像にはそれ自体 X 線の量子性にもとづく雑音(X線量子雑音)が含まれているため、その意味からも、テレビジョン側の雑音は低く押えておかなければならない。

ビジコンをはじめ、撮像管の出力インピーダンスは非常に高く、約 $10\text{ M}\Omega$ と推定されており、また、その信号出力電流は約 $0.2\mu\text{A}$ 程度の小さな値である。そのような信号を、数 MHz の広帯域周波数特性に増幅した場合の S/N は、映像増幅回路の初段部によって決ってしまい、これをいかに構成するかが問題となる。以前は、パシバル回路と 3 極真空管のカスコード回路を組合せ、入力容量を分割・低減させて増幅するのが最も良いとされていたが、最近では機器のトランジスタ化にともない、これを電界効果トランジスタ(FET)で構成するようになった。

本装置は、この FET と次段に低雑音トランジスタを組み合わせた方式のもので、図 4.1 に、その基本回路を表 4.1 にその性能を示す。

(2) FET 使用上の問題点

FET は、電界により抵抗値を制御する点でトランジスタと異なり、ベース電流に相当する入力電流が不要で、入力電力が非常にわずかで済む。このことは、撮像管のような高信号源抵抗の信号増幅に適しており、しかも、トランジスタのベース電流に起因するショット雑音もなくなることになる。

FET には接合形と MOS 形があるが、映像増幅回路には、雑音レベルが小さく取り扱いの簡単な接合形が用いられている。FET の S/N は、内部の熱雑音で制限されることが報告⁽⁹⁾されており、その等価雑音抵抗は式(4.1)で示される。さらに近似的な入力回路の S/N は式(4.2)で与えられる⁽⁶⁾。

$$R_n = \frac{0.7}{g_m} (\Omega) \quad (4.1)$$

ここに R_n = 等価雑音抵抗

g_m = FET の相互コンダクタンス (V)

$$S/N = \frac{I_s}{I_n} = \frac{0.684 \cdot 10^5}{\sqrt{R_n \cdot C}} \quad (4.2)$$

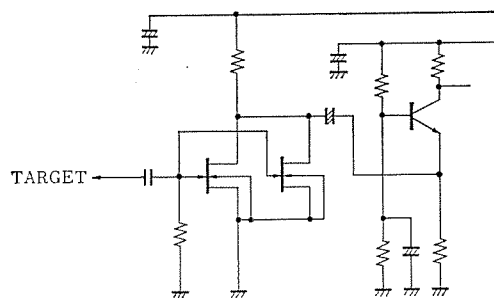


図 4.1 前置増幅回路
Pre-amplifier circuits.

表 4.1 前置増幅回路の性能
Specification of the pre-amplifier.

| 項 目 | 測 定 計 算 値 |
|-----------|---|
| S/N | 46 dB 以上 |
| 入 力 信 号 | $0.3\mu\text{A-P-P}$ |
| 帯 域 幅 | 4.5 MHz |
| ターゲット容量 | 22 pF |
| 映 像 帯 域 幅 | 3 dB DOWN 8 MHz |
| 最 大 利 得 | 6 MHz まで $-0.5+1.0\text{ dB}$ 以内 $0.89\text{ V-P-P}/0.3\mu\text{A}$ 最大出力 2.7 V-P-P |

ここに I_s = 信号電流 (ここでは $0.3\mu\text{A-P-P}$)

I_n = 雑音電流実効値

R_n = 等価雑音抵抗 (Ω)

C = 全入力容量 (pF)

映像帯域幅 4.5 MHz

温 度 290°K

式(4.1)に示した FET の R_n は、同じ g_m の値を持つ真空管の約 $1/4$ で、理論的に素子の変更だけで S/N は 6 dB 近く改善されることになる。FET の S/N はドレイン電流 I_D によってかなり大きく変化するため、 I_D の設定は FET の使用上最も考慮すべき点である。それは I_D によって g_m 、つまり R_n が変化することによるもので、たとえば接合形 FET を使用する場合は、ゲートバイアス電圧を 0 V か -0.5 V 前後にして I_D をかなり流し、 g_m を大きく得るようにするのが普通である。

また、 g_m を大きくするため FET を 2 個並列に接続する場合もあるが、それによって入力容量も増すため S/N は簡単に倍増せず、1 dB 程度の改善が可能である。

結局、FET は式(4.2)の $\sqrt{R_n \cdot C}$ を小さい値にすることを考慮に入れ、まず、 g_m が大きく FET 入力容量の小さいものを選択すべきである。さらに、 I_D による S/N の対応を測定によって綿密に求め、使用条件を決定すべきである。

素子の選択の重要性もさることながら、製作上いかに形成することも重大な項目としてあげられる。ターゲット線の引き出し方法とその線長は、入力容量として直接 S/N に影響するほか、プリント板の構成・外来雑音からのシールドなども十分吟味しなければならない。図 4.2 はビジコンカメラの内部を示すもので、手前のシールドケースの内部に前置増幅器をおさめ、構造的にも十分考慮した設計になっている。

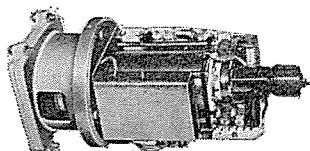


図 4.2 ビジコンカメラの内部
Internal aspect of the vidicon camera.

4.2 アパーチャ補正

(1) X線透視像とアパーチャ補正

元来アパーチャ補正は、撮像管の電子ビームのスポットが有限の大きさを持つところから生ずる解像度の低下を補うことが目的である。したがって、その補正周波数領域は高く6～7MHz成分を中心としている。しかしX線テレビジョンでは、X線透視像が非常に不鮮鋭であるところから、アパーチャ補正を視覚的效果を得るためのレスポンス特性の改善の一部として利用しており、周波数成分の低い領域が補正の対象となっている。元来の目的である解像度を上げるというより、映像を見やすくするという表現があたっている。

図4.3は、く(矩)形波をアパーチャ補正したときの波形図であり、①は、目的とする周波数成分に対して微分効果が生ずるようにして強調する方法で、②は、遅延線を用いて強調する方法である。①の場合は簡単に、しかも安価に行なえ、画像によっては非常に効果があるが、振幅特性の変化にともなう位相ひずみの補正がなく、画像が線条のものでは異様な感じを受け、解像度においても逆効果とな

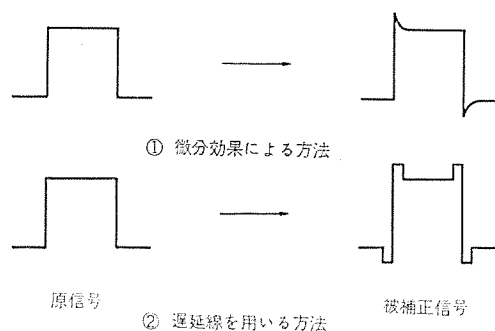


図4.3 アパーチャ補正と波形
Square wave response through the aperture compensation circuits.

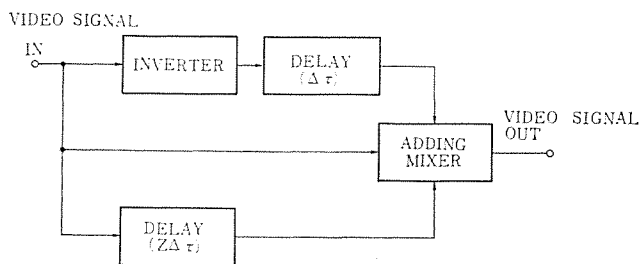


図4.4 アパーチャ補正回路系統図
Block diagram of aperture compensation.

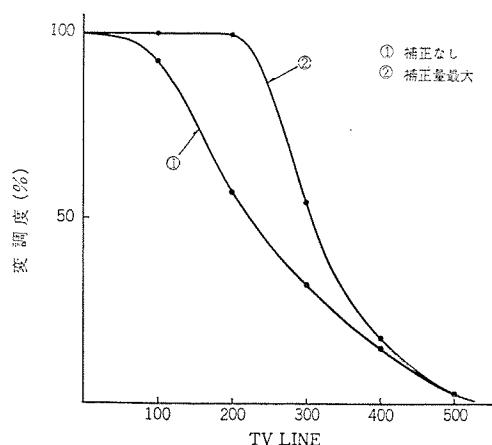


図4.5 アパーチャ補正によるレスポンス特性の改善
Response of the aperture compensation.

る場合がある。②は①の場合と異なり、不自然さがなく鮮鋭化の効果を得られ、図形からも②のほうが良好であることがうなずける。しかし、②のほうが高価であるため近似的に①で行なう場合がある。本装置には改善度の大きい②の方式を採用した。その他、アパーチャ補正には①と②を折衷した方法もあるが、効果としては②の場合より劣る。

このようなアパーチャ補正を、テレビ画像の水平・垂直両方に施すのが画質改善度も大きいわけであるが、垂直方向のアパーチャ補正は装置が大がかりとなるため、一般には省略する場合が多い。

(2) アパーチャ補正回路

本装置に用いたアパーチャ補正回路の系統を図4.4に示す。アパーチャ補正回路は調整部を有しているので、制御器のプロセッサ内に設けた。

図4.5は、プロセッサ出力でのアパーチャ補正によるレスポンス特性の改善度を示すもので、150～300本付近がブーストされ、X線透視像に効果的な改善が見られた。また、アパーチャ補正によるノイズレベルの増加は、補正量最大で6dBであったが、映像増幅回路のS/Nの向上と高域ノイズフィルタの作用で画質の劣化は少なく、改善度が大きかった。

4.3 その他の画質改善回路

本装置には、その他ガンマ補正回路・ディテイル補正回路・ペデスタル安定化回路・映像帯域調整回路、また画像の高輝度部分によって全体がそこなわれないような抑止回路などがある。

5. 信頼性の向上

信頼性の向上をはかることは、製品設計上当然であるが、医療用機器として特に考慮すべきで、設計の基調となるところである。ここでは、新しく採用した回路上の方策について説明する。

5.1 ネガ・ポジ反転回路の半導体化

一般に映像のネガ・ポジ反転回路は、継電器などの接触部品を用いて行なうのが普通とされている。それは、映像信号を半導体などで切換えるとひずみを増し、DG・DPの劣化をきたしやすく、またペデスタルの直流電位切換え回路の半導体化がむずかしいなどの理由によるものである。

図5.1は本装置に採用した半導体化ネガ・ポジ反転回路の系統図で、その系にブランキング回路も含まれている。半導体化で信頼性の乏しい継電器を除去できたことは、小形化と信頼性の向上に大きな効果があった。

5.2 撮像管保護回路の半導体化

テレビカメラを制御器から離し遠隔制御する形式のものでは、撮像管

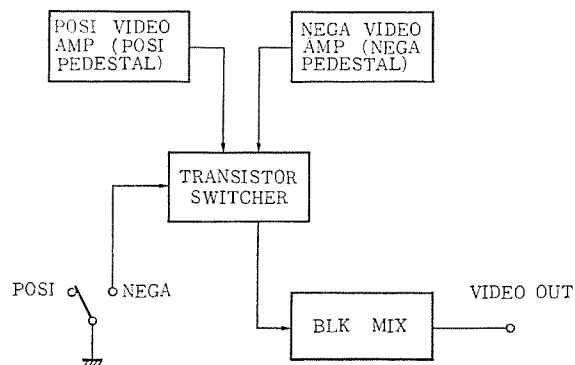


図5.1 ネガ・ポジ反転回路系統図
Block diagram of video polarity switcher.

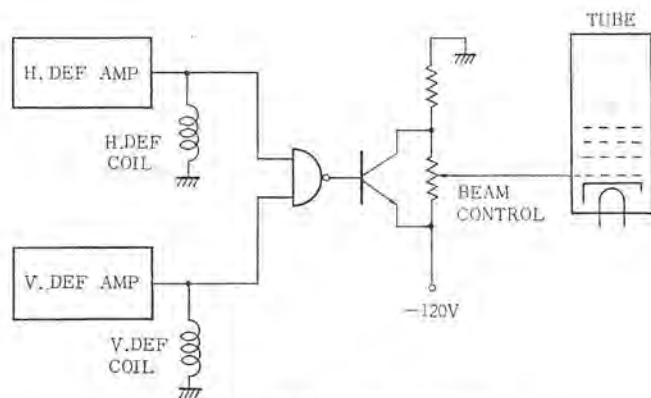


図 5.2 撮像管保護回路系統図
Block diagram of tube protector.

保護機能を持たせるのが普通である。一般に、撮像管保護回路は、水平・垂直偏向出力を直流電圧に変換し、この検出電圧により継電器を駆動して撮像管の電極電圧を ON・OFF する方式のものが多く。しかし、この方式は継電器を使用するため動作にヒステリシスが多く、偏向出力振幅と保護作用に正確な規定ができず、また電極電圧が高いため継電器接点が摩耗・溶着あるいはカーボンのかたまり（堆）積をおこして、逆に撮像管の動作を妨げる場合がある。

本装置は、このような障害を除去するためこれをトランジスタで形成し、ヒステリシスの除去、動作速度のアップ、小形化をはじめ信頼性を高めることができた。図 5.2 にその系統図を示す。

5.3 その他

信頼性の向上のために回路の IC 化、特に同期信号発生回路・シェーディング補正回路を完全 IC 化した。

シェーディング補正回路は、テレビジョン機器として欠かせないものであるが、ティルト補正・パラボラ補正のすべてが行なえるようにするには回路の段数がかかり必要で、その占有面積も大きくなる。IC 化されたシェーディング補正回路も一部に報告⁽⁷⁾されているが、OPERATIONAL AMP IC などで形成しているものが多く、逆に高価なものとなっている。

本装置では、はん用デジタル IC を A 級増幅器に変換し、これにあてたもので占有面積は従来の 1/3 以下となり、動作も安定である。このような目的にははん用デジタル IC を用いることは、機器のコストダウン・小形化にかなり有効である。

この他、信頼性の向上については回路設計だけでなく構造面からもつとめた。構造的に余剰となれば、重量の増加・コストアップ・加工難などを生むため、従来の経験を生かして機能に応じた設計を行なった。

6. 撮 像 管

X 線テレビジョンに使用される撮像管には、ビジコン・ブランビコン・イメージオルシコンなどがあるが、XT-800 シリーズはビジコンとブランビコン用に分けられる。X 線テレビジョン用撮像管に要求される事項は下記のごとくである。

- (1) 高感度であること
- (2) 低残像であること

- (3) レスポンスの高いこと
- (4) シェーディングや傷のないこと
- (5) γ 特性がなるべく 1 に近いこと
- (6) 振動や衝撃によってノイズが発生しないこと

入射光量が少ないため、まず高感度であることが必要となる。同時に、撮像管の傷・しみなどが目立ちやすく、それが被検体の欠陥部として誤認されたり像をまぎらわしくするため、傷規格はきびしく制限される。

循環器診断用のように被検体の動きが早く、その過程を注視するような場合は撮像管の残像は少ないことが要求され、ブランビコン、イメージオルシコンが用いられる。しかし、4.1 節で述べたごとく、X 線透視像は像自体に X 線量子雑音を含んでいるため、ブランビコン、イメージオルシコンではその雑音も忠実に写し出す結果となる。そのため、残像が少ない撮像管は逆に画像を見にくくする場合がある。残像を有するビジコンは、これを平滑化するため量子雑音が目立ちにくく、ある程度の残像は画像を良くする方向に作用し、目的によってはビジコンのほうが良好となる場合がある。したがって用途によって使用撮像管を選ぶ必要がある。

7. む す び

以上、XT-800 シリーズ X 線テレビジョン装置について説明したが、本開発は過去の実績経験で習得した方策と新案により、テレビジョン一般の概念にとらわれることなく、X 線テレビジョンの性能を求めることに基調をおいた。その結果、医療用、工業用として一段と取り扱いやすい製品とすることができた。初期の段階から比較すれば、X 線テレビジョンの性能は相当進歩したが、テレビ画像としてはまだ改善の余地がある。映像増幅回路の S/N の向上、撮像管の開発などその主なもので、特に撮像管においては最近 SEC ビジコンに注目すべきところがある。性能もさることながら、状況に適合すべき価格も重要な項目であり、現行のテレビ方式に限定せず、別の分野の開発も含めて、X 線透視像が鮮明に観察できる可能性も考えられる。終わりに、本装置の開発にあたって協力いただいた社外・社内の関係各位に心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 道家：三菱電機技報，38，No. 3，104，105（昭 39）
- (2) 田部，道家ほか：三菱電機技報，43，No. 9，1,193～1,196（昭 44）
- (3) 道家ほか：三菱電機技報，41，No. 4，543（昭 42）
- (4) 田辺ほか：島津評論，24，No. 2，67～80（昭 42）
- (5) 田辺ほか：島津評論，25，No. 1，31～49（昭 43）
- (6) 坂井ほか：NHK 技術研究，22，No. 1，91～109（昭 45）
- (7) 和久井ほか：電子技術，10，No. 8，48，49（昭 43）
- (8) Bray and Hayden-Pigg：Video Circuit for Transistor Television Camera, SMPTE, 72, No. 9, 853～859 (1963)
- (9) A. Vander Ziel：Thermal Noise in Field Effect Transistor, Proc. IRE, 50, No. 8, 1,808～1,812 (1962)

CV-902 形カービジョン

大久保永造*・古 東 啓 吾*

CV-902 Carvision

Communication Equipment Works

Eizô ÔKUBO・Keigo KOTÔ

In the world of transportation business running buses on the roads, decrease of passengers, and shortage of workers—particularly conductors—due to the rise of wages of other nearby enterprize have badly affected on the management. One of measures to get out of difficulties is to run one-man cars to cut down the personnel expenses. But it has brought about another trouble that the cars are prohibited to move backward because there is no one watching the behind. To save the situation and also to insure safe operation of large vehicles. Mitsubishi has worked out, by the cooperation of traffic companies, special ITV to help watch the backward direction from the driver's seat. The Company has named it "Carvision" and type CV-902 unit is now made public. The device has not only basic performance such as durability and sensibility, but also special consideration based on the human engineering techniques in the design. The tests were made by a bus technical commission under various conditions and proved very successful.

1. ま え が き

路線バス事業は昨今、モータリゼーションの進行や地方の過疎化による利用客の減少と、人手不足、人件費の高騰による車掌の絶対数不足により経営的に困難な状況を迎えている。

営業経費に占める人件費率は42年度ですでに約60%をこえ、その後も年々上昇を続けている。

バス業界では経営改善をはかるためワンマン化による省力を進めている。しかし幅員6m以下の路線での不許可など、後退禁止を基本にした現行ワンマンバス運行法令の制約があり、これを満たす路線をほとんどワンマン化してしまった現在、行きづまりを生じている。

これらの問題を打開し、さらにワンマン化を推進させるため、ここ数年、性能・経済性とも向上してきたITVをもとに、このたび車掌に換わる運転手の後方の目として車両用後方確認TV『カービジョンCV-902』を開発し製品化した。

なお今までに全国各地のバス技術委員会で実用試験が数多く行なわれ、その有効性・安全性が確かめられている。

その結果判明したことはバス等の大形車両にカービジョンを設置した場合、後部バンパー直下プラス左右1m、後方約15mの地面上にあ

る障害物を明確に確認しうるため、車両左右に従来から取付けられていたバックミラーと併用するならば、大形車両といえども後方死角はなくなり、運転手が若干訓練した後では車掌による誘導よりはるかに高い安全性と、少ない疲労度で正確な後退運転が可能になっていることである。

装置の性能・耐久性などに関しても、運転動作分析にはじまる人間・機械系の解析をもとに、当社の長年多方面にわたるITV製造の技術とバス会社での使用実験結果を生かしており、その主たる特長は昼・夜あらゆる天候条件の下に安定して使用できるよう、散光形バックライトと組み合わせた特殊高感度カメラや、自動感度調整機構の開発、自動車用部品の振動試験規格、JIS-D-1601に合格する耐振構造の採用や、真夏の高温下はもとより-40℃までの低温や雪に対しても使用できる設計と、寒冷地用付属品の準備など、新機軸を種々盛込んだものとなっている。

事実、南は九州から北は新潟の豪雪・寒冷地に至る各地で数多くのセットが四季を通じて約1年間使用されており、遺憾なくその性能を発揮している。

なお今までカービジョンの対象をバスにしぼって説明したが、タンクローリー、コンテナカーなど大形車両による運送業界にも運転助手の省力や、



(a) カメラ部



(b) モニター部

図 1.1 CV-902 形カービジョン

CV-902 Carvision.

安全対策などに同様の効果を上げうる。

2. カービジョンの概要

バス、タンクローリ等大形車両はその構造から、運転席から見て真後はまったくの死角であり、後退運転はバックミラーによるか、横窓から顔を出して行なういわば勘にたよるものであった。

このため当然人身事故や障害物との衝突、道路外への転落等の危険が伴う。

ワンマンでこれら大形車両を安全に後退運転させるため、ITVにより後方画像を運転席にもたらし、後方死角をなくすることが、カービジョンの目的である。

その構成は、後方画像を撮像するカメラ部を車両後部に取付け、モニター部を運転席近くに設置し、両者を1本の多心ケーブルで結ぶ、また昼・陰・夜の感度切替や、画質調整を行なうコントローラをダッシュボード等に取付けている。さらに電源はバックギヤと連動しており、後退時自動的に投入されるようになっている。

以下カービジョンに必要な条件とそれに応じた性能を説明する。

2.1 必要視角と超広角レンズの採用

近畿バス技術委員会をはじめ各地バス技術委員会（以下バス技委と略す）での実験結果はほぼ共通しており、後方視野範囲は後部バンパーを含めて後方10m以上で、横はバンパー直下で車幅プラス1m以上の範囲内が明確に確認できるものとなっている。

ここでバンパー直下部で車幅プラス左右1m以上が必要な理由は車両後退中急に人など障害物の飛込みがあった場合でもTVの監視のみで十分停車して間に合う視野範囲が必要だからである。

カービジョン CV-902では1インチビジョン用のレンズで、焦点距離8.5mmの超広角レンズ（魚眼ではない）を採用し、水平約90度、垂直約80度の視角を得ており、車両後方バンパー直下から後方約18mまでの地面と、バンパープラス左右1m以上の視界が得られる。

2.2 昼夜の別なく使用できるものであること

車両運転には、TV撮像条件の良い昼だけでなく夜も十分な視野範囲が得られなければならない。ITVカメラは普通低照度で信号が減少するため、最低10lx程度被写体照度は必要とされている。

また低い照明で必要視野範囲内の障害物を判別するためには、被写体コントラストが大きくかつ均一であることが必要となる。

このため後方照明に対する考慮と高感度カメラが要求される。

2.2.1 バックライト

被写体照度は照明強度と被写体反射率に比例し、コントラストは被写体の分布構成と照明角度により左右される。このうち、被写体反射率と分布構成は車両運転場所によって異なる。したがって後方照明

で留意することは照明強度・拡散性・コントラストを増すための照明角度の3点となる。

照明強度は大きいほど良い、しかし後方照明は法令上、光度5,000カンデラ以下で灯数は2灯以下に制限され、また車両バッテリー容量、消耗品である電球の調達性なども考慮しなければならない。

CV-902では上記理由により、電球を特に大きなものとせず、ヒラメント形状のみ指定した標準市販の60W電球を用い、光度も2灯で約1,500カンデラ程度のものにした。そして照度不足が生ずる可能性に対しては次項に述べるカメラ感度を向上させ、総合で十分実用になるものになっている。

なお上記限られた光量を有効に利用するため、種々実験を経て照明器具反射鏡の反射率、曲面、レンズの曲率、面加工に特殊な選定と加工を加え、光の拡散性、光量に対し満足できるものを得た。

また照明角度に関しては、カメラに対し有効な角度を決定している。なお光度に関する法令制約を避けるため、赤外照明と赤外TVを組み合わせる案もあり種々実験してみたが、市販赤外ビジョンは残像が多く、価格も高いし、照明器具も特殊となるのでこの案を放棄した。

2.2.2 高感度カメラ

夜間照明には限度があり、しかも被写体の種類によっては反射率、コントラストともに期待できない場合がある。（たとえば黒っぽい背景に黒づくめの服装の人間など。）また電球の光度低下等考えると、カメラ感度には相当の余裕がなければ実用にならない。

このためCV-902では撮像管に1インチビジョンを採用し、信号を大きく取るとともに、ビデオアンプ初段に特殊な低雑音増幅器を採用して感度を上げている。

なお1インチビジョンを採用した理由は下記による、すなわちビジョンには他に2/3、1/2インチのものがあり、形状が小さくカメラ部を小形にしうる利点がある、しかし光を電気に変換する光電面面積が1インチに比べ $(2/3)^2=4/9$ 、 $(1/2)^2=1/4$ と小さくなるため、信号電流が $4/9$ 、 $1/4$ と小さくなり、それだけ感度が低下するからである。

2.3 自動感度調整(E.E機構)

一般に屋外照度は夜間は前述のとおり、照明をしても10lx以下になることがあり、一方真夏の昼は10万～20万lxにもなる。この照度差は実に1万倍以上である。

上記照度差に対し常に実用になる画像をうる必要があり、TVカメラには自動的に感度を可変する機能をもたせなければならない。

しかし車両前方から強い日射があたり、バンパー直下が日陰になる場合などで周囲の明るい部分より、一部の暗い部分を映したいこともある。この場合、どうしても人間の判断が必要になり感度切替が手動でできるようにもする必要がある。

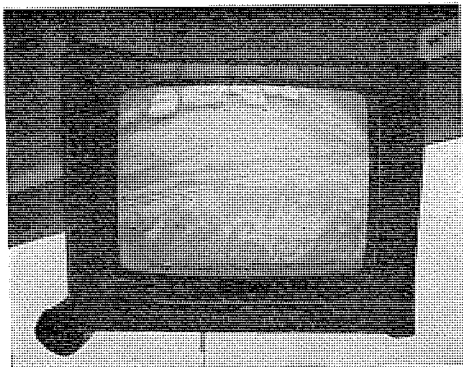


図 2.1 TV画面
Carvision TV picture.

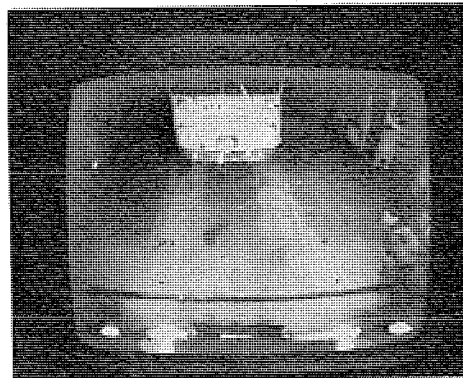


図 2.2 夜間におけるTV画面
Carvision TV picture at night.

自動感度調整(以下E.Eと称する)にはビジコンの感度を電氣的に調節するE.Eと、レンズ絞りによるE.Eを組み合わせる方法が理想的である。しかしレンズ絞りは機構部分を含むため耐振性に問題があり、信頼度が低下するおそれがある。

CV-902ではE.Eに関して電氣的E.Eの性能向上をはかり、また昼・陰手動切換のためどうしても必要な運転席近くのコントローラに夜感度切換を追加して効果を上げ、四六時中良好な後方面像の得られるものにしていく。またモニター輝度も昼と夜では周囲の明るさに応じて調節する必要がある、これも自動および手動を組合せて行なっている。以上のように感度と画質調整は一部手動を交えて自動化しているが、画質の好みには個人差があるため、コントローラにはコントラスト、輝度の微調つまみを設け調整しうるようにしている。しかし一度個人に合わせて調整すれば通常は調整不要である。

2.4 装置の耐振構造

車両用積載機器として当然その耐振性を考慮する必要がある。自動車用部品の振動試験方法を定めたJIS-D-1601では振動数2,000rpm、全振幅2mm(加速度4.4Gに相当)にて前後・左右・上下に各2~4時間の振幅試験を規定している。なおこれは連続であるが、瞬時衝撃5~6Gが加わることもあろう。

またわれわれが実際に走行実験したバス路線でも一部地道を含む簡易舗装であったが、上記振動試験に耐えれば十分余裕があると結論した。

なお当然のことながら耐久性に関しても長年の振動環境に対して疲労劣化を生ずる構造部分があつてはならない。

カメラ部の振動対策としての考え方は、車体自体が本来、柔構造であり、エンジン振動・クッション・路面おうち(凹凸)により複雑な動きをしている。そしてある程度の緩衝機能があると考えられる。

この場合カメラ本体をさらにパネ等のクッションでささえると、カメラの視軸は複雑な動きをし、視野が動くので見にくく、モニター面の距離表示とずれを生ずる。さらにパネの疲労劣化も防がねばならない。

CV-902では内部電子部品の耐振性を十分吟味し、取付方法・パナスを考慮し、固有の振動共振を起こさぬよう設計しており、現在1年近い実使用結果でその信頼性・安全性を確認している。

なおモニター・コントローラに関しても同様の考慮を払っている。

2.5 装置の耐環境性

カメラ部は屋外機器であり、低~高温・じんあい・雨・雪・風など、天候条件の考慮は当然必要である。

2.5.1 温度・凍結

日本国内でも東北・北海道地域は $-30\sim-40^{\circ}\text{C}$ 、その他は -10°C まで下がり、上は気温 $45\sim50^{\circ}\text{C}$ を考慮する必要がある。

ただし太陽光の直射を受けると 80°C 以上にもなることが考えられる。

CV-902では電子回路は $-10^{\circ}\text{C}\sim+55^{\circ}\text{C}$ まで安定に動作するよう設計しており、太陽光の直射を受けるカメラ部は、ケース上にさらにフードを設け直射光をさえぎるとともに、フードとケース間の空気断熱層によりケース内温度を 55°C 以下におさえている。

-10°C までの低温では本体は正常に動作する。しかし前面ガラス凍結のおそれがある場合や、 -10°C 以下に下る場合、寒冷地用付属品を別に準備しており、これを装着すれば使用可能となる。寒冷地用付属品は導電性ガラス(ECガラス)とヒータ、サーモSWの組み合わせたものであり、本体に容易に取付けられる構造になっている。

なおモニター、コントローラは室内環境であり、 $-10\sim+55^{\circ}\text{C}$ の条件

は満たされよう。

2.5.2 密閉防水構造(雨・じんあい・泥土)

雨天の雨・泥土や、晴天乾燥時のじんあいがカメラに浸入したり、前面ガラスに付着する問題があり、もし内部に浸入すれば電子回路の短絡、劣化を生ずるため必然的に密閉構造が必要となる。また前面ガラスへの付着は視界を妨げるので、一般にワイパー、シャッター構造が考えられる。しかしワイパーは清浄水がないとガラスが傷付き、ブレードゴムが摩耗する。また可動部の摩耗、泥土の付着、凍結を考慮すると装置として信頼度が低下する原因になる。

シャッター構造に関しても同様である。

CV-902ではカメラ部は円筒形金属ケースをもとにした完全密閉構造であり、上記異物の浸入を防いでいる。また前面ガラスに泥などが付着する問題も、カメラの取付位置が地上高約3mの高さにあり、車両前進に対しガラス面が逆方向なので泥水をかぶりにくい位置にあることと、ケースの水密性によりいわゆる窓ガラスを扱う程度の注意で前面ガラスを清掃できるので、複雑な構造物の採用はあえて避けている。この方法は信頼性とコスト面に寄与しており、また数多くの使用例でもその実用性が確認されている。

次に水滴が付着して視界を妨げる心配については、カメラが下向きのため、豪雨でもあまり付着しないし、レンズと前面ガラスが接近しているため、水滴等はあまり妨害画像にならない。

実車試験では風を伴った降雨中でも良く使用に耐えている。

2.6 装置設置位置と形状

2.6.1 カメラ部

カメラはレンズ視角がきまっているため、その後方可視距離は、車両後部のカメラ設置地上高に比例する。すなわち高いほど有利であり法令上も3.5m以下なら良いのであるが、路線バスでは後から取付ける装置として従来の最高車高(バンチレタ等)より低いことが望ましい。これは路線途中の木の枝とか、車庫の入口等でカメラが損傷する場合があるからである。しかし低い車では必要視野が取れぬこともあり、場合によってはカメラ取付を高くし、保護用のガードを別途つけることも必要であろう。

次にCV-902の据付に關し具体的に説明する。

すなわちカメラはバンパーと車両後面形状、地上高に対し決められた位置に設置しないと当初意図した視界(後方18m、バンパー、プラス左右1m以上)は得られない。これらの関係を図2.3に示す。ただし極端にバンパーが入り込んだものや、車両後面が出張ったもの

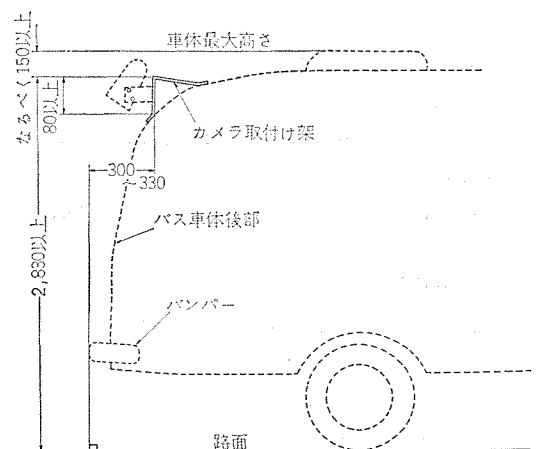


図 2.3 カメラ取付寸法図
Camera installing dimensions.



図 2.4 カメラ取付例
Example of camera installation.

(広告板など)は図 2.3 のとおり据付けてもバンパーがさえぎられ見えないことがある。このため据付前に図 2.3 のカメラのレンズ中心とバンパーを結んだ直線が、後部出張りによりさえぎられぬかどうか確認しておく必要がある。

バスはその形状において車体メーカー、ユーザの都合により非常に多くの種類があり、カメラ据付部位は丸形・角形などの形状および行先字幕・ライト・広告板の有無など組合せは無数である。

これらの場合でもなんらかのくふうをして図 2.3 の関係を守る必要がある。

2.6.2 モニター部

モニターの設置位置は運転席から見て左上・中央下・右上の3箇所が候補に上るが、近畿バス技委での実験の結果、左中央寄り上が最適との結論に達した。すなわち中央下は余分の空間があまりないことと、モニター画面が上を向くため太陽光が反射し輝度が不足するためである。

また右上は運転手が画面を見るため顎を上げる動作が不自然なことと、左右バックミラーとの一連の動作がつかぬためである。

一方左上設置は画面と左バックミラーがほぼ同一方向にあり、単に視線の動きだけで両者を見ることができる、すなわち従来の左右バックミラーを見る動作の途中にモニター画面が目にはいることになり、無理がなく動作量も少ない。

以上の結果モニター据付位置は左中央上(方向字幕下部)とし、モニター形状もその設置に適するように近畿バス技委で提案され、これを採用している。またモニター画面の寸法決定も上記据付位置をもとにして決定されたもので、バス技委実験後のアンケートにより7.5インチ以上とされ、現在の9インチが主流を占めている。

2.6.3 コントローラ

コントローラはTVが自動化されているため普段ほとんど手を触れる必要はないが、陰感度切換や前進中の後方監視のための電源を投入することがあり、運転席から容易に手の届く位置、ダッシュボード上などに設置される。

2.7 モニター画面上距離表示

モニター画面には車両後方撮像時、地面上での車幅と距離を示す印を印刷しており、後退運転の目やすにできる。

2.8 インスタント オン方式

TVの電源はバックギヤSWと連動しており、バックギヤ投入後2～3秒以内に後方監視が可能となる。これはブラウン管、ビジコンのヒータに常時若干の電力を印加する予熱方式による。

2.9 電源変動

バスに付属のバッテリー電源はDC+24Vであるが、その変動は大きく、18～30Vになることがあり、またバッテリーの異状時には35Vを越すこともあるという。

CV-902では18～28Vを連続使用定格、30Vまでを短時間使用可能とし、+35Vでも破壊されぬように設計している。

2.10 据付け・調整の容易さ

カメラ、モニターを据付けたあとカメラ角度調整をおこない、モニター画面距離マークと実際の視野を合わせるが、これをモニター側で画面を見ながらおこなえるようにしており、調整が容易である。

2.11 保守の容易さ

カメラ、モニターとも電子回路部分はプラグイン方式により、容易に交換可能となっている。このため万一故障した場合でも予備セットとの交換で簡単に修理ができる。この交換時間は、カメラ部、モニター部画面調整ともわずかな時間でよい。

3. 構成

カービジョン CV-902 は以下の品目により構成されている。

3.1 標準構成

| | |
|--------------------|----------|
| カメラ部 | 1台 |
| モニター部 | 1台 |
| コントローラ | 1台 |
| ケーブル | 12.5m×1本 |
| バックライト | 2個 |
| 付属品(据付に必要なネジ類等、小物) | 1式 |
| 取扱説明書 | 2部 |

3.2 オプションとして別に準備しているもの

| | |
|-----------------------|----|
| 寒冷地用付属品(A) | 1組 |
| 寒冷地用付属品(B) | 1組 |
| 後方連絡用屋外形スピーカー(付属品を含む) | 1個 |



図 3.1 CV-902 形カービジョン
CV-902 Carvision.

4. 機器仕様

4.1 総合仕様

| | |
|---------|-------------------------------|
| TV信号方式 | 日本標準テレビジョン方式に準ずる |
| 走査線数と方式 | 525本・ランダムインタレス |
| 総合解像度 | 水平 約350本以上、垂直 約250本以上 |
| 温度 | -10～+50℃(ただし寒冷地付属品付きで-40℃まで可) |
| 使用条件 | 昼・夜・全天候 |
| 衝撃 | 0～2,000 r pm, 4.4 G 以内 |
| 電源定格 | DC +24 V マイナス接地 |

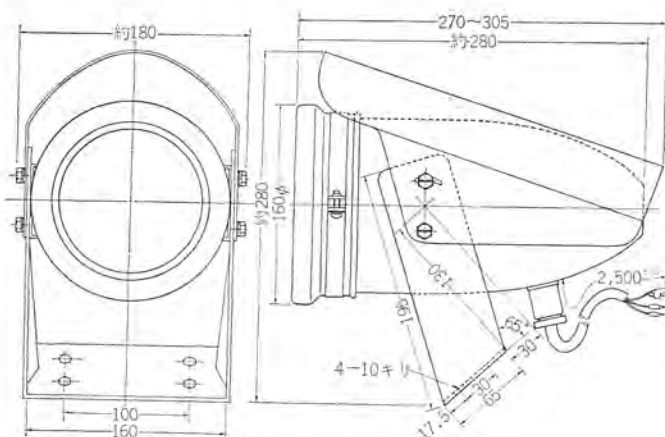


図 4.1 カメラ外形寸法図
Camera outline dimensions.

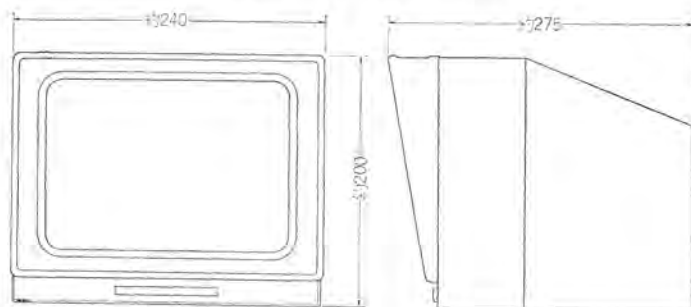


図 4.2 モニター外形寸法図
Monitor outline dimensions.

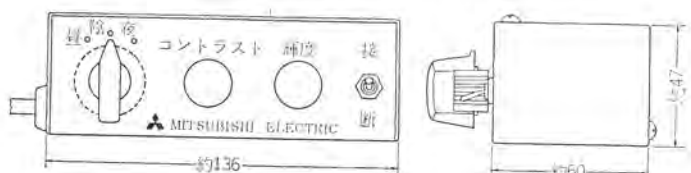


図 4.3 コントローラ外形寸法図
Controller outline dimensions.

撮像時 約 35 W
待機時 約 8 W
連続使用可能電源電圧 18 V ~ 28 V
視野範囲 パンパーを含む後方 18 m と車幅プラス
左右 1 m 以上の地面 (ただしカメラは正規
取付位置による)

なお、図 4. 4、4. 5、4. 6 を参照のこと。

4. 2 カメラ仕様

照度自動調整範囲 (全電子 3 段切換)

昼 約 50 ~ 100,000 lx, 夜 約 5 ~ 1,000 lx

使用ビデオ 1 インチ 7262 A

使用レンズ f 8.5 mm, F 1.8

レンズ視角 水平 約 90 度, 垂直 約 80 度

寸法 (高さ) 約 280 × (幅) 約 180 × (奥行) 約 305 mm

重量 約 5.0 kg

塗装色 (本体) 梨地アルマイト処理, (フード, 取付足)
銀粉塗装

4. 3 モニター仕様

ブラウン管 9 インチ (インスタントオン)

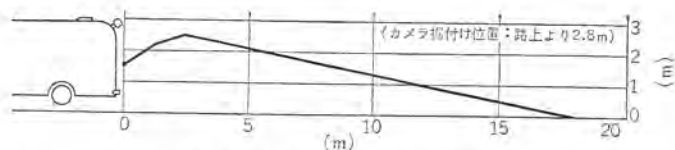


図 4. 4 車幅線上の最高視野範囲
TV field of the highest view on extension of
the car side-line.

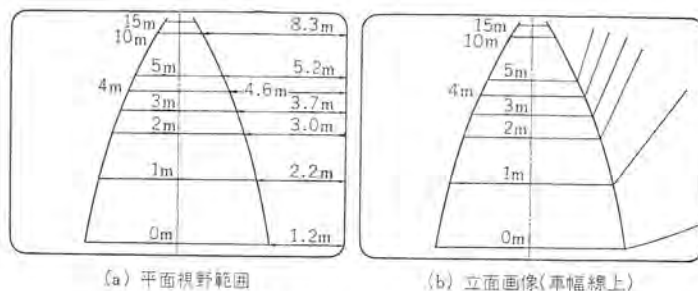


図 4. 5 TV による視野範囲
TV field of view.

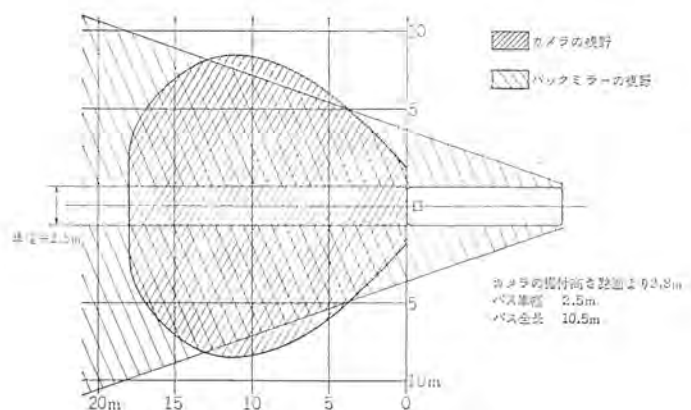


図 4. 6 バックミラーとテレビの視野範囲
Field of view by back-mirror and Carvision.

車幅・距離表示 黒点による後方 0, 1, 2, 5, 10, 15m の車
幅表示

寸法 (高さ) 約 200 × (幅) 約 240 × (奥行) 約 235
mm (フード込, 約 275 mm)

重量 約 6.6 kg

塗装色 マンセル N 5.5/0 (ハンマートーン仕上)

4. 4 コントローラ仕様

制御項目 感度切換 (昼, 夜, 陰), 接〜断スイッチ,
コントラスト, 輝度

寸法 (高さ) 約 47 × (幅) 約 136 × (奥行) 約 60 mm

重量 約 600 g (ケーブル重量込)

塗装色 マンセル N 2 (半ツヤ)

4. 5 バックライト仕様

光度 約 500 cd

消費電力 60 W × 2

寸法 (高さ) 約 140 × (幅) 約 150 × (奥行) 約 100
mm

重量 約 1 kg

4. 6 寒冷地用付属品 (A)

比較的ゆるやかな寒冷地や前面ガラス凍結のみを防ぐ場合に使用
し, その構成は導電 (EC) ガラスとサーモパネルの組合せである。

制御 サーモ SW による ON-OFF 制御

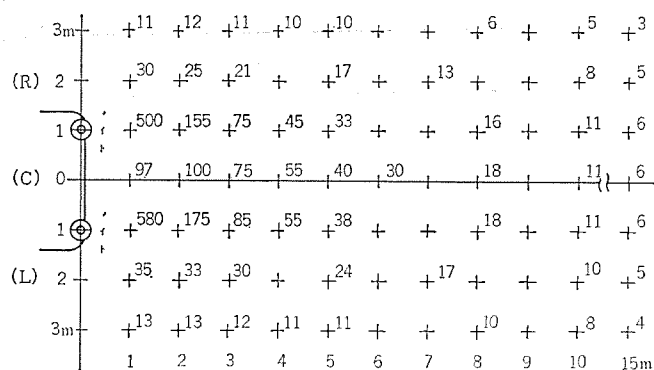


図 4.7 バックライトの照度分布 (地上高 1 m の lx)
Distribution of back-lite illuminance.

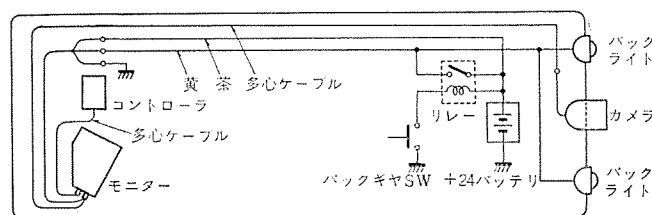


図 4.8 配線系統図
Construction and cable connection.

作動温度 +15°C で ON, +30°C で OFF
消費電力 +24 V 10 W
寸 法 EC ガラス 128 φmm×3 mm
サモパネル (高)20×(幅)73×(奥行)150 mm

4.7 寒冷地用付属品 (B)

−30〜−40°C にまで達する極寒冷地用のヒータユニットであり、上記 EC ガラス、サモパネル に追加して使用する。

制御・作動温度 上記 (A) と同じ
消費電力 +24 V 50 W
使用周囲温度 −40〜+50°C
外形寸法 (高)10×(幅)50×(奥行)100 mm

5. 各地バス技術委員会にて行なわれた公式試験

ワンマン化推進のためカービジョンの実用試験が、各地バス技委でそれぞれの幹事会社を中心におこなわれた。

当社も装置供給メーカーとして、問題点を追求する目的と、ITV の性質を説明するため積極的に参加した。

その主たるものを表 5.1 に示す。

これら各地での試験の内容・結果について、すでに各バス技委の報告書により明かにされているので、本文では試験項目を列記するにとどめる。

公式試験に先だち各幹事会社では、カービジョンの性質・信頼性を確認するため、将来 TV によりワンマン化を予定する現行 2 マン路線の

表 5.1 各地で開催されたカービジョンの評価試験
Test using Carvision at various places.

| 地 域 | 幹事会社 | 場 所 | 日 時 | 管轄陸運局 |
|--------------|-------|-----|----------|--------|
| 近畿バス技術委員会 | 神姫自動車 | 姫路市 | 昭45・10・7 | 大阪陸運局 |
| 中部バス技術委員会 | 三重交通 | 津市 | 昭46・4・27 | 名古屋陸運局 |
| 新潟・長野バス技術委員会 | 松本電鉄 | 松本市 | 昭46・5・30 | 新潟陸運局 |
| 九州バス技術委員会 | 西肥自動車 | 福岡市 | 昭46・6・24 | 福岡陸運局 |
| 中国バス技術委員会 | 広島電鉄 | 広島市 | 昭46・7・14 | 広島陸運局 |
| 四国バス技術委員会 | 琴平電鉄 | 高松市 | 昭46・8・10 | 高松陸運局 |

バスに TV を設置し、数カ月間実用試験をし、その実用性・安全性を確認して公式試験に臨んでいる例がほとんどである。

5.1 公式試験の内容

5.1.1 路線実走行試験

ワンマン化申請予定路線の実走行試験を昼・夜にわたって行ない、各運転手・試乗員にその有効性などのアンケートをとらせている。

5.1.2 カービジョンの性能試験

自動車練習所等の広場でカービジョンの持つ機能試験を行なう。

- (1) TV による地上面視野範囲、距離表示と実際の差の確認
- (2) TV による立体視野範囲の確認
- (3) 夜間における TV 視野範囲の確認 (種々の色合、形式物体の判別確認)

(4) バックライトの照度分布測定

(5) 日陰部撮像時の画質評価

5.1.3 カービジョンによる運転技能向上確認

自動車練習所等の広場でカービジョンの設置により、可能となった後退運転内容の質・量の評価試験で、運転手の馴れもはいる。

- (1) 障害物確認と停車距離
- (2) 直線コースによる後退試験
- (3) S 字カーブの後退試験
- (4) 障害物投入試験
- (5) 左側待避所幅寄せ試験
- (6) 車庫入れ方向変換試験
- (7) TV と車掌の誘導による比較試験

5.1.4 実路線で予測される特殊状況試験

- (1) 降雨・じんあいによる試験
- (2) 濃霧中の画質評価
- (3) 前面ガラス凍結の予測される低温、降雪中での画質評価
- (4) 急こう配における視野状況
- (5) TV による路肩の撮像状況
- (6) トンネル 出入口の画質評価

上記個々の試験に対して a) TV のみによる運転、b) TV とバックミラーによる運転、c) TV とバックミラー、および横窓から顔を出して後方確認する。の三者について多数運転手による実験の結果、a) では錯覚することがあり、b) ではほとんど問題なく、c) では完全だと結論されている。

以下紙数の都合で個々の試験内容と数値的な結果は省略する。

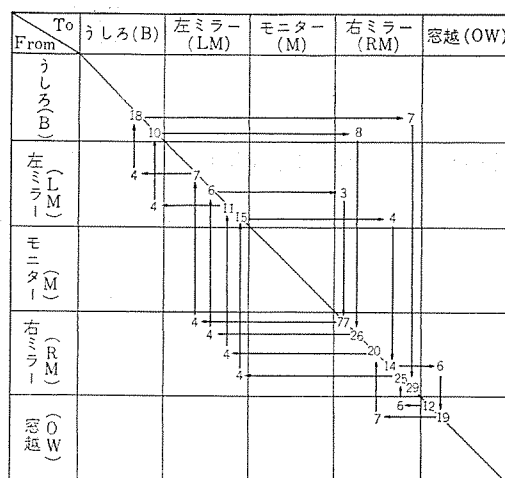
6. カービジョン設置の効果

前章では各地バス技委での実地試験により、カービジョンが後退運転にとって有力な手段であると実証されたことを説明したが、本章では 45 年 6 月 10 日の近畿バス技委主催のカービジョン公開実験において、人間工学的手法からカービジョンの運転操作に対する寄与率を定量的に求めたので紹介する。

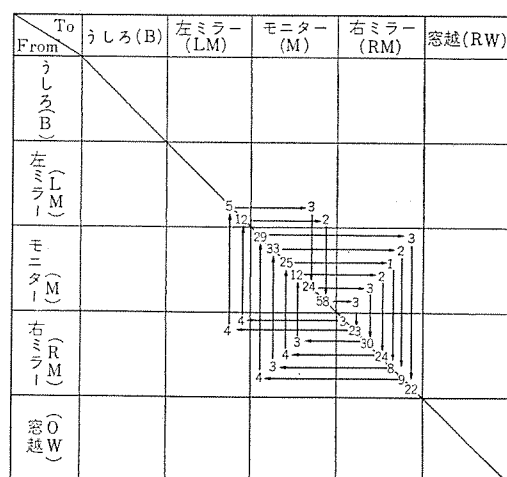
6.1 運転動作分析

車に添乗した分析者による車両後退時の分析結果によれば、カービジョンを据付けた場合、運転手が身体をひねって後方を直接見るという大きな動作がなくなっていることがわかった。

次にモーションスタディカメラのフィルム分析による眼の移動分析図は図 6.1(a), (b) のようになり、TV 装置の有無により眼の移動距離が大幅に少なくなっていることがわかる。なおこれは後退により幅寄せをおこなう際の解析結果であり、図の斜線上に示された数値は、



(a) カービジョンがない場合



(b) カービジョンがある場合

図 6.1 眼の移動分析
Analysis of eye movement.

表 6.1 作業量の解析
Analysis of operation volume.

| | | カービジョン据付前 | カービジョン据付後 |
|---------|--|--------------------------|--------------------------|
| フィルムコマ数 | | 354 | 355 |
| リンク数 | うしろを向いている B | $28 \times 5 + 10 = 14$ | $— \times 5 + 10 = —$ |
| | 左ミラーを見ている LM | $39 \times 5 + 10 = 20$ | $15 \times 5 + 10 = 8$ |
| | モニターを見ている M | $— \times 5 + 10 = —$ | $183 \times 5 + 10 = 91$ |
| | 右ミラーを見ている RM | $190 \times 5 + 10 = 95$ | $116 \times 5 + 10 = 60$ |
| | 窓越に見ている OW | $31 \times 5 + 10 = 16$ | $— \times 5 + 10 = —$ |
| 合計 | | 145 | 159 |
| 作業強度 | 3 RMR B | $18 \times 3 = 54$ | $— \times 3 = —$ |
| | 1 RMR LM | $20 \times 1 = 20$ | $8 \times 1 = 8$ |
| | 1 RMR M | $— \times 1 = —$ | $91 \times 1 = 91$ |
| | 1 RMR RM | $95 \times 1 = 95$ | $60 \times 1 = 60$ |
| | 2 RMR OW | $16 \times 2 = 32$ | $— \times 2 = —$ |
| 合計 | | 201 | 159 |
| 移動回数 | LM \leftrightarrow M, M \leftrightarrow RM | — | 11 |
| | LM \leftrightarrow RM | 6 | 2 |
| | B・OWを通る場合 | 7 | — |
| | 合計 | 13 | 13 |
| 移動作業量 | LM \leftrightarrow M, M \leftrightarrow RM | $— \times 1.0 = —$ | $11 \times 1.0 = 11$ |
| | LM \leftrightarrow RM | $6 \times 2.0 = 12$ | $2 \times 2.0 = 4$ |
| | B・OWを通る場合 | $7 \times 10.0 = 70$ | $— \times 10.0 = —$ |
| | 合計 | 82 | 15 |
| 作業量 | 作業強度 (=リンク数 \times 作業強度) | 283 | 174 |
| | +移動作業量 (=移動回数 \times 距離) | | |

それぞれの対象物を見ているフィルムコマ数をあらわし、その他は眼の移動コマ数をあらわしている。

6.2 作業量の解析

人間の眼の視点あわせの時間(10 TMU……0.36 sec)を基準にフィルムコマ数をリンク数に換算し、基本動作それぞれのエネルギー代謝率(RMR)を乗じたものの総和と、対象物間の目の移動距離と回数を乗じたものの総和を合計してエネルギー代謝率で、カービジョンの有無に対する後退運転時の作業強度を求めると表 6.1 の運転動作の作業量の解析が得られる。

なおここに 1 リンクは 10 TMU とし、フィルム 1 コマは 5 TMU (0.18 sec) とする。

この分析には実際の運転時のハンドル操作等、力作業は取り入れていないが、この車両後退幅寄せの例についていえば、カービジョンにより作業量が 30~40% 減少しており、定量的には表現し得ない運転手の安心感を加えると疲労は大幅に減少し、安全運転に大きく寄与することがわかる。

7. む す び

バス、タンクローリ等、大形車両の後方視界はその車体構造により従来、まったくの死角であり必然的に後退運転は一部勘にたよらざるを得ないところがあった。

このうちバスは乗客安全の立場から後退時に車掌の誘導を義務づけたのであるが、ここ数年来の人手不足による車掌不足・高賃金はバス事業にとって大きな圧迫要因であった。

このたび、これら大形車両の安全運転と、バス事業経営改善の一助として ITV を用い、従来の後方死角を克服する手段「CV-902 形カービジョン」を開発した。

その性能は重なる「開発～実験」の繰返しと、自己の問題としてとらえたバス会社との積極的な相互協力により、感度・耐環境性・耐久性ともほぼ完成の域に達している。

とはいえ TV に欠点がないわけではなく、その一番大きなものとしては立体画面を二次元平面であるブラウン管に投影するため、原理的に後方視界の立体感が出ないことである。このため道路のおうとつと水たまりの判別がつきにくいとか、路面上で高さをもった物体の距離感がつかみがたいなどの弱点を生じている。

しかし TV はあくまで後方障害物の有無、すなわち安全確認の手段として用い、疑わしい場合は後退せぬことを原則とすることと、運転手の十分な訓練のもとにカービジョンを使用するならば、なんら運用上に問題はないと考えられる。

現在カービジョンを積極的に導入しようと検討中のバス会社では、道路幅員、終点での方向転換不可のためワンマン化されず、車掌・誘導員・添乗員を配している路線のワンマン化を第一目標にし、将来はバスに後方確認 TV をつけたものの無条件後退許可、ワンマン化を希望しているようである。

今後このカービジョンがさらに広くその実用性・安全性が認められ、TV による法令上の後退許可とともに本格的にバス業界、大形車両運輸業界に取り入れられ、人員の省力化・交通安全に貢献することを期待する。

おわりにカービジョンの開発にあたり積極的な提言と実験をしていただいた、神姫自動車(株)・松本電鉄(株)・西肥自動車(株)の関係者のかたがたと、当通信機製作所の開発に参加協力されたかたがたに謝意を表する。

有線 ITV 伝送

大久保永造*・山際 豊行*・三村 和洋*

Cable Transmission System of ITV

Communication Equipment Works Eizō ÔKUBO・Toyoyuki YAMAGIWA・Kazuhiro MIMURA

An applicable range of ITV has broadened and the composition of the system has become complicated. For instance, there is a case where the distance between the camera and the monitor becomes so long as to extend as far as ten-odd kilometers. In the transmission of radio signals by using broad band waves, the restriction in the allocation of electric waves poses a problem for privately operated radio circuits, so transmission over wires is in practice as a matter of course. For the transmission are used pair cables and coaxial cables for telephone service and sometimes existing telephone circuits are made use of. The wire transmission has two methods; a video direct transmission method and a FM modulation method. They are used depending on the condition of installing repeater amplifiers. In addition to them, the transmission of control signals of accessory equipment and telephone service to communicate between two terminals are required. The article introduces the outline of the ITV transmission system and representative practices of it.

1. ま え が き

企業活動上迅速な情報交換は必要不可欠であり、離れた工場間の図面伝送・会議電話や無人工場・発電所の工程監視、交通の要所を監視センタで監視するなど画像情報への要求は高まりつつある。伝送信号は数 Hz～4 MHz が一般であり、場合により 1 MHz の狭帯域や、6 MHz は必要な高解像度用もある。ITV 伝送にはビデオ伝送のほか回転台・ズームレンズ等付属機器の制御があり、制御信号はビデオと逆方向伝送になることが多い。また音声連絡の要求もある。伝送距離は同一構内等至近距離から場合により数十 km の長距離が要求されることがある。

伝送方式は無線と有線に大別され、前者には UHF またはマイクロ波通信、レーザー、発光ダイオードによる光通信がある。UHF では 1 MHz の狭帯域通信が許可されており、それ以上は現在検討中である。レーザー通信は一部実用化されているものの安定性、光軸合わせにまだ問題があり、発光ダイオードは出力が小さく短距離用である。

有線方式はビデオ直送方式と変調方式があり、前者は後者に比べ占有帯域が狭く線路損失が少ないため伝送距離で有利だが、比帯域が大きくケーブル損失等化が複雑である。反面変調方式は、占有帯域が広がり損失上不利だが、比帯域が小さくケーブル等化が容易になる。さらに FM の場合レベル変動、線路特性変動の影響を受けにくい。

伝送路は電話用ペアケーブルや同軸ケーブルが使用され、前者は多対線別々に複数のビデオ信号と制御・音声信号を伝送し、同軸では周波数多重することが考えられている。ペアケーブルでは既設構内線など私設線を利用することもある。なお直送、変調いずれの場合でも信号 S/N が劣化する前に区間中継増幅器を設置している。本文では、ITV 有線伝送の実施代表例として、直送方式は「東名高速道路 都立良野トンネル 交通監視 ITV」を、FM 方式は「三重県企業庁富川第一発電所監視 ITV」と「神戸市消防局望楼 ITV 集中監視システム」の二例を紹介する。

2. 有線によるビデオ信号・制御信号伝送の概要

伝送すべき信号は、約 50 Hz～約 4 MHz でレベル 1～1.4 V_{P-P} の標準 TV 信号と制御信号、音声信号の複数波である。

ビデオ伝送は前述のとおり直送と変調方式があり、前者は線路損失をオーバーオールで ±0.5 dB 以内に精密等化している。一方線路損失特性は一定でなく温度、経年変化によっても変動しており、これを等化するためビデオ信号に 4.5 M～5 MHz のパイロット信号を混合し、各中継器、受信装置でレベル検出し、等化量の自動調整をしている。

中継器一段の等化量は外部誘導雑音を考慮し 40～50 dB である。変調方式は AM と FM があり、前者は占有帯域で後者より有利であるがレベル変動、線路特性変動に対し不利である。両者の得失を考慮して FM を採用している。しかし、一般の FM に比べて搬送波をできるだけ低く、変調度を浅くして占有帯域を狭めるとともに、下方側波のみを送送する低搬送波残留側波方式を採用した。これにより FM としての S/N 改善はあまり期待できないが、占有帯域は 1.5 M～8 MHz となり直送式に比べ比帯域上有利になった。また FM の利点として線路～等化器のオーバーオール特性は、直送式より大幅にゆるめられ等化器は簡単になった。ただし中継器一段の等化量は直送式と同程度で 40～50 dB である。

制御信号方式は長短パルスによる判別と、トーン信号を用いたもののふたつを標準化しており、項目数・安定度で前者がすぐれている。

伝送線路は市内 CCP・市外 PEF 等ペアケーブル、同軸ケーブルを用いており、直送は主要周波数成分が低域に集中し、漏話が少ない点からペアケーブルが適合している。この場合他のペア線で制御、音声信号を送送しうる。直送は同軸でも伝送できることは当然である。

FM は主要周波数成分が搬送波周囲に分布し、ペアケーブルでは漏話の問題があり、伝送距離も短くなる。したがって同軸伝送に適している。この場合 1.5 MHz 以下の帯域は制御、音声伝送に用いられる。

なお同軸伝送では、低損失ケーブルや中継間隔短縮により複数のビデオ伝送や異方向通信も周波数多重により可能である。

3. ビデオ直送方式

50 Hz～4 MHz のテレビジョン信号を変調せずにそのまま伝送するビデオ直送方式の伝送路としては、市内加入者ケーブル等の平衡対ケーブルを用いる場合と、同軸ケーブルを用いる場合の両者があるが、ここでは平衡対ケーブルを用いてビデオ直送する場合の技術的問題点、および装置の概要について求める。

3.1 方式の概要

本方式は次のような特長をもっている。

(1) 0.4 mm, 0.5 mm, 0.65 mm, 0.9 mm の市内紙, PEF, CC P, CPEV ケーブルのいずれによっても伝送することができ、約 4 MHz のビデオ信号を伝送することができる。

(2) 600 m～2,000 m 間隔に中継増幅器を設置し、約十数 km まで伝送することができる。

(3) 温度によるケーブルの損失の変化を補償するために、4.5 MHz～5 MHz にパイロット信号 1 波をそう入し、自動利得調整を行なっている。

(4) 中継増幅器の電源は、設置点で供給を受けられない場合送受信側より給電線により直流給電を行なう。

(5) 中継増幅器の障害は、監視線 1 対を用いて障害点を検出することができる。

(6) カメラ付属品としての回転台、ズームレンズさらにカメラ選択などの遠隔制御は、5 項で詳細に述べるが、FS 長短パルス方式または周波数選別方式により制御線 1 対を用いて行なう。

(7) 音声、電話回線を必要とするときは 1 対を用いて伝送する。

3.2 考慮すべき技術的問題点

加入者平衡対ケーブルを用いて約 4 MHz のビデオを伝送する場合、本方式の適用制限となる技術的問題として、ケーブルの漏話特性、外部誘導雑音、パルス性雑音などがある。

3.2.1 漏話

同一ケーブル内に複数のビデオシステムを収容する場合、漏話により収容システム数および回線長が制約を受ける。漏話による制限は、遠端漏話により同一方向同時伝送システム数、近端漏話により異方向同時伝送システム数が制約される。しかも同一ケーブル内には、ビデオ信号のみならず一般電話・搬送電話・ファクシミリ信号等が使用されるのでビデオ相互間、ビデオ、電話・ファクシミリ相互間が問題となる。遠端漏話は周波数に対してオクターブあたり約 6 dB、近端漏話は約 4 dB の傾斜特性をもっている。被写体、用途により許容できるシステム間漏話減衰量は若干異なるが、通常 30 dB 以上確保する必要がある、特にケーブルの近端漏話減衰量が問題になる。

$$A \leq X_N - 30 - 10 \log(m+1)n \quad (3.1)$$

ここに A は中継器利得 (dB)、 X_N はケーブルの近端漏話減衰量 (dB)、 m は中継数、 n はシステム数である。システム間漏話減衰量規格を 30 dB としたとき、中継器利得 A (dB) は上式を満足する必要がある。通常標準の加入者ケーブルでは、同一ケーブル内で異方向同時伝送は不可能であり、異方向伝送を行なう場合はユニットシャベを行なったケーブルを用いるか、あるいは二条方式にする必要がある。

3.2.2 外部誘導雑音

商用電源周波数およびその高調波からなる低周波誘導雑音は、平衡対ケーブルであるので問題にならない。しかし放送波の誘導が架空時に特に問題になる。周期性雑音に対する検知限は、 SN 比で約 45 dB 程度、許容限は約 40 dB 程度である。

$$N_0 = -K - 0.9 + P - A - 20 \log m \quad (3.2)$$

ここに N_0 は放送波誘導雑音 (dBm)、 K は SN 比 (dB)、 P はブリエンファシス量 (dB)、 A は中継器利得 (dB)、 m は中継器数であり、ビデオ信号レベルは $0.7 V_{P-P}$ としている。 $K=40$ dB、 A (1.5 MHz にて)=10 dB、 $m=10$ 、 $P=0$ とすると $N_0=-70.9$ dBm となる。架空ケーブルで送信アンテナに近く電界強度が強い場合は、中継間隔

を短くして中継器利得を少なくするか、あるいはブリエンファシスを行なうなどの対策を施す必要がある。

3.2.3 パルス性雑音

ダイヤルパルスなどの電話局内パルス性雑音は、スペクトル的に非常に広い周波数帯域にわたっており、このため局内に受信装置や中継増幅器を設置すると、このパルス性雑音が問題になる。この場合、中継距離を短くしてビデオレベルをあまり下げないようにして所要の SN 比を確保するようにしなければならない。

3.2.4 ケーブルの温度変化による影響

平衡対ケーブルの 500 kHz 以上の高周波損失の温度変化は dB 値で約 $0.2 \text{ } ^\circ\text{C}$ である。地下ケーブルの温度変化は $\pm 10^\circ\text{C}$ くらいと考えられるが、架空ケーブルの場合は夏～冬で最悪 $-20 \sim 60^\circ\text{C}$ の $\pm 40^\circ\text{C}$ の温度変化が考えられ、中継器利得を約 40 dB とすると最高画周波数での損失変動が約 ± 3 dB となり、中継増幅器を AGC 付きとする必要がある。

3.3 装置概要

3.3.1 システム構成と総合伝送特性

本システムの構成としては、送信装置・中継増幅器・受信装置からなり、本方式によるケーブルの使用対数は 1 システム当たり、ビデオ 1 対、制御 1 対、給電 1～2 対、監視 1 対、連絡用電話 1 対の計 5～6 対である。なお中継器が設置点で電源供給を受ける場合は給電線は不要である。1 リックのおもな特性と標準中継距離を表 3.1、標準減衰特性を図 3.1 にそれぞれ示す。

3.3.2 送信装置

ブロックダイアを図 3.2 (a) に示す。テレビカメラから $1.0 V_{P-P}$ のビデオ信号は、ケーブルの温度変化による損失変動を抑圧するために 5 MHz のパイロット信号をそう入し、送り出し増幅器により所要のレベルまで増幅し、ビデオトランスにより 75Ω 不平衡から 110Ω 平衡に変換して線路へと送り出す。

3.3.3 受信装置

ブロックダイアを図 3.3 に示す。線路からのビデオ信号を避雷器を通し、ビデオトランスにより 110Ω 平衡から 75Ω 不平衡に変換し、線路等化器により最終中継増幅器により受信装置までの最終スパンの振幅ひずみを等化して、さらに線路増幅器により所要レベルまで増幅し、次の可変等化器により実際のケーブル長と標準中継距離との差、および等化度偏差を補正する。さらにケーブルの温度変動による周波数特性をもった損失の変動が温度補償増幅回路により、5 MHz のパイロット信号を検出して、図 3.2 (b) のような特性をもつ自動利得調整を行なう。

表 3.1 伝送特性と標準中継距離
Characteristics of the system and nominal repeater spacing.

(a) 伝送特性

| | |
|-------------|--|
| 映像帯域 | 20 Hz～4 MHz |
| 信号受渡レベル | $1 V_{P-P}$ あるいは $3 V_{P-P}$ |
| 信号受渡インピーダンス | 装置側 75Ω 線路側 110Ω |
| 振幅周波数特性 | 偏差 1 MHz 以下 ± 1 dB 以内 1～4 MHz ± 3 dB 以内 |
| 解像度 | 300 本以上 |
| 雑音 | ランダム雑音 (S_{P-P}/N_{rms}) 50 dB 以上 ハム雑音 (S_{P-P}/N_{P-P}) 50 dB 以上 パルス性雑音 (S_{P-P}/N_{P-P}) 25 dB 以上 |

(b) 標準中継距離

| ケーブル | 標準中継距離 m |
|-------------|----------|
| 0.4mm 市内星紙 | 600 |
| 0.5mm 市内星紙 | 650 |
| 0.65mm 市内星紙 | 800 |
| 0.9mm 市内星紙 | 1,000 |
| 0.65 市外 PEF | 1,500 |
| 0.9 市外 PEF | 2,000 |

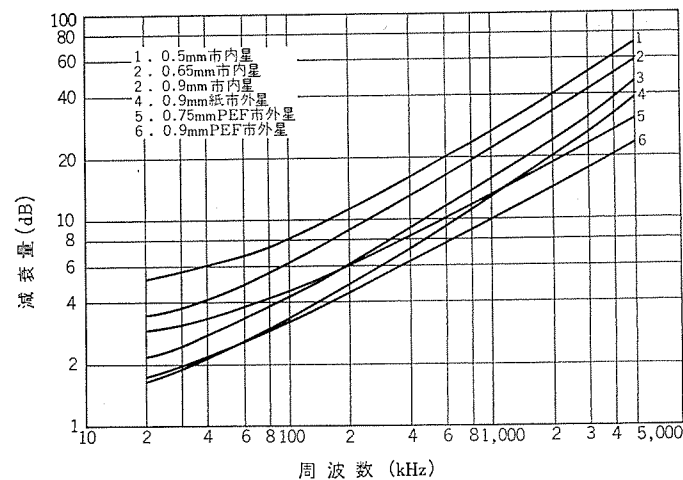


図 3.1 電話線の標準減衰特性
Attenuation frequency characteristics of telephone cables.

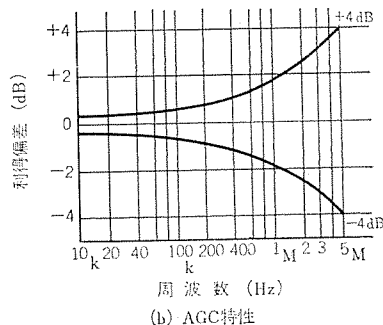
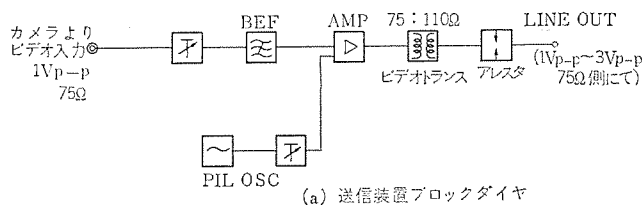


図 3.2 送信装置ブロックダイヤと AGC 特性
Block diagram of ITV-transmitting terminal equipment and characteristics of A. G. C.

送信装置でそう入されたパイロット信号を低域ろ波器により取り除き、ビデオ信号を次のクランプ回路により伝送路で発生した低周波波形ひずみ、および低周波誘導雑音を抑圧して1V_{P-P}のビデオ信号に復元して受像機へと送り出している。

3.3.4 中継増幅器

ブロックダイヤを図 3.4 に示す。一つ前の中継器より線路に送り出されたビデオ信号を、アスタを通しビデオトランスにより110Ω平衡から75Ω不平衡に変換し、次の線路等化器により振幅ひずみを等化し、線路増幅器により増幅してさらに可変等化器、および温度補償増幅回路によりケーブルの電気長の誤差の補正、およびケーブルの温度変動による損失変動を補償する。次に送り出し増幅器により1V_{P-P}あるいは3V_{P-P}まで増幅して、ビデオトランス、アスタを通し線路へと送り出す。また一方5MHzのパイロット信号は、中継器の障害探索に用いられ、規定レベルの範囲以上に変動すると警報を発生するようになっており、端局側で障害発生中継器を検出することができる。

4. FM 変調方式

ビデオFM変調方式は伝送路として一般に同軸ケーブルを用い、ビデオ信号・制御信号・音声信号およびその他の信号を周波数多重し伝

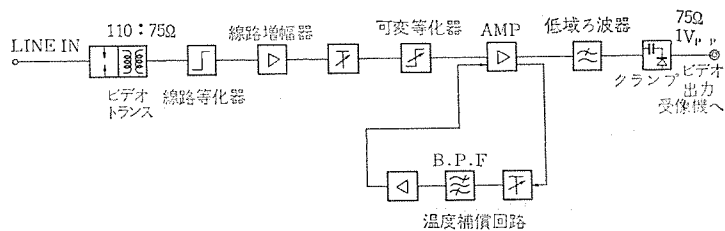


図 3.3 受信装置ブロックダイヤ
Block diagram of ITV-receiving terminal equipment.

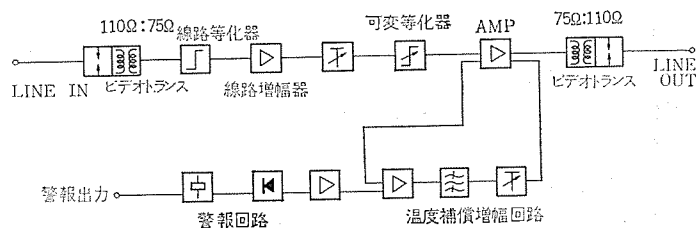


図 3.4 中継増幅器ブロックダイヤ
Block diagram of ITV-repeater equipment.

送することを標準としている。以下にFM変調方式の概要および技術的問題点について述べる。

4.1 方式の概要

本方式は次のような特長をもっている。

- (1) ビデオ信号のほか、多くの信号を同軸ケーブル1本で多重伝送できる。
- (2) 信号の変調方式はすべてFMを採用しており、外来ノイズ、レベル変動、線路特性変動の影響を受けにくく良質の信号伝送が行なえる。
- (3) 無中継伝送方式を標準とし、低損失の同軸ケーブルにより十数kmまで無中継伝送でき、そのため保守が容易である。
- (4) 付属装置の遠隔制御は、5章で述べるFS-長短パルス方式を採用している。

4.2 技術的問題点

FM変調方式によるビデオ信号伝送の技術的問題点として、占有帯域、伝送特性、S/Nおよび多CH、双方向伝送があげられる。

4.2.1 占有帯域幅

信号をFMした場合、その側帯波は無限に分布し、一方同軸ケーブルの減衰特性は高域ほど大きいため相反する要素がある。

本方式においては、ビデオ変調周波数 $f_m=4.5$ MHz、P-P周波数偏移 $\Delta F_{P-P}=2$ MHz、FM波の下限を1.5MHz(すなわち、1.5MHz以下で他の信号を伝送する)と設定しており、その占有帯域幅 B はカーソンの式より、

$$B = \Delta F_{P-P} + 2f_m = 2 + 4.5 \times 2 = 11 \text{ MHz} \dots\dots\dots (4.1)$$

となる。そして、搬送周波数 f_c は7MHzでFM波は1.5M~12.5MHzに分布する。伝送距離は占有帯域幅の上限周波数により制限されるから、FM波の帯域上限を下げるため本方式では、ビデオ中・低域は両側波で伝送する低搬送波残留側波帯方式を採用し、占有帯域幅を1.5~8MHzとした。

この占有帯域幅は平衡対ケーブルでも伝送できるが、減衰量と漏話特性で劣り、また逆に同軸ケーブルは低域の特性が悪いこともあり、本方式の伝送路は同軸ケーブルが適している。

4.2.2 伝送特性

FM信号の伝送路に用いられる同軸ケーブルの減衰特性を図 4.1 に示す。1.5~8MHzのケーブル減衰量を等化器にて補償増幅する。

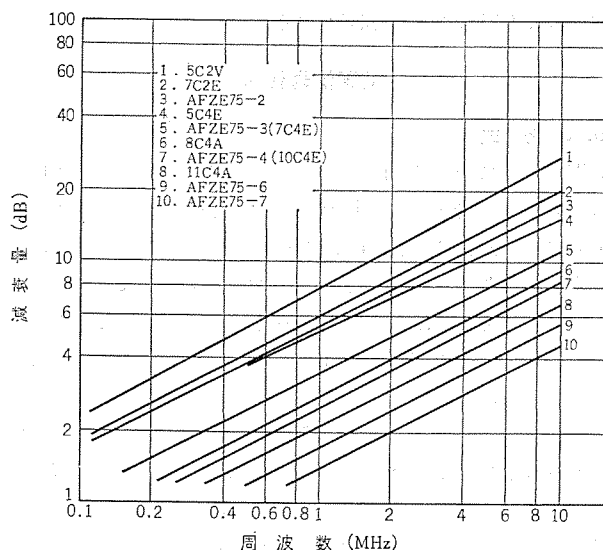


図 4.1 同軸ケーブルの標準減衰特性
Attenuation frequency characteristics of coaxial cable.

現在の装置ケーブルの減衰補償量は、受信装置前置増幅器の性能に制約され、8 MHz にて最大 62 dB 程度である。これより無中継伝送距離の例をあげれば、AFZE 75-4 (10C4E 相当) で約 8.5 km、AFZE 75-7 で約 15.5 km となる。

FM 方式の場合、ケーブル減衰補償は平衡対ケーブルによるビデオ直送方式に比べ、比帯域が小さいこと、かつ広帯域リミッタの振幅制限により、等化特性を厳密にケーブル減衰特性と合わせる必要がなく大幅に簡単になる。また、リミッタによって FM 信号レベル変動、線路特性変動が抑圧され、ひずみが除去される。

4.2.3 S/N

FM 伝送方式の特長である S/N 改善効果を以下考察してみる。ビデオ直送方式は、S/N に関して 100 % 変調度の AM と等価と考えられる。そして、FM の広帯域利得 (100 % 変調 AM に対する S/N 改善度) は周波数偏移 ΔF 、変調周波数 f_m 、S/N 改善度電圧比を G_V として、

$$G_V = \sqrt{3} \frac{\Delta F}{f_m} \dots \dots \dots (4.2)$$

が与えられる。式 (4.2) を用い $f_m = 500$ kHz までの G_V を求めると、

$$\Delta F = 0.5 \Delta F_{P-P} = 0.5 \times 2 \text{ MHz} = 1 \text{ MHz}$$

として、 $G_V \approx 11$ dB が得られる。すなわち、500 kHz までについては直送式に比べ約 11 dB の S/N 改善がなされたことになる。

また、500 kHz ~ 4.5 MHz の変調信号については、上記 S/N 改善効果は漸減し、計算上 $\sqrt{3}$ MHz 以上は効果がなくなるが、下側波帯伝送の本残留側波帯方式では、ビデオ低域信号はケーブル減衰量の大きい搬送波 (7 MHz) 付近に、ビデオ高域信号は減衰量の少ない低域に分布するので、低域信号は FM による S/N の改善、また高域信号はケーブル損失の少ないことにより S/N 劣化の低減が期待できる。

ほかに、FM 特有のリミッタによる AM 分雑音の除去、また 1.5 MHz 以上の占有帯域利用による放送波帯の回避により S/N の向上を計っている。

4.2.4 多 CH、双方向伝送の展望

現在、前述の 1 CH ビデオ FM 伝送方式を標準としているが、当然複数のビデオ信号伝送や、双方向伝送の要求も出てくる。この場合、CH 数に従って占有帯域も高域へ伸び、同一ケーブルでは無中継伝送

距離が短くなる。

多 CH、双方向伝送におけるおもな技術的問題点として、分波回路の分離度、高周波増幅器の直線性、搬送周波数の安定度などがあげられるが、これはいずれも CH 間漏話として現われる。

現在、実験段階において 1 CH : 1.5 M ~ 8 MHz (搬送周波数 7 MHz)、2 CH : 9 M ~ 16 MHz (同 15 MHz)、3 CH : 17 M ~ 24 MHz (同 23 MHz) で多 CH 伝送に成功している。

伝送距離は、低損失ケーブルの採用、出力レベルの増大、低雑音高利得等化器の開発、中継増幅器のそ入などにより伸ばすことができる。これらは CATV の技術と類似するところも多い。

4.3 装置概要

4.3.1 構成および仕様

FM 変調方式標準システムの構成は、送信装置・受信装置および伝送用同軸ケーブルから成り、送信装置にビデオ変調回路・制御信号 FS 復調回路を、受信装置にビデオ復調回路・制御信号 FS 変調回路を収納している。本方式の標準仕様と無中継伝送距離を表 4.1 に示す。

4.3.2 送信装置

ブロックダイヤを図 4.2 に示す。テレビカメラからのビデオ信号は、6 MHz 低域ろ波器、クランプおよび白リミット回路を経て FM 変調回路にはいり、搬送周波数 7 MHz で FM され 4 V_{P-P}/75 Ω に増幅後、分波回路、機器絶縁・縦電流阻止用ビデオトランス、アレスタを通し線路へ送り出す。

受信装置からの制御信号 FS 波は、FS 復調回路で復号後、リレーを作動させ付属装置を制御する。また、載頭形送受話器により受信装置と通話が可能である。

ビデオ FM 変調回路には、回路構成、調整が比較的簡単で周波数偏移がとりやすいマルチバイブレータ形変調回路を採用した。無安定マルチの周波数温度特性は一般に悪いが、本方式では特にその対策に留意

表 4.1 装置仕様と無中継伝送距離
Specification of the system and transmission range.

(a) 標準仕様

(b) 無中継伝送最長距離

| ビデオ系 | | ケーブル | |
|----------|--------------------------|-----------|---------|
| 伝送方式 | FM 変調方式 | | 距離 (km) |
| 搬送周波数 | 7 MHz | 5C2V | 約 2.5 |
| 映像帯域幅 | 50 ~ 4.5 MHz | 7C2E | 3.0 |
| 信号受渡しレベル | 1 V _{P-P} /75 Ω | AFZE 75-2 | 3.8 |
| 制御系 | | 5C4E | 4.3 |
| | | (10C2V) | |
| | | AFZE 75-3 | 6.0 |
| | | (7C4E) | |
| | | 8C4A | 7.5 |
| 音声系 (電話) | | AFZE 75-4 | 8.5 |
| | | (10C4E) | |
| | | 11C4A | 10.0 |
| 伝送方式 | 直送方式 | AFZE 75-6 | 13.5 |
| 伝送帯域幅 | 10 kHz | AFZE 75-7 | 15.5 |
| 電源定格 | AC 100 V, 50/60 Hz | | |

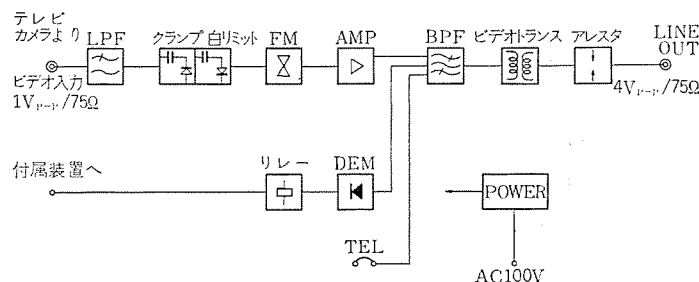


図 4.2 送信装置ブロックダイヤ
Block diagram of ITV transmitting terminal equipment.

し、トランジスタおよびダイオードによる補償を行ない、 $-20 \sim +60^{\circ}\text{C}$ にて $\pm 1\%$ の安定度を得ている。

4.3.3 受信装置

ブロックダイヤを図4.3に示す。線路からのビデオFM信号は、アレスタ、ビデオトランス、分波回路を経て等化器に入り、線路(同軸ケーブル)による減衰を補償され、復調回路でビデオ信号に復元、所定レベルまで増幅後、クランプ回路で低周波ひずみ・ハム等を抑圧して受像機へ送り出す。

遠隔操作器からの制御信号は、FS変調回路で変調し線路へ送り出す。また通話も送信装置と同様に可能である。

ビデオ復調回路には、比帯域が大きく調整が比較的簡単なパルスカウンタ形復調回路を採用した。リミッタ4段にてく形波に変換、増幅後、広帯域トランスで正負極性に二分し、おのおのを微分して加え合わせ、

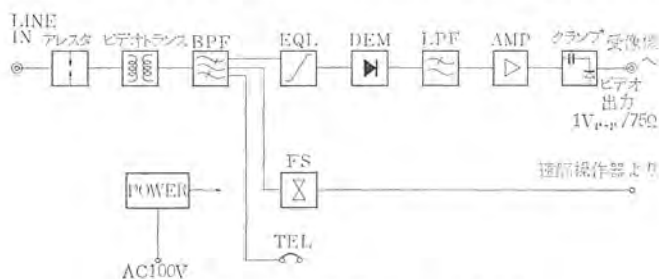


図4.3 受信装置ブロックダイヤ
Block diagram of ITV receiving equipment.



(a) 送信装置



(b) 受信装置

図4.4 FM送信装置・受信装置外観
Exterior view of the FM equipment.

低域ろ波器を通してビデオ信号を得る。

5. 制御信号伝送方式

5.1 方式

ITVシステムにおいて、モニター側から遠隔制御すべき項目としては、ITVカメラ付属品としての回転台・ズームレンズ・ワイパ・デフロスタの制御、さらにカメラ電源・照明灯電源・カメラ選択などの制御がある。これらの制御のうちズームレンズのフォーカス・回転台の制御などは細かい精度の高い調整を必要とするので、制御信号の伝送速度としては少なくとも0.1秒以下であることが必要である。現在ITVの制御信号伝送方式として、次の二つの方式を標準化している。

回転台・ズームレンズ・ワイパ等制御項目が多く、制御すべき機器が位置的に集中している場合には、FS長短パルス方式が非常に有利である。一方、カメラが固定式で制御すべき機器が点在していて、制御項目としてカメラ選択だけを行なうような場合には、周波数選別方式が用いられる。

5.2 FS長短パルス方式

図5.1(a)に制御送信ブロックダイヤを示す。クロック信号と走査回路からの信号を受けて、並列-直列変換回路(P/S)により短パルス0.5ms、長パルス1.0ms、同期信号2.0msの長短パルス列が得られ、FS変調回路で中心周波数150kHz、周波数偏移 $\pm 1.5\text{kHz}$ のFS信号となり、送り出し増幅器をへて送り出される。この制御出力はFM変調方式の場合は、映像FM変調波と多重化され、ビデオ直送方式の場合は制御線1対を用いて伝送される。

図5.1(b)に制御受信のブロックダイヤを示す。FS長短パルス信号は、まずFS復調回路のリミッタ回路によりレベル変動やAM成分が取り除かれ、FM検波、波形整形されもとの長短パルス列にもどさ

表5.1 ITV制御信号伝送の主な性能
Principal performance of ITV control signal transmission.

| | | |
|-----------|-------------|--|
| FS長短パルス方式 | 変調方式 | FS |
| | 中心周波数 | 150 kHz |
| | 周波数偏移 | $\pm 1.5\text{ kHz}$ |
| | 伝送速度 | 2,000 ボー |
| | 検定方式 | バリタイ検定 |
| | 制御項目 | 回転台、ズームレンズ制御、カメラ選択、カメラ電源開閉、デフロスタ ON-OFF 等、最大40項目 |
| | 送り出しレベル | 0 dBm |
| | 送り出しインピーダンス | 75 Ω 不平衡あるいは 600 Ω 平衡 |
| 周波数選別方式 | 使用線種 | 同軸ケーブル多重伝送あるいは平衡対ケーブル1対 |
| | 周波数配列 | 700 Hz \sim 2,600 Hzの間に17波 |
| | 送り出しレベル | 0 dB |
| | 送り出しインピーダンス | 600 Ω 平衡 |
| | 制御受信レベル | 0 dBm \sim -30 dBm |
| | 使用線種 | 平衡対ケーブル1対 |

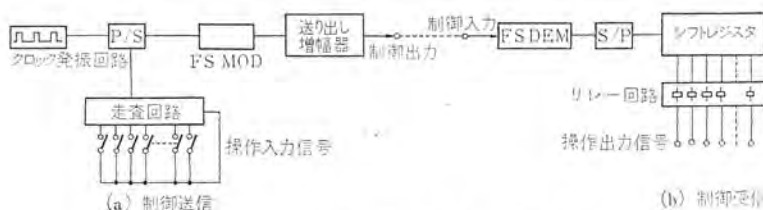


図5.1 FS-長短パルスによる制御方式ブロックダイヤ
Block diagram of ITV control system with FS-cyclic pulse code methods.

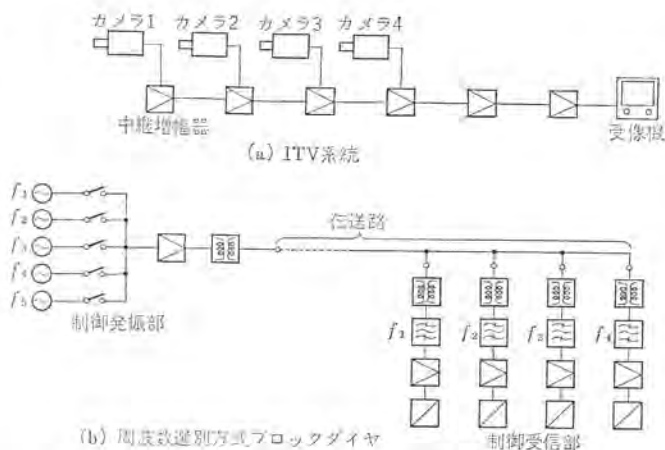


図 5.2 ITV 系統および周波数選別方式ブロックダイヤ
Block diagram of ITV control with frequency selection method.

れ、さらにこの長短パルス列は直列・並列変換回路 (P/S)、シフトレジスタにより復号されてリレー回路を動作させ、接点出力を与える。本制御方式は大幅に IC 化を行なうとともに、パリティ検定を加えて信頼性の向上をはかっている。表 5.1 は標準回路のおもな仕様を示す。

5.3 周波数選別方式

図 5.2 (a) の示すような系統において、ビデオ伝送回線としては 1 回線で、モニター側からカメラ選択を行ない、選択されたカメラからのビデオ信号をモニターで監視するもので、制御項目は各中継局で 1 ～ 2 項目程度であり、このような場合周波数選別方式による遠隔制御が用いられる。図 5.2 (b) のブロックダイヤに示すように制御項目に対応する周波数のトーン信号を発振して、受信部で選別されて直流電圧に変換され、リレー回路を動作させてビデオ信号を切り換える。表 5.1 に標準回路のおもな仕様を示す。

6. 両方式による代表的実施例

6.1 東名高速道路都夫良野トンネル監視 ITV

6.1.1 都夫良野トンネル概要

都夫良野トンネルは、御殿場インターチェンジ東方約 15 km の所にトン

ネル西口があり、これより東口まで約 1.8 km の長さを有し、東名高速道路中で日本坂トンネルについて 2 番目に長いトンネルである。トンネルは上り線、下り線に分かれており、おのおの走行および追越しの 2 車線になっている。

6.1.2 ITV 系統

図 6.2 に ITV 系統図を示す。ITV 設備はカメラ・トンネル内伝送路・ITV 送像部・トンネル外伝送路・ITV 受像部・ITV 制御車より構成されている。

6.1.3 装置概要

(1) カメラ

カメラとしては上り・下りともにトンネル内に 12 台ずつ、さらにトンネル進入抗口を外部から見るカメラをそれぞれ 1 台ずつ設置し、平均約 140 m 間隔で計 26 台のカメラを設置している。カメラはヘッドライトの影響をさけて、すべて車の進行方向とは反対後方より見る方法をとっている。レンズとして、トンネル内は明るさ F1.4、焦点距離 50 mm、トンネル外は焦点距離 25 mm のものを使用している。またカメラは外部同期により 2:1 インタレースを行なっている。図 6.3 にカメラの外観を示す。

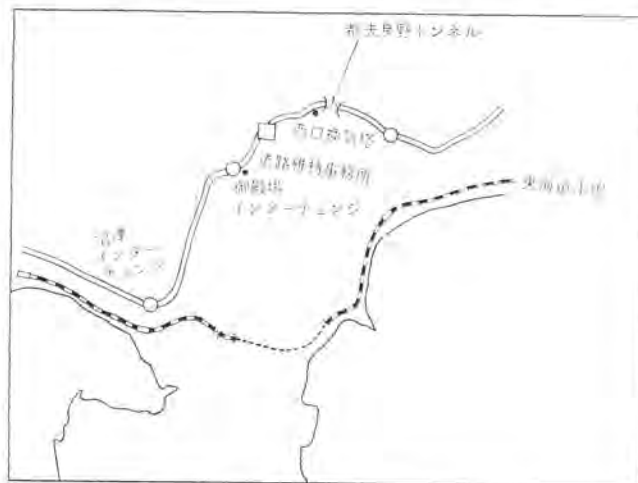


図 6.1 都夫良野トンネル付近図
Map of Tuburano Tunnel and neighborhood.

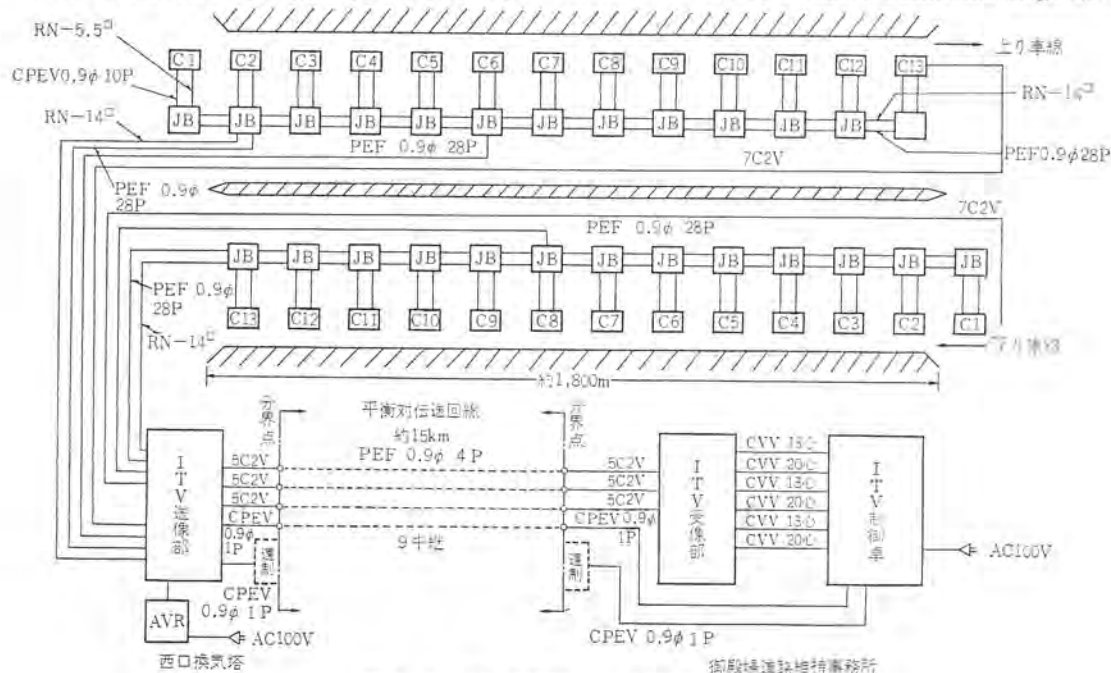
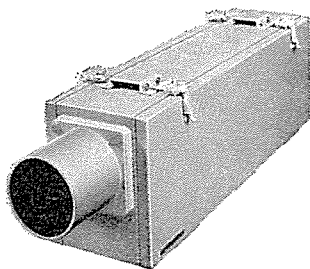
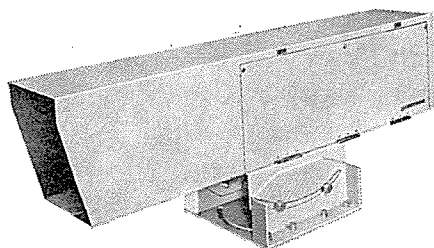


図 6.2 ITV 系統図
ITV system.



(a) トンネル内カメラ



(b) トンネル外カメラ

図 6.3 ITV カメラ ITV camera.

(2) トンネル内伝送路

トンネル内のビデオ信号は市外 PEF 0.9φ 28P を用いて、漏話の点から少なくともカッドが別になるように対を選択して使用している。またカメラは外部同期方式を採用しており、水平・垂直の駆動信号は ITV 送像部から各カメラへと分配しているが、その分配方法はループ伝送方式を採り、水平駆動信号をいったんトンネル最遠点まで同軸 7C2V により伝送し、トンネルの奥（東口）のカメラより順々に同期信号を分配していくので、カメラからのビデオ信号は、トンネル内伝送路 PEF 0.9φ により ITV 送像部まで伝送されたとき、いずれのカメラもケーブルによる信号の遅延が同じになり、ビデオ切換えを行なった場合、位相がすべてあっているため非常にスムーズに切り換わり、長時間のテレビ画面の監視にも眼の疲れが少ないものとなっている。

(3) ITV 送像部

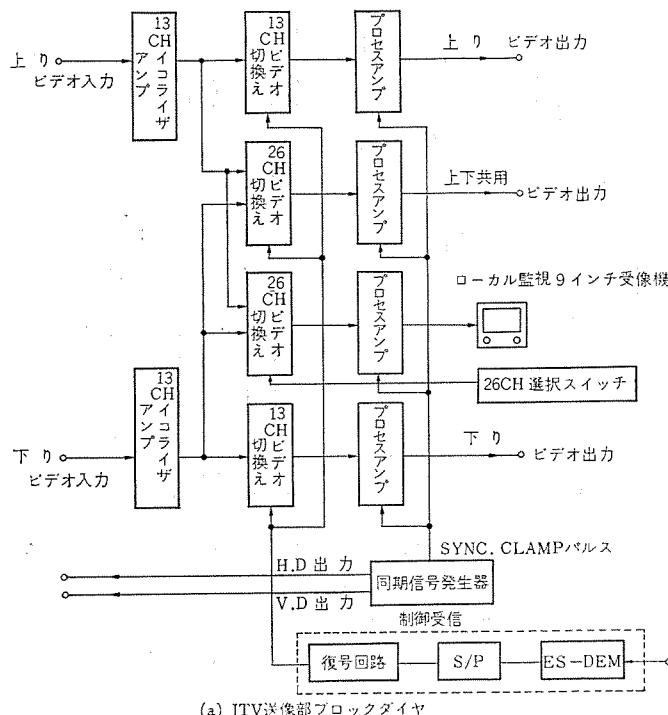
図 6.4(a) にブロックダイヤを示す。各カメラからのビデオ信号は、いったんこの送像部まで送られ、ここでトンネル内伝送路のケーブル損失が補償され、13チャンネル映像切換え器により上り・下りそれぞれ1チャンネルを選択、また上り・下り 26チャンネルより1チャンネルを選択して、それぞれプロセッサを通してこれら3出力を VS 1V_{P-P} 75Ω で端末機を通じ通信回線へ送り出す。また送像部には9インチ受像機を備え、上下26台のカメラから任意の1台を手動選択受像できるローカル監視の機能をもたせている。水平・垂直駆動信号をカメラへ送り、外部同期による2:1インタレースを行なうとともに、プロセッサのクラップパルスとしている。一方、制御系は制御卓から200ボートのFS長短パルス信号を受け、これを復調して上り・下り、上下共用の3系統のビデオを切り換えている。

6.1.4 トンネル外伝送路

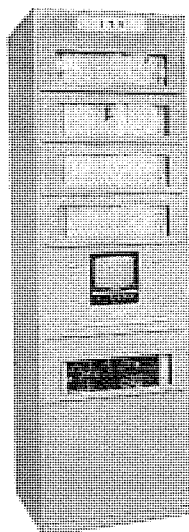
西口換気塔から御殿場道路維持事務所までの約15kmは通信回線市外 PEF 0.9φ のケーブルで9中継で伝送され、端末機器との受渡しは VS 1.0V_{P-P} 75Ω である。

6.1.5 ITV 制御卓

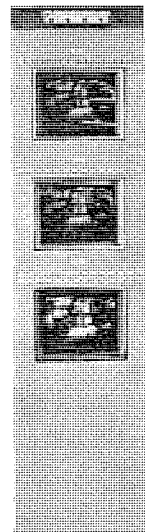
図 6.5(a) にブロックダイヤを示す。卓より遠隔制御項目としてはビデオ選択切換え52項目、カメラインスタント ON 2項目の計54項目を前述5.2節のFS長短パルス方式で伝送している。カメラ切換えは自動



(a) ITV送像部ブロックダイヤ



(b) ITV 送信部



(c) ITV 受信部

図 6.4 ITV 送像部と受像部
ITV transmitting terminal and ITV receiving terminal equipment.

・手動のいずれでも可能で、卓内の切換え信号発生器によりコントロールされ、自動切換えのタイミングはタイマにより調節可能で、可変幅は0~60秒である。また卓より受像部の3台の受像機のコントラスト・輝度・水平・垂直同期のリモコンを行なうことができる。

6.1.6 ITV 受像部

図 6.4(c) に示すように上り・下り・上下共用の3系統の受像機3台を収納しており、受像機はすべて制御卓から操作することができるようになっている。

6.2 三重県企業庁発電所監視 ITV

6.2.1 概要

本装置は、三重県企業庁宮川第一発電所無人化に伴い、発電所機器の状態を約8.5km離れた宮川第二発電所でモニターするとともに、拡声装置にて異状音の有無を監視するものである。

装置の系統は図 6.6 のごとく、第一発電所配電盤室・発電機室

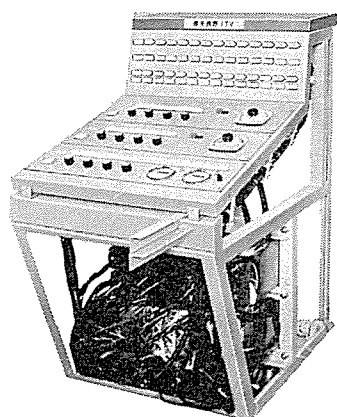
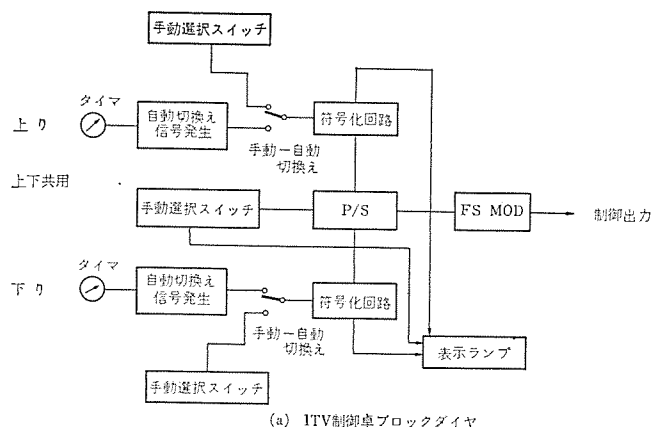


図 6.5 ITV 制御卓
ITV control console desk.

表 6.1 都夫良野トンネル ITV 主要性能
Principal performance of Tuburano Tunnel ITV system.

| 方 式 | 方 式 | 標準テレビジョン方式に準ずる |
|-------|--------------|--------------------------------|
| | 垂 直 周 波 数 | 50 Hz |
| | 水 平 周 波 数 | 15.625 kHz |
| | 走 査 線 数 | 625 本 |
| | イ ン タ レ ース | 2:1 インタレース |
| 映 像 系 | 同 期 方 式 | 外部同期 |
| | 解 像 度(水平垂直共) | 約 350 本 |
| | 走査ひずみ(水平垂直共) | ±10% 以下 |
| | 被 写 体 照 度 | 10~10,000 lx |
| | 自 動 感 度 調 整 | 1,000:1 以上 (照度比) |
| 制 御 系 | 信 号 方 式 | 長短パルス-FS 方式 |
| | 搬 送 周 波 数 | 2,400 Hz |
| | 伝 送 速 度 | 200 ボー |
| | 制 御 項 目 | 13 CH 選択切換え 2 26 項目 |
| | | 26 CH 選択切換え 1 26 項目 |
| 伝 送 系 | | インスタビジョン 2 2 項目 |
| | 伝 送 線 路 | PEF 0.9 mmφ |
| | 伝 送 距 離 | 約 15 km |
| | 中 継 数 | 9 中継 |
| | 周 波 数 特 性 | 60 Hz~4 MHz ±2 dB (100 kHz 基準) |
| S/N | | ランダム雑音 50 dB 以上 |

・水車室および屋外変電所の4箇所にそれぞれテレビカメラ・付属装置、および配電盤室に送信装置を、第二発電所配電盤室に受信機・

有線 ITV 伝送・大久保・山際・三村

遠隔操作器・付属装置、および通信機室に受信装置・既設通信線搬送装置を設置し、送信装置~受信装置間約 8.5 km のトンネル水中内を、同軸ケーブル 11C4A で伝送している。すなわち、同軸ケーブルにビデオ FM 波・音声 FM 波 2 波・制御信号 FS 波・通信搬送波および電話を周波数多重している。また、付属装置等の制御は、送信装置内操作器に優先権をもたせ、遠隔操作器と両方でできる方式としている。以下に概略仕様を示す。

6.2.2 仕 様

(1) 占有帯域

| | | |
|--------|---------------|----------|
| 第1通過帯域 | 1.5 M~8.0 MHz | ビデオ 用 |
| 第2通過帯域 | 475 k~525 kHz | 音声 1 用 |
| 第3通過帯域 | 380 k~420 kHz | 音声 2 用 |
| 第4通過帯域 | 285 k~315 kHz | 制御信号用 |
| 第5通過帯域 | 5 k~100 kHz | 既設通信線搬送用 |
| 第6通過帯域 | 3.5 kHz 以下 | 電話用 |

(2) ビデオ系

| | |
|-------|---------|
| 伝送方式 | FM 変調方式 |
| 搬送周波数 | 7 MHz |

(3) 音声1系

| | |
|-------|------------------------|
| 伝送方式 | FM 変調方式 |
| 搬送周波数 | 500 kHz |
| 変調方式 | クラップ 発振回路可変容量 ダイオード 方式 |
| 復調方式 | C 結合弁別方式 |

(4) 音声2系

| | |
|-----------|---------|
| 搬送周波数 | 400 kHz |
| 他は音声1系に同じ | |

(5) 制御信号系

| | |
|--------|---------|
| 伝送方式 | FS 変調方式 |
| 搬送周波数 | 300 kHz |
| 制御信号方式 | 長短パルス方式 |
| 制御項目数 | 16 |

(6) 通信線搬送系

既設のテレメータおよび電話回線を多重

(7) 音声信号系

| | |
|--------|---------|
| 使用電話器 | 41 M |
| 個別呼出装置 | 送受各 2 台 |

(8) 電 源

AC 200 V, 60 Hz

(9) 使用同軸ケーブル

11C4A, 8.5 km

(昭和 44 年 5 月納め)

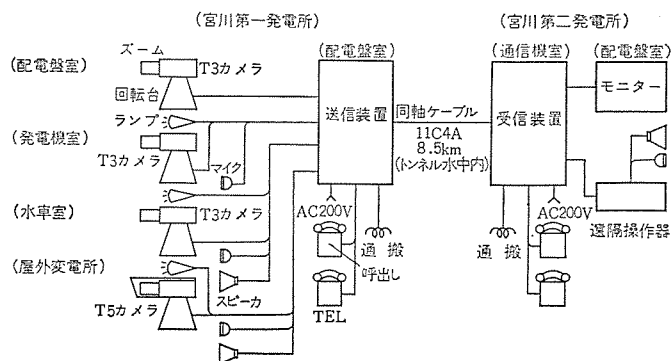


図 6.6 ITV 系統図 ITV system.



図 6.7 テレビカメラ・送信装置外観
Exterior view of TV camera and ITV-transmitting terminal equipment.

6.3 神戸市消防局望楼 ITV 集中監視システム

6.3.1 概要

本装置は、神戸全市をカバーする3箇所に望楼 ITV を設置し、本部管制室で集中監視制御を行なうもので、すべて FM 変調伝送方式を採用している。工事は3期に分け、46年11月に全システムが完了予定である。本装置はビデオ、制御信号のほか、テレビカメラの回転角を連続的に指示させるための信号を送信する特長をもっている。

装置の系統は図 6.8 のごとく、長田署・貿易センタービル・東灘署の3箇所に、テレビカメラ・付属装置・回転信号送信装置および長距離伝送送信装置を、本部管制室におののに対応する受像機・遠隔操作器・付属装置・回転信号受信装置・長距離伝送受信装置および3台のカメラの回転方向を光ビームで表示する方向表示盤を設置している。付属装置等の制御は、本部管制室の遠隔操作器が優先権をもって行ない、長田署および東灘署の操作器でも可能になっている。

おののの伝送用同軸ケーブルに、ビデオ FM 波・回転信号 FM 波 2 波・制御信号 FS 波および電話を周波数多重している。以下に概略仕様を示す。

6.3.2 仕様

(1) 占有帯域

| | | |
|--------|---------------|--------|
| 第1通過帯域 | 1.5 M~8.0 MHz | ビデオ用 |
| 第2通過帯域 | 365 k~415 kHz | 回転移相波用 |
| 第3通過帯域 | 245 k~295 kHz | 回転基準波用 |
| 第4通過帯域 | 125 k~175 kHz | 制御信号用 |
| 第5通過帯域 | 10 kHz 以下 | 電話用 |

(2) ビデオ系

標準方式に同じ

(3) 回転移相波系

| | |
|-------|------------------------|
| 伝送方式 | FM 変調方式 |
| 搬送周波数 | 390 kHz |
| 変調方式 | クラップ 発振回路可変容量 ダイオード 方式 |
| 復調方式 | C 結合弁別方式 |

(4) 回転基準波系

| | |
|-------|---------|
| 搬送周波数 | 270 kHz |
|-------|---------|

他は回転移相波系に同じ

(5) 制御信号系

| | |
|--------|--------------------------------|
| 伝送方式 | FS 変調方式 |
| 搬送周波数 | 150 kHz |
| 制御信号方式 | 長短パルス方式 |
| 制御項目数 | 13(長田署), 12(貿易センタービル), 13(東灘署) |

(6) 音声信号系

| | |
|-------|----------|
| 使用電話器 | 4 号形 |
| 呼出信号 | 502.5 Hz |

(7) 回転方向表示盤

| | |
|----------|---------|
| 赤色光ビーム装置 | 3 基 |
| サーボ方式 | 直流サーボ方式 |

(8) 電源

AC 100 V, 60 Hz

(9) 使用同軸ケーブル

| | | |
|-------------|---------|--------|
| 本部~長田署 | 8C4A-SS | 5.6 km |
| 本部~貿易センタービル | 7C2E | 1.0 km |

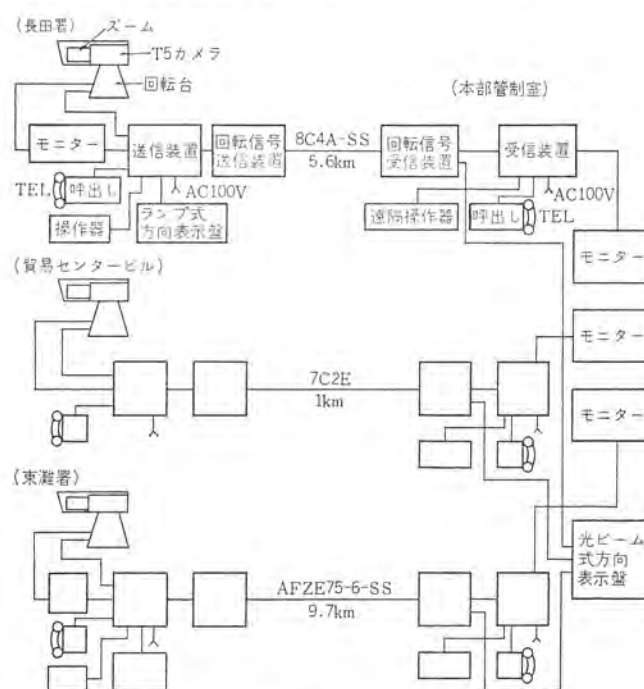


図 6.8 ITV 系統図 ITV system.



図 6.9 テレビカメラ・装置外観
Exterior view of TV camera and equipment.

本部～東灘署

AFZE 75-6-SS

9.7 km

7. む す び

社会活動において情報が多様化し、その一環として ITV による集中監視など画像情報の伝送に対する需要もふえてきた。

このうち、送～受間距離が数 km に及ぶ場合があり、情報量が多く 4 MHz 以上の周波数帯域を要するビデオ信号の伝送には、無線では電波法上の制約があり、現状は同軸ケーブルや電話通信用ペアケーブルによる有線方式が採用されている。

有線伝送方式にもビデオ直送式と FM 変調方式があり、伝送ケーブルが同軸かペアケーブルかにより使い分けている。

またビデオ伝送に伴う音声伝送や、付属装置の制御信号伝送などもあり、これも直送式と FM 式によって伝送方法が異なる。

本文では、これ等ビデオ伝送に伴う他信号伝送をも含めて ITV-長距離伝送装置～システムとしてとらえ、それぞれの特長を述べた。実際の ITV システムでは、カメラとモニターの設置位置、台数や付属装置の種類により構成が千差万別であり、そのため送信・受信装置の端末機や中継器の内容も異なってくるが、両方式の代表的実施例を紹介し、今後システムを設計する際の参考に供した。

参 考 文 献

- (1) ボーデ：回路網と帰還の理論，岩波書店（昭 30）
- (2) Bode：Bell System Technical Journal 4（1938）
- (3) 松田ほか：研究実用化報告，14，No. 1（昭 40）
- (4) 小島ほか：研究実用化報告，20，No. 7（昭 46）

800MHz帯狭帯域ITV無線伝送装置

関川一彦*・中村忠*

800 MHz Radio Equipment for Industrial Television (ITV)

Communication Equipment Works

Kazuhiko SEKIKAWA・Tadashi NAKAMURA

The ITV radio transmission by UHF band waves is confronted with difficulties in the allocation of the radio wave because of its broad-band width. But it has been found that there are many fields where video signals are transmitted with practically no trouble by using narrow band waves of less than 1 MHz. This article describes radio equipment transmitting simultaneously the video and voice and also a method and composition of talk-back devices. It also explains the practicable limit of the equipment, showing the field in which it can be made use of.

1. ま え が き

ITVの無線伝送は、その広帯域性による電波割当上の問題からUHF帯では実用化が困難とされてきたが、近年ますます増大する画像伝送の需要に対処するため、関係官庁およびメーカー共同での実験、検討の結果ITV信号を狭帯域化しても十分実用性のある利用分野があることが明らかとなり、昭和43年度に800MHz帯で帯域1MHz以下のITV伝送が許可されることになった。当社においては、直ちに映像伝送装置を実用化し各種需要に応じてきたが、今回さらに音声および遠方制御信号の伝送も行なうべく、映像音声同時伝送装置とトークバック装置を開発し、ITV伝送装置として完成したのでここにその概要を紹介する。

800MHz帯の開放後約3年を経過したが、この間に各分野において運用上の検討が行なわれ、実用限界、用途等が明らかになってきた。今後その長所、短所を有効に生かして応用範囲が広がるものと考えられる。

2. 電波割当と免許方針

現在規定されている免許方針および電波割当内容を列挙すると次のとおりである。

- (1) ITV伝送は事物の動作を伝送することを目的とする。
- (2) フレーム周波数は一般の事物の動きの自然性をそこなわないよう10~15Hz以上とする。
- (3) 解像度は、現行テレビの受像状況から判断して、250本程度の解像度をもつことが望ましい。
- (4) 所要帯域幅は少なくとも200kHz以上、約600kHz以上あれば十分である。
- (5) 周波数帯は、890~920MHzの30MHzでITV局用としては、図2.1に示すように1MHz間隔で26波、残り4MHzは100kHz間隔で監視制御、トークバック回線に使用する。ITV局用の1MHzは両端に50kHzのガードバンドをとって伝送帯域としては900kHzとなる。
- (6) 映像回線
映像は所要帯域を少なくするため振幅変調とし、音声は映像との重畳を考慮し周波数変調とする。したがって電波形式としてはA_{9C}、A_{5C}F₉、A_{5C}F₃、A_{5C}F₂などが考えられる。周波数許容偏差50×10⁻⁶以下。

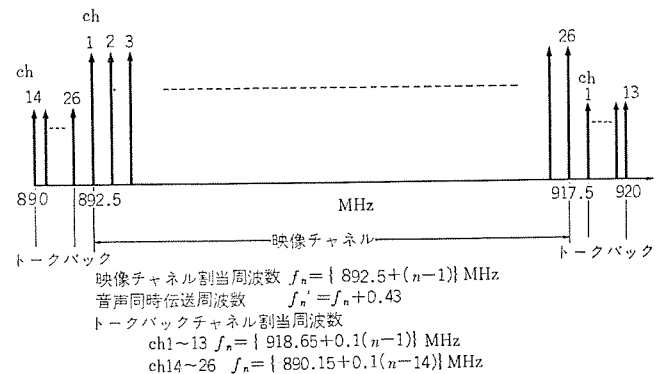


図 2.1 800 MHz 帯 ITV 無線周波数割当
Frequency allocation of 800 MHz narrow band (ITV).

(7) トークバック回線

打合せ回線が必要な場合受像側から送像側への音声回線(トークバック回線)を設けることができる。

- (a) 通話路数 2回線(電話 1, 制御量 25)
- (b) 電波形式 F₂, F₃, F₉
- (c) 周波数許容偏差 20×10⁻⁶以下

3. 狭帯域ITV方式

標準白黒テレビの映像信号が、4MHz以上の帯域をもっているのに対し狭帯域ITV信号の帯域は600~700kHzにすぎない。したがってこの帯域内で最も品質の良い画像を伝送するためには、ITV信号自体もこれに適した定格をもつものでなければならない。映像信号の最高周波数と解像度の関係を示すと、次のとおりである。まず最高周波数は、

$$f_{\max} = \frac{1}{2} k n f_H \frac{W}{H} \cdot \frac{1-\beta}{1-\alpha} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

ここに n : 走査線数

f_H : 水平走査周波数

W : 水平走査幅 (=4)

H : 垂直走査幅 (=3)

α : 水平帰線期間率 (=0.1)

β : 垂直帰線期間率 (=0.05)

k : ケルファクタ (≈ 0.7)

また垂直走査周波数 f_V とフィールド周波数(毎秒像数) f_v 、インタレース比 $N:1$ の間には次の関係がある。

$$f_v = \frac{f_v}{N} = \frac{f_H}{n} \dots\dots\dots (3.2)$$

ここで垂直解像力を γ_v 、水平解像力を γ_h とすると

$$\gamma_v = kn(1-\beta) \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\gamma_h = \left(\frac{H}{W}\right) \frac{2f_{\max}(1-\alpha)}{nf_v} \dots\dots\dots (3.4)$$

ところで画質としては、水平および垂直の実効解像度が等しい場合よりも、さらに走査線数の多い画像のほうがよい結果が出るのが実験的に明らかにされているので、定格を定める場合、最高周波数を帯域の1.5倍から2倍近くを選ぶ。現在採用している方式は次のとおりである。

走査線数 247本 ($f_H=7.41$ kHz) または
 275本 ($f_H=8.25$ kHz)
 f_v 50 Hz または 60 Hz
 インタース比 2 : 1
 アスペクト比 4 : 3

4. 無線伝送方式

4.1 映像伝送方式

映像信号の伝送には一般に残留側波帯振幅変調方式 (VSB 方式) が採用される。これは振幅変調を行なうと、その両側波帯は同じ情報をもっているので、無線帯域の節約のため片側の側波帯のみ伝送しようとするものであるが、ITV 信号は直流分まで含んでいるから完全な単側波帯にはできず、一方の側波帯の一部 (低周波部) を残留させて伝送するものである。TV 放送等の標準方式では、送信側の発射電波の形態は図 4.1 に示すとおりで、これをそのまま検波すると周波数特性に段がつくので、受信側の帯域特性を図のようにして平たん (担) にしている。このような特性は受信側でなくても、送信側あるいは送受対向で持たせればよい。

ところで狭帯域方式では、帯域内で残留側波帯の幅を大きくとればとるほど肝心の映像信号の帯域が狭くなるので、限られた帯域を有効に利用するには、送信側で、標準方式の受信部と同じ特性を持たせ、受信側の帯域は広げておくほうがよい。こうすれば送信出力においても、搬送波の振幅が $1/2$ になるのでそれだけ有利になり、受信側の帯域が少し広がっても S/N は劣化しない。

狭帯域方式 VSB 特性としてはこの他、画像品位は映像信号帯域が 500 kHz 前後から急激に悪化すること、音声と同時に伝送するためには帯域が 50 kHz 必要なこと、等より図 4.2 を採用した。変調波形は同期信号がピーク側にくる負変調方式である。

変調は 800 MHz 帯で一挙に行なうのは、フィルタの構成上むりなので、低電力中間周波数変調を行ない、周波数変換を行なって送信周波数とする。中間周波数は、変調段、5.875 MHz、周波数変換段、47 MHz (5.875 MHz の 8 倍) である。受信側はシングルスーパー方式とし、中間周波数は TV 放送の UHF オールチャネル 受信機に推奨されている 58.75 MHz を採用した。

AGC は受信入力 -40 dBm から -80 dBm までをカバーできるようにキード方式と平均値方式を併用している。

4.2 音声伝送方式

音声伝送は周波数変調方式により行なう。音声回線の品質としては、映像回線の品質が実用限界になっても十分な通話ができる必要がある。実験によれば映像回線は受信入力 -70 dBm になると雑音のため実用限界になるので、この点での音声の S/N が 40 dB 以上確

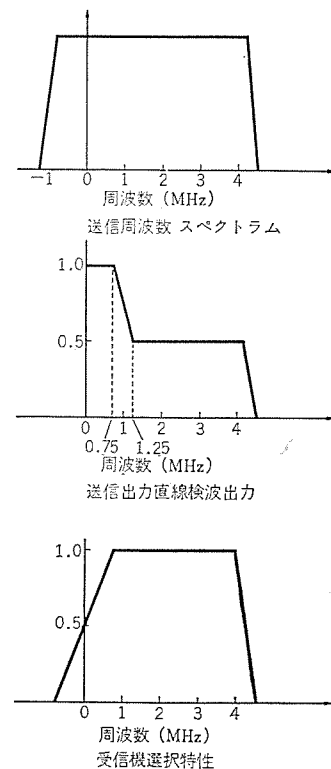


図 4.1 標準方式周波数 スペクトラム
Standard type frequency spectrum.

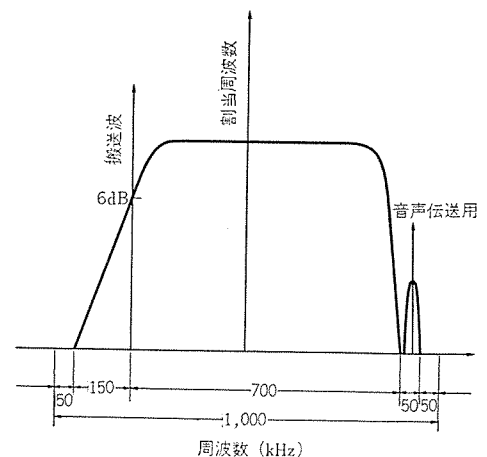


図 4.2 狭帯域方式周波数 スペクトラム
Narrow band type frequency spectrum.

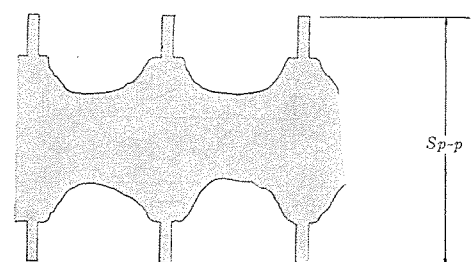


図 4.3 負変調波形
Negative modulated waveform.

保できるものとして送信出力、変調度を決定した。

映像と同時に伝送する場合は、FM された音声信号を VSB フィルタの後で映像信号と合成し、周波数変換して送信周波数とする。受信側ではインタキャリア方式とし、映像信号が復調された後、音声中間周波を抜き出して復調する。音声送信出力と映像出力の比が小さいと画像にビート障害が現われるので、 S/N が許すかぎり音声出力

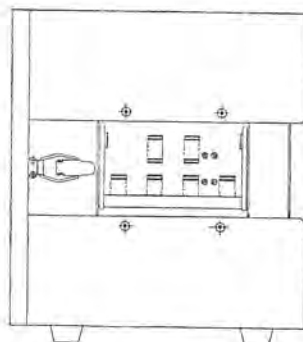
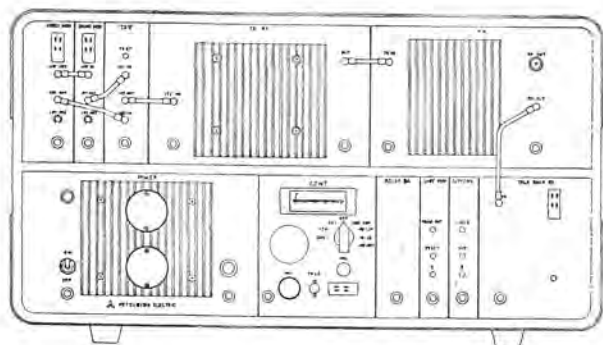
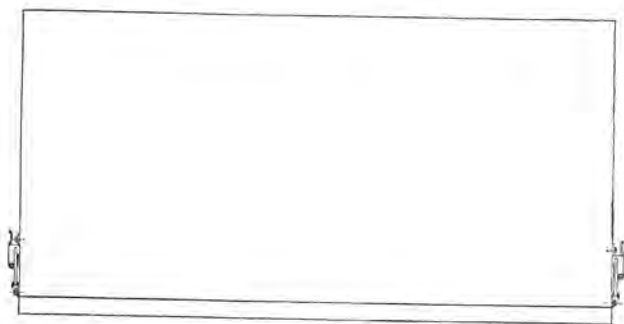


図 4.6 映像送信側装置外観図 Exterior view of video transmitting side.

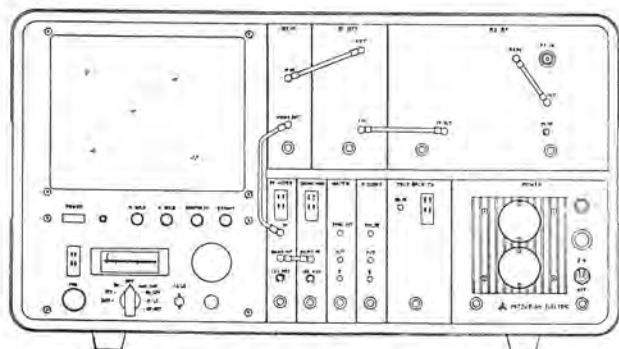
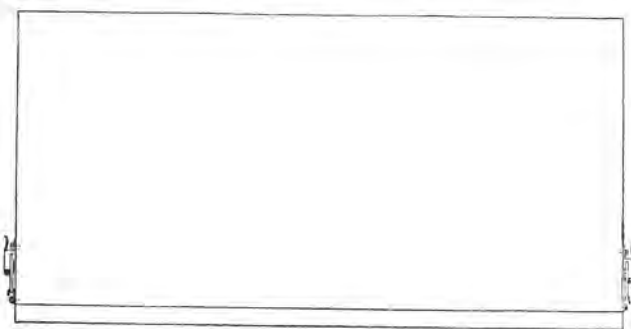


図 4.7 映像受信側装置外観図 Exterior view of video receiving side.

像受信装置とトーフバック送信装置をそれぞれ一体化している。

5. 回線品質と用途

5.1 テレビの S/N

テレビ電波は一般の無線通信と異なり、その信号が映像と同期信号を含んだ複合電波であるため、 S/N 値を求める場合信号分 (S) の決め方によりいろいろな値が出てくる。 S の表示法は大別して電界強度を対象とするキャリア方式と、復調映像信号を対象とするビデオ

方式とがあり、無線機の回線設計にはキャリア方式を用いる。キャリア方式の S/N 値と実際の画質との対照は多数の人による評価を分析して決めることができ、標準方式では詳細な実験が行なわれているが、狭帯域についてはまだ一般に認められたものがない。

次に経験的に割り出した値と、標準方式の場合との比較表を示す。表からわかるとおり、狭帯域方式では標準方式より S/N で約 10 dB きびしくなっているが、これは雑音に対する評価が異なるためで、標準方式では帯域が 4 MHz あっても高周波の雑音ほど画質に対する影響が小さくなり、結局、図 5.1 のような雑音評価特性が得られるからである。この雑音評価を行なった場合と平坦な場合とでは、10~12 dB の差がある。したがってキャリア方式で S/N が 40 dB としても、実際の画質としてはさらに 10 dB 程度改善されたものとなる。狭帯域方式ではこのような改善は期待できないので、実用性のある画質とするには少なくとも S/N 40 dB、良好な受信を行なうには S/N 50~55 dB 以上必要ということになる。

5.2 実用到達距離と回線設計

回線構成にあたっては、 S/N 50 dB 以上を確保しなければならない。受信機の映像帯域を 700 kHz とすると受信機固有雑音は、

$$N = (KTBF) \text{ dBm} = -144 + 10 \log 700 + 8 = -108 \text{ dBm}$$

したがって、 S/N 50 dB となる受信入力値は -58 dBm となる。

ここで回線構成を次のように仮定して到達距離を出すと、

| | |
|-------|---------------------------|
| 空中線 | 2 段 8 素子八木アンテナ (利得 15 dB) |
| フィーダ | 送受合計 25 m (損失 5 dB) |
| 分波器損失 | 3 dB |
| 送信出力 | 5 W |

これより約 18 km となる。実際には外来雑音等の影響や回折損失

表 5.1 標準方式と狭帯域方式の画像品質と S/N
Picture quality rate and S/N of standard type and narrow band type.

| 品 位 | 画 面 評 価 (雑音妨害) | 標準方式(90% 評価) | | 狭帯域方式 (経験値) |
|-----|-------------------|--------------|------|----------------|
| | | S/N 分布 | 中央 値 | |
| 5 | ノイズが少しもなく 優秀 | dB dB | dB | dB |
| 5~4 | 検知限 かすかに認められる | 49~57 | 53 | 65 |
| 4 | ノイズが少なく 良好 | 45~53 | 49 | 60 |
| 4~3 | 許容限 ノイズはあるが良好 | 41~49 | 45 | 55 |
| 3 | ノイズはあるが 実用になる | 37~45 | 41 | 50 |
| 3~2 | がまん限 ノイズが多くなるとか実用 | 33~41 | 37 | 45 |
| 2 | ノイズがひどく 実用にならぬ | 29~37 | 33 | 40 |
| | | 25~33 | 29 | 35 |

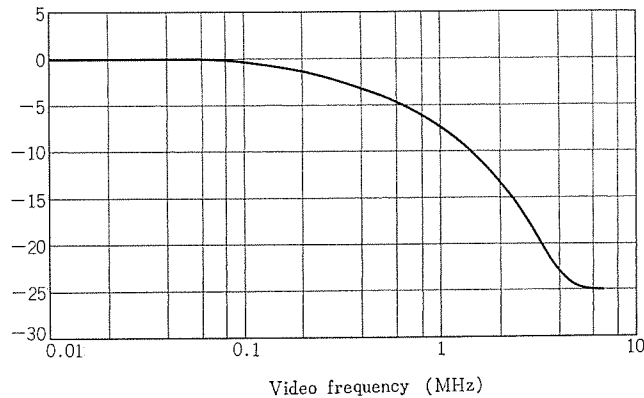


図 5.1 標準方式雑音評価特性
Noise weighting function for broadcast television.

表 5.2 回線設計
Path loss calculation.

| 距 離 空 中 線 給 電 線 長 (10 D-2 V) | 18 km 2 段 8 素子八木 25 m |
|--|-----------------------------|
| 自由空間損失 (L_0) | -117 (dB) |
| 給電線損失 (L_f) | -5 (dB) |
| 分波器損失 (L_D) | -3 (dB) |
| 空中線利得 (G_A) | +30 (dB) |
| 全 区 間 損 失 (L_T) ($L_T = L_0 + L_f + L_D - G_A$) | -95 (dB) |
| 送 信 出 力 (P_T) | +37 (dBm) |
| 受 信 入 力 (P_r) ($P_r = P_T + L_T$) | -58 (dBm) |
| 雑 音 レ ベ ル (N) | -108 (dBm) |
| S/N ($S/N = P_r - N$) | 50 (dB) |

があると考えられるので、これに 10 dB のマージンをみると、実用到達距離は約 5 km となる。以上は装置を可搬形とし、どこにでも簡単に移動して回線を構成するものと考えたので、フィーダやアンテナの選択に制限をつけたのであるが、固定局とするならさらに高利得の

アンテナや低損失のフィーダを使用することによって、実用到達距離は 5~10 倍のばすことができる。

5.3 用 途

狭帯域 ITV は映像信号帯域が 600~700 kHz なので当然標準方式に比べ解像度はかなり劣化する。(標準方式が約 350 本程度に対し、狭帯域方式では 150~200 本)、しかし ITV 伝送では、TV 放送のように、細かく多量の情報を送る必要はなく、目的とする情報量は限られているので、解像度が悪くても実用上の支障はあまり生じない。

ケーブル伝送等と異なり、伝ば(播)条件さえよければどこにでもごく短時間で画像伝送回線を構成できることは、この短所を補っても余りあるものといえる。さらに音声回線が設けられることや、遠方制御により受像側でモニターを見ながらカメラ操作ができること、回折損失が大きい区間では中継を行なうこと等を考慮すれば、狭帯域方式の用途はさらに広がるものと考えられる。

次に現在までに実績のある使用方法、今後適用できそうな範囲をまとめる。

- (1) 列車運行監視
- (2) 道路監視 (高速道路, 交差点等)
- (3) 河川監視 (水位, 流量等)
- (4) 群衆監視 (駅, 道路上等)
- (5) 災害現場, 工事現場監視
- (6) テレビ電話

使用形態としては、ある区間に固定して長期間の監視を行なう場合と、移動用として必要な区間に適宜回線を構成する場合とがある。後者の場合、都市内等では回折損失が大きくなりすぎ、実用的な S/N を得られないこともあるので、中継所をおき、受像側と中継所は固定局にし、それから先を移動用にすることもできる。

6. む す び

今回開発した狭帯域方式映像、音声伝送装置の概略を紹介した。狭帯域画像無線伝送は、いまだ実用化が始まったばかりで本格的な採用はこれからであり、今後は応用面についての幅広い検討に努力が払われるべきである。拙文が ITV の無線伝送に興味を持つ方たちにとり、なんらかのお役に立てば幸甚であり、大方のご批判、ご叱正を賜りたい。

参 考 文 献

- (1) 木下: 800 MHz 帯の狭帯域 ITV について, 電波時報 (昭 44 2 月)
- (2) 草部: 産業用テレビジョンの無線伝送, テレビジョン 2, 第 10 号
- (3) 沼田ほか: 三菱電機技報, 43, No. 8 (昭 44)
- (4) テレビジョン工学ハンドブック: オーム社
- (5) 放送工学データブック: 日本放送出版協会

準ミリ波 全固体化画像伝送装置

立川清兵衛*・山野辺国雄**・渡辺 紀明**・田中 敏郎**
藤 林 肇 次***

20GHz Band All Solid State Radio Repeater for ITV

Kamakura Works Seibei TACHIKAWA・Kunio YAMANOE
Noriaki WATANABE・Toshiro TANAKA
Central Research Laboratory Keiji FUJIBAYASHI

With the world development the application of ITV has been gradually widened, but demand for much more widening has grown intense. With an idea that an economic method to meet the requirement is to have radio transmission of ITV, millimeter wave under development is taken up to work out 20 GHz band all solid state radio repeaters. The features of the equipment are that, 20 GHz FM wave oscillated direct with a Gunn oscillator is used to work on a injection locking IMPATT oscillator, and high output power (200 mW) is obtained, and in addition, a low noise mixer ($NF \leq 8$ dB) with a shottky barrier diode is used to make the microwave semiconductor put into practice.

For portability and easy installation, a parabolic antenna and a radio set are built into one body and a unit-changeable method is taken.

1. ま え が き

社会生活の中で情報の量、種類が著しく増加していく今日、画像情報の必要性はますます大きくなってきた。テレビジョン放送・ファクシミリ・映像ディスプレイ等は伝送媒体としてすでに定着し、テレビ電話・CATVも実現の段階となった。画像情報の需要は、たとえば銀行における書類のチェック、港湾の船舶監視、消防の望楼無人化に伴う集中監視等、企業体内の合理化や省力化を進めるには不可欠となり、各分野で設備の計画が進められている。中でも ITV やテレビ電話は年々使途を拡大し、伝送距離も広がる一方である。伝達範囲が拡大するにしたがって、情報伝送を有線で行なうか、無線で行なうか常に論議的となるところだが、最近の都市構造の変化の速度・複雑さからみて、経済的には無線方式のほうが有利であろうと考えられる。無線伝送を考えた場合、VHF, UHF, cm 波帯ではもはや広帯域伝送路を新規に求めることは困難であり、当然、周波数はより高いほうへ向かわざるを得ない。すなわち準ミリ波からミリ波領域、あるいは光領域が考えられ、装置は小形軽量・経済的で保守の容易なものが要求されるであろう。

最近になって半導体技術の発達には、これらの諸要求に合致する半導体発振素子を実現した。GaAs を使ったガンダイオードや、シリコンを使ったインパットダイオードである。当社ではこれら直接発振素子の実用性に着目し、早くから高安定発振器や直接変調方式の開発実用化を計ってきたが、このたび応用装置として準ミリ波画像伝送装置を完成した。この装置は複数個の定点を結ぶ固定回線に使用できるとともに、FPU のような半固定回線にも使用でき、多重端局により画像と音声を同時伝送できる FM 方式の全固体化無線伝送装置である。

2. 回線設計と目標伝送規格

画像と視覚の関連については学会等の論議をみてもまだ確固たるものはない。途中に伝送系を含む場合には、端末器や伝送路に割当てられる規格、および評価法は多分に流動的である。この装置の方

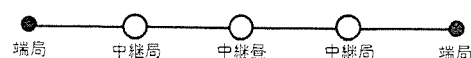


図 2.1 擬似回線 Reference circuit.

表 2.1 画像伝送規格
Specifications of picture transmission.

| 項 目 | | 規 格 |
|-------------------------|--------------|---|
| 信号受渡しレベル | 映 像 | 0.7 V P-P |
| | 同 期 | 0.3 V P-P |
| 信 号 受 渡 し イ ン ピ ー ダ ン ス | | 75 Ω 不平衡 |
| 信号対雑音比 | ランダム雑音 | 評価雑音 54 dB (P-P/rms) |
| | 三角雑音の場合 | 40.5 dB (P-P/rms) |
| | 平坦雑音の場合 | 44.9 dB (P-P/rms) |
| | 周 期 性 雑 音 | 低次高調波を含むハム 30 dB (P-P/P-P) |
| | | 1 kHz~1 MHz の単一周波 50 dB (P-P/P-P) |
| | | 1 MHz~4 MHz は一律低下 4 MHz で 30 dB 以上、ただし 3.58 MHz では 50 dB 以上 |
| 振 幅 周 波 数 特 性 | | 50 Hz~4 MHz で ± 1.0 dB 以下 |
| 位 相 周 波 数 特 性 | | 15.75 kHz に対する 4 MHz の偏差 30 ns 以下 |
| 非直線ひずみ | 微 分 利 得 (DG) | 10% |
| | 微 分 位 相 (DP) | 5° |

式設計に当たっては、実用的であろうという点に主眼を置き、図 2.1 に示す擬似回線と表 2.1 に示す伝送規格を定め、ビデオ 4 区間に等配分した。ただしこの場合の条件は

- (1) 区間距離 5 km 4 スパン 全長 20 km
- (2) 中継はすべてビデオ検波中継である

瞬断の規格は上記擬似回線において S/N が 30 dB 以下になる時間率が 0.1% (夏期 3 か月間の 133 分) 以下とした。 S/N が 30 dB 以上あれば普通の ITV 画像としては許容される値であり、瞬断時間率も専用回線に用いると考えれば十分であろうと思われるのでこの値を選んだ。20 GHz 帯で生ずる瞬断の原因は、降雨の減衰によるものがおもで、回線設計に当たっては降雨時における伝搬特性を十分に考慮する必要がある。降雪・霧・ガス等による減衰は降雨によるものと比べて小さいので無視しうる。

表 2.2 規格の配分
Distributed standards.

| | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| (1) 熱雑音対信号比 | |
| 総合 -54 dB | 1 ビデオ区間 -60 dB |
| | 送受信装置 -61 dB (三角雑音 -47 dB) |
| | 変復調装置 -67 dB (平たん雑音 -57.9 dB) |
| (注) 値は評価値である。 | |
| (2) 振幅-周波数特性 | |
| 4 MHz において ±1 dB | 1 ビデオ区間 ±0.25 dB |
| | 送受信装置 ±0.10 dB |
| | 変復調装置 ±0.10 dB |
| | ビデオ増幅器 ±0.05 dB |
| (3) 位相-周波数特性 | |
| 4 MHz の 15.75 kHz に対する偏差 30 ns | 1 ビデオ区間 7.5 ns |
| | 送受信装置 3.0 ns |
| | 変復調装置 3.0 ns |
| | ビデオ増幅器 1.5 ns |
| (4) 微分利得 | |
| 総合 10% | 1 ビデオ区間 2.5% |
| | 送受信装置 1.5% |
| | 変復調装置 1.0% |
| (5) 微分位相 | |
| 総合 5° | 1 ビデオ区間 1.25° |
| | 送受信装置 0.50° |
| | 変復調装置 0.50° |
| | ビデオ増幅器 0.25° |

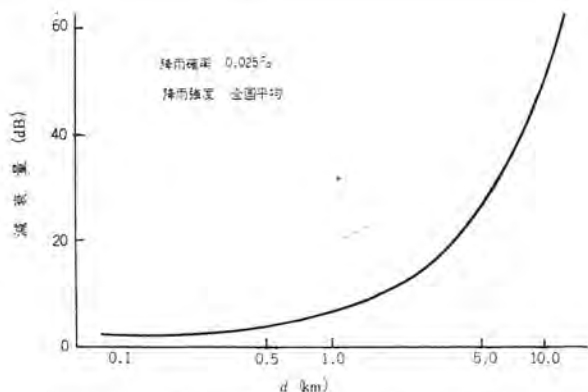


図 2.2 20 GHz 帯の減衰量と区間距離
Attenuation vs. span length in 20 GHz band.

本装置のビデオ4区間に対する規格の配分を表 2.2 に示す。この規格値から熱雑音に対する回線諸元を検討してみる。周波数偏移 8 MHz p-p, 受信機帯域幅 20 MHz, 受信機雑音指数 10 dB とする。この条件から S/N 47 dB (無評価) をうるには -57 dBm 以上の受信電力があればよい。一方最悪時の S/N 30 dB をうるに必要な最低受信電力は -74 dBm となる。このときの瞬断時間率は1区間当たり 0.025 % と規定しているので、伝搬で生ずる降雨減衰量のマージンを見込んだものが必要となる。降雨減衰量は次式で与えられる⁽¹⁾。

$$Z_P = Z_{0P} \cdot d \cdot K_P \cdot C_P$$

ここに

Z_P : 1 区間の減衰量の P 値

Z_{0P} : 一様降雨の場合の 1 km 当たりの減衰量の P 値

d : 区間距離 (km)

K_P : 瞬断的な降雨強度が一様でないための補正係数

C_P : 理論値に対する補正係数

この式から 0.025 % の降雨確率のときの区間距離と減衰量の関係が図 2.2 のように求められる。ここで降雨強度は全国平均の 0.025 % 値とした。図より 5 km における降雨減衰量は 28 dB となるから、

受信電力は -46 dBm 以上、AGC 範囲は 28 dB 以上が必要になる。送受信アンテナ利得の算定は、送信電力 23 dBm を得ており、5 km の自由空間損失 132 dB であるから、送受信機に同一アンテナを使うと、所要利得は 31.5 dB となる。300 mm パラボラアンテナを使うと効率 50 % で 32 dB をうるので 1 dB の余裕をとれる。

3. 装置の詳細

3.1 送信機

送信機の外観および内部構造をそれぞれ図 3.1, 3.2 に示す。各部は機能別にユニット化され、プラグイン方式を採用して、保守を容易にしている。きょう(筐)体は気密にして、日射による温度上昇を考慮して二重箱構造とした。アンテナと装置を一体化した構造であるため、可搬性に富み、据付けが簡単で ITV 三脚に取付けられるので FPU 装置としても使用できる。

送信機のブロックダイアグラムを図 3.3 に、性能および諸元を表 3.1 に示す。入力信号は画像信号あるいは音声を加した画像音声複合信号である。入力信号はドライバ回路でバラクタバイアス電圧および AFC 電圧と重畳されて、変調形発振器に加えられるが、ドライバ回路は信号源インピーダンス (75 Ω) と変調に用いるバラクタダイオードの高インピーダンスとの整合用能動回路と変調調整回路から成っている。

変調はガンダイオード発振器にバラクタダイオード装荷の空洞を疎結合した変調形発振器(電子同調発振器)による直接 FM 方式を採用した。FM 変調波出力はインパットダイオードを用いた注入同期増幅器によつ



図 3.1 送信機外観
Exterior view of transmitter.



図 3.2 送信機内部
Interior view of transmitter.

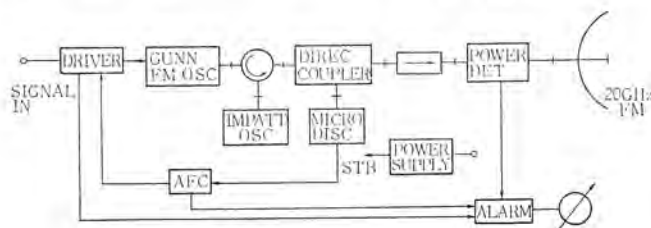


図 3.3 送信機のブロックダイアグラム
Block diagram of transmitter.

表 3.1 送信機の性能諸元
Principal items of performance of transmitter.

| 項 目 | 性 能 諸 元 | 項 目 | 性 能 諸 元 |
|---------|------------------|---------|---------------------------|
| 送信周波数 | 17.7~21.0 GHz | 使用導波管 | WRJ-180 |
| 送信出力 | 200 mW | アンテナ | 300 mm リヤフィード パラボラアンテナ |
| 変調方式 | FM | アンテナ利得 | 32 dB |
| 周波数安定度 | $\pm 10^{-4}$ 以下 | 消費電力 | 30 W 以下 |
| 最大周波数偏移 | 8 MHz p-p | 重 量 | 20 kg |
| 信号入力レベル | 1 V p-p | きょう(筐)体 | 気密二重箱構造 |
| 映像帯域 | 4.5 MHz | | |

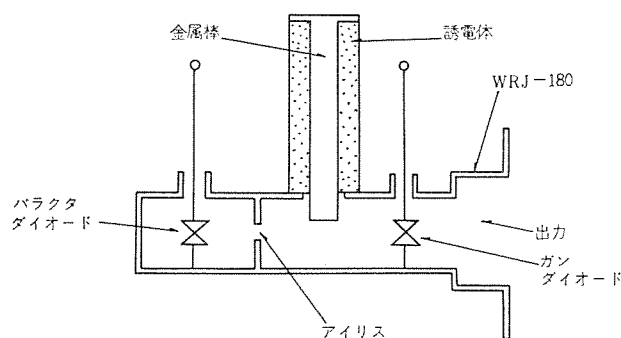


図 3.4 ガン FM 発振器の構造
Structure of Gune FM oscillator.

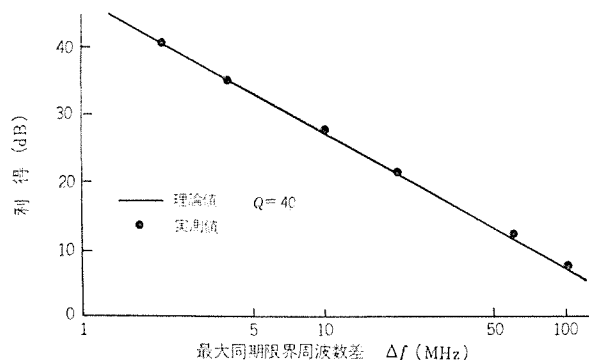


図 3.5 同期増幅器の同期特性
Locking performance of locking amplifier.

て増幅され、アンテナを介して送り出される。

AFC 方式は基準空洞と ショートスロットハイブリッド回路を組み合わせたマイクロ波周波数弁別回路を用いた外部帰還方式で、基準空洞の材料にインバを用い、周波数安定度を高めた。

また、入力信号、AFC 残留誤差および送信電力のいずれか一つでも異常になれば自動的にランプを点灯し、外部に警報信号を出す警報回路を付加して、機能監視の便を計った。

3.1.1 直接変調形発振器

この発振器は図 3.4 に示すようにガンダイオード発振器にバラクタダイオード装荷の空洞を疎結合した構造で、逆バイアス電圧によってバラクタダイオードの障壁容量が変化することを利用して、入力信号により、ガンダイオード発振器の発振周波数を変化させて直接 FM 波をうるものである。

発振器の性能としては、(a)発振能率が高いこと、(b)広帯域にわたって変調の直線性が良いこと、(c)周囲温度変化に対して安定で、かつ、規定の環境条件で常に AFC のロックインレンジ内で発振すること等が必要であるため、ダイオードマウントに薄形の導波管を用いて特性インピーダンスをガンダイオードの動作インピーダンスに近づけることによって発振能率を上げ、かつ、ガンダイオード、バラクタダイオードおよび結合部三者間の線路長とバラクタダイオード装荷空洞の寸法を適当にすることによって、直線性のよい、広帯域な変調特性を得ている。

ガンダイオードは約 $3 \text{ MHz}/^\circ\text{C}$ の周波数温度依存度をもつので、発振器自体で、ある程度の温度補償を施す必要がある。そこで、誘電体と金属棒を組合せた簡易な温度補償を採用した⁽²⁾。

発振器単体の特性としては、AFC をかけない自由な状態で、当社製 MV 8253 D を用い、出力 30 mW 以上、変調感度 10 MHz/V 、安定度 $0.3 \text{ MHz}/^\circ\text{C}$ 以下 ($-10 \sim +50^\circ\text{C}$) を得ている。

3.1.2 注入同期増幅器

ガンダイオード発振器出力だけでは実用的な回線を構成できないので、

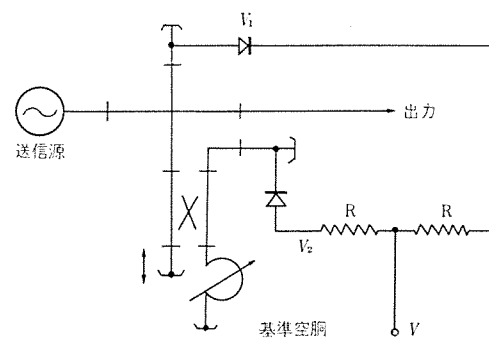


図 3.6 マイクロ波周波数弁別器
Microwave discriminator.

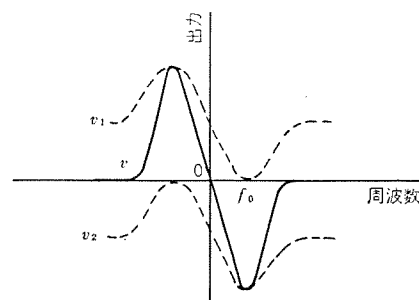


図 3.7 弁別器特性
Performance of microwave discriminator.

出力増加を計るために、インパットダイオードが容易に注入源の周波数に同期発振することを利用して、サーキュレータで入出力分離した 2 端子同期増幅器を開発した⁽³⁾。この種の増幅器では注入電力と被注入電力が共に大きい場合には、両者の周波数をわずかにずらせる、いわゆるシフト注入法が良好な動作を生むので、このシフト注入法をとった。特性の一例を図 3.5 に示す。

3.1.3 AFC

ガンダイオード発振器の周波数安定化の方法としては、一般に高 Q 空洞を直接結合させた自己同期法が用いられているが、この装置では、直線性がきびしく要求される FM 方式であるため、外部帰還による AFC を採用した。

共振空洞は共振周波数の前後で急しゅんな位相変化を通過波に与えるので、図 3.6 に示すようにハイブリッド回路と組み合わせた回路構成にすれば、可動短絡端で位相を調整することにより、ハイブリッド回路を通った二つの検波出力とそれらの合成出力が図 3.7 に示すようになって、周波数弁別器として動作する。この弁別器出力を増幅し、変調形発振器のバラクタダイオードのバイアスに加えることによって AFC ループを構成した。AFC は引込み範囲 $\pm 65 \text{ MHz}$ 、安定度 3 MHz ($-10 \sim +50^\circ\text{C}$) の特性である。

3.1.4 アンテナ

装置との一体化構造を容易にするため、リアフィード形式を採用し、パラボラ反射鏡前面にラドームをつけて雨雪害を防ぐようにした。性能諸元は下記のとおりである。

| | |
|-------|----------------|
| 開口直径 | 300 mm |
| 利得 | 32 dB (18 GHz) |
| 電力半値幅 | 4 度 |
| 比帯域 | 8 % |
| VSWR | 1.15 以下 |

3.2 受信機

受信機の外観構造は送信機と同じで、内部構造は図 3.8 に示す

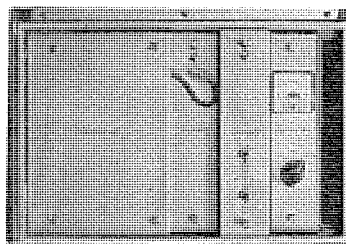


図 3.8 受信機内部
Interior view of receiver.

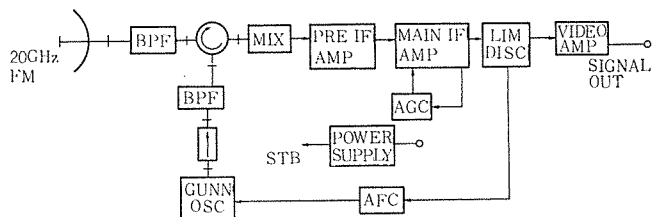


図 3.9 受信機のブロックダイアグラム
Block diagram of receiver.

表 3.2 受信機の性能諸元
Principal items of performance of receiver.

| 項 目 | 性 能 諸 元 | 項 目 | 性 能 諸 元 |
|-----------|-------------------------------|----------|---------------------------|
| 受 信 周 波 数 | 17.7~21.0 GHz | 信号出力レベル | 1 V p-p |
| 局 発 周 波 数 | 受信周波数+140 MHz | 使用 導 波 管 | WRJ-180 |
| ミ ッ ク サ | シングルミキサ GaAs ショットキバリアダイオード | アン テ ナ | 300 mm リアフィード パラボラアンテナ |
| N | 10 dB 以下 | アンテナ利得 | 32 dB |
| F | 20 MHz | 消 費 電 力 | 30 W 以下 |
| 帯 域 幅 | 40 dB | 重 量 | 20 kg |
| A G C 範 囲 | | き ょ う 体 | 気密二重箱構造 |

ように、プラグイン方式である。受信機のブロックダイアグラムを図 3.9 に、性能諸元を表 3.2 に示す。受信アンテナの出力は受信 BPF およびサーキュレータを通じて受信ミキサに入る。局部発振器出力は高 Q 空洞を用いた BPF とサーキュレータを通り、受信 BPF のリアクタンス短絡によって反射され、受信ミキサに入る。

前置増幅器および主中間周波増幅器は、量産時の調整工程の短縮を考慮して広帯域増幅器とし、受信機帯域幅は IFBPF で決定する方式を採用した。中間周波数は 140 MHz で、中間周波出力はリミッタで約 20 dB の AM 抑圧を受けたあと、周波数弁別器で復調される。

受信 AFC は、周波数弁別器によって中間周波数の偏移量を検出して、局部発振器に帰還する追従式 AFC を採用した。

3.2.1 局部発振器

局部発振器は送信機に用いる変調形ガンダイオード発振器と同じものであるが、変調形のため、若干、発振時の Q が低い。Q が低いことに起因する雑音は、そのまま、受信機の雑音指数を劣化させるので、高 Q 空洞を狭帯域 BPF として用いることにより、局部発振器の雑音を除去し、受信機雑音指数の劣化を防いだ⁽⁴⁾。

3.2.2 ミキサ回路

シングルミキサを採用して、構成の簡略化と小形化を計り、ミキサダイオードに実用段階に入った当社製 GaAs ショットキバリアダイオードを用いると同時に、受信 BPF と局部発振器に設けた BPF を利用して、イメージ周波数成分を最適位相でミキサにもどし、変換損失を減らして、雑音指数の改善を計った⁽⁵⁾。性能は次のとおりである。

中間周波数 140 MHz

局発入力 5 mW

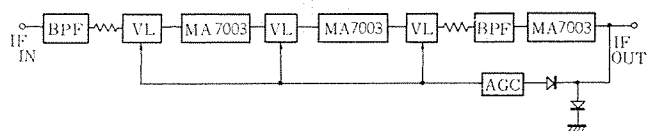


図 3.10 主中間周波増幅器構成
Block diagram of main IF amplifier.

総合雑音指数 9.5 dB (IF 2 dB)

振幅偏差 ± 0.2 dB (20 MHz 帯域において)

3.2.3 主中間周波増幅器

回路構成を図 3.10 に示す。広帯域増幅用ハイブリッド IC, MA7003 (当社製) を 3 段使用し、ダイオードバリオロスによる AGC 機能をもたせた。帯域幅は二つの IFBPF で決定している。性能は次のとおりである。

帯域幅 20 MHz

最大利得 60 dB

AGC 動作範囲 40 dB

4. 総 合 特 性

回線諸元および装置の特性に基づいてレベルダイアグラムを作成し、出力 S/N を検討した。降雨減衰時にも 30 dB 以上の S/N を確保することを確かめ、送受信機の総合試験を行なった。

総合特性の測定に際しては、送受信機の間に減衰器をそう入して導波管で直結し、擬似回線を作って行なった。

総合性能

(1) 直線ひずみ

パルス伝送ひずみ 図 4.1

ラインスロープ 図 4.2

フレームスロープ 図 4.3

(2) 非直線ひずみ

DG 4%

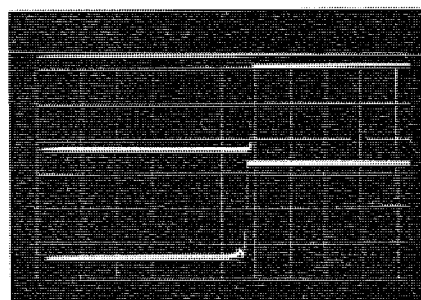
DP 1°

(3) S/N

ランダム雑音 51 dB 入力 -50 dBm のとき

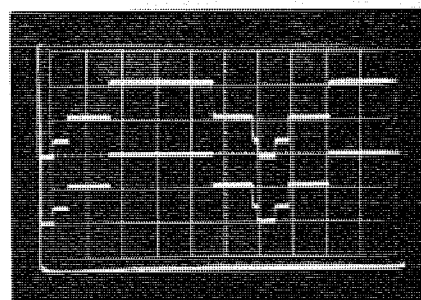
37 dB 入力 -65 dBm のとき

周期性雑音 なし



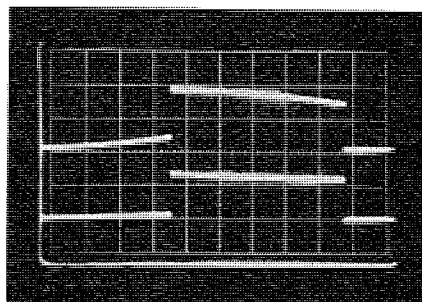
上：出力波形
下：入力波形
0.2 V/cm, 2 μs/cm

図 4.1 パルス波形
Pulse.



上：出力波形
下：入力波形
0.5 V/cm, 10 μs/cm

図 4.2 ラインスロープ
Line slope.



上：出力波形
下：入力波形
0.5 V/cm, 2 μs/cm

図 4.3 フレームスロープ
Frame slope.

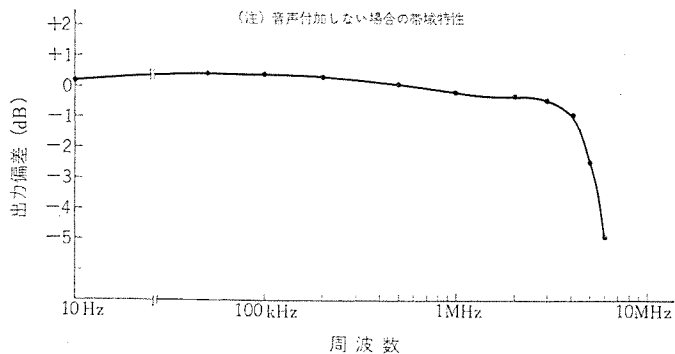
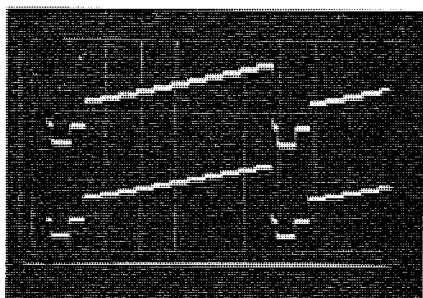
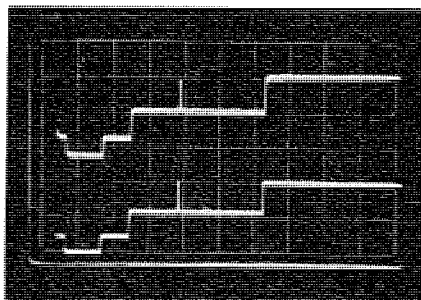


図 4.4 振幅周波数特性
Amplitude characteristic.



上：出力波形
下：入力波形
0.5 V/cm, 10 μs/cm

図 4.5 階段波
Stair step.



上：出力波形
下：入力波形
0.5 V/cm, 5 μs/cm

図 4.6 サイン2乗
Tパルス
Sin²T pulse.

ハム雑音

なし

(4) 振幅周波数特性

図 4.4

(5) テスト信号試験

階段波

図 4.5



図 4.7 画像(送信)
Picture (original).



図 4.8 画像(受信)
Picture (received).

サイン2乗波

図 4.6

画像

図 4.7, 4.8

5. む す び

マイクロ波半導体の出現と回路技術の進歩によって、マイクロ波帯の通信機は小形・軽量化の段階から、より集積度をあげた装置、次いでアンテナの一部に装置を付けた能動アンテナ形式へとその構造のイメージを変えようとしている。ここに報告した画像伝送装置は、開発途上にある準ミリ波において、マイクロ波半導体の実用化を目標に開発したもので、小形軽量化の段階のものであるが、当社では能動アンテナへの足がかりとして、マイクロ波集積回路を採用した超小形化もすでに着手している。

参 考 文 献

- (1) 森田ほか：通研実報，19，No. 1 (昭45)
- (2) 吉田ほか：信学会マイクロ波研資，MW 70-52 (昭45)
- (3) 渡辺，角田，斉藤：昭44全大，No. 435
- (4) 山野辺，角田：昭44連大，No. 445
- (5) 渡辺，斉藤：昭44連大，No. 1591

光通信による ITV 伝送

中原昭次郎*・長能 宗彦**・浪崎 博文**
道家 昭彦***・大久保永造***

ITV Video Transmission using Optical Communication Equipment

Kamakura Works Shojirô NAKAHARA・Munehiko NAGANO・Hirohumi NAMIZAKI
Communication Equipment Works Akihiko ÔKE・Eizô ÔKUBO

ITV video signals have been transmitted optically by wide-band FM-AM modulation with optical communication equipment made for trial in which GaAlAs light emitting diode and Si avalanche photodiode are employed as a light source and a detector respectively. Transmissions experiments proved that good pictures could be obtained at 250 m, which in turn gave a prospect to send signals over 300 m.

In this article a brief description about the compact-designed optical communication equipment is given relating its optics, electronic circuits and mechanism. Comparison is also given between theoretical and experimental maximum communication range in conjunction with future possibility of optical communication using recently developed semiconductor lasers that can operate continuously at room temperature.

1. ま え が き

発光ダイオード(LED)を用いるオプトエレクトロニックな光通信は少しも珍しい考えではないが、これを小形コンパクトで使用法の簡便な実用的な装置にし、ITV伝送に適用した例はほとんどない。LEDを用いた装置の場合には、ガスレーザによる光通信に比較すると、ビームの集束性、光出力、信号帯域幅などの点で不利であるが、自由空間伝ば(播)によるいわゆる簡易光通信システムでは、装置の簡易性、価格、保守の容易さなどを考慮するとむしろはるかに好ましいと考えられる。

われわれは、LED開発当初からその有用性に着目して光通信への応用を考えてきた。特に、光軸調整が容易な可視光が得られるGaAlAs LEDに十分な出力と応答性があること、また、光検出器として高性能Siアバランシフォトダイオード(APD)も当社北伊丹製作所で開発されていることから、全固体化光通信装置を手がけ、ほぼ所期の性能のものが得られた。

ここで報告する音声・通話形ITV伝送用光通信装置の開発に先立ち、副搬送波を2波同時に用いたFM方式でHi-Fi 2チャンネル信

号の伝送に成功して⁽¹⁾広帯域光通信の見通しを得、それに基づいて図1.1にその外観を示すような1方向伝送の広帯域FM-AM方式によるITV伝送装置を試作した⁽²⁾ところ良好な特性のものが得られている。

そして、上記伝送装置の試作経験に基づいて若干回路形式や光学系、機構部分などに改良を加え、音声伝送も含めて動作するようにしたのがここで報告する光通信装置の主要部であり、その概要を簡単に紹介する。

2. 装置の構成

レンズなどを用いる簡易光通信では、光の伝送効率をできるだけ高くするとともに、正確な光軸合わせが容易にできることが肝要なのはいうまでもなく、そのための機構的光学的な配慮のうえ装置の小形化をはかっている。また、空気の流れなどによるレベル変動の影響を少なくし、伝送による画像のS/Nの劣化を防ぐ目的から副搬送波を周波数変調し、光の強度を変調するFM-AM方式を変調法に用いている。そのため、回路的にはLED、APDを含む送受信部とビデオ信号の周波数変復調を行なうFM部とからできており、機構的には、回路部・送受信光学系・光軸調整部とがコンパクトに組み込まれるよう構成されている。光通信の基本構成のブロック図を図2.1に示す。また、装置外観を図2.2に示す。

2.1 Ga_{1-x}Al_xAs 発光ダイオードの特性

光通信の光源に用いられるGa_{1-x}Al_xAs LEDの発光波長は、Al濃度xで定まる。xが増すにつれ、発光に寄与するエネルギー帯の構造が変化して発光効率やその応答性に強い影響を受け悪くなる。相



図 1.1 ITV 光伝送装置
Opto-electronic ITV transmitter.

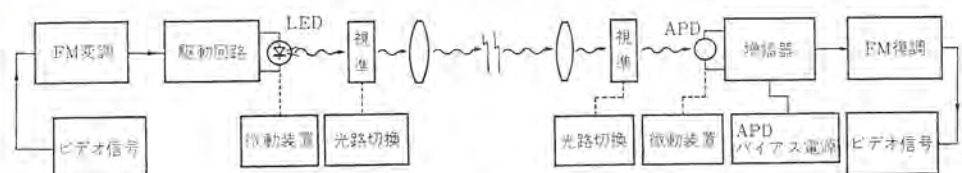
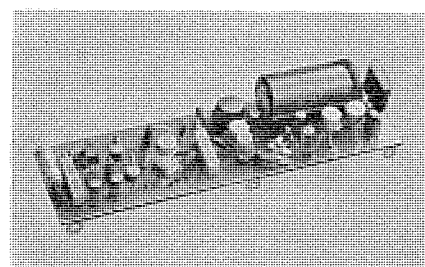
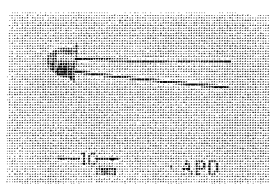
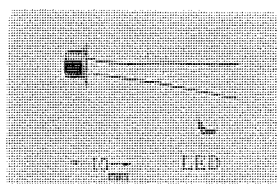
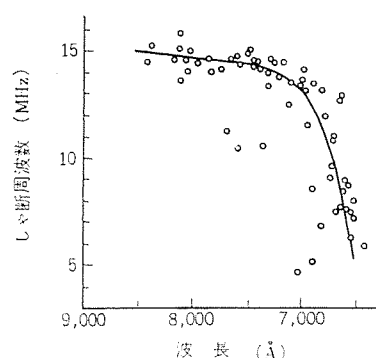
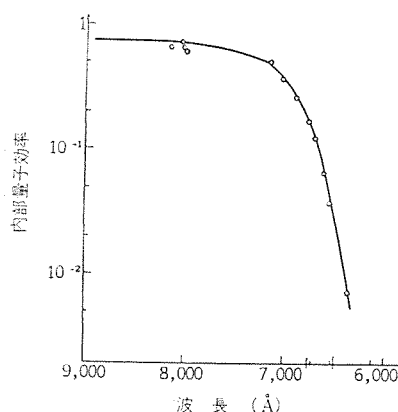
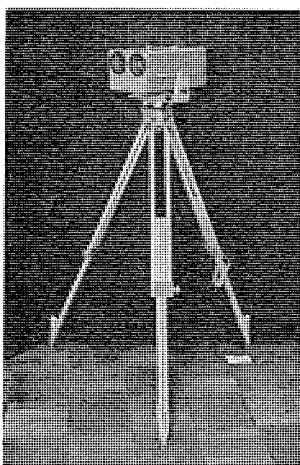


図 2.1 ITV 光伝送の基本構成ブロック図
Block diagram of opto-electronic ITV transmitter.



当数の LED の測定により求められた効率と応答性と波長による変化の様子を図 2.1 および図 2.3 に示す^{(3)~(5)}。図からわかるように、発光波長が $7,300 \text{ \AA} \sim 7,500 \text{ \AA}$ の LED では、赤外光しか得られない GaAs とほぼ同程度の効率と応答速度を有しており、われわれはこの波長領域の可視 LED の利点を生かして装置を構成している。

図 2.5 は、使用した GaAlAs 発光ダイオード ME 101 の概略形状を示す写真で、樹脂レンズが前面についており、詳細な評価は困難であるが、焦点距離 1 ミリ強、倍率約 6 倍程度になっているので、伝送効率を考える際には、その光学的効果も考慮に入れる必要がある。

応答性については、ME 101 は市販の LED の中で最も良好ではあるが、いずれにしても -3 dB となるシャ断周波数が 15 MHz 程度しかないため、変調法はその点を考えてやらねばならない。われわれの装置においては FM の信号帯域を $0.5\sim 16\text{ MHz}$ に選び、多少の回路的補償を行なっている。

2.2 アバランシ フォト ダイオード (APD)

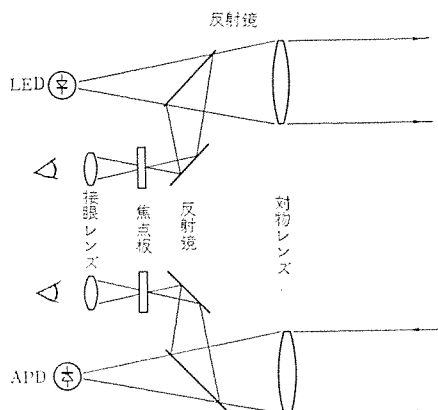


図 2.9 基本光路の構成
Optical system construction.

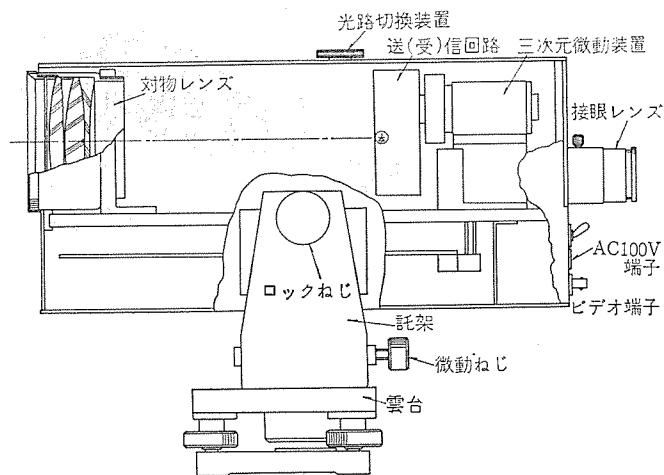


図 2.10 装置の概略図
Schematic diagram of the equipment.

も装置内で LED の可視光を利用し、2 個のプリズムで作られた簡単な治具で行なうことができる。LED・APD は内蔵された三次元微動装置に取り付けられ、上述の位置合わせが行なわれる。

使用している送受信対物レンズは、色消しの焦点距離が $f=200/2.5$ あるいは $f=150/2.5$ のものである。

2.4 機構部

図 2.1 に示した装置の概略機構を図 2.10 に配置図の形で示す。全体は、送受信レンズおよび取付装置、光路切換え装置、三次元微動装置、LED・APD の取付部、視準光学系、モジュール化された電源回路、送受信回路、FM 回路などからなっており、それらがシールドされた状態で一つのきょう体に納まっている。後面パネルは操作のためのもので、接眼レンズ、AC 100 V 端子、ビデオ入出力端子と LED の電流モニター用のメータがついており、全体が託架上載せられた三脚に取りつけられる。

視準しながら行なう相互の光軸合わせは、三脚にネジで固定された託架部の微動ネジを用いてふ(俯)仰・回転を細かく行なうことができるようになっており、きわめて操作が容易である。

2.5 FM 信号系

LED 光通信装置に適した FM-AM 方式に基づく FM 信号系の構成は、まず送信機内で外部から受けたビデオ信号と音声信号を FM 変調器により FM 信号とし LED 駆動増幅器を通じて LED の発光強度に AM 変調をかけている。

受信機内ではレンズ系、空間伝播を通して得た光 AM 信号を APD により電気信号に変換し、この微弱信号を前置増幅器により増

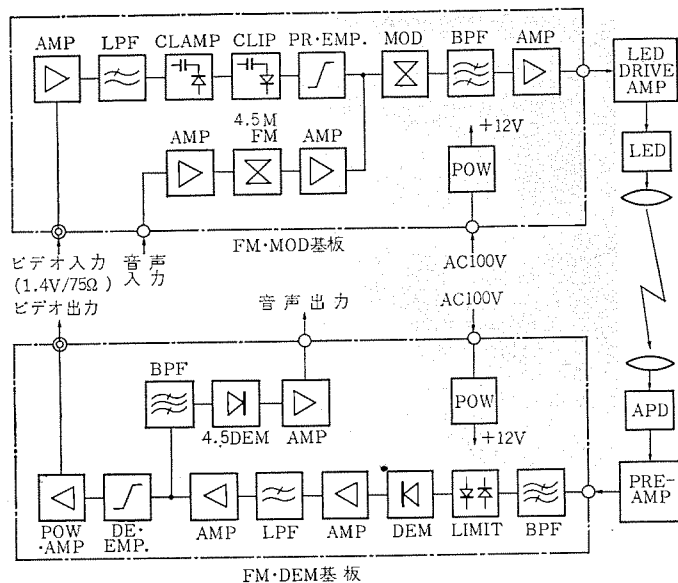


図 2.11 変復調回路ブロック図
Block diagram of modulation and demodulation circuits.

幅した後 FM 復調器を通してもとのビデオ信号と音声信号に復調している。

この変復調回路のブロック図を図 2.11 に示す。

FM 信号系の仕様で占有帯域は LED の変調周波数特性に制限されるため、約 0.5 M~15 MHz となっている。また伝送周波数帯域(変調周波数)は、ビデオの 60~4.5 MHz と音声 FM 波の 4.5 MHz サブキャリアを重畳したもので合計 60~4.6 MHz である。

以上の条件から周波数偏移 ΔF が最大にとれる搬送周波数 f_c と P-P 周波数偏移 ΔF_{P-P} を求めるとカーソンの式から、
 $f_c=7.75$ MHz, $\Delta F_{P-P}=5.3$ MHz となる。

実際にはビデオ信号波形は平均値ビデオに対し非対称であり、この数値どおりにはとれない、今回の実験機では
 $f_c=8.5$ MHz, $\Delta F_{P-P}=4.6$ MHz にしている。

この結果いえることは最高変調周波数、 f_m 4.6 MHz に対し、P-P 周波数偏移 ΔF_{P-P} が 4.6 MHz のためビデオの高域成分に関してはいわゆる FM の広帯域利得 (S/N 改善) は期待できない。

しかしビデオ信号でその画質のきめ手となる 1 MHz 以下の中、低域に関しては S/N の改善があり、たとえば $f_m=100$ kHz での S/N 改善度 (100% 変調の AM と比較) を求めれば式 (2.1) となる。

$$\frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{FM}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{AM}} = \sqrt{3} \frac{\Delta F}{f_m} = \sqrt{3} \frac{4.6 \text{ MHz}}{100 \text{ kHz}} = 23\sqrt{3} = (31.5 \text{ dB}) \quad \dots (2.1)$$

ビデオ信号に含まれる周波数成分は、水平同期信号周波数の 15.75 kHz をはじめ中・低域成分が大部分を占め、高域成分の少ないことを考えると FM の S/N 改善効果を中・低域だけに分担させず、極端なプリアンパシを行なって高域レベルを増し、高域での S/N 改善を行なったほうが得策である。

またこの FM の特長としていえることは、搬送周波数が低く、占有帯域が 0.5 M~15 MHz とビデオ信号に近い高比帯域信号であり、かつ、低域の 0.5 M~4.6 MHz は変調帯域と重なる部分をもつことである。このためビデオ変調信号が FM 信号に漏れ込んだり、またその逆がないように変調器・復調器での考慮が必要である。

変調信号と FM 信号の相互干渉は、この他同一きょう体内の双方向通信送・受信機間でもいえる。これは前述のように LED の最

高被変調周波数が 15 MHz と上限があるため、双方向通信に同一周波数帯を使わざるを得ないことに由来する。

これらの要素はいずれも光信号の空間伝ばによる以外の S/N 劣化の要因となるものであり、画像のモワレ、ビート雑音となってあらわれる。上記問題に対する変・復調器での対策はヘテロダイン方式の採用などがそれであり、同一きょう体内、送・受信機間の漏えい(洩)は AP-D の出力レベルが小さいこともあって、きょう体内シールドや電源ラインからの誘導等には特に配慮が必要である。

回路の駆動は、AC 100 V で動作する 12 V の定電圧電源を 2 個使用し、送信部 (FM 変調回路、LED 駆動回路) と受信部 (FM 復調回路、APD 前置増幅回路) におのおの供給される。APD のバイアス電源も内蔵されているのは前述のとおりである。

3. 装置の性能

3.1 簡単な検討

ここでは、レンズを用いて自由空間を光信号を伝ばさせ、ITV 画像を所要の S/N で受信できる条件を検討するために、光の伝送方程式をたてて考えてみる。われわれの用いている FM-AM 方式では、低・中域に FM による S/N 改善効果があるので、それを見込んで所要光信号レベルを確保できる最大距離 R の評価を行なえばよい。

この装置においては、前章で説明したように周波数偏移は約 4 MHz の FM であり、その復調波の高域 S/N は C/N とほぼ同程度と見込まれるため、 C/N としては 35~40 dB を確保する必要がある。

さて、一般的に、LED の発光出力 P_d 、システム的に要求される最小所要光電力 P_s が定まっているとして、LED の光学的特性を考慮に入れるために、LED 自体のビーム広がり角 ϕ を入れて伝送可能最大距離 R を求めると、式 (3.1) のようになることが導かれる⁽⁷⁾。

$$R = \frac{f_t^2}{2F_t} \cdot \frac{2f \cdot \tan \phi - d}{d \cdot f \cdot \tan \phi} \left\{ \frac{P_d}{LP_s} \cdot \frac{\phi_r^2}{\phi_e + \left(f_t \cdot \tan \phi + \frac{d \cdot f \cdot \tan \phi}{2f \cdot \tan \phi - d} \right)^2} - 1 \right\}^{1/2} \dots\dots (3.1)$$

ここで、 f_t 、 F_t はそれぞれ送信レンズの焦点距離および F 数、 d 、 f はそれぞれ LED の直径と LED につけられた前記樹脂レンズの焦点距離であって、 ϕ_e 、 ϕ_r は LED および受信レンズの径、そして L は伝送する空間や光学系などによる損失係数である。

一方、前述の最小所要受信光電力は、APD の過剰ショット雑音係数をも入れて計算すると式 (3.2) のように求められる⁽⁷⁾。

$$P_s = \frac{e \cdot M^q \cdot B + \left\{ e^2 \cdot M^{2q} \cdot B^2 + \Delta \left(e \cdot I_n \cdot M^q + \frac{2k \cdot T \cdot N_f}{M^2 \cdot R_i} \right) B \cdot m^2 \right\}^{1/2}}{\frac{1}{2} m^2 \cdot s \cdot \Delta} \dots\dots\dots (3.2)$$

ここで、 e は電子電荷、 M は APD の増倍係数、 I_n は APD を流れる増倍前の平均光電流であり、 q は APD の増倍に伴う過剰ショット雑音の発生を表わす指数で、通常は 0.5~1 の間にあるといわれる。 B は後段増幅器の帯域幅、 m は LED 発光の強度変調度、 k 、 T はそれぞれボルツマン定数と温度であって、 N_f は増幅器の雑音指数、 R_i は APD の負荷抵抗の大きさである。そして s 、 Δ はそれぞれ APD の感度と送信から受信までの FM 信号の S/N 比の許容劣化度を表わすもので式 (3.3) (3.4) で表わす。

$$s = (e\lambda/hc)\eta \dots\dots\dots (3.3)$$

ただし、 λ 、 h 、 η はそれぞれ光の波長、プランク定数、量子効率で

ある。

$$\Delta = SNR - 1 - \left(\frac{S}{N} \right)^{-2} \dots\dots\dots (3.4)$$

ただし、 SNR 、 (S/N) はそれぞれ送信部での S/N 比、受信増幅器出力での S/N 比である。

まえでは一般的な関係式を述べたが、それからわかるように、光通信においては、LED の出力の大きさが大きく APD の感度が高いほうが好ましいことは当然としても、同じ LED 出力に対しては発光面積が小さいほうがよく、したがって発光輝度が高いことが要求される。また、光学系に対しては、送信レンズの焦点距離が長く、 F 数が小さいほうが好ましいことなどがわかる。ただ、実用的には装置の小形化価格の問題などがあり、入手しうるレンズという面からも制約を受けて、先に述べたようなレンズが使用されている。

計算により、装置における妥当と思われる数値を代入して P_s を求めると P_s は最小値として $3 \mu W$ 弱が得られる。装置の実際上の数値と代入した数値に差があると思われるが、それは、たとえば、使用する APD 素子のバラツキや LED 駆動回路の特性による変調度の点など、はっきりしない部分があるためである。

また、一方、 $P_s = 5 \mu W$ 、 $P_d = 600 \mu W$ として最大伝送可能距離 R を計算で求めると、雨・霧・スモッグ等著しく伝ば条件が悪くないものと仮定して、110 m~2,900 m が得られる。この値の極端な広がり、主として LED の発光特性によるもので、特に、ビーム角 ϕ 、また実際は線状発光しているのを円形の発光におきかえているための評価や、発光部の強度分布などの寄与があるためである。しかし、大体のところ 500 m 前後は実現可能と考えられる。

3.2 伝送実験結果

実験は、晴天の野外で行なった。装置自体は三脚ごと容易に持ち運びできるが、電源設備などの関係で直線距離を大きくとれず、現在のところ 250 m までの範囲内でのみ画像伝送実験を行なっている。

まず、室内において大体の光軸合わせをし、送受信画像の分離を確かめた後、野外で約 50 m の距離をとって調整を行なう。この手順を踏んでおけば、距離を長くしても視準によって相手の LED 発光を視野におさめるのはわけなくでき、微動装置を用いて微調を行なえば受光量最大にもっていくのは容易である。

250 m までの伝送結果は良好で、受光量は APD の光電流値で $3 \mu A$ 程度得られており、レンズの絞りを変えて光量調整し、画像伝送した結果から推定すると、伝送可能距離 300 m 以上は可能であろう

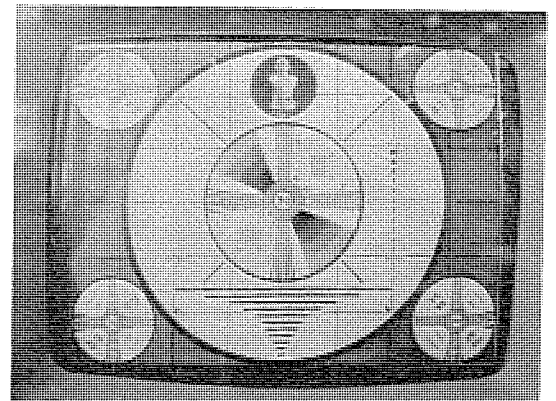


図 3.1 受信した TV テストパターン
TV test pattern transmitted and received
with communication equipment.

と考えられる。

TV テストパターンを送信して得られた受信画像の写真を図 3. 1 に示す。

伝送可能距離が予想よりも比較的短いのは、送信光のビーム幅が約 2 mrad あること、LED の出力がやや小さいことなどのためと考えられる。APD への外来光の入射については、視野が十分狭く、動作に対する影響はほとんど無視できる。

4. 用途と今後の展望

ここで述べたのは ITV 伝送を中心とした光通信であるが、その他の信号伝送に利用できるのももちろんである。

一般に、簡易光通信は光の空間伝播を利用したものであることは前記のとおりであり、それが特長となっている。基本的な用途は近距離の点間通信で、特に、電波法による制約を全然受けないので、ケーブルの使用ができなかったり、ケーブルは使用できるが不都合な場合など、また、近距離の臨時回線などにその利点が発揮される。

そのような用途の例としては、都市におけるビルとビルを結ぶ通信、トンネル工事現場における ITV 伝送、あるいはエレベータやクレーンにおける ITV 伝送などが現在考えられている。前者については、説明をするまでもなく、ビルの窓辺や屋上の間を結んでそれぞれ装置を設置すればよい。また、後者については、かごなどの移動部が直線的な運動をすることを利用すれば、移動部と固定部とを結んだ光通信は、はなはだ好都合といえよう。

LED を用いる光通信装置の性能上の制約は、主として LED の特性によるものであり、光出力レベル、ビーム広がり角、応答速度などがその制約の主たるもので、伝送距離、信号の帯域幅、多重化などの性能上に現われることはこれまで述べたことで明らかである。しかし、この問題は、LED を半導体レーザーに置き換えることで解決される。

すなわち、1 年前にベル研究所で発表されてから急に注目を集めるようになった GaAs の室温連続発振レーザーでは、数 mW 程度の出力が容易に得られ、コヒーレントな光なのでビーム幅を狭く絞ることができるうえ、レーザー自体は LED と同様電流変調によって容易に変調可能でその周波数帯域は GHz 帯に及んでいる。その励起電流は LED に比べて若干多いものの、その寸法は小さく、光通信に用いれば、LED を用いた場合と同様小形コンパクトな装置となろう。

簡易通信として考えた場合は、計算上はともかくとして、回線の信頼性を問題にすると、その通信距離は数 km が限度であり、出力が多少大きくてもそれ以上は実際は困難であり。その意味でも、半導体レーザーを用いた光通信は今後いっそう有望と思われる。その場合の用途は、上記のような狭い範囲にとどまらず、たとえば、CATV

の回線中継に使われたり、港湾関係で使用されたりするであろう。変調法も、ここに述べたような FM-AM 方式だけでなく、高速パルス変調も用いられ、多重化も容易になると予想される。

5. むすび

LED を光源とし、APD を検出器として用いた光通信による ITV 伝送装置の概略を述べた。現在のところ試作の段階であり、画像伝送も 250 m までしか実験していないが、300 m 程度までの伝送については目途を得ており、装置の改良と使用する LED、APD の特性の改善によって実用性が一段と増し、簡便な通信装置として用いられることが期待される。

この光通信装置の特長はコンパクトでハンディというところにある。半導体レーザーを LED の代わりに用いれば、その特長を失なうことなく信号の広帯域化、伝送距離の延長が可能である。しかし、ここに報告する LED を用いた装置も独自の長所を有しているのはこれまで述べたとおりである。

ただ、断わっておかねばならないのは、現在のところ半導体レーザーの連続発振が実現したといっても、レーザー素子の信頼性をはじめ、その基本的な特性の解明の研究がようやくスタートしたばかりで⁽⁸⁾、それがここで述べたような光通信装置に組込まれて実用化されるには種々の問題点の解決が必要である。そうしたことは当然としても、将来の光通信用光源として最も有望であり、レーザー素子の改良に大きな期待が寄せられている。

最後に、光通信による ITV 伝送装置の試作に当たって、LED の資料の提供をはじめ種々協力いただいた北伊丹製作所の関係者のかたがた、また、APD について格別のご協力をいただいた中央研究所 第 4 研究部の関係者に深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 中原、長能：昭 44 電気四学会連合大会予稿、1,688
- (2) 中原、長能、村上：昭 45 電気四学会連合大会予稿、1,540
- (3) 中原、長能、浪崎、村上：昭 45 信学全大、695
- (4) W. Susaki et al : Mitsubishi Denki Laboratory Report, 11, 163 (1970)
- (5) 中原、長能、浪崎：信学会研資、SSD 71-28 (1971-08)
- (6) 藤川、高宮：三菱電機技報、43, 821 (昭 44)
- (7) M. Nagano, S. Nakahara : Mitsubishi Denki Laboratory Report, 11, 15 (1970)
- (8) たとえば、池上：日経エレクトロニクス、1971 年 8 月 2 日号 p. 50 にかなり詳しい解説がでている。

最近の ITV 応用

堀 高明*・伊藤 修彦*

The Latest ITV Application

Communication Equipment Works Takaaki HORI・Shuji ITO

Though ITV is now in use in many fields, newer utilization is considered and the number of installation is increasing without a pause. According to a prediction on the demand made by a certain reliable source, the average rate of increase in demand a year is somewhere around 34%. The operation of ITV in the past is mostly confined to the purpose of the so called surveillance. However with a growing trend of giving preference to information pursuit, application of ITV to communication by voices plus images has come to draw attention.

In this article, the utilization of various ITV systems is rearranged in a proper shape and description is made on ITV application as communication with images, though it has not a long history yet.

1. ま え が き

最近のテレビジョン技術の進歩は目ざましいものがあるが、ITVも性能面に加え応用技術の向上により、利用範囲は年とともに拡張され、各種産業はもとより宇宙開発・海洋開発において欠くことのできない重要な役割を果たしている。

各種 ITV 利用における最近の特長は、まず利用システムが計画的で、しかも規模が大きくなったことがあげられる。すなわち、従来は人手を減らすために ITV で置き換えてみるといった性格のものが多かったが、最近では初期の計画時から ITV 利用を見込んだ積極的な利用法が目立つ。

また、映像信号の伝送距離の長距離化もその大きな特長である。

従来はせいぜい 1 km～2 km 以内のものがほとんどであったが、最近では数 km の伝送はごく普通のものとなっている。

さらに、CATV の普及に伴い、ITV カメラそのものに対する性能や、関連機器に対する機能および性能が高級になり、テレビジョン放送機器に類似のものが要求されるようになるものと思われる。

また、ITV 装置を視覚情報の手段として利用するだけでなく、ITV 信号を利用したパターン認識、計測への応用、計算機を利用したテレビジョン走査方式のキャラクタディスプレイ装置、ハードコピー装置など、画像通信とその応用分野の将来はますます開けていくことが約束されている。

本文では、従来の ITV 利用法ならびに最近実用化されている応用例について触れてみる。

2. ITV 応用の最近の傾向

ITV があらゆる方面に利用されるようになったのは、装置の半導体化による小形軽量化と、価格の低廉化によるところが大である。

しかしながら、ここまで一般化し、使用台数が急増したのは、ITV によれば聴覚あるいはその他の情報によるものに比べ、はるかに正確な情報が即時に得られるからである。

また、一般のテレメータリングと異なり誤動作や、誤表示が絶対にならないため、得られる情報から判断を誤る心配がないことも ITV 利用の大きな利点である。

したがって、特に重要な部分では ITV がテレメータリングのバックア

ップに用いられている例も少なくない。

これら多くの ITV 利用法をその主要目的から大別してみると、次のように分けることができる。

(1) ITV でなくては見るのが困難な場合

ぜひとも監視したいが、危険を伴う所、周辺状況などから人間の目がとどかない所、あるいは非可視光を見たいなど他の方法では簡単に目視することができない場合に相当する。

この場合、比較的容易に ITV により目的が達せられ、しかも、最も利用価値が明確に認められるため、早くから ITV が利用され、今後も以前に増して ITV が活用されるものと思われる。

利用例としては、各種炉内監視、放射線の多い場所の監視、X 線テレビジョン、医学における内視鏡、赤外線テレビジョンなどがある。

(2) 人間の目を ITV に置換しようとするもの

従来、人が監視していた所を ITV で置き換えようとする、いわゆる省力化、危険防止を目的とするものである。

この場合は、ITV 装置への投資額と人件費との比較において採用されることになるが、最近ではわが国においても人件費の高騰と、人手不足が深刻になり、ITV で目的が達せられる所には積極的に採り入れられている。

利用例としては、製鉄所における各種運転のための監視、鉄道のホーム監視、大形車の後方監視、工場等の門監視、デパートやスーパーマーケットの盗難防止、消防業務における望遠監視などがある。

(3) ITV を利用してより向上を計ろうとするもの

従来は、特に人が監視することなく済ませていたが、ITV によって監視し、適当な指示を出すことにより仕事の円滑化、合理化、あるいは危険防止を計ろうとするものである。

これは、ITV 装置に対する投資額とその投資効果との判断がいまいで、従来あまり用いられなかったが、最近の合理化に対する積極的な考え方や、種々の社会情勢から次第に ITV を利用する傾向にある。

利用例としては、道路の混雑状況監視・土木工事現場監視・工場内の工程監視・空港のターミナルスポット監視などがあげられる。

(4) 音声通信を画像通信に置き換えようとするもの

音声による通話で行なわれていた情報交換を一步進めて、画像に置き換えることにより、より正確な意志伝達を行なったり、また書

類やデータなど画像情報を即時に伝送し、スピード化を計ろうとするものである。

実用化されているものの中では最も新しい応用分野であり、利用範囲は今後ますます拡大するものと期待される。

例としては、図面書類伝送用、テレビ電話・CATV・視聴覚教育用、デパート・空港・駅などにおける情報提供サービスなどがある。また、スポーツにおける教習用VTR、家庭におけるドアビジョンも広い意味ではこの分野とみなすことができる。

これらの用途では、例外もあるが、一般に機器が高級になり、伝送距離が長くなる。さらに画像交換機を用いて多数の相互通信を行ったり、テレビ画面のハードコピー装置やVTR、音声機器との結合などシステムが大形化する傾向にある。

(5) ITV を能動的に使用するもの

ITV 本来の目的が監視用であり、ITV 単体では、画面に被写体の像を再現するにとどまり、画面を見た結果、何らかのオペレーションを行なうために、人手を必要とすることが ITV の大きな欠点とされてきた。

最近では、ITV の出力信号波形の解析や、計算機との組み合わせにより、パターン認識や計測用として能動的に利用しようとする研究が各方面でなされている。

この分野での例としては、ロボット の目としての応用、文字読取り装置への応用、目的物の追尾装置への応用、製鉄所における鋼材幅の計測切断、製品の流れの中の傷や異物の自動検出などがあるが、現在一般に使用されている ITV では、精度のほか信号処理方式に種々問題がある。

今後この種の応用が非常に重要な地位を占めるものと思われるが、本格的に実用化するには、ヒンリとして固体撮像素子が実用化され、これを作動させるための走査回路の IC 化がぜひとも必要である。

以上のようにながめてみると、応用例によってはどちらともはつきり区別しがたいものもあるが、ITV 利用に対する考え方がある程度明確になると思う。

以下これらのうち実用化されている画像通信用としての応用例について紹介する。

3. 画像通信用 ITV 装置

3.1 図面伝送用 ITV 装置

最近、事業所内や、事業所間で画像による図面の打合わせや、文書の伝送など、合理化を計ることが真剣に検討されている。

ここに用いられる ITV 装置は、その性格から特有の性能、機能が要求され、一般の ITV カメラおよび受像機を組み合わせただけでは実用に向かないことは容易に想像される。

ちょっと考えてみただけでも、被写体の性質から解像力が特に重要であり、画面の周辺まで均一な画質を保つものでなくてはならないことがわかる。また図面などの大きなものを応範囲に撮像したり、細かい部分に対してはその部分を拡大し、十分相手側に図面等の詳細を伝達可能なものでなくてはならない。しかもこれらの操作が容易であることが必要条件となる。

これらの要求にこたえて、実際の使用の要望や意見を調査するとともに使い勝手を検討し、図面伝送用 ITV システム IT-2000 を開発した。

図面伝送用 ITV 装置の概要

本装置は、端末機・伝送路・画像交換機から成るが、ここでは主

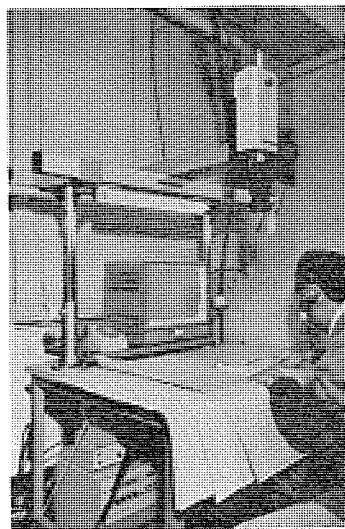


図 3.1 図面伝送用 ITV 装置
Sketch of transmission ITV system

に画像系の端末機について述べる。

本端末機の主要部は、図 3.1 にその使用例を示すように、撮像台とそれに取り付けられた高解像度カメラ、受像機および電話機からなる。

前述のように、画像通信用 ITV 装置は一般に用いられている ITV では十分でなく、専用の装置を設計する必要がある。

専用の装置として検討すべき最も重要なことは、走査線数と伝送帯域の問題である。

高解像力を得るためには、走査線数を増し、伝送帯域を広くすればよいが、国内の画像通信が 4 MHz 方式であること、伝送路として既設の電話用対ケーブルの使用が予想され、さらに他機器との相互接続の可能性を考慮して、日本の標準テレビジョン方式を採用した。

もちろん、特殊な用途に対しては、伝送路の特性との兼ねあいで、走査線 1,000 本程度の方式も今後は必要になるものと考えられる。

次に本装置に使用したカメラの映像系に対して考慮した点を述べる。

(1) 撮像管にメッシュ分離形 25 mm ビジコンを使用し、画面中央部の解像力の向上を計ると同時に、周辺部の解像力の低下を極力少なくした。

(2) 映像増幅器の周波数帯域幅は伝送帯域に比べ十分広くとり、またビジコンのビーム開口径を補正するため、アパーチャ補正回路を付加し画像のせん(尖)鋭度を増した。

ただし、アパーチャ補正のブースト周波数は使用する伝送路の伝送周波数特性により最適に選択する必要がある。

(3) ハードコピー装置と組み合わせた場合に、コピーにムラを生じないように画面の明暗のムラを補正するため、シェーディング補正回路を内蔵した。

(4) ズームレンズには操作性の点から手動ズームレンズを使用した。

(5) ズームレンズを使用した場合、ビジコンの光電面位置を正確に調整し、ズームングに対するトラッキングをとる必要があるため、バックホーカス機構を採用し調整の便を計った。

(6) 撮像台のカメラの移動機構部は、手動によりスムーズに前後、左右に移動でき、任意の位置に停止させることができるように特に気を配った。

この映像系と通話系とを併用することにより、本装置の機能を十

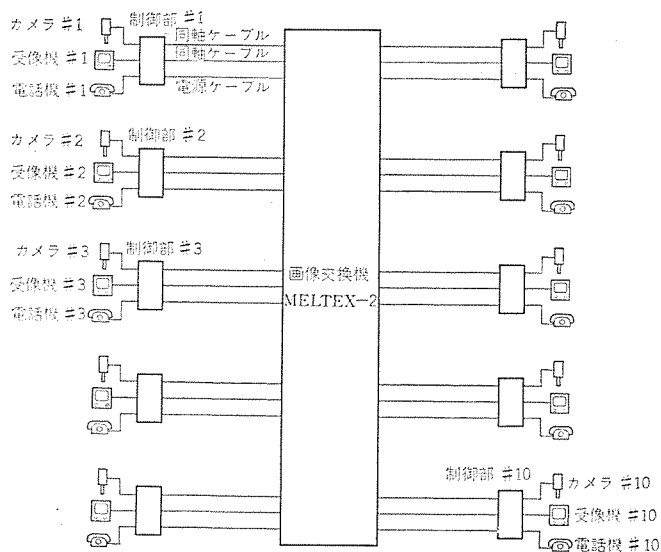


図 3.2 画像交換機 (MELTEX-2) を使用した場合の系統
System diagram when video exchanger MELTEX-2 is used.

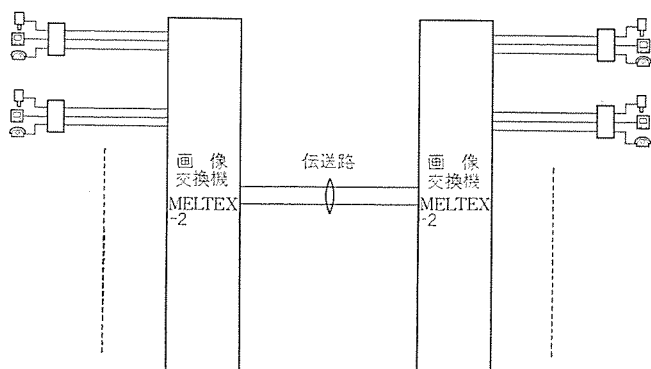


図 3.3 一般の場合の画像交換 システム
General video exchanging system.

分に発揮することができる。

また本装置は、常に1対向のみで使用するとは限らず、何台も設置し、任意に接続して使用することが考えられる。その場合は後述の画像交換機 (MELTEX-2) を使用すれば10台までの交換接続が可能であり、そのときの系統は図3.2のようになる。

また、離れた事業所間での画像交換を必要とするような場合には、図3.3のような系統になる。

ここに紹介した端末機は、三菱重工業(株)長崎造船所において2.8km離れた設計部門と工作部門間で試験的に使用し好結果を得ており、昭和47年度より本格的に、香焼造船所との長距離伝送にも使用されることになっている。

3.2 TV画面ハードコピー装置 (三菱ビデオコピー VP-101)

各種のデータ通信、ディスプレイ装置とともに、ITVのような画像による情報通信は、従来の音声のみの通信に比べ、はるかに豊富な情報量を有しており、通信方式としてより適していることはいうまでもない。さらに、画面を目で見るだけでなく、これを紙面にハードコピーとして残したいと欲することは当然のことであろう。

ハードコピー装置とは、広い意味ではラインプリンタをはじめ、一般にコピー装置として用いられている各種の複写機、ファクシミリ、ビデオデータターミナルとしてのCRTディスプレイの記録装置、テレビジョン画面の記録装置などのように紙面に複写を得るものを総称している。

ITVの応用機器として、TV画面のハードコピー装置があれば、前述の図面伝送用ITV装置と組み合わせることにより、装置の利用価値が一段と向上することは明らかである。

3.2.1 TV画面のハードコピー方式

現在用いられている一般のハードコピーの複写方式を大別してみると、次のようになる。

- (1) 非銀塩感光複写方式
- (2) 銀塩感光複写方式
- (3) 電子写真方式

TV画面のハードコピー装置としては(1)の非銀塩感光複写方式は、感度も遅く実用性がないため、ここでは対象外とする。

(2)の銀塩感光複写方式には、湿式と乾式とがある。

湿式の場合は、現像液・安定液などの一浴または二浴方式があるがいずれも感光紙の浸漬通過部の機構に問題があり、保守がやや困難になる欠点があるが、最近ではマイクロフィルムリーダプリンタ等に実用化されている。

乾式は、いわゆるドライバル法で、コピー紙の価格が高いこと、感光現像後の像に多少にじみが生じる欠点はあるが、総合的にみればすぐれた点も多く、今後期待されるものである。

(3)の電子写真方式は、ゼログラフィエレクトロファクス法、有機半導体法などがあり、Electrophotographyの名が示すように、一種の写真であり、光エネルギーをキャリアとして画像を形成する。

光刺激を半導体内の電子現像に変換して電気潜像をつくり、トナー現像、熱その他による定着を行なっている。

光半導体を用紙自身に塗るか、他のものに塗って粉体像を転写する方法を用いるため、装置は一般に複雑になるが、電子写真方式は非銀塩としては感光度が高く、光半導体はCRTとレンズ系、あるいはファイバCRT方式で感光させる範囲にある。

TV画面の複写方式において、実用性からみて望ましい事項のおもなものをあげてみると

- (1) CRTの輝度に限度があるため、感光材の感度が高いこと
 - (2) 少なくとも、A4サイズ以上の大きさのコピーが得られること
 - (3) 解像度がよいこと
 - (4) 階調の再現がよいこと
 - (5) 露光のラチチュードが広いこと
 - (6) 感光材の分光感度特性とCRTの発光特性が合っていること
 - (7) 得られたコピーの保存性がよいこと
 - (8) 複写用紙が安いこと
 - (9) 焼き増し可能な原紙作成が可能なこと
 - (10) 同一コピーが連続して得られること(時間が短縮できること)
 - (11) 現像等の処理が安定で取扱いが簡単であること
- などが考えられる。

また、TV画面のハードコピーの場合、通常はCRTを用いることになるが、このCRTからのハードコピーを作成する場合、管面厚のため接写ができないので、レンズ光学系を使用することになる。

この際、管面には、全面表示と線走査に分れるが、やはりCRT全面表示を一挙に複写しようとする要望が強い。

最近では、ファイバプレートCRTが実用化されているが、小形のものを除き一般にはファイバプレートCRTは線走査形になる。この場合、感光紙を管に接写することができるので、露光量の点では非常に有利となる。ファイバ記録管⁽²⁾の光利用率は、F/2.8レンズ使用の場合に比較して、約170倍とされている。したがって、感光紙の感度の点からは楽になり、レンズ系が不要になる。

ただし、この1本ラスタによる記録は、感光紙の送り機構が必要となり、テレビ信号のような高速のものではこれを実現することはむづかしく、種々問題がある。

当社では、これらの条件を考慮し、TV画面のハードコピー装置、三菱ビデオコピー VP-101 を実用化したので本装置の概要を述べる。

3.2.2 三菱ビデオコピー VP-101 の概要

本装置は、高輝度、高解像度 CRT とレンズ光学系を用いた、いわゆる CRT-レンズ方式であり、複写方式には最も感光度の高い銀塩感光方式を採用している。したがって階調再現性、解像力がすぐれており、良質のコピーが得られる。

一方、本方式では、現像液の取り扱いや、コピーの保存性にやや難点はあるが、現像液については循環ポンプを付加することにより解決することができ、保存性についても一般の用途に対しては十分である。

一般に CRT-レンズ方式においては、周辺の解像度の低下が問題になるが、ダイナミックフォーカスの採用により周辺の解像度低下を改善し、標準方式のテレビ信号から A4 サイズのコピーを取ることができる。

また映像増幅系の特性は、高域を約 10 dB ブーストすることにより、CRT 画面上では相当ノイズが目立つが、実際のコピーでは、露光時間の積分効果で平均化され、ほとんど目立たず鋭なコピーが得られる。

本装置の外観を図 3.4 に、また本機によるコピー例を図 3.5 に

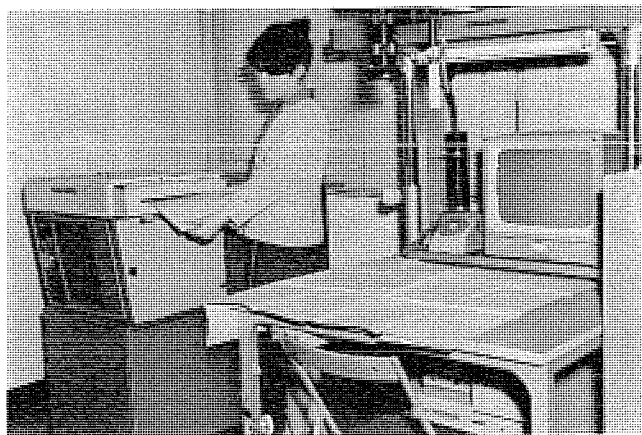


図 3.4 三菱ビデオコピー VP-101
Mitsubishi video copy VP-101.

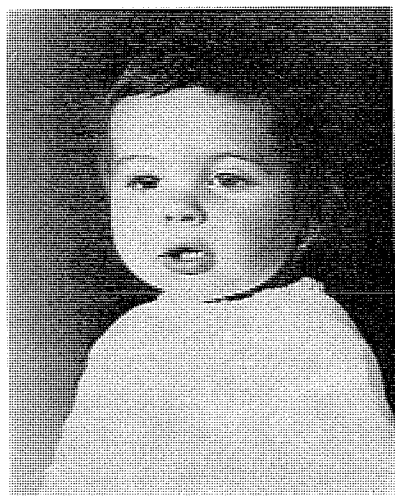


図 3.5 VP-101 ハードコピー装置によるコピー例
Example by using VP-101 hard copy equipment.

示す。

本装置の概略仕様

| | |
|------------|------------------------------------|
| 入力信号方式 | 国内標準 テレビ 信号 |
| 入力信号 レベル | VS 1.0 V (P-P) |
| 入力 インピーダンス | 75 Ω 不平衡 |
| 映像帯域幅 | 8 MHz |
| 解像度 | 水平 約 700 本 |
| プリント方式 | CRT-レンズ方式 |
| 現像方式 | 安定化処理方式 |
| プリント速度 | 約 10 秒/画面 (現像, 安定化処理 時間を含む) |
| プリント画面の大きさ | 約 240×180 (mm) |
| 印画紙 | 幅 297 mm×32 m (A4 判×150 枚 ロール式) |
| 外形寸法 | 1,053(H)×540(W)×1,030(D) mm |

3.3 テレビ電話

電話機が発明されて以来、相手の顔を見ながら通話することは夢であったが、この夢も最近の電子部品の発達により実現可能となった。1970 年万国博において、多数のテレビ電話が試用され、観客の注目を集めたのも記憶に新しい。

いうまでもなく、テレビ電話は相手の顔をながめながら話することにより、会話本来の姿を再現する対面通話のほかに、品物あるいは簡単な図面を相手に見せることにより、言葉では到底表現しにくい内容を正確かつ容易に理解させることもできる。また、たとえば広い事業所構内に散在する事務所の社員が会議をする必要がある場合、自席のテレビ電話により、各出席者を見ながら話することもできる。

さらに、データセンタからの画像情報表示により、株式市況、天気予報、交通機関予約状況、催物などの各種案内はもとより、計算サービスに、コンピュータの入出力端末として利用することもできる。

3.3.1 テレビ電話の方式

テレビジョン方式を決定する基本的な要素は、画面の解像度と応答速度(画面のチラツキ)である。

解像度は、画面全体に必要な画素数の問題であり、また応答速度は、毎秒何コマを送るかという問題である。そしてこの両者から同期方式と映像帯域幅が決定される。

一般に事業所構内用としては、伝送線路の制約がないこと、簡単な文書伝送のひん度が多いことから解像度の良い 4 MHz 標準テレビジョン方式が採用され、交換機を通して長距離伝送される構外用としては、1 MHz 方式が採用されているようである。

三菱テレビ電話 MVP-2 形では、構内用を対象とし、業務用として簡単な図面や実物サンプルの伝送が重要と考え 4 MHz 方式とした。

3.3.2 三菱テレビ電話 MVP-2 の概要

(1) 概略仕様

| | |
|-------------|--------------------|
| 画面の大きさ | 120(H)×180(W) (mm) |
| 映像帯域幅 | 4 MHz |
| 水平周波数 | 15.75 kHz |
| 垂直周波数 | 60 Hz |
| 走査線数 | 525 本 |
| 走査方式 | 2:1 インタレース |
| 同期方式 | 電源非同期 |
| 撮像可能な文書の大きさ | A4 サイズ |



図 3.6 三菱テレビ電話 MVP-2
Mitsubishi TV Telephone MVP-2.

寸 法

| | |
|-----|---------------------------|
| 映像部 | 413(H)×250(W)×250(D) (mm) |
| 電源部 | 200(H)×220(W)×300(D) (mm) |

(2) 機器の構成

MVP-2 形 テレビ電話機は、(a) 映像部、(b) 電話機部、(c) 電源部から構成されている。

(a) 映像部

撮像部および受像部が組み込まれている。撮像レンズの上部にはミラーが内蔵され、文書伝送の際は、このミラーを引き出して使用する。常時、机上に置かれるため、特に意匠を重視し優美なデザインとした。

(b) 電話機部

押しボタンダイヤル式電話機を採用した。これは高低2群の周波数の組み合わせにより、ダイヤルナンバーを識別するもので、将来は各種情報サービスの入力端末機として使用される。

また電話機にはセルフビュアの制御ボタンがついている。

(c) 電源部

撮像部・受像部に必要な高電圧・低圧電源回路のほか、セルフビュア、自画像切替回路などの制御回路が内蔵されている。

使用中の本装置を図 3.6 に示す。

3.4 画像通信用交換機

テレビ電話・図面伝送用 ITV 装置等、画像通信用機器の普及に伴い、これらの機器を交換接続し、より有効に使用したいとする要求が生じることは当然である。この要求にこたえ、事業所構内などの私設使用を目的とした小容量の半電子式画像交換機 MELTEX-2 を開発した。

本交換機の特長は

- (1) 私設用に適し、小形で取扱いが容易である。
- (2) リレー・保線メモリ、駆動回路、制御部全般にわたり、IC 化をはかり、小形・高信頼化が可能となった。
- (3) 共通制御方式による布線論理回路を採用し、小容量交換機としてのハードウェア節減と標準化を試みた。また、高速処理が可能のため、トラフィックの増加にも十分対処できる。

などである。

この交換機は、中央研究所と通信機製作所の共通研究によるもので、現在、中央研究所において、テレビ電話 MVP-2 と組み合わせて試用されている。

3.4.1 画像通信用交換機 MELTEX-2 の概要

(1) 概略仕様

| | |
|-----------|--------------------------------------|
| (a) 通話路部 | 6 線式空間分割形 10 回線 |
| 伝送損失特性 | 1 MHz で 1 dB 以下 4 MHz で 3 dB 以下 |
| 漏話減衰量 | 1 MHz で 50 dB 以下 4 MHz で 40 dB 以下 |
| (b) 制御部 | 布線論理形共通制御方式 |
| 通話路メモリ | IC シフトレジスタ |
| クロック | 20 kHz |
| 使用 IC | デジタル IC 345 個 |
| (c) 寸 法 | 1,200(H)×520(W)×290(D) (mm) |
| (2) 機器の構成 | |

この電子式画像交換機のブロック図および制御部の構成を図 3.7 に示す。

(a) 通話路部

通話路部は、音声スイッチ、映像スイッチ、信号音、ダイヤル受信トラック、スイッチメモリ、およびデコーダ、ライン結合回路、ラインスキャナに分けられる。

回路状態は、ライン結合回路を通して送話器電流の変化をラインスキャナでデジタル情報に変換し、この信号を制御部へ送る。

接続選択信号もダイヤル受信回路の信号を制御部に送ることにより、制御部からのスイッチメモリ書き換え情報を得て、その内容をデコードして交換を行なう。

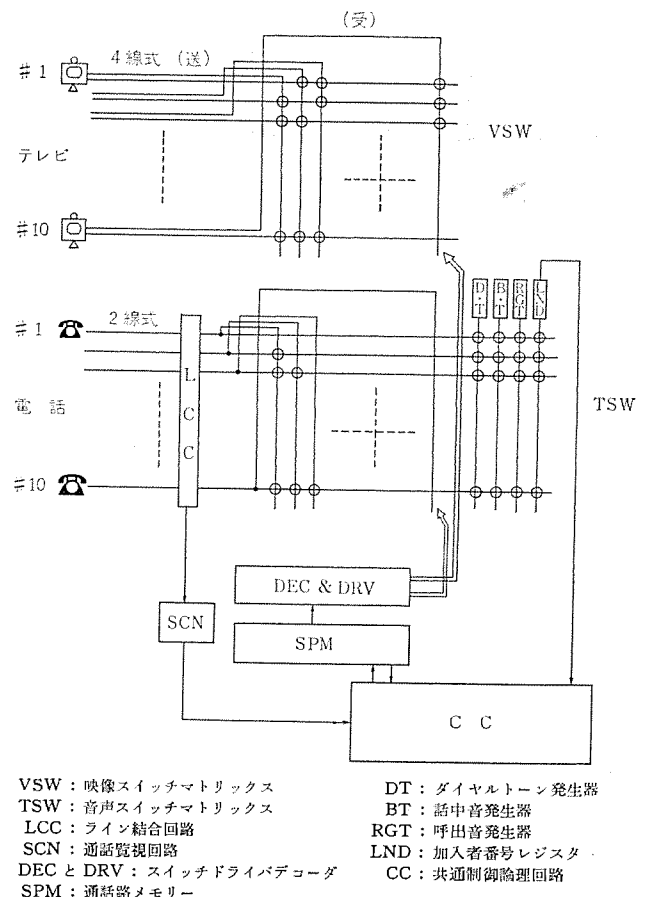


図 3.7 画像交換機 MELTEX-2 のブロック図および制御部の構成

Block diagram of video exchanger MELTEX-2.

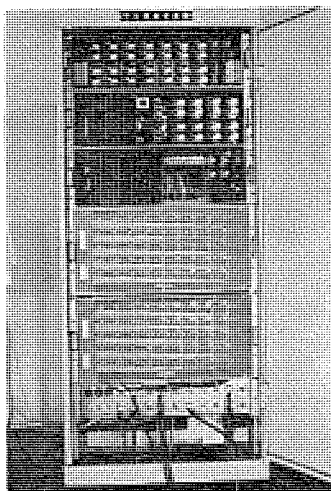


図 3.8 画像交換機 MELTEX-2
Video exchanger MELTEX-2.

(b) 制御部

ラインスキャナおよびダイヤル受信回路からの要求により、スイッチメモリーの内容を読み出し、その判断結果により処理を決定し、スイッチメモリー、およびダイヤル信号受信回路の内容を書き換える。

制御部は、これらの処理に必要な制御サイクルおよび情報の一時メモリーなどのレジスタを有する。

図 3.8 にこの画像交換機を示す。

4. む す び

ITV 利用についての考え方、および最近注目されている画像通信信用としての応用例についてその概要を述べた。これらは ITV 応用としては比較的新しい試みではあるが、情報伝達の手段としては人間の要求により近づいたものであり、必要度は、今後ますます高

まるものと思われる。また、これらの機器に対して、使用者の立場からみると、性能的にも機能的にも改善すべき点が多いものと考えられる。

さらに装置のカラー化の研究により ITV 応用のなおいっそうの飛躍が期待できる。

カラー ITV は、現状では価格の面と安定度の面から、カメラマンが操作しながら使うような用途に限られているが、これを現在のモノクローム ITV と同様な手軽さで使う日も夢ではないと考えられる。

ITV の性能は、使用する撮像管の性能に支配される面が多く、今後さらに性能の向上をはかるためには、ビジコンのような手軽さでより高性能な撮像管の実用化がぜひとも必要であり、今後の開発に期待するものである。

本文を結ぶにあたって、前述の各機器の実用化に協力いただいた関係各位に深く謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 河村ほか：エレクトロイメージシステムにおける最新の電子写真応用技術，電子技術，12，No. 3，12-49 (1970)
- (2) 宮崎ほか：ファイバ光学記録管による TV 信号の記録，録画研究委員会，昭和 42 年 9 月 20 日
- (3) 長井：ディスプレイ装置のハードコピー化と新しい技法，ビジネスコミュニケーション，8，No. 3，66-75 (1971)
- (4) 三浦：テレビジョン電話の技術的問題と動向，TV 誌，21，No. 11，776-784 (昭 42)
- (5) I. Dorros : Picturephone, Bell Lab. Record, 47, No. 5, 136-141 (1969)
- (6) C. G. Davis : Getting the Picture, Bell Lab. Record, 47, No. 5, 143-147 (1969)



特許と新案

クラッチモートル

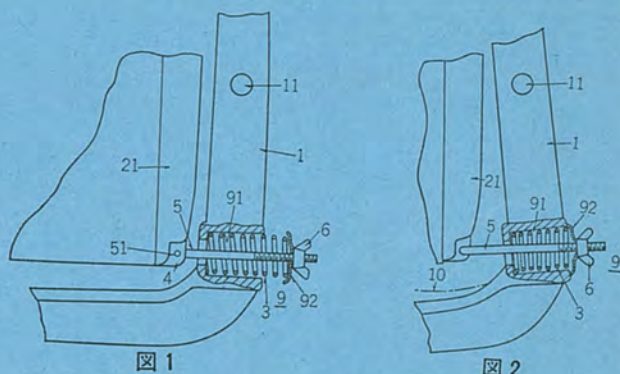
考案者 横山昌弘

この考案は、クラッチモートル 特にその操作レバー 圧調整機構に関するものである。

図 1 および図 2 において、(9)はこの考案によるレバー 圧調整機構で、操作レバー(1)に設けられた圧縮ばね座(91)、この圧縮ばね座(91)内にそう入された圧縮ばね(3)、この圧縮ばね(3)を貫通しその折り曲げ部(51)がブラケット(21)に設けられたとつ(凸)部(4)に回動自在に枢着された調整ボルト(5)、上記圧縮ばね(3)の自由端を支承し、かつその反圧縮ばね側が球面状に形成されたばね押え(92)、上記調整ボルト(5)にら(螺)合し、ばね押え(92)を介して圧縮ばね(3)の圧力を調整するちょう(蝶)ナット(6)とから構成されている。そして図 2 に示すように、操作レバー(1)を鎖線(10)で示す定常位置から移動させた場合、調整ボルト(5)はブラケット(21)に枢着された部分を支点として、上記操作レバー(1)の運動に追従して移動するため、この調整ボルト(5)と圧縮ばね(3)との着力点の調心性がきわめて良く、従来のこの種の装置のように調整ボルト(5)に無理な力が加わることがない。また、ばね押え(92)の表面が球面状となっているので、操作レバー(1)の操作によってこのばね押え(92)が傾いても、ちょうナット(6)の接触状態

がきわめて安定しており、ちょうナット(6)に何ら無理な力が加わらないものである。さらに、調整ボルト(5)はその先端に折曲げ部(51)を有し、これをブラケット(21)に枢着させているので、ちょうナット(6)を回動させて圧縮ばね(3)の圧力を調整する場合、従来のように調整ボルト(5)の回動止めを行なう必要がなく、きわめて容易にレバー 圧の調整を行ないうるものである。

(実用新案第 900650 号) (下上記)



回転電機のヒューズ溶断検出装置

考案者 高谷僚二

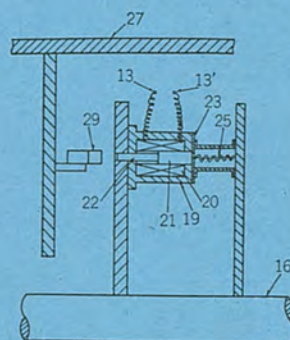
この考案は、ブラシレス励磁機等の回転子に接続されているヒューズの溶断を自動的に検出して、回転電機の運転を停止させる等の事故対策を講じようとしたヒューズ溶断検出装置に関するものである。

図において、(16)は回転子軸、(27)は静止している励磁機継鉄、(19)は電磁石装置の継鉄、(20)は励磁線輪で、溶断を検出すべきヒューズの両端にその端子(13)(13')が接続される。(21)は動作鉄心で、ばね(25)により常時当板(23)に端部が当接されている。(22)は上記動作鉄心(21)の突出部で、励磁線輪(20)が付勢されると左方に突出して可動接点(29)をはねるように構成されている。そしてこのような電磁石装置および可動接点が溶断を検出すべきヒューズの数だけ設けられており、かつこれらは回転子軸(16)からそれぞれ異なる位置に取りつけられている。

今、あるヒューズが溶断したとすると励磁線輪(20)に電圧が印加されるので、動作鉄心(21)はばね(25)の付勢力に抗して左方へ吸引され、その突出部(22)を左方へ突出させる。すると回転子軸(16)は回転しているので突出部(22)が可動接点(29)に当たり、これを

動作させて検出回路を閉じるものである。このようにこの考案によれば、ヒューズの溶断を自動的に検出して静止部へ伝えるから直ちに運転停止等の故障対策を講じることができるものである。また、構造が簡単であり、故障を生ずることもない等実用上すぐれた効果を奏する。

(実用新案第 879678 号) (下上記)



列車制御装置

発明者 六 藤 孝 雄

この発明は、ブレーキ指令を電氣的に伝送することにより各車両に均一のブレーキ力を迅速に作用させようとしたものである。図1において、ブレーキハンドルの操作に応じて差動トランスや、单相誘導電圧調整器・近接リレー等を動作させて指令信号発生装置(1)からハンドル操作量に応じた指令信号電圧を発生させ、指令信号変換装置(2)で上記指令信号に応じて周波数・位相または振幅を制御した交流信号を発生させ、これを引通線(3)を通じて各車両に伝送する。各車両に設けられた制御信号発生装置(4)は、上記交流信号を受信しそれに応じた制御信号電圧を発生する。この制御信号電圧はブレーキ作動装置(5)に与えられ、この電圧に応じた空気圧または油圧をこのブレーキ作動装置(5)は発生する。そうしてブレーキ装置(6)は、このブレーキ作動装置(5)からの空気圧または油圧によって動作させられ所要のブレーキ力を発生するものである。図2は周波数制御伝送方式を用いた上記指令信号変換装置(2)および制御信号発生装置(4)の例を示し、増幅器(51)で増幅された指令信号電圧をロイヤ変換器(52)を用いてその電圧に比例した周波数の交流信号を発生し、これを増幅器(53)で増幅した後トランス(54)で昇圧して引通線(3)に伝送するとともに、受信側では交流信号電圧をトランス(55)で再び降圧した後、増幅器(56)で増幅し飽和トランス(57)とフィルタ(58)により、交流信号の周波数に比例した直流制御信号電圧を得るものである。図3は位相角制御方式による(2)と(4)の例を示し、指令信号電圧に応じて点弧回路(61)を動作させ、この出力によってトランス(63)の一次側に接続されたサイリスタ(62)を制御することにより、指令信号電圧に応じた位相制御角を有する交流信号を発生し、これを受信側の整流装置(64)とフィルタ(65)で平滑整流して制御信号電圧をうる。この場合サイリスタ回路の出力電圧を整流器(66)・フィルタ(67)を介して点弧回路(61)の入力側に帰還させ精密な信号変換を行なわせる。図4は振幅制御伝送方式を示し、指令信号電圧を増幅器(71)を介してロイヤ変換器(72)に加え、その交流出力信号を受信側で整流器(73)およびフィルタ(74)によって平滑整流して制御信号電圧を得るものである。図5は近接リレーとトランジスタ回路によって形成された指令信号発生装置(1)の例を示し、ブレーキハンドルに連動する磁性体(40)によって所定の近接リレー $AR_1 \sim AR_4$ を動作させ、それに対応するトランジスタ $Tr_1 \sim Tr_4$ を導通

させることにより、出力抵抗 R_0 の直流分圧抵抗比を変えるようにしている。これによればブレーキハンドルの操作に応じて段階的に変化する指令信号電圧を発生することができる。

以上述べたように、この発明によれば、従来のブレーキハンドルに応じた空気圧を連結した各車両に伝送するものに比べて、迅速かつ精密なブレーキ制御を実現することができるうえ、保守・点検も簡素化できる利点を有する。

(特許第544352号)(下上記)

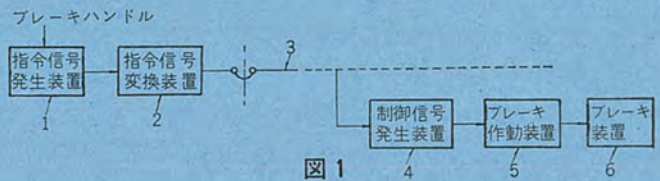


図1

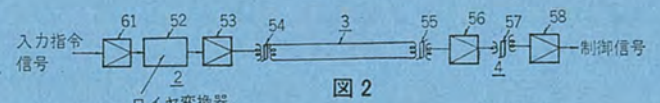


図2

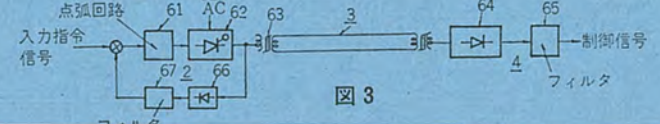


図3

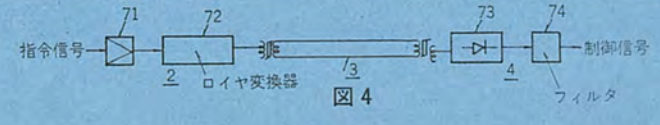


図4

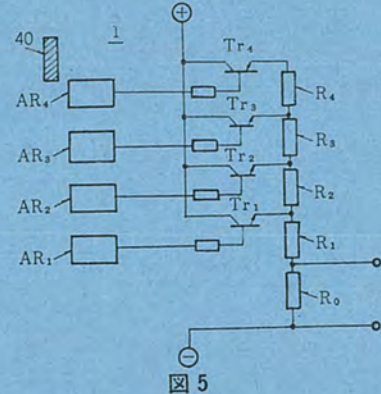


図5

サイリスタ応用技術の最近の動向

大谷 清二*・塚本 昭三**

サイリスタ応用技術の特集号にあたり、最近のサイリスタ応用の動向をまとめてみた。

サイリスタが出現して以来10年余、サイリスタおよびその応用技術の発展は著しく、その生産実績も高度の成長を記録している。

当初は直流電動機の変速制御、すなわち静止レオナード用として実用化されたが、1分野における発展は他分野へも波及し、いわゆる Power Electronics として電力制御のあらゆる分野に、その適用領域を拡大してきている。

今後も、その技術の発展、新分野の開拓に、さらに努力が払われるであろう。

サイリスタが SCR (Silicon Controlled Rectifier) の名のもとで、1957年に発表されて以来10年余、その容量・特性の急速な発展とともに、その応用技術の進歩・発達も著しいものがある。

サイリスタは、電力を開閉制御する整流素子として多くの特長をもっている。たとえば、数百 kW の電力を数 W の信号電力で制御できること、 μsec オーダのスイッチング時間、小形・軽量・低損失・高効率・高信頼度などがあげられる。

したがって、このサイリスタを用いたサイリスタ装置も従来の電動発電機・水銀整流器・サイラトロンを用いた各種変換装置、調整装置に比べて種々のすぐれた特長をもっている。サイリスタが発表されてから

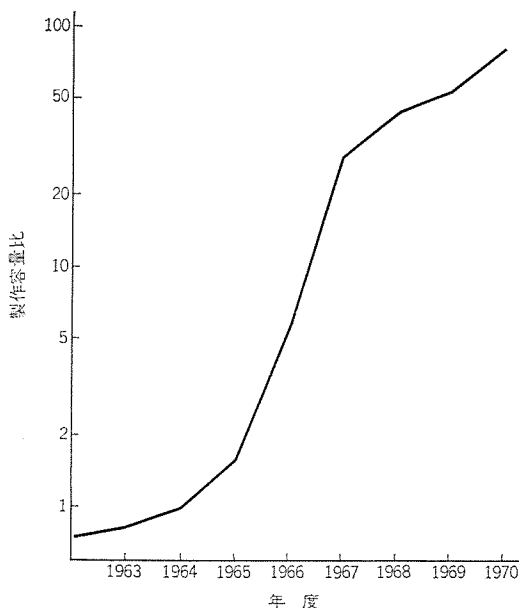


図1 サイリスタ装置需要経過
(1964年を1とした生産容量比)

10年余のサイリスタ応用の進歩の跡は、図1に示されるところより明らかであろう。サイリスタの応用を概説すれば、表1のようになる。

当初サイリスタの応用は、大部分が直流電動機の駆動制御電源（サイリスタレオナード）であったが、その後多くの分野にその適用が拡大され、現在ではおおよそ電力の制御変換のあるところには、すべてサイリスタの適用の可能性を示しており、Power Electronics として認識されつつあるところである。

1967年に、当社が新日本製鉄(株)(当時八幡製鉄)堺製鉄所に納入した、わが国最初の大容量4,500 kW サイリスタレオナードをはじめとする分塊圧延ライン用サイリスタレオナードをきっかけとして、その後圧延ライン・製紙ラインなどに大量に採用されるようになり、ここにサイリスタ時代が招来されることになったが、サイリスタ応用の主流はこのサイリスタレオナードであった。この間、一般電力用サイリスタも当時の1,200 V 250 A のサイリスタより、integrated type の1,500 V 300 A、さらに現在の主流である平形2,500 V 400 Aへと発達してきている。このサイリスタ装置の需要増大は、サイリスタおよび装置の価格の低下、実用性能および製作技術の向上によって他分野へのサイリスタの適用をもたらした。たとえば、従来整流ダイオードが主体であった交流電気車の順変換装置として、また交流電力調整装置としてサイリスタが採用されて無接点化に寄与し、その他発電機の界磁電源、溶接機、交

表1 サイリスタの応用分野

| | |
|---------------------------|------------------|
| 順変換装置 および 他励式逆変換装置 | 直流電源 |
| | 直流電動機制御 |
| | 発電機励磁装置 |
| | 周波数変換装置 |
| | 直流送電 |
| 自励式逆変換装置 および サイクロコンバータ | 誘導電動機制御 |
| | 定電圧定周波数電源（無停電電源） |
| | 交流電動機制御 |
| | 誘導加熱電源 |
| | 溶接機電源 |
| 直流・直流変換装置（チョッパ） | けい光灯電源 |
| | 直流電動機制御 |
| 交流電力調整 | 直流電源 |
| | 誘導電動機制御 |
| | 溶接機制御 |
| | コンデンサスイッチ |
| | 調光装置 |
| | 交流電力調整 |

流電動機の電圧制御や静止セルビウス制御，調光装置に広く採用されるようになった。最近では，大容量電解用直流電源として脚光をあびるようになり，数百kAの装置が製作されるようになった。

一方，サイリスタの需要増大によるその製作技術の進歩は，サイリスタの特性向上にも波及しているが，その代表的なものはサイリスタのスイッチング特性の改善であり，自励式インバータや直流チョッパの実用化が実現している。すなわち，電子計算機・通信機・放送機の定電圧定周波無停電電源として，自励式インバータが広く採用されるようになった。従来，自励式インバータは水銀整流器やサイラトンの使用が試みられてきたが，ターンオフタイムや逆弧・通弧などの不安定性，温度制御などの制約のために実績は少なかったが，動作の安定なサイリスタの出現，フィードバック回路やサイリスタの特性に適応した転流回路の開発によって，一挙に実用段階にはいったものである。情報化時代を迎えて電子計算機の利用がふえ，それに応じて無停電電源として自励式インバータの需要もなお増加するものと予想される。さらに，この高速度スイッチングサイリスタの実現によって，直流電動機の無接点制御として直流電気車に直流チョッパが採用されるようになり，また逆導通サイリスタの開発で実用化に大きく前進している。

定電圧定周波電源における自励式インバータの研究は，可変周波自励式インバータに拡大され，従来の直流電動機駆動方式に代わる，保守性のよい交流電動機駆動方式が実用期にはいらんとしており，種類の報告が提供されている。また，サイリスタのスイッチング特性の改善とともに，1kHz以上の高周波インバータの開発も進み，誘導加熱用

の静止形電源として，従来の高周波電動発電機に代わる傾向を示している。

以上のように，今や電力変換装置の分野はサイリスタが主流になり，サイリスタの応用はますますその領域を拡大する傾向にある。従来，水銀整流器の最後の分野と考えられていた，直流送電用高電圧電力変換装置にもサイリスタの適用が進められている。また，その一環として3kV交流制御サイリスタ装置が開発され，交流電力制御・コンデンサスイッチとしての実用化が報告されている。

サイリスタおよびその応用の技術の進歩は著しく，なお発展の段階にある。今後の注目すべき方向として交流制御，すなわち交流電動機の制御，交流電力の制御や高電圧領域への適用などがあげられよう。

今回，サイリスタ応用特集号として現状の一端を紹介することになった。サイリスタ応用の分野は広く，今回の紹介もその一部にすぎない。また，今後の発展も期待される。今後，なおいっそうのご指導ご支援をお願いするところである。

なお，本特集号以外にサイリスタ応用技術の報告として下記文献も参照されんことをお願いする。

- (1) 油冷油浸構造による屋外形サイリスタ高圧バルブ，三菱電機技報 45, No. 6, P. 683
- (2) 可変速電動機の選定法，三菱電機技報 45, No. 5, P. 561
- (3) 誘導加熱用高周波電源装置，三菱電機技報 45, No. 7, P. 873
- (4) 高圧AC制御サイリスタ装置，三菱電機技報 45, No. 2, P. 240

電力用サイリスタの最近の進歩

岡 久 雄*

Recent Progress of Power Thyristors

Kitaitami Works

Hisao OKA

Recently thyristors have made a sharp improvement of their performance and an increase in the variety of types, which extends the range of their application a great deal.

Discussion is made herein, in reference to the latest progress of the thyristors of power use and future problems of them, on three aspects of the devices, that is, high voltage withstanding, high current and high speed switching. The design parameter for these three items of performance has not a few points contradicting one another. Depending on the purpose of operation, an optimum design is to be made with the harmony among various factors in mind, so it is unavoidable that the types of the device become multifarious.

1. ま え が き

サイリスタが、各種電力応用の重要な制御素子として使用されはじめてから、10年以上の年月を経過したが、この間のサイリスタ素子の製造技術およびその応用技術の進歩はまことに目ざましく、今日では、広い分野にわたって、サイリスタは不可欠な電力制御素子であり、さらに新しい応用分野をひらきつつある。

このサイリスタの進歩は、もともとサイリスタが持っている電力制御素子あるいは無接点電力スイッチとしてのすぐれた特長と、それをさらにいっそう効果的に発揮させるための、製造技術・応用技術両面からの共同研究の努力とによってもたらされたものと言えよう。

とくに大電力サイリスタにおいては、それらを使用する装置や機器の性能と信頼性を左右する重要な機能をつかさどっているため、装置設計面からサイリスタに対して行なわれる特性上の要求事項は応用範囲が広まり、かつ実績が増えるにつれて多様となり、またきびしくなっている。

現在わが国は、大電力サイリスタについて、製造面でも応用面でも世界のトップクラスにある。

ここに、大電力サイリスタの最近の進歩について、そのあらましを述べるとともに、今後の展望について若干触れてみたい。

2. 大電力サイリスタ発展の歩み

サイリスタ応用装置を設計するに当たって、使用しうるサイリスタの電流量や耐圧が十分でない場合は、必要に応じてサイリスタを並列または直列に接続しなければならない。したがって100 A 400 V級のサイリスタが最大容量であったわが国サイリスタの創業当時から、サイリスタの直列・並列接続に対する研究が盛んに行なわれた⁽¹⁾。

しかし直並列接続は、配線や接続が複雑であるばかりでなく、使用するサイリスタにかかる責務を均等にするため、直列または並列につながれているサイリスタの特性をそろえるとか、CR分圧器あるいは陽極バラッサなどの補助回路を必要とするばかりでなく、ゲートトリガ回路にもいっせいつーおんのための十分な考慮を払わねばならない。装置の信頼度から考えれば、接続か所や部品数が多いことは好ましくなく、できれば装置の容量に適した大電流・高耐圧のサイリスタを数少なく使用したほうがよい。

したがってサイリスタの応用が進展するにつれて、大電流・高耐圧

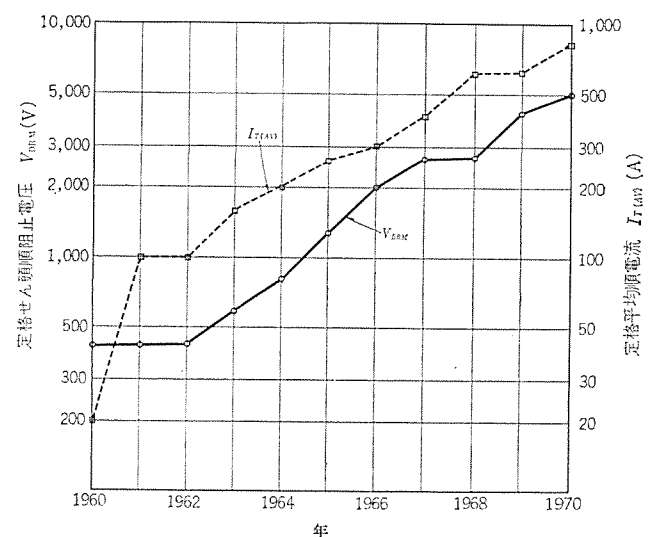


図 2.1 わが国におけるサイリスタの実用的最大定格の進歩
Progress of maximum ratings of power thyristor in Japan.

サイリスタに対する開発の要望は強く、つぎつぎと記録が更新されてきた。

図 2.1 にわが国におけるサイリスタの実用的最大定格電流および電圧の発達の経過を示す。

昭和 42 年に、欧米に先がけて実用化された、2,500 V 400 A 級のサイリスタは⁽²⁾、750 V の直流電動機を直列数 1 個で制御できるので、一般工業用としては一応十分な耐圧と言えた。これらは当時の盛んな鉄鋼設備投資の波によって、全国各地の新鋭製鉄所における圧延機の制御電源などに大量に使用され、大電力サイリスタ発展の一時代を形成した。

これら 2,500 V 400 A 級の大電力サイリスタは、個々のサイリスタから発散される損失熱も大きいので、両面から効果的に冷却できる平形構造が採用された。しかし数千馬力から 1 万馬力におよぶ大容量電動機を制御するには 400 A クラスのサイリスタといえども数多く並列に使用せねばならないので、電流量については、冷却法の研究とともにさらに大容量のものの開発が進められ、最近では 1,000 A 級の平形サイリスタも出現しつつある。

一方、2,500 V サイリスタの実用化によって、高圧サイリスタへの期待が高まり、超高圧直流送電の変換装置や、フリッカー防止などの高圧交流電力の制御にもサイリスタを応用しようという気運が高まった。

* 北伊丹製作所(工博)

表 2.1 三菱大電力サイリスタの最近の代表例
Latest examples of Mitsubishi high power thyristors.

| 一般電力用サイリスタ | | | | | |
|---------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--|
| 形 名 | 平均順電流 $I_T(AV)(A)$ | せん頭順阻止電圧 $V_{DRM}(V)$ | せん頭順電圧降下 $V_{TM}(V)$ | 構 造 | 備 考 |
| FT 800 C | 800 | 400~1,200 | 1.62/2,500 A | 平 形 | 溶接機, メッキ電源用 |
| FT 600 A | 600 | 200~600 | 1.60/1,900 A | 平 形 | 溶接機, メッキ電源用 |
| FT 500 A | 400 | 800~2,500 | 2.20/1,250 A | 平 形 | 直流電動機 (レオナード) 用 |
| FT 500 A(H) | 320 | 3,000~4,000 | 3.30/1,250 A | 平 形 | 直流送電, 高圧, 交流制御用 |
| 高 速 ス イ ッ チ ン グ サ イ リ ス タ | | | | | |
| 形 名 | 平均順電流 $I_T(AV)(A)$ | せん頭順阻止電圧 $V_{DRM}(V)$ | ターンオフ時間 $t_q(\mu s)$ | 構 造 | 備 考 |
| CR 100 CX | 70 | 1,500~1,800 | 30 | スタッド形 | 高圧, インバータ用 |
| FT 500 BY | 400 | 1,200~1,600 | 20 | 平 形 | 大容量インバータ, チョップ用 |
| 双 方 向 サ イ リ ス タ (トライアック) | | | | | |
| 形 名 | 実効電流 $I_T(RMS)(A)$ | せん頭阻止電圧 $V_{DRM}(V)$ | せん頭電圧降下 $V_{TM}(V)$ | 構 造 | 備 考 |
| BCR 300 A | 300 | 200~1,200 | 1.8/420 A | スタッド形 | 溶接機, 交流電動機, 電気炉 |
| 逆 導 通 サ イ リ ス タ (高速形) | | | | | |
| 形 名 | 平均順電流 $I_T(AV)(A)$ | 平均逆電流 $I_F(AV)(A)$ | せん頭順阻止電圧 $V_{DRM}(V)$ | ターンオフ時間 $t_q(\mu s)$ | 備 考 |
| FR 500 AX | 400 | 150 | 1,000~1,300 | 30 | 大容量インバータ, チョップ用, 平形 V_{DRM} 2,500 V のもの開発中 |

このような応用に対しては、サイリスタはできるだけ高い耐圧をもつ必要があるが、現在のところ一部実用化されているものには、4,000~5,000 V 級のサイリスタが使用されている。

サイリスタの大きな応用分野の一つであるインバータや直流チョップ装置では、強制転流方式をとっているため、サイリスタのターンオフ時間の短いものを使用せねばならない。この目的で製造されたターンオフ時間の短いサイリスタを、一般に高速スイッチングサイリスタと称しているが、インバータやチョップの大容量化につれて、高速スイッチングサイリスタの電流容量や耐圧の向上も強く要望されてきた。しかし高速スイッチングサイリスタでは、ターンオフ時間を短くするためにシリコンウエハ内のキャリアライフタイムを短くしているため、一般のサイリスタと比べ、大電流化や高耐圧化が困難であった。現在世界的に注目を集めている帝都高速度交通営団の高性能チョップ電車には、三菱高速スイッチングサイリスタ FT 500 BY が多数使用されているが、これはターンオフ時間が 20 μs で、かつ 1,300 V 400 A という大容量の素子である。

サイリスタの発展の過程にあつては、電流または電圧定格の上昇や特性改善による新機種開発のほか、応用的に新しい機能をもつサイリスタもいろいろ出現した。

ゲートより負のパルス電流を与えることにより、陽極電流をターンオフさせることのできるゲートターンオフサイリスタいわゆる GTO は⁽³⁾、サイリスタにおける転流問題を容易にするため、インバータやチョップ回路などにも、大いに期待されるところであるが、現時点では、ゲートターンオフゲインがせいぜい 10~20 と低く、また構造的に大電流・高耐圧のものをうることが困難であり、今のところ特殊な用途以外にはほとんど使われていない。

一般にサイリスタと言えば、逆阻止三端子サイリスタを指すが、家庭電気品などの交流負荷制御を対象に、比較的小電流のものから実用化されているトライアックと称される双方向三端子サイリスタも、最近では大容量のものが製造されるようになり、誘導電動機の速度制御や、電気炉・抵抗溶接機など大型機器への応用が進められてきた⁽⁴⁾。

トライアックの大容量化に当たっては、一方向の電流が流れ終わった瞬間に加わる電圧上昇率耐量すなわち転流特性が問題となるが、当社では早くからこの方面の研究に着手し、昭和 44 年には、当時世界最大容量のトライアック BCR 150 A(150 A 1,200 V) の生産販売を開始した。昭和 46 年には、さらに大きく記録を更新した BCR 300 A

(300 A 1,200 V) の量産が開始された。

サイリスタの機能的分類の中では、もっともおくれて実用化された逆導通サイリスタは⁽⁵⁾、一つのシリコンウエハ内に逆阻止サイリスタとダイオードとを逆並列に組み込んだ形になっているが、これには二つの意義をもっている。まず第 1 に、普通の逆阻止サイリスタを使用したインバータやチョップ装置では、電圧変動率を改善したり、転流を容易にするため、サイリスタと直接あるいは間接にダイオードを逆並列につなぐ場合が多い。したがって初めから同一シリコンウエハ内に組み込んでおけば、それだけ部品数や接続数が少なく、装置が簡素化される。それとともに配線による浮遊インダクタンスの減少によって、サイリスタのターンオフ時間が、転流時に有効に使用されることになり、同じターンオフ時間をもつ逆阻止サイリスタを用いる場合に比べ、転流コンデンサの値はかなり小さいのですむ。

第 2 には、サイリスタ部の逆耐圧が不要となるので、素子設計上同一順耐圧をもたらずに、逆阻止サイリスタの場合よりシリコンウエハの厚みを薄く、したがってそれだけ順電圧降下を減らすことができる。逆に同じシリコンウエハの厚みを用いるなら、順耐圧を高くすることができる。このことは高速スイッチングサイリスタの高耐圧化に対する一つの進路を与えたといってもよい。当社が昭和 46 年春に開発に成功した 2,500 V 400 A 40 μs の逆導通サイリスタ FR 500 AX-50 は、従来の高速スイッチングサイリスタとしての耐圧の壁を大きく打破ったものである。

表 2.1 に三菱大電力サイリスタの最近の代表例を示す。

3. サイリスタ製造技術の進歩

前章で述べたようにサイリスタの進歩は、用途に応じいろいろな角度から進められているが、一つの特性の改善が、他の特性を阻害する要因となる場合もあり、おのおのの特性の間の調和を保ちながら目的に応じた改善を行なう必要がある。

表 3.1 にシリコンのパラメータの増加に対する特性上の傾向を表示する。たとえば耐圧を向上させるためシリコンの比抵抗を高め、厚みを増せば、順電圧降下が増大して電流容量を低下させ、またターンオフ時間を大きくする。またターンオフ時間を小さくするためシリコン中のキャリアライフタイムを小さくすれば、漏れ電流が増加して耐圧を下げ、また順電圧降下も増大させて電流容量を低下させることとなる⁽⁶⁾。

表 3.1 シリコンウェハのパラメータに対するサイリスタ特性上の傾向
Dependence of thyristor characteristics upon the silicon wafer's parameters.

| サイリスタの特性 | シリコンウェハのパラメータ | | | |
|----------------------|---------------|------------|----|----|
| | 比抵抗 | キャリアライフタイム | 厚み | 直径 |
| 耐 圧 | ↗ | ↗ | ↗ | ↘ |
| もれ電流 | ↗ | ↘ | ↘ | ↗ |
| 順電圧 降下 | ↗ | ↘ | ↗ | ↘ |
| 過電流耐量 | ↘ | ↗ | ↘ | ↗ |
| ターンオン時間 | | ↘ | ↗ | ↗ |
| ターンオフ時間 | | ↗ | ↗ | ↗ |
| 臨界順電圧上昇率 (dv/dt) | ↘ | ↘ | ↗ | ↘ |
| 臨界順電流上昇率 (di/dt) | ↘ | ↗ | ↘ | ↘ |

パラメータの増加に対し ↗ は増加 ↘ は減少の方向で太い矢印は強い傾向を示す。

しかし上記のような相反傾向のジレンマは、材料の進歩や構造設計のくふうによってつぎつぎと解決の糸口が見出されてきた。

3.1 サイリスタの高耐圧化

サイリスタの耐圧は、基本的にはシリコンの比抵抗に依存し、高い耐圧のものほど比抵抗の高いシリコン単結晶を使用せねばならない。比抵抗の増大とともに逆バイアスされたPN接合の空乏層の幅もふえるので当然シリコンは厚くせねばならず、これが順電圧降下を増大させて、サイリスタの電流容量や過電流耐量を低下させる要因となる。定常電流に対しては、冷却を強化させることにより、電流容量の低下をカバーすることもできるが、過電流耐量についてはそれもむずかしく、結局同一電流容量（過電流耐量も含めて）で、サイリスタの耐圧を向上させるためには、シリコン径の大きいものを使う必要がある。

一般にシリコンの直径が大きくなるにともない、転位密度やリニエジが増加し、比抵抗が非常に高くなると、半径方向および軸方向の比抵抗のばらつきも増大するので、大電力高耐圧サイリスタの製造の成否は、高比抵抗シリコン単結晶製造技術そのものに大きく依存している。最近では40φあるいは50φの大口径でかつ比抵抗が200~400 Ωcm というようなすぐれたシリコン単結晶も得られるようになっており、この意味では6,000 V以上のサイリスタの実用化も可能である。

しかし表3.1にも示すように、高比抵抗・大口径のシリコンを使用した高耐圧大電力サイリスタでは、高耐圧・大電力になればなるほど強化されなければならない dv/dt や di/dt の耐量の増大がともないがたい。これらを克服するためにショートエミッタ構造の改良や⁽⁷⁾補助ゲート構造によるターンオン初期広がり速度の改善などが行なわれている。

その他高耐圧サイリスタでは、耐圧が高くなればなるほど、シリコン表面や外装構造における耐圧あるいは絶縁を強化せねばならない。シリコン表面の電界強度を緩和するためになされるベリング加工について言えば、4,000 V級までは図3.1の(a)に示す2段ベベル構造でもよいが、5,000 V以上となると陰極側のネガティブベベルの角度をシリコン平面に対し十分小さくせねばならず、陰極面積が極度に小さ

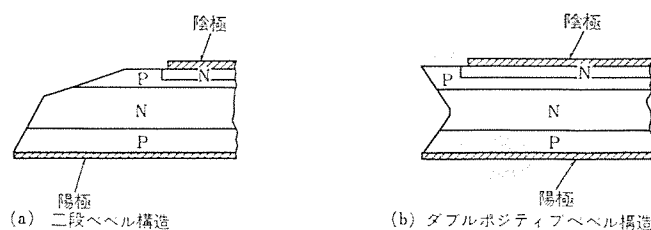


図 3.1 サイリスタのベリング構造
Beveled configurations of thyristor element.

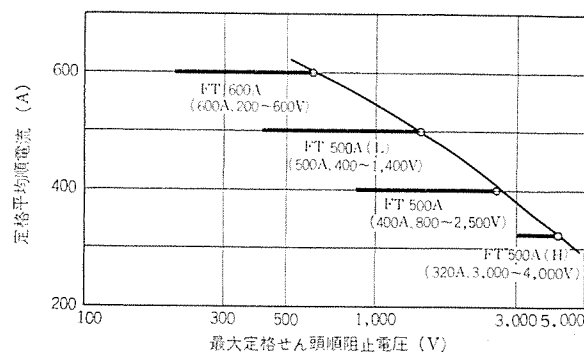


図 3.2 同一シリコン径を有するサイリスタの最大定格電圧と定格電流との関係

Relation between maximum voltage rating and current rating of thyristors with silicon wafer of the same diameter.

くなるので、図3.1(b)に示すようなダブルポジティブベベル構造が採用される。

しかしながら、現実的には、6,000 V以上の高耐圧大電力サイリスタを実用化するには、残された問題も少なくない。

3.2 サイリスタの大電流化

サイリスタの大電流化に対する基本的方法は、サイリスタ内での熱発生を抑え、逆に外部への熱放散をよくすることあるいはサイリスタの許容接合部温度を引上げることである。

そのため、大口径のシリコンを使用するのは当然であるが、所要耐圧に応じて必要最小限の厚みのものを使用し、できるだけ順電圧降下を小さくする。したがって3.1節とも関連し、設計上耐圧と電流容量にはある相関関係が生じ、同一径のシリコンを用いた場合は低電圧のものほど、電流容量が大となる。図3.2に同一径シリコンを用いた同一構造サイリスタ群の最大定格電圧と定格電流との関係を図示する。

外部への熱放散をよくすること、すなわち熱抵抗を小さくするために、最近では図3.3のような平形構造のものが多く使用されているが、これらは冷却フィンとともに圧接されてスタックを構成するので、装置自体も小形軽量化が図れる。

最近では50φの大口径シリコン単結晶を用い1,000 Aをこえる電流容量のサイリスタも製造できるようになっているが、前述のように電流容量の増大につれてきびしくなる過電流耐量や、 di/dt 耐量の要求をいかにして満足させるかが問題であり、この対策として点弧時の初期ターンオン面積の広がり容易にするようないろいろのゲート構造が考えられている。初期ターンオン面積を大きくするためには、できるだけゲートに隣接した陰極部分の長いものが有効である。図3.4に代表的なゲート構造の例を示す。この例では(d)のくし形や(c)のリングゲート構造がゲートに隣接する陰極部分が長い、必ずしもゲート入力に対し一様にターンオンを開始するとは限らない。これに対しては、ゲート電流の初期に立上りの早い大電流を印加するハイ

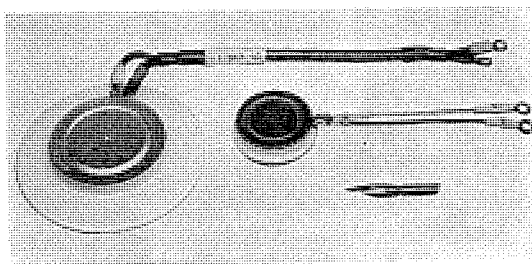


図 3.3 三菱平形サイリスタ
Mitsubishi Flat-Packaged thyristors.

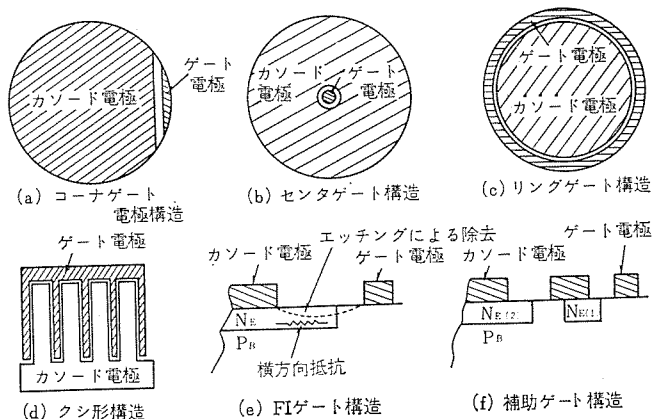


図 3.4 ゲート電極構造の説明

Pictorial illustration of gate geometry configurations.

ゲートドライブが、広い初期面積に様にターンオンさせるのに有効である⁽⁸⁾。

最近、主電流の一部を利用し、自動的にハイゲートドライブを行なう構造のものが発表されている。図 3.4(e)(f)はその代表的なものである。

サイリスタの大電流化にともない、大口徑のシリコンウエハを使用した場合に、十分考慮しなければならないもう一つの重要なこととは、異種金属間の熱膨張係数の差による機械的ひずみの影響が、直径の自乗に比例して大きくなるということである⁽⁶⁾。したがって、サイリスタの電流容量が大きくなるほど、ろう付け電極構造のものに比し、溶ダを使用しない加圧接触構造のものが有利となる。すなわち、ろう付け構造のものは、大口徑になるほど、ろう材の疲労や、シリコンへの機械的ひずみが大きくなり、サイリスタの特性や寿命に悪影響を及ぼしやすい。

3.3 サイリスタの高速化

サイリスタの高速化といえば、従来はシリコンウエハ中のキャリアライフタイムを短くすることによって、サイリスタのターンオフ時間を小さくすることであった。

キャリアライフタイムを短くする方法としては、1) 金または鉄などの重金属類の拡散、2) 高温からの急冷、3) 放射線の照射などがあるが、現在は1)がもっとも多く用いられている。

しかしキャリアライフタイムを短くすることは、表 3.1 にも示すように、もれ電流を増大し、高温時の耐圧を下げるのと同時に、順電圧降下を増大させて、電流容量を減らす働きをするので、高速にして、かつ高耐圧あるいは大電流のサイリスタを製作するのは、かなり困難とされていた。当社においてはシリコン中の金原子のふるまいを詳細に研究し、濃度制御に影響する因子を解明し、その結果金濃度をきわめて正確に再現性よく制御する技術を確認することに成功し、世界最高級の高耐圧大電流高速サイリスタ FT500BY (1,600V 400A 20 μ s)を生み出した。

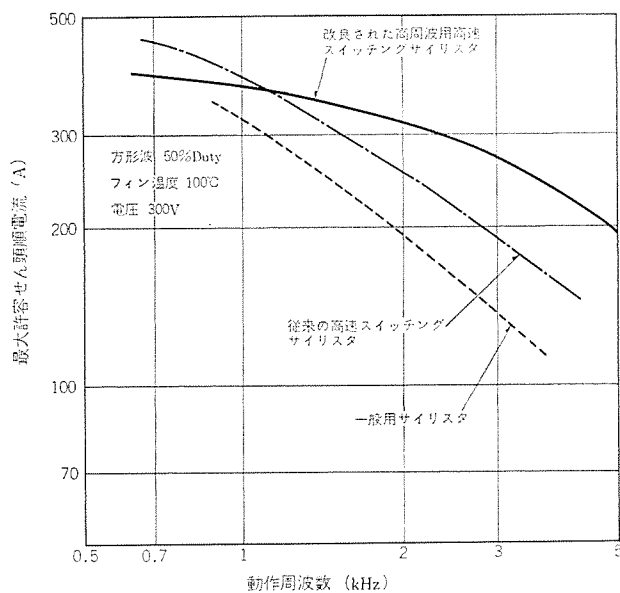


図 3.5 動作周波数とサイリスタの許容電流との関係の一例
Maximum allowable on-state peak current vs. operating frequency.

最近ではサイリスタインバータの応用範囲も広がり、誘導加熱炉などの高周波電源への応用も活発になってきた。

この種の用途に用いられる高速スイッチングサイリスタは、単にターンオフ時間が短いということだけでなく、高周波において、ターンオン時のスイッチング損失や、それにもとづく局部温度上昇が少なく、またターンオン面積の広がり速度が大きく、毎サイクル陰極全面を有効に用いることによって大電流を制御できるものでなければならない。これらの高周波におけるすぐれた特性は、ターンオフ時間の短いことと相反することとなり、ここにも最適設計が必要とされる。従来の高速スイッチングサイリスタでは、商用周波における電流容量に対し、3 kHz ですでに 1/3~1/4 の電流しか許容できなかったが、図 3.4 で述べたと同様なゲート構造の改良やキャリアライフタイムの正確な制御によって、高周波領域での電流低減率の少ない改良形高速スイッチングサイリスタが製造されている。図 3.5 に、一般サイリスタと従来の高速スイッチングサイリスタおよび、改良された高周波用高速スイッチングサイリスタの高周波特性の比較を示す⁽⁸⁾。

高速スイッチングサイリスタの高耐圧化に関しては、最近新しく検討されはじめている逆導通サイリスタが、一つの進路を与えていることは 2 章で述べたとおりである。

4. む す び

以上述べたように、最近のサイリスタの進歩発達には、目的に応じ各特性の調和をはかりながら、きめ細かい最適設計をすることによってなされる場合が多い。このことはサイリスタの多様化につながるものであるが、現在のようにサイリスタの応用が広がり、また装置全体の性能を左右する重要部品となっている以上、むしろ当然のことである。すなわち現時点では、万能選手のサイリスタを作ることはきわめて高価となり、需要がある程度まとまれば、目的に応じた特性をもつサイリスタを作るほうが得である。

またサイリスタの多様化およびそれらのサイリスタを最大有効に使用するため、特性の解析法や評価方法についても、最近はいちじるしく進歩している。たとえばターンオン領域の広がり速度は、電気的測定法・赤外線ふく射検知法・マイクロ波反射法などによってかなりく

わしく測定ができる。

今後はこのような測定手段や、材料の進歩、構造の改良などによって、さらにサイリスタの進歩発展は続けられるであろうが、まえがきにも述べ、従来そうであったように、今後ともサイリスタの素子設計者と装置設計者との密接な連携が必要であろう。

参 考 文 献

(1) 岡：三菱電機技報，37，No. 5，642（昭38）

(2) 岡，船川，中田：三菱電機技報，43，No. 4，602（昭44）

(3) 清水，岡：サイリスタハンドブック，P. 38，電気書院刊

(4) 飯田，小島ほか：三菱電機技報，45，No. 4，499（昭46）

(5) 岡，蒲生ほか：三菱電機技報，45，No. 4，471（昭46）

(6) 中田，山本ほか：三菱電機技報，43，No. 6，770（昭44）

(7) Choo：IEEE Trans，ED-17，No. 9，687（1970）

(8) 船川，蒲生ほか：三菱電機技報，45，No. 4，486（昭46）

最近登録された当社の実用新案

| 名 称 | 登 録 日 | 登 録 番 号 | 考 案 者 | 関 係 場 所 |
|-----------------|----------|---------|--------------------------------------|-------------|
| やぐら形電気こたつ | 45- 5-13 | 900670 | 長 沢 重 生・藤 田 勲 | 郡 山 製 作 所 |
| 冷蔵庫の霜取装置 | 45- 5-13 | 900672 | 高 田 弘 明・大 石 建 治 | 静 岡 製 作 所 |
| 電気機器用プラグ受具の取付装置 | 45- 5-13 | 900673 | 高 橋 正 晨・岡 部 勇 | 群 馬 製 作 所 |
| 冷蔵庫の除霜水排出装置 | 45- 5-13 | 900674 | 吉 田 匡 一 | 静 岡 製 作 所 |
| 押出式温水器の給湯装置 | 45- 5-13 | 900675 | 赤羽根正夫・根 岸 宣 匡 | 群 馬 製 作 所 |
| 直流用電磁継電器 | 45- 5-13 | 900676 | 丸 地 謙 二・中 村 隆 | 名 古 屋 製 作 所 |
| 直流用電磁継電器 | 45- 5-13 | 900677 | 丸 地 謙 二・中 村 隆 | 名 古 屋 製 作 所 |
| 電気器具類コードの結束バンド | 45- 5-13 | 900680 | {高 橋 正 晨・突 倉 周 作 {鶴 谷 嘉 正・関 根 正 次 | 群 馬 製 作 所 |
| 電気加湿器 | 45- 5-13 | 900682 | 町 原 義 太 郎・三 ヶ 田 文 彦 | 群 馬 製 作 所 |
| 電気加湿器 | 45- 5-13 | 900683 | {町 原 義 太 郎・三 ヶ 田 文 彦 {鶴 谷 嘉 正 | 群 馬 製 作 所 |
| 電気加湿器 | 45- 5-13 | 900684 | {町 原 義 太 郎・三 ヶ 田 文 彦 {鶴 谷 嘉 正 | 群 馬 製 作 所 |
| 電気調和機の風向き調節装置 | 45- 5-13 | 900685 | 池 田 日 登 志・望 月 勝 美 | 静 岡 製 作 所 |
| 引張りスイッチ | 45- 5-13 | 900686 | {岩 沢 清・今 井 将 {井 上 員 成 | 大 船 製 作 所 |
| 空気調和機の制御装置 | 45- 5-13 | 900687 | 伊 藤 七 男・渡 辺 進 | 静 岡 製 作 所 |
| 筒形ヒューズ着脱器 | 45- 5-13 | 900690 | 岡 戸 弘 行・中 村 隆 | 名 古 屋 製 作 所 |
| 電磁接触器 | 45- 5-13 | 900691 | 柴 宮 正 | 名 古 屋 製 作 所 |
| 配電盤 | 45- 5-13 | 900671 | 秋 山 豊 司 | 神 戸 製 作 所 |
| フリップフロップ回路 | 45- 5-13 | 900678 | {民 井 精 三・徳 富 義 宏 {前 田 聡 | 通 信 機 製 作 所 |
| 合成変成器 | 45- 5-13 | 900679 | {小 野 達 男・横 山 栄 一 {野 口 肇 | 福 山 製 作 所 |
| 空気乾燥器 | 45- 5-13 | 900681 | 大 畑 晃 一 | 和 歌 山 製 作 所 |
| フロースイッチ | 45- 5-13 | 900689 | 久 山 貴 美 雄・清 水 誠 | 商 品 研 究 所 |
| アーク溶接装置 | 45- 5-20 | 901582 | 赤 枝 潤 二 郎・鶴 飼 順 | 名 古 屋 製 作 所 |
| マイクロ波電力可変減衰器 | 45- 5-20 | 901581 | 榎 本 俊 彌・若 田 和 明 | 通 信 機 製 作 所 |
| シャシー保持装置 | 45- 5-26 | 902006 | 山 崎 明 彦・上 岡 章 男 | 通 信 機 製 作 所 |
| 遮断機の投入操作装置 | 45- 6- 2 | 902653 | 勝 田 久 登・竹 内 孝 治 | 神 戸 製 作 所 |
| マルチジャック | 45- 6- 2 | 902654 | 糸 賀 正 巳・岡 村 宗 和 | 京 都 製 作 所 |
| 直流電動機の運転制御装置 | 45- 6- 2 | 902655 | 太 田 幹 雄 | 伊 丹 製 作 所 |
| 製氷装置の水厚制御装置 | 45- 6- 2 | 902656 | 大 槻 昭 義 | 商 品 研 究 所 |

静止レオナード用 大容量サイリスタ装置

上 林 功*・有賀 恵蔵*・開 高 徹*

Large Capacity Thyristor Assembly for Variable DC Motor Drives

Itami Works

Isao UEBAYASHI・Keizo ARUGA・Akira KAIKO

A good number of thyristor assemblies for variable DC motor drives are now in operation as a power source of steel plants where the rolling is in full swing.

Description is made herein about a method composing the main circuit of the thyristor assembly working for the static Leonard system built by Mitsubishi and also about the construction of thyristor cubicles and thyristor stacks. As for the control characteristics, comparison is made between values obtained by the noninteger integral theory and those made available actual measurement. A fundamental composition of a control amplifying circuit is also stated herein.

1. ま え が き

1966年、新日本製鉄(株)堺製鉄所で計画された分塊圧延機用直流電源としてサイリスタを採用する当社の方針が、新日鉄関係者のご理解で承認され、1967年秋より750V 4,500kW 主機用可逆直流電源として、大容量サイリスタ装置の第1号機が、新日鉄 堺製鉄所で運転にはいり、以後順調に実動しており、大容量サイリスタ装置の実用性が実証された。以後、工業界全般にわたってサイリスタレオナード装置が採用されるようになったことは衆知のことである。とくに、サイリスタ装置においては、基礎工事の簡単さ・効率の良さ・保守の容易さ・制御の良さ等が従来のM-G等に比べてすぐれた点として一般にみとめられるところとなった。1968年に2,500V 400Aの大容量平形サイリスタが実用期にはいり、従来2個のサイリスタを直列に使用しなければならなかったところが、1個のサイリスタでよくなった。また、素子の並列数も素子1個当たりの電流容量に応じて少なくなり、サイリスタ装置も従来のものに比べて小形化された。平形素子を使用した標準系列の静止レオナード用サイリスタ装置の概要を紹介する。

2. サイリスタ変換装置回路

2.1 6相整流回路

単変換装置回路(一方向駆動用)として、均一3相ブリッジ回路が使用されている。また、複変換装置回路(可逆駆動用)として、均一3相ブリッジ逆並列接続が使用されている。単変換装置回路を図2.1に、複変換装置回路を図2.2に示す。

つぎの12相整流回路も含め、容量に応じて複数個のサイリスタが並列接続される。主回路部品の定数は、容量によって変わるが、ユニット化によって各スタック・各キュービクルごとに標準構成が確立されている。整流器用変圧器・リアクトルなどは、変換装置仕様・直流電流リップル・短絡電流に対する限流効果(ゲートシャ断効果)などによって設計される。また、逆並列接続回路には循環電流抑止方式を採用しており、逆並列接続された二つの変換装置間の短絡電流に対するゲートシャ断効果確保のために、限流リアクトルが設けられている。

2.2 組み合わせ12相整流回路

大容量装置で、サイリスタ並列数が多くなる場合、および電源側で第5・第7高調波が問題になるとき、2個の6相整流回路を30°の位相差をもたせて、直流出力側に接続する。

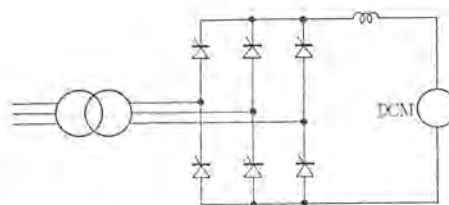


図 2.1 均一三相ブリッジ (単変換装置回路)
Three phase bridge (single converter).

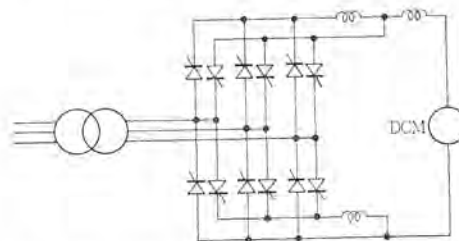


図 2.2 均一三相ブリッジ 逆並列接続 (複変換装置回路)
Anti-parallel three phase bridge (dual converter).

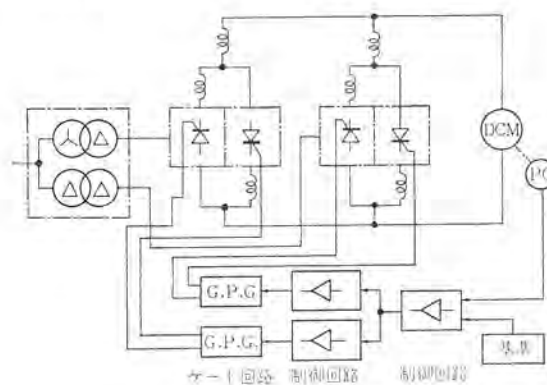


図 2.3 可逆駆動
Reversible drive (twelve phase dual converter).

図2.3に一例として、可逆駆動用として複変換装置回路二つを組み合わせた場合を示す。整流器用変圧器は、2台のうちの1台が他の1台に対して二次側で30°進み(または遅れ)になるように設けられ、(たとえば、 Δ/Δ と Δ/Δ)この2台の変圧器は1タンクに収納される。この位相差により、両方の変換装置回路で発生する第5・第7高調波は変圧器一次側で互いに打ち消しあって、電源に流れる高調波分を小さくする。各変換装置回路ごとに設けられている平

滑リアクトルは、前述の直流電流リップル、短絡電流に対する限流効果などのほかに、二つの変換装置回路の出力電圧が異なることから、電流が不平衡になるのをおさえる効果を基に設計される。図 2. 3 には組み合わせ 12 相整流回路の制御ループも示されている。この制御では速度と基準信号とをつき合せたあとで各変換装置に信号を分けるのが標準になっている。また、一方の順変換装置と他方の逆変換装置との間に循環電流が流れるのを押えるために、制御回路に循環電流防止回路が設けられている。

3. サイリスタキュービクル

サイリスタキュービクルの形状を決定する要因は、サイリスタ素子の冷却方法とその組立方法にある。大容量サイリスタ装置には一部、水冷式・油冷式が採用されているが、現在のところでは保守面・価格面でまさる風冷式が主流をなしている。一方、サイリスタ素子の組立方法としてはほとんどがトレイ式であったが、サイリスタ素子の使用面からの実績による信頼度の認識とともに、経済的でしかも取扱いの簡単なスタック式が取り入れられるようになった。

3.1 大容量サイリスタ装置

当社の大容量標準シリーズ CF-E 形サイリスタ装置のキュービクルは、サイリスタ盤と制御盤との列盤によって構成している。電流バランスを考慮に入れ、制御盤を中心にして左右にサイリスタ盤を容量に応じて列盤にする構成をとっている。サイリスタ装置の外観を、図 3. 1 に、その内部を図 3. 2 に示す。

サイリスタ盤は、図 3. 2 に示すように、平形大電力用サイリスタ素子

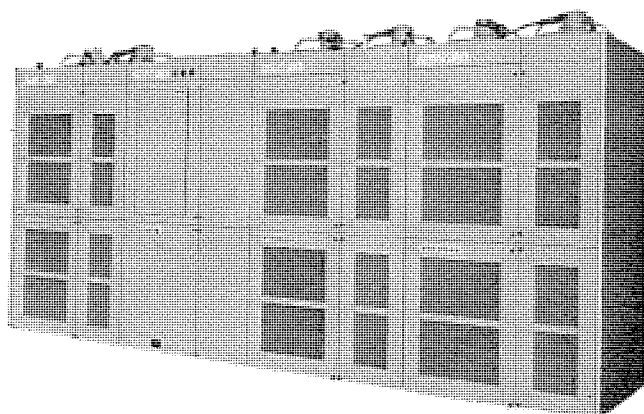


図 3. 1 CF-E 形サイリスタ装置
Exterior view of type CF-E thyristor cubicle.

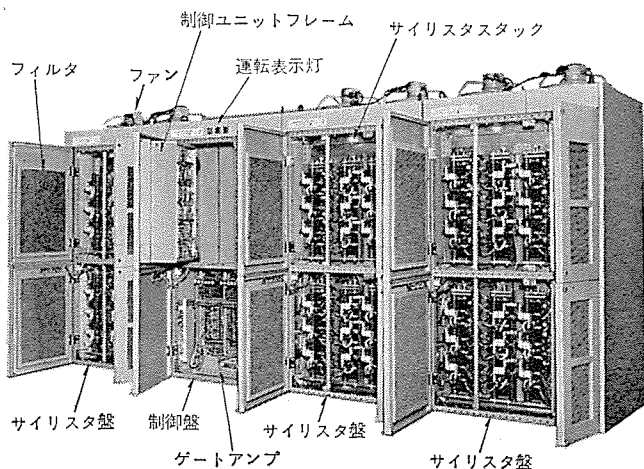


図 3. 2 CF-E 形サイリスタ装置内部
Interior view of type CF-E thyristor cubicle.

FT 500 A を 6 個あるいは 3 個で構成したスタックを 2 段に収納して、すべて正面側より目視できるようになっている。スタックは、とくに耐環境性に強く、ほこりのたい(堆)積の少ない構造になっている。冷却風は、盤正面よりエアフィルタを通じて取り入れ、冷却フィンを通して盤後面から上部へ排出している。この場合、冷却風はサイリスタ素子を一段しか冷却しないので、多段に冷却する場合のように風道内の温度上昇を考慮して素子定格を下げる必要がなく、すべての素子が均一な条件で使用できるので、素子数の減少、ひいては信頼性の向上にも有効である。冷却フィンは、逆並列接続で使用されるサイリスタ素子間では共用して有効に利用されている。サイリスタ素子の取換えは、冷却フィンとサイリスタ素子とをさらばねを介して圧接しているボルトをゆるめることにより、数分で完了することができる。

制御盤は、正面側にはゲートアンプ・ゲート回路・制御回路・保護リレー回路・補助回路端子が収納され、すべて正面とびらを開くことによって簡単に点検することが可能である。ゲート回路および制御回路は、機能ごとにプラグインタイプのユニット化を図り、各ユニットは他のセットとの互換性を有しており、図 3. 3 に示すように、制御ユニットフレームに収納されている。正面とびらには運転および故障表示灯を取りつけてあるので、故障がなんであるかを一目で判断できる。裏面側にはシールド板を隔てて主回路端子が設けられている。

制御回路のノイズ対策としては、制御回路部品と主回路バーおよび部品とのシールドと、さらに制御線には耐ノイズ 3 原則 (Separation,

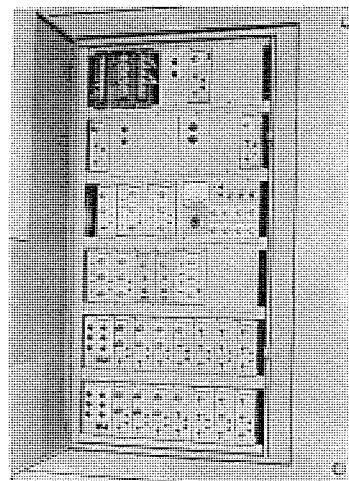


図 3. 3 CF-E 形サイリスタ装置制御ユニットフレーム
Control unit frame of type CF-E thyristor equipment.

表 3. 1 CF-E 形サイリスタ装置定格表
List of ratings of type CF-E thyristor equipment.

| 定格容量 kW | 出力直流電圧 V | 外形寸法 mm | | | | 重量 kg |
|------------|-------------|---------|-------|-------|----------|----------|
| | | 幅 | 奥行き | 高さ | ファンを含む高さ | |
| 1,800 | 770 | 2,664 | 1,120 | 2,300 | 2,600 | 1,650 |
| 2,230 | 770 | 3,568 | 1,120 | 2,300 | 2,600 | 2,300 |
| 2,660 | 770 | 3,568 | 1,120 | 2,300 | 2,600 | 2,450 |
| 3,100 | 770 | 3,768 | 1,120 | 2,300 | 2,600 | 2,450 |
| 3,530 | 770 | 3,968 | 1,120 | 2,300 | 2,600 | 2,850 |
| 3,960 | 770 | 4,872 | 1,120 | 2,300 | 2,600 | 3,550 |
| 4,390 | 770 | 4,872 | 1,120 | 2,300 | 2,600 | 3,750 |
| 4,820 | 770 | 5,776 | 1,120 | 2,300 | 2,600 | 4,250 |
| 5,260 | 770 | 5,776 | 1,120 | 2,300 | 2,600 | 4,450 |
| 5,690 | 770 | 5,976 | 1,120 | 2,300 | 2,600 | 4,650 |
| 6,120 | 770 | 6,176 | 1,120 | 2,300 | 2,600 | 4,850 |
| 6,550 | 770 | 6,376 | 1,120 | 2,300 | 2,600 | 5,050 |
| 6,980 | 770 | 6,576 | 1,120 | 2,300 | 2,600 | 5,250 |

- (1) 三相ブリッジおよび三相ブリッジ逆並列結線と同じである
(2) 定格容量は上表では 770 V について記したが、他に 230 V, 460 V, 620 V がある
(3) 定格容量の過負荷条件は 100% 連続, 150% 1 分間である

Twisting および Shielding) が守られていて、ノイズによって誤動作することはなく、安定に運転できるように配慮されている。

CF-E 形サイリスタ装置の定格表を表 3.1 に示す。サイリスタ装置の容量が 7,000 kW を越える場合には、7,000 kW 以下の同じセットを複数組作り、外部で並列接続して簡単に組立・構成することができる。また、並列数を追加したい場合には、サイリスタ盤のみを追加列盤することによって容量増加を簡単に行なうことが可能である。

3.2 中・小容量サイリスタ装置

大容量サイリスタ装置標準シリーズ CF-E 形の系列として中小容量シリーズも準備されている。中容量サイリスタ装置は、平形サイリスタ素子 FT 500 A を前記 CF-E 形と同形のスタックに使用した風冷式で、1,370 kW DC 770 V 100 % 連続、150 % 1 分間以下に採用している。制御ユニットは、ゲート回路等の一部を除いて CF-E 形の制御ユニットと互換性を有している。形名を CF-D と称し、その外観を図 3.4 に示す。

さらに小形化した CF-F 形サイリスタ装置は、図 3.5 に示すように、上半分に電動機回路のスイッチ、リレー類を取り付けた制御盤に収納して一体化を図り、88 kW DC 440 V 100 % 連続、150 % 1 分間以下に採用している。サイリスタ素子には FT 250 を使用し、スタック



図 3.4 CF-D 形サイリスタ装置
Exterior view of type CF-D thyristor cubicle.



図 3.5 CF-F 形サイリスタ装置
Exterior view of type CF-F thyristor panel.

ごとくに交換できる。制御回路の演算増幅器等に IC を大幅に導入している。

4. 制御装置

4.1 制御特性

大容量サイリスタレオナード装置に限らず、あらゆる用途のサイリスタレオナード装置は、制御の面からみると、安定性・応答速度・精度・信頼性・寿命・保守調整の容易さにすぐれていなければならない。これらのどれが欠けても安全な動作は望みがたく、卓越した制御系とはいえない。この卓越した制御を行なうためには、次の三つの基本が確立していなければならない。その第 1 はすぐれた制御理論であり、第 2 は優秀な回路部品で、第 3 は巧みな回路構成である。

まず、当社では制御系の解析には、計算方法が簡単で、計算値と実測値とが完全に一致する非整数階積分理論を使用している。この非整数階積分理論によれば、どのような形の制御系の伝達関数も次式の等価ゲイン直線で表わすことができる。

$$G(s) = \left(\frac{\omega_c}{s} \right)^K e^{-\tau s}$$

ω_c : クロスオーバー周波数

τ : 等価むだ時間

K : 定数 (1 ~ 2 の数値)

また、上式の等価ゲイン直線で表わすことのできない系は、自動制御系としてふさわしくないことが確かめられている。

当社においては、上式における K , ω_c の各種の値についてデジタル計算機によって計算された過渡特性曲線をもっており、したがって周波数特性がわかれば、むだ時間 $1/s^K$ 系を求めて過渡特性を正確に推測することができる。

図 4.1 にタンデムコールドシルにおける速度制御系のボード線図を示す。図 4.2 は、この装置の速度制御系の過渡応答で、図 4.1 より計算によって求められた過渡応答であり、図 4.3 は装置における過渡応答の実測値を示す。図 4.2, 図 4.3 よりわかるように、図 4.1 より計算・推測された過渡応答は、実測値と非常によく一致し

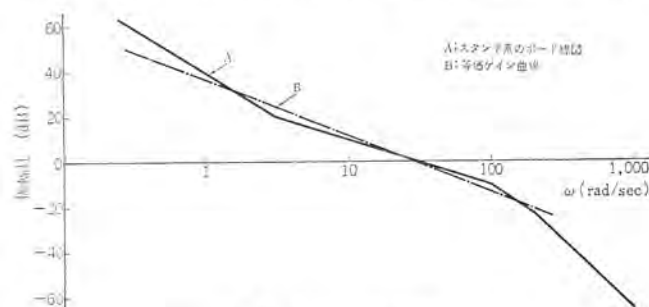


図 4.1 ボード線図
Bode diagram.

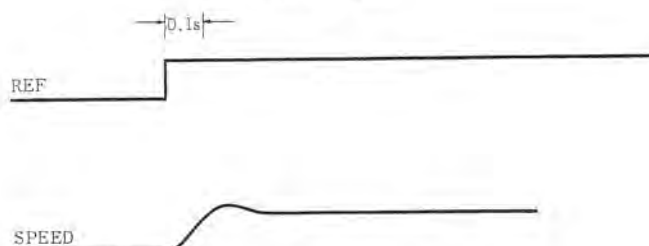


図 4.2 過渡応答 (計算値)
Transient response for step reference
(Calculated value).

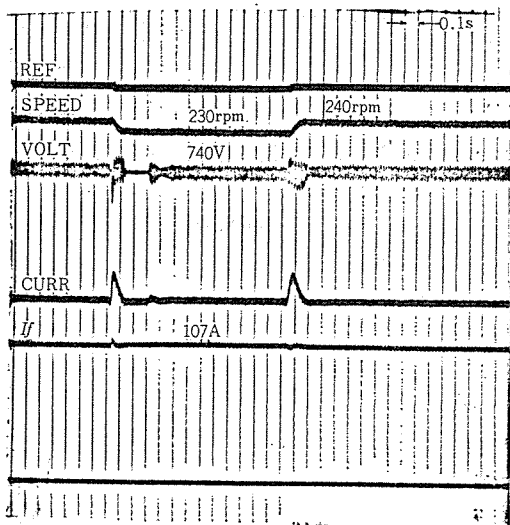


図 4.3 過渡応答 (実測値)
Transient response for step reference
(measured value).

ている。

4.2 制御回路

制御回路の標準としては、速度制御回路・電流制御回路・電圧制御回路・磁束制御回路等がある。磁束制御回路は、直流電動機の界磁を制御するための回路で、一般には速度制御回路とともに用いられ、直流電動機の弱め界磁領域における速度の制御を界磁電流を変化させて行なうことを目的にしている。

当社における制御回路には、図 4.4 に示すように、標準として、電流マイナーループが付加されている。電流マイナーループは次のような特長を持っている。まず第1に、直流電動機・サイリスタ装置内にある非直線の要素を直線化する。第2として、サイリスタ装置に電流制限を設けることができる。この電流制限回路は、サイリスタ装置に過負荷耐量以上の電流が流れないように制限し、サイリスタ装置を保護するための重要な回路である。第3として、この電流マイナーループは、電動機の立上り速度を決定する。電動機および機械の GD^2 には大きな差がある。電流マイナーループは、この時定数の差に関係なく速度応答を同じにすることができる。

図 4.4 は速度制御回路を示す。直流電動機の回転数をパイロット発電機 (PG) で検出し、基準値との偏差を増幅器によって増幅し、電流ループを通してゲート回路の入力信号にする。この入力信号によってゲートパルスの位相制御を行ない、サイリスタ装置の出力電圧を制御して直流電動機を速度を制御する。この場合、電流マイナーループが付加されているため、加速時、減速時および定速運転時も含めて負荷電流はある一定値以下に制限される。電流制御・電圧制御の場合も同様に基準値と電流、あるいは電圧の検出値との偏差を増幅し、ゲート回路で位相制御を行なってサイリスタ装置の出力電流あるいは出力電圧を制御する。

以上是最も基本的な制御ループであり、主機用レオナード装置においては、上ロール・下ロール間のロードバランス回路、弱め界磁領域で電流制限値を上げるための回路 (可変リミット回路)、また弱め界磁領域で直流電動機側のゲインが低下するが、これを制御ループで補償する回路 (ゲイン補償回路) 等がそれぞれの必要性に応じて取り付けら

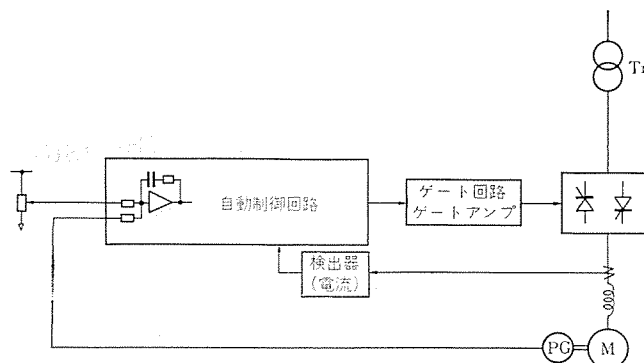


図 4.4 速度制御回路
Speed control circuit

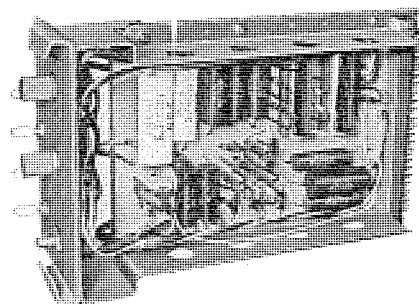


図 4.5 制御ユニット
Control unit.

れる。

4.3 制御ユニット

制御ユニットは、図 4.5 に示すように、前面に調整用ボリュームおよび定数切換用スイッチを持ち、各直流電動機および機械の定数に応じた任意の伝達関数を作ることができる。したがって、ユニットの種類は非常に少なく、一つのユニットがどのセットにも共通に使用できる。しかも、調整用ボリュームおよび切換えスイッチが前面板に取り付けられているために調整が容易な構造になっている。また、各ユニットには高性能なトランジスタ式演算増幅器、さらには IC 演算増幅器を導入して小形化されている。演算増幅器・補償要素はプリント基板に組まれている。これらのユニットは、制御フレームに組み込まれている。また、制御フレームにはメータ盤が取り付けられており、各増幅器のチェックはこのメータ盤で容易にできる。このユニットを構成する部品は、十分な検定試験を行なった安定性・信頼性にすぐれたものである。また、ノイズに対しても考慮し、ノイズを受けない構造にしている。

5. む す び

以上、当社で製作して実動にはっている大容量の静止レオナード用サイリスタ装置の主回路の回路構成、制御回路および制御特性、キュービクルの構造および内部構造について紹介した。整流器の分野での半導体技術・制御技術等の技術面での進歩が激しく、現在当社標準となっている装置も技術の進歩とともに、さらに小形化され、保守性・性能面においてすぐれたものにしていかなければならない。

最後に、積極的にサイリスタ装置を採用され、その発展にご指導いただいた各位に厚くお礼申し上げます。

普及形サイリスタレオナード装置

大道 隆*・長谷川雅言*・西 祥 男*

Small Capacity Thyristor Assemblies for Variable DC Motor Drives

Kobe Works Takashi OHMICHI・Masakoto HASEGAWA・Yoshio NISHI

It is almost a decade since the Thyristor Leonard made a debut as a electric power source of variable speed motors. The new apparatus has been well commented and extensively employed in various industries including steel and paper making, still finding its way into new fields.

This article introduces the outline of a series of the Thyristor Leonard systems of types THL-A, -C and -D as a power source to general industries and also of type THL-E developed newly. The text also covers the Company's products in this line sent to the market up to the present such as practical examples of precision speed control, an armature change-over reversible operation system and a automatic field weakening control.

1. ま え が き

可変速電動機用の電源として、サイリスタレオナード装置が脚光を浴びて登場してからはや10年近くなるが、その間に鉄鋼・製紙をはじめ一般工業に広く採用され、応用範囲は直流電動機の使用されるあらゆる分野にますます浸透しつつある。

当社においては、一般工業用サイリスタレオナード装置として、従来のTHL-A形・-C形・-D形シリーズのほかに、さらに、小形化をはかり、保守点検に容易な構造を考慮するとともに、制御回路の演算増幅器もIC化したTHL-E形シリーズを開発した。

本文においては、THL形シリーズサイリスタレオナード装置の概要と、その応用例について述べる。

2. THL形シリーズ サイリスタレオナード装置の概要

現在数kWから200kW程度までの一般工業用サイリスタレオナード装置として、THL-A形、THL-C形シリーズがあり、また7.5kW以下の小容量用として、THL-D形シリーズを製作している。

THL-C形シリーズは、高性能・高精度を要する連続プラント自動制御、パラボラアンテナ駆動装置、NC付き工作機械の位置制御用等に最適であり、広い応用範囲を持っている。これに対し、THL-A形およびTHL-D形シリーズは、THL-C形ほどの高性能を必要としないものに使用される。A形シリーズは、サイリスタレオナードの全主要部が1ブロックに組立られており小形化している。また特殊な制御方式の要求に対しては、追加プリントカードを付加することにより、要求に応じられるようになっている。D形シリーズでは、さらにスイッチギヤ部

をも含めて、壁掛形の制御盤に収納されたもので、コンパクトにまとめられている。THL-A形・D形ともに、取付けスペースが制限されがちな、工作機械や輪転機等の駆動用に広く使用されている。

新製品THL-E形シリーズは、THL-C形と同等の高性能を有し、しかも小形化するとともに保守点検が容易であるようにするため、1部の回路変更、制御回路のプリントカード化、構造を簡略化一体化したものであり、将来THL-A形・C形に代わり、ロット製作、量産化をめざしている。

THL-A・C・D形については、すでに紹介済みであるので、ここではTHL-E形を中心に述べることにする。

THL-E形シリーズサイリスタレオナード装置は、サイリスタ整流回路・保護装置・制御増幅器・点弧装置・起動停止操作リレー回路等必要な回路を一括して一つのユニットにまとめられている。ユニットはサイリスタ整流回路・制御回路・保護装置の3ブロックに分割できる構造で、

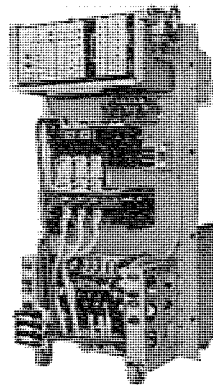


図 2.1 THL-E-S 322 F 形 サイリスタレオナード
Front view of type THL-E-S 322 F thyristor Leonard.

表 2.1 THLシリーズサイリスタレオナード性能表
Specifications of type THL thyristor Leonard.

| 形 名 | 出力特性 | AC入力電圧/DC出力電圧 V | 最大DCM容量 kW | 盤 構 造 | 整 流 回 路 | 用 途 | 電 源 変 動 許 容 範 囲 | 速度制御範囲 | 速度制御精度 |
|---------|---------------|--------------------|---------------|-------|----------------------|----------------------|--------------------|--------|--------|
| THL-A 形 | 片 方 向 | 200-220/220 | 90 | 据 置 形 | 3φ混合または 均一ブリッジ | 電圧制御 電流制御 速度制御 | 電圧±10% 周波数±1Hz | 1:100 | ±1% |
| | 両 方 向 | 400-440/440 | 180 | | 3φ半波 | | | | |
| THL-C 形 | 片 方 向 | 200-220/220 | 110 | 据 置 形 | 3φ混合または 均一ブリッジ | | | 1:100 | ±0.5% |
| | 片 方 向 | 400-440/440 | 220 | | 3φ全波 均一ブリッジ | | | | |
| THL-D 形 | 両 方 向 | 200-220/220 | 110 | 壁 掛 形 | 1φ混合ブリッジ 3φ混合ブリッジ | | | 1:10 | ±2% |
| | 両 方 向 | 400-440/440 | 220 | | | | | | |
| THL-E 形 | THL-C 形 と 同 じ | | | | | | | | |

各ブロック間は完全に配線してあるので、使用する場合は入出力電力線と必要な制御線を接続するのみでよい。

制御回路は制御増幅器・点弧装置・起動停止操作リレー回路で構成し、すべてプラグインカードにまとめられている。図 2.1 に THL-ES 322 F 形 220 V 230 A 定格のユニット外観を示す。

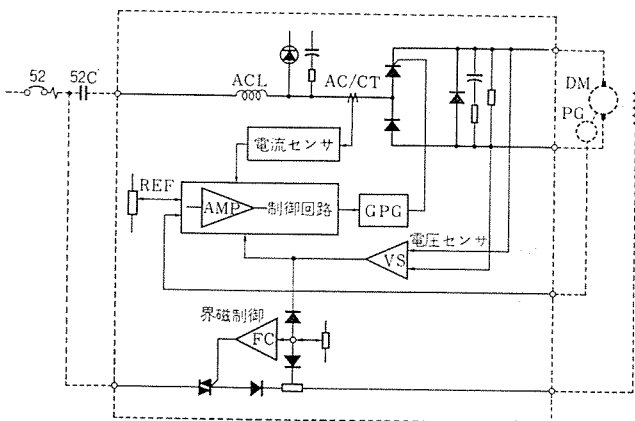


図 2.2 THL-E-S 322 形 基本ブロック図
Basic block diagram of type THL-E-S 322 thyristor Leonard.

表 2.2 THL-E 形 仕様一覧表
Specification table of type THL-E thyristor Leonard.

| 交流電源 | 電 圧 | 3 φ |
|-----------------------------|---------------------|------------------------------------|
| | 周 波 数 | |
| 電動機 | 出 力 | 出力 kW |
| | 電 圧 | 0.37 |
| | 電 流 | 0.55 |
| | 回 転 数 | 0.75 |
| | 電圧制御範囲 | 1.1 S 320 D 620 |
| | 1.5 | |
| | 界磁制御範囲 | 2.2 |
| | 連 続 | 3.7 |
| | 過 負 荷 | 5.5 |
| | ブ ロ ア | IM kW φ V |
| | 7.5 | |
| | 他 助 | 11 S 322 D 622 S 342 D 642 |
| | 15 | |
| | 分直直巻 | 18.5 |
| | 回転方向 | 22 |
| 可逆方式 | 微動逆転 | 30 |
| | デュアルコンバータ | 37 S 322 F D 622 F |
| | 電機子切換え | 45 |
| | 界磁切換え | 55 |
| | GD ² | 75 S 623 F D 623 F S 342 F D 642 F |
| 電動機軸に換算した負荷 GD ² | 90 | |
| 速度発電機 | 110 S 625 F D 625 F | |
| | 150 S 643 F D 643 F | |
| | 185 | |
| | 220 S 645 F D 645 F | |

| 電 圧 | 220 V | 440 V | |
|---------|-------|-------|-----|
| 回 転 方 向 | 非可逆 | 可 逆 | |
| 非可逆 | 可 逆 | 非可逆 | 可 逆 |

| 電 源 定 格 | 相 数 | 3 |
|---------|-------|---------|
| 電 圧 | 電 圧 | 200 V |
| | | 220 V |
| | | 400 V |
| | | 440 V |
| | | 電圧変動範囲 |
| 周 波 数 | 周 波 数 | 50 Hz |
| | | 60 Hz |
| | | 周波数変動範囲 |
| 電源瞬断対策 | | ○ |

| サイリスタ電源 | 形 名 | | |
|----------|-------|------------|-------|
| 電 圧 | 電 圧 | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| 電 流 | 電 流 | | |
| | | | |
| 連 続 | 連 続 | 100 % | |
| | | | |
| 過 負 荷 | 過 負 荷 | 150 % 15 s | |
| | | 固 定 | 150 % |
| | | 電流制限 | 切換可変 |
| 連続可変 | 連続可変 | | |
| | | | |
| ゲートレッチャ断 | 250 % | | |

| 制 御 方 式 | 電 圧 制 御 | 電 流 制 御 | ± 1 % | ○ | | | | | | |
|---------|---------|---------|-------|------|-------|---|-------|---|---------|-----------|
| | | | | | ± 2 % | ○ | | | | |
| | | | | | | | ± 1 % | ○ | | |
| | | | | | | | | | ± 0.5 % | ○ |
| | | | | | | | | | | |
| 速度制御範囲 | 1 : 100 | | | | | | | | | |
| | | 設 定 器 | ○ | | | | | | | |
| | | | | 基準信号 | 電圧信号 | ○ | | | | |
| | | | | | | | 接点信号 | | ○ | |
| | | | | | | | | | | クッションスタート |

| 標 準 | オプシ | |
|------------|-------------|---|
| 補機電動機 | 電動機プロア 1 台 | ○ |
| (IM) | ライン補機 1 台 | ○ |
| 3 φ 220 V | ライン補機 2 台まで | ○ |
| 2.2 kW | 以下 | ○ |
| ダイナミックブレーキ | | ○ |

| 指 示 計 | 形 式 | 角 形 | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-----|-----|---|--|-------|--|---|---------|--|---|---------|--|---|-----------|---|--|-----------|---|--|-----------|--|---|
| | | | | | 広 角 形 | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 電源交流電圧計 | | ○ | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | 操作交流電圧計 | | ○ | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 直 流 電 圧 計 | ○ | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | 直 流 電 流 計 | ○ | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 界 磁 電 流 計 | | ○ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ライン速度計 | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 表 示 警 報 器 具 | 電 源 | ○ | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-----|---|--|-----|---|--|-----|--|---|-----|---|--|------------|--|---|
| | | | | 運 転 | ○ | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 停 止 | | ○ | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 故 障 | ○ | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 故 障 (フリッカ) | | ○ |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 信 号 ベ ル | | ○ | | | | | | | | | | | | | |

| 押 し ボ タ ン | 運 転 | ○ | | | | | | | |
|-----------|-----|---|--|-----|---|--|----------|--|---|
| | | | | 停 止 | ○ | | | | |
| | | | | | | | 警報ベルリセット | | ○ |
| | | | | | | | | | |

| 制 御 盤 | 自 立 閉 鎖 形 | ○ | | | | | | | | | | | |
|---------|-----------|---|--|-------|-----|-------------|-----|-----|-------------|-----|---------|-----|--|
| | | | | 塗 装 色 | 外 面 | 7.5BG 6/1.5 | 指定色 | | | | | | |
| | | | | | | | | 内 面 | 7.5BG 6/1.5 | 指定色 | | | |
| | | | | | | | | | | | 設 置 場 所 | 屋 内 | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 周 囲 温 度 | 0~40°C | | | | | | | | | | | | |

(4) スペック表

仕様の決定を迅速・確実に行なうと同時に、標準化を進めるために表 2. 2 に示すスペック表を作成した。将来このスペック表をコンピュータの入力として直接製作手配を行なう計画である。表 2. 2 に示すオプションは従来の製作実績のうち、比較的ひん度の高いものから選んであるが、制御システムの進歩にともない順次拡充していく計画である。

3. サイリスタレオナード装置の応用例

3.1 精密速度制御

標準の速度制御精度は $\pm 0.5\%$ であるが、これより高い制御精度が要求される場合は、アナログ速度制御とデジタル速度制御を併用する。アナログ方式はおもに過渡的な電源変動とか負荷変動に対して、デジタル方式はアナログ方式に使用している増幅器とか速度発電機に発生するドリフトを補正して、おもに定常時の周波数精度をそれぞれ満足させるように動作する。デジタル方式は長時間の集積誤差も積分制御により修正することができる。

図 3. 1 に精密速度制御の系統図を示す。図 3. 2 にデジタル速度

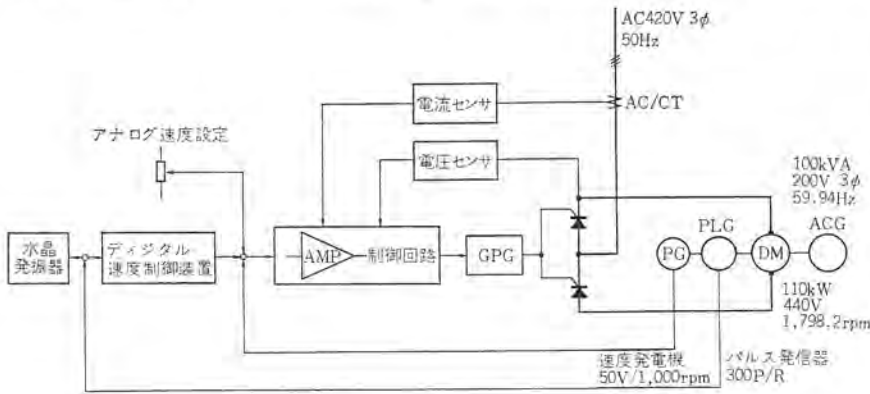


図 3. 1 精密速度制御ブロック図 Block diagram of high-precision speed control.

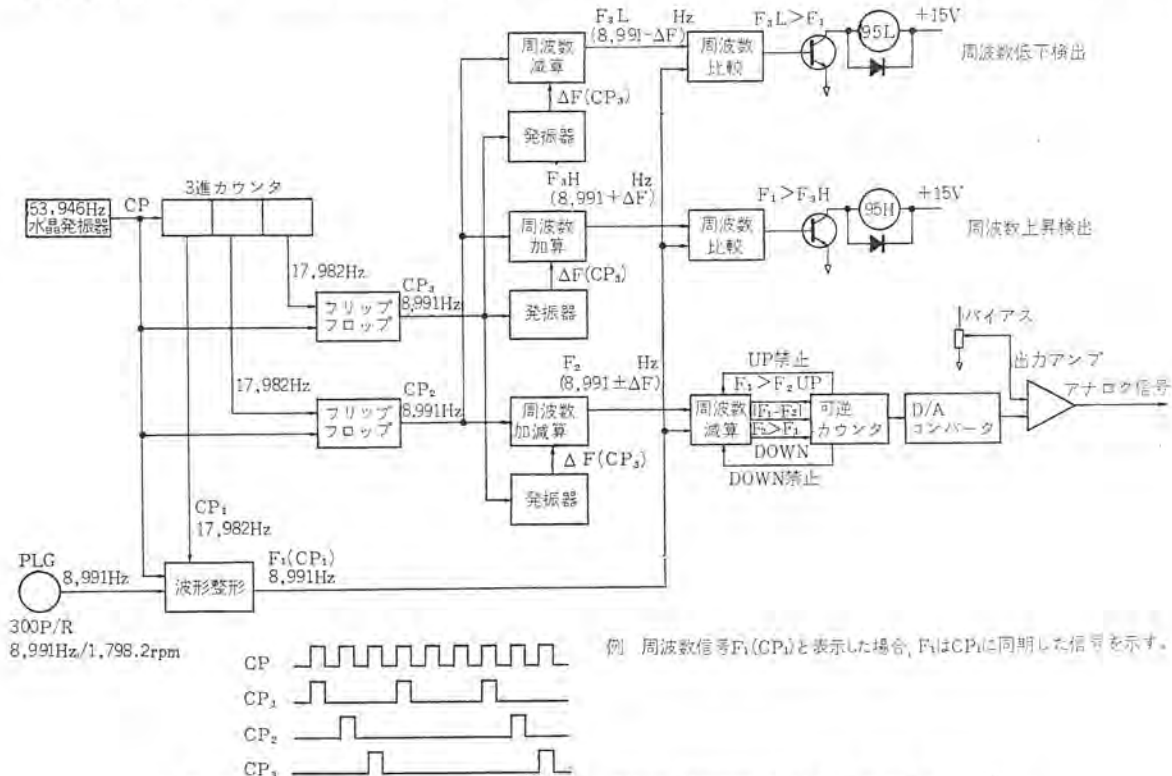


図 3. 2 デジタル速度制御装置ブロック図

制御装置のブロック図を示す。直流電動機の回転数は軸に取付けたパルス発信器で検出し、基準水晶発振器の周波数と比較し、誤差がある場合はこれを可逆カウンタで積分し、D/Aコンバータでアナログ信号に変換し、アナログ制御装置に補正信号を与える。デジタル制御装置はすべてIC化されている。サイリスタの点弧時の雑音による誤動作もなく、所期の周波数精度(たとえば $\pm 0.1\%$)を満足することができる。急激な負荷変動による周波数変化をたとえば $\pm 0.25\%$ 以内に抑えるために直流電動機にフライホイールを付加するときもあるが、フライホイールのGDはコンピュータによる制御系のシミュレーション(BACS: Block diagram Analysis Compiler System)を用いて決定される。

図 3. 3 に BACS による計算結果の一例を示す。

3.2 電機子切換え可逆運転方式

切換えひん度が少なく、200ms 程度の切換え時間が許容できる用途では、サイリスタの逆並列接続可逆運転方式より電機子切換え可逆運転方式が价格的に有利になる場合がある。ここではロール研削盤の往復台駆動用 6kW 直流電動機に応用された電機子切換え可逆運転について紹介する。図 3. 4 にこの方式の系統図を示す。こ

の方式の動作は次のようである。

(1) 正転または逆転指令が入る。

(2) リレー $M_{11} \sim M_{14}$ が付勢される。 M_{11} はリレー M_2 を消費し SC アンプと CC アンプを切離す。 M_{12} は RCS アンプの出力を CC アンプの入力に接続する。これにより RCS アンプ、CC アンプで閉ループができ、CC アンプの出力 I_0 が電機子電圧メモリ回路の出力電圧にセットされる。なお電機子電圧メモリ回路は切換え動作が始まる直前の電機子電圧を切換え期間中メモリする回路である。 M_{14} は VC アンプの入力に強制的に $-10V$ 以上の電圧を印加して、VC アンプの出力

例 周波数信号 $F_1(CP_1)$ と表示した場合、 F_1 は CP_1 に同期した信号を示す。

Block diagram of digital speed controller.

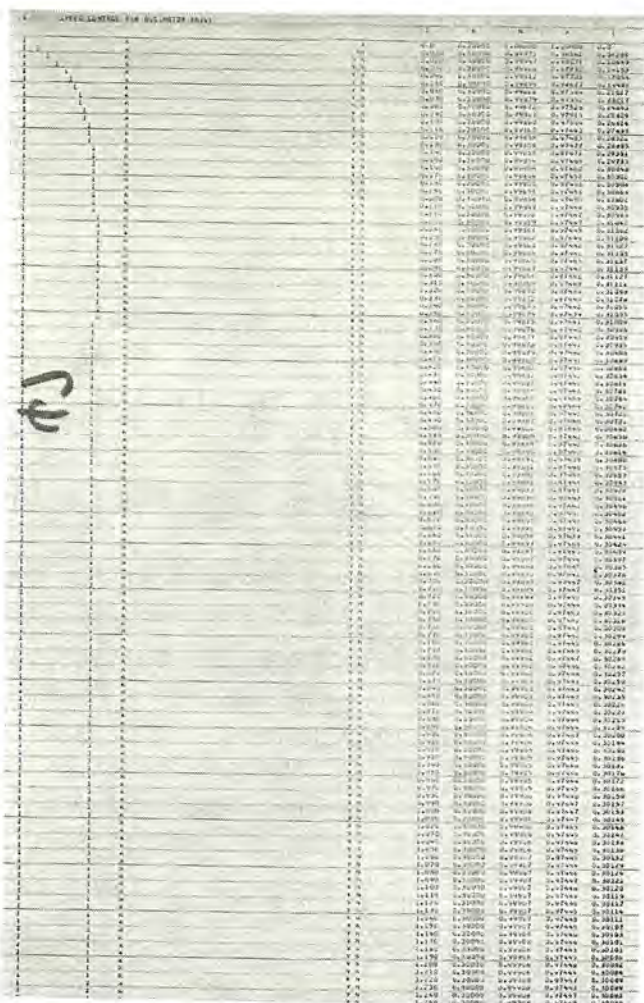


図 3.3 電子計算機による速度制御系の解析
Analysis of speed control system with computer.

力 V_0 を $+0.7V$ にクランプする。このとき点弧装置 GPG の点弧角は、 $160 \sim 180^\circ$ に保たれサイリスタ整流回路の出力電圧を負とし、電機子電流を完全に零に絞り込む。

(3) 正転または逆転指令から約 $50ms$ で電機子回路のコンタクト R または F が開き、約 $150ms$ で電機子回路コンタクト F または R が閉じる。電機子回路のコンタクトは無電流状態で開閉を行なう。

(4) M_{14} は付勢されてから約 $200ms$ 後に自動的に消勢され VC アンプの出力 V_0 を $+0.7V$ のクランプ値から解除する。

(5) M_{14} が消勢されてから約 $50ms$ 後に M_{11} 、 M_{12} 、 M_{13} 、 M_{14} が消勢され SC アンプ、CC アンプを正常の動作状態にもどすと、電機子電流が流れ始め、最初はインバータ運転で電動機を減速し、続いてコンバータ運転となり電動機を所定の速度まで加速して切換えを完了する。図 3.5 に切換え時のオシロを示すが切換え指令からインバータ電流が流れ始めるまでの所要時間は約 $250ms$ である。

3.3 界磁自動弱め制御

直流電動機速度制御を行なう方法として、電機子電圧制御と、それに続く界磁制御がある。すなわち速度零から基底速度までは電機子電圧を制御することによって速度調整し、基底速度から最大速度までは界磁制御によって速度調整するものである。基底速度までは最大トルクで使用し、負荷トルクが小さい場合には、高速回転で効率を上げて使用できるので、従来から、工作機用によく用いられている方法である。図 3.6 は、界磁電流・電機子電圧と電動機速度の関係を示す。

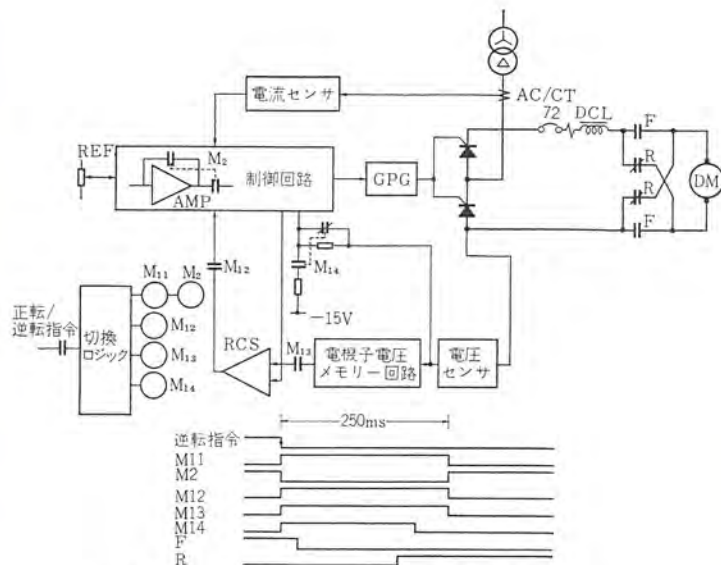


図 3.4 電機子切換え可逆運転ブロック図
Block diagram of armature reversing thyristor Leonard.

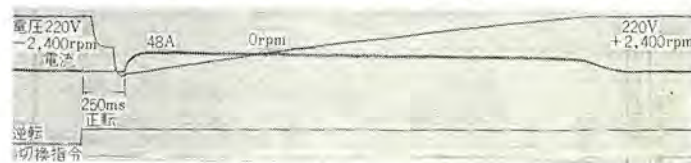


図 3.5 電機子切換え可逆運転オシロ
Oscillogram of armature reversing thyristor Leonard.

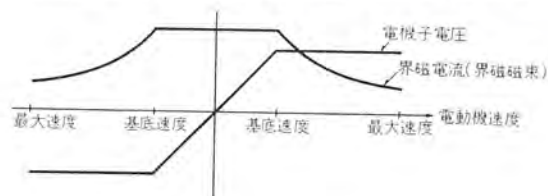


図 3.6 界磁電流・電機子電圧と電動機速度の関係
Relation between motor speed and field current or armature voltage.

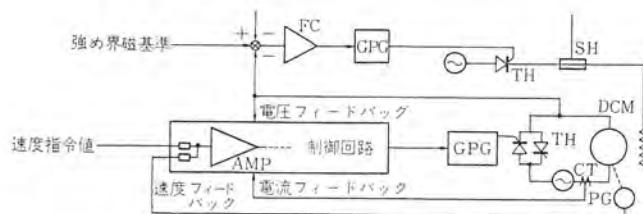


図 3.7 CEMF 制御による界磁自動弱め速度制御ブロック図
Block diagram of speed control system with counter EMF control.

ところで、単一速度指令で界磁の自動弱めをおこなう方法として、直流電動機の界磁特性に合わせて関数発生器を作り、速度指令信号が、一定強め界磁領域を越えて弱め界磁領域の値となると、電機子電圧を一定に保ちながら界磁電流を弱める回路構成のものと、強め界磁領域での最高速度、すなわち電機子電圧が定格値に達すると、その後は電機子電圧がわずかに上昇する入力信号で界磁電流を弱め、電機子電圧を、ほぼ一定に保ちながら速度制御する回路構成のものがある。

後者の方式を図 3.7 に示すが、この方式では制御する電動機の界磁特性に合わせた関数発生器が不要であり、回路の標準化も容易であるので、THL 形シリーズ付属用として、後者を標準としている。

図 3.7 において、電動機界磁電流は、制御増幅器 FC の出力に

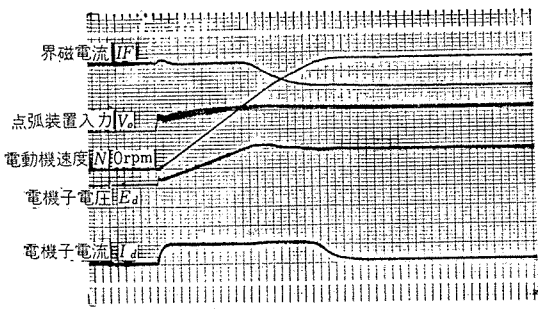


図 3.8 速度指令を零から最大まで変化させたときの過渡特性
Transient responses when speed reference changes from zero to maximum.

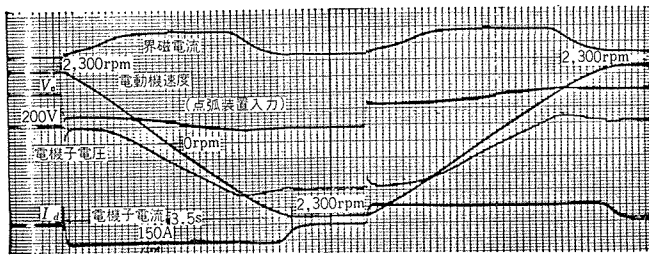


図 3.9 速度指令を正から負に変化させたときの過渡特性
(自動弱め装置付き)
Transient responses when speed reference changes from forward to reverse (field current control).

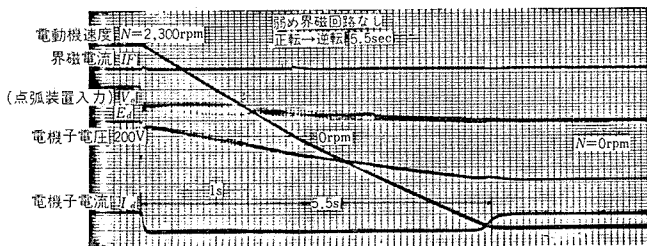


図 3.10 速度指令を正から負に変化させたときの過渡特性 (一定界磁)
Transient responses when speed reference changes from forward to reverse (field current constant).

によって制御されている。制御増幅器 FC は、電動機の逆起電力が、定格電圧一定となるように界磁電流を制御するが、定格電圧より低い領域では、異常な強め界磁にならないよう、界磁電流をフィードバックして、一定界磁制御をする回路となっている。

この方式によると、電機子電圧が定格値以下のときは、電動機には一定強め界磁電流が流れており、電動機速度は、電機子電圧のみによって制御される。速度指令値が上昇して、電機子電圧が定格値に達すると、その時点から、制御増幅器 FC に弱め界磁信号が入り、電機子電圧が一定値に制御され、電動機は界磁制御によって速度制御される。

図 3.8 は、図 3.7 の回路で速度指令値を零から最大まで変化させたときのオシログラムで、過渡状態でも、電機子電圧と界磁電流の関係が正常であることを示している。電機子電圧が少なくオーバーシュートしているのは、速度制御ループの応答速度が、界磁回路の時定数にくらべて、相当早いためであると考えられる。また電流マイナーループにより電機子電流を一定制限値に保ちながら、加速していることがわかる。

図 3.9、図 3.10 に、界磁自動弱め装置付きと、一定界磁との比較を示す。

この方式では、弱め界磁運転中に、負荷トルクが増しても、電機子電圧を一定に保ちながら界磁を強めていくので、電動機の最大トルク以内であれば、運転を続行できる長所を持っている。ここでは、逆並列接続両方向駆動サイリスタレオナードの例を示したが、片方向駆動サイリスタレオナードにも同一回路で、使用できる。また、発電制動を行なう場合にも、電機子電圧一定で、界磁電流が自動的に増加するため、各瞬時に於いて最大の制動トルクで、減速できる特長を持っている。

4. む す び

以上一般工業用の中小容量 THL 形 シリーズサイリスタレオナード装置の概要とともに、現在までの数々の製作経験を生かし、需要家各位の要望と最新の半導体技術を盛り込んだ THL-E 形 シリーズもあわせて紹介した。半導体およびその応用技術は日進月歩であり、われわれはさらに研究を重ね、信頼性の高いすぐれた装置を製作してゆくつもりである。

この小文により、サイリスタレオナード装置に対する理解をさらに深めていただければ幸である。

参 考 文 献

- (1) 杉本，長谷川，浜崎：一般工業用サイリスタレオナード装置，三菱電機技報 45，No. 5，569～571 (昭 46)

逆導通サイリスタ式 DC チョップ制御装置

北岡 隆*・芦谷 正裕*・成戸 昌司*

蒲 生 浩**・赤松 昌彦***

New Thyristor Chopper Controllers using Reverse Conducting Thyristors

Itami Works

Takashi KITAOKA・Masahiro ASHIYA・Masashi NARUTO

Kitaitami Works

Hiroshi GAMÔ

Central Research Laboratory

Masahiko AKAMATSU

Because of the remarkable improvement in the performance of large capacity semi-conductor elements and of the progress of chopper control technique, application of the chopper control equipment to the vehicle has entered into the stage of practical operation. Mitsubishi has supplied the chopper controller built by a quantity production to users ahead of all other world manufacturers. They have been operating very successfully. The Company has also developed new chopper controllers using reverse conducting thyristors, which have been delivered to the Chiyoda line of the Teito Rapid Transit Authorities and are new in commercial operation for several months. The new apparatus has very simple circuits and a small commutator, which suggests that it is advantageous to build large capacity thyristors in future, and that they have important factors as a standard type of the chopper. This article introduces the details and a test result of the elements, circuits and devices.

1. ま え が き

大容量半導体素子の著しい性能向上を制御技術との協調的進歩により、直流電車のチョップ制御方式も実用化され、当社はここ数年來の試作試験実績をもとに多数の量産形チョップ装置を世界に先駆けて製作・納入した。力行専用チョップ装置⁽¹⁾はすでに1年以上の営業運転実績を持ち、回生ブレーキ付きチョップ装置⁽²⁾もすでに5か月間順調な営業運転を続けている。

従来より、カム式制御装置と比較して外形・重量面・経済面で不利とされていたチョップ装置も、現在では同一性能を有する編成当たりの制御装置重量はカム式とほぼ同程度にまで小形軽量化されている。しかし、特に経済面を重視したよりいっそうの実用化を目指して研究・開発を続ける必要があり、その一方式として帝都高速度交通営団のご指導により逆導通サイリスタ式チョップ装置を開発・製作した。この方式は、素子数の低減および転流装置の小形化に大きな利点を有するもので、今後チョップ回路の主流をなすものと考えられる。

ここでは、たがいに協調をとって開発したチョップ用逆導通サイリスタおよびチョップ新回路方式について、さらに現在現車で約5か月間営業運転を続けている逆導通サイリスタ式の回生ブレーキ付きチョップ装置の内容と試験結果について報告する。

2. 逆導通サイリスタ

2.1 チョップ用サイリスタとしての逆導通サイリスタの特長

逆導通サイリスタが考案⁽³⁾されたのは、かなり以前であるが、その応用上の価値が見いだされ、実用化⁽⁴⁾されたのはごく最近のことである。逆導通サイリスタの構造は、図2.1に示すように、1枚の半導体ベレット中に、PNPN 4層からなるサイリスタ領域と、PN 2層からなるダイオード領域が逆並列接続となるように構成されたものである。その電気的特性は、その構造から容易に推定されるように、サ

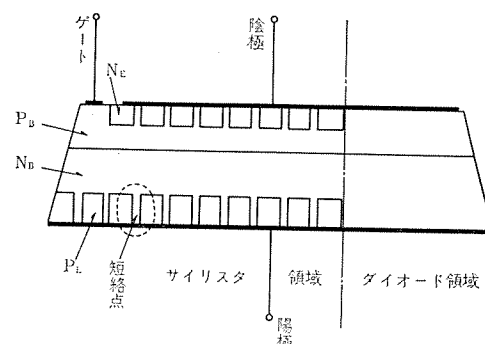


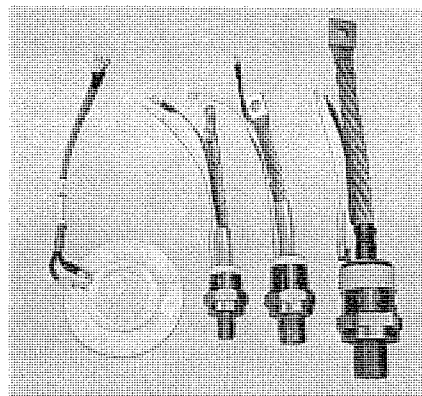
図 2.1 逆導通サイリスタの基本構造
Fundamental structure of reverse conducting thyristor.

イリスタとダイオードとを逆並列にしたものとまったく同じものであるが、このように一体構造とすることによって、とくにチョップ用高速スイッチング素子として、外部でダイオードとサイリスタを逆並列接続したものよりも大きな特長をうることができる。すなわち、構造上は、サイリスタの逆方向耐圧は必要でないで、図2.1に示すように、サイリスタ領域の P_E 層- N_B 層間接合に短絡部(ショートエミッタ構造)を設け、それによって順阻止電圧の向上、順電圧降下特性の向上、あるいは高速特性の向上をはかることができる。ターンオフ時間の短縮によって順電圧降下が著しく増大し、耐圧低下が生じ、これによって製造歩どまりの向上や、高耐圧・高速化を阻害されている高速スイッチングサイリスタでは逆導通形とすることによって、その製造が容易になり、より高耐圧大容量高速素子の実現が可能になる。

一方、実用上の重要な事項としてサイリスタとダイオードとを外部結線したときにはない、転流時のターンオフ失敗という問題がある。これはダイオード通電状態からサイリスタ順方向に急激に転流したとき、本来阻止状態を保つべきサイリスタが阻止能力を失なって導通してしまう現象で、ダイオード電流が大きくなったり、あるいはその減少率が大きくなると生じる。ここに素子が転流失敗に耐えうる能力を転

表 2.1 三菱逆導通サイリスタ定格特性一覧表 (暫定)
Characteristics and ratings of Mitsubishi reverse conducting thyristors (tentative).

| 項 目 | 記 号 | 単 位 | FR 500 AX-12~24 FR 500 AY-12~24 FR 500 AY-12~16 | RCR 300 AX-12~24 RCR 300 AY-4~16 | RCR 150 AX-12~24 RCR 150 AY-4~16 | RCR 70 AX-12~24 RCR 70 AY-4~16 |
|------------------|---------------|----------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 平均順電流 (サイリスタ部) | $I_{T(AV)}$ | A | 400 | 250 | 150 | 60 |
| 平均逆電流 (ダイオード部) | $I_{R(AV)}$ | A | 150 | 100 | 60 | 60 |
| サージ電流 (サイリスタ部) | I_{TSM} | A | 7,000 | 5,000 | 3,000 | 1,200 |
| サージ電流 (ダイオード部) | I_{RSM} | A | 3,500 | 2,000 | 1,200 | 1,200 |
| せん頭順阻止電圧 | V_{DRM} | V | W: 600~1,200 X: 600~1,200 Y: 600~800 | X: 600~1,200 Y: 200~800 | X: 600~1,200 Y: 200~8,900 | X: 600~1,200 Y: 200~800 |
| 臨界順電流上昇率 | di/dt | A/ μ s | 200 | 200 | 100 | 100 |
| 動作接合部温度 | T_j | $^{\circ}$ C | -40~+125 | -40~+125 | -40~+125 | -40~+125 |
| せん頭電圧降下 (サイリスタ部) | V_{TM} | V | 2.4(1,250 A) | 1.8(900 A) | 1.78(500 A) | 1.8(200 A) |
| せん頭電圧降下 (ダイオード部) | V_{RM} | V | 2.2(1,250 A) | 1.6(450 A) | 1.5 (180 A) | 1.6(200 A) |
| ゲートトリガ電流 | I_{GT} | mA | 350 | 350 | 300 | 100 |
| 臨界順阻止電圧上昇率 | dvo/dt | V/ μ s | 300 | 300 | 150 | 150 |
| ターンオフ時間 | t_o | μ s | W: 50 以下 X: 30 以下 Y: 15 以下 | X: 30 以下 Y: 15 以下 | X: 30 以下 Y: 15 以下 | X: 30 以下 Y: 15 以下 |
| 定常熱抵抗 (サイリスタ部) | θ_{tc} | $^{\circ}$ C/W | 0.05(θ_{tr}) | 0.10 | 0.17 | 0.40 |
| 定常熱抵抗 (ダイオード部) | θ_{tc} | $^{\circ}$ C/W | 0.10(θ_{tr}) | 0.32 | 0.45 | 0.40 |
| 外 形 | | | 平 形 | スタッド形 | スタッド形 | スタッド形 |



(左より: FR 500 AX, RCR 70 AY, RCR 150 AY, RCR 300 AX)

図 2.2 三菱逆導通サイリスタ
Mitsubishi reverse conducting thyristor series.

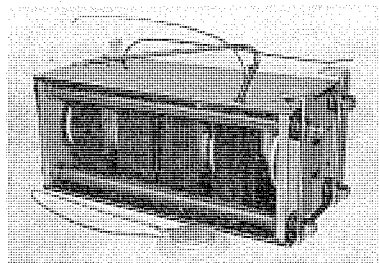


図 2.3 FR 500 AX-26 の 2S スタック
2S stack of FR 500 AX-26.

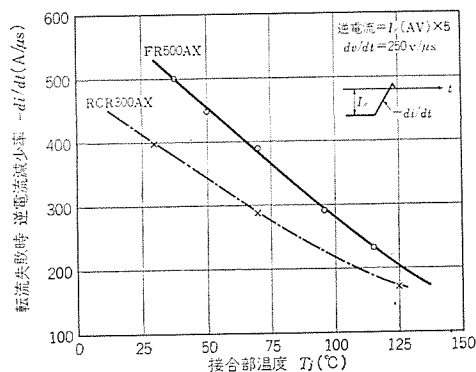


図 2.4 FR 500 AX, RCR 300 AX の転流特性
Commutating characteristics of FR 500 AX and RCR 300 AX.

流能力あるいは転流特性という。とくに、チョップ用サイリスタは応用上、短い時間幅の大電流パルスがダイオードに通電されるために実用上非常に高い転流能力が要求される。この転流失敗は、ダイオード通電中にキャリアがサイリスタ領域に浸透し、それがサイリスタをターンオンさせるために生じるもので、転流能力を高めるためには、ダイオード通電中にキャリアがサイリスタ領域に浸入しないようにダイオードとサイリスタの境界に分離域を設けて電氣的に分離する方法が有効である。しかし、一方では、分離を完全にすると、逆導通サイリスタとしての上記(1)項のメリットが失われるため、その転流能力の向上は困難である。当社では逆導通サイリスタのメリットをそこなわないで、転流能力を高める独自の分離技術を開発することによって、実用的には完全に独立したサイリスタとダイオードの逆並列接続に等しい高い転流能力をもつ逆導通サイリスタの実用化に成功した。

2.2 三菱高速逆導通サイリスタ

当社ではチョップ用途を目的として、ターンオフ時間の短い逆導通サイリスタをシリーズ化している。その種類はサイリスタ電流(ダイオード電流)が 60 A(60 A), 150 A(60 A), 250 A(100 A), 400 A(150 A)のものがある。表 2.1 にその特性定格を、図 2.2 にその外観をしめす。また、図 2.3 に FR 500 AX-26 (400 A/150 A, 1,300 V, 30

μ s) の 2S スタック組立例をしめす。

サイリスタ電流 I_{Th} に対するダイオード電流 I_{Di} の割合はその用途に関連してきめられるが、本シリーズでは $I_{Di}/I_{Th}=0.4$ と 1 を標準としている。これは、多くのチョップ用途には十分なダイオード電流である。図 2.4 は、FR 500 AX, RCR 300 AY の転流能力を表わす一例である。この場合、転流能力をしめすパラメータとして逆電流の減少率 $-di/dt$ をとっている。この例からも、実用上、十分に大きい転流能力をもつことがわかる。

3. チョップ転流回路

3.1 サイリスタチョップ転流回路の問題点

車両用サイリスタチョップ転流回路上の最大の問題は、高圧大電流の高速スイッチングに関することで、サイリスタ素子のスイッチング特性と協調を図ることである。

たとえば、図 3.1(a) に示す従来の逆阻止サイリスタ式チョップ転流回路は最も実用されてきたものである。これは、軽負荷においても最小通電時間が L-C 固有振動周期で決まる共振パルス電流転流方式で、通流率制御範囲が広い。また、回生制動起動時の補助充電も簡単な補充電抵抗で行なえ、転流動作が最も安定しているなどの特

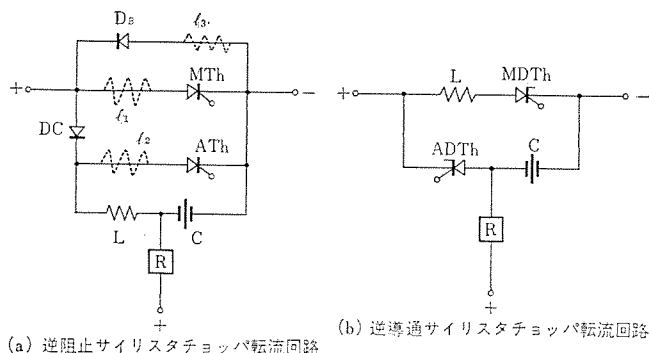


図 3.1 チョップパ転流回路
Chopper circuits.

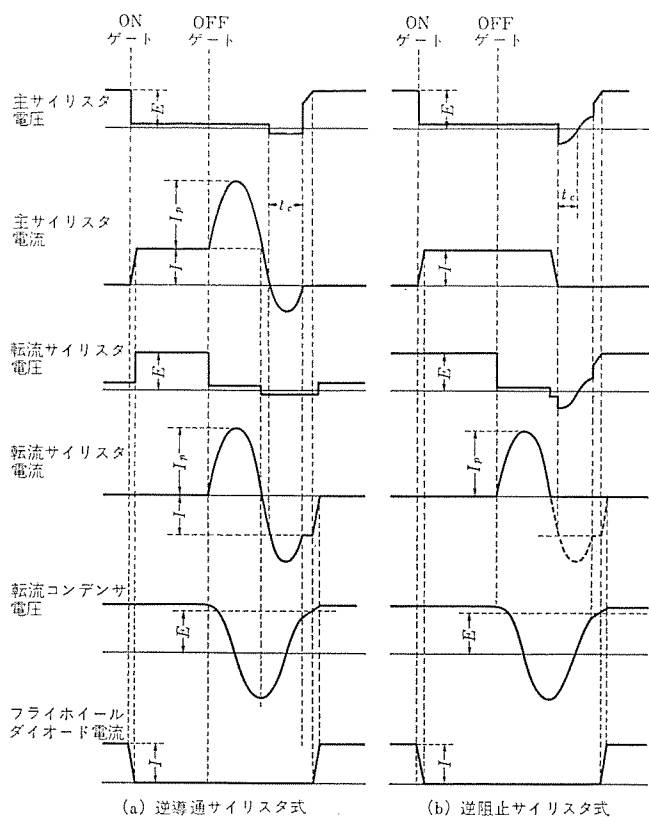


図 3.2 チョップパ転流動作波形
Waveforms in chopper circuit.

長を持っている。

しかしながら、これら転流回路にはつぎの問題がある。

- (1) 配線インダクタンス $l_1 \sim l_3$ による逆バイアス時間の減少
- (2) アノードリアクトル類による逆バイアス時間の減少

さらに、サイリスタ素子動特性との関係からつぎの整合を取ることが望まれる。

(a) 素子平均電流容量に対する許容 di/dt および許容パルス電流容量とターンオフタイムとの協調

(b) 素子順阻止電圧に対するターンオフ dv/dt の協調

以上の回路上の問題を解決するために前記逆導通サイリスタに注目し、あわせて一段と特性を向上した素子を開発した。

3.2 逆導通サイリスタ転流回路

図 3.1 (b) にこれを示し、転流リアクトル L を主サイリスタ MDTh に直列接続し、アノードリアクトル・電流バランスの機能を兼ねる。転流ダイオード D_c やバイパスダイオード D_B は、逆導通サイリスタの逆方向通電特性でその機能を兼ねる。この動作・波形を図 3.2 に示す。

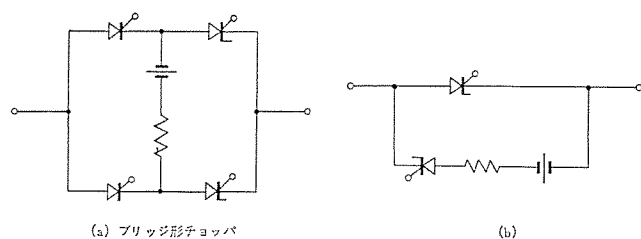


図 3.3 その他の逆導通サイリスタチョップパ
Various reverse conducting thyristor type chopper.

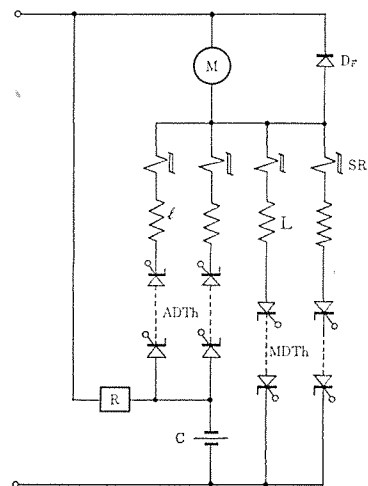


図 3.4 詳細回路例
Practical chopper circuit.

これによって次のようなメリットが得られる。

- (1) 配線インダクタンスやアノードリアクトルの悪影響の解消
- (2) 転流リアクトル不要
- (3) 転流ダイオード・バイパスダイオード不要
- (4) アノードリアクトルのインダクタンスが高く選定でき、 di/dt の軽減
- (5) 転流コンデンサの過充電によるサイリスタ印加電圧の軽減

その他、図 3.3 (a) のようなブリッジ形転流チョップパにすれば、最小通流時間 $t_{on \min}$ がきわめて小さくなり、 $t_{on \min} = 2t_{off}$ (約 30 ~ 60 μsec) まで可能になる。

また、配線インダクタンスの影響の少ない低圧小容量チョップパや空心アノードリアクトルの不要な小電流チョップパでは、図 3.3 (d) の回路が有効である。

さらに詳細には、図 3.4 に示すように、ターンオン時の di/dt やターンオフ時の dv/dt を抑制するために、可飽和リアクトル SR をそう入する。ここに、可飽和リアクトル SR は、空心アノード転流リアクトル L で不足する分のみをそう入すればよい。したがって、図 3.4 のようにすべてのアームに必ずしも必要ではない。

4. チョップパ装置

4.1 仕様

本装置は帝都高速度交通営団納め千代田線 6000 系新車用量産チョップパ装置⁽²⁾と同一の仕様で、チョップパ回路以外はすべて互換性を有するものである。おもな仕様を表 4.1、主回路つなぎを図 4.1 に示す。また、従来形すなわち逆阻止サイリスタ式チョップパ装置との比較表を表 4.2 に示す。

表 4.2 において、素周波数 330 Hz の制御に対して、逆阻止サイリスタ式チョップパではターンオフタイム $t_{off} = 20 \mu\text{s}$ の素子を開発・使用しているが、逆導通サイリスタ式チョップパでは $t_{off} = 30 \mu\text{s}$ の素子を使用

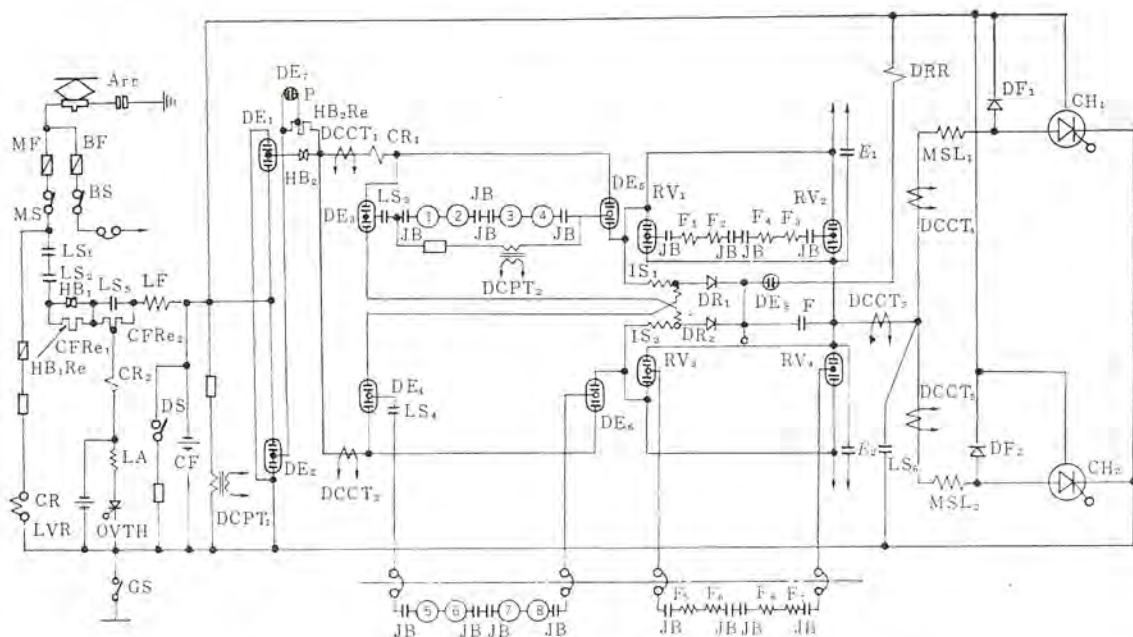


図 4.1 主回路つなぎ Schematic diagram of the power circuit.

表 4.1 チョップ装置仕様
Specification of the chopper control device.

| | |
|-------|-------------------------------|
| 主回路方式 | 回生ブレーキ付き二相2重チョップ制御 |
| 制御方式 | 完全定周波平均値制御方式 定電流制御、定電圧制御併用 |
| 定格電圧 | DC 1,500 V |
| 定格電流 | 1,600 A (最大限流値) |
| 主電動機 | 145 kW×8 台 |
| 制御周波数 | 素周波数 330 Hz, 合成周波数 660 Hz |

表 4.2 チョップ方式比較
Comparison of chopper systems.

| | | 逆導通サイリスタ式 | 逆阻止サイリスタ式 |
|---------|--------------|-----------------|-----------------|
| チョップ回路 | | 直列消弧形 反発パルス式 | 並列消弧形 反発パルス式 |
| サイリスタ定格 | せん頭順逆電圧 | 1,300 V/— | 1,300 V/1,300 V |
| | 過渡せん頭順逆電圧 | 1,450 V/— | 1,450 V/1,450 V |
| | 平均順電流 | 400 A/150 A | 400 A |
| | 許容 di/dt | 300 A/ μ s | 200 A/ μ s |
| | 許容 dv/dt | 350 V/ μ s | 200 V/ μ s |
| | ターンオフタイム | 30 μ s | 20 μ s |
| 素子構成 | 主サイリスタ | 4S-2P-2A | 4S-2P-2A |
| | 転流サイリスタ | 4S-2P-2A | 4S-2P-2A |
| | 転流ダイオード | — | 2S-1P-2A |
| | バイパスダイオード | — | 2S-1P-2A |
| | フライホイールダイオード | 2S-1P-2A | 2S-1P-2A |
| | 回生補助ダイオード | 2S-1P-2A | 2S-1P-2A |
| | 過電圧抑制装置サイリスタ | 3S-1P-1A | 3S-1P-2A |
| 総素子数 | | 43 | 51 |

している。これは、3.2 節で述べたように、配線インダクタンス等による逆バイアス時間の減少がないためであり、実際にはターンオフタイムの大きな素子を使っているだけでなく、転流回路定数も逆阻止サイリスタ式に比較して小さくなっている。とくに、転流リアクトルはアンロードリアクトルを共用することによって不要となり、逆阻止サイリスタ式



図 4.2 チョップ装置 Chopper control box.

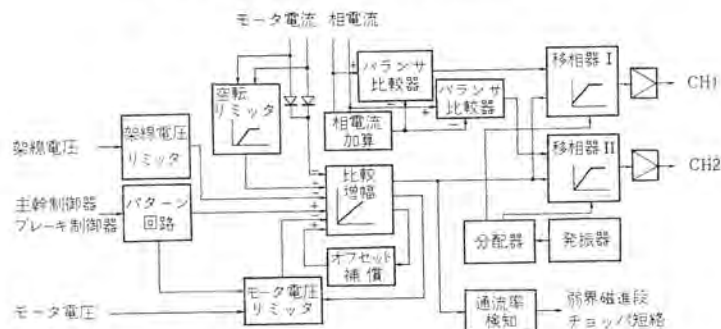


図 4.3 チョップゲート制御回路ブロック図
Block diagram of the chopper control circuit.

より小さい転流コンデンサとともに大幅な小形軽量化を果たしている。

逆導通サイリスタについては逆並列ダイオードの機能を集約できたのにもかかわらず、同一外形でサイリスタ部の電流容量は変わらず、当社が以前より採用しているサイリスタ・ダイオード各スタックのユニット構造は逆阻止形サイリスタ方式の場合とまったく同一であり、保守取扱いに便利である。

4.2 試験結果

本装置の制御方式は、表 4.1 に示したとおり、帝都高速度交通営団納め千代田線 6000 系新車用量産チョップ装置⁽²⁾と同一であり、高精度で安定した制御特性を示している。制御ブロック図を図 4.3 に示す。

逆導通サイリスタチョップを開発するに当たって、回路の簡素化および転流回路の小形軽量化という二つの目的を達成するため、逆に素子の使用条件が過酷になっているが、素子そのものを回路技術と協調をとって開発を行なったので、工場試験においても素子と回路との協調がいかにとれているかという点を中心に試験を行なった。その結果、

(1) 小さな転流定数でも逆バイアス時間が十分に得られ、ターンオフタイム $30\ \mu\text{s}$ の素子でも $330\ \text{Hz}$ の制御に対する転流能力は十分に余裕があった。

(2) 回路が簡素化されて素子に対する di/dt , dv/dt 耐量がきびしくなったが、素子定格には十分に余裕があり、協調をとった開発の成果があった。

(3) 素子について、同一断面積当たりの電流容量は大幅に上がっているが、順電圧降下を小さくする等の性能向上によって熱的にもまったく問題はなかった。

(4) 逆導通サイリスタ素子と回路との関係において、とくに素子に並列に接続される分圧器およびサージ吸収器のこの回路方式に最適な定数を選定する手法を得た。

現車においても、定常運転性能試験ならびに特殊試験としての空転試験・回生負荷変動試験などを行ない、特に回生負荷しゃ断による過電圧に対しても dv/dt 耐量、その他の素子定格には十分に余裕があり、逆導通サイリスタ式チョップがその利点を十分に発揮して使用可能であることが確認された。現在、この装置は約5か月間順調に営業運転を続けている。

5. む す び

以上に述べた逆導通サイリスタ式チョップは、電気車用チョップ装置の一番大きな問題点であった経済性・重量面で非常に有利なもので、今後のチョップ方式普及に大きな力となるであろう。

この装置を製作するに当たって、素子と回路技術との協調のとれた開発によって予期していたおりの満足すべき結果が得られたことの意義は大きく、今後、よりいっそうに総合的な開発を行なって、より実用的なチョップ装置を生み出していきたい。

最後に、この逆導通サイリスタ式チョップ装置を設計・製作ならびに試験するにあたって、終始多大なご指導・ご協力をいただいた帝都高速度交通営団関係者のかたがたに深く感謝するしだいである。

(昭和46-9-10 受付)

参 考 文 献

- (1) 北岡ほか：三菱電機技報，45，No. 2，237（昭46）
- (2) 北岡ほか：三菱電機技報，45，No. 8，1,028（昭46）
- (3) R. W. Aedrich et al.：特公昭39-16024
- (4) 岡ほか：三菱電機技報，45，No. 4，471（昭46）

発電機用サイリスタ励磁装置

今井 吉郎*・監崎 章**

Thyristor Exciters for Synchronous Generators

Kobe Works Yoshio IMAI
Head Office Akira KENZAKI

In regard to the excitation system of recent synchronous generators, static exciters with thyristors make a greater part of the installation. The trend of the above has been brought by the development of the thyristor excitation system advanced in economy, maintenance, quick response and compactness referred to the conventional excitation system, and also timely progress of thyristor and rectifier elements in rating and reliability have been performed in accordance with the trend of increase in the unit capacity of the recent generators.

This article describes the thyristor excitation systems directly connected to the generator field circuit paying attention to the abnormal field voltages and currents induced in the field circuit and countermeasure of them. No mention is made on A. V. R.

1. ま え が き

最近の同期発電機の励磁装置は、サイリスタを使用した静止形励磁装置が大半を占めるようになった。

これは、経済性・保守・速応性・小形化の面において、従来の直流励磁機にくらべて、非常に有利であり、最近の同期発電機の単機容量の増大の傾向と相まって、サイリスタ素子・シリコン整流素子の定格の増大と信頼性が向上されたからである。

現在サイリスタを使った励磁方式は多くの種類があげられるが、事業用タービン発電機は、将来の飛躍的な大容量化に備えて、励磁容量10,000 kWにも及ぶサイリスタ励磁方式が考慮されているものを除けば、そのほとんどにブラシレス励磁方式が採用されている。

水車発電機には、事業用および自家用ともサイリスタ励磁方式が採用されている。

本文では発電機の界磁コイルに直結されるサイリスタ励磁装置について、特に問題となる界磁回路に誘起される異常電圧と電流に主眼をおき、その考え方と対策について述べる。

2. サイリスタを使用した励磁方式

サイリスタを使用した励磁方式には各種あるが、当社でよく使われているものは次のとおりである。

2.1 サイリスタ励磁方式

図2.1に示すとおりで、水車発電機用・タービン発電機用のどちらにもこの方式が採用されている。この方式では励磁装置が、発電機の固定子側巻線に磁気的に直結されている界磁コイルに直接つながるので、発電機の固定子巻線側での異常時に界磁側に誘起される異常電圧・電流に十分注意しなければならない。この異常現象を正確につかむことにより保護装置の改善をはかることができる。

2.2 ブラシレス励磁方式

この方式は、タービン発電機に使用される。図2.2に示すように、サイリスタ励磁装置は交流励磁機の界磁コイルを制御するので、容量も小さくてすみ、前記2.1節ほど、異常電圧・電流を心配する必要はない。

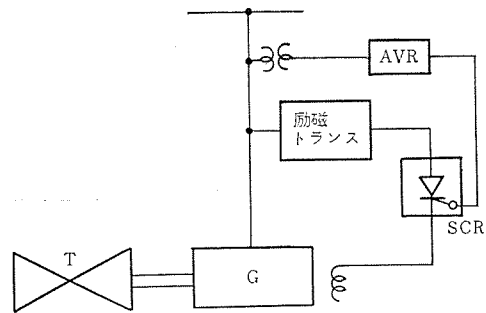


図 2.1 サイリスタ励磁方式
Thyristor excitation system.

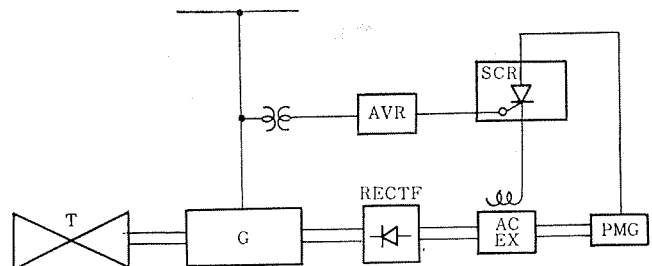


図 2.2 ブラシレス励磁方式
Brushless excitation system.

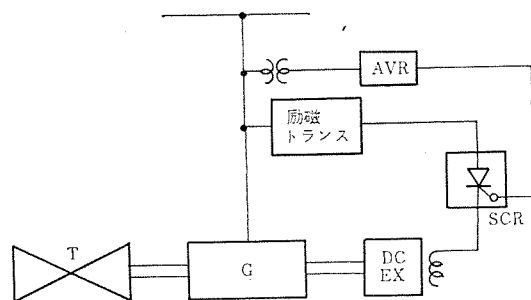


図 2.3 トリニスタット励磁方式
Trinistat excitation system.

2.3 トリニスタット励磁方式

この方式は、15,000 kW 程度以下の小容量の回転励磁機直結形水車発電機を改造するのに用いられている。

図2.3に示されるとき、既設の副励磁機を取りはずして主励

磁機の界磁コイルをサイリスタを使った整流器で励磁するものである。
老朽化した励磁装置の改善と応答速度の改善に効果的で、価格も安価なのでよく採用されている。

3. サイリスタ励磁装置の構成

3.1 整流回路構成

サイリスタ励磁装置の整流回路には、三相全波整流回路を採用している。その素子構成は、図 3.1 に示すようにブリッジ混合方式(a)と均一ブリッジ方式(b)とがある。混合ブリッジ方式では、出力側にフライホイールダイオード(図中D)を設けることにより、サイリスタの転流を容易にすると同時に、発電機の電機子側事故による界磁異常電流の分流回路を構成させることにより、整流回路の保護を簡単にすることが可能になる。ただし、均一ブリッジのようにインバータ動作を行なうことは不可能である。

均一ブリッジ方式はインバータ動作を行なうことが可能になり、界磁電流下げの動作が急速に行なえ、混合ブリッジ方式にくらべ、応答速度が早くなるが、保護方式が複雑となる。

図 3.2 は、回転励磁機・混合ブリッジ方式・均一ブリッジ方式の場合の負荷しゃ断における発電機の電圧上昇を比較したものである。

一般に逆電圧まで与えて急激に発電機界磁の励束を減少させる必要がなく、励磁電圧を瞬間的に零にすることができれば従来の回転励磁機より応答の早い励磁装置が得られることになるため通常混合ブリッジ方式を採用している。

なお、サイリスタ素子の盤への収納は、少容量の場合は通常サイリスタ素子・ダイオード素子をスタックに組込んで行なうが、大容量の場合はサイリスタ素子・ダイオード素子をそれぞれ冷却フィン・ヒューズ・過電圧保護用C-R回路・パルストランスとともに構成されたトレイに組込み、各トレイごと引出し可能な構造のキュービクルに収納している。図 3.3 にトレイ方式のサイリスタキュービクル(a)とサイリスタトレイ(b)を示す。

3.2 冷却方式

現在多く採用されている冷却方式は自冷式と強制風冷式である。自冷式は冷却ファンなどの回転体がないため強制風冷式にくらべ、信頼性が高くなり、また保守の面からもすぐれているが、反面サイリスタ素子定格が大きなものとなり高価となる欠点がある。

強制風冷式は、冷却ファンにより、サイリスタ素子を風冷するもので、定格の小さいサイリスタ素子を使用できる。信頼性向上のために、冷却ファンは、普通2台設け1台故障しても支障が起らないように配慮されている。なお強制風冷方式の効率を高めるため、冷却風を熱交換器により水で冷却する間接水冷方式のものも現在製作中である。

3.3 初期励磁装置

この励磁装置は、励磁電源を発電機端子より電源トランスを介してとっているため、発電機電圧確立時には、通常所内蓄電池回路より初期励磁をかける。初期励磁は発電機を始動し、その回転数が定格回転数の80%程度になってからかけ始め、発電機電圧を所定値まで確立させる。その電圧が確立するとサイリスタ励磁装置の点弧回路が動作し、サイリスタ励磁装置により電圧が確立する。サイリスタ励磁装置が動作を始めて出力電圧が初期励磁電圧よりも高くなると、初期励磁電流は急速に減少し、ついには零になる。図 3.4 にこのようすを示す。発電機電圧が確立し、定格電圧近くなるとAVRが動作する。AVRによる制御を行なう場合、運転状態によっては、励磁

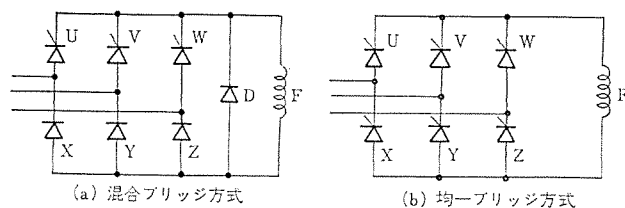


図 3.1 整流回路 Three phase rectifier circuit.

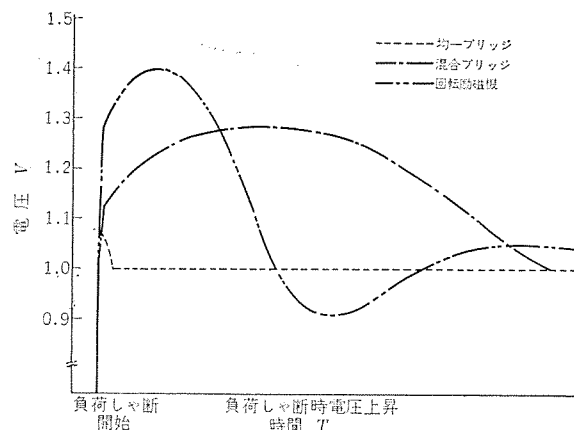


図 3.2 励磁方式の特性比較
Characteristic comparison of excitation systems.

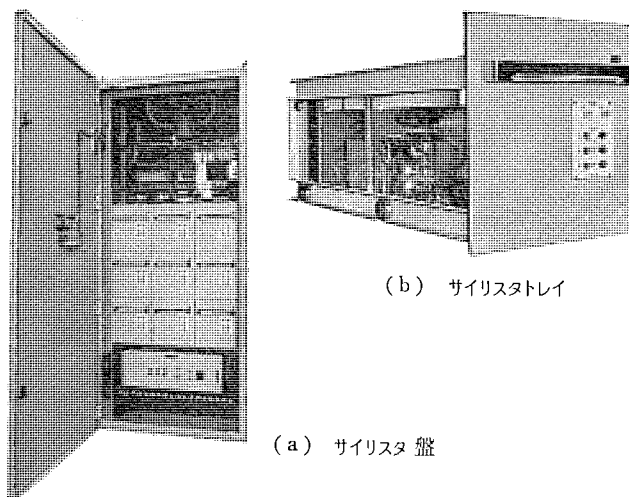


図 3.3 サイリスタ盤(a)およびサイリスタトレイ(b)
Thyristor cubicle (a) and thyristor tray (b).

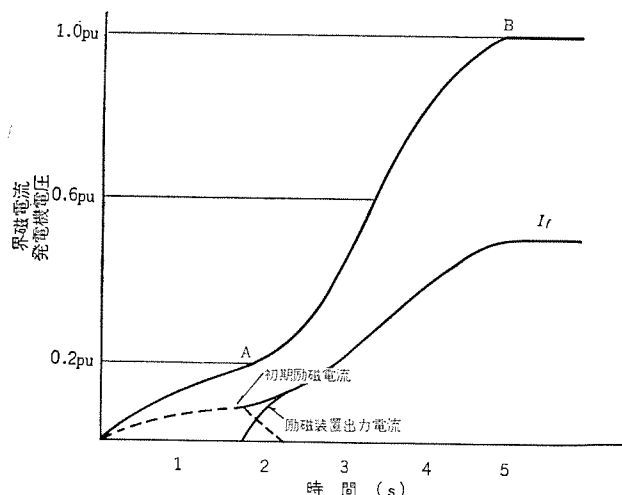


図 3.4 サイリスタ励磁装置の電圧確立
Voltage build up of thyristor exciter.

電圧を瞬間的に零近くまで下げることがあり、このとき初期励磁回路に界磁電流の大部分が流れ、蓄電池に損傷を与える可能性がある。このため発電機電圧を瞬時動作の規定電圧リレーで検出し、定格電圧になる以前に初期励磁回路を切り離す方法をとっている。

3.4 点弧回路

サイリスタ励磁装置の点弧回路に要求されるものは、通常のサイリスタ装置のものにくらべ下記の点が異なる。

(1) 周波数変動範囲が大きい

水車発電機の場合、発電機の全負荷しゃ断を行なうと周波数は定格の約140%になるため、点弧装置に要求される周波数範囲は定格の90%~150%となる。

(2) 同期信号の電圧変動範囲が大きい

現在は発電機電圧が、30%以上でサイリスタ励磁装置が正常に動作できるものを標準としているが、これは初期励磁に必要な電圧を下げるためと、線路充電のために発電機を低電圧で運転するために必要な値である。ただし線路充電に関しては、30%の発電機電圧で十分かどうかは、その都度検討しなければならない。同期信号の電圧下限の保証値を下げることは価格的にも構造的にも困難で、あまり低い値が必要ときは別の方法を検討すべきである。

線路充電が不要なときは、保証値30%は、たとえば50%に上げても問題はないと思われるが、いくらにするかは今後の問題である。

上記の要求を満たした下記の理由により、図3.5の回路を使用している。

(1) ハイゲート駆動ができる

素子が大形化するにしがたい点弧時の電流の立上がり問題になるケースが多く、点弧パルスとして一時に大きなゲート電流を流す必要がある。

(2) 動作が早い

サイリスタ励磁装置の速応性を生かすために、点弧回路の遅れをできるだけ防ぐようにしなければならない。

(3) 電源変動の影響をあまりうけない

電源の変動により点弧角が自動的に、それぞれ修正するように移動する。

図3.5の点弧回路は、電圧比較形であり電源位相(V_a)より、90°進んだ電圧(V_d)に入力電圧を重量させ、その和が、零になったときにトランジスタ Q_1 がカットオフになり、点弧用サイリスタが点弧して、コンデンサCに充電されていた電荷が放電して、パルストランス T_2 から、点弧パルスが出される。コンデンサ両端の電圧(V_c)は放電が開始されると零になり、再び充電をはじめて次の点弧にそなえる。 V_c の電圧はゲート点弧角が進んだときのリミッタ動作を行なうものである。

励磁装置が大容量になり、使用するサイリスタ素子が多くなる場合は、この点弧回路の後にパルス増幅器を介して、サイリスタ素子を点弧させる。

なお、点弧装置の同期信号は、サイリスタ点弧時のノイズをさけるため発電機出力回路に取り付けたPTよりとり、コンデンサCの充電電圧は励磁電源トランスの二次巻線よりとり、直流電源は、所内蓄電池回路よりとっている。

3.5 保護装置

サイリスタ素子等の半導体整流素子は、一般に過電流・過電圧耐量が小さく、その時間的余裕も小さいため、励磁回路で発生すると考えられる異常状態に対しては各素子の保護対策を十分とる必要があ

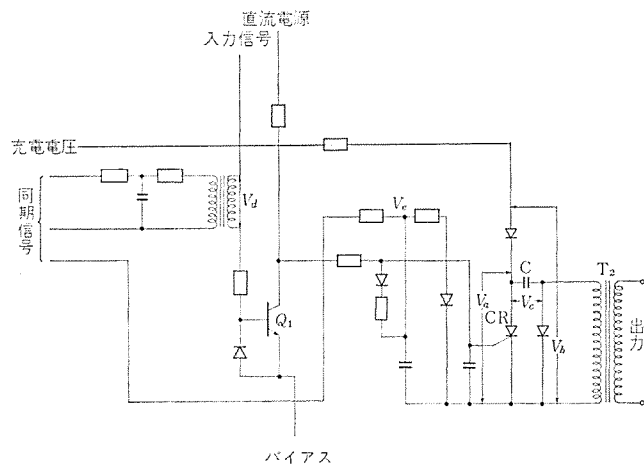


図 3.5 点弧回路
Schematic diagram of the gate control circuit.

る。

3.5.1 過電圧保護

励磁装置に侵入する異常電圧は、励磁用トランスより移行するサージ、発電機固定子から移行してくるサージがある。

また、発電機端子および線路充電後の受電端での異電圧並入、脱調、2線短絡時に界磁回路に発電機の電機子反作用により交流電流が事故発生直前に流れていた直流電流に重畳して流れる。この交流分波高値が、直流分より大きくなったときに界磁電流が反転して異常電圧が発生する。

励磁トランスより移行するサージに対しては励磁トランスの高低圧巻線間に設ける混触防止板を接地し、かつサイリスタ励磁装置の交流側にCRサージアブソーバとセレンレスタを設けることにより十分な保護がなされている。

発電機固定子より界磁回路に移行するサージは、実験によれば、短波尾のもの(1×40μs以下)であれば、せいぜい数%程度で、大部分はダンパ巻線に吸収され、界磁コイルを短絡した場合、回路のインピーダンスが低いほど、また発電機中性点接地抵抗値が大きいほど、移行率は低くなる。スイッチングサージ等の長波尾のものについても大体同様の傾向があるが、大きくて1,500V程度とみておけば十分である。

これらのサージ保護用にサイリスタ励磁装置の直流側にCRサージアブソーバを設けてある。

界磁電流が反転する異常現象については、最もきびしいのは、異電圧投入の場合で、2線短絡、脱調の場合は比較的早く異常が除去されるし、必ずしも反転するとは限らないので、万一の場合を考えても、異電圧投入に対する考慮が払われていればカバーできる。

異電圧投入に関しては、発電機電圧が系統電圧より低いほど、位相差が大きいほど界磁電流が反転しやすい。また、線路を充電して、受電端で、異電圧投入を行なう場合、線路こう(互)長が長いほど反転しやすい。計算結果によれば、発電機電圧が系統電圧より10%程度低い場合には、位相差があっても反転せず、20%程度低い場合は、位相差が、10°以内なら反転しないようである。現在の同期並入装置であれば、ほぼ反転しない状態で並入しうるが、保護装置として界磁回路にバスタを設け反転した電流を流し、異常電圧の発生を防止している。

3.5.2 過電流保護

サイリスタ励磁装置における過電流は、短絡、過負荷および発電機

電機側事故による界磁異常電流がある。

短絡あるいは過負荷が生じた場合は、各素子にその過電流特性にあった速断ヒューズをつけることにより、サイリスタ素子の保護を行っている。速断ヒューズは、また不良サイリスタ素子を回路より取り除くためにも使用される。各速断ヒューズは警報リレーを付属しており、ヒューズ溶断時に外部へ警報を出し、事故の波及を防止する等の処理を行なうことができる。

発電機運転中に発電機端子または至近端で、三相短絡が生じた場合には、交流側の短絡電流の反作用により、界磁回路に短絡発生直前の界磁電流の約3倍の界磁電流が流れる。このとき発電機端子電圧は、ほとんど零になるので、励磁装置の電源はなくなり、サイリスタ素子は転流不能となる。整流回路が混合ブリッジ方式の場合は、上記異常電流は、フライホイールダイオードに流れるのでフライホイールダイオードの容量は、異常電流が事故が解除されるまでの間、流せるものでなくてはならない。また均一ブリッジ方式の場合異常電流は、短絡発生直前に導通中のサイリスタ素子に流れ続ける。この場合、各サイリスタが事故解除まで上記電流に耐えるためには、励磁装置の容量は非常に大きくなり、不経済になるため、発電機出力電圧、界磁電流より発電機三相短絡を検出し、整流回路の全サイリスタ素子を、いっせいに点弧させ、異常電流を全素子にバイパスさせることによりサイリスタ素子を保護している。

また三相短絡が発電機回路のメイントランスの出力側で発生した場合、発電機端での三相短絡時と同様に、界磁回路に短絡発生直前の界磁電流の約3倍の界磁電流が流れる。このとき発電機端子電圧はメイントランスのインピーダンスと、発電機のインピーダンス比で決まる電圧になっているため、励磁装置の各サイリスタは転流可能となる。このため励磁装置は事故が解除されるまでの間、上記電流に十分耐えるものでなくてはならない。

4. サイリスタ励磁装置の容量決定

4.1 出力電圧

サイリスタ励磁装置の出力電圧は系統の安定度、励磁装置の速応性等より決定される。

励磁装置の速応性を示すものに励磁機の response ratio (以下 R.R と呼ぶ)がある。この値が1~1.5 あれば十分であるということが従来いわれている。R.R は AIEE では次のように定義されている。

励磁機 (AVR を含む) を使用状態にしておいて、励磁機に Nominal Slipring Voltage を発生させておき、インディシャルに入力信号を20% 変化させたときの励磁機出力電圧の変化を測定する。そして図4.1 においてOA 部の面積=OBC の面積となるように直線を引き

$$R.R = \frac{2(V_E - V_{NSV})}{V_{NSV}}$$

と定義する。

ここに V_E : 0.5 秒後の界磁電圧

V_{NSV} : Nominal Slipring Voltage

いまこれをサイリスタ励磁装置にあてはめると、サイリスタ励磁装置の時間遅れはほとんどないので図4.2 のようになり、R.R は下記のようになる。

$$R.R = \frac{2(BD - V_{NSV})}{V_{NSV}}$$

ここに BD : 最大界磁電圧 (頂上電圧) $\times 2 - V_{NSV}$

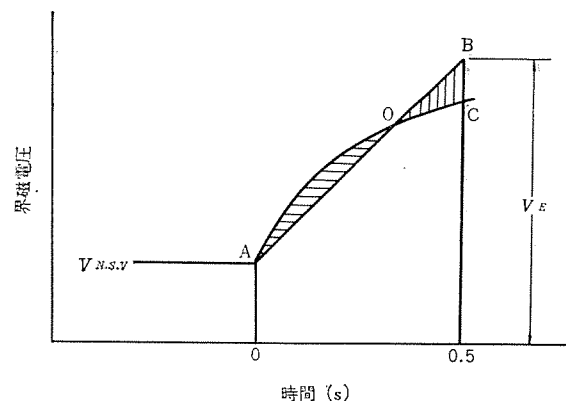


図 4.1 励磁系速応度 (回転形 EXC)
Speed response of rotary exciter.

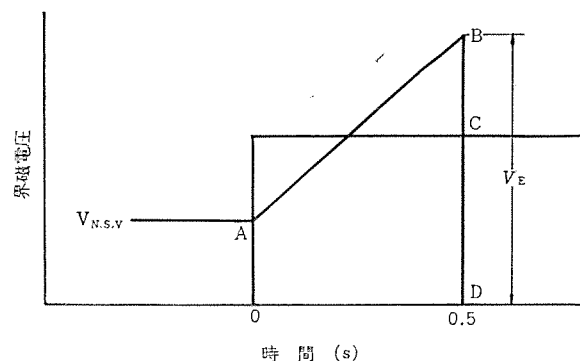


図 4.2 励磁系速応度 (サイリスタ形 EXC)
Speed response of thyristor exciter.

以上のことからサイリスタ励磁装置の速応度が回転形励磁機にくらべてすぐれていることがわかる。

R.R は最大界磁電圧 (頂上電圧) を決定づけるものであるが、現在のところサイリスタ励磁装置の R.R に関する規格はなく、一般には回転形励磁機と同程度 (1~1.5) としている。なお R.R を前記の値以上に大きくしても発電機全負荷しゃ断時の電圧上昇抑制効果および系統安定度の増進効果はそれほど向上しないようである。

4.2 出力電流

サイリスタ励磁装置の出力電流は、発電機の運転状態により決定される電流はいくまでもなく、発電機端子、メイントランス端子における三相短絡事故により界磁回路に誘起される界磁異常電流に対し、事故が解除されるまでの間十分耐えるように電流定格を決定している。

5. サイリスタ励磁装置実績

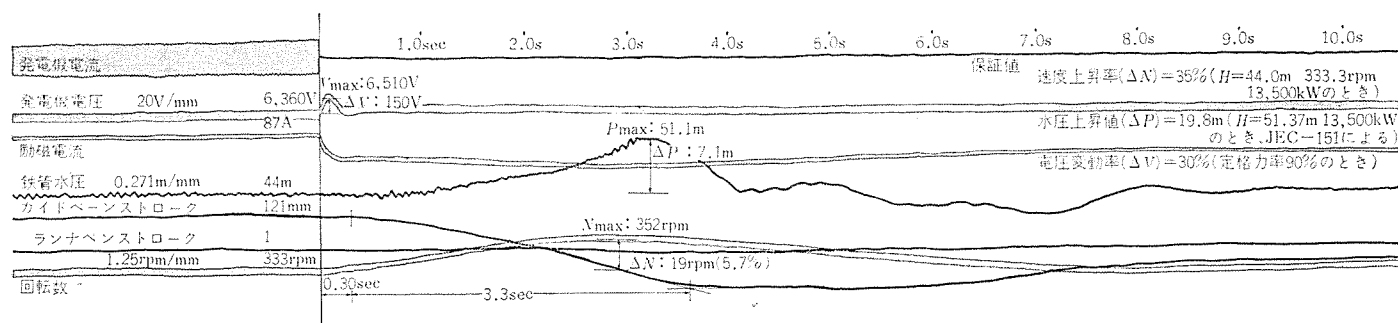
表 5.1 に現在までに製作したものおよび現在製作中のサイリスタ励磁装置の製作実績を示す。また図 5.1 に実際のサイリスタ励磁装置を使用した発電機負荷しゃ断試験の試験データを示す。

6. む す び

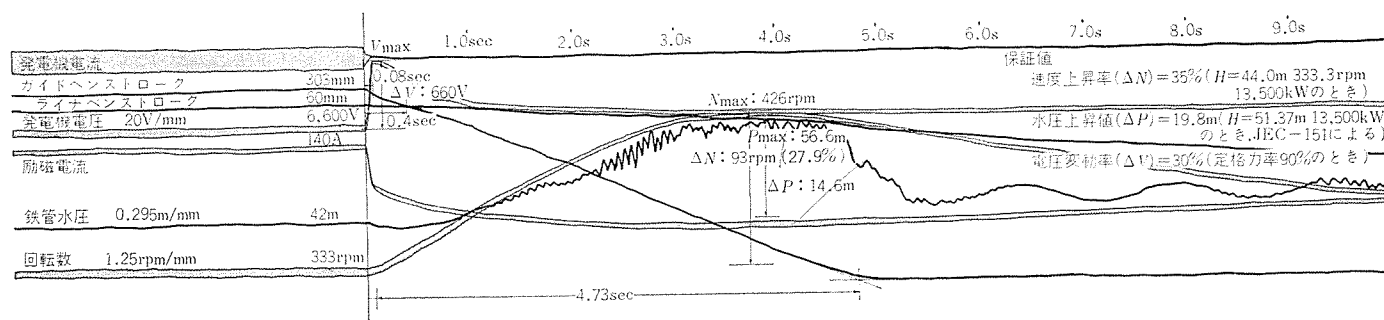
以上サイリスタ励磁方式について述べた。今後ますます大容量化される発電機の励磁装置として、サイリスタ励磁装置が適用される機会是非常に多くあると思われる。

また大容量であるための問題点も多々でてくるかも知れないが、今後とも研究と改善に努力する所存である。

本文が、サイリスタ励磁装置の計画の参考になれば幸いである。



(a) 1/4 負荷 (2,430 kW) カパナテスト S. 45-12-22 9°: 23'



(b) 4/4 負荷 (10,440 kW) カパナテスト S. 45-12-22 10°: 50'

図 5.1 北海道庁岩尾内発電所負荷しゃ断試験 Iwaonai power station load rejection test.

表 5.1 サイリスタ 励磁装置製作経歴 History of manufacturing thyristor exciters.

| 納入先 | 発電所名 | 電機定格 | 励磁容量 | 台数 | 納入年 | 備考 | 納入先 | 発電所名 | 電機定格 | 励磁容量 | 台数 | 納入年 | 備考 |
|-----------|--------------|---|------------------|----|------|--------|--------|----------------|--|----------------------|----|------|----|
| 富山県 | 庄東第一発電所 | 27,400 kVA 11 kV 150 rpm pf 0.9 60 Hz | 640 A 370 V | 1 | 1968 | 水車 | メキシコ | LA VILLITA P/S | 80,000 kVA 12.4/13.8 kV 100/120 rpm pf 0.95 60/60 Hz | 1,300 A 300/333 V | 4 | 1970 | 水車 |
| オーストラリア | TUMUT #3 P/S | 278,000/263,200 kVA 15.4 kV 187.5 rpm pf 0.95 50 Hz | 1,100 A 760 V | 6 | 1969 | 水車 | コスタリカ | RIO MACHO P/S | 43,000/37,500 kVA 13.8 kV 450 rpm pf 0.85 60 Hz | 600 A 250 V | 2 | 1971 | 水車 |
| 中国電力 | 椋梨川発電所 | 25,000 kVA 11 kV 600 rpm pf 0.93 60 Hz | 356 A 300 V | 1 | 1969 | 水車 | タイ | SIRIKIT P/S | 158,500/132,000 kVA 13.8 kV 125 rpm pf 0.95 50 Hz | 1,485 A 720 V | 3 | 製作中 | 水車 |
| 東京電力 | 品川火力発電所 | 39,000 kVA 11 kV 3,000 rpm pf 0.85 50 Hz | 440 A 180 V | 1 | 1969 | ガスタービン | ベネズエラ | GURI P/S | 264,500/230,000 kVA 18 kV 120 rpm pf 0.95 60 Hz | 1,900 A 850 V | 4 | 製作中 | 水車 |
| 日新製銅(株) | | 45,000 kVA 11 kV 3,600 rpm pf 0.8 60 Hz | 620 A 250 V | 1 | 1969 | タービン | 関西電力 | 下小島発電所 | 146,000 kVA 16.5 kV 277 rpm pf 0.97 60 Hz | 1,200 A 560 A | 1 | 製作中 | 水車 |
| 熊本県 | 緑川第一発電所 | 31,700 kVA 11 kV 200 rpm pf 0.9 60 Hz | 760 A 260 V | 1 | 1969 | 水車 | 愛媛県 | 銅山川第3発電所 | 13,500 kVA 11.0 kV 600 rpm pf 0.9 60 Hz | 370 A 140 V | 1 | 製作中 | 水車 |
| 熊本県 | 緑川第二発電所 | 6,800 kVA 6.6 kV 400 rpm pf 0.9 60 Hz | 400 A 135 V | 1 | 1969 | 水車 | アルゼンチン | FUTALEUFU P/S | 118,000 kVA 13.8 kV 230.8 rpm pf 0.95 50 Hz | 1,240 A 620 V | 4 | 製作中 | 水車 |
| 神戸製鋼(加古川) | | 45,000 kVA 11 kV 3,600 rpm pf 0.8 60 Hz | 620 A 250 V | 1 | 1969 | タービン | 北海道電力 | 新冠発電所 | 105,000 kVA 13.2 kV 230.8 rpm pf 0.95 50 Hz | 1,200 A 440 V | 2 | 製作中 | 水車 |
| 北海道庁 | 岩尾内発電所 | 14,500 kVA 6.6 kV 400 rpm pf 0.9 60 Hz | 350 A 275 V | 1 | 1970 | 水車 | | | | | | | |

電気化学用サイリスタ装置

大沢 喜信*・田中 潤次郎*

Thyristor Rectifiers for Electrochemical Industry

Itami Works Yoshinobu ÔSAWA・Junjiro TANAKA

When thyristor rectifiers are put in service for electrochemical industry, on-load tap changers or voltage regulating reactors are dispensed with and not only simple main circuit construction is available but also excellent control characteristics and good operation performance are assured. Thyristor rectifiers made up of Mitsubishi flat packaged thyristor stacks have good many advantages to settle rationally technical troubles peculiar to high current apparatus.

This article describes the basic construction of the apparatus mentioned above and also the control circuit of them.

1. ま え が き

近年、サイリスタは電気化学用整流装置の分野にも多数採用されるに至った。サイリスタ整流器は、負荷時タップ切換器・電圧調整リアクトルを必要とせず、簡明な主回路構成が得られるばかりでなく、すぐれた制御特性・運転性能を有している。当社が1968年に完成した平形素子使用のサイリスタレクチフォームは、他にみられない数々のすぐれた特長を有しているが、これは大電流装置特有の技術的問題の解明と、その合理的な基本構造の追求とから得られたものである。

大電力平形素子使用による素子数の大幅な低減、一括締付けスタックによる機器の小形化は、同時に装置のすぐれた性能を保証するものでもある。ここでは、このサイリスタレクチフォームを中心にしてその基本構造・制御回路等について紹介する。

2. 電解用途への適用の基本的問題

2.1 歴史的経過

電気化学用整流器にサイリスタを使用し、その位相制御による電圧調整機能を利用して、従来ダイオードで必要としていた負荷時タップ切換器および電圧調整リアクトルを不要にする試みは、1967年前後からなされ、ここ数年間に多数の製作例をみるに至った。初期に指摘された技術的・経済的困難は素子の進歩、新しい冷却技術の導入によりみごとに解決され、現在はダイオードにまさる特性の故に好んで採用されるところとなった。

サイリスタの大電流装置への適用においては、大電力平形素子の採用とその冷却方式の開発が一つのキーポイントであった。すなわち、初期の装置には200 A級のスタッド形を用いたものも見受けられたが、使用素子数低減による信頼性の向上・経済性などの観点から必然的に大容量の平形素子が主流を占めるに至った。したがって、平

形素子の冷却方式が装置の形を決定する重要な要素になる。

当社では1968年に業界にさきがけて大容量平形素子の一括締付け形油冷スタックが開発され、これを用いて鹿島電解向け450 kA 103.5 MWを含む多数の装置が製作されて、すぐれた結果をおさめていることはすでに本誌でも紹介されている。

2.2 平形素子の採用

大電流装置においては、その特性上・経済上の要求からも使用素子数を減らして機器を小形化することが重要になる。大容量平形素子の利用は、当社特許の特殊な導体配置および電流平衡リアクトルなどによるすぐれた電流バランスとあいまって、使用素子数はスタッド形と比較して約半減することが可能になった。それと同時に、一括締付け形の平形素子スタックは、装置を小形にまとめるうえで決定的であった。

サイリスタ素子の場合、同じ電流クラスのダイオードと比較して順電圧降下が約10%高く、許容動作接合部温度は 125°C とダイオードの 150°

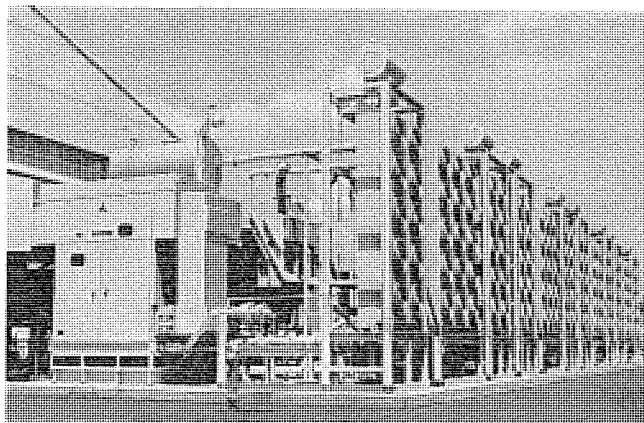


図 2.1 103.5 MW 230 V 450 kA サイリスタレクチフォーム
103.5 MW 230 V 450 kA thyristor rectifier.

表 2.1 サイリスタレクチフォーム納入実績表

Supply record of thyristor rectifiers.

| 納 入 先 | 用 途 | 台 数 | 定 格 | | | 整流回路と相数 | 冷却方式 | 製作年度 | 備 考 |
|---------------|---------|-----|-----------|----------|----------|-----------|------|------|-----------------|
| | | | 出 力 kW | 電 圧 V | 電 流 A | | | | |
| 小 名 浜 製 錬 (株) | 銅 電 解 | 1 | 2,800 | 140 | 20,000 | 二重星形 6 相 | 送油水冷 | 1968 | 平形サイリスタ油冷スタック使用 |
| 三 菱 金 属 (直 島) | 銅 電 解 | 1 | 3,750 | 150 | 25,000 | 二重星形 6 相 | 送油水冷 | 1969 | 平形サイリスタ油冷スタック使用 |
| 三 菱 化 成 (直江津) | アルミ製錬 | 2 | 5,400 | 700 | 8,000 | 三相全波 6 相 | 送油風冷 | 1969 | 平形サイリスタ油冷スタック使用 |
| 鹿 島 電 解 | 塩 水 電 解 | 1 | 103,500 | 230 | 450,000 | 二重星形 24 相 | 送油風冷 | 1970 | 平形サイリスタ油冷スタック使用 |
| 旭 硝 子 (関 西) | 塩 水 電 解 | 1 | 4,500 | 150 | 30,000 | 二重星形 6 相 | 送油水冷 | 1970 | 平形サイリスタ油冷スタック使用 |
| 鉄 興 社 (日 向) | マンガン電解 | 1 | 6,750 | 450 | 15,000 | 二重星形 12 相 | 送油水冷 | 1970 | 平形サイリスタ油冷スタック使用 |
| 小 名 浜 製 錬 (株) | 銅 電 解 | 2 | 3,125 | 125 | 25,000 | 二重星形 6 相 | 送油水冷 | 製作中 | 平形サイリスタ油冷スタック使用 |

Cに比較して低い。このことは、サイリスタに対してはより有効な冷却を与える必要があることを意味する。前述の冷却スタックに用いられている銅製の特形状冷却片は、低粘度不燃油 SK-2 の使用とあいまって、 $0.034^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 以下の熱抵抗を与え、素子の利用度を上げるのに貢献している。冷却について言えば、この熱抵抗は冷却液に水を用いることによってさらに低い値になる。

2.3 dv/dt と di/dt

次に、素子の電気的特性、とくに臨界オフ電圧上昇率 (dv/dt) および臨界オン電流上昇率 (di/dt) は、サイリスタ整流回路の主回路構成およびサージアブゾーパ回路の設計に密接な関係を有している。

サイリスタ素子は、その阻止状態においては小容量のコンデンサのように動作し、順方向に急しゅんな電圧上昇 (dv/dt) が印加されると、充電電流が流れ、それがターンオン電流と同程度に達すると、素子はゲート信号なしで点弧されるに至る。たとえば、三相全波順変換装置では、この順方向の急しゅんな電圧上昇は、他の相のアーム間での転流が終了した時点で発生し、 $\alpha=90^{\circ}$ のときがもっとも過酷である。この等価回路は図 2.3 で示されるが、素子に印加される電圧上昇率の初期値は、

$$dv/dt = \frac{R}{L} \cdot V$$

で表わされる。

CR などの回路の諸定数は、図 2.3 の等価回路から計算した dv/dt が、素子の臨界オフ電圧上昇率以下になるように選定する必要がある。大電流装置においては、整流器用変圧器の二次巻線インダクタンスは小さく製作される関係上、素子に加わる dv/dt に十分に注意を払っておかねばならない。当社の大電流サイリスタ整流器には、FT-500 形平形サイリスタが使用され、その臨界 dv/dt は $200 \text{ V}/\mu\text{s}$ ときわめて大きく、実際の回路設計上まったく問題にならない。

サイリスタ素子が点弧される場合、最初ゲートの端から導通状態にはいり、これが接合部全面に広がっていくが、これはオン電流上昇率 (di/dt) が大きいと、ゲート付近の限られた面積に高密度の電力損失を発生して素子が破壊されることを意味する。点弧時のオン電流上昇率は、一般に転流電流の di/dt よりも、サージ電圧、前述の dv/dt などの抑制のための RC 回路により決定される。とくに、並列素子数が多く、素子間のターンオン時間のばらつきが大きい場合には di/dt が過酷になる。この等価回路を図 2.3 に示す。

CR の放電時定数が素子の rise time (Δt) に比較して十分に大きい回路では、素子に加わる di/dt は、

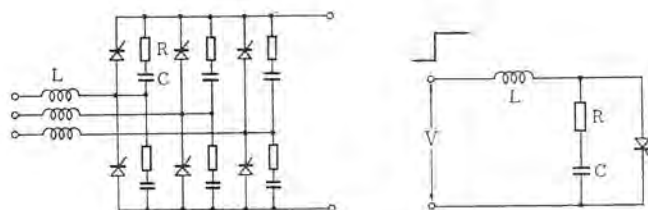


図 2.2 dv/dt 計算用等価回路
Equivalent circuit for dv/dt calculation.

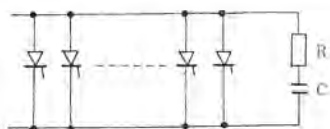


図 2.3 di/dt 計算用等価回路
Equivalent circuit for di/dt calculation.

$$di/dt = \frac{V}{\Delta t \cdot R}$$

で近似できる。

臨界オン電流上昇率の小さな素子を使用する場合、この di/dt を小さく抑えるために RC 回路に種々の配慮が払われているが、当社の素子は $200 \text{ A}/\mu\text{s}$ ときわめて大きい臨界 di/dt 値を持つとともに、ターンオンタイムのばらつきが小さいため、この RC 回路に複雑な回路構成をなんら必要としない。

3. 基本構造および整流主回路

3.1 油冷スタック

平形素子を 1 個あるいは 2 個を単位として導体に個々に締付けする構造では、複雑な締付け機構の数が多くなり、締付け圧力の管理や装置の小形化の面で難点がある。これに対して、一括締付けスタックでは一つの締付け機構で 4 個ないし 10 個の素子を同時にクランプする。すなわち、2 個の銅鍛造になる油冷冷却片の間に素子をはさみ、これらを順次絶縁ディスクを介して積み重ねて全体を同時に締付ける構造である。それぞれの冷却片は、テフロンチューブで連結されて油通路を形成している。締付け機構にはさらバネを内蔵し、そのたわみ量から所定の圧接力 $1,500 \text{ kg}$ が得られるようになっている。このたわみ量は、やはり機構に内蔵されたたわみギャップで容易に知ることができ、この方式では素子や冷却片個々の厚み寸法の精度・ばらつきにまったく無関係に常に一定の圧力が得られることも大きな特長である。

このスタックは、整流器導体とは別個に単独に製作できるため、装置の組立て・工作が容易などの利点も有する。スタックを整流器に組み込んだ状態では、冷却片を接続する絶縁テフロンチューブはスタックの後方に位置し、締付け機構がスタック下部正面に位置する構造で、万一の場合の素子交換などの保守が容易にできる構造である。もちろん、油循環系は閉回路であって、素子交換時などにも油回路を開く



図 3.1 8 素子形油冷スタック
Eight elements oil cooled stack.

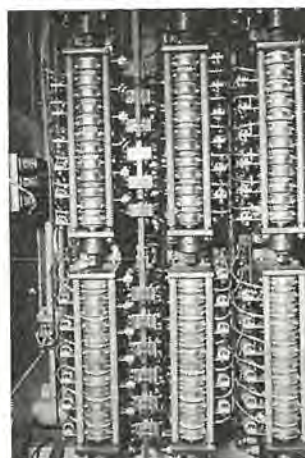


図 3.2 サイリスタ整流器内部構造
Internal construction of thyristor rectifier.

必要はない。なお、締付け機構の再締付け時の圧接力は前述のたわみギャップ測定によって確実に再現される。実測の結果では、1,500 kg ±100 kg の範囲にはいることが確認されている。

3.2 導体構造

スタッド形素子においてアルミニウム押出材の油冷導体が広く用いられているが、サイリスタにおいても特に大電流装置用に作られた油冷導体が用いられている。これは、たとえば 55 mm × 130 mm の長方形で、内部にはひだのついた二つの空洞（油通路）を有している。整流器キュービクル下部の冷却液主パイプから各相の導体に分流した冷却液は、導体を冷却しつつ各サイリスタスタックを通過して他の導体に循環し、主パイプへ合流する。さらに、冷却液の一部は、主パイプから分流して直流集合導体や、中性点集合導体などの大電流導体を冷却している。導体に取り付けられた油冷スタックには、導体に設けられた側枝パイプからテフロン絶縁接手を通じて冷却液が供給される。直流側（あるいは交流側）導体からスタックに導かれた冷却液は、冷却片を順次循環して交流側あるいは直流側導体にもどる。

一方、良好な素子間の電流分担を得るために導体の構造・配置が重要である。理論的には各相の直流側および交流側導体の自己インダクタンスをできるだけ小さくすること、両者の相互インダクタンスをできるだけ大きくすることならびに素子間のピッチを小さくすることがたいせつである。自己インダクタンスは、導体の断面形状・寸法から決まってくるので交流側・直流側導体の磁氣的結合を密にして相互インダクタンスを大きくすることが重要になる。当社のスタック構造は、これらの要求によく適合し、導体の近接配置・素子ピッチの縮小を無理なく実現しており、すぐれた電流バランスを得ている。

3.3 冷却系統

前述の素子スタックは、水の使用もちろん可能であるが、数百 V

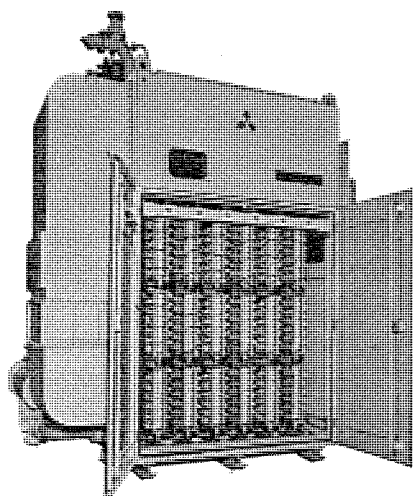


図 3.3 3,750 kW 150 V 25 kA サイリスタレクチフォーム
3,750 kW 150 V 25 kA thyristor rectifier.

表 3.1 冷却媒体の特性
Characteristics of cooling media.

| 特性(60°C) | 冷却媒体 | 鉱油 | SK-2 | 水 |
|---|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 比重 γ (kg/m ³) | | 842 | 1,300 | 983 |
| 定圧比熱 C_P (kcal/kg°C) | | 0.5 | 0.3 | 0.998 |
| 粘性係数 μ (kg/m ²) | | 7.47×10^{-4} | 1.66×10^{-4} | 0.48×10^{-4} |
| 動粘性係数 ν (m ² /s) | | 8.7×10^{-6} | 1.25×10^{-6} | 0.48×10^{-6} |
| 熱伝導率 λ (kcal/mh°C) | | 0.105 | 0.1 | 0.566 |
| 温度伝達率 $\alpha = \frac{\lambda}{C_P \gamma}$ (m ² /s) | | 0.69×10^{-7} | 0.72×10^{-7} | 1.6×10^{-7} |

におよぶ高い電圧では水による冷却には特に慎重でなければならない。電食・電流による腐食・絶縁劣化の問題および水の保守・管理等を考慮すると、絶縁油による冷却が性能的にまきる。冷却面だけの考慮から安易に水を用いることは避けねばならない。当社では電気化学用サイリスタには一貫して低粘度不燃性油 SK-2 を用いている。SK-2 は、JIS 2 号の鉱油に匹敵する絶縁耐圧をもち、不燃油であること、水に近い粘性であることから整流器の冷却媒体として、きわめて好都合である。特に、動粘性係数の低いことが、すぐれた冷却能力を得るために重要である。

循環油の冷却器としては水冷式・風冷式それぞれの標準シリーズが準備されており、多くの場合、整流器用変圧器のタンクにポンプとともにコンパクトにまとめて取り付けられる。他に、油流指示器・コンサベータ・バルブ等が組み込まれている。循環油ポンプは、要求に応じて予備ポンプを設け、万一の故障によって予備を自動起動させることもできる。

3.4 標準系列

素子の進歩によって二重星形結線において直列素子数 1 で DC 700 V 級までも製作できるようになっているが、二重星形結線では

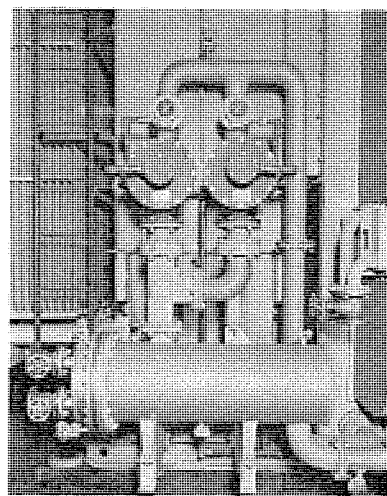


図 3.4 サイリスタレクチフォーム冷却装置
Cooling equipment of thyristor rectifier.

表 3.2 油冷サイリスタ整流器標準系列
Standard series of oil cooled thyristor rectifier.

| 二重星形結線 | | 三相全波結線 | | 外形寸法 mm | | | 概略重量 kg |
|-----------|--------|-----------|--------|---------|-------|-------|---------|
| 形名 | 定格電流 A | 形名 | 定格電流 A | W | D | H | |
| CQ-1W10C5 | 18,000 | CQ-1B10C5 | 9,000 | 2,500 | 1,200 | 2,400 | 2,000 |
| CQ-1W12C5 | 21,600 | CQ-1B12C5 | 10,800 | 2,500 | 1,200 | 2,700 | 2,400 |
| CQ-1W14C5 | 25,200 | CQ-1B14C5 | 12,600 | 2,500 | 1,200 | 3,000 | 2,800 |
| CQ-1W16C5 | 28,800 | CQ-1B16C5 | 14,400 | 2,500 | 1,200 | 3,300 | 3,300 |
| CQ-1W18C5 | 32,400 | CQ-1B18C5 | 16,200 | 2,500 | 1,200 | 3,600 | 3,800 |
| CQ-1W20C5 | 36,000 | CQ-1B20C5 | 18,000 | 2,500 | 1,200 | 2,400 | 3,800 |
| CQ-1W24C5 | 43,200 | CQ-1B24C5 | 21,600 | 2,500 | 1,200 | 2,700 | 4,600 |
| CQ-1W28C5 | 50,400 | CQ-1B28C5 | 25,200 | 2,500 | 1,200 | 3,000 | 5,400 |
| CQ-1W32C5 | 57,600 | CQ-1B32C5 | 28,800 | 2,500 | 1,200 | 3,300 | 6,400 |
| CQ-1W36C5 | 64,800 | CQ-1B36C5 | 32,400 | 2,500 | 1,200 | 3,600 | 7,400 |

相間リアクトルを含めて整流器用変圧器の容量が大きくなるので、経済性の面からも検討が必要である。二重星形と三相全波との境界線を一般的に定めるのはむずかしいが、変圧器を含めて考えた場合、大体DC 500 V 前後を境にしてこれ以上の電圧に対しては三相全波が有利になる。電流量については二重星形結線に対しては1キュービクル60 kA、三相全波に対しては30 kA 級までの標準系列が前述の基本構造に基づいて準備されており、整流器プラントの回路方式の選択が整流器の容量によって制限されることはない。すでに述べたように、きわめて小形にまとめられており、幅・高さとも整流器用変圧器と組み合わせたときのつり合いがよく、据付・保守が簡略化される。

4. 制御回路

4.1 信頼性の考慮

サイリスタ整流器において制御回路の信頼性は特に重要であり、信頼性の高い部品の使用、回路設計を行なうことはもちろん、万一の故障に対しては故障の発見が容易で、短時間で復旧が可能な構造にすることが肝要である。さらに、制御電源の正常な変動に対しては十分な点弧能力を有し、異常な低下あるいは瞬時停電に対してもサイリスタを破損することのないように配慮されなければならない。

当社の制御装置は、すぐれた回路設計と部品の完全なソリッドステート化、適切なカードユニットの採用等これらの点にも十分な考慮が払われているが、さらに過電流に対してゲートシャ断回路、制御電源の異常低下に対して低下期間中のみゲートシャ断を行なって制御電源回復後に自動的に正常運転に復帰する異常点弧防止回路等多くのすぐれた回路を含み、よりいっそう信頼性の高い装置になっている。

制御回路は、低電力レベルの電子回路で構成されているが、主回路・補助動力回路等の電力回路が混在するため、ノイズ防止には十分の考慮がなされなければならない。当社の制御回路には適切なフィルタの採用と、電力回路との分離配線、シールド線の採用、補助動力線のツイスト等の耐ノイズ配線3原則が適用され、ノイズに対しても強い回路になっている。

電気化学用特有の腐食性ガスに対しても、密封キュービクルの採用、金めっきコネクタの採用、冗長度を持たせるなどの信頼性の高い構造になっている。

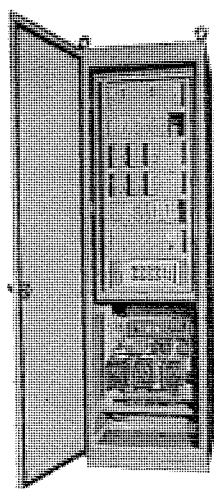


図 4.1 サイリスタ定電流制御盤
Constant current control panel for thyristor.

4.2 制御回路要素

サイリスタ整流器に用いられている基本的な制御回路ブロック図を図4.2に示す。図では直流電流の検出は、AC計測法によっているが、DCCTによる計測法でもよい。

図において直流出力電流は、電流検出回路で比例した電圧に変換され、一方、基準設定回路から必要な電圧が設定される。この両電圧は増幅器で比較され、その差電圧が増幅されてゲートパルス発生器に供給される。

ここで用いられている電流制御ユニットは、化学工業用サイリスタ整流装置の定電流制御に使用するように設計された増幅器で、高利得・高信頼度を有する演算増幅器と関数ボードとから構成される。演算増幅器は、開路直流利得85 dB以上のシリコントランジスタ増幅器で、関数ボードの入力抵抗とフィードバックインピーダンスと組み合わせて一次遅れの特性を有する。そのゲインおよび時定数は前面盤取付けの調整要素により調整できる。

電流センサは、サイリスタ主回路になんらかの原因によって過電流が流れたときに瞬時にゲート回路のパルスのシャ断信号を発生する。この回路は1枚のプリント基板に組み込まれ、基板前面に過電設定用のポテンシオメータを備えている。

ゲートパルス発生器は、3枚のゲートパルス発生回路、3枚の同期電源回路、1枚のゲートパルス抑制回路、1枚のゲートパルステストパネルの8枚のプリント基板からなり、60°ずつ位相のずれた6個のパルスを発生する。

サイリスタのゲートパルス発生回路には、UJTを使用する回路、磁気増幅器を使用する回路等多数の方式が使用されているが、当社では電源電圧が自動的に補償され、応答速度が早い、移相特性の直線性が得られる等の多くの特長を有する電圧コンプレータ形ゲートパルス発生回路を使用している。その1相分の基本回路を図4.3に示す。

ゲートパルス抑制板では、ゲートシャ断信号によってゲートパルス発生回路の電圧 V_{PS} をサイリスタで短絡し、ゲートパルスを完全にシャ断する。これは、別に設けられたスイッチによってリセットされる。

ゲートパルス増幅器は、ゲートパルス発生器によって位相制御されたパルスを増幅して主サイリスタを点弧するに十分なパルスを発生する。各相ごとに60°の間隔をもった2個のパルスを発生し、サイリスタのダブルパルス制御を行なう。その構成は、3枚のプリント基板と位相トランスとからなり、やはりプラグイン式になっている。

サイリスタに与えるゲートパルスは、1 μ sの急しゅん(峻)な立上りをもったハイゲートドライブ波形で、多数の素子の並列点弧時のターンオンのばらつきを極力少なくしている。

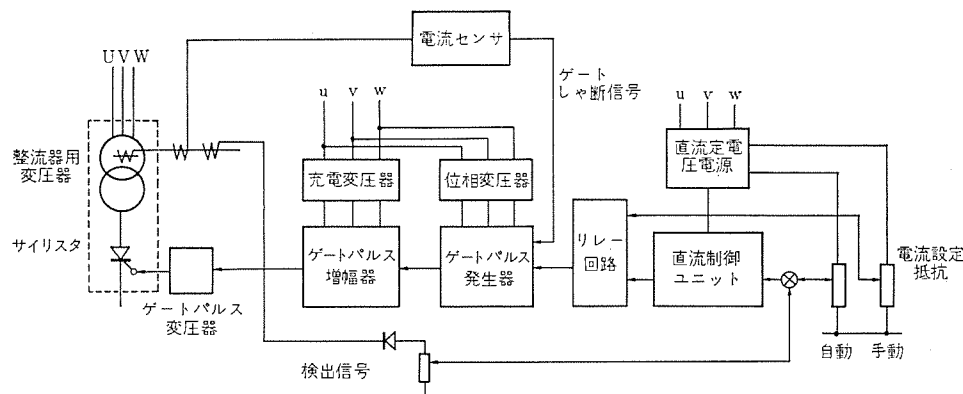


図 4.2 定電流制御回路ブロック図
Block diagram of constant current control circuit.

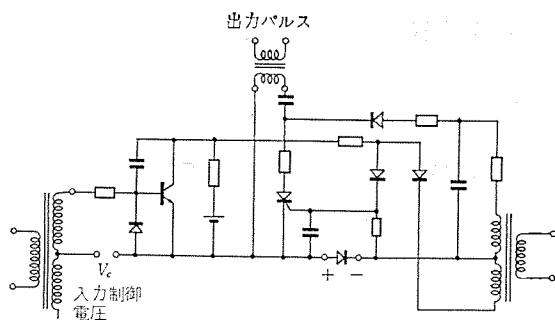


図 4.3 ゲートパルス発生回路
Gate pulse generating circuit.

ゲートパルス変圧器ユニットは、ゲート制御回路と主サイリスタとを絶縁し、ゲートパルスの伝達を行なう。通常、サイリスタ整流器本体に内蔵されるので、シールドケース・樹脂モールドなどを設けて使用条件に適した構造となっている。

5. サイリスタの特性

電気化学用整流装置に対してダイオードとサイリスタとの比較は、過去にもいくつかなされてきたが、すでに多数の運転実績が得られた現在、サイリスタの優秀な性能があらためて認識されてきている。次に、サイリスタ適用上の二、三の留意すべき事項について述べる。

5.1 制御特性

サイリスタは、大幅な出力調整が早い応答でしかも連続的にできる点で最近の電力制御の要求の増大にマッチしている。たとえば、タップ切換器で数秒ないし数十秒かかっていたものが1秒足らずで調整できる。このために急速な負荷制限や計算機による制御、あるいはデマンド制御の要求があるときにはきわめて都合である。また、起動停止がすみやかにできるのも運転上好ましい点である。

5.2 効率、力率

効率は、変圧器・電圧調整器・リアクトルを含めた全装置で比較すると、一般にサイリスタがまさっている。これは、全体の回路構成、電流・電圧定格によって左右されるが、代表的な例を図 5.1 に示す。

サイリスタでは電圧調整が位相制御による以上、定格より低い電圧では力率が低下する。起動時の短期間とはかくとして、長期間にわたって定格より大幅に低い電圧で運転される場合には、大きな力率改善用コンデンサが必要になることがある。あるいは、変圧器に適当なオフロード切換タップを設けるか、単巻変圧器を設けて直流電圧の低い範囲での力率を改善することができる。

一方、定格運転時においても受電電圧が下がったときにも定格直流電圧が得られるように、制御率 $\cos \alpha$ に余裕をとっておかねばならない。したがって、受電電圧の変動の大きいところでは、力率の悪い装置になるので注意が必要である。

5.3 高調波

サイリスタの場合はダイオードに比較して制御角 α が大きいため、交流電源側電流に含まれる高調波含有率も大きい。数万 kW といた大きな装置では特に高調波についてよく検討しておく必要がある。ダイオード方式も含めて大形プラントではその絶対値も大きいから、発電機・変圧器・ケーブル等を含めた系統全体として、ある特定次数調波に共振が生じると影響が大きい。したがって、系統全体あるいは各部分の高調波特性をよく検討する必要があるが、この点について当社では多くのデータと解析能力を保有して需要家のお役に立てる

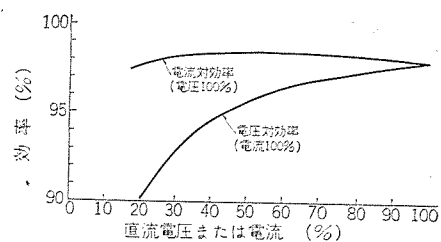


図 5.1 サイリスタ効率曲線の一例
Typical efficiency curves of thyristor.

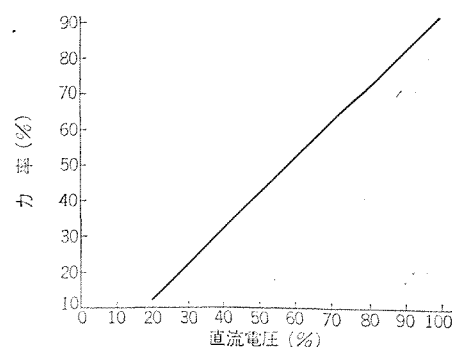


図 5.2 サイリスタ力率曲線の一例
Typical power factor curve of thyristor.

表 5.1 整流器一次電流高調波含有率
Harmonics contents of rectifier primary current.

| 高周波 次 | 6 相 整 流 $\alpha=9^\circ$ $u=18^\circ$ | 6 相 整 流 $\alpha=56^\circ$ $u=6^\circ$ | 12 相 整 流 $\alpha=10^\circ$ $u=18^\circ$ | 12 相 整 流 $\alpha=30^\circ$ $u=8^\circ$ |
|----------|---|---|---|--|
| 基 本 波 | 100 % | 100 % | 100 % | 100 % |
| 5 次 | 18.40 | 19.85 | | |
| 7 次 | 11.97 | 14.05 | | |
| 11 次 | 5.74 | 8.75 | 5.72 | 8.30 |
| 13 次 | 3.90 | 7.28 | 3.88 | 6.75 |
| 17 次 | 1.66 | 5.35 | | |
| 19 次 | 1.03 | 4.67 | | |
| 23 次 | 0.82 | 3.64 | 0.77 | 2.76 |
| 25 次 | 0.86 | 3.24 | 0.86 | 2.29 |
| 29 次 | 0.93 | 2.59 | | |
| 31 次 | 0.80 | 2.32 | | |
| 35 次 | 0.58 | 1.86 | 0.60 | 0.67 |
| 37 次 | 0.38 | 1.67 | 0.42 | 0.46 |
| 41 次 | 0.27 | 1.33 | | |
| 43 次 | 0.16 | 1.18 | | |

α : 位相制御角 u : 脈流重なり角

体制にある。サイリスタは、大きい高調波含有率をもつ反面、それ自身で電圧調整能力を有するゆえに多相化に対する回路の自由度が大きいから、積極的に長い波長の整流プラント構成を考慮すべきものと考えられる。たとえば、表 2.1 の 6,750 kW 装置は、コンパクトな1台の装置に12相回路をもたせ、経済的にダイオード6相方式より少ない高調波電流を得ている。

6. む す び

以上に電気化学用サイリスタ整流器の概要を述べたが、サイリスタ素子、主回路および制御回路ともによく吟味された信頼性の高い部品で構成され、安定した運転の実績を重ねている。単位キュービクル当たり 60 kA 級におよぶ大電流シリーズが用意されており、今後とも新技術の開発に努め、各需要家の要望に答えていきたいと考える。

参 考 文 献

- (1) 小林, 大沢, 田中: 三菱電機技報 44, No. 11 (昭 45)
- (2) 小林, 大沢, 田中, 佐藤, 児玉: 三菱電機技報 44, No. 11 (昭 45)

三菱表面処理用変換装置

鈴木 敏夫*・姫野 徹*・新家 吉雄*

Mitsubishi Converters for Plating and Chemical Treatment

Itami Works Toshio SUZUKI・Tetsu HIMENO・Yoshio SHINKE

DC sources used for the surface treatment of metal are mostly made out of thyristors nowadays. A good many number of thyristor converters are in operation at the steel process line, alumite treating factories and electro-plating shops. To cope with the trend of rationalization, automatization and labor saving in the plant operation for the surface treatment, the thyristor converters are demanded to be compact to do way with the restriction in the installation, simple in maintenance and in manipulation. Now a new series of water-cooled thyristor converters have been completed to meet the requirements. The machine is composed of units to form the interior assembly, compact in size and able to be produced in a quantity scale. Because of water cooling, it will withstand very well in the surrounding conditions. This article introduces the outline of the specification, composition and advantages of this new series.

1. ま え が き

サイリスタ技術のめざましい発展に伴い、金属表面処理用整流器への応用分野においても、従来のリアクトル制御方式に代わり、サイリスタ方式がほとんどになった。当社ではこの方面においては、すでにリアクトル方式からサイリスタ方式に切り換えて多くの実績を重ねてきたが、このほど、従来の考え方を一新した、小形で量産に適した新しいサイリスタ標準シリーズを完成した。

この標準シリーズは、一般の金属表面処理用で、電解酸洗設備、電解清浄設備、すずメッキ・亜鉛メッキ・クロムメッキなどの鉄鋼プロセスライン、アルミの陽極酸化被膜処理（アルマイト処理）、各種金属の電気メッキなどに広く適用できるものである。

定格電圧は、この用途で要求される数十ボルトまでの範囲はすべてカバーしており、電流は4,000 Aから16,000 Aまでの広範囲の要求にこたえられるものである。

この新シリーズのサイリスタ整流器は、開発以来すでに約40セットが運転中であり、現在さらに約20セット製作中であるが、ここにその新シリーズの概要を紹介する。

2. 特 長

この新標準シリーズは、従来の整流器と比べて種々の改善が行なわれてイメージを一新しているが、そのおもな特長をあげると、

(1) 小形である

従来の風冷式と比較して、5,000 Aクラスで床面積は約1/3に縮小され、数十台が設置されるプロセスラインなどにおいては建屋面積が大幅に縮小できる。

(2) 保守・取扱いが簡単

整流器の内部部器は、機能ごとにユニット化・ブロック化されているので、保守・取扱いが便利で、取換えもブロックごとに簡単にできる。また、制御回路はIC採用によって小形化され、すべてプラグインタイプのカード方式にされているので、扱いやすい。

(3) 標準化による高い信頼性

整流器内の部品は、すべて標準ブロックごとに量産されており、各ブロックの信頼性は高く、したがって装置全体としても高い信頼性が得られる。

(4) 腐食性環境を考慮した水冷式

表面処理用整流装置は、一般に周囲環境の悪い条件のもとで使用されることが多いため、整流器は素子をはじめ、導体・変圧器などの大きな電力損失を生ずるところはすべて系統的に冷却し、キュービクル内の温度上昇をおさえ、外部空気の循環を最小になるようにしてふん囲気の影響を少なくしている。

(5) 意匠の考慮

外観をスマートにしているので、工場内を明るい感じにする。図2.1は、AC制御方式の整流器外観を示す。



図 1.1 AC制御サイリスタ装置の列盤構成
Arrangement of AC control thyristor converter.

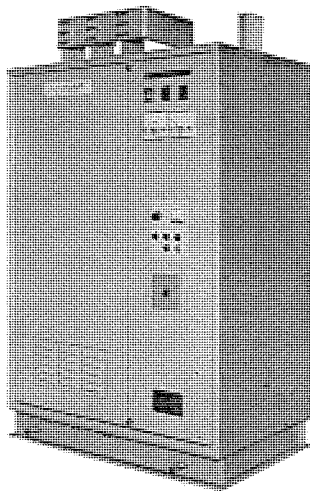


図 2.1 CSE 形 200 kW AC 制御 サイリスタ 整流装置
Type CSE 200 kW AC control thyristor converter.

3. 回路方式

基本的なタイプは、受電が低圧 (200 V/400 V) の場合と、高圧 (3,000 V/6,000 V) の場合によって2種類に分類される。

低圧受電は、整流器の単器容量が小さい場合、あるいは高圧受電であっても、プラントに対する整流器台数が多い場合で、一括して変圧器を設けて低圧にして各整流器を接続するほうが経済的な場合などに採用される。一般に、直流出力は、低圧大電流であるため、出力制御は交流側で行なう AC 制御方式を採用している。基本的な構成は、図 3.1 に示されるとおりである。

電流の計測・制御は、AC 側検出法を採用しているため、DCCT の必要はなく、DC 側の大電流導体の配置上の制約が少なくなる。整流回路は、相間リアクトルなしでダイアトリカル結線であるが、実際には整流アームは 120° 通電で、六相二重星形結線の動作をし、変圧器の利用率高くなるように考慮されている。

回路動作は、AC 側制御をしているために普通のサイリスタ整流器

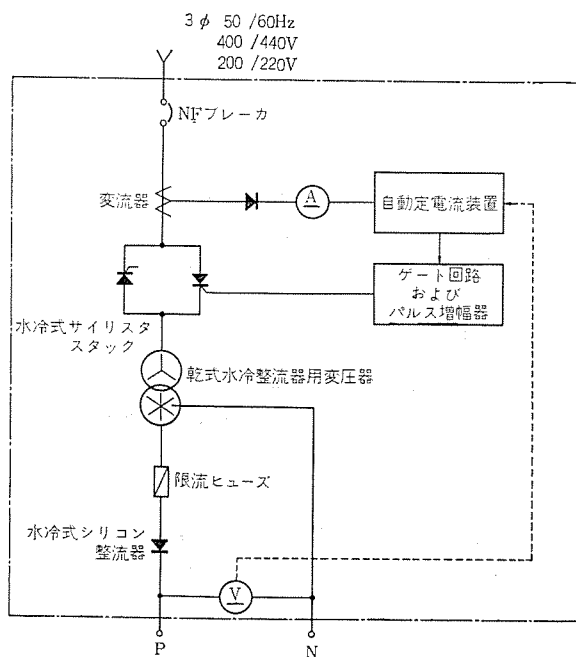


図 3.1 AC 制御 スケルトン
Single line diagram of AC control thyristor converter.

と多少異なるが、直流出力の制御特性はほとんど同じである。図 3.2 は、ここで採用している結線方式による各部の波形を示している。図 3.3 は、直流出力電圧の制御特性を示し、位相制御角 $\alpha = 120^\circ$ で 100 % 制御される。

次に、高圧受電は整流器単器容量が比較的大きい場合、あるいはプラントの整流器台数が少ない場合に採用される。この方式では、直接サイリスタ整流器によって出力の制御を行なう。

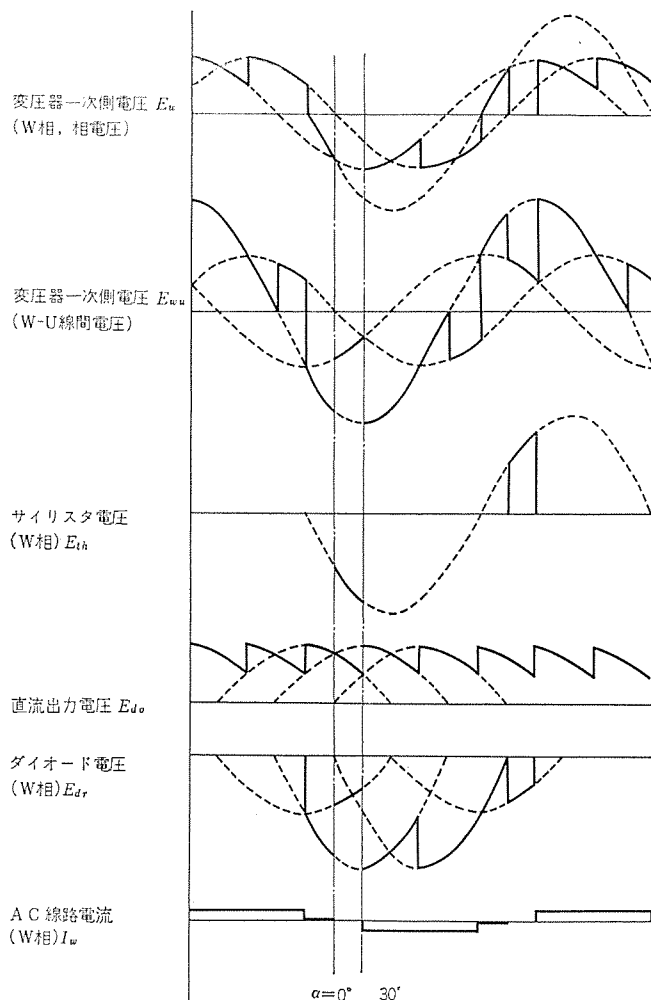


図 3.2 $\alpha = 30^\circ$ における各部波形 (AC 制御)
Voltage and current wave forms of AC control type
(at phase angle $\alpha = 30^\circ$).

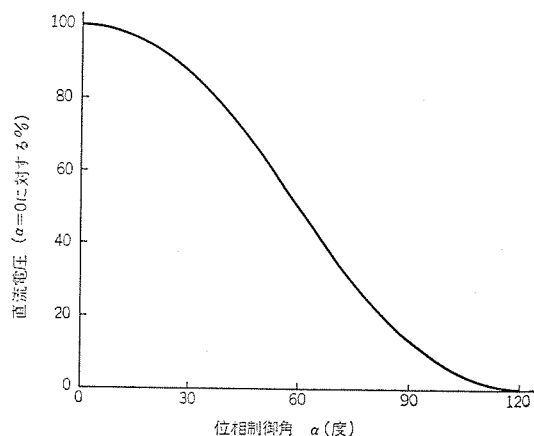


図 3.3 AC 制御における位相制御角と直流出力電圧の関係
Relation between phase control and DC output voltage
with AC control type.

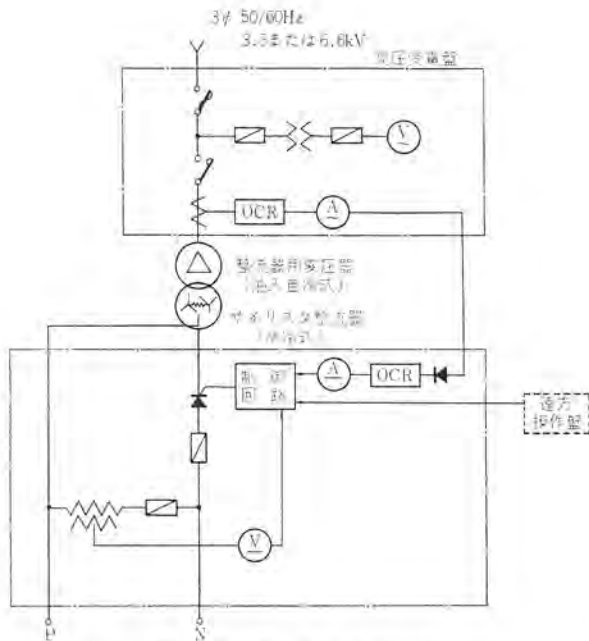


図 3.4 DC 制御スケルトン
Single line diagram of DC control thyristor converter.

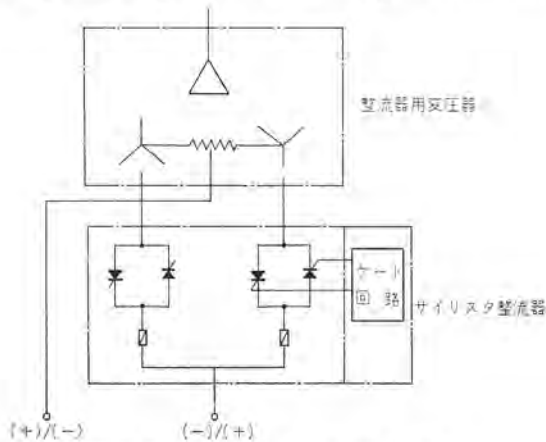


図 3.5 サイリスタ極性切換回路
Single line diagram of static polarity reverse circuit.

図 3.4 は、この方式による単線結線図の例を示す。装置は高圧受電盤、変圧器およびサイリスタ整流器で構成される。直流電流の計測制御については、低圧受電の場合と同様に AC 側検出法を採用しているので、DCCT・シャントなどの直流側検出装置は不要で、導体工事が簡単になる。整流回路は、六相二重星形結線を採用しており、相間リアクトルは整流器に内蔵している。

プロセスラインにおける電解酸洗あるいは電解清浄ライン、あるいは一般金属メッキにおける極性切換えについては、従来極性切換器を別に設けていたが、この高圧受電のサイリスタシリーズでは、図 3.5 のように、逆方向のサイリスタを内蔵し、ゲート信号によって極性を切り換えることも可能である。

通常の機器の休止とは別に、制御上電流を ON-OFF 制御する場合、特にアルマイト処理などにおいてはそのひん(頻)度が比較的高い場合が多いが、これはサイリスタ ON-OFF によって制御されるように考慮されているので、受電回路においてコンタクトを省略することも可能である。

4. 標準系列

一般に、金属表面処理用整流器においては、直流電圧は 10~40 V

の範囲に、また電流は単器で 15,000 A を越えるものはほとんどないといえる。鉄鋼プロセスライン用途では、直流電圧は 25~40 V、電流は 3,000 A から 10,000 A が中心である。アルマイト処理用電源では、一般に直流電圧は 25 V、電流はほとんど 4,000 A から 15,000 A の範囲にあるといえる。

一方、一般メッキ用あるいは洗浄の場合には、その種類によって定格は多少異なるが、大体直流電圧は 10~20 V の範囲にあり、電流は 5,000 A を越えるものは少ない。交流受電電圧は、整流器容量・全台数などによって高圧または低圧のいずれかを選定することはすでに述べたとおりである。

表 4.1 は、200 V または 400 V の低圧受電における標準定格を示し、表 4.2 は 3,000 V または 6,000 V の高圧受電における標準定格を示す。電流定格は、4,000 A 以上のものを対象にしているが、

表 4.1 サイリスタ AC 制御式シリコン整流器標準シリーズ形式一覧
List of standard AC control type thyristor converters.

| 形 名 | 直流電流 A | 直流電圧 V | キュービカル外形寸法 mm | | | 質量 kg | 冷却水量 放流式 l/min |
|---------------|-----------|-----------|------------------|-----|-------|----------|----------------------|
| | | | 幅 | 奥行 | 高さ | | |
| CSE-1W6E-4KS | 4,000 | 10 | 1,300 | 800 | 1,900 | 900 | 60 |
| CSE-1W6E-4NF | | 15 | | | | 1,000 | |
| CSE-1W6E-2KS | | 20 | | | | 1,100 | |
| CSE-1W6E-2NF | | 25 | | | | 1,200 | |
| CSE-1W7E-4KS | 5,000 | 10 | | | | 1,000 | |
| CSE-1W7E-4NF | | 15 | | | | 1,100 | |
| CSE-1W7E-2KS | | 20 | | | | 1,200 | |
| CSE-1W7E-2NF | | 25 | | | | 1,300 | |
| CSE-1W8E-4KS | 6,000 | 10 | | | | 1,100 | |
| CSE-1W8E-4NF | | 15 | | | | 1,200 | |
| CSE-1W8E-2KS | | 20 | | | | 1,300 | |
| CSE-1W8E-2NF | | 25 | | | | 1,400 | |
| CSE-1W9E-4KS | 7,000 | 10 | | | | 1,200 | |
| CSE-1W9E-4NF | | 15 | | | | 1,300 | |
| CSE-1W9E-2KS | | 20 | | | | 1,400 | |
| CSE-1W9E-2NF | | 25 | | | | 1,500 | |
| CSE-1W10E-4KS | 8,000 | 10 | | | | 1,200 | |
| CSE-1W10E-4NF | | 15 | | | | 1,400 | |
| CSE-1W10E-2KS | | 20 | | | | 1,500 | |
| CSE-1W10E-2NF | | 25 | | | | 1,600 | |
| CSE-1W6EX-4KS | 10,000 | 10 | | | | 1,300 | |
| CSE-1W6EX-4NF | | 15 | | | | 1,500 | |
| CSE-1W6EX-2KS | | 20 | | | | 1,600 | |
| CSE-1W6EX-2NF | | 25 | | | | 1,800 | |
| CSE-1W7EX-4KS | 11,000 | 10 | | | | 1,400 | |
| CSE-1W7EX-4NF | | 15 | | | | 1,600 | |
| CSE-1W7EX-2KS | | 20 | | | | 1,800 | |
| CSE-1W7EX-2NF | | 25 | | | | 2,000 | |
| CSE-1W8EX-4KS | 12,000 | 10 | | | | 1,500 | |
| CSE-1W8EX-4NF | | 15 | | | | 1,700 | |
| CSE-1W8EX-2KS | | 20 | | | | 1,900 | |
| CSE-1W8EX-2NF | | 25 | | | | 2,300 | |

注) 上記形名において、受電電圧 440, 220 V でナイフスイッチと限流形ヒューズの組み合わせを使用するときは、それぞれ 4KS, 2KS となり、ノーヒューズブレーカを使用するときは 4NF, 2NF となる。

表 4.2 DC 制御標準定格
List of standard DC control type thyristor assemblies.

| 形 名 | 直流電流 A | 直流電圧 V | 外形寸法 mm | | | 重量 kg | 所要冷却水量 l/min |
|---------|-----------|--------------------|---------|-------|-------|----------|-----------------|
| | | | 幅 | 奥行 | 高さ | | |
| CW-1W3E | 6,000 | 10, 15, 20, 25, 40 | 1,310 | 1,260 | 1,600 | 750 | 60 |
| CW-1W4E | 8,000 | 10, 15, 20, 25, 40 | | | | | |
| CW-1W5E | 10,000 | 10, 15, 20, 25, 40 | | | | | |
| CW-1W6E | 12,000 | 10, 15, 20, 25, 40 | | | | | |
| CW-1W7E | 14,000 | 10, 15, 20, 25, 40 | | | | | |
| CW-1W8E | 16,000 | 10, 15, 20, 25, 40 | | | | | |

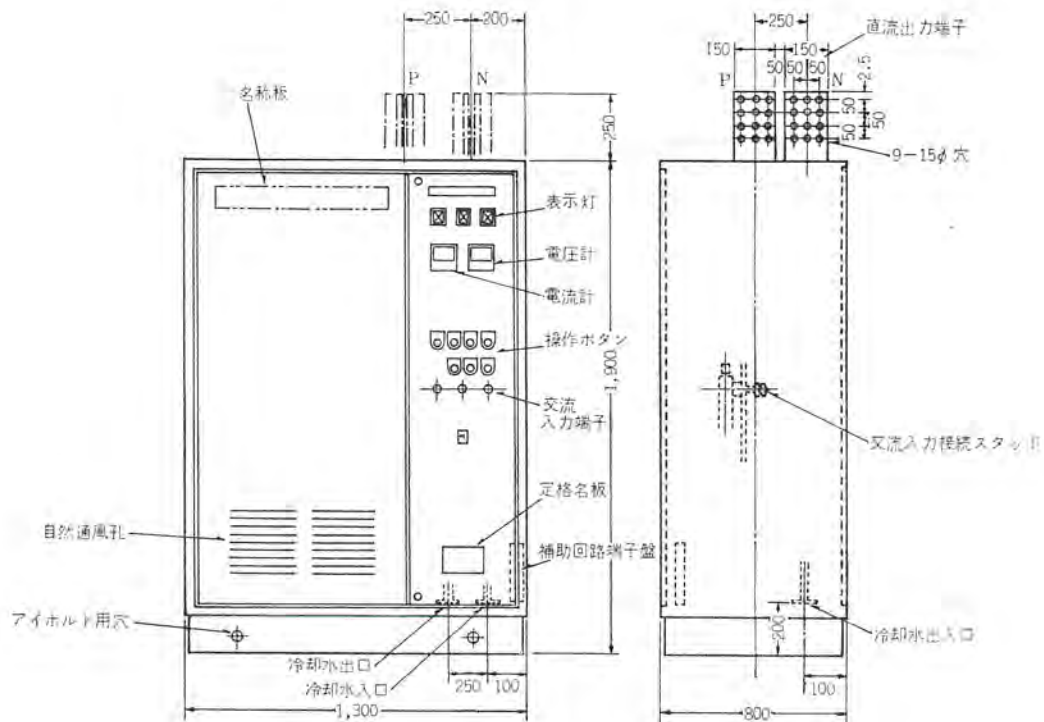


図 4.1 サイリスタ AC 制御式 シリコン 整流器外形図
Outline of AC control type thyristor converter.

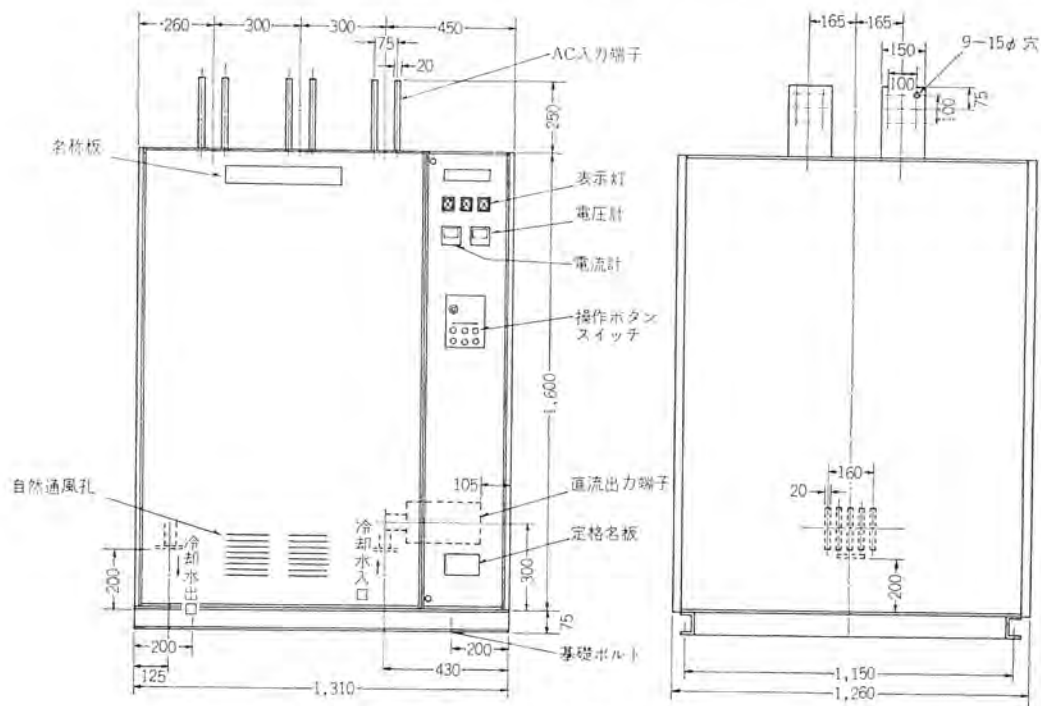


図 4.2 DC 制御式 サイリスタ 整流器の外形図
Outline of DC control type thyristor assembly.

一般のメッキ用で 1,000 A から 3,000 A の範囲の用途も多くあるが、これらについては、さらに小電流用の標準シリーズが別に開発されている。

図 4.1 は、低圧受電 AC 制御式サイリスタ整流器の標準外形図を、また図 4.2 は、高圧受電の場合のサイリスタ整流器の外形図を示す。

5. 装置の構成と構造

サイリスタ AC 制御式整流装置は、単線結線図に示すように大別し

て受電側開閉器・交流制御サイリスタ・整流器用変圧器・シリコンダイオードおよび操作制御装置の各部分によって構成され、これらは一括してコンパクトなキュービクルに収納されている。したがって、据付け上の複雑な制約がまったくなく、キュービクルを据え付け、AC 側・DC 側端子を接続し、冷却水の準備を行なうだけでスペースもとらずに非常に簡単に据付けが完了できる。内部構造は、各機器とも最も合理的に配置され、従来から大容量整流装置の製作によって得られた数数の実績を十分に折りこみ、信頼性を重視した設計を行なっている。

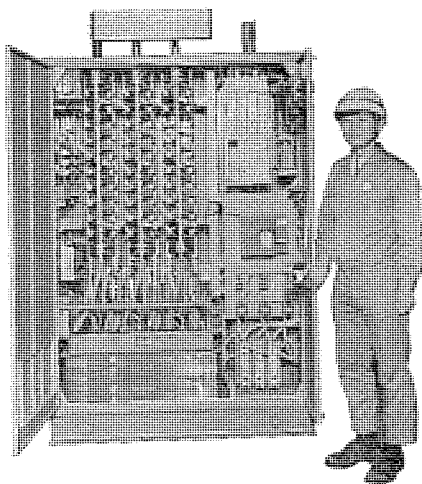


図 5.1 AC 制御サイリスタ内部構造
Interior view of AC control thyristor converter

各機器・機能は完全にユニット化・ブロック化されており、組立ての単純化は同時に万一の保守・点検に際しても容易な作業で行なえる配慮がなされている。構造は、最下部に新たに開発した水冷式モールド形変圧器が設置され、この変圧器は同時にキュービクルの基準ベースをなしている。変圧器の上部にはスタッド形整流素子が速動ヒューズとともに相ごとにブロック化され、合理的な配置のもとに最短で変圧器と結合されている。

裏面側下部には、変圧器一次側で各相逆並列に接続された平形水冷サイリスタスタックが設置され、そのすぐれた特性によって効率の良い制御とともに高信頼性が期待でき、したがってこのサイリスタのゲートシャ断が静止開閉器としての機能を可能にし、このため交流側開閉器はきわめて簡素化されている。ナイススイッチと限流ヒューズとの組み合わせ、あるいはノーヒューズブレーカを用いて各機能が使い勝手よくコンパクトに一体化されている。

操作・制御装置はシリコントランジスタやIC回路を十分に駆使し、Solid State化によって小形化され、ユニットカードシステムを採用し、保守・点検もプラグインタイプで非常に容易である。

サイリスタDC制御整流装置は、高圧受電（3.3 kV または 6.6 kV）構成となっており、単線結線図に示すように、高圧受電盤・整流器用変圧器およびサイリスタ整流器のそれぞれを単独配置して構成される。

サイリスタDC制御整流器は、AC制御整流装置の姉妹シリーズとしての外観写真のようにほとんど同じ形状に完成されている。この装置の構造は、変圧器が別設置となるので、大電流冷却導体を骨子とし、平形サイリスタスタックを各相ユニットごとに配置してコンパクトに組み立てられている。

このサイリスタスタックは、大容量平形素子をばね機構で圧接してサンドイッチ状に冷却片間にはさみ、この冷却片の内部に冷却水を流入して効果的な冷却が得られている。素子は、冷却水に無関係に着脱が可能になっているので、保守・点検はきわめて容易である。操作・制御装置および保護方式も必要最少限にとどめ、万一故障が生じた場合には確実に動作するように各検出装置・警報装置も信頼性の高い設計を行ない、誤動作の絶無を期し、機器間の結線も Shield, Separation, Twist の原則を実施している。

また、AC制御方式の場合と同シリーズとして器具部品も共通に厳選のうえ、ユニット化・ブロック化されたものを採用し、組立てに際し

でもワンタッチ固定・スライド式（はめこみ）固定を主体にした。このように共通のシリーズに対してユニット化・ブロック化を統一することは、全体としてきわめてコンパクトに設計できるとともに、組立・保守・点検に対しても多くのメリットを折りこむことができた。

表面処理用整流装置は、通常きわめてふん囲気条件の悪い場所で使用されるので、冷却方式が信頼性に対して決定的な要素になる。

サイリスタ整流装置は、AC制御・DC制御方式とともに冷却効率の最もすぐれた水冷式を採用し、整流素子をはじめ直流導体・ヒューズ固定導体などやや大きな電力損失を生ずるところはすべて系統だった冷却水系を組み、熱放散を極力おさえ、キュービクル内外への外気の影響を少なくしている。また、水系と電位の関係による流電腐食が心配されるが、大容量水冷整流装置の10年を越える長期運転実績をもとに、材料の選定・工作技術もその実績を十分に折りこんだ設計を行ない、万全の対策が施されて長年月の運転にも高い信頼性が期待できる。

6. 制御回路

本シリーズにおける低圧受電の場合の整流装置は、AC制御方式が採用されているが、負荷電流の投入・シャ断はサイリスタのゲートパルス ON・OFF によって行なわれる。また、高圧受電の場合には高圧側に高圧コンタクトを用いるが、負荷電流の投入・シャ断は同じくゲートパルス ON・OFF によって行なわれ、高圧コンタクトは無電流の状態を開閉操作を行なうようになっている。

負荷電圧・負荷電流の制御は、ゲートパルスの位相制御によって行なわれ、通常、メッキ・電解・洗浄などの負荷では自動定電流制御が多く、アルマイト処理などにおいては自動定電圧制御が広く行なわれている。

位相変調回路は、AC制御・DC制御いずれも磁気増幅器の速応性回路による電圧リセット形を採用している。これは、周知のように、電圧一時間積によって位相が決定されるため、制御電源波形のひずみによる影響をまったく受けず、制御性能を向上させている。

AC制御方式では幅広パルスを必要とすることから、トランジスタと飽和トランスの組み合わせによってパルス幅を減ずることなくパルス増幅を行ない、DC制御方式ではコンデンサの充放電によってパルス増幅を行なっている。図 6.1 は、この AC 制御方式における整流装置の系統図である。

次に、AC制御における制御特性を考察してみる。

(1) 三相 AC 制御サイリスタ回路の位相範囲は、抵抗負荷・誘導性負荷のいずれも 120° 必要である。これは、各相の相電圧の交点を基準にして $\alpha=0$ から $\alpha=120^\circ$ まで制御させる必要がある。

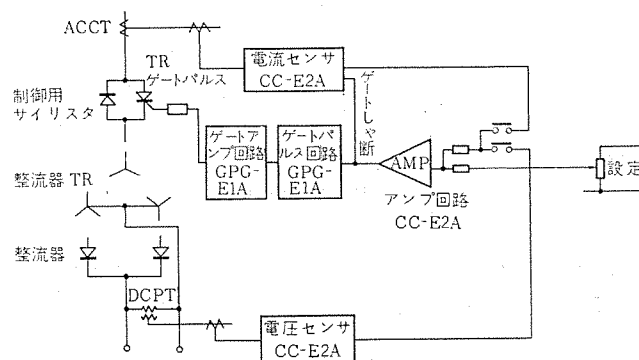


図 6.1 制御回路ブロック線図
Control circuit block diagram.

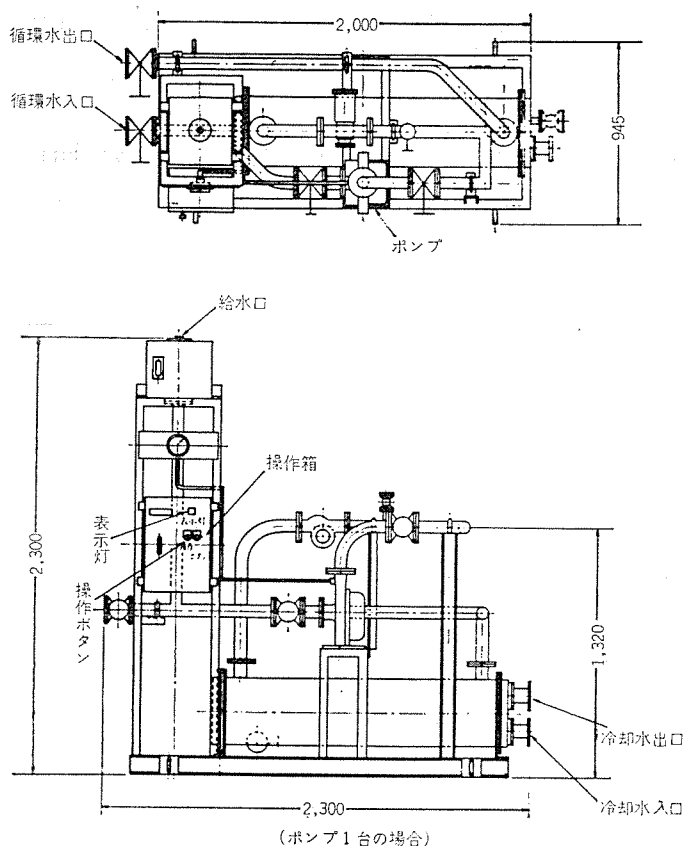


図 7.1 水冷式再冷却器外形図
Outline of recoler (W-W).

表 7.1 水-水再冷却器標準定格
Standard series of recoler (W-W).

| 仕 様 | 形 名 | GJ-130 E-1 P※ GJ-130 E-2 P | GJ-150 E-1 P GJ-150 E-2 P | GJ-180 E-1 P GJ-180 E-2 P |
|---------|-------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | | | | |
| 冷 却 容 量 | kW | 30 | 50 | 80 |
| 外部冷却水量 | l/min | 100 | 200 | 250 |
| 内部循環水量 | l/min | 120 | 200 | 200 |

注) ※形名末尾の 1 P あるいは 2 P は、ポンプの台数をあらわし、予備ポンプ組込みの場合は 2 P となる。

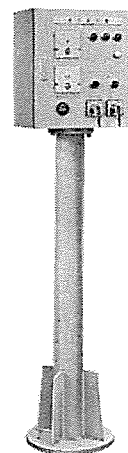


図 7.2 ポスト形遠方操作箱
Post type remote control box.

(2) パルスの消える点は、相電圧の交点を $\alpha=0$ として $\alpha=120^\circ$ よりさらに 60° 遅れたところまでひっぱる必要がある。すなわち、パルス波形は末尾が固定されているので、パルス幅は 180° 必要である。位相制御角と直流出力電圧との関係は、図 3.3 に示した。

7. 付 属 機 器

7.1 冷却水再冷却装置

水冷却方式には、冷却水の水質・水量と整流装置容量から放流式と循環式の二つの形式がある。水質が悪い場合、水あかが付着して冷却効果を阻害したり腐食を起し、装置の運転に支障を生じる場合がある。冷却水の比抵抗・イオン濃度・固形物総量をあらかじめ調査し、良質水が得られぬ場合、あるいは整流装置容量が大きい場合には、整流装置数面に対して水冷式再冷却装置を 1 台設置して、循環水冷却方式にすることができる。再冷却装置の標準シリーズを表 7.1 に示す。外形寸法は、図 7.1 に示すように、常用ポンプのみの場合と予備ポンプをも組み込んだ場合との 2 系列になる。

7.2 遠方操作盤

整流装置の設置場所と運転操作室とが離れている場合、あるいは数台の整流装置の制御を 1 個所でまとめて行なう場合などのため、図 7.2 に示す遠方操作盤が準備されている。操作盤の内蔵器具は、制御の方式・種類によって Optional 要素となるが、設置形式によってポスト形・壁かけ形の 2 種類が同意匠で準備されている。

8. む す び

以上、表面処理用サイリスタ整流器の新系列の概要を紹介したが、表面処理プラント全体の合理化・自動化・省力化が進められているう勢にあって、サイリスタ電源においても、保守・運転取扱いが簡単でかつ建屋スペース・据付け場所の制約が少ないことは重要な条件になる。

この新系列のサイリスタ整流器は、これらの条件を満足するように考慮されており、表面処理プラントの近代化と相まって今後数多く採用されることが期待される。

無停電々源システムの計画

川畑 隆夫*・片岡 康男**

Design of Uninterruptible Power System

Itami Works Takao KAWABATA

Head Office Yasuo KATAOKA

The On-line Computer System has entered into the state of an essential and practical usage, being extensively employed in on-line banking systems and seat reservation systems and etc. As the computerization of the information system makes progress, the demand for the power supply with good quality and high reliability becomes lively. In general, the amount of information to be treated by the computer system rapidly increases year after year, so no fixed setup will answer the purposes of furnishing satisfactory power sources. Then, the power supply system has to be planned to cope with the future extension.

This article is provided, based on our research and experience, for reference to the planning of uninterruptible power supply.

1. ま え が き

オンラインコンピュータシステムは、いよいよ本格的な実用期を迎え、銀行業務や座席予約システム等に大幅に導入されつつある。このように情報システムのコンピュータによる自動化が進むにつれ、これらのシステムの電源は、良質の電力を供給すると同時に、高度の信頼性を要求されることになる。また、一般にコンピュータシステムは、処理すべき情報量が年とともに急速に増大するので、急速に増設または入換えが行なわれるため、その電源も将来の増設に対処しうるものとして計画されなくてはならない。当社ではこのような用途に適した無停電々源装置として、サイリスタインバータの標準系列を完成し、44年春以来多数の納入実績をつみ重ねつつある。また、設備容量も単機300 kVAから、並列冗長システムの150 kVA×4台まで、各種の製作実績を収めた。本文は、当社の長年の研究開発と製作経験をもとに、無停電々源システムの計画の参考になることを願って作成したものである。

2. CVCFと全システムの概要

CVCFとは、Constant Voltage Constant Frequencyの略であるが、図2.1にCVCFを含む全システムの概要を示している。この図に示されたいくつかの機器は、相互に密接な関連があるので、全体の協調が十分に検討されていなくては、個々の機器はすぐれたものであっても、システム全体としてすぐれた機能は発揮できない。とくに考慮すべき基本的事項は、a) 信頼性、b) 経済性、c) 性能、d) 使いやすさと保守性、e) 単純さの追求、ということになるが、これらの場合により相矛盾する要素の調和と協調を考慮しつつ、次

のような事項を検討する必要がある。

- (1) 個々の機器の信頼性を向上する
- (2) 個々の機器を二重化し、またはバックアップを設ける
- (3) 個々の機器間の配線・配管の信頼性を向上する
- (4) 個々の機器が設置される場所や配線・配管ルート为天災・人災に対する安全性の確保
- (5) すべての機器の増設が容易であること、また撤去・廃却も容易であること
- (6) すべての機器に固有の障害要素が、実用上さしつかえない範囲にはいることをチェックし、場合によっては必要な対策を計画する

一般的な考え方は以上のとおりであるが、このような無停電々源システムにおいて、特にクローズアップしておくべき問題点をひろいあげると次のようになる。

(i) CVCFを比較的狭い電気室に置く場合、その換気または空調が停止すると、急速な室温上昇のために、CVCFは運転停止せざるをえないことになる。したがって、電気室の換気・空調設備およびその電源と冷却水系は、必要に応じ二重化すべきである。

(ii) コンピュータ室の空調設備そのものと、その電源および冷却水系の信頼性は、非常に重要である。たとえば、CVCFのバッテリーが1時間の運転能力を有しても、空調用EGが起動に失敗すると、コンピュータ室の温度上昇のために、コンピュータはすぐに運転不能になる。

(iii) 非常用EGは、大形の場合には水冷式になるので、その冷却水系の信頼性の向上とEG室の排気・換気装置の信頼性向上も重要になる。

(iv) 一般的に、配線と配管は、その具体的施工法について当初の計画段階での検討が不十分なことが少なくないが、これはシステムを構成する重要な要素であるので、なおざりにすることはできない。

以上のことは、この種の高信頼度を要求される電源設備で一般的に言えることであるが、経済的な面から考えると、ある程度割り切らなければならぬ面も多く、特に負荷の重要度、特性および予算によってシステムは大きく変わってくる。与えられたこれらの条件のうちで、前記のa)~e)と(1)~(6)の諸条件の調和点を決めることが、計画担当者の使命である。

なお、比較的大容量のCVCFシステムに共通して言えることは、



図 2.1 CVCFを含む受配電システムブロック図
Total system of non-break power supply.

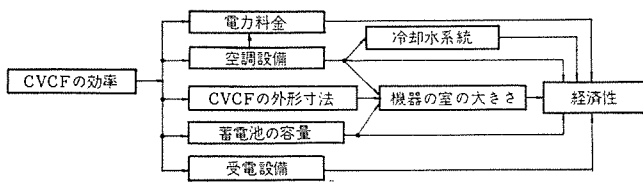


図 2.2 CVCF の効率の影響
Relation between inverter efficiency and economy.

CVCF の効率は、システムのトータルコストに大きく影響してくることである。その影響の様子を図 2.2 に示す。すなわち、CVCF の効率が良くて発生熱量が少ないと、無理なく小形化できるので、電気室のフロアスペースの大幅な節減がもたらされる。また、発熱が少ないため、空調設備が大幅に節減できるので、それにとりも設備の小形化・経済化がもたらされ、全設備の年間電力および冷却水の料金に大きく差が出てくる。

今後、CVCF の容量が大きくなるにつれ、ますますその効率と寸法は重要な要素になると思われる。

3. CVCF のシステム構成

(1) 基本回路

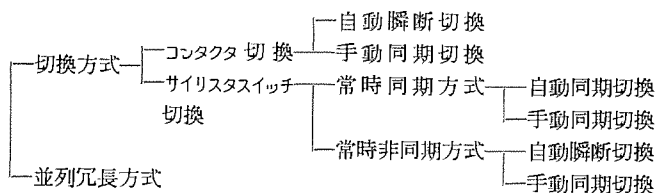
表 3.1 に CVCF の基本構成を示す。

信頼度の高いシステムを計画する前に、まず CVCF 本体の基本構成を検討し、容量に見合った方式を選択しなければならない。

この基本構成が決まると、次にはシステムの信頼性を向上させるために CVCF のバックアップを考えねばならない。

(2) バックアップ方式の種類

バックアップの方式は切換方式と並列冗長方式とに大別される。



(3) コンタクタ 切換と サイリスタスイッチ 切換

コンタクタ 切換方式の特長は、簡単であるために信頼性が高く、経済的であることであるが、CVCF 故障時の切換の際には 2 サイクル～10 サイクルの瞬断をとまらるので、電源変動に弱い負荷は停止してしまうことが欠点である。しかし、あらかじめ電源変動に強くなるように負荷を製作して、この方式を採用する場合も少なくない。

サイリスタスイッチ 切換の常時同期方式 (CVCF の出力を常に予備出力と同期して同相に制御する) では故障時に無瞬断で予備に切換えることができる。しかし、このときは CVCF の CF 機能はなくなる。CVCF 機能を保とうとすると、予備との位相関係は不明であるため、故障切換は 0.5～1 サイクルの瞬断切換となる。しかし、コンタクタ 切換よりもはるかに早い切換であるから、瞬断に対し停止しないように負荷を製作することが容易になる。このようにサイリスタ 切換方式は、性能上コンタクタ方式よりすぐれているが、サイリスタスイッチおよびその制御回路はかなり複雑になるため、信頼性の理論が示すように MTBF の点では不利であり、かつ経済的にも不利になる。

(4) バックアップ電源

バックアップ電源としては、トランス、IVR (誘導電圧調整器)、CVCF、各種 AVR が考えられるが、できるだけシンプルでトランスまたは IVR にすることが望まれる。特に、CVCF 故障時に自動同期切換を行な

表 3.1 CVCF 装置の基本構成
DC-AC system and AC-DC-AC system.

| 構 成 図 | 内 容 |
|-------------------------------|--|
| <p>A形システム (DC-AC変換装置)</p> | <p>CVCF 専用のバッテリーを設けず、プラントのバッテリーを共用するので、割合安価にできるが、バッテリーが均等充電中に CVCF にはかなり高電圧がかかるので、CVCF はこれに耐えるように設計せねばならず、大容量機ではかえって不経済になる。したがって約 30kVA 以下が多い。</p> |
| <p>B形システム (AC-DC-AC無停電装置)</p> | <p>CVCF は常時は AC を受電し、AC 停電時にのみバッテリーから受電する方式なので、CVCF はバッテリーの均等充電時の高い電圧をほとんど考慮せずに設計できる。したがって当社は 50kVA 以上はすべてこの方式を採用している。</p> |

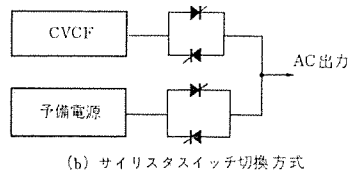
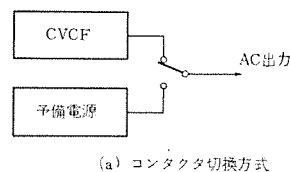


図 3.1 切換方式
Transfer switch system.

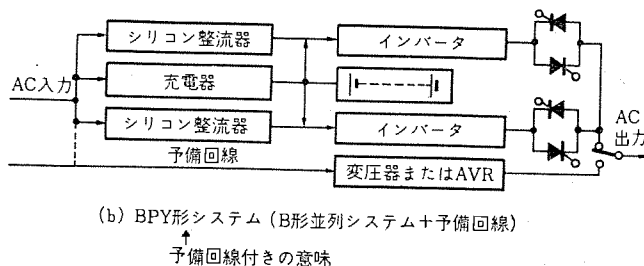
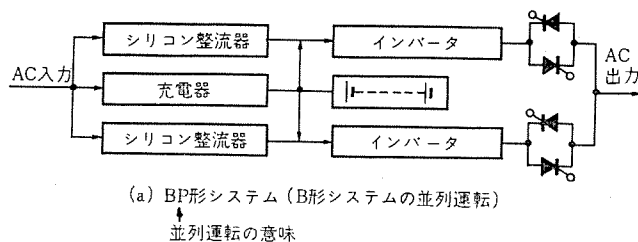


図 3.2 並列冗長システム
Parallel redundant inverter system.

ったとき、全負荷が瞬時に予備電源に移るので、入力インピーダンスに応じた電圧降下を生ずるが、CVCF や各種 AVR は内部インピーダンスが比較的大きいため、この電圧降下が大きく、無瞬断切換を行な

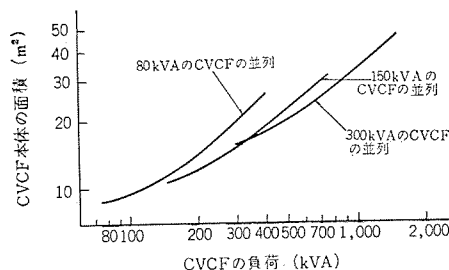


図 3.3 負荷容量と CVCF 本体の面積
Floor space and total load capacity.

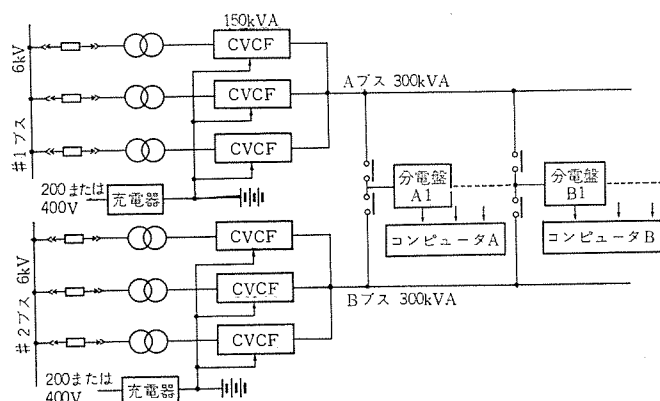


図 3.4 ダブル母線方式の例
Double bus system.

た意味がなくなることがある。なお、予備電源は別系統より取るのが望ましい。

(5) 並列運転方式

最近、とくに大形計算機によるオンラインシステムが普及し、その電源として、CVCFの並列冗長システムが多く使用されるようになってきた。この方式で最も重要なのは、CVCFの単機容量の決定と並列台数の決定であるが、これは次のような要素を考慮して決めなくてはならない。a) 経済性、b) 据付面積、c) 将来計画、d) 保守と取扱いの容易さ、e) 信頼性、f) 性能。

経済性については、CVCFの容量と価格の関係を知らなければ、算術的に最適台数を求めることができる。われわれの経験によれば、2～4台並列が最も経済的であるように思われる。

次に、据付面積であるが、図 3.3 に一例を示す。これによれば、概略次のことが言える。

- (i) 負荷が 150 kVA 以下のときは、単機 80 kVA の組合せ
- (ii) 負荷が 150～300 kVA では、単機 150 kVA の組合せ
- (iii) 負荷が 350 kVA 以上では、単機 300 kVA の組合せ

実際には 100, 125, 200, 250 kVA も製作されているので、それらが最適になることもあるが、要するに 2～3 台並列がよいと考えられる。将来に増設の可能性がある場合には、当然初期の並列台数は 1～3 台とすべきである。また、並列台数が多いと、d) 項が非常に不利になる。すなわち、保守・運転が複雑になり、それだけ手数を要するし、台数が多いほど単機故障の確率は増加するので、トラブルの件数がふえるからである。e) 項の信頼性の点では、実用上 2 台並列以上のものはほとんど大差ないと言える。f) 項の性能を考えると、故障した 1 台のインバータを切り落とす瞬間の負荷端子電圧の過渡変化を少なくするためには、並列台数が多いほど有利である。しかし、この点、2 台並列で単機故障のときでも、出力端子電圧はコンピュータが誤動作しない範囲に押えることができるので、よほどシ

ビアな負荷の場合でも 3～4 台並列で十分と推測される。

以上の諸要素を考慮して、最終的な段階で並列台数が 5～6 台以下になるように計画すべきであると考えられる。

(6) ダブル母線方式

高信頼度のオンラインシステムでは、2 システムのコンピュータに同一計算を行なわせている例がある。このような場合には、電源設備も完全に分離された別々の電気室に設置し、配線も 2 系統に分けたダブル母線方式が、あらゆる天災・人災に対して最高の信頼性を有するものとしてふさわしいであろう。例を図 3.4 に示す。

4. CVCF の受電側と出力配線

(1) 受電部分の構成

受電部は、なるべく供給信頼度の高い受電方式を選択することが必要であり、非常用発電装置を持っているところでも同様である。ただ、受電方式は需要家の意のままにならない場合が多いが、できるだけ複数回線の受電方式とすることが推奨される。たとえば、1 回線受電と異系統 2 回線受電との信頼度を比較してみると、

λ_1 = 配電用変電所を含む電源側の故障率

λ_2 = 伝送路の故障がこう長に比例すると考えた単位長当たりの故障率

l = 伝送路こう長 (km)

t = 使用時間

として、各受電システムの信頼度 $R(t)$ は、表 4.1 のようになる。この表より、2 回線にするだけで格段に良くなることがわかる。

(2) 配電部分の構成

先に述べた受電部を通して配電部より各負荷へ配電されるので、この配電部も信頼度に気を配る必要がある。

すなわち、図 4.1 に示すような複数方式をなるべく貫いたほうが良い。この図ではトランスが 1 台故障しても、A または B 母線が故障しても必ず CVCF へは電力が供給されるようなシステムになっており、信頼度は非常に上がる。

(3) CVCF 入口部の構成

今まで複数方式を貫いてきたので、ここでも複数方式を貫くほう

表 4.1 1 回線と 2 回線受電の信頼度の比較
Reliability study of power system.

| 比較項目 | 1 回線受電 | 2 回線受電 (待機形) |
|--|--|--|
| 受電システムの信頼度 | $R(t) = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}$ | $R(t) = 1 - (1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t})^2$ |
| $\lambda_1 = 0.01$ 回/年 $\lambda_2 = 0.001$ 回/年 $l = 3$ km $t = 1$ 年 とすると | $R(t) = 0.987166$ | $R(t) = 0.999835$ |

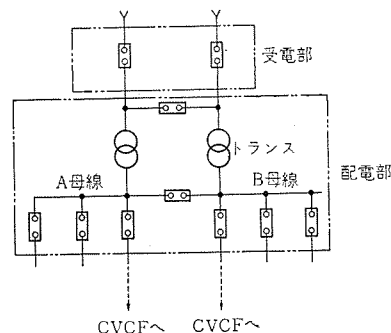


図 4.1 2 バンク配電システムの一例
Two bank feeder system

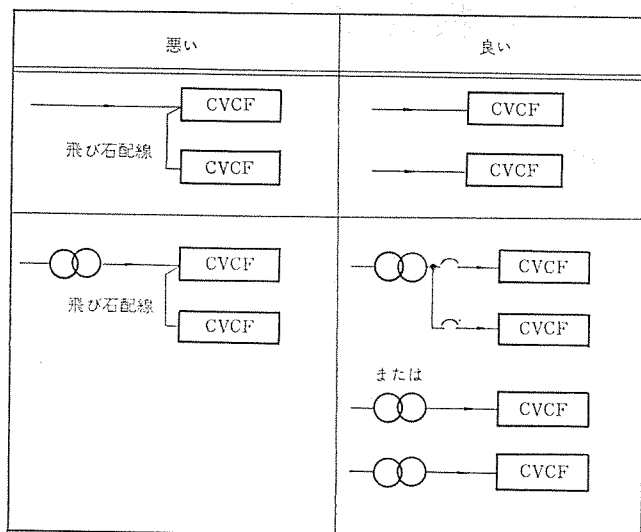


図 4.2 CVCF 入力部配線の良い例と悪い例
Good example and bad one of CVCF inverter input cable connection.

表 4.2 バッテリの比較 (CVCF 200 kVA 5 分間 5°C)
Comparison of batteries.

| 特 性 | 種 類 | 急放電形鉛電池 | 標準形鉛電池 | 超急放電形アルカリ電池 |
|-------------|-----|------------|----------|-------------|
| 容 量 (AH) | | 1,000 AH | 1,400 AH | 300 AH |
| 個 数 (セル) | | 110 | 110 | 180 |
| 浮動充電電圧 (V) | | 240 | 237 | 245 |
| 急速充電電圧 (V) | | 264 | 264 | 270 |
| 寸 法 | 長 さ | 2,550×2 | 4,000×4 | 2,770 |
| | 幅 | 1,258 | 696 | 1,300 |
| | 高 さ | 1,370 | 932 | 1,700 |
| 容 積 (m³) | | 8.8 | 10.4 | 6.2 |
| バッテリー室最小床面積 | | 4.6×4.9 m² | 6×6.8 m² | 4.8×2.9 m² |
| 総 重 量 (トン) | | 7.5 | 14.4 | 4.1 |
| 価 格 比 | | 100 % | 180 % | 260 % |
| 寿 命 | | 5～7 年 | 12～15 年 | 15 年 |

が良い。その良い例と悪い例を図 4.2 に示す。

(4) バッテリのタイプと保持時間使用電圧について

バッテリーは、大略種類が 3 種あり、おのおの特長がある。表 4.2 はそれをまとめたものである。

現在の大形計算機用 CVCF の場合は、将来どんどん計算機が更新され、電源が増設されていくので、急放電形鉛電池が非常に多く使われている。これは、計算機の更新サイクルと電池の寿命がほぼ同じため、投資にむだがなく、都合が良いためである。ただ、据付面積や重量が問題になるときは、超急放電形アルカリ電池が非常に適している。

これらの電池の保持時間は、負荷および非常用発電機の有無によってかなり差があるが、5 分から 1 時間の間で選定されている。

今後の傾向として非常用 EG の信頼性を上げて、バッテリーは 5～15 分に選定することが多くなると思われる。

次に問題になるのが、電池の電圧をいくりにするかであるが、当社では 10～30 kVA の小容量機は DC 100 V 系とし、30～150 kVA の中容量機は DC 200 V 系、150～300 kVA は DC 300 V 系としている。その理由は次のとおりである。

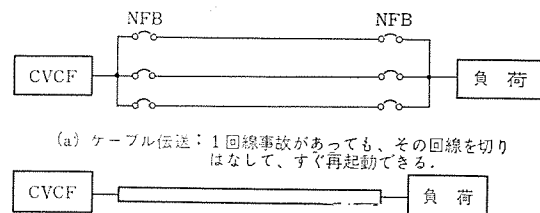


図 4.3 伝送方法
Output transmission methods.

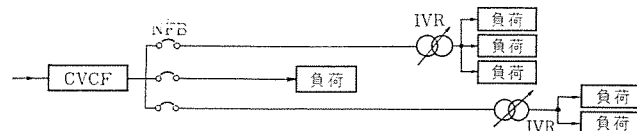


図 4.4 点状する負荷に伝送する場合
Output transmission to distributed loads.

(a) DC 100 V, 200 V は、一般はん用の器具を使えるので、主回路に大きな支障がない限り、それが望ましい。

(b) しかし、200 kVA 以上の CVCF は DC 200 V では電流が大きくなりすぎるので、DC 300 V を採用する。

(5) CVCF 出力配線

CVCF の出力配線についても信頼度の向上を図る必要があり、かつそのインピーダンス降下もできるだけ小さく押える必要がある。

(a) 大容量集中負荷に対して

ケーブル配線とバスダクト配線がある。図 4.3 に示すように、それぞれ特長があるが、長距離 (100 m 以上) で大電流 (1,000 A 以上) の伝送には工事施工上バスダクト方式がすぐれていると言える。CVCF の IZ 補償は、定常電圧降下を補償することはできるが、負荷急変に対しては効果がないので、負荷変動が大きく、しかも許容過渡電圧変動幅が小さい負荷に対しては、ケーブルのインピーダンス降下を特に小さくしなくてはならない。

(b) 点状する負荷に対して

計装等の用途では、負荷が分散するため、ケーブル電圧降下をまとめて補償することができない。このようなときは、図 4.4 に示すように、IVR を用いる方法がすぐれている。

IVR は内部インピーダンスが小さく、信頼性が高いうえ、安価である。

5. む す び

以上、無停電電源システムの計画にあたり、注意すべき事項等を概略述べた。この内容は、大部分が当社の CVCF だけでなく、一般的にあてはまることとがらであると考えられる。

以上のほかにも負荷との協調、EG や受電側の詳細計画、空調・換気の計画方法、分電盤の問題等の多くの事項があるが、紙面の都合で省略せざるをえなかった。本文が、今後のシステム計画の参考にできれば幸いである。

本文執筆にあたり、顧客および当社関係者の多くのご助言によるものが多く、ここに厚くお礼申し上げる次第である。

最近のオンライン計算機用無停電々源装置

黒田 義隆*・増尾 好昭**・竹内 三郎**・鳥越 良治**

The Latest Non-Break AC Power Supply for On-Line Computer Systems

Head Office Yoshitaka KURODA

Itami Works Yoshiaki MASUO・Saburo TAKEUCHI・Ryoji TORIGOE

Static non-break power supply has taken great strides for these years and its capacity has kept increasing. On the back ground of it stands extension of the operation range of electronic computers so much that the on-line system has reached its zenith of its application. As the level of the computer treatment rises, the system turns to a large scale and high reliability comes in demand. To meet the requirements Mitsubishi has completed non-break power supply system without loosing time and sent it to the market. The first large capacity units in Japan —4 sets of 150 kVA sets in operation parallel all the time— have entered into commercial operation, while another set of 300 kVA in a single unit capacity has been brought to completion. This article describes the outline of large capacity non-break power supply systems built by Mitsubishi.

1. ま え が き

サイリスタインバータによる静止形無停電々源装置は、ここ数年間に飛躍的な伸びを示し、大容量化の一途をたどっている。その背景として、わが国が世界で第2位の電子計算機保有国になり、電算機の処理内容が高度化し、利用範囲が拡大して、オンラインリアルタイムデータ処理システムが全盛時代を迎えたことがあり、電電公社のデータ通信回線の開放により、この傾向はますます促進されることになり、すでに電算機用として単機容量 300 kVA 電源も当社において完成されるに至った。

このように大規模で高度化した電算機システムには、高信頼性の無停電々源装置が必要欠くべからざるものになってきた。当社においては、いち早く各電子計算機について調査のうえ、電算機との各種の組合せ試験を行ない、また電算機の処理の高度化・情報の拡大による電算機の増設・交換に対処でき、かつ最も信頼性の高い静止形並列冗長無停電々源システムを業界にさがけて開発を行ない、すでに数多くの並列冗長電源システムが営業運転にはいっており、並列運転の三菱として地位を確立した。

ここでは、その代表的な例として、150 kVA×4セットの並列冗長無停電々源システムを紹介し、さらに今後の電算機用無停電々源装置のあり方について述べる。

2. 並列冗長電源システムの必要性

オンラインリアルタイムデータ処理システムが高度化し、データ処理システムの重要性が増すにしたがい、電算機システム自身も、バックアップにするシステムが最近の傾向であり、電源装置についても、これらの動きに対して冗長システムをとり、信頼性の向上を図る必要があるのは当然のことと言える。

また、電算機で処理すべき情報量が、経済の発展とともに急激な増加を示しており、数年先の情報量はおそらく予測し得ない情勢である。電算機自身も第三世代の電算機より第四世代へと情報の処理速度、あるいは高度なシステムの要求によってモデルの交換が予想以上に早く到来すると考えられる。

かかる情勢において高信頼性・保守の容易性・将来の電源システム

に対する柔軟性など、これらを満足できるのは静止形定電圧定周波電源であり、かつ並列冗長電源システムのみであると考ええる。

並列冗長電源システムは、複数台の定電圧定周波電源を常時並列運転させ、1台の電源装置が故障しても瞬時に系統より切り落し、電算機システムには安定な電源を継続して供給できるものであり、信頼性の向上を図ることができる。

並列冗長電源システムは、さらに複数台の電源装置を並列にするため、将来の情報処理量の予測が困難であるとき、将来の電算機の設備容量に対して電源装置に柔軟性を持たせることができ、電算機の設備容量の増加に合わせて電源装置も増設して並列に加えていくことができる。一例をあげると、電算機システムの増設により、頭初営業運転にはいった後1年半という予想以上の早さで電源装置の増設が行なわれた例がある。

当社の定電圧定周波電源装置は、バッテリーを持たない場合の電源装置とバッテリーを持った電源装置（すなわち、無停電々源）は同一の定電圧定周波電源であり、どちらにも使用できるものであるため、頭初は定電圧定周波電源単体だけでバッテリーなしで使用し、第二期としてバッテリー・充電装置を追加して、すなわち無停電々源装置として構成し、第三期として、さらに定電圧定周波電源を1台追加して2台並列運転の並列冗長電源システムにし、以後は電算機の設備容量に合わせて順次増設することもでき、頭初の設備投資に負担をかけないで、並列冗長無停電々源を導入することができ、設備計画に非常に柔軟性を持たせられるのも大きな特長である。

3. 150 kVA×4台 並列冗長無停電々源の例

本装置は、横浜銀行事務センターに納入されたわが国初の常時4台並列運転の静止形無停電々源装置であり、好調に運転を続けている。図3.1は工場完成時の4×150 kVA並列冗長定電圧定周波電源の外観写真を示し、図3.2は電源システムのスケルトンを示す。

3.1 無停電々源装置の仕様

本装置は下記の仕様を満足するものである。

| | |
|---------|--------------------------|
| 交流入力電圧 | 3φ 6,600 V±10 % |
| 交流入力周波数 | 50 Hz $\pm\frac{1}{2}$ % |
| 定格出力 | 4×150 kVA 連続定格 |

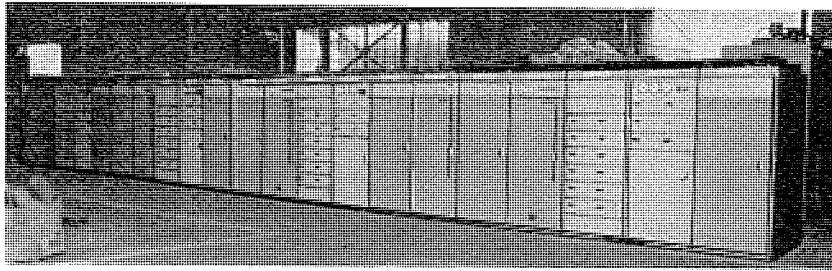


図 3.1 150 kVA×4 台 並列 定電圧定周波電源装置
150 kVA×4 unit constant voltage constant frequency power supply.

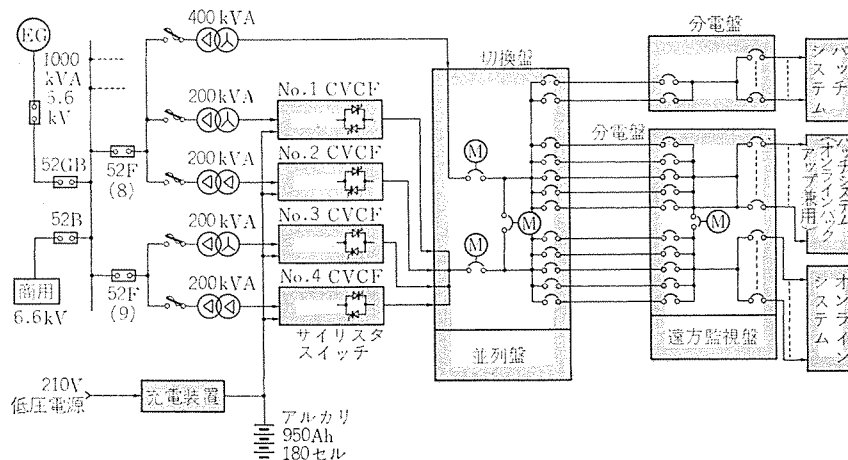


図 3.2 150 kVA×4 台 常時並列 無停電電源装置 スケルトン
Skeleton diagram of non-break AC power supply system

| | |
|------------|---|
| 定格出力電圧 | 200 V |
| 定格周波数 | 50 Hz |
| 相 数 | 三相 3 線式 (三相 4 線式も使用可能) |
| 出力電圧精度 | 整定 $\pm 1.5\%$, 瞬時変動 $\pm 7\%$, (平衡ベース 負荷 0~70% から +30%, 30~100% から -30% 瞬時急変時, または入力電圧が $\pm 10\%$ 瞬時急変したとき) |
| 出力周波数精度 | $\pm 1\%$ ($\pm 0.01\%$ も可能) |
| 出力波形ひずみ率 | 5% 以下 |
| バッテリー 放電時間 | 10 分以上 (25°C) |
| バッテリー 容量 | アルカリ 950 Ah (5 HR) 180 セル |

3.2 電源システムの概要

交流入力電源は 商用 6,600 V を定電圧定周波電源専用の 4×200 kVA トランスを通して 各定電圧定周波電源装置に供給され, 商用電源停電時の非常用電源として 1,000 kVA のディーゼル発電機を有している。

6,600 V ラインより 400 kVA のバイパストランスを通してバイパス直送回路を構成しており, 切換盤でバイパス直送回路と定電圧定周波電源出力回路の切換えを行ない, 定電圧定周波電源の不測の事故に対処している。

切換盤から電算機室分電盤までのケーブルは 5 回線で構成され, ケーブル事故に対して信頼性を高めるように考慮されている。

並列盤は, 4 台の定電圧定周波電源装置の並列運転を行なうのに必要な制御装置・リレー・シーケンス部が収納され, 並列運転のかなめになるものである。

バッテリーは, 大容量負荷に対して鉛蓄電池では設置スペースが大きくなるため, 急放電特性が良くて寿命の長い焼結式アルカリ蓄電池が採用され, 950 Ah セルはわが国で最大のものである。商用電源が停電

するとディーゼル発電機が自動起動し, 一般的に約 1 分間で電圧が確立して負荷に給電されるが, 90 秒経てもディーゼル発電機が起動渋滞を起こして負荷に給電し得ないときには, 電算機システムの内のバッテリシステムは割込処理のうでで自動停止させ, オンラインシステムに優先的にバッテリより給電されるシステムにし, オンラインシステムのバッテリによる運転継続時間を長くするようにバッテリ容量は決められており, 上記のシステムによって全放電時間は約 20 分が確保されている。

電算機室の分電盤には電算機の運用に必要な定電圧定周波電源装置の運転状況, さらにバッテリ・充電器・商用電源・ディーゼル発電機の状態が表示される遠方監視盤が列盤になっており, 電算機の運用に必要な情報が得られるように構成されている。

さらに無停電電源システムとして, 並列冗長システムによって定電圧定周波電源装置の 1 台が故障しても残りの 3 台で 100% 負荷で継続運転ができることは言うまでもなく, 万一 2 台が故障した場合にも, 電算機の運用状態によっては必ずしも残り 2 台の電源装置が過負荷になることもなく, そのまま運転が継続できる場合もあり, 不必要に電算機を停止させることをさけることが望ましい。このような考えから定電圧定周波電源装置の運転台数と電算機負荷の関

係を自動的に検出し, 電源装置の故障によって運転台数が減少したときに, 残りの電源装置に過負荷が継続するとき電源装置の運転を停止させる方式を採用している。

おもな特長をまとめると, 次のようである。

(1) 定電圧定周波電源装置の出力側にサイリスタスイッチを設け, 複数台の電源装置を並列運転中に 1 台が万一故障しても, 電算機へ電圧・周波数の悪影響を与えないで瞬時に故障した装置を切り落とし, 安定した運転が継続できる。

(2) 定電圧定周波電源をただ単に並列にするだけでなく, 制御装置の構成・保護システムについても高信頼性設計が行なわれ, システム全体として高信頼性が確立されている。

(3) 負荷側に完全短絡が発生しても, 当社の特許による自動限流方式によって確実に限流を行なう。

(4) 多重形インバータを採用しているため, 波形ひずみが非常に良好なうえ, 特殊な交流フィルタを採用しているために負荷との共振現象も絶無である。

(5) 当社特許の CT 帰還方式によって負荷の無効電力を電源側に帰還し, 効率 87% という高い値をうることができ, 特にバッテリー容量の低減ができて経済的である。

(6) 並列投入も解列も操作スイッチによって容易にでき, 同期調整などのわずらわしい操作も不要で, 日常の取り扱いが容易である。

(7) サイリスタインバータはトレイ構造にし, 制御装置もプラグイン方式にしているため, 保守点検も容易に確実に行なえる。

3.3 試験結果

4 台常時並列運転時の代表的な特性を次に示す。

(1) 負荷急変特性

負荷を 100% (450 kVA) から 58% (260 kVA) に, また逆に 58% より 100% に急変させたときのオシログラフを図 3.3 に示す。出力

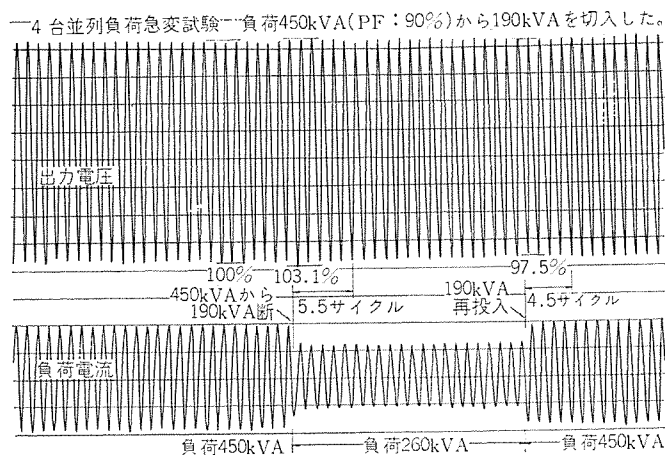


図 3.3 負荷急変試験
Sudden load variation test.

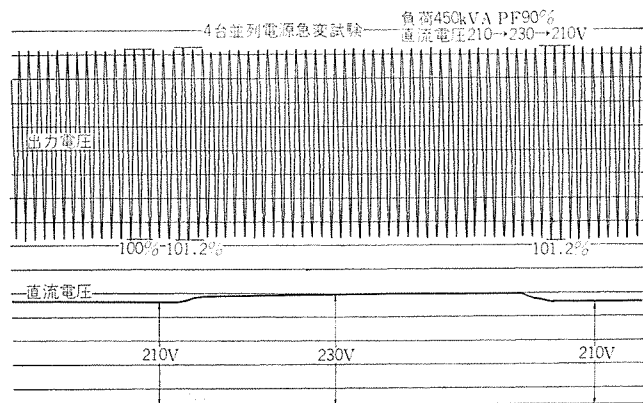


図 3.4 入力電圧急変試験
Sudden input-voltage variation test.

電圧の瞬時変動はそれぞれ+3.1%，-2.5%であり、仕様に対して十分に余裕のある値である。

(2) 入力電圧急変特性

4台並列運転中に電源装置の入力電圧を急変させたときのオシログラフを図3.4に示す。直流電圧を210V→230V→210Vに急変させたときの出力電圧の変動は+1.2%を示している。

(3) 停電時の出力電圧特性

商用電源が停電した場合、瞬時にバッテリー運転に高速サイリスタスイッチによって切り換わるが、バッテリーが放電終止電圧近くになった最も条件の悪い状態を模擬して直流電圧が230V→185V→235Vと停電→復電させたときの出力電圧変動特性を図3.5に示す。それぞれ-1.9%，+3.1%を示しており、非常に良好な特性を示している。

(4) 負荷短絡時の特性

負荷側を短絡すると、当社特許の自動限流方式により、図3.6に示すように、短絡電流はある一定値に限流され、負荷側の選択しゃ断が行なわれた後は自動的に定常の運転状態に復帰し、定電圧定周波電源装置は停止することなく運転を継続していることがよくわかる。

(5) 並列投入・解列時の出力電圧特性

電源装置の並列投入もしくは解列は、サイリスタスイッチによって行なわれるが、図3.7は3台並列運転中に1台の並列投入・解列を行なったときの特性である。出力電圧瞬時変動は、並列投入時にはほとんど問題にならず、並列解列時に-3.7%であり、非常に小さい。

(6) 定電圧定周波電源1台故障時の特性

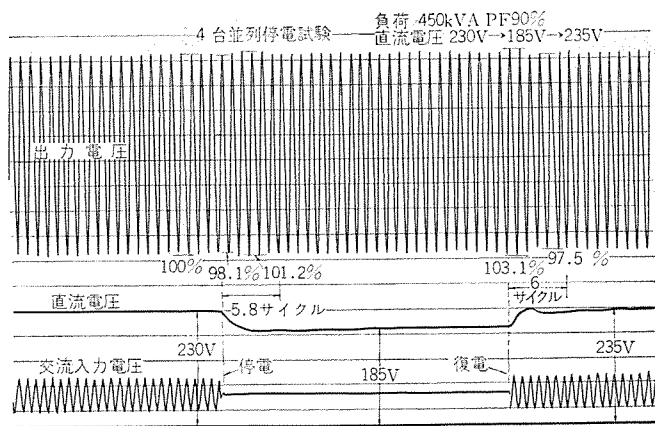


図 3.5 停電試験
Power stoppage test.

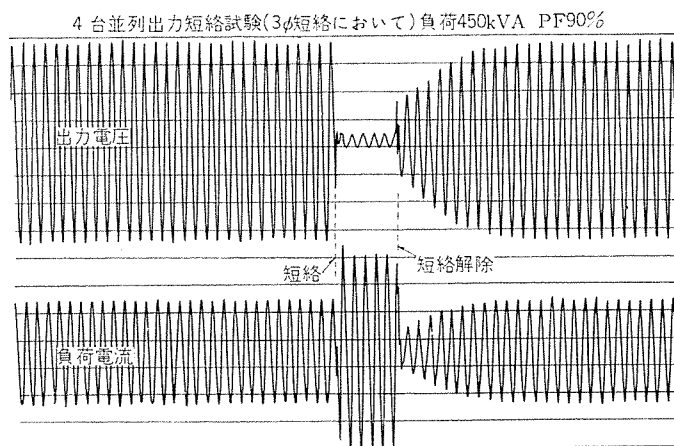


図 3.6 負荷短絡試験
Output-short-circuit test.

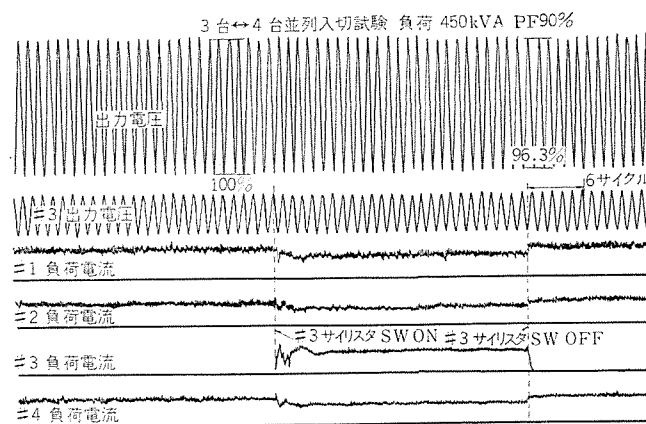


図 3.7 並列投入・解列時の特性
Combining and dissecting of one unit under parallel operation.

電源装置4台が並列運転中にNo.4号機を人工的に転流失敗させたときの特性を図3.8に示す。No.4号機のサイリスタスイッチがNo.4号機を瞬時に切り離し、出力電圧の瞬時変動は-2.8%である。

図3.9は、人工故障試験でサイリスタインバータ冷却扇の異常でNo.4号機が停止したときのオシログラフで、出力電圧の瞬時変動は-4.6%であった。

以上の代表的なオシログラフで示されるように、出力電圧の瞬時変動は規定値を十分に満足していることがわかる。

4. 今後の無停電々源装置

今後の無停電々源装置は、大容量化・機能の複雑化がいつそ促

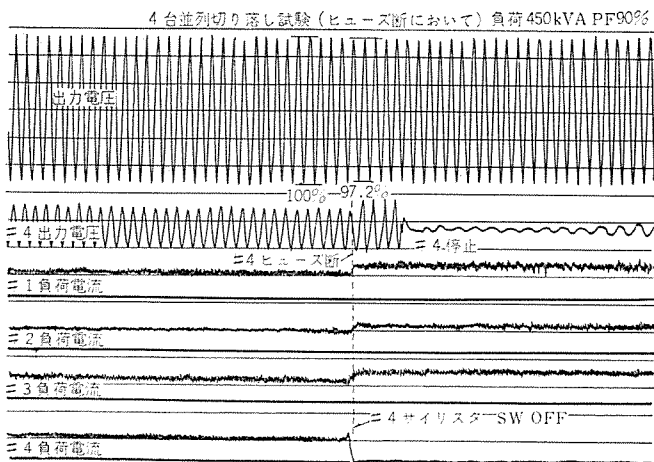


図 3.8 人工故障試験 (転流失敗)
Artificial failure test.

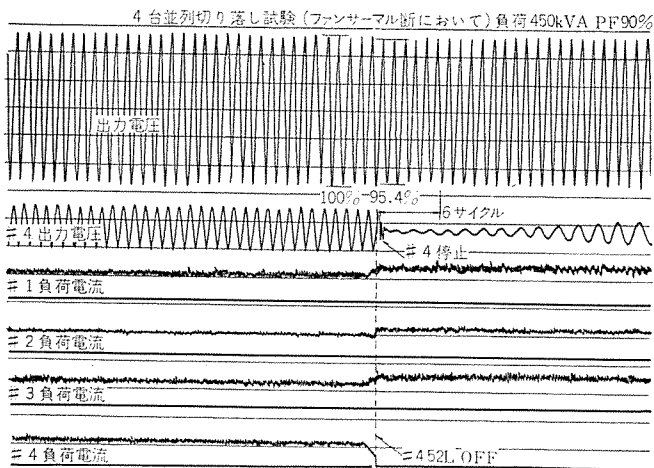


図 3.9 人工故障試験
Artificial failure test.

進されるが、これらを含めて今後の電源装置のあり方等について述べる。

4.1 高信頼化

電算機システムの処理内容はますます高度化し、その機能の重要性が大になるにしたがい、電源装置の信頼性向上はさらに強く要求されることになる。当社においては使用部品のすべてにわたって、部品の特性・使用条件等について多方面にわたって徹底的な検討を加え、これをベースとして制御装置を含むユニークな並列冗長電源システムを完成し、すでに多数のセットが運転にはいっている。

さらに電源装置以外に高圧側受電システム、その配線方式、計算機室までの配線方式、空調なども含めて全システムについて、調和のとれた高信頼化システムとして検討を加える必要があると考える。これによって無停電電源システム全体として高信頼化が期待できる。これらの検討については、別掲の「無停電電源システムの計画」を参照されたい。

4.2 保守点検の容易化

定電圧定周波電源システムが高度化されれば、それだけ回路方式等

が複雑になるのは避けられないことであるが、そのために専門的な知識がなくては、保守あるいは機能の点検が困難になる部分も生じてくる。したがって、保守あるいは特に点検については、専門的な知識を持たなくても簡単に確実にチェックできるシステムがいっそう必要になってくる。

4.3 アフタサービス体制

電算機の利用範囲が拡大して電算機ユーザの底辺が拡大してくると、高度の電算機システム、すなわち大容量無停電電源装置の設置は全国に広がってくる。

したがって分布が全国的に広がった場合のアフタサービス体制については、十分に検討を加え、体制の確立が急務である。

4.4 大容量化に伴う電源系統の検討

定電圧定周波電源はますます大容量化し、数千kVAの規模も製作されることが考えられ、入力電源に対する高調波・波形ひずみなどの問題は装置の大容量化に応じて検討しなければならない。

4.5 オンラインシステムへの優先的給電

電源装置全体の高信頼化も経済的な比較のうえに検討を進めることが必要であり、またシステムにより、あるいは設置場所の関係などから、かなり経済的なシステムでありながら信頼性を向上させることも可能な場合がある。

バッテリー容量にしてもオンラインシステム側のみに優先的に使用させることができれば、バッテリーを非常に経済的に計画することも可能で、横浜銀行納め4×150kVAで停電が90秒以上継続する場合にパッチシステム側を停止させる方式は、この一例である。

また、複数台を常時並列運転する並列冗長システムによって、電源装置が1台故障しても100%負荷で連続して運転が継続できるが、2台故障した場合に、電算機の運用状態によって電算機の全設備機器が同時に運転していることはなく、故障機が切り落された後の残りの電源装置が過負荷になるとは必ずしも言えないわけであり、かりに過負荷になってもオンラインシステムとパッチシステムがあるときには、パッチシステム側を割込処理のうでで停止させ、オンラインシステム側を優先的に運転させることもできることは前述したとおりである。

5. む す び

電算機の高度利用が盛んになり、利用分野の底辺が拡大されるにつれて無停電電源装置の需要が増大するとともに、その重要度はますますきびしくなる。このような情勢において電算機の進む方向に対する無停電電源として、あるべき姿を検討し、ほんとに電算機システムに適合した電源を完成するのがわれわれの使命である。

当社の無停電電源装置は高信頼性であり、どの電算機にもマッチし、その電算機のもつ機能をつるに引きだす電源装置であり、これらの技術は工業計装・空港管制・放送機・通信機用電源として適用され、ユーザ各位の好評を得ているものである。

終わりに、これらの電源システムの確立にご協力いただいた各電算機メーカー・各設計事務所・使用者各位に深く感謝の意を表する。

(昭和46-9-13受付)

可変周波インバータによる交流電動機の制御

川畑 隆夫*・柏野 栄三*・留井 英明*・矢野 禎成*
赤松 昌彦**・熊野 昌義**

AC Motor Control with Variable Frequency Inverters

Itami Works Takao KAWABATA・Eizô KASHINO・Hideaki TOMEI・Sadanari YANO
Central Research Laboratory Masahiko AKAMATSU・Masayoshi KUMANO

Thyristor type variable voltage and variable frequency power sources used for the speed control of AC motors are applied for the driving of a variety of industrial machines instead of the speed control of DC motor with Thyristor Leonard. They are adaptable to the operation of high efficient and smooth variable speed drive system which needs a wide range of speed variation, and can be used for machine tools driven by such AC motors as squirrel cage motors, permanent magnet type synchronous motors and reluctance motors.

This article describes a standard series of Thyristor type variable frequency power sources, test results of their combined operation with synchronous machines and induction machines, their control systems and remarks in the operation.

1. ま え が き

交流電動機は速度制御に用いられるサイリスタ式可変電圧可変周波数電源装置(以下VVVF装置と略する)は、電動機のAC化のない手として、サイリスタレオナードによる直流モータの速度制御とまったく同じように、各種産業機器駆動電源として用いられている。

これは、各種鉄鋼プラント、紡糸機巻取機等の繊維機械、フィルム製造、各種工作機械、試験装置などで、かご形誘導機・永久磁石同期電動機・リアクタンスモータ等の種々の交流電動機の広範囲可変速度制御を必要とする分野で、効率よく円滑に可変速駆動を行なうのに適している。

当社におけるVVVF電源装置の標準系列および誘導機・同期機との組合せ試験結果について報告する。

2. 三菱 VVVF 装置 (FV 形) の特長

FV 形 VVVF 装置は、静止器の利点として性能的に保守が容易であり、制御の応答は速く、効率がよいだけでなく、構造的にも前面からだけで内部の保守点検が可能である。以下に、FV 形 VVVF 装置の特長をのべる。

- (1) 交流電動機に要求される制御特性に応じて、出力周波数と電圧を関連させて、同時に広範囲に変えることができる。
- (2) 周波数の変化できる範囲が十分に広く、簡単に連続的に任意の周波数に設定でき、相回転の方向も制御信号のみで容易に反転でき、逆転が可能である。
- (3) 過電流を防止するために、電流制限回路が設けられている。
- (4) FV 形 VVVF 装置の心臓部であるインバータ部は、負荷電流を流す主サイリスタ素子によって構成されており、主サイリスタ素子と補助サイリスタ素子は、機能を分離して素子の動作責務を軽くしている。
- (5) 転流回路には、転流補助電源を有しているので、主回路電圧を下げても、転流能力は変わらない。
- (6) 速度制御の精度は、 $\pm 0.1\%$ と非常に高精度である。
- (7) 100% 1秒の停電時においても、駆動するモータの特性と合わせて、VVVF 装置をトリップさせることなく、停電復帰後自動

的に定常運転が可能である。

(8) 起動・停止は、すべて無接点化されている。

(9) FV 形 VVVF 装置は、前面からだけで内部の保守点検が可能であり、盤裏面は、壁面につけて設置できるために据付けスペースが小さい。

3. VVVF 装置の概要

3.1 原理

交流電動機は、本質的に電源周波数と極数とで決まる同期速度を中心に回転するものであるため、可変周波数電源を用いて速度制御を行なうのが、最も理想的な方法である。

3.1.1 周波数と電圧の関係

誘導電動機を可変周波数駆動する場合、電動機の磁気飽和をさけるとともに、起動電流を適当に押え、かつトルクを十分に得て安定な運転を行なうために周波数を変化させると同時に、インバータ出力電圧をも制御することが必要になる。

今、電動機一次コイルの巻数を N とすると、このコイル電圧 e と磁束 ϕ との関係は、

$$e = N \frac{d\phi}{dt}$$

であるから、 $e = \sqrt{2} E_m \sin \omega t$ なる交流電圧を印加したときの磁束の振幅 ϕ_m は、

$$\phi_m = \frac{\sqrt{2} E_m}{N} \int_0^\pi \sin \omega t dt = \frac{\sqrt{2}}{\pi N} \cdot \frac{E_m}{f}$$

になり、磁束振幅を一定に保つには、 E_m/f を一定に保てばよい。

3.1.2 誘導電動機特性

電源周波数 f_1 が変化したとき、誘導電動機の抵抗分は不変であるが、リアクタンス分は f_1 に比例するため、定格周波数 f_{1n} における値で基準化すれば、その等価回路は図 3.1 で示される。

図より一次電流 I_1 は、励磁電流 I_0 を無視すれば、

$$I_1 = \frac{V_1}{\left(R_1 + \frac{R_2}{S}\right) + j\alpha X_n} = \frac{S_n \cdot \frac{V_1}{\alpha}}{(SR_1 + R_2) + jS_n X_n}$$

ただし、 $X_n = X_{1n} + X_{2n}$

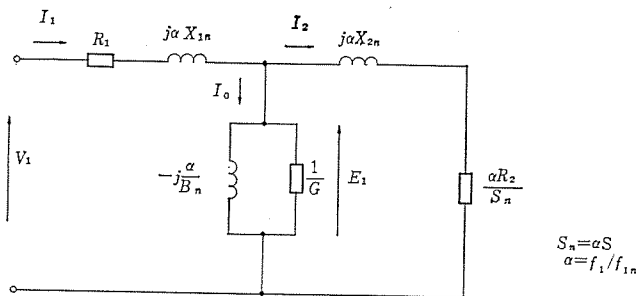


図 3.1 誘導電動機の等価回路
Equivalent circuit of induction motor.

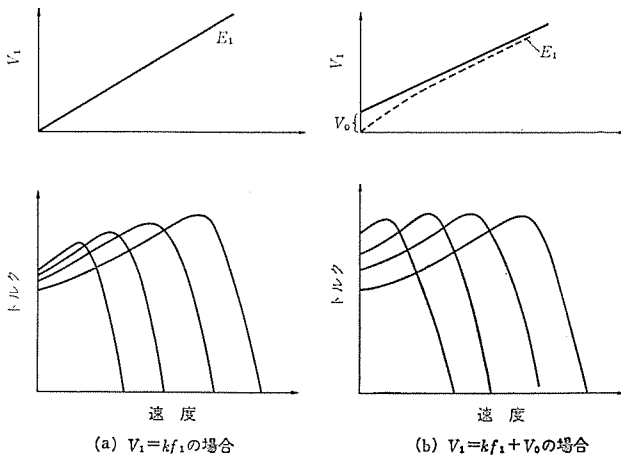


図 3.2 可変周波数駆動時の誘導電動機特性
Characteristics of induction motor driven by variable frequency inverter.

また、トルクは電動機の数相を m 、極数を p とすれば

$$T = \frac{mp}{4\pi f_1 S} \frac{R_2}{S} I_2^2 = \frac{mp}{4\pi f_{1n}} \left(\frac{V_1}{\alpha} \right)^2 \frac{S_n R_2}{(SR_1 + R_2)^2 + (S_n X_n)^2}$$

で与えられる。

今、端子電圧 V_1 を周波数に比例させると、

$$V_1 = f_1 \frac{V_{1n}}{f_{1n}} = \alpha V_{1n}$$

なる関係になり、スリップ S が小さくて SR_1 が無視できる範囲内であれば、一次電流およびトルクは、 S_n が一定であれば、 f_1 すなわち α に関係なく一定になる。この条件は、二次周波数 f_2 が一定であることに等しく、同期速度近傍のトルク-速度曲線や電流-速度曲線は、基準周波数での特性曲線をそのまま平行移動したものになる。

ところで、最大トルクは $\partial T / \partial S = 0$ より、

$$T_m = \frac{mp}{4\pi f_{1n}} \left(\frac{V_1}{\alpha} \right)^2 \frac{\alpha}{R_1 + \sqrt{R_1^2 + (\alpha X_n)^2}}$$

になり、 $\alpha X_n \gg R_1$ では一定であるが、 α が小さい低周波時には $R_1 \gg \alpha X_n$ になり、最大トルクは周波数にほぼ比例して減少する。

次に、誘起電圧 E_1 を周波数に比例させれば、

$$E_1 = f_1 \frac{E_{1n}}{f_{1n}} = \alpha \cdot E_{1n}$$

であり、最大トルクは、

$$T_m = \frac{mp}{8\pi f_{1n}} \left(\frac{E_1}{\alpha} \right)^2 \frac{1}{X_{2n}}$$

になって、常に同一値である。

これにより、周波数に無関係に一定の T_m と I_1 が得られ、周波数の低いところで始動し、最大トルクの包絡線に沿って加速すると、加速トルクが大きくなり、しかも加速時の電流を小さく保つことができる。

しかし、実際にこの（誘起電圧／周波数）一定制御はむずかしく、通常、 $V_1 = kf_1 + V_0$ で代用される。図 3.2 は、 $V_1 = kf_1$ の場合と $V_1 = kf_1 + V_0$ の場合について特性の一例を示したものである。

3.2 構成

可変周波数駆動には、変換器としてインバータを用いるかサイクロコンバータを用いるか、制御法は他制か自制か、さらにインバータにおいても出力電圧が方形波状か電流が方形波状かによる分類、サイリスタの通電期間が 120° 形か 180° 形などによる分類法があり、それぞれ長所・短所を有し、用途によって選択される。このうちで現在最も多く実用化されているのは、電圧方形波 180° 通電形インバータを用い、特に繊維工業などの多数電動機のせん（揃）速制御に使用する可変周波数駆動方式である。

3.2.1 電圧形インバータと電流形インバータ

電圧形インバータは、表 3.1 に示すように、直流電源端子間に平滑コンデンサが接続され、しかもサイリスタと逆並列に帰還用ダイオードが接続されているため、出力電圧は、負荷のいかんに関係なくサイリスタのスイッチングによって電源電圧にクランプされた方形波になる。この方式は、電源インピーダンスが非常に小さくて電動機の安定な駆動には適するが、交流電源への回生を行なわせるには、別に回生用変換器を必要とする。

これに対して電流形インバータは、平滑用コンデンサの代わりに平滑リアクトルを用い、電源インピーダンスは高くして定電流源にし、これをサイリスタによって切換えて方形波出力電流を得るものである。このとき、出力電圧は、電動機の誘起電圧で決まる正弦波になる。この方

表 3.1 電圧形インバータと電流形インバータの比較
Comparison between voltage fed inverter and current fed inverter.

| | | 電圧形インバータ | 電流形インバータ |
|---------|------------|--|--|
| 主回路 | 力行（電動） | | |
| | 回生（制動） | | |
| 波形（力行時） | 出力電圧 v_o | | |
| | 出力電流 i_o | | |
| | 入力電圧 e_d | | |
| | 入力電流 i_d | | |
| 入出力関係 | | $\frac{V_o}{e_d} = k_1 \frac{E_d}{E_d} \cos \phi$ | $\frac{I_o}{e_d} = k_2 \frac{I_d}{V_o \cos \phi}$ |
| 特長 | | <ul style="list-style-type: none"> ① 二次的にきまる負荷電流は平滑され、トルクリップルも小さく、モータは振動しにくい。（電源インピーダンス小） ② 回生用コンバータが必要である。 ③ 平滑フィルタが大きい。 ④ 転流失敗に対する保護協調に留意を要する。 | <ul style="list-style-type: none"> ① 負荷電流は高調波分を含み、トルクリップルが大きく、モータ振動対策に留意を要する。（電源インピーダンス大） ② 一組のコンバータで力行回生可能 ③ 平滑コンデンサ不要 ④ 小形・軽量化できる。 |

式では、電流の方向は常に一定で、回生時に電圧の方向が逆転するため、別に帰還変換器を設けなくても交流電源への電力を帰還することができる。この種のインバータは、同期機を自制制御した無整流子電動機として実用化されており、最近では誘導電動機を用いた他制式電流形インバータも考えられている。

3. 2. 2 180° 通電形と 120° 通電形

自励式インバータの転流は、必ず別のサイリスタを点弧することによって行なわれるが、この場合、各相内で行なえば 180° 通電形、他の相との間で行なえば 120° 通電形になる。表 3. 2 に両者の比較を示すように、180° 通電形は、電圧波形が負荷力率に関係なく一定であるが、120° 通電形は、力率によって波形が変化するため、電動機駆動電源としては 180° 形のほうが望ましい。特に、同期機を駆動する場合、大きさや位相の変化は乱調の原因になり、120° 形は好ましくない。

3. 2. 3 電圧制御方式

電動機を広い速度範囲で制御するには、周波数とともに出力電圧

表 3. 2 120° 通電形と 180° 通電形との比較
Comparison between 120° and 180° current flowing type.

| インバータ項目 | 120° 通電形 | 180° 通電形 |
|-----------|--|--------------------------|
| 波形 (相電圧) | | |
| 基本波 (相電圧) | <div>PF=0 (進み) $\frac{\sqrt{2}}{\pi} E$ -30°</div> <div>PF=1 $\frac{\sqrt{6}}{2\pi} E$ 0°</div> <div>PF=0 (遅れ) $\frac{\sqrt{2}}{\pi} E$ 30°</div> | $\frac{\sqrt{2}}{\pi} E$ |
| サイリスタ最大電圧 | $1.5 E$ | E |

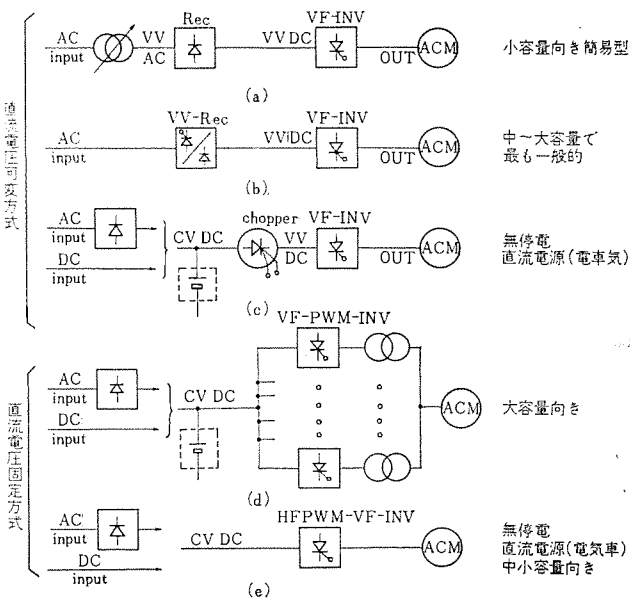


図 3. 3 各種電圧制御方式
Method of voltage control.

をも変えなければならないことは前に述べたが、その方法には図 3. 3 に示すように、大別して直流電圧を可変にする方式と PWM 変調によってインバータ自身で出力電圧を可変にする直流電圧固定方式がある。直流電圧可変方式としては、同図 (a) のスライダックによって交流入力電圧を調整する簡易形、(b) のサイリスタ可変電圧整流器を用いる最も一般的な方式、(c) の DC チョップによって直流電圧を可変する方式で、電池の接続が可能なために無停電の用途や直流電源を有する場合に用られるものなどがあり、いずれも周波数変化範囲が狭い場合には、VF インバータとして通常の方形波インバータでよいが、変化範囲が広いと、補助充電電源などの低周波低電圧時の転流能力低下を防ぐ手段を有するインバータを使用せねばならない。

一方、直流電圧固定方式は、同図 (d) に示す方形波出力のパルス幅を制御して電圧を制御する PWM インバータを複数個それぞれ位相差を持って運転し、出力をトランスで合成して高調波分の少ない階段波を得る PWM 多重インバータ方式と (e) に示すように、出力周波数によって多くのパルス出力を発生して低次の高調波分を除去する HF-PWM インバータ方式があり、前者は大容量向き、後者は中小容量向きである。

3. 2. 4 転流方式

静止形インバータ装置は、マクマレー氏らによって帰還ダイオードを用いた安定な転流回路が考案されて以後、サイリスタの特性向上とともに、各種の転流回路方式が考案されている。図 3. 4 には直流電圧可変用インバータ転流回路方式の代表例を示す。同図 (a) は、CT 帰還方式を用いて小形化・効率の向上を図るとともに、転流補助回路を付加して低電圧時の転流能力低下を防ぐようにした回路である。

(b) は、AC 側転流 (ACSC) インバータで、転流回路損失を少なくし、転流エネルギーの帰還を不用にするため、効率および周波数上限の向上が図れる。

(c) は、転流リアクトルの代わりにパルストランスを用い、転流エネルギーの処理をうまくして小形・高効率にしたパルストランス転流 (TIC) 方式である。

(d) は、転流リアクトルの代わりに変流器を用い、転流回路より供給される転流エネルギーは、必要かつ十分な値に常に制限されるため、さらに小形・高効率にする変流器転流 (TCC) 方式である。

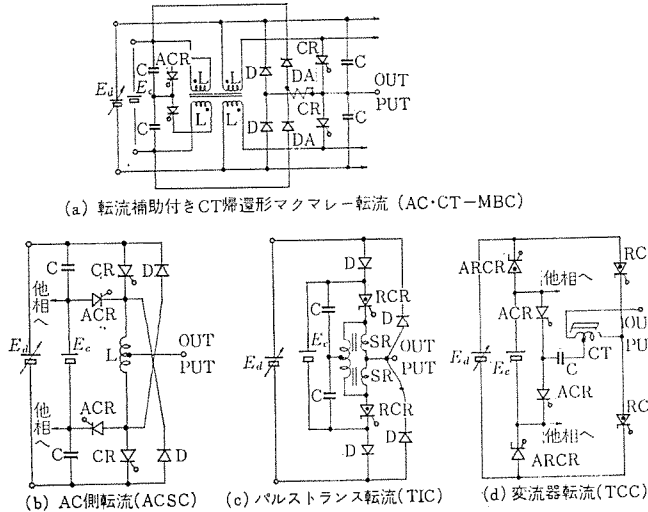


図 3. 4 DC 可変電圧インバータ転流回路方式例
Examples of commutation circuit for DC variable voltage type inverter.

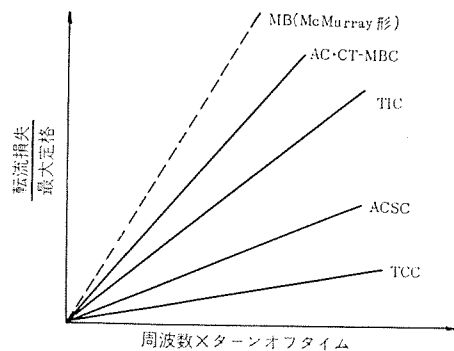


図 3.5 各種転流方式の転流損失
Commutation loss of various inverter.

ここで、(c) および (d) に示す転流回路方式では、逆方向にダイオード特性を有する逆導通サイリスタが使用でき、構成が簡単になるとともに、配線インダクタンスによる逆バイアス時間の低下も防止できるなどの多くの長所を有する。図 3.5 は、これら各転流損失特性を比較したもので、従来のものと比べて一段と性能向上が認められるすぐれた方式である。

4. 三菱 VVVF 装置の標準系列

三菱 VVVF 装置の標準系列を表 4.1 に示す。図 4.1 は装置の外形である。

表 4.1 FV 形 VVVF 装置の標準系列
Standard series of FV type VVVF.

| | | | | |
|--------------|---|----------|----------|----------|
| 1. 型 式 | 屋内形、風冷式 | | | |
| 2. 出 力 | | | | |
| 容 量 | 10, 25, 50, 75, 100, 200, 300 | | | |
| 相 数 | 三相 3 線式 | | | |
| 定 格 | 100 % 連続 200 % 1 分; 100 % 連続 150 % 1 分 | | | |
| 転 量 | 250 % (200 % 1 分のとき); 200 % (150 % 1 分のとき) | | | |
| 最大周波数 | 120 Hz; 200 Hz | | | |
| 周波数範囲 | 1:10; 1:5 | | | |
| 周波数精度 | ±0.1 %; ±0.5 % (at 30±10°C) | | | |
| 3. 交 流 入 力 | | | | |
| 相 数 | 三相 3 線式 | | | |
| 入 力 電 圧 | 200/220, 400/440/460 V | | | |
| 入 力 周 波 数 | 50 Hz, 60 Hz | | | |
| 4. 停 電 | | | | |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・100 % 1 秒補償あり ・補償なし | | | |
| 5. 制 動 方 式 | | | | |
| | 制動方式は下記 2 案に分類される | | | |
| | <ul style="list-style-type: none"> ・再生制動なし (整流器片方向) 再生制動を行わない場合、インバータの周波数を徐々に低下すると、モータの損失とインバータの損失によってモータは制動される。 ・再生制動あり (整流器両方向) 再生制動を行なう場合は整流用サイリスタに逆並列に再生用サイリスタを接続する。 インバータの周波数を急減すると、モータは発電機になり、負荷の再生電流は再生用サイリスタを通して電源に再生され、モータは急速に減速する。 | | | |
| 6. 周 囲 条 件 | | | | |
| | 設置場所の周囲条件は下記のとおりとする | | | |
| | 温 度 0°C~40°C 湿 度 30~90 % | | | |
| 7. 容 量 (kVA) | 25, 50, 75, 100 | | | |
| 8. 外形寸法 (mm) | | | | |
| 盤 幅 | 1,200 | 1,200 | 1,400 | 1,400 |
| 奥 行 | 700 | 700 | 700 | 700 |
| 高 さ | 2,300+50 | 2,300+50 | 2,300+50 | 2,300+50 |
| 重 量 | 800 | 800 | 1,000 | 1,000 |

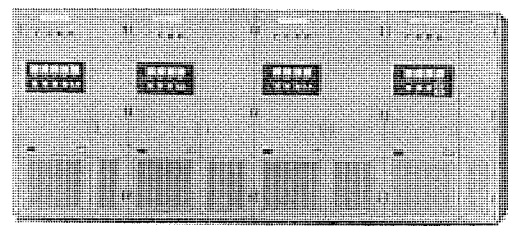


図 4.1 FV 型 VVVF 装置の外形
Exterior view of FV type VVVF.

5. 三菱 VVVF 装置システム

サイリスタ整流装置を位相制御して可変直流電圧を得、LC フィルタによって電圧を平滑にし、インバータ装置によって再び任意の周波数の交流に変換している。VVVF システムは、その出力電圧を交流モータの電圧に適合させる必要がある。このため、VVVF には図 5.1 の各種のシステムが考えられる。

5.1 受電電圧が 400/440/460 V のとき

5.1.1 VVVF 単機の場合

(a) 図 5.1 の図 A では整流器側のサイリスタを位相制御して直流回路電圧を調整し、出力電圧をモータの電圧に調整する。

(b) 図 B ではモータの電圧がかなり低い場合で、直流回路電圧を VVVF の最適直流回路電圧にし、単巻トランスによって出力電圧をモータに適合させる。

(c) 図 C は整流回路の力率を改善するために整流器への入力電圧を調整している。この場合、VVVF の直流回路電圧はモータの電圧に適合させる。

(d) 図 D は整流回路の力率を改善するとともに、VVVF の直流回路電圧を VVVF の最適直流回路電圧にし、出力トランスによってモータの電圧に適合させる。

5.1.2 VVVF 多機の場合

VVVF が多機の場合は図 E のようになる。整流回路の力率改善用のトランスは入力側に一括してそう入されている。

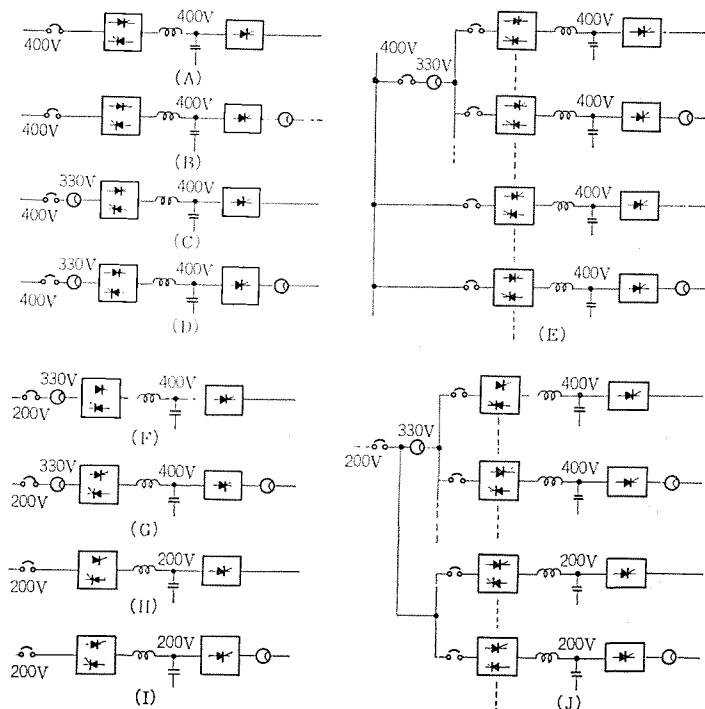


図 5.1 VVVF 主回路 システム
Systems of main circuit.

5.2 受電電圧が 200/220 V のとき

5.2.1 VVVF 単機の場合

(a) 図Fは入力トランスによって電圧を昇圧し、VVVF の出力電圧をモータの電圧に適合させる。

(b) 図Gは入力トランスによって電圧を昇圧し、VVVF の直流回路電圧を VVVF の最適直流回路電圧にし、出力トランスによってモータ電圧に合う。

(c) インバータの出力容量の小さいときは図Hおよび図Iのようになる。

5.2.2 VVVF 多機の場合

VVVF が多機の場合は図Jのようになる。入力トランスを入力側に一括してそう入している。

これらのどのシステムを採用するかは、経済性や電気的特性を検討する必要がある。

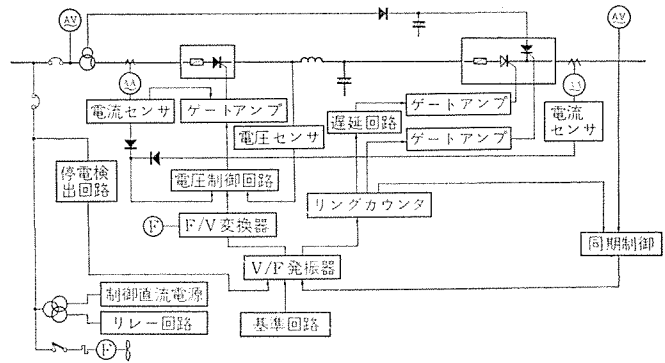


図 6.1 VVVF 装置の総合系統図
Single diagram of VVVF.

6. 制御方式

6.1 制御系の構成

図 6.1 に VVVF 装置の総合系統図を示す。設定回路によって設定された電圧によって「VF 発振器」を駆動し、電圧を周波数に変換し、「リングカウンタ」によって三相ゲート信号を分配し、「インバータ装置」の周波数を制御している。

一方、「VF 発振器」の出力は、再び「F/V 変換器」によって周波数を電圧に変換し、出力電圧と周波数の関係のある定められた関係に制御するために出力電圧を検出し、「電圧制御回路」によって整流装置を位相制御している。

なお、「リングカウンタ」に逆転リングカウンタを使用すれば、正転・逆転を自由に行なうことができる。

図 6.2 に RL 負荷時の VVVF の出力電圧・出力電流波形を示す。

6.2 起動・運転・停止

起動・運転・停止のシーケンスはすべて無接点化されていて、装置の信頼性をあげている。

図 6.3 は、インバータによる誘導電動機運転時の電圧・電流のオシログラムである。

6.3 発振器

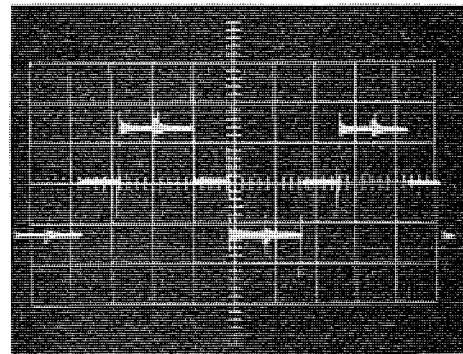
発振器は開ループアナログ制御である。各部品の温度特性を十分に検討することによって $\pm 0.1\%$ ($30 \pm 10^\circ\text{C}$) の精度を保つことができる。

6.4 停電対策 (特許出願中)

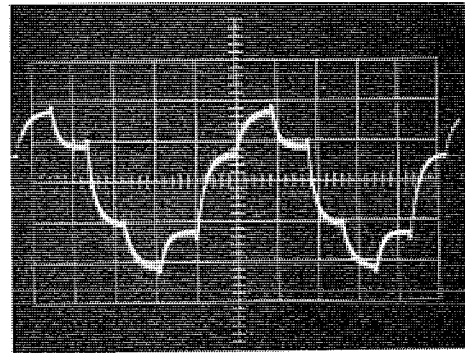
一般に、各種電動機応用において、瞬停の場合にモータが停止してしまうと、生産設備の種類によっては大きな損失をまねくことがある。たとえば、合成繊維の紡糸機等においては、一度モータが停止すると、多数の糸が切れるので、再びすべての重りに一つずつ糸をかけて再起動するには大きな時間的損失をまねく。さらに、原料を押し出しているギヤポンプが停止すると、ノズルに原料がつまって固化するので、高価なノズルを破損することになる。

このため、インバータやサイクロコンバータのような可変周波数電源で永久磁石同期モータやリラクタンスモータのような同期モータを駆動するとき、電源が瞬時停電した場合に、モータを停止することなく自動的に再び元の正常運転状態にもどす必要がある。

停電自動再起動装置の動作を以下に説明する。停電時、整流器側サイリスタをしぼり、インバータのゲートをしゃ断する。同時に、モータの位相角を検出し、リングカウンタの位相と比較してリングカウンタがモータ



(a) 電圧波形



(b) 電流波形

図 6.2 出力電圧・電流波形 (R+L 負荷時)
Output voltage and current waveforms.

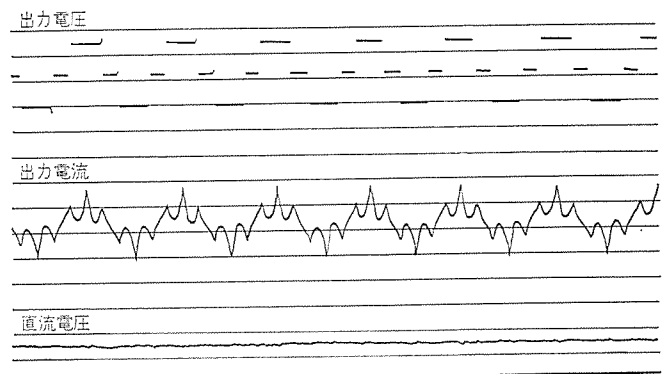


図 6.3 誘導電動機運転時のオシログラム
Oscillogram of induction motor under normal operation.

の位相と合うように自動同期回路が働き、発振器を自動制御し、電動機が減速するにつれて制御発振器の周波数をモータに同期して低下させる。復電時、整流器側サイリスタの点弧位相をモータの速度に

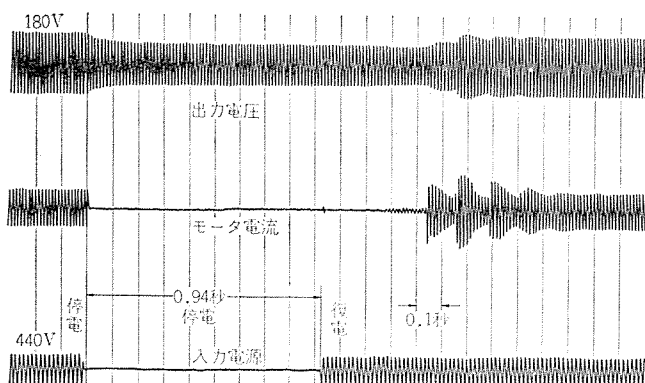


図 6.4 停電復帰時のオシログラム
Oscillogram at interruption and recovery of source.

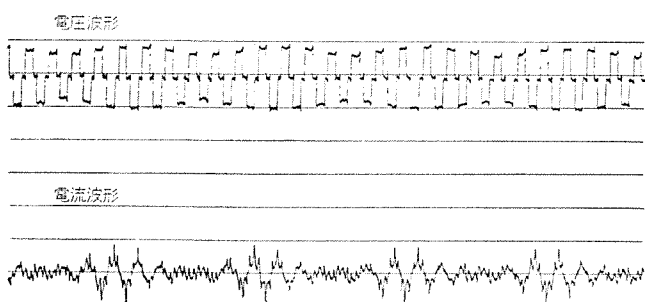


図 6.5 永久磁石モータ乱調時の電圧・電流波形
Voltage and current waveforms of permanent magnet motor in hunting.

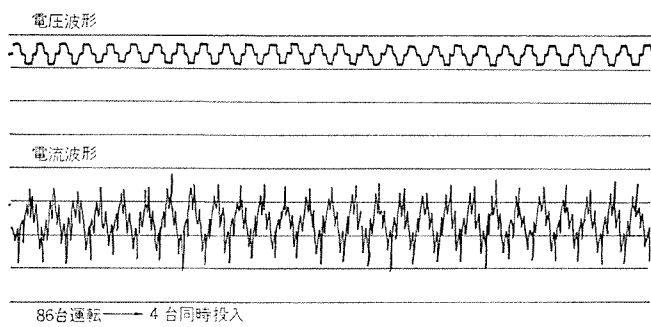


図 6.6 永久磁石モータ平常運転時の電圧・電流波形
Voltage and current waveforms of permanent magnet motor under normal operation.

見合った電圧にもどし、インバータとモータの位相が同期していることを確認した後、インバータのゲートシャ断を解除する。このようにすると、最初からインバータが同期電動機と同一周波数で同期運転状態にはいる。なお、モータの位相角検出は、永久磁石式同期モータのように逆起電力を有する場合にはモータの誘起電圧で検出できる。リラクタンスモータのように逆起電力をもたないものは、モータ軸に直結された位相角検出器によってその位相を確認できる。

以上のように、再投入時のインバータとモータとの位相差および電圧差を正しく制御することによって再投入時の過電流を防止し、インバータの転流失敗を防ぐことができる。

この制御方式は、以下の数々の特長を有する。

(1) 可変周波数インバータの場合、一般に次の三つの電源を必要とする。

- (a) インバータ主回路
- (b) 転流補助回路
- (c) 制御回路

停電中にはインバータを動かす必要がないので、大きな電力を必要

とする(a),(b)は停電と同時に停止させる。また、制御回路についてもゲートパルス発生器のような比較的大きな電力を必要とする部分は止めて、本質的には発振器・リングカウンタ・自動同期回路のみを運転して復電時の再起動に備えればよいため、非常に安価になる。

(2) リングカウンタは停電中もモータと同期を保っているため、復電のときは再投入するだけでよい。

(3) 再投入のときの位相角は、自動同期回路で任意にできるので、再投入のときの過電流が少ない。

(4) インバータの停止と再投入は、ゲート点弧信号の操作のみで行なうるので、高速度であり、復電時の再投入から加速までが最短時間で行なう。

(5) 停電中はインバータの転流回路が動作しないため、モータに必要な制動がかからぬので、モータの減速が少ない。

(6) サイクロコンバータにも適用できる。

(7) リラクタンスモータ等の逆起電力のないものにも適用できる。

図 6.4 は停電復帰のオシログラムである。

6.5 乱調

同期電動機を多数台運転する場合、モータ間どうしの乱調、インバータ・モータ間の乱調などに十分に気をつけなければならない。

図 6.5 に永久磁石電動機 80 台を運転した場合の電圧・電流のオシログラムを示す。電流波形を見ると、乱調現象がうかがえる。

図 6.6 は、同じ永久磁石電動機 76 台運転中にさらに 4 台を同時投入した場合の電圧・電流のオシログラムである。この場合、乱調は生じていない。

乱調対策は、モータ負荷の GD^2 の大きさ、インバータ回路のフィルタ定数、インバータ自動制御系の制御方式およびその定数によって大きく影響される。当社ではこれらの点に十分に留意して設計している。

7. インバータ仕様決定時の注意事項

最適の起動方法を選定する必要がある。インバータには転流限界というものがあり、半サイクルといえども転流限界以上の負荷電流を流すことはできない。転流限界は、設計しだいでいくらか大きくすることができるが、転流限界を大きくすると、価格に影響し、装置の効率が悪くなり、寸法も大きくなる。経済的な計画を行なうには、起動方法をくふうし、大きな起動電流が流れぬようにする必要がある。

起動方法には次の種類がある。

- (1) 低周波起動
- (2) 分割起動
- (3) 分割起動+限流抵抗起動

周波数を 5~6 Hz から定格周波数までスムーズに上げると、モータは周波数に追従して加速され、最もすみやかに加速ができる。加速トルクは、定格トルクの 100~150 % 以上を出すことができる。このような低周波起動が最も電源が経済的になる。この方式は、レオナードの電機子制御による加速に対応する最も自然な起動方式であり、低抵抗かご形でも起動トルクを十分に出せる。しかし、低周波起動方式は、モータの一部を単独に停止したり起動したりする用途には採用できない。このような場合には分割起動になる。

限流抵抗起動は、限流インピーダンスによって電流を制限すると、起動トルクも少なくなるので、この点支障がないかを検討する必要がある。

100 台のモータを停止したり起動したりする場合を例にとると、図

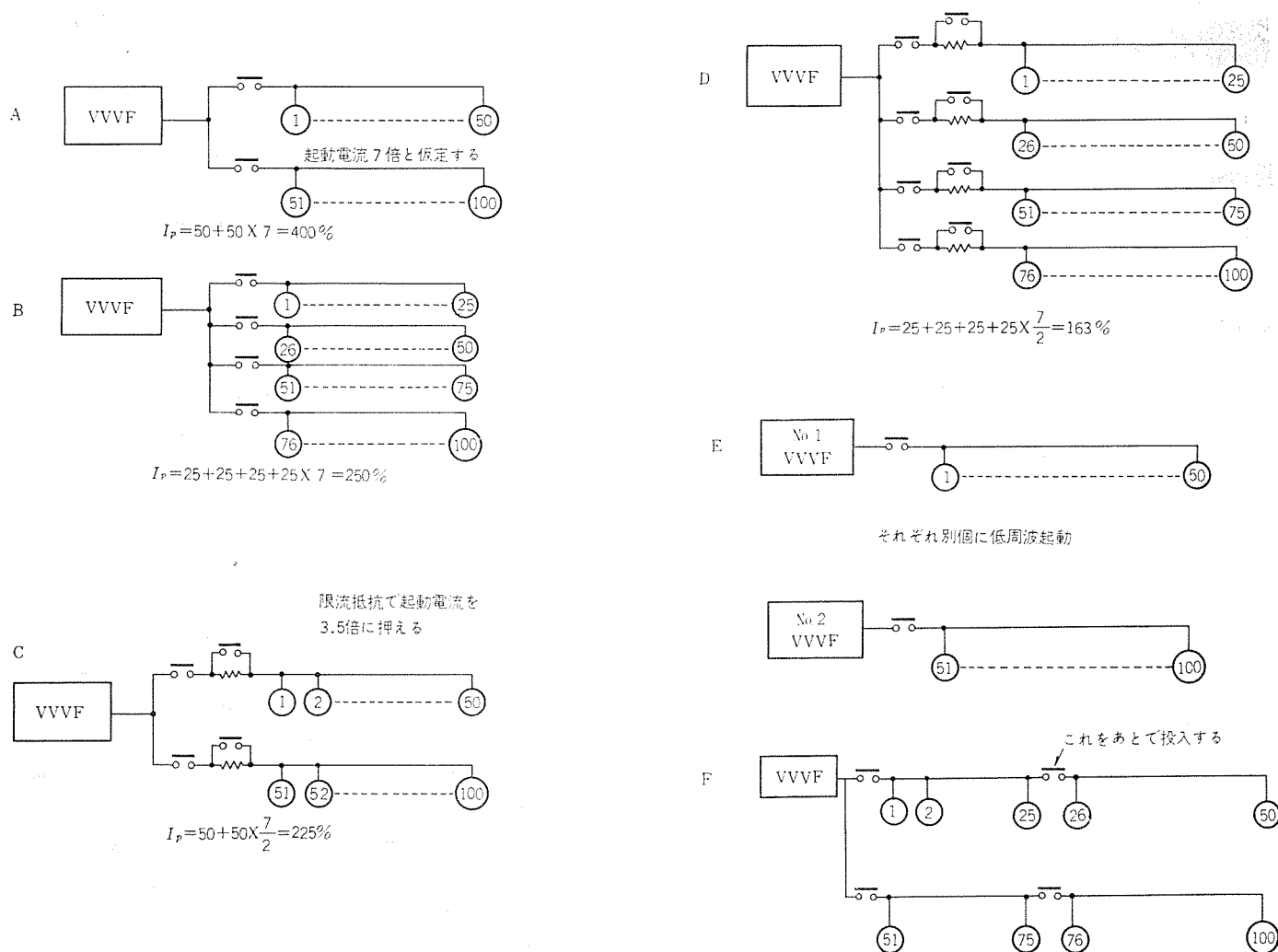


図 7.1 VVVF 装置の起動システム
Starting systems for VVVF.

7.1のように、いくつかのシステムが考えられるが、起動電流が700%とすると、システムAでは400%の転流能力が必要であり、非常に高価になる。したがって、少なくとも4グループに分けてシステムBのようにすべきである。また、負荷が大きな起動トルクを必要としない場合には限流リアクトルを用いて起動電流を350%に限流すると、システムC・Dのようになり、経済的になる。VVVFが大容量になる場合には、システムEも検討する必要がある。なお、工場内ケーブル工事を経済的にするためにはFの方式も考えられる。

8. む す び

以上、誘導電動機・永久磁石式同期電動機とVVVFインバータとの組合せ結果を報告し、三菱VVVFの主回路、制御回路ならびに使用上の問題点について紹介した。

当社ではサイリスタそのものの能力の向上およびレオナード装置やCVC装置によるサイリスタ応用技術の確立によってすでに数年前よりVVVF装置のシリーズ化を行なってきた。今後、サイリスタの進歩とともにいっそうの向上に努力するつもりである。

終わりに、種々ご援助いただいた伊丹製作所・北伊丹製作所・名古屋製作所、その他関係各位に厚くお礼申し上げる。

サイクロコンバータによる誘導電動機速度制御

山村 隆司*・杉元 幸郎*

Speed Control of Induction Motors with Cycloconverters

Itami Works

Takashi YAMAMURA・Sachirō SUGIMOTO

In the field of variable speed operation of motors, DC machines are predominantly employed because of relatively simple speed control. But the recent development of semi-conductor technique has promoted the study of power sources of variable frequency. As a result variable frequency drive of AC motors from commercial power supply is about to be brought into practice with good controllability of DC motor retained. Of AC motors, induction motors have marked feature of sturdy construction, inexpensiveness and easy maintenance. Mitsubishi has been successful in variable speed control of a 100 kW induction motor by using a full wave cycloconverter consisting of three reversible converters.

1. 誘導電動機の変速制御の概要

交流電動機は、本質的に同期速度を中心に回転するものであり、誘導電動機もセルビウス、クレーマ、その他の可変速制御が行なわれているが、広範囲・広精度の制御はきわめて困難であった。したがって、広範囲の速度制御には同期速度を変化させる可変周波数電源が適しており、最近の半導体素子の発達に伴って各種駆動電源が研究され、実用化されようとしている。

1.1 誘導電動機の諸特性

誘導電動機を可変周波数電源で駆動した場合、一次巻線1相の誘起起電力は、周波数と磁束の積に比例する。また誘起起電力は、低速（低周波）領域を除けばほぼ電源電圧に比例すると考えられるから、電動機の磁束密度を一定に保つためには $v/f = \text{一定}$ 、すなわち周波数に比例して電源電圧を変化させる必要がある。これは、電動機鉄心の飽和をさけるための要求である。

一方、 $v/f = \text{一定}$ で制御した場合のトルクを求めると、

$$T = K\phi \frac{SE_1 r_2}{r_2^2 + (Sx_2)^2} = K \left(\frac{E_1}{f} \right)^2 \cdot \frac{Sf r_2}{r_2^2 + (Sx_2)^2} \quad (1.1)$$

ここに、 K ：比例定数

ϕ ：毎極の磁束

S ：すべり

E_1 ：一次1相誘起起電力

r_2, x_2 ：二次抵抗およびリアクタンス（1相分）

すべり S の小さい範囲を考えると、 $r_2 \gg Sx_2$ であり、 E_1 は前述のように、電源電圧 V に比例すると考えられるから、

$$T = K \left(\frac{v}{f} \right)^2 \cdot Sf \cdot \frac{1}{r_2} \propto Sf \quad (1.2)$$

いま、速度を n 、極数を P とすると、同期速度 $2f/P$ より、

$$S = 1 - \frac{P}{2f} n \quad (1.3)$$

式(1.2)に代入すると、下式が得られる。

$$T \propto \left(f - \frac{P}{2} n \right) \quad (1.4)$$

また、二次電流はトルクと同様に、

$$I_2 = \frac{KSE_1}{\sqrt{r_2^2 + (Sx_2)^2}} = \frac{KSf}{r_2} \left(\frac{E_1}{f} \right) \propto Sf \quad (1.5)$$

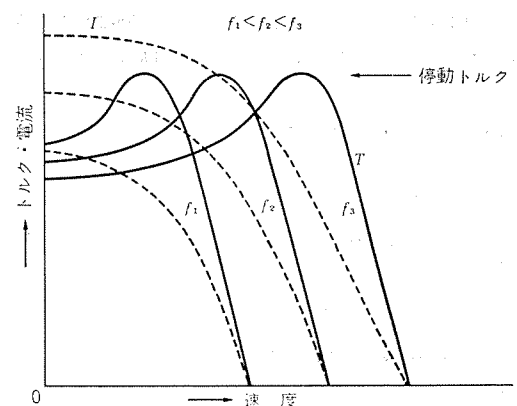


図 1.1 誘導電動機を可変周波数制御した場合の速度-トルク・電流特性
Speed-torque and current characteristics of variable frequency controlled induction motor.

となり、一次と二次の電流は比例するから、

$$I_1 \propto \left(f - \frac{P}{2} n \right) \quad (1.6)$$

が得られる。

一方、各周波数における停動トルクを求めると、

$$T_m = K\phi \frac{E_1}{x_2} \propto \left(\frac{v}{f} \right)^2 \quad (1.7)$$

したがって、停動トルクは各周波数に対して一定となり、式(1.4)、(1.6)および(1.7)より誘導電動機速度-トルク・電流特性は、図1.1のようになる。

1.2 サイクロコンバータ駆動方式

サイクロコンバータは、一般に特別な転流回路を必要とせず、安定で回路が簡単であることと電力回生が容易に行なえるなどの大きな利点がある反面、使用素子が多く、また他制式では低周波に限られるなどの短所もある。

サイクロコンバータは、主回路構成より半波形と全波形にわかれ、制御方式によって正弦波式か非正弦波式かに分類される。われわれの実験では3台の可逆変換器によって正弦波式全波形サイクロコンバータを使用した。誘導電動機駆動の場合には、連続可変の正弦波電圧が有利であり、また誘導負荷のインダクタンスによる無効電力を電源側に送り返してやる必要がある。

1.3 制御回路の検討

可変周波数電源により誘導電動機を駆動する場合、速度設定の変更または急激な負荷変動などに対して安定に運転するためには、負帰還を施した制御回路が有効であり、制御系のおおのの伝達関数を知って解析しておく必要がある。

誘導電動機は、図 1.1 でも明らかなように、各要素が非直線性を示し、動作範囲の全域にわたっての伝達関数より解析を行なうことは容易でない。そこで、通常、ある動作点の近傍における微小変化を対象にし、その範囲内では線形であるという仮定のもとに各要素の伝達関数を求める方法が使用される。

また、誘導電動機は抵抗とインダクタンスの直列回路とみることができ、励磁分を無視すれば電流は電圧に対して一次遅れ要素であるが、さらにすべりの小さい範囲で考えると遅れはなく、電気的な時定数はすべて考慮する必要はなくなる。したがって、すべりをある一定値内の小さい値になるように制御すれば、誘導電動機は回転体の慣性性能率による一次遅れ要素と考えられる。

いま、誘導電動機を $v/f = \text{一定}$ になるように制御したときの近似伝達関数を求めるために各要素をブロック図で結びつけてみよう。微分演算子を S とすると、

(i) 速度→トルクに関する式

$$J \frac{dn}{dt} = T$$

J : 慣性モーメント

$$\therefore n = \frac{1}{SJ} T \dots\dots\dots (1.8)$$

(ii) トルク→周波数に関する式

式 (1.4) より

$$T = K_1 \left(f - \frac{P}{2} n \right) \dots\dots\dots (1.9)$$

K_1 : 比例定数

(iii) 電圧→周波数に関する式

$$v/f = K_2 \dots\dots\dots (1.10)$$

式 (1.8), (1.9), (1.10) よりブロック図をかくと、図 1.2 のようになる。したがって以上をまとめて電圧に対する回転数の伝達関数を求めると、

$$n = \frac{2/K_2 P}{1 + (2J/K_1 P) S} \dots\dots\dots (1.11)$$

となり、一次遅れになる。

制御系の解析にはボード線図による方法や、ナイキスト線図による方法などがあるが、われわれは系全体のボード線図を求めて、安定な系になるように各要素を設定し、さらにアナログコンピュータによってその結果を確かめた。

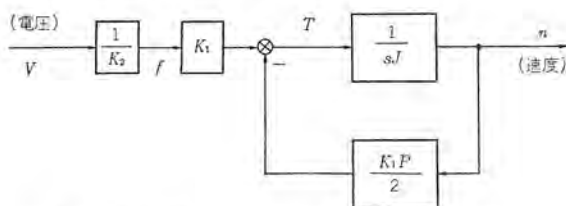


図 1.2 誘導電動機のブロック図 ($v/f = \text{一定}$)
Block diagram of induction motor ($v/f = \text{const.}$).

2. サイクロコンバータ駆動誘導電動機の回路構成

可変周波数電源としてサイクロコンバータを用いて誘導電動機制御の実験を行なったので、以下に装置の概要を述べる。

2.1 主回路構成

主回路は図 2.1 に示したような結線で、3 個の可逆変換装置を用いて三相-三相変換装置を構成する。これによって誘導電動機を可逆駆動装置として運転させることができる。なおコンバータに使用したサイリスタは、三菱製 FT 500 A-32 で、図 2.2 は装置の外観である。また、駆動誘導電動機および発電機定格は下記のとおりである。

| | | |
|------------|-----|---------|
| 3φ 誘導電動機 : | 出力 | 100 kW |
| | 電圧 | 220 V |
| | 電流 | 335 A |
| | 周波数 | 60 Hz |
| | 極数 | 10 極 |
| 負荷用発電機 : | 出力 | 85 kW |
| | 電圧 | 225 V |
| | 電流 | 376 A |
| | 回転数 | 400 rpm |
| | 極数 | 6 極 |

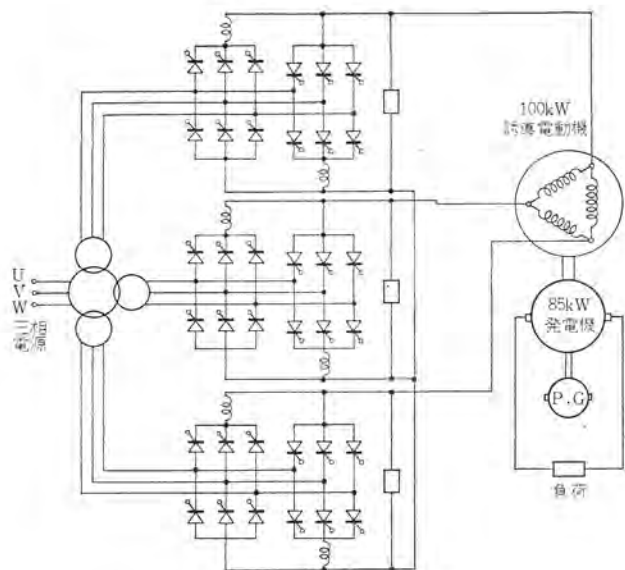


図 2.1 サイクロコンバータ主回路構成
Cycloconverter circuit.



図 2.2 サイクロコンバータ装置の外観
Thyristor assembly for cycloconverter.

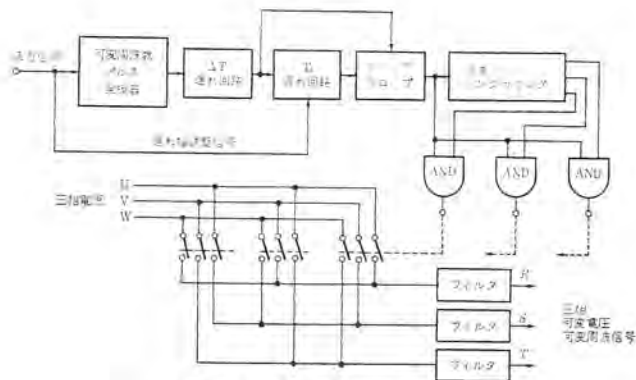


図 2.3 V-F 変換器ブロック図
Block diagram of V-F converter.

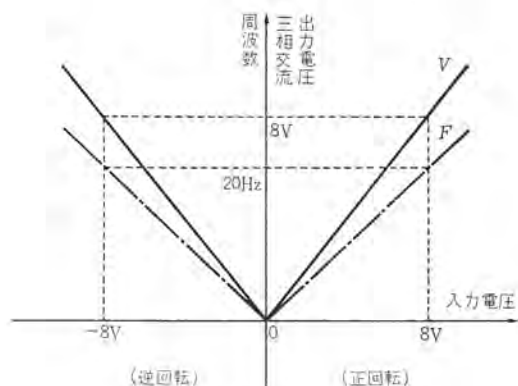


図 2.4 V-F 変換器特性
Characteristics of V-F converter.

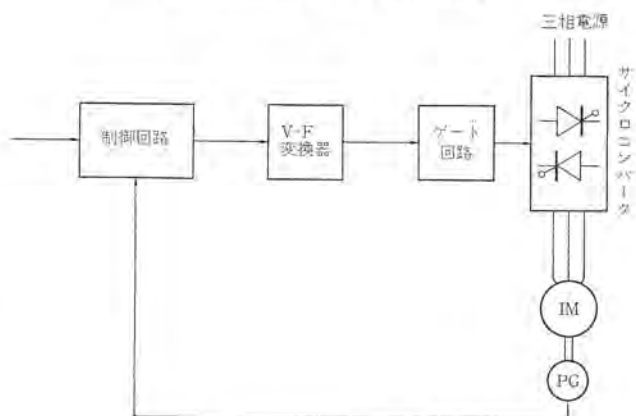


図 2.5 サイクロコンバータ制御回路ブロック図
Block diagram of control circuit of cycloconverter.

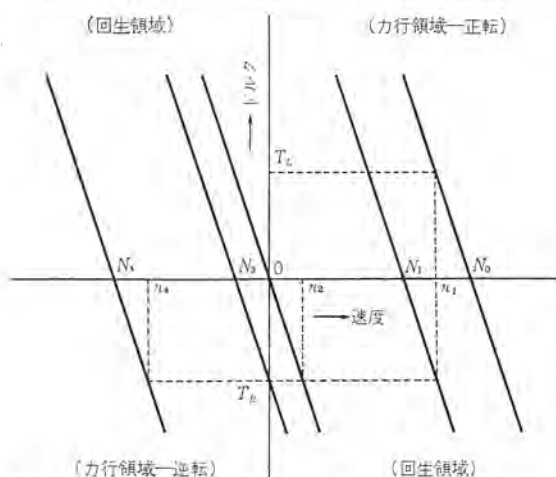


図 2.6 誘導電動機速度-トルク特性(線形領域のみ)
Speed-torque characteristics of induction motor (linear range).

2.2 制御回路構成

2.2.1 V-F 変換器 (特許申請中)

主回路サイリスタを位相制御して三相出力を出すように三相 V-F 変換器を試作したもので、以下にその概要を説明する。

図 2.3 はそのブロック図で、入力電圧に対して周波数およびパルス幅が変化して可変電圧・可変周波数変換器になる。V-F の関係は図 2.4 のようになり、入力 (+) に対しては正回転、入力 (-) に対しては逆回転の三相パターンを発生、これが主回路コンバータの位相制御信号になる。

2.2.2 制御回路 (特許申請中)

図 2.5 は実験に使用した制御回路のブロック図で、スリップの小さい範囲では電流はスリップにほぼ比例するから、スリップを一定に制御するようにして起動加速時および逆転時に過大電流が流れないようにしたものである。

一方、一定周波数電源で駆動する場合には逆相制御による制動トルクしか利用できないが、可変周波数電源の場合には同期速度を電動機速度以下にして電動機を発電機として動作させ、電力を電源に返還しながら制動をかける、いわゆる回生制動が可能になる。また、図 2.5 の制御回路に含まれているスリップ制御器の極性によって力行モードか回生モードかの判断を行なっている。

図 2.6 は速度トルク特性で、すべり S' の小さい線形とみなせる部分のみを示したものである。

いま、同期速度 N_0 で負荷トルクが T_L であり、電動機は n_1 で回転しているとする。ここで、同期速度を N_1 にすると、 $N_1 < n_1$ であるから、電動機は発電機になり、 T_R の回生トルクで減速する。さらに回生トルク一定とすると n_2 まで減速し、このとき、同期速度は 0 であり、ここまでは回生制動になる。これより同期速度が N_3 になるまでは同期速度と電動機速度は逆になり、逆相トルクが働いてモータ速度は 0 になる。同期速度 N_3 より N_4 までは逆方向の力行領域であり、速度 n_4 に至って逆転動作はすべて完了する。

3. 実験結果

以下に、前述のような主回路および制御回路構成によって行なった実験の結果を示す。

図 3.1 は V-F 変換器より入力を入れた場合の主回路変換器の周波数特性であり、負荷として $R(3.75\Omega)$ および $L(2.2\text{mH})$ を用いた。図より 25 Hz までは出力の減衰はないと言える。

図 3.2 は負荷として発電機および水抵抗を使用、周波数をパラメータにした場合のトルク-速度特性で、使用した誘導電動機が 60 Hz 220 V であるから、内部磁束密度を一定に保つために 10 Hz, 15 Hz,

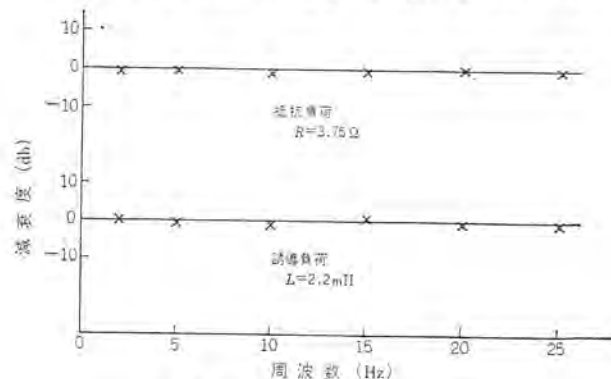


図 3.1 主回路変換器周波数特性
Frequency characteristics of main converter.

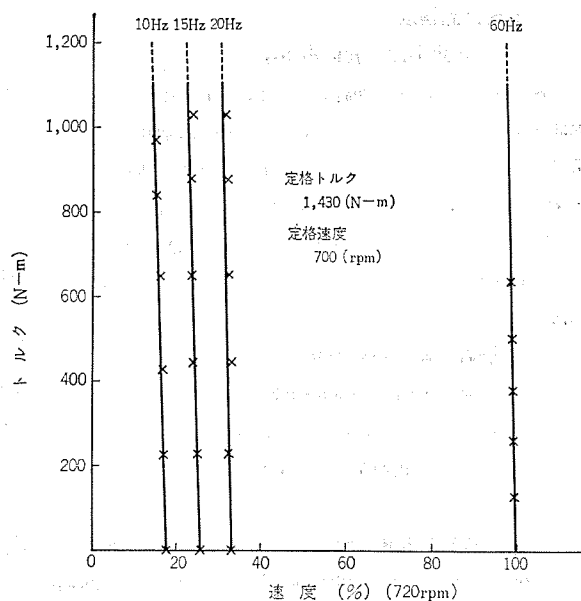


図 3.2 誘導電動機の世界トルク特性
(100 kW 電動機実測値)

Speed-torque characteristics of induction motor
(measured with 100 kw motor).

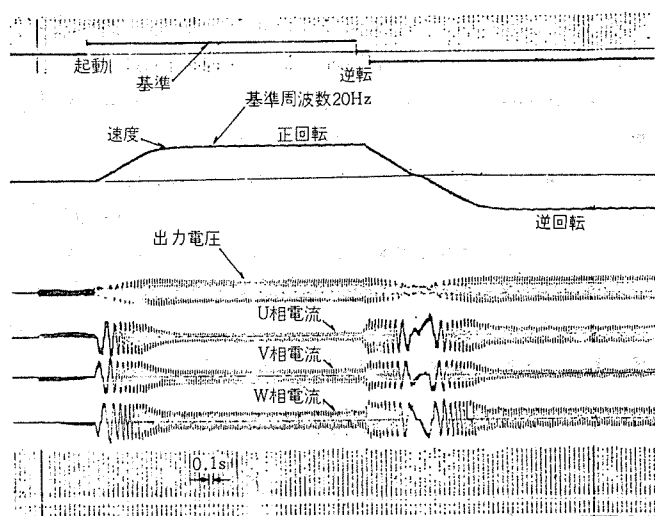


図 3.3 起動時および逆転時のオシログラム
Oscillogram of starting and reversing characteristics.

20 Hz において電圧をそれぞれ 38 V, 55 V, 73 V にした。

結論として、60 Hz 正弦波駆動時と比べて、低周波領域でも特性の変化はほぼ等しく、可変速制御でもトルクを一定にすることが可能であり、直流分巻電動機と相似な特性を示している。また、図 2.6 に示したような制御ループをつけて誘導電動機の世界制御を行った。起動時および逆転時における基準入力・電動機速度・電圧・電流値のオシログラムを図 3.3 に示す。加速および減速時、同期速度と回転速度の差を一定に制御して過大電流が流れるのをおさえており、また減速時には電源側へ回生することによって制動力を得ている。図 3.4 は定常運転時のパターンおよび電流・電圧波形を示したもので、電圧・電流とも高調波を含んだひずみ波であり、またコンバータ・インバータ間の切替時間もあって正弦波駆動時に比べて効率は

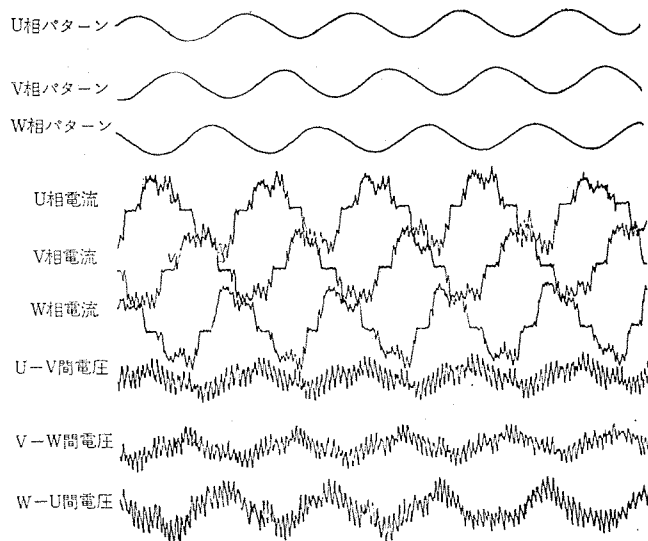


図 3.4 電圧・電流波形のオシログラム (15 Hz)
Oscillogram of voltage and current wave form (15 Hz).

少々低下するものと思われる。

装置の効率・力率測定および負荷短絡試験、電源変動試験などは現在試験中であり、その結果は次の機会に報告したいと思う。

4 む す び

以上、最近注目を浴びて実用化の進んでいる可変周波数駆動の誘導電動機について、なかでも電源としてサイクロコンバータを用いて速度制御した場合の概要および実験結果について述べた。サイリスタ電源による可変周波数駆動方式一般に言える取扱い・保守・点検の容易さのほかに、このサイクロコンバータ駆動の誘導電動機は下記のような特長もっている。

- (1) 空けき(隙)磁束密度を常に一定に保つことにより、低周波のときにもほぼ一定の定格トルクが得られ、起動時や加減速時の電流も小さくおさえることができる。
- (2) 回生トルクを利用して有効な制動力が得られ、またきわめて速応性のある速度調整が可能になる。
- (3) 正弦波形式サイクロコンバータであるから、ある程度の高調波による振動トルクはあるものの、その値は小さく、効率はよいと考えられる。
- (4) 電源による逆電圧によって回路の転流作用が行なわれ、転流失敗時にも自己回復性があり、回路が簡単であるから、すべての領域で安定した運転が行なわれる。
- (5) 周波数が低周波に限られること、および全波形式サイクロコンバータであるから使用サイリスタ数が多く、低速大容量機に適しているといえる。

以上で本実験の報告を終わるが、本装置は広く一般産業用に使用されることが期待できる。また、本実験では誘導電動機を Δ 結線にしたが、人結線にして、中性点とコンバータの中性点を接続する三相 4 線式にすると、より安定した電源になり、電車用その他への実用化がみこまれる。

(昭和 46-9-13 受付)



特許と新案

ミシンの縫目調節装置

考案者 本田 英三

この考案は、ミシンの縫目調節装置の組立時において、特に実際の布送り量と、ダイヤルの指標によって指示される目盛板の布送り数値とを、正確に一致させるように構成した縫目調節装置を提供しようとするものである。

従来のミシンにおける縫目調節装置は、製作時の寸法誤差などにより、実際の布送り量と、ダイヤルの指標によって指示される布送り数値とが正確に一致しない場合が多く、またこの誤差を修正するものもあるが、構造がきわめて複雑で、組立てならびに修正操作が煩わしく、さらに著しく高価になる欠点がある。

この考案は、かかる点に着目してなされたもので、図に示すように、布送り量を規制する案内テコ(4)の傾斜角度を調節する限定子(11)にセレーション(21)を有する結合板(19)を設けるとともに、上記限定子(11)に回転自在に装着され、ばね座金(28)を有する布送り調節用のダイヤル(22)に、上部セレーションの所定位置に選択的に係合して、上記ダイヤル(22)と限定子(11)とを互いに一体に結合する結合ねじ(25)を設けるようにしたものである。

したがって、ダイヤル(22)を回転して、これの指標(30)を取付板(9)の目盛数字(31)の「0」の位置に一致させたのち、結合ねじ(25)をらそう(螺挿)して、これの先端テーパ部(27)を限定子(11)のセレーション(21)の所定位置に圧着すると、ダイヤル(22)と限定子(11)とは互いに一体に結合され、実際の布送り量と、ダイヤル(22)の指標(30)によって指示される取付板(9)の目盛数字(31)の数値とが正確に一致するものである。

この考案の縫目調節装置は、上記のように構成されているので、構造がきわめて簡単であるばかりでなく、部品数が少ないので、安価に提供することができる。また、実際の布送り量と、ダイヤル(22)

の指標(30)によって指示される目盛数字(31)の数値とを一致させる操作がきわめて簡単であるから、作業能率の向上にも貢献するものである。さらにまた、結合ねじ(25)のその入長さを適宜選択することにより、ボルト(24)によるばね座金(28)の圧縮量を制限することができるので、上記ばね座金(28)によるダイヤル(22)の制動力を自在に調節することができる効果も有している。

(実用新案第921579号)(土居記)

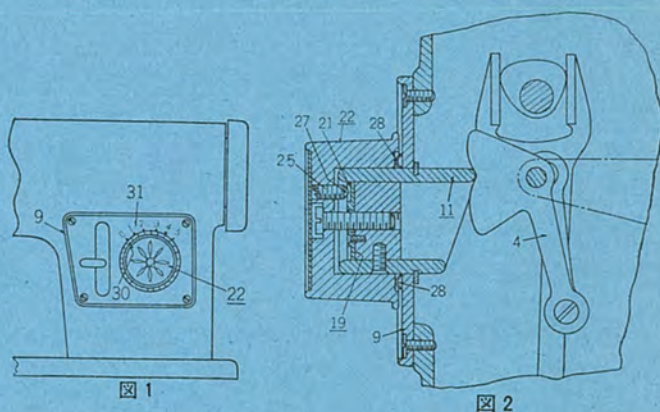


図 1

図 2

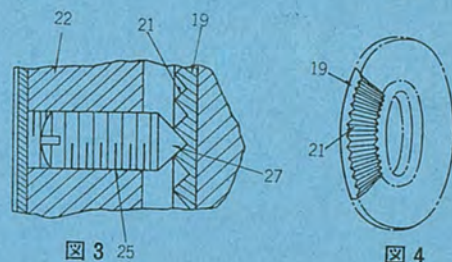


図 3 25

図 4

除霜装置

考案者 大畑 晃一

この考案は、冷凍機などにおけるホットガスデフロストの改良に関するものである。

一般に、ホットガスデフロストは、高圧側冷媒ガスの持っている潜熱および感熱を利用して冷却器を加熱し、除霜を行なうものである。そして、外気温度が低下すると、それに伴って凝縮圧力が低下し、加熱能力が減少する。これらの理由からデフロスト所要時間は図4に示すように、外気温が低いほど長くなり、場合によってはデフロスト不可能の状態となる。このような長時間におよぶデフロストは、圧縮機への液環流が長く続くことを意味し、圧縮機の潤滑不良、モータの

オーバーロード等の重大な事故を誘発するおそれがある。また、この長時間におよぶデフロストにより被冷却物の温度上昇をきたし、融解腐敗等の問題が生じ、さらには運転率低下により、より大容量の冷凍機を必要とするばかりでなく、運転電力ロスも大きくなる欠点がある。

この考案は、かかる点に着目してなされたもので、次のように構成されている。

すなわち、図1および図2に示すように、圧縮機(1)の高圧側の高圧冷媒ガスを冷却器(5)の入口に直通させる電磁弁(7)を設

け、凝縮器(2)をモータ駆動の送風機(3)により強制冷却するものにおいて、上記冷却器(5)の冷却運転またはデフロスト運転を指示する切換スイッチ(9)のデフロスト指示側の接点(9c)に、外気温度またはこれと因数関係にある凝縮器(2)の数値に応動する応動スイッチ(8)の可動接点(8a)を接続し、また上記切換接点の冷却運転指示側の接点(9b)には凝縮器強制冷却用の上記モータ(3)の一端子を接続し、さらにまた上記応動スイッチ(8)の固定側上限接点(8c)には、上記電磁弁(7)の一端子を接続するとともに、上記応動スイッチ(8)には上記切換スイッチ(9)のデフロスト指示側接点閉成中に自己保持される接点(12)を並列に接続されているものである。

したがって、冷却運転中は、切換スイッチ(9)の接点(9a)と(9b)が短絡され、電磁弁(7)およびマグネットリレー(11)には通電されないため、電動圧縮機(1)、凝縮器用送風機(3)および冷却器用送風機(6)に通電され冷却運転を行なう。

次に、冷却器(5)の表面に着霜して熱伝導が悪くなると、膨張弁(キャピラリーチューブ等)の特性として蒸発温度が低下してデフロストサージ、すなわち切換スイッチ(9)の接点が切換わり、接点(9a)と(9c)が短絡される。このとき、外気温度が低くて凝縮圧力が低いと(図3のBおよびC)、圧力応動スイッチ(8)の接点(8a)と(8b)が短絡しているため凝縮器用送風機(3)は送風機用リアクタ(10)を通じて通電されるため、風量が減少し、凝縮圧力は上昇して短時間にデフロストを完了するための熱エネルギーが蓄積されることになる。この間、冷却運転は続行されるため、庫内の温度上昇は起こらない。つぎに、図3に示す夏季凝縮圧力(A)まで凝縮圧力が高まったとき(B、C点)、接点(8a)と(8c)が短絡され、他方の接点(8a)と(8b)が開放するため、凝縮器用送風機(3)は停止し、マグネットリレー(11)および電磁弁(7)に通電される。このとき、マグネットリレー(11)の接点(12)が閉じ、接点(13)(14)は開くと同時に、電磁弁(7)が開き高压冷媒ガスを冷却器(5)に導きデフロストが開始される。

したがって、冷却器(5)は加熱されるが、この暖気が庫内に循環するのを防ぐため、接点(14)により冷却器用送風機(6)の運転は停止される。また、電磁弁(7)に通電されると、凝縮圧力が急激に低下して接点(8a)と(8c)が再び開き、デフロストが中断されるのを防止するため切換スイッチ(9)の接点(9a)と(9c)が開き、デフロストが完了するまで電磁弁(7)に通電されるよう、マグネットリレー(11)の接点(12)で自己保持回路が形成されている。さらに、デフロスト中、接点(8a)と(8b)が短絡して凝縮器用送風機(3)が回転し、高压側冷媒ガスの熱エネルギーを大気中に放出するのを防止す

るため、マグネットリレー(11)に通電中は凝縮器用送風機(3)が回転しないよう接点(13)により回路が開かれている。このようにして、電磁弁(7)の通電状態が続くと、霜が融解して冷却器の温度が上昇し、切換スイッチ(9)の接点(9c)と(9a)が開いて電磁弁(7)が閉じ、同時にマグネットリレー(11)に通電されなくなるので、接点(14)が閉じ、冷却器用送風機(6)が運転を開始する。同時に、切換スイッチ(9)の接点(9a)と(9b)とが短絡されるので、凝縮器用送風機(3)が運転を開始し、元の冷却運転に戻る。

この考案の除霜装置は、上述したように低い外気温における除霜時間を大幅に短縮し、圧縮機の安全運転と運転効率の向上を計ることができものである。また、デフロスト中の被冷却物の温度上昇が少なく、腐敗・融解のおそれがなく、しかも取扱いがきわめて容易で自動運転が可能なすぐれた効果も有している。さらにまた、この考案は、空気冷却器に限らず、製氷機等への応用も可能であり、その実用的価値はきわめて大きいものである。

(実用新案第919522号)(土居記)

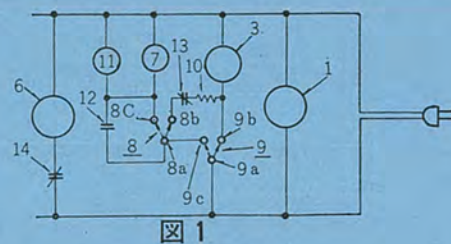


図1

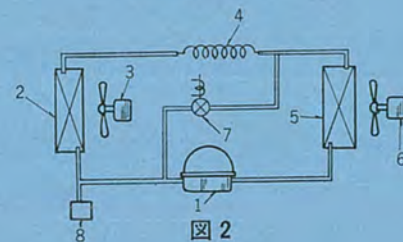


図2

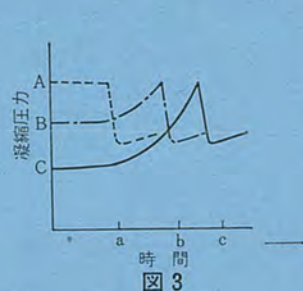


図3

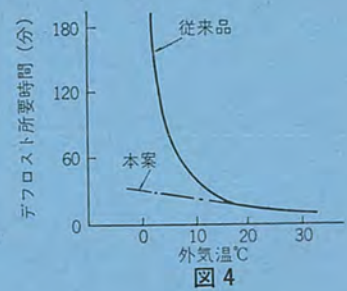


図4

金属発熱体組成物を使用したカイロ

発明者 田嶋尚志

この発明は、水と酸素を加えて金属の酸化発熱を利用するカイロにかかわり、発熱減度が高く、発熱持続時間が長くなるように、金属発熱組成物の収納容器を工夫したもので、フジール形法の通気性試験で測定した場合、通気量が50 cc/cm・min 前後の布、シートまた

はフィルム等で容器を作り、酸素の供給量を適当にし、また容器の開口部をファスナーなどで開閉自在にして、蒸発した水を補給できるようにしたものである。こうして6回以上くり返して発熱させることができる。(特許第567363号)(荻原記)

小形電子計算機 MELCOM 84 磁気元帳処理装置

加藤 義明*・渡辺 秀也*・山川 隆志*・中村 忠教*

Compact Computer MELCOM 84 Magnetic Ledger System

Kamakura Works Yosiaki KATÔ・Hideya WATANABE

Takasi YAMAKAWA・Tadanori NAKAMURA

MELCOM 84 is built based on MELCOM 83 added with a magnetic ledger processing unit, being able to process the ledger for storing historical records. It records magnetically on the ledger necessary data for the processing and operates to write or read them out. The magnetic ledger is provided with ledger cord, on the corner of which is formed magnetic film by printing, coating or other method to permit magnetic recording.

Now a system has been completed to feed the ledger at a definite speed by means of an inserter fitted on a typewriter and to perform write-in and read-out of the data on the magnetic stripe in the ledger with a magnetic head, so the outline is reported herein.

1. ま え が き

MELCOM 84 は、小形電子計算機 MELCOM 83⁽¹⁾を基本にし、これのタイプライタ上に磁気元帳送り装置を付加することにより、歴史的継続記録を取扱う元帳処理を可能にするとともに、元帳処理に必要なデータを元帳上に磁氣的記録ができるシステムである。磁気元帳とは、一般会計業務等に使用する元帳に磁性粉をストライプ状に印刷したものである。この元帳を磁気元帳送り装置により一定速度で送り、この間に磁気元帳送り装置に取付けた磁気ヘッドにより、元帳の磁気ストライプ上にデータの書き込み、あるいは、読出しを行なう。これにより今まで小形計算機のウイークポイントであった記憶容量を等価的に増大させ、多品目の在庫管理などの大容量の計算機でなければ取扱いのできなかった業務の取扱いを可能にするとともに、元帳を扱う会計業務、給与計算等を効率よく取扱うことができるようになり、小形計算機の適用業務の範囲を広げることになった。本文ではハードウェアを中心にして、その特長、仕様、磁気元帳処理装置の制御について報告する。

2. 特 長

MELCOM 84 は、次に述べるような各種の特長をもっている。

(1) 磁気元帳により迅速な元帳処理ができる。元帳に印刷された磁気ストライプは片面520けた記憶できるので、元帳処理に必要な品名コードなどの固定項目、残高や累計などの変動を記憶し、これらデータの入出力が自動的に行なわれるので密度の高い元帳処理が可能である。

(2) 磁気元帳は元帳送り装置により、そう入、排出、記帳合わせが自動的にできる。

(3) 主記憶装置に容量1,000語(6,000バイト)、アクセスタイム10msの磁気ディスクを使用しているので、多項目の分類集計や多種類の業務処理ができる。

(4) 外部記憶装置の付加によりファイルメンテナンスができる。記憶容量10,000語、(60,000バイト)、アクセスタイム10msの高速磁気ディスクを外部記憶装置として接続することにより、ディリ作業とともにファイルメンテナンスができる。

(5) 原始データをカードその他に変換することなく、データキーボ-

ードからダイレクトインプットできる。

(6) ディスプレイ、CIA表示装置により、オペレーションの途中に任意にメモリ内部のインクアイリ(問合わせ)に応じられる。

(7) 制御回路には、三菱モリシックICを全面的に採用しているので信頼性が高い。

(8) 温度・湿度の変化、電源の変動に十分耐えるように設計してあるので、空調は必要なく、どこにでも設置できる。

3. 構 成

MELCOM 84 は、MELCOM 83 を基本に構成されており、その構成を示せば、図3.1に示すとおりである。入出力の規模は、目的と用途により最大構成の範囲内で増減することができる。図3.2に最大構成を示す。

その構成内容は次のとおりである。

(1) 基本構成

演算制御装置(主記憶装置 6,000 バイト 磁気ディスク)

入出力制御装置

磁気元帳処理装置

入出力タイプライタ

データキーボード

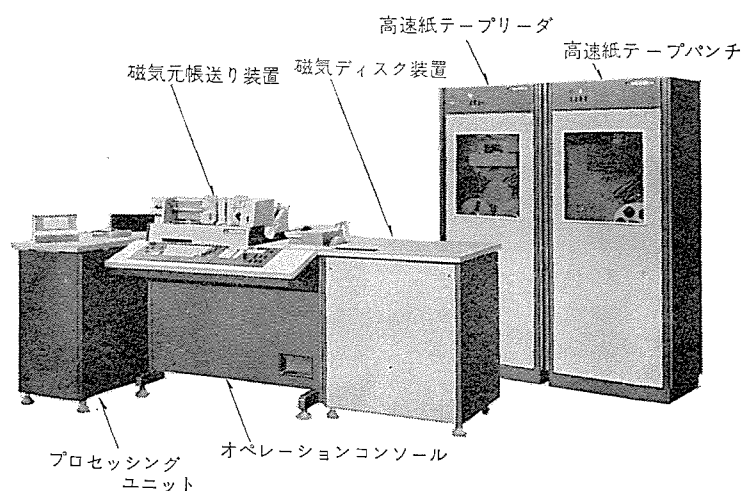


図 3.1 小形電子計算機 MELCOM 84
Compact computer MELCOM 84.

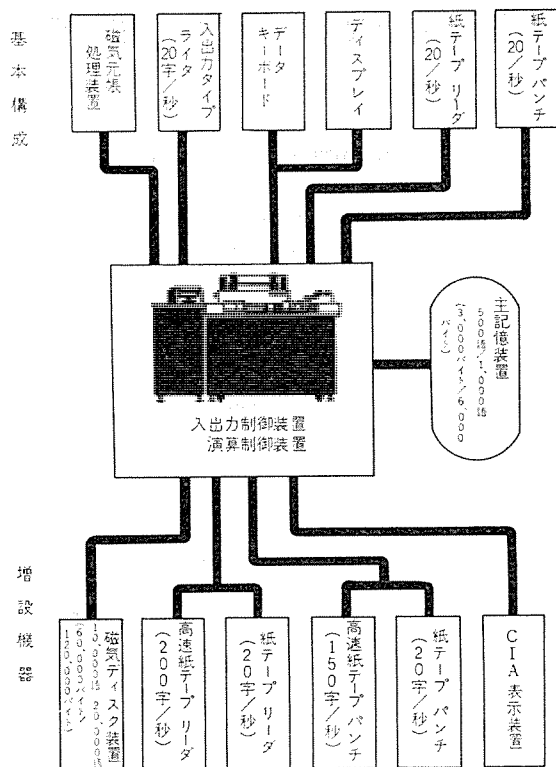


図 3.2 MELCOM 84 構成
MELCOM 84 system

ディスプレイ

紙 テープリーダ

紙 テープパンチ

(2) 増設機器

磁気 ディスク 装置 (60,000 バイト/120,000 バイト)

高速紙 テープリーダ

高速紙 テープパンチ

紙 テープリーダ

紙 テープパンチ

CIA 表示装置

4. 仕 様

MELCOM 84 の仕様は次のとおりである。

4.1 オペレーション コンソール

4.1.1 入出力タイプライタ

文字キー 48 キー, 4 段シフト, ISO 配列 (英カナコンビ 標準)

印字速度 20 字/秒

活字間隔 10 字/25.4 mm (ピカサイズ)

印字幅 132 字/行

4.1.2 データキーボード

けた数 12 けたテンキー 式

4.1.3 紙テープパンチ

コード ISO 8 単位 (標準)

せん孔速度 20 字/秒

チェック 偶数 パリティ (標準)

エッジカード 使用可能

4.2 プロセッシング ユニット

4.2.1 入出力制御装置・演算制御装置

制御方式 2 進法 10 進法 1 語=12 けた+符号

制御素子

モノリシック IC (TTL, DTL)

命 令

ストアードプログラム 3 アドレス 方式

演算速度

加減算 58.4 ms

乗 算 81.2 ms + 2 (N₁ + M₁)

除 算 129.2 ms + 2 (N₂ + 4 M₂)

N₁: 被乗数各けた数値の和

M₁: シフト けた数

N₂: 商の各けた数値の和

M₂: 小数点以下演算けた数

4.2.2 主記憶装置

種 類 磁気 ディスク

記憶容量 500 語/1,000 語 (3,000 バイト/6,000 バイト)

平均 アクセスタイム 10 ms

4.2.3 ディスプレイ

表示けた数 12 けた+符号

素 子 デイジトロン

4.2.4 紙テープリーダ

コード ISO 8 単位 (標準)

読取速度 20 字/秒

チェック 偶数 パリティ (標準)

エッジカード 使用可能

4.2.5 磁気元帳処理装置

(1) 元帳処理装置

元帳送り速度 254 mm/秒

コントロールキー 4 種

最終印字行検出 可能

元帳送り方式 自動そう入, 排出, 印字行合わせ

チェック 水平, 垂直 パリティ

(2) 磁気元帳

記憶容量 520 けた/面

記憶方式 半可変長 (1 語 6 けた~12 けた+符号)

磁気 ストラップ 磁性体印刷方式

磁気元帳種類 4 種

4.3 増設機器

4.3.1 磁気ディスク装置

記憶容量 10,000 語~20,000 語 (60,000 バイト~120,000 バイト)

平たん アクセスタイム 10 ms

4.3.2 高速紙テープリーダ

コード ISO 8 単位 (標準)

読取速度 200 字/秒

チェック 二重読取照合および偶数 パリティ (標準)

4.3.3 紙テープリーダ

コード ISO 8 単位 (標準)

読取速度 20 字/秒

チェック 偶数 パリティ (標準)

4.3.4 高速紙テープパンチ

コード ISO 8 単位 (標準)

せん孔速度 150 字/秒

チェック 偶数 パリティ (標準)

4.3.5 紙テープパンチ

表 4.1 外形寸法および所要電力
Dimensions and power consumption.

| | 外形寸法 mm | 所要電力 W |
|---------------|-------------------------|--------|
| オペレーション コンソール | 980(幅)× 970(高さ)×730(奥行) | 800 |
| プロセッシング ユニット | 390 × 865 × 900 | |
| 磁気ディスク装置 | 650 × 740 × 520 | 100 |
| 高速紙テープリーダー | 600 × 1,500 × 400 | 200 |
| 高速紙テープパンチ | 600 × 1,500 × 400 | 200 |
| 紙テープリーダー, パンチ | 510 × 820 × 520 | 50 |
| CIA 表示装置 | 186 × 115 × 202 | 3 |

コード ISO 8単位 (標準)

せん孔速度 20字/秒

チェック 偶数 パリティ (標準)

4.3.6 CIA 表示装置

現実行命令番地表示 3けた ランプ表示

4.4 設置条件

電源 AC 100 V ± 10 V 50 Hz または 60 Hz ± 1 Hz

温度 5°C~35°C

湿度 40%~80%

4.5 外形寸法および所要電力

表 4.1 に示すとおりである。

5. 演算制御装置

5.1 語の構成

MELCOM 84 はデータ語、命令語とも1語が10進数12けたで構成され、各けたは2進化10進コード4ビットから成立っている。さらに符号ビット、チェックビット、スペアビットが付加され1語52ビットで構成される。

5.1.1 データ語

データ語の構成は図 5.1 の示すとおりである。MELCOM 84 のデータには数値と文字がある。

数値 1語=12けた+符号 1けた=4ビット

文字 1文字=数値2けた 1文字=8ビット

5.1.2 命令語

命令語は1語12けたからなり、命令部3けたと番地部3けた×3番地に分けられ、3アドレス方式を採用している。図 5.2 に命令語の構成を示す。

ここで主命令部 (CMD=COMMAND)

各種命令コードが入る

補助命令部 (M=MODIFICATION)

命令の補助区分、または命令実行の際の変化量などが入る。

A番地

第1アドレス部と呼ばれ、第1データ番地または開始番地が入る。

B番地

第2アドレス部と呼ばれ、第2データ番地、終了番地、第2飛先命令番地、印字様式などが入る。

C番地

第3アドレス部と呼ばれ、データ格納番地、第1飛先命令番地、出力様式などが入る。

5.2 命令体系

MELCOM 84 の命令は次の7種に大別される。

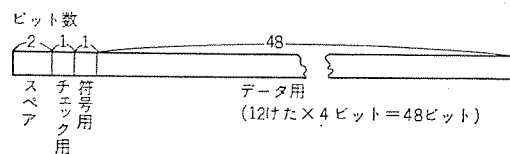


図 5.1 データ語の構成
Data word format.

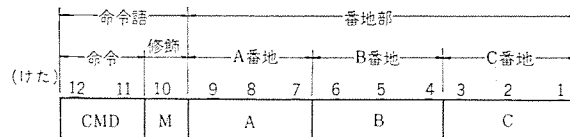


図 5.2 命令語の構成
Command word format.

表 5.1 MELCOM 84 命令表
Instruction repertoire of MELCOM 84.

| | 和名 | 記号 | コード |
|-----------|-------|-----|-----|
| プログラム変路命令 | 終了 | HLT | 00 |
| | 停止 | STP | 01 |
| | 等値比較 | CME | 02 |
| | 大小比較 | CMM | 02 |
| | 零値比較 | CMZ | 02 |
| | 正負比較 | CMS | 02 |
| | 飛起 | JMP | 02 |
| 演算命令 | 機器判定 | TEM | 03 |
| | 加算 | ADD | 10 |
| | 転送 | CPY | 10 |
| | 減算 | SUB | 12 |
| | 負送 | NCY | 12 |
| | 総計 | SUM | 13 |
| | 乗算 | MPY | 14 |
| | 除算 | DIV | 16 |
| | 群和 | GAD | 19 |
| 数値入出力命令 | 群送 | GCY | 19 |
| | 数値入力 | TKE | 21 |
| | 数値読込1 | RN1 | 27 |
| | 数値読込2 | RN2 | 23 |
| | 数値出力1 | WRN | 25 |
| | 数値出力2 | WSN | 24 |
| 文字入出力命令 | 機器制御 | COM | 26 |
| | 文字入力 | TWE | 31 |
| | 文字読込1 | RC1 | 37 |
| | 文字読込2 | RC2 | 33 |
| | 文字出力1 | WRC | 35 |
| 磁気元帳命令 | 文字出力2 | WSC | 34 |
| | 元帳制御 | COL | 50 |
| | 書込 | WTL | 51 |
| 外部メモリー | 読込 | RDL | 53 |
| | 番地選択 | MES | 60 |
| | 転出 | TRO | 61 |
| データ処理命令 | 転入 | TRI | 63 |
| | シフト | SHF | 40 |
| | クリア | CLR | 41 |
| | そう入 | INS | 42 |

(1) プログラム変路命令

(2) 演算命令

(3) 数値入出力命令

(4) 文字入出力命令

(5) 磁気元帳命令

(6) 外部メモリー命令

(7) データ処理命令

各命令の詳細は表 5.1 に示すとおりである。

5.3 演算制御

すべての演算は10進数で行なう。演算部は加算・減算・乗数・

除算のほかには大小比較、一到判定・0判定等の判断や命令の修飾、命令番地のカウントなどの動作を行なう。

5.4 レジスタ

レジスタ部にはデータの保持、演算、制御するため下記のレジスタがある。

- | | | |
|------------|-------|-----------------------|
| (1) Aレジスタ | 52ビット | 演算用主レジスタ、記憶装置との転送レジスタ |
| (2) Bレジスタ | 52ビット | 演算用第2レジスタ |
| (3) A*レジスタ | 52ビット | 乗除算オーバフローレジスタ |
| (4) ADレジスタ | 4ビット | レジスタの左シフト用、入力データ伝送用 |
| (5) Rレジスタ | 52ビット | 命令語の記憶、修飾レジスタ |
| (6) Cレジスタ | 12ビット | 命令番地記憶レジスタ |
| (7) Nレジスタ | 12ビット | 主記憶装置番地レジスタ |

5.5 主記憶装置

磁気ディスクメモリーで1,000語の容量をもち、000～999の番地が振当てられている。回転数は3,000/3,600 rpmで1周に要する時間は20 ms/16.7 msでディスク上の番地は、20トラック×50語の形で配置されている。各トラックには各1個の書き込み、読出しヘッドを持ち、同時読出しヘッドは1個である。平均アクセスタイムは10 ms/8.3 msである。

6. 磁気元帳処理装置

MELCOM 84では磁気元帳を使用し、歴史的継続記録ができると同時に、元帳の残高・累計・処理に必要なデータを記憶し外部記憶として使用される。

次に磁気元帳、磁気元帳処理装置の機能および磁気元帳磁気ストライプ上のデータ構成について述べる。

6.1 磁気元帳

磁気元帳はOCR (Optical Character Reader) 用紙145 g/m²を使用し、これに磁性材料 α -Fe₂O₃をインク状にし印刷された磁気ストライプがある。磁気ストライプは元帳の両面に印刷可能であり、記憶容量は片面520けたである。

磁気元帳の外形寸法を図6.1に示す。

6.2 磁気元帳送り装置

図6.2に磁気元帳送り装置の外観を示す。図6.3に磁気元帳送

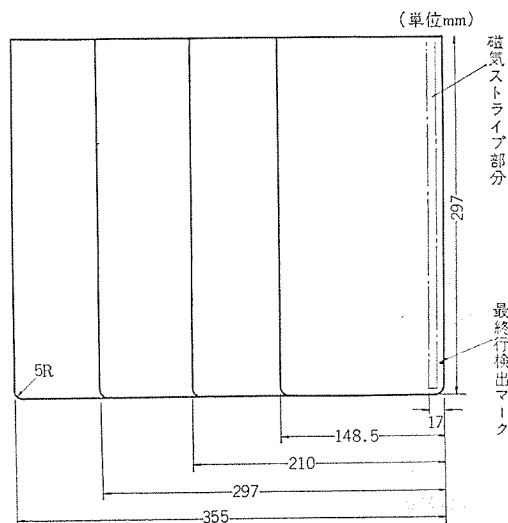


図 6.1 磁気元帳の外形寸法
Dimensions of magnetic ledger.

り装置の概略を示す。磁気元帳送り装置はタイプライタ上に取付けられている。

元帳はオペレータのそう入によりストップに当たるまで入り、命令実行により駆動ローラにより速度254 mm/秒、つうフラッタ5%以内で送られる。磁気ヘッドはRead/Write共用ヘッド。元帳はそう入方向でデータの読取り、排出方向で書き込み動作が行なわれる。

6.3 元帳の位置決め

元帳へのタイプライタ印字のために、元帳はそう入動作後排出方向に動き位置決めを行なう。

元帳の位置決めは次の2種類がある。

6.3.1 マグネティックラインファインド

磁気ストライプを使用し、そのストライプ上に次に停止すべき位置を記憶し、次にそう入されたとき磁気的に位置検出を行ない位置決めをする。

6.3.2 メカニカルラインファインド

元帳が最下端にそう入された位置を0とし、その位置からカウントし、9ピッチまで位置決めを行なう。この停止位置はプログラムで指令する。

元帳には図6.1で示したように、最終行検出マークをつけることにより、元帳の最終印字行を検出することができる。

6.4 書き込み

元帳は現在停止している位置より、いったん元帳送り装置の下端

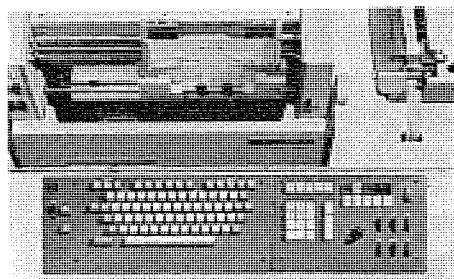


図 6.2 磁気元帳送り装置
Inserter of magnetic ledger.

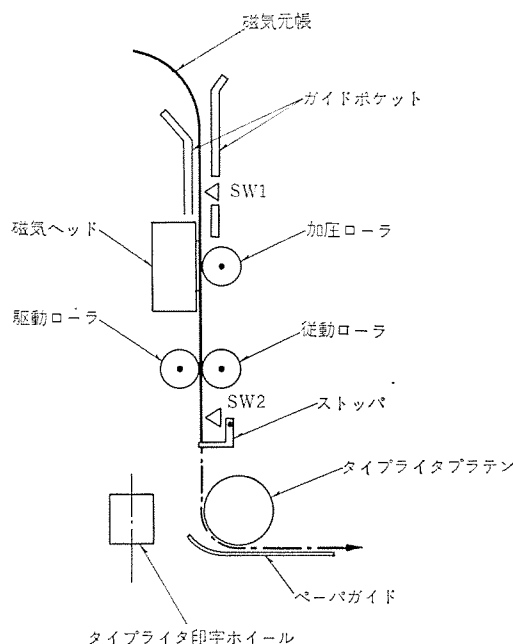


図 6.3 磁気元帳送り装置の概略
Inserter of magnetic ledger.

までそう入されてから排出動作に入る。このそう入動作中に、マグネティックラインファインドの更新が行なわれ、排出動作中にデータの書込みが行なわれる。書込みはPM変調で f 、 $2f$ で書込まれ、 $2f=1.25\text{ kHz}$ である。書込み容量は片面520けた、1語12けたで6けた以上は可変長語のWord単位で書込まれる。図6.4に書込み回路ブロック図を示す。

6.5 読み込み

元帳は一度元帳送り装置の下端までそう入させてから、ラインファインド動作に入る。そう入中にデータを読み取り、排出方向でラインファインド動作をし、指定停止位置に元帳を止める。図6.5に読み込み回路ブロック図を示す。

6.6 磁気ストライプ上のデータ構成

図6.6に磁気ストライプ上のデータ構成を示す。

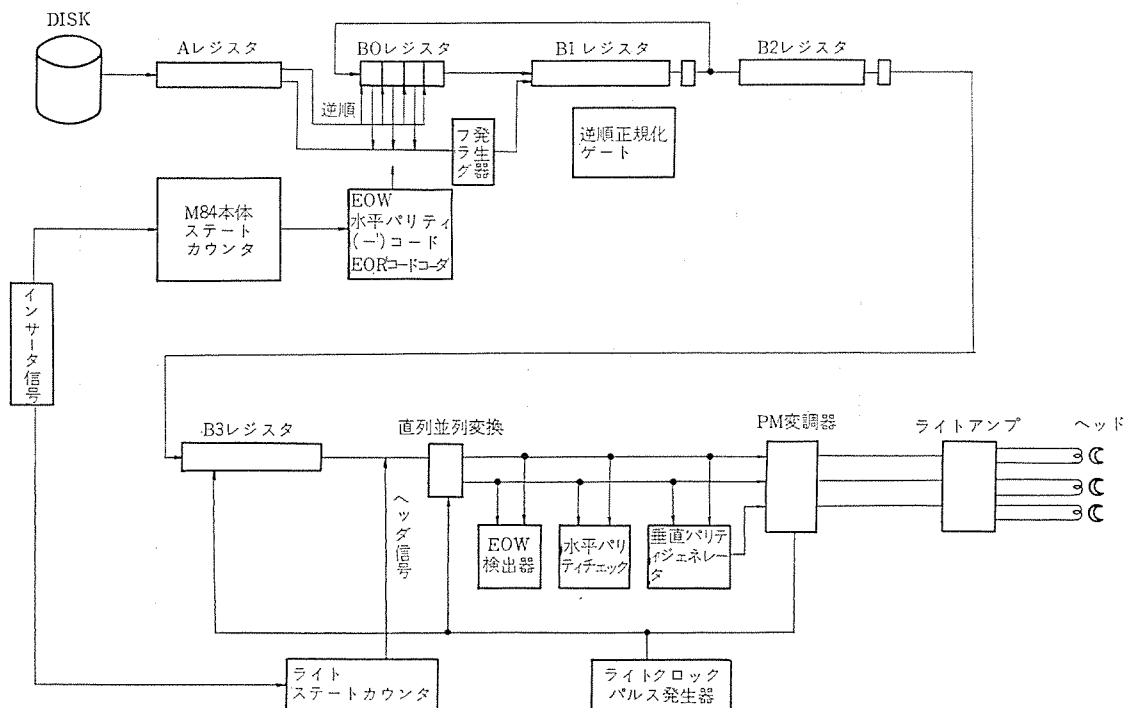


図 6.4 書込回路ブロック図
Schematic diagram of write circuit.

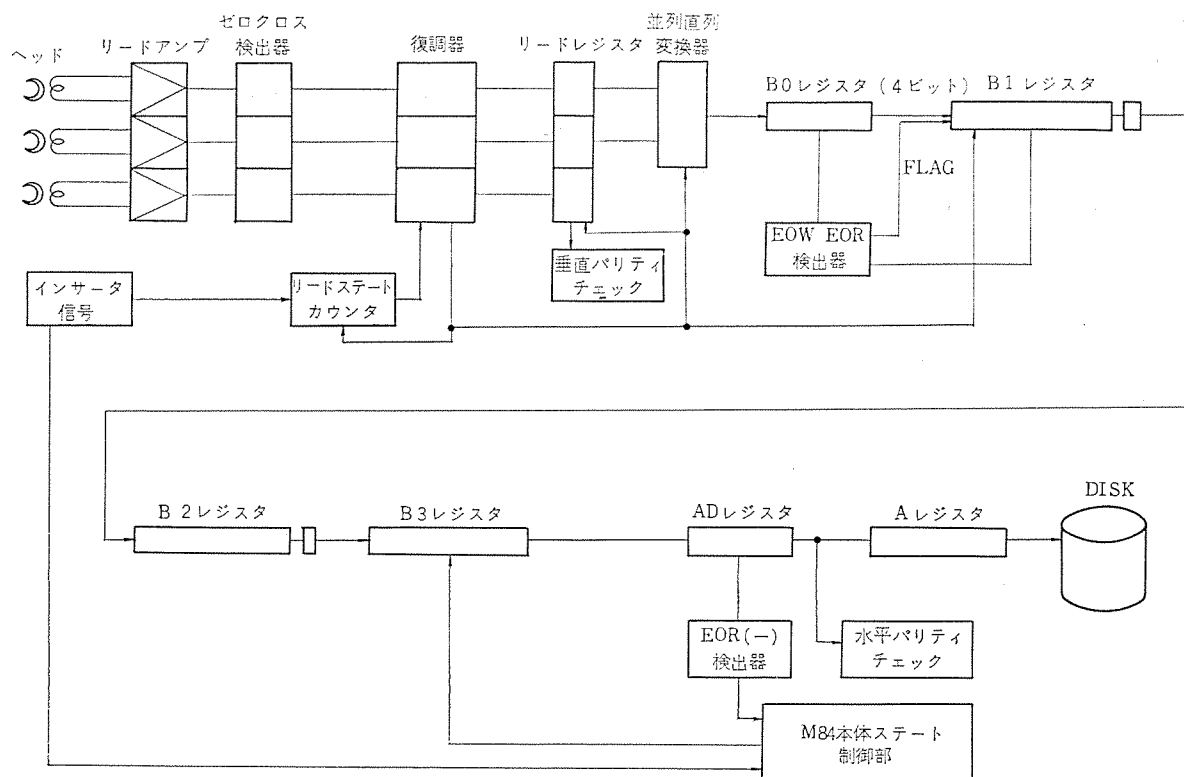


図 6.5 読み込み回路ブロック図
Schematic diagram of read circuit.

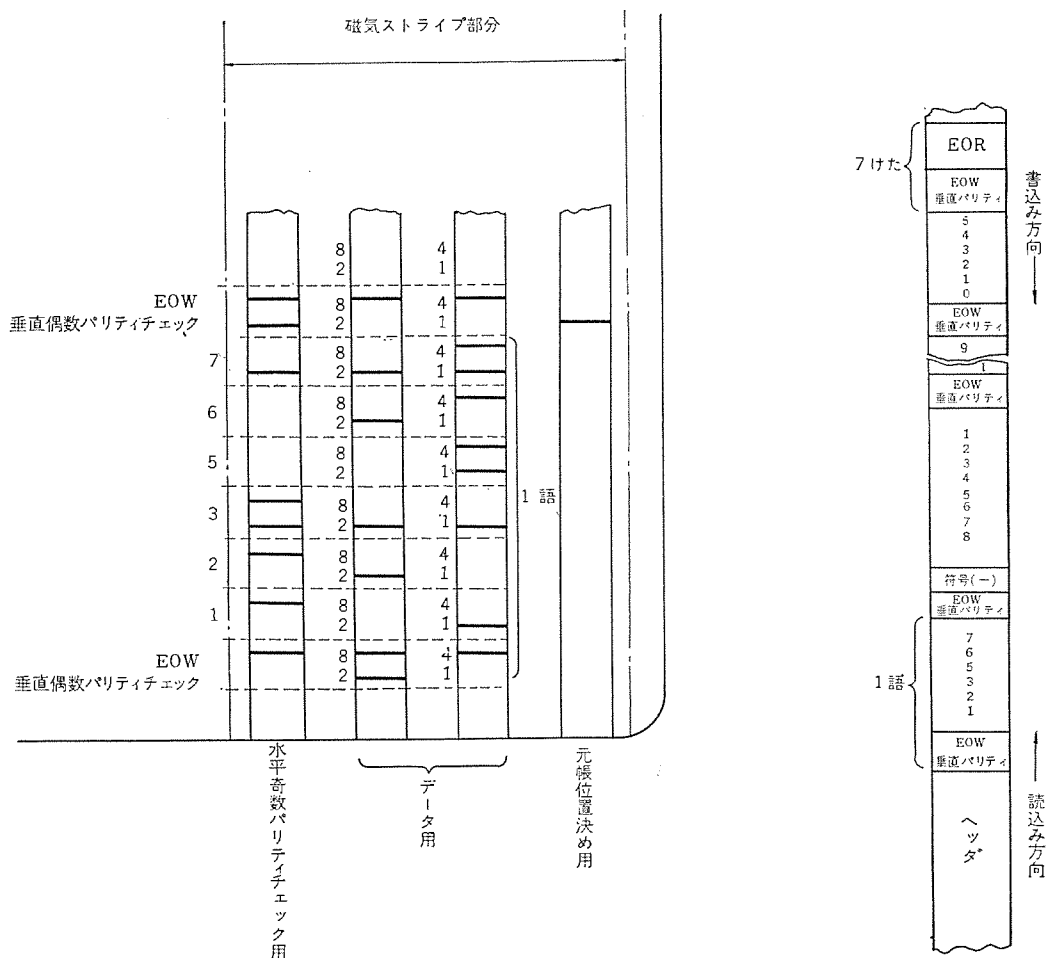


図 6.6 ストライプ上のデータ構成

Data format on magnetic stripe.

図中 EOR (End of Record) は一連のデータの終了を意味し、データの最後に自動的に書込まれる。

EOW (End of Word) は1語の区切りを意味するコードで、この中には1語の垂直パリティチェックを行なうコードも含まれる。

7. MELCOM 84 のソフトウェア

MELCOM 84 のソフトウェアは事務用電子計算機として、特別の専門家を必要とせず、だれにでも簡単にプログラムが行なえるように配慮されている。

MELCOM 84 のソフトウェアは次のように分類される。

(1) プログラム言語 (COOL)

Customer Oriented Optimum Language

38 種の基本命令からなり、ユーザが簡単に組めるプログラム言語である。

(2) ユーティリティプログラム

ローディングプログラム、I/O プログラム、番地移動プログラム等がある。

(3) サブルーチンプログラム

事務計算用、科学計算用各種がある。

(4) アプリケーションプログラム (SAPP)

Standard Application Program Package

業種別・業務別の標準プログラムのパッケージ化である。

(5) アセンブラ

計算機が本来持っている機能を最大限に発揮させるため、従来の機械語の特性をそのまま受け継いでいる。

8. む す び

MELCOM 84 の概略について紹介したが、磁気元帳処理装置の付加により、今まで超小形電子計算機のウイークポイントであった記憶容量を等価的に増大させ、多品目の在庫管理の取扱いを可能にするとともに、元帳を扱う会計業務、給与計算等を効率よく取扱うことができ、超小形電子計算機の適用業務の範囲を広げることになった。

参 考 文 献

- (1) 大矢, 渡辺, 宮崎, 本間: 三菱電機技報 44, No. 6, (昭 45)

関西電力(株) 宇治発電所納め自動応水装置

合田 啓治*・松村 雅司**

Flow-Responsive Generation Control (FREC) Device for Uji Power Station of the Kansai Electric Power Co.

Head Office Keiji GODA
Communication Equipment Works Masaji MATSUMURA

Herein is introduced a flow-responsive generation control device delivered to Uji Power Station of the Kansai Electric Power Co. It is a labor saving apparatus of a new type, in which complicated automatic flow responsive sequence is set in as logic operation by treating the control sequence through the application of a micro-controller. According to a priority order previously set up, the device will start and stop automatically and regulate the loading of five sets of water wheel generators in response to the water level of the reservoir. These sequence programs are stored in the read-only-memory of the micro-controller.

1. ま え が き

電力需要の増大により大容量火力・原子力発電設備とともに水力発電設備においても大容量揚水発電所の建設が盛んである。一方、既設水力発電所については遠隔装置による集中管理、プログラム運転による無人化等の省力化が積極的に推進されている。ここに紹介する関西電力(株)宇治発電所納め自動応水装置はマイクロコントローラを応用し、制御シーケンスを論理演算として処理することにより、複雑な自動応水シーケンスを組み込んだ新しいタイプの省力化機器である。この装置はあらかじめ設定された運転優先順位にしたがい、5台の発電機を上水そう水位により自動起動、自動停止および負荷調整を行なうもので、これ等のプログラムをマイクロコントローラの読出専用メモリーに収容したシーケンス制御装置である。

去る46年3月、現地において動作試験を実施した結果、きわめて良好な成績を収めたので、ここにその概要を紹介するものである。特に高温・多湿、じんあいの多い、しかも雑音や電圧変動のある過酷な環境にも十分適用可能なことが実証されたことは特筆されるべきものである。

2. 装置の概要

2.1 自動応水装置とは

宇治発電所は琵琶湖をその水源とし瀬田川下流の南郷洗せき(堰)より取水し、宇治川に放流する流れ込み式水力発電所である。図2.1にその位置を示す。従来、流れ込み式水力発電所においては水位調整装置が採用され、上水そう水位に応じて発電所出力を調整し、発電所の流入量と放流量を等しくするような運転方式がとられてきた。自動応水装置とは、水位調整装置にさらに自動起動および自動停止の機能を付加し、発電所が完全無人で運転可能なようにしたものである。

ここに紹介する宇治発電所の自動応水装置の特殊性は5台の発電機を1台の水位調整装置でコントロールしている点である。すなわち、5台の発電機を上水そう水位に応じて必要運転台数を決定し、しかもそのうちの最終起動発電機に水位調整装置を適用し、応水運転を行なうものである。

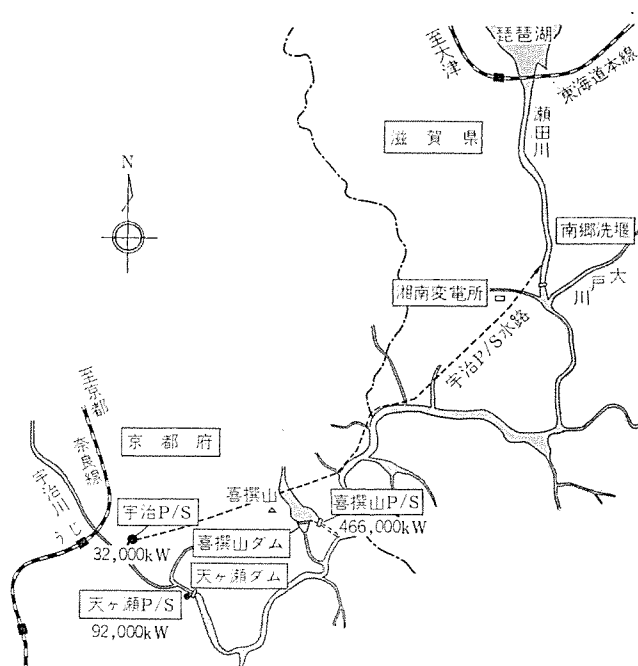


図 2.1 発電所位置図
Map of Uji Power Station.

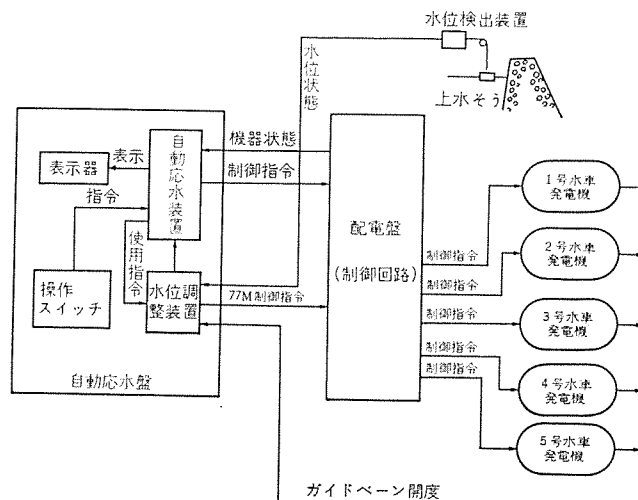


図 2.2 自動応水装置の構成
Block diagram of FREC device.

2.2 装置の構成

図 2.2 は自動応水装置とその周辺機器の構成を示したものである。主要構成部品は発電所配電盤室の自動応水盤に収納されており、自動応水運転中は発電機の運転制御指令がすべてここから出されることになる。自動応水盤の構成部品は次のとおりである。

(1) 自動応水装置

マイクロコントローラで、自動応水シーケンスを論理演算として処理する制御装置

(2) 水位調整装置

PFM (パルス 周波数変調方式) サーボアンプを使用したトランジスタ形水位調整装置

(3) 表示器

運転状態表示器、運転優先順位表示器および故障表示器

(4) 操作スイッチ

電源スイッチ (8 D)、運転優先順位スイッチ (43-1) および自動応水選択スイッチ (43-2)

図 2.2 を簡単に説明すると、自動応水運転を行なわない場合には、各発電機は配電盤上のマスタスイッチ (#1) で一人制御される。水調運転を行なう場合には、5 台のうちのどの号機に水位調整装置をかけるかを、自動応水盤の操作スイッチ (43-2) で選択する。水位調整装置は上水そう水位検出装置の信号と水調指定号機のガイドベーン開度の信号とを比較し、その偏差が零となるように負荷制限モートル (77M) を制御する。自動応水盤の操作スイッチ (43-2) で自動応水運転が選択された場合、自動応水装置は配電盤からの入力信号により当該時刻の機器状態を把握し、自動応水シーケンス (プログラム) に従って、起動 (または停止) の制御指令および現在運転中の発電機のうち最も遅く起動した号機に水位調整装置を適用する水調使用指令を発する。運転の状況は自動応水盤および各号機の配電盤上の状態表示器にランプ表示される。

図 2.3 は主配電盤の外観を示す。左から 5 番目の盤が自動応水盤である。図 2.4 は自動応水盤のリリース面を示す。上から自動応水装置の出力ユニット、入力ユニット、周辺接続ユニット、演算制御ユニットおよび水位調整装置である。

2.3 装置の機能

この装置は 5 台の水車発電機を上水そう水位 (発電所流入量) に応じて自動起動、自動停止および水調運転を行なうための装置で、おもな機能は次のとおりである。

- (1) 5 台の水車発電機を上水そう水位に応じて応水運転する。
- (2) 上水そう水位により水車発電機を自動起動・自動停止する。
- (3) 運転中の号機のうち運転優先順位の一番低いものに水位調整装置をかけて水調運転する。
- (4) 上水そう水位低下により水調運転中の号機が自動停止した場合、運転中の 1 台先行機に水位調整装置を自動的に移す。
- (5) 自動応水運転中、そのうちの 1 台が事故トリップ (86-1~5) した場合は、水調運転中の号機を除き運転機をすべて全負荷にする。すなわち、運転中の健全機をすべて全負荷にする。本動作により全台全負荷となり、再び起動水位となった場合、もし停止機があれば自動起動する。

(6) 別に設置する自動復旧装置と組み合わせて復旧操作を行なう。系統周波数低下時、発電所を系統より分離したのち線路充電を確認して再開入する場合、自動応水装置を使用して随時系統に並列していく。

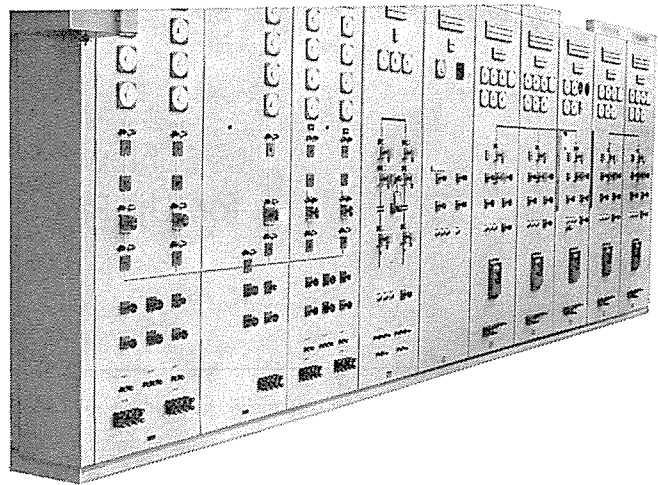


図 2.3 主配電盤
Main switchboard.

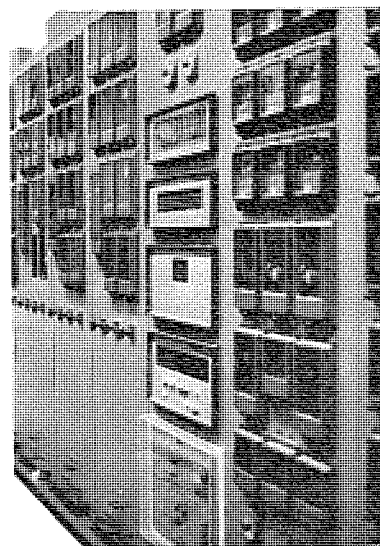


図 2.4 自動応水盤
FREC panel.

2.4 水位調整装置

5 台の発電機に対し 1 台の水位調整装置しかないため、自動応水装置の指令を受け、当該号機にリレーにより切換えて使用される。

図 2.5 はトランジスタ形水位調整装置の回路図を、図 2.6 は装置の外観を示す。この装置は次のもので構成されている。

- (1) 水調設定器
- (2) 演算増幅器
- (3) PFM サーボアンプ
- (4) 補助抵抗器
- (5) 点検器
- (6) 直流定電圧装置

また、装置のおもな仕様は次のとおりである。

- | | |
|-------------|--|
| (1) 水調設定幅 | 10~40 cm 可調整 |
| (2) 基準水位設定幅 | 0~30 cm 可調整 (基準水位は EL 80.09) |
| (3) 出力パルス | パルス幅 0.1~1.0 秒可調整 パルス間隔 0.1~20 秒可調整 |
| (4) 制御電源 | AC 210 V 60 Hz |

この装置の動作を図 2.5 について簡単に説明する。65 GR は水車発電機のガイドベーンに連動したポテンショメータ、77 W×1~5 は水調切

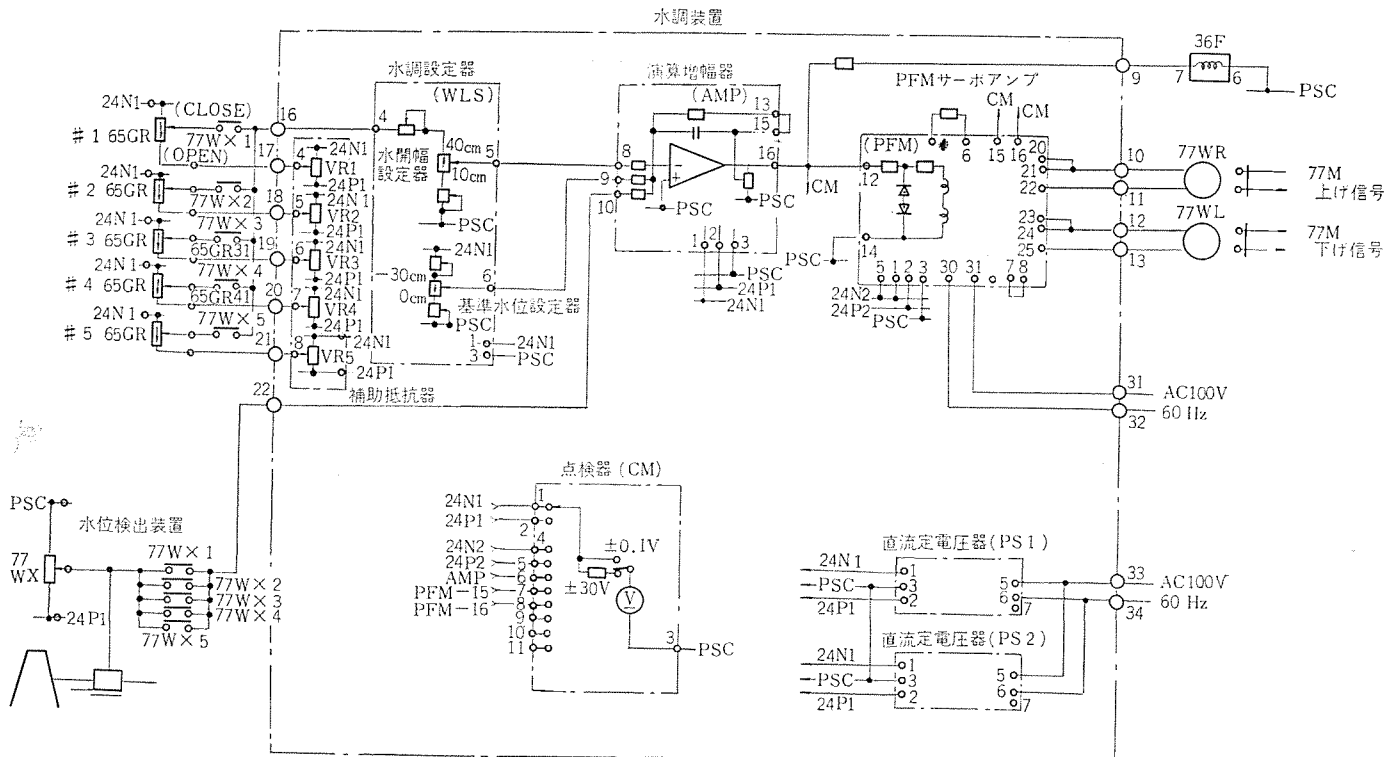


図 2.5 水位調整装置回路図

Elementary diagram of water level regulator.

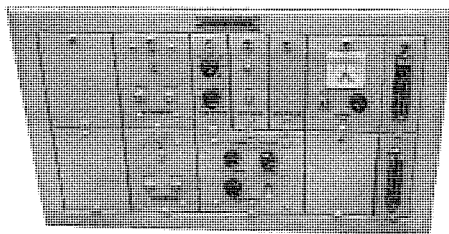


図 2.6 水位調整装置
Water level regulator.

換リレーおよび 77 W は水そう水位検出装置である。

演算増幅器の入力は前記ガイドベーン開度信号、水位信号および基準水位信号が与えられる。これらの信号は互いに逆極性として加えられており、演算増幅器はその偏差を増幅し PFM サーボアンプに信号を与える。PFM サーボアンプは双安定増幅器とトランジスタ NOR で構成され、連続した入力から偏差の大きさに応じてパルス間隔を変えるパルス周波数変調方式を採用した増幅器である。すなわち、PFM サーボアンプの出力のパルス幅は入力のいかにかわらず一定であるが、パルス間隔は偏差が大きいときは短く、偏差が小さいときは長くなる。演算増幅器の出力はこのようにパルス変調され、出力リレー (77 WR/77 WL) を付勢し、負荷制限モートル (77 M) を操作して発電機負荷を自動調整する。

2.5 自動応水装置

自動応水装置の計画において、まず問題となったのは、ハードウェアとして何を適用するかであった。すなわち、まずリレーシーケンスにおいてこの自動応水シーケンスを検討したところ、次のような問題点が出てきた。

(1) 回路が煩雑となる

リレーシーケンスの限界に近く、150 個以上のリレーを必要とし設計・製作両面とも煩雑になる。

(2) 保守点検が困難となる

起動・停止および水調の優先順位決定回路においては、不要動作

の起こるループ回路をカットする目的で多くの逆流阻止用ダイオードを使用して回路が構成される。もし何らかの原因でこのダイオードの一つが損傷したとすると、回路が迷路のごとくなっているため、故障箇所を発見することが非常にむづかしいことになる。

(3) 装置の信頼性に疑問が残る

リレー間にかかなり微妙な時限協調を必要とする回路が多く、リレーの動作特性にかかなりシビアなものが要求される。万一ひとつのリレーの動作に不都合が生じた場合、装置の動作として次に何が起こるかわからない。

(4) リレー取付スペースが確保できない

自動応水盤は 1 面で計画されていたため、これを 2 面にすることは配電盤室のスペース上制約をうける。

(5) コストパフォーマンスが悪い

リレー式としてはシステムスケールが大きすぎる。

以上のような事情から、リレーに代わる装置としてマイクロコントローラの採用を検討した。マイクロコントローラに着目したおもな理由は次のような利点を有していたためである。

(1) 制御シーケンスは複雑であるが、入出力点数が少なくコストパフォーマンスが比較的良好なこと

入力点数 36 点、出力点数 25 点である。

(2) 制御シーケンスの修正・変更が簡単なこと

プリント基板 (制御メモリ) の差換えだけでプログラム変更が完了、配線換えを必要としない。このことは、自動応水シーケンスが現地でも何らかの手直しを必要とした場合、大きなメリットを持つ。

(3) 無保守・高信頼度

宇治発電所は将来無人発電所となることが予想され、終日連続運転のオンラインリアルタイム制御としてマイクロコントローラは最適である。

もちろん、マイクロコントローラに不要要素がなかったわけではない。従来この装置は、大形レーダシステムのプレプロセス用や商用衛星通信用の大形アンテナ制御のために製作された装置で、発電所のような強電

回路の中に使用した実績がなかったためである。そこでマイクロコンピュータの設計に際しては、使用環境の調査を現地にて十分実施し、高温・高湿、じんあいの多い過酷な環境でも耐えうる、しかも予想される雑音や電圧変動にも十分耐えうるよう配慮した。また、自動起動・自動停止のプログラムについては、あらかじめコンピュータで水そう水位変動の解析を行ない、ハッチングを防止する対策および水位調整装置の各種定数の決定を行なった。

3. 自動応水方式

3.1 方式

まず、本文で使用する自動応水装置の特殊用語を次のように定義するものとする。

- (1) *n* 号機： 各発電機に個有の名称
- (2) *n* 番機： 運転優先順位スイッチで指定された優先順位の高いものから順に 1 番機、2 番機……*n* 番機と定める。
- (3) 水調号機： 水調運転を行なっている発電機、運転中の発電機の中で優先順位が一番低いものになる。
- (4) *n* 段先行機： 水調号機から順に優先順位の高い方へと 1 段先行機、2 段先行機……*n* 段先行機と定める。

いま、運転優先順位が 3-4-5-1-2 号機の順にセットされたとして、3 号機が 1 番機……2 号機が 5 番機となる。全台運転されていると考えると水調号機は 2 号機、1 段先行機は 1 号機となる。そして 3 号機が 4 段先行機ということになる。

以下、自動応水装置による自動応水方式の概略説明を行なう（なお、この方式は現在特許出願中である）。

3.1.1 自動起動

1 番機は水そう水位が起動水位以上になったとき自動起動され並列後、水調号機となり水調運転を行なう。2 番機から最終号機までの順次自動起動は先行機が全負荷をとり一定時間経過後、なお起動水位以上の水そう水位が検出された場合後行機を起動し、並列後、

水調を先行機から後行機に移す。

3.1.2 水調号機指定

水調は運転中の発電機の中の最終号機、すなわち、もっとも遅く起動した号機にかけられる。したがって、最終運転号機が故障した場合は 1 段先行機に水調が移される。

3.1.3 自動停止

運転中の最終号機は水そう水位が停止水位以下になったとき自動停止され解列後、水調を除外して 1 段先行機に水調を移行させる。1 段先行機から 1 番機までの順次自動停止は先行機が停止し一定時間経過後、なお停止水位以下の水そう水位が検出された場合、先行機を停止し解列後、後行機の水調を除外し、さらに次段先行機に水調を移す。ただし、2 台以上連続して停止しないようロックする。

3.1.4 事故停止

運転中の発電機の中の 1 台が、事故 (86-1~5) によりトリップした場合、水調運転中の号機を除き健全運転中の号機をすべて全負荷にする。これは負荷バランスをとるため、手動 (7-77) にて下げられていた号機をすべて全負荷に上げ、いっ(溢)水をできるだけ少なくすることを目的としたものである。水調運転中の号機は水位調整装置により全負荷となる。(すなわち、1 台トリップした状態では水そう水位が急速に上昇することになる)

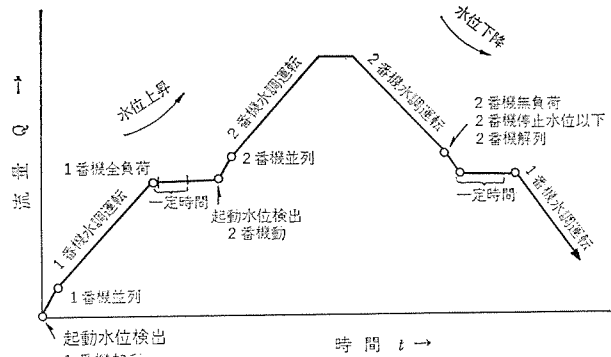


図 3.1 自動応水運転説明図
Time chart of FREC operation.

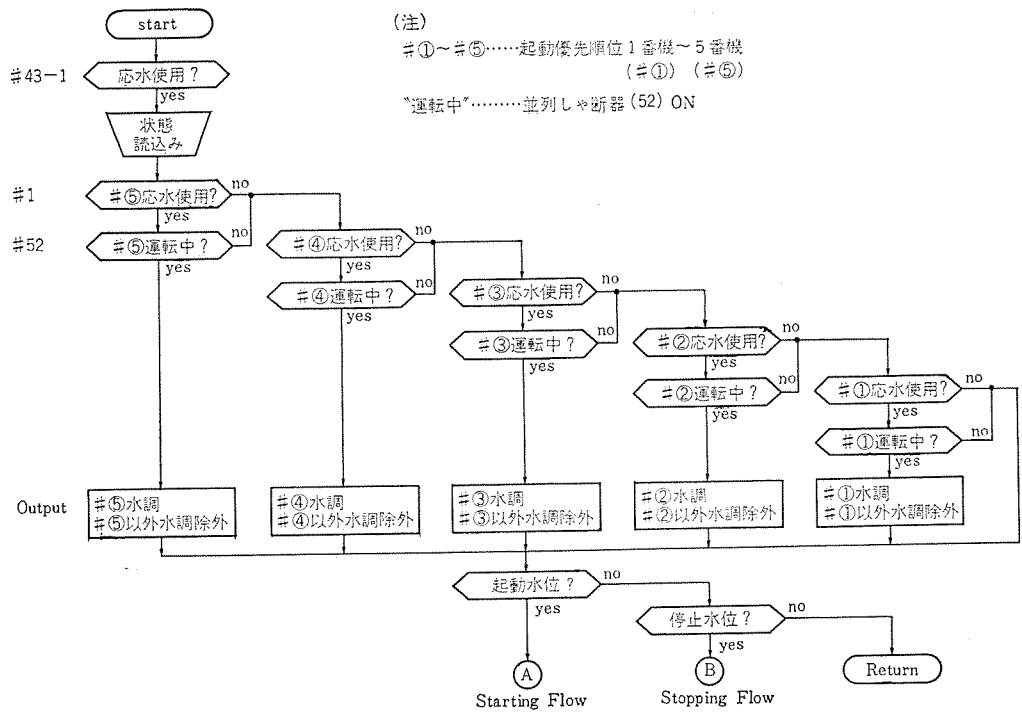


図 3.2 フローチャート (その 1) Flow chart (Part 1).

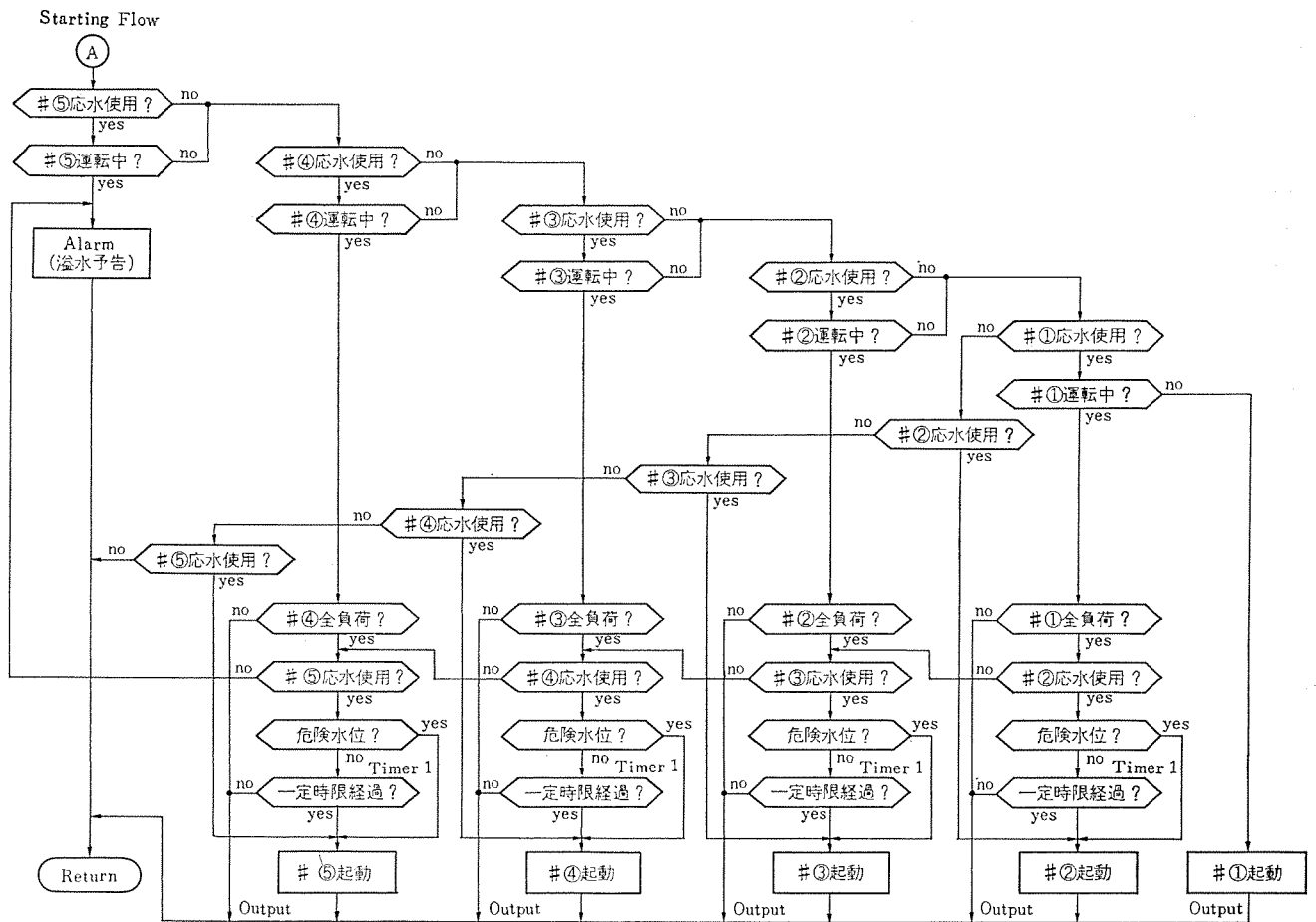


図 3.3 フローチャート (その2)

Flow chart (Part 2).

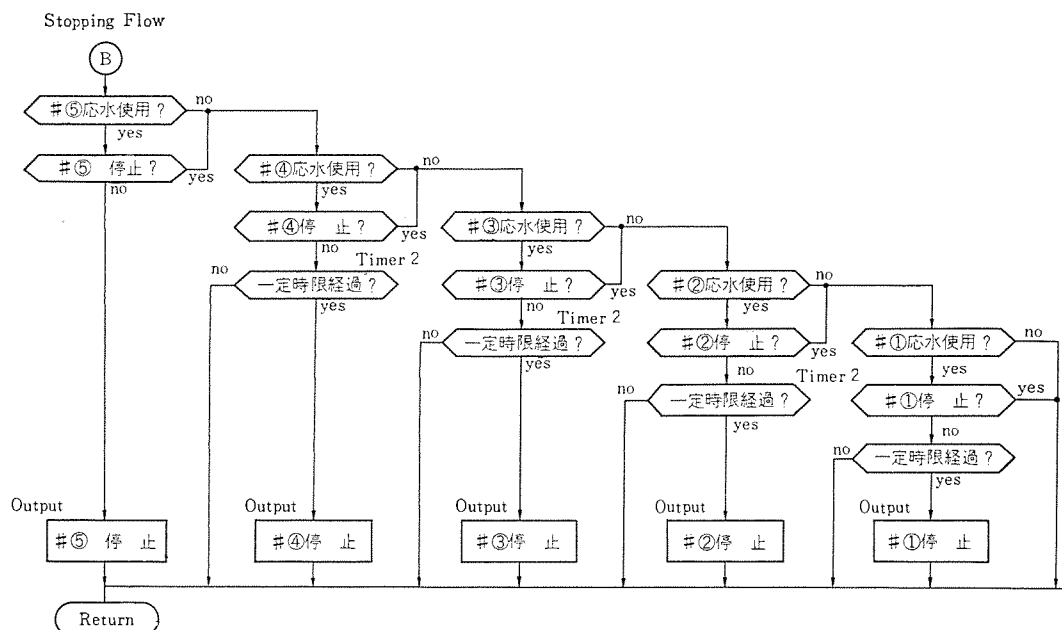


図 3.4 フローチャート (その3)

Flow chart (Part 3).

図 3.1 は以上の方式を図式化して示したものである。左半分は水そう水位が上昇した場合、右半分は下降した場合を示している。

3.2 フローチャート

図 3.2, 3.3 および図 3.4 は自動応水シーケンスの概略フローチャートを示したものである。図 3.2 は水調号機指定のプログラムを示している。水調は運転中の最終号機にかけられることがわかる。

図 3.3 は自動起動のプログラムである。このうち危険水位というのは運転中の発電機が事故トリップした場合に上昇する水位で、この

場合には起動完了確認時間を設けず、次々と後行機を起動していくことになる。

図 3.4 は自動停止のプログラムを示している。

4. マイクロコントローラ

2 および 3 節に述べた自動応水装置の主要機能は、マイクロコントローラと呼ばれる超小形制御装置によって遂行される。

本節では、マイクロコントローラの機能・仕様・方式・特長等につき概

説する。

4.1 概要

自動応水装置用マイクロコントローラは、つぎの四つのユニットから構成される。

- (1) 演算制御ユニット
- (2) 周辺接続ユニット
- (3) 入力リレーユニット
- (4) 出力リレーユニット

演算制御ユニットは、マイクロコントローラの中心となるユニットで、自動応水装置に課せられた自動起動・自動停止・水調移行・発電機故障時の処理等の制御を行なうための各種判断や処理・照合等を行ない、これらを実行するための制御シーケンスは、読み出し専用プログラムの形で内部に記憶されている。

周辺接続ユニットは、入力リレーユニットを介して読みとられた外部状態や、出力リレーユニットから外部へ送出する制御指令に対する演算制御ユニットでの取扱いを統一的行なえるよう、発電機運転順序の整理やレベル変換、各種状態の記憶等を行なうためのユニットである。

入力リレーユニットは、発電機の状態や水位の状態等をマイクロコントローラに読みこむためのユニットである。

出力リレーユニットは、各発電機の状態や水位に応じて、所定の演算処理を行なった結果を制御指令として外部に送出するためのバッファユニットである。

入力リレーユニットおよび出力リレーユニットは、マイクロコントローラを外部からの外来雑音から隔離するためリレーを用いているが、演算制御ユニットおよび周辺接続ユニットは、全面的に集積回路(IC)を採用し、高信頼度化と超小形化を図っている。

4.2 主要性能・諸元

4.2.1 演算制御ユニットおよび周辺接続ユニット

| | | |
|--------|---------------------------------------|-----|
| 回路素子 | TTL/DTL 集積回路 | |
| 制御方式 | 読出し専用内部プログラム記憶方式 | |
| 演算方式 | 2進並列、固定小数点 | |
| 命令種類 | 27種 | |
| 演算速度 | 1命令につき、25μsec. | |
| 制御メモリー | 読出し専用メモリー(ダイオードマトリクス) | |
| 記憶容量 | 375語 | |
| 語長 | 1語=16ビット+パリティ1ビット | |
| レジスタ | ICレジスタ | |
| 記憶容量 | アキュムレータ | 2語 |
| | データレジスタ | 17語 |
| 語長 | 1語=8ビット | |
| 電源 | AC 200V ±10%, 約160VA | |
| 寸法・重量 | 演算制御ユニット 高さ250 ×幅570×奥行530mm, 24kg | |
| | 周辺接続ユニット 高さ250 ×幅570×奥行530mm, 26kg | |

4.2.2 入力リレーユニット

| | |
|-------|-------------------------|
| 入力信号 | 36点、リードリレー |
| 寸法・重量 | 高さ175×幅570×奥行305mm, 9kg |

4.2.3 出力リレーユニット

| | |
|-------|-------------------------|
| 出力信号 | 25点、超小形パワーリレー |
| 寸法・重量 | 高さ175×幅570×奥行305mm, 9kg |

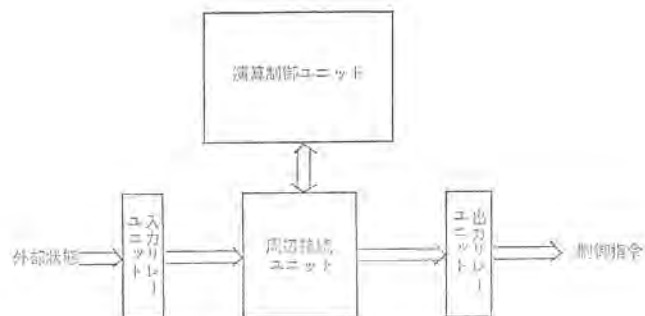


図 4.1 マイクロコントローラ 総合系統図
Block diagram of micro-controller.



図 4.2 演算制御ユニット
Control processing and control unit.

4.2.4 周囲条件

| | |
|----|-----------|
| 温度 | 0°C~50°C |
| 湿度 | 95% RH 以下 |

4.3 各部の動作

マイクロコントローラの総合系統図を、図 4.1 に示す。

以下に各部の動作を説明する。

4.3.1 演算制御ユニットの動作

マイクロコントローラによる自動応水の動作は、制御メモリーに記憶されたプログラムを順次実行することによって行なわれる。このとき、読み込まれた外部入力状態および処理された結果の制御出力指令等は、データレジスタに記憶される。これらのデータレジスタは、周辺接続ユニットに実装されている。

演算制御ユニットの外観を図 4.2 に、その系統図を図 4.3 に示す。

演算制御ユニット各回路の説明を以下に行なう。

(1) 各回路の動作説明

(a) 制御メモリーアドレスレジスタ

制御メモリーからプログラムを読み出す順序を規定するためのレジスタで、9ビットの長さをもつ。イニシャル状態では、1番地の制御メモリーアドレスが指定される。

(b) 制御メモリー出力レジスタ

制御メモリーから読み出されたプログラムを記憶するためのレジスタで、このレジスタに記憶されたプログラムの内容が実行される。

プログラムを記述する命令の一覧表を、表 4.1 に示す。

制御メモリー出力レジスタの上位6ビットは命令の種類を、第7ビットはアキュムレータの選択を、第8ビットから第16ビットまでの9ビットは命令の対象、たとえば、アドレスやデータ、シフト数等を示す。最下位ビットはパリティビットで、制御メモリーから制御メモリー出力レジスタに読みだされる度ごとに自動的にパリティチェックが行なわれる。

(c) 制御メモリー出力デコーダ

制御メモリー出力レジスタに読み出された命令を解釈し、各回路を制御する信号を発生する回路で、

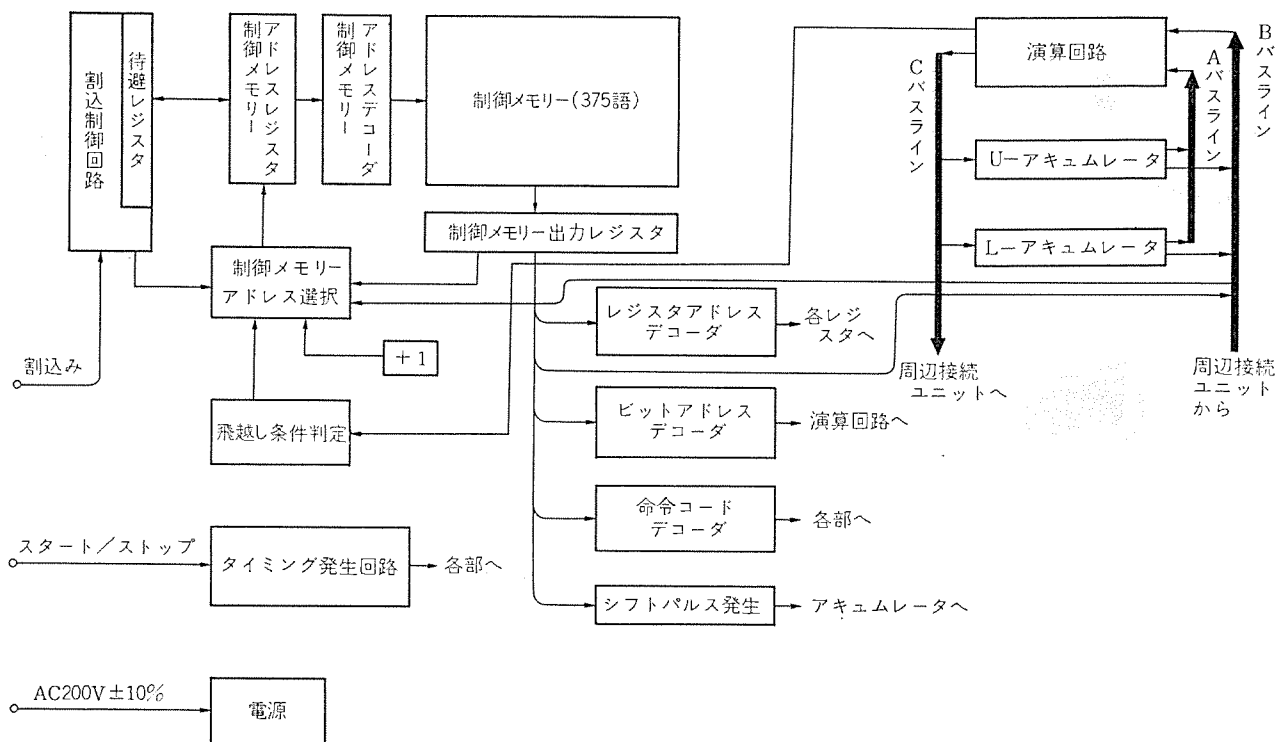


図 4.3 演算制御ユニット系統図

Block diagram of central processing and control unit.

レジスタアドレスデコーダ

ビットアドレスデコーダ

命令コードデコーダ

の三つのデコーダからなる。

(d) 制御メモリアドレス選択

制御メモリアドレス選択回路は、制御メモリーから読み出された命令にしたがって次に実行すべき命令の記憶されているアドレスを、制御メモリアドレスレジスタに転送するための回路である。

(e) 割込制御回路

優先割込条件が生じたとき、割込まれた制御メモリアドレスレジスタの内容を記憶しておくための待避レジスタと、割込パルスの制御回路とからなる。

(f) タイミング発生回路

320 kHz の水晶発振器によりクロックパルスを発生させ、約 3.1 μ sec 幅の 8 個のタイミングパルスを作っている。

(g) 演算回路

それぞれ 8 ビットの入力バスライン (A バス, B バス) を入力とし、制御メモリー出力レジスタに読み出された命令に従って演算処理 (算術演算・論理演算・シフト等) を行なって、8 ビットの出力バスライン (C バス) に出力するための回路である。

(h) アキュムレータ

それぞれ 8 ビットの U-アキュムレータ, L-アキュムレータがあり、演算処理の中間結果の保持や被演算数の記憶等に用いられる。

(i) 制御メモリー

ダイオードマトリクスで構成された読出し専用メモリーで、プリント基板の形で実装され、プリント基板 1 枚当たり、32 語分の記憶容量をもつ。

(2) プログラムの実行

演算制御ユニットにおけるプログラムの実行は、Fetch サイクルと、Execution サイクルという二つの段階のくり返しにより行なわれる。

Fetch サイクルとは、命令の読み出し順序の制御と命令語の解読を

表 4.1 命令一覧表
Instruction table.

| 分類 | 命令コード | 内 容 | |
|-------|-------|-----------|---------------------------------------|
| 算術演算 | ADD | 加 算 | Add |
| | ADI | 直接加算 | Add immediately |
| | SUB | 減 算 | Subtract |
| | SUI | 直接減算 | Subtract immediately |
| 論理演算 | AND | 論理積 | Logical AND |
| | ANI | 直接論理積 | Logical AND immediately |
| | ORA | 論理和 | Logical OR |
| | ORI | 直接論理和 | Logical OR immediately |
| | EXO | 排他的論理和 | Exclusive OR |
| 転送 | TRA | 読 出 | Transfer from register to accumulator |
| | TAR | 格 納 | Transfer from accumulator to register |
| | LDI | 直接転送 | Load immediately |
| ビット演算 | SEB | ビットセット | Set bit |
| | REB | ビットリセット | Reset bit |
| けた移動 | LLS | 左論理けた移動 | Logical left shift |
| | ARS | 右算術けた移動 | Arithmetic right shift |
| | LLD | 倍語左論理けた移動 | Logical left shift double word |
| | ARD | 倍語右算術けた移動 | Arithmetic right shift double word |
| 判 断 | BUN | 無条件飛越 | Branch unconditionally |
| | BNE | 負条件飛越 | Branch on negative |
| | BZE | 零条件飛越 | Branch on zero |
| | BPO | 非負条件飛越 | Branch on positive or zero |
| | BIN | 間接飛越 | Branch indirect |
| | SFO | ビット条件飛越 | Sense flip-flop ON |
| 制 御 | CMO | 出力指令 | Command output |
| | TEM | 割込制御 | Perminate |
| | NOP | 無動作 | No operation |

行なうもので、あらかじめプログラムされ、指定された順序で制御メモリーに記憶されている命令群の中から、指定された順序で 1 命令ずつ制御メモリー出力レジスタにとり出す動作 (命令の読出し順序の制御) と、制御メモリー出力レジスタにとり出された命令を解読して、いかなる仕事及要求されているか (命令コードの解読)、または、その仕事は何に対して求められているのか (オペランド部の解読) を知る動作 (命令語の解読) とである。

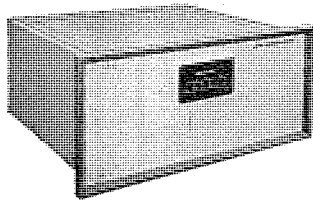


図 4.4 周辺接続ユニット
Interface unit.

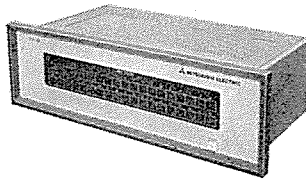


図 4.5 入力リレーユニット
Input buffer unit.

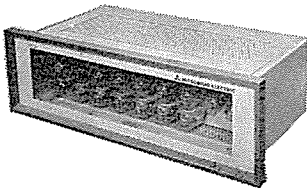


図 4.6 出力リレーユニット
Output buffer unit.

Execution サイクルとは、命令の実行を行なうもので、要求されている仕事の内容と、その仕事の対象とが解読されたあと、指定された仕事の対象に対して、要求されている仕事を実行する動作である。実際に、加減算を行ったり、データの転送が実行されるのはこの段階で行なわれる。

演算制御ユニットにおける制御手順の実行は、このようにして制御メモリーから順次読み出される各命令ごとに、上記の2段階を交互にくり返しながら進行する。

(3) 自動応水装置のプログラム

自動応水装置の機能を遂行するためのプログラムは、3.2節に概説したような制御手順で記述される。

マイクロコントローラに記述されたプログラムは375語でコーディングされ、制御メモリーに記憶されている。

なお、発電機のオンライン制御を高い信頼性をもって達成するため、プログラムの面でも、二重照合による制御指令の発生や各種のエラーチェックルーチン等をメインプログラムに組み込み、方式上でも、約2.5msecごとに全入力状態の読み込みを更新するようにして万一瞬間的な誤動作が生じて外部に影響を与えないよう配慮している。

4.3.2 周辺接続ユニットの動作

周辺接続ユニットは、入力リレーユニットで受信された各種の入力状態を指定された発電機運転順序に従って順序変更を行なうための運転順序判定回路、入力状態および演算処理した結果を記憶しておくためのデータレジスタ群、出力の際運転順序に従って、処理された結果を各発電機別に並べかえるための発電機判定回路、出力バッファレジスタ、およびリレー駆動回路からなる。

データレジスタは、17語(1語=8ビット)からなり、出力バッファレジスタは、25ビットからなる。

周辺接続ユニットの外観を、図4.4に示す。

4.3.3 入力リレーユニットの動作

入力リレーユニットは、発電機の状態や水そう水位等を外部から読み

込む際、外来雑音等がマイクロコントローラに混入することを防止するためのバッファ機能を果たす。

入力信号は、次の34点とタイマからの応答入力用信号2点の計36点である。

| | | |
|---------------------|-----------|---|
| 発電機状態 (発電機数: 5台) | 応水使用 | 5 |
| | 運転中 | 5 |
| | 全負荷 | 5 |
| | 完全停止 | 5 |
| 水そう水位状態 | 故障 | 5 |
| | 起動水位以上 | 1 |
| | 停止水位以下 | 1 |
| | 危険水位 | 1 |
| 操作盤状態 | 発電機運転順序 | 5 |
| | 自動応水制御モード | 1 |

入力リレーユニットの外観を図4.5に示す。

4.3.4 出力リレーユニットの動作

出力リレーユニットは、マイクロコントローラで処理された結果に基づき、制御指令として、外部の制御用リレーを駆動するためのユニットである。

外部への出力信号は、次の23点とタイマへの駆動出力用信号2点の計25点である。

| | | |
|---------------------|----------|---|
| 発電機制御 (発電機数: 5台) | 停止指令 | 5 |
| | 起動指令 | 5 |
| | 負荷増指令 | 5 |
| | 水調指令 | 5 |
| 警報 | いっ(溢)水予告 | 1 |
| | 電源異常 | 1 |
| | 故障 | 1 |

出力リレーユニットの外観を図4.6に示す。

制御指令を出力する際には、二重照合方式を採用し、さらに、約2.5msecごとに読み込まれた入力状態に基づいて毎回演算・処理をやり直す形をとる等、プログラム上でも十分な誤動作防止の配慮をはらっている。

5. む す び

宇治発電所の自動応水装置に完全集積回路化されたマイクロコントローラを採用した一実施例の概要について述べた。この装置は昭和46年3月初めから現地でオンラインテストを実施し、重単機器内における耐雑音性能等にも良好な性能が確認され、現在順調にか動中である。

なお、レーダ機器関係、衛星通信用大形アンテナ制御での多くの実績と豊富な経験に基づき、当社では本年3月、産業用超小形制御装置「三菱マイクロコントローラ MELMIC 100」を発表し、広い分野のユーザーから大量の引合いをいただいている。

本文を結ぶにあたり、本装置の製作に当たり、計画当初から完成まで理解あるご援助をいただいた関西電力(株)のかたがたに、厚くお礼申し上げる次第です。

最近の母線保護継電器

高田 信治*・辻倉 洋右*
海老坂 敏信*・江田 伸夫*

The Latest Bus Protective Relays

Kobe Works Nobuharu TAKATA・Yosuke TUJIKURA
Toshinobu EBISAKA・Nobuo EDA

The bus is a juncture of electric power systems. Though it has a less fault rate than the transmission line, if it fails once, the effect is very serious because of a large area in which power supply is suspended. In view of the above, it has become a trend to provide means to protect the bus at the end of transmission line or at the power consumer's premises where no consideration has been given to formerly.

The article introduces, under the circumstances, three kinds of Mitsubishi latest bus protective relays, as follows.

1. Type LABS-1-D voltage differential relay
2. Type TABS-1D phase comparison type ratio differential relay
3. Type UABS-1-K ratio differential relay with overcurrent lock

1. ま え が き

電力系統の拡大にともない、系統のつなぎ目としての母線の責務は、一段と重要となってきた。このような情勢を背景に、重要母線に対する性能向上と信頼度向上が要求されることはもとより、従来母線保護装置の設置されていなかった受電側母線等にも、気軽に適用できる簡易母線保護装置も要望されるようになった。

これら二つの目的のために、下記3機種の母線保護継電器を開発し製品化したので、各継電器の概要と実用にあたっての検討結果について紹介する。

- (1) LABS-1-D 形 電圧差動継電器
- (2) TABS-1-D 形 位相比較付き比率差動継電器
- (3) UABS-1-K 形 過電流 ロック 付き比率差動継電器

なお、上記(1)と(2)は性能向上・信頼度向上を主目的とした新製品であり、(3)は簡易母線保護継電器を主目的とした新製品である。

2. 新形母線保護継電器の概要

母線保護継電方式での技術的問題点は、外部事故時に、多数の端子から故障電流が流入し、ただ一つの端子から故障電流が流出するために、流出電流端の変流器は飽和するおそれがある点である。したがって母線保護方式としては

A形：誤差のない変流器を使用する

B形：変流器に誤差があってもよい継電方式を採用する

の2系列がある。A形としては、空心変流器（リニヤカプ）を利用した方式⁽¹⁾があり、B形としては、電圧差動方式・比率差動方式⁽²⁾・位相比較方式・位相比較付き比率差動方式⁽³⁾が実用化されている。

A形のリニヤカプ方式は、リニヤカプの設置が許されるなら非常に有利な方法であるが、リニヤカプ自体が特殊な変流器であるために一般性が失われる点を考え、LABS形電圧差動継電器を開発した。

B形のうち位相比較方式は、流出のある内部事故時に動作しないおそれがあるので、当社としては従来から実用化していない。

B形の位相比較付き比率差動方式としては、ほとんどの流出ある

内部事故を検出できるLBB形母線保護継電器⁽³⁾が実用化されているが、最悪ケースとして、流入2・流出1を検出することはできなかった。この最悪ケースをも検出できる方式として、このたびTABBS形位相比較付き比率差動継電器を開発した。

最後にB形の比率差動方式としては、CA-6形母線保護継電器⁽²⁾が実用化されてきたが、誘導円板要素を使用した継電器であるので、高速動作に不適当であるために、今回単母線の受電側母線を想定して、比率差動特性を主体に、負荷線には過電流検出すれば母線継電器の動作をロックする特性を付与した、高速度形UABS形過電流ロック付き比率差動継電器を開発した。

以上のように最近の技術課題を解決したので、以下それぞれの継電器について詳しく述べる。

3. LABS 形電圧差動継電器

3.1 原 理

図3.1にLABS形継電器の写真を示す。図3.2はLABS形継電器の接続図である。図3.2に示すように母線保護専用のCTを使用し、全CTを接続した点（差動回路）に高インピーダンスの電圧継電器をそう入したものである。電圧継電器は、リアクトル L_1 ・バリスタVR1による大電圧抑制回路と高抵抗 R_1 からなるBPX-10A形入力装置（3φ収納）、およびフィルタ L_2 ・ C_1 ・整定トランスTR・整流回路・リレー要素RYからなるLABS形継電器本体（3φ収納）により構成される。



図 3.1 LABS 形電圧差動継電器
Type LABS voltage differential bus protective relay.

図 3.3 は 電圧差動方式の原理を示すもので、外部故障時には CT 間で電流が環流するため、CT 二次巻線抵抗をリードワイヤ抵抗の電圧降下分の誤差電圧が発生し、リレーの整定電圧 V_R はこの誤差電圧より大きく選定し、内部事故時には CT 二次負担が大きいため CT 飽和電圧まで差動電圧が上昇し、この飽和電圧は、リレーの整定電圧 V_R より大となるように選び、内部～外部の故障判定を行なうものである。

なお、図 3.2 中のリアクトル L_1 ・バリスタ $VR1$ は過大電圧より CT₁ 配電盤端子等を含めたリレー装置全体の破損を防ぐものであり、リアクトル L_2 とコンデンサ C_1 は高調波成分に対して、リレーの検出感度を鈍化させるためのものである。

3.2 整定

リレーの整定電圧 $V_R \geq k \cdot I_F (R_S + R_L) / CT \text{ 比} \cdots \cdots (3.1)$

I_F : 最大外部故障電流 (A)

R_S : CT 二次巻線抵抗 (Ω)

R_L : CT 二次リードワイヤ抵抗 (最遠端 CT から差動回路までの往復分) (Ω)

k : 安全率で、直流分等を考慮して 2.0 程度とする

さらに整定電圧 V_R における CT 一次の検出感度 I_{min} は

$$I_{min} = (\sum_{j=1}^n I_{exj} + I_R) \cdot CT \text{ 比} \cdots \cdots (3.2)$$

I_{exj} : 電圧 V_R における CT_j 二次励磁電流

I_R : 電圧 V_R におけるリレー電流

また、CT の飽和電圧 V_S は、リレーの動作速度が十分得られるように考えて、次式のように選定する。

$$V_S \geq (1.5 \sim 2.0) \cdot V_R \cdots \cdots (3.3)$$

以上のように、この継電方式を採用するに際しては、CT の飽和

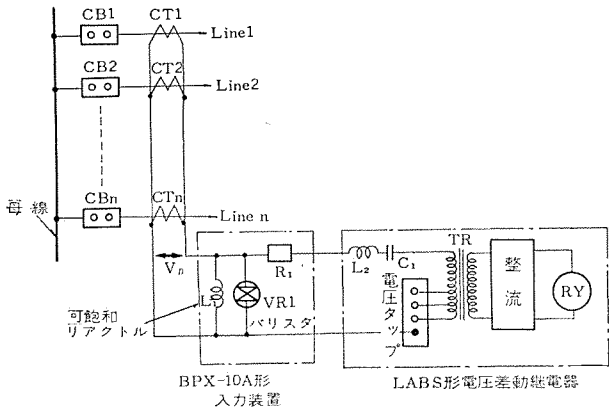


図 3.2 LABS 形継電器の接続図
External and internal connection of type LABS relay.

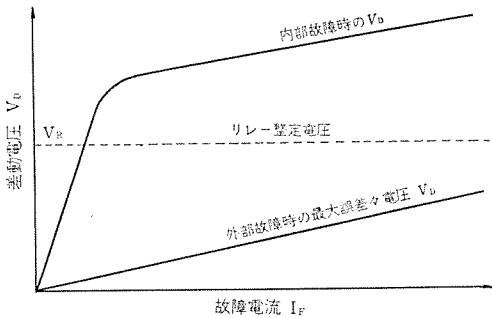


図 3.3 電圧差動方式の原理図
Principle of voltage differential scheme.

電圧 V_S 、CT の巻線抵抗 R_S 、CT 二次のリードワイヤ抵抗 R_L を十分吟味する必要がある、一般的に次のような制限がある。

- (1) CT 比すべて同一のこと
- (2) CT は他装置と共用できない
- (3) 式 (3.1)～(3.3) を満足する励磁電流・飽和電圧を必要とする。

3.3 特性

- (1) タップ値 100-150-200-250-300 (V)

200-300-400-500-600 (V)

の 2 系列あり

- (2) タップ誤差 $\pm 10 \%$

- (3) 動作速度 200 % 入力にて、2 c/s 以内

- (4) 外形寸法

LABS 形リレー 本体：幅 165×高さ 517×奥行 165

BPX-10 A 形入力装置：幅 220×高さ 350×奥行 224

いずれも 3 相分収納している。

3.4 大電流試験

実用している CT を使用して、大電流試験 (約 40 kA) を実施し、外部事故時に誤動作のないこと、内部事故時に大電圧が差動回路に

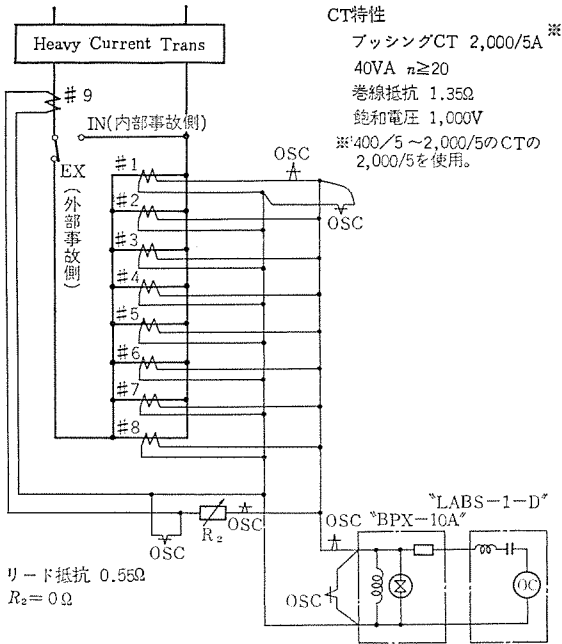


図 3.4 大電流発生装置による LABS 形継電器の試験回路
Test circuit of type LABS relay by means of heavy current transformer.

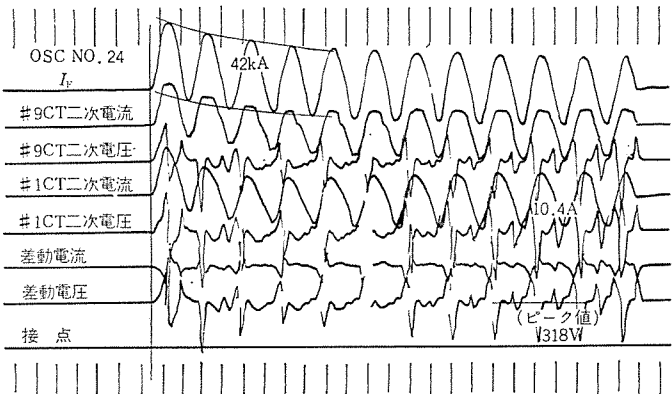


図 3.5 外部事故時のオシロ (整定 $V_R=100 \text{ V}$)
Oscillogram at the external fault.

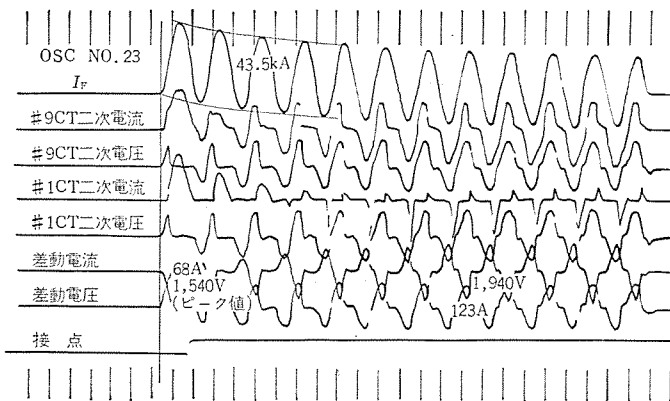


図 3.6 内部事故時のオシロ (整定 $V_R=100\text{V}$)
Oscillogram at the internal fault.

発生しないことを確認したので、以下図 3.4～3.6 により述べる。

図 3.4 は大電流装置による試験回路であり、図 3.5 と図 3.6 は、それぞれ外部・内部事故のテスト時オシログラフである。

図 3.4 に記入した試験条件を、式 (3.1) に代入すれば

$$V_R \geq k \times 40,000(\text{A}) \times (1.35 + 0.55(\Omega)) \times 5/2,000$$

$$\therefore V_R \geq k \cdot 190 \approx 380(\text{V}) \dots\dots\dots (3.4)$$

となるが、誤動作限界を求める意味で、 $V_R=100(\text{V})$ としてテストを実施した。

図 3.5 の外部事故テストでは、差動電圧は 318(V) (ピーク値) 発生しているが、基本波分平均値が 100(V) 以下なので、リレーは動作していない。

図 3.6 の内部事故テストでは、40 kA の入力時に差動電圧はピーク値で 1,540(V) あり、AC 2,000(V) 以下であることを確認した。

3.5 その他

電圧差動方式は、2重母線における母線断路器条件による CT 回路の切換が不可能であるため、分割保護用には適さず、もっぱら、単母線の保護用、2重母線の一括保護用等に使用される。

4. TABS 形位相比較付き比率差動継電器

4.1 原理

図 4.1 に TABS 形継電器の写真を示す。

一般に比率差動リレーにおいて、抑制度 η を増せば、式 (4.1) のように、それだけ CT に誤差が余分に発生しても誤動作に至らないために、外部事故に対しては安定になるが、他方内部事故に対しては動作しにくくなるという欠点がある。この点を解決する方法として、各端子の電流と差動電流に着目し、内部事故に外部事故との位相の違い、波形の違いを利用し、内部事故時には抑制度 η を小さくし、外部事故時には抑制度 η を大きくするという位相比較付き比率差動方式が生まれた。

比率差動リレーの動作式

$$|I_D| - \eta |I_T| \geq \text{リレー感度} \dots\dots\dots (4.1)$$

位相比較付き比率差動リレーの動作式

$$|I_D| - \eta |I_R| \geq \text{リレー感度} \dots\dots\dots (4.2)$$

式 (4.2) の抑制度 η は、式 (4.1) の η より大である。

ただし、式 (4.2) の I_R は次のように位相制御される。

$$\begin{cases} \text{内部事故時} & I_R \equiv 0 \\ \text{外部事故時} & I_R \equiv I_T \end{cases} \dots\dots\dots (4.3)$$

ここに I_D : 差動電流

I_T : 各端子電流の最大値 (瞬時最大値)

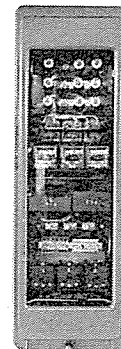


図 4.1 TABS 形位相比較付き比率差動継電器
Type TABS ratio-differential relay.

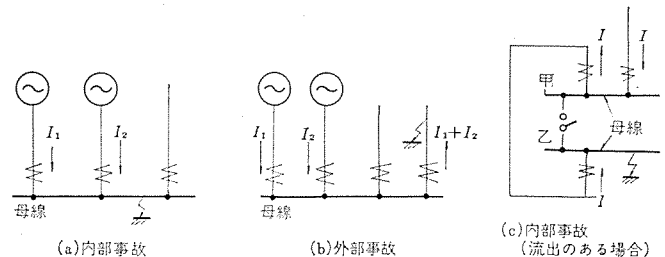


図 4.2 母線内部・外部故障時の電流分佈
Current distribution at the internal and external bus fault.

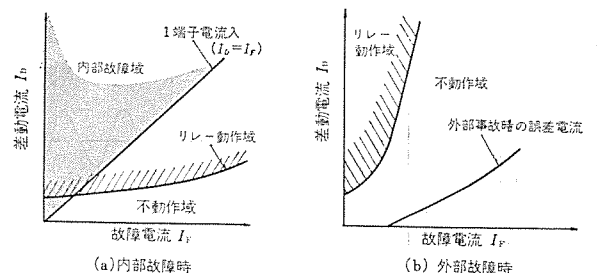


図 4.3 TABS 形継電器の比率特性
Ratio-characteristics of type TABS relay.

I_R : 抑制電流で、具体的には図 4.5 の出力電圧 E_R に比例する値

母線内部・外部事故時の電流分佈は、一般に図 4.2 のようになる。通常の内部事故時には、図 4.2 (a) に示すように流入電流のみであり、したがって差動電流 I_D は、各端電流の代数和となり、流入位相と同位相である。外部事故時には、事故点へ向って必ず流出する電流があり、しかも流入電流に大きさが等しく、最大電流端となり、CT は飽和するおそれがある。このとき差動電流 I_D は、CT 飽和 (誤差) がなければほぼ 0 であるが、飽和すれば、流出端 CT 出力が不足する方向の誤差が発生するので、差動電流は流入方向の位相に近いものとなる。

図 4.2 (c) は、母線甲、乙を一体と考えれば、流入 2・流出 1 の流出ある内部事故例である。TABS 形継電器は、図 4.2 (a) と (c) を同一の内部事故と判定し、(b) を外部事故として処理できるもので、その概略特性は図 4.3 (a), (b) に示すように、内部事故時には少ない差動電流 I_D で動作し、外部事故時には、多大な I_D がなければ動作できないようになっている。

このような特性をうる原理回路説明図を図 4.4 に示し、図の (a) は回路図、(b), (c) は波形図を示す。今 I_D と I_T が印加され、それぞれダイオードで全波整流し、その出力 E_D と E_t とを瞬時値比較して、 E_t のほうが大のときのみ抵抗 R_4 に抑制出力 E_R を出す。ここに、一端のみからの流入を考えて、 $I_D = I_T$ のとき出力

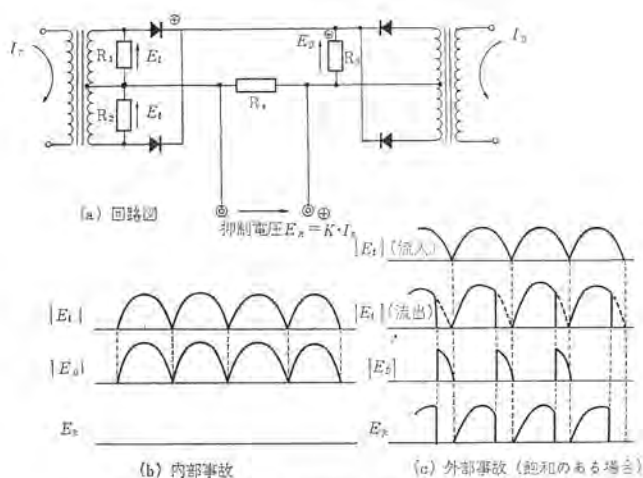


図 4.4 TABS 形継電器の原理回路説明図
Circuit showing the principle of type TABS relay.

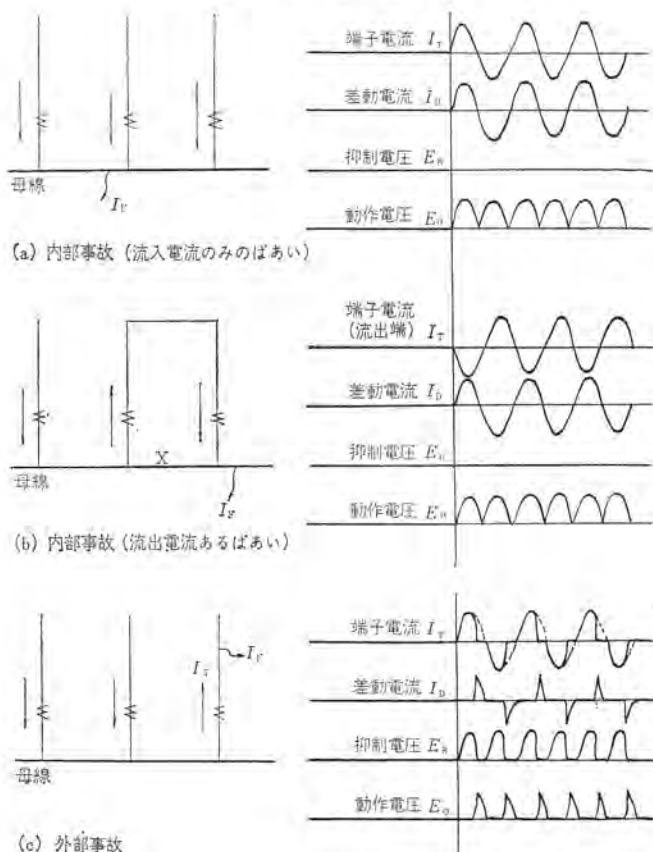


図 4.5 TABS 形継電器の原理説明図
Principle of type TABS relay.

E_R が発生しないように、 $E_D \neq 1.5 \times E_L (I_D = I_T$ のとき) と選定している。CT 飽和がなく、したがって誤差のないときには、内部事故の場合図 4.4 (b) のように、 $|E_D|$ で $|E_L|$ を打ち消して抑制出力 $E_R \neq 0$ となり、外部事故の場合図示してないが、 $E_D \neq 0$ となり、十分な抑制力 E_R を発生する。

外部事故で CT 飽和があるときには、図 4.4 (c) のように差動電流 I_D は、CT 飽和による励磁損失と等しくなるので、差動電流出力 E_D で打消すことの不可能な端子電流出力 E_L が存在し、大きな抑制電圧 E_R が発生する。これらの波形については、後に電算機による検証結果、大電流による実用テストデータにて説明する。

図 4.5 は TABS 形継電器の波形による説明図で、図 4.4 とほぼ同一であるが、図 (b) に流出のある内部事故時の波形が示され

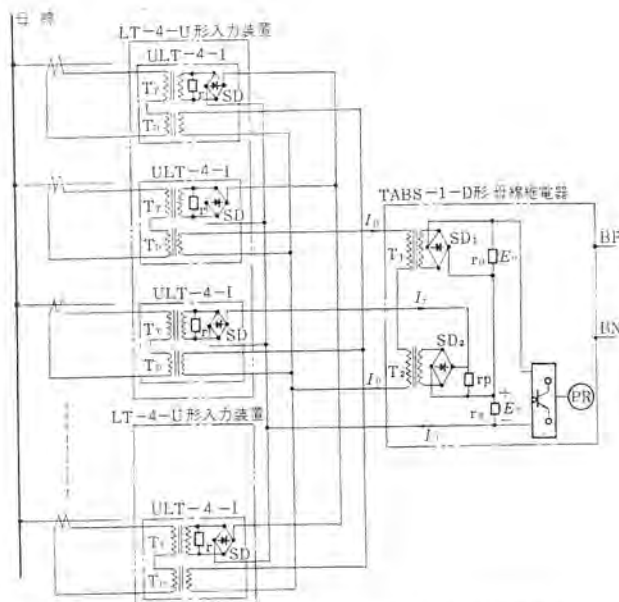


図 4.6 TABS 位相比較比率差動方式原理接続図
Circuit of type TABS relay

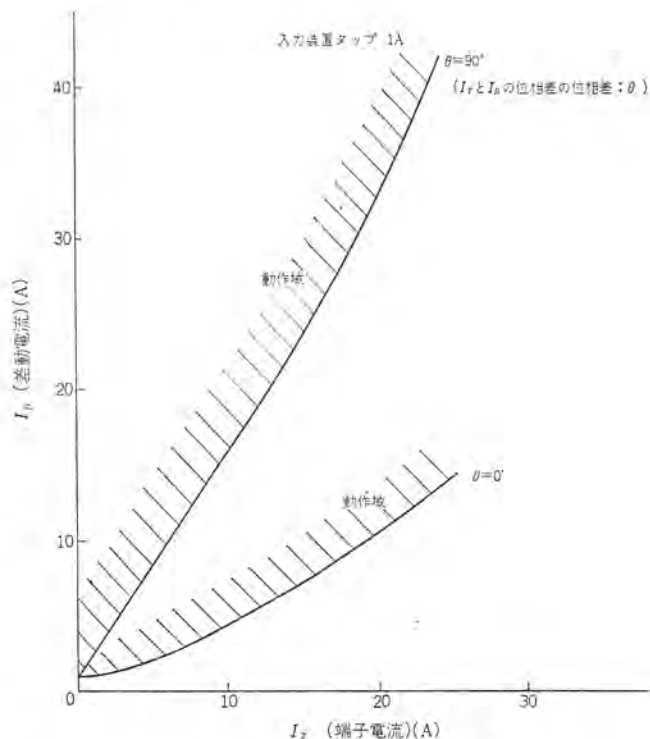


図 4.7 TABS 形継電器の比率特性
Ratio-characteristics of type TABS relay.

ている。流出電流があっても大きさは差動電流と同一であり、全波整流すれば、図 4.4 (b)、図 4.5 (a) と同じになることが判明する。

図 4.6 は TABS 形継電器の接続図であり、各端子ごとに LT-4-U 形入力装置をもうけ、この入力装置には主 CT 比のちがいを補正して、差動電流 I_D を導出するトランス T_D と抑制電圧を導出するトランス T_T を収納している。この入力装置の出力をまとめて、差動電流 I_D と最大端子電流 I_T とを導出し、TABS 形リレーと結する。

4.2 整定

整定部は、LT-4-U 内部にある最小動作感度と主 CT 比の相違を補償するタップ以外には整定箇所はない。

なお適用限界としては、リレー内の定数により

$$\text{差動電流 } I_D / \text{抑制端子電流 } I_R \leq 5 \quad (4.4)$$

と選定しているので、実際には約80%の流出端飽和があっても誤動作しないが、余裕を見て、CT飽和は50%以内の飽和程度までが実力と考えられる。なお実用に際しては、下記を推奨する。

$$\begin{aligned} & (\text{CT 負荷インピーダンス}) \cdot \text{最大事故電流} < (\text{CT 定格インピーダンス}) \\ & \cdot (\text{CT 定格電流}) \cdot \text{過電流定数} \quad (4.5) \end{aligned}$$

4.3 特性

(1) 比率特性

図4.7を参照

(2) 位相特性 (端子電流 I_T —差動電流 I_D)

図4.8に示すように、 I_D と I_T が同相のとき最も感度がよく、流出のある内部事故の点 (I_D と I_T が逆位相) においても同様であることがわかる。CT飽和があれば、 I_D と I_T の位相差は、 90° 方向へ移動するような特性となる。

(3) 位相特性 (2端子系にて測定)

図4.9を参照

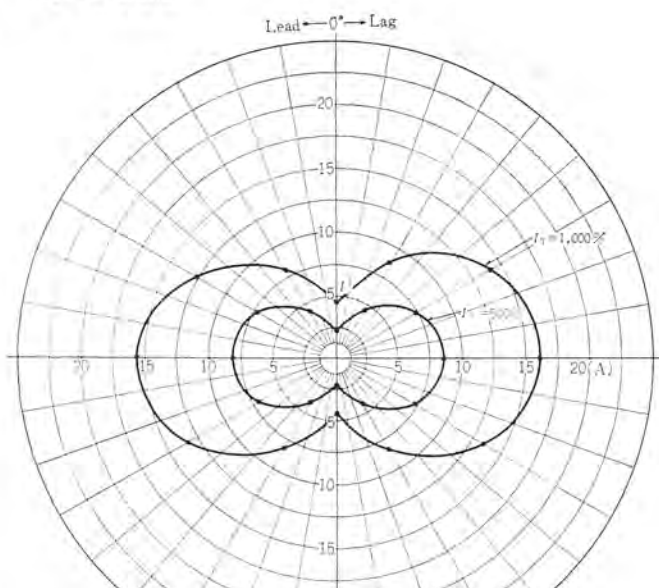


図 4.8 TABS 形継電器の位相特性 (1) (タップ1A)
Phase-characteristics of type TABS relay.

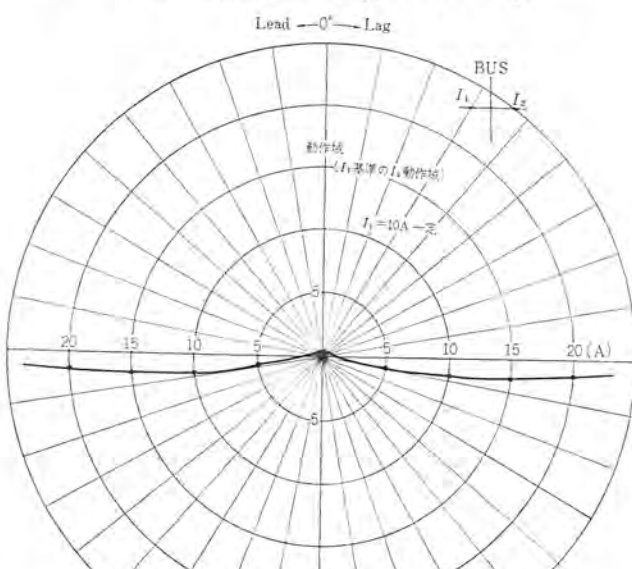


図 4.9 TABS 形継電器の位相特性 (2) (タップ1A)
Phase-characteristics of TABS relay.

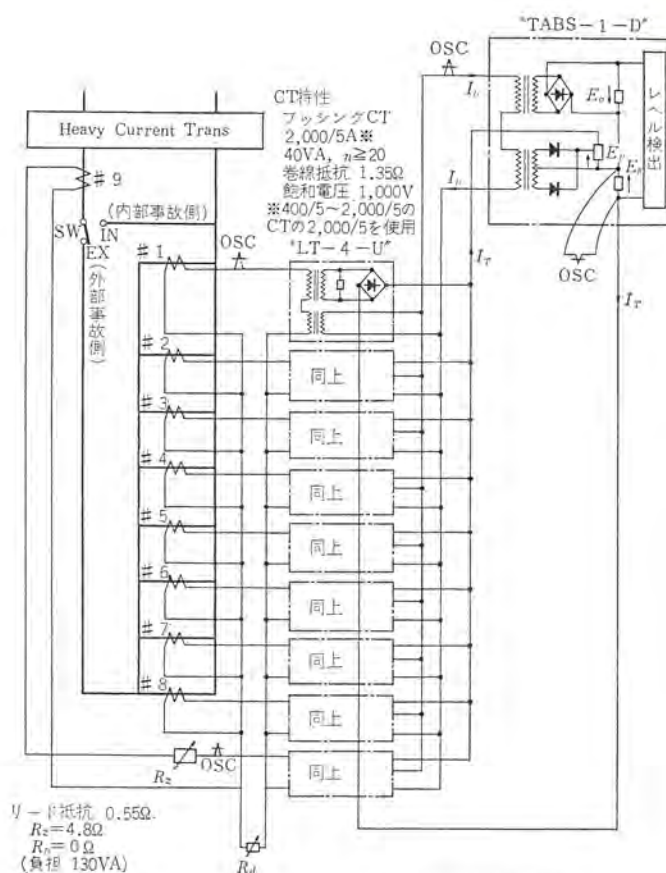


図 4.10 TABS 形継電器の大電流試験回路
Heavy current test circuit of type TABS relay.

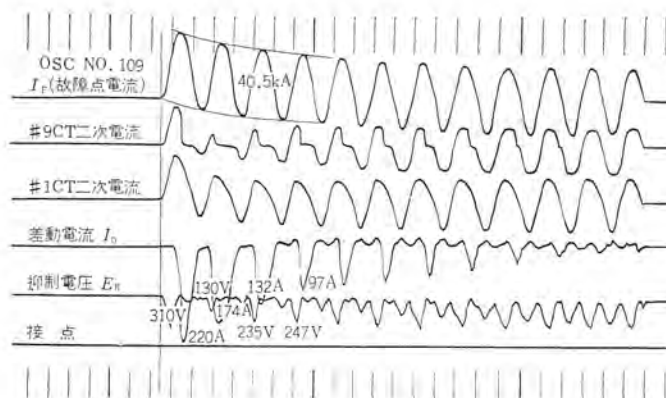


図 4.11 外部事故時のオシロ
Oscillogram at the external fault.

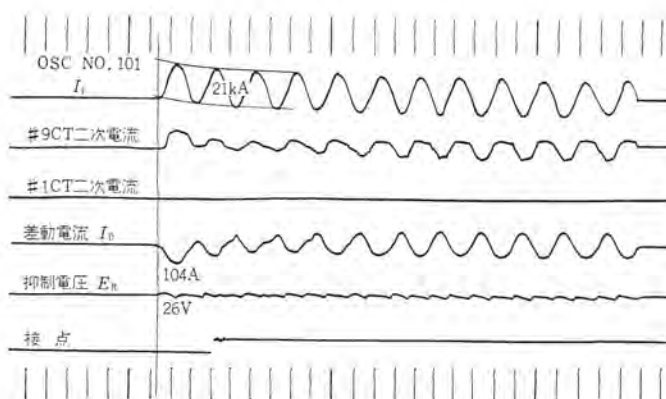


図 4.12 内部事故時のオシロ
Oscillogram at the internal fault.

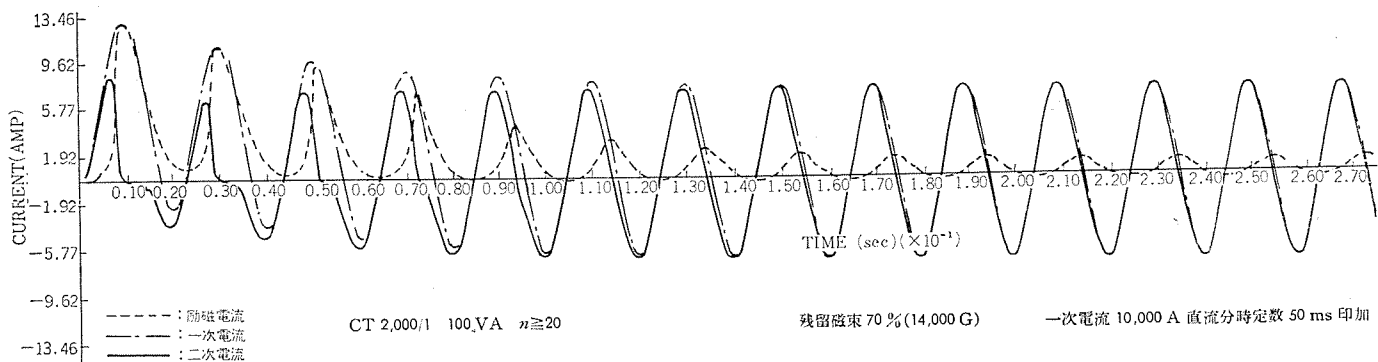


図 4.13 電子計算機による CT 出力波形の解析

(4) 動作速度

200% にて 30 ms 以下

(5) 外形寸法

LT-4-U 形入力装置 (3 端子, 3 相分収納): 幅 640×高さ 166×奥行 350

TABS-1-D 形継電器本体: 幅 165×高さ 517×奥行 165

4.4 大電流試験

前述の 3.4 節と同様に, TABS 形継電器でも約 40 kA を考えたテストを実施した。テストの目的は, 図 4.5 の原理を確認し, 誤動作のないリレーであることの実証である。

図 4.10 に大電流発生装置の試験回路を示す。スイッチ SW を EX 側にたおしてテストすれば, CT #1~#8 より流入し, CT #9 に流出する回路で, このときの波形を図 4.11 に示す。スイッチ SW を IN 側にたおしてテストすれば, #9 の CT より流入する内部事故となり, この波形を図 4.12 に示している。

図 4.11 の #9 CT の電流が流出電流であり, 図 4.5 (c) の端子電流 I_T とほぼ同一となっていることがわかる。#9 CT のかけている部分が, 差動電流 I_D としてあらわれ, I_D のない期間だけ抑制電圧 E_R が発生しており, 図 4.5 (C) は実用上の CT において正しいことが実証されている。

図 4.12 は, 内部事故時の図で, 差動電流 I_D により抑制電圧 E_R を打ち消している様子が描かれている。

4.5 電算機による CT 出力解析

図 4.13 は, CT 出力解析を電子計算機により解析した場合の一例である。図の特性は, 残留磁束を与えて CT 飽和しやすい条件を作って計算したもので, 励磁電流は, 遅れ 90° の位相付近に集中して発生し, 図 4.5 (C) と図 4.11 の #9 CT 出力に酷似した波形となっており, これらの正しさを証明したことになる。

4.6 その他

この方式は, CT 比が異なってもよい, CT のリレー側に補助 CT を追加するので, その補助 CT の二次側で断路器条件により CT 出力の切換ができること, 低 CT 負担であるために, 他装置と CT の共用が可能等のために, 単母線の保護用, 2 重母線の一括保護用はもとより, 2 重母線の分割保護用等にも使用できる。

またこのリレーは, 前述の LABS 形電圧差動継電器とともに, 必要とあればリレーの点検交流電圧を印加できる点検巻線を有している。

5. UABS-1-K 形過電流ロック付き比率差動継電器⁽⁴⁾

5.1 原理

図 5.1 は, UABS 形簡易母線保護継電器の写真であり, 図 5.2

CT wave-form analysis by the electronic computer.

はそのブロック図である。この継電器は, 図 5.2 に示してあるような単母線で, しかも受電線が 2 回線, 負荷線 (バンクを含む) 5 回線以内の系統に適用できる簡易形の母線保護装置の短絡主継電器である。なお必要に応じて, 図 5.2 にも示してあるように, 3 相分の差動電流をまとめて, 地絡 リレー 87G (UABG 形リレー) を適用することができる。

UABS 形短絡母線保護リレーは, 図 5.2 に図示してあるごとく全端子の差動電流を動作力とし, 受電線 G1, G2 の端子電流を抑制力とする比率差動特性を主特性としているが, 負荷線の CT が特性の良くない場合が多いために, 過電流 リレー 51 を各負荷線に設けて電流がこれらの負荷端で一定以上となったときには, トリップをロックする, いわゆる過電流ロック方式を採用している。

これらの原理を実用化したのが, 図 5.3 に示された原理接続図である。図 5.3 では, 図 5.2 の二つの抑制コイル RC の代わりに, 2 電源線 G1・G2 の出力の大きいほうを整流回路よりとり出して, 一つの抑制コイル RC に導入している。また過電流 リレー 51 を負荷

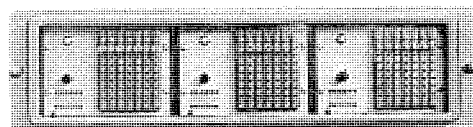


図 5.1 UABS 形継電器
Type UABS relay.

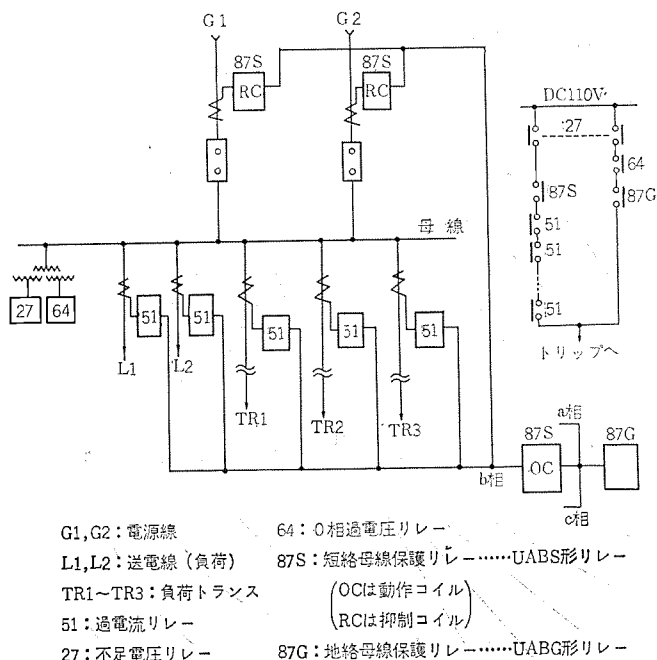


図 5.2 UABS, UABG 形簡易母線保護リレーのブロック図
Block diagram of type UABS, UABG relay.

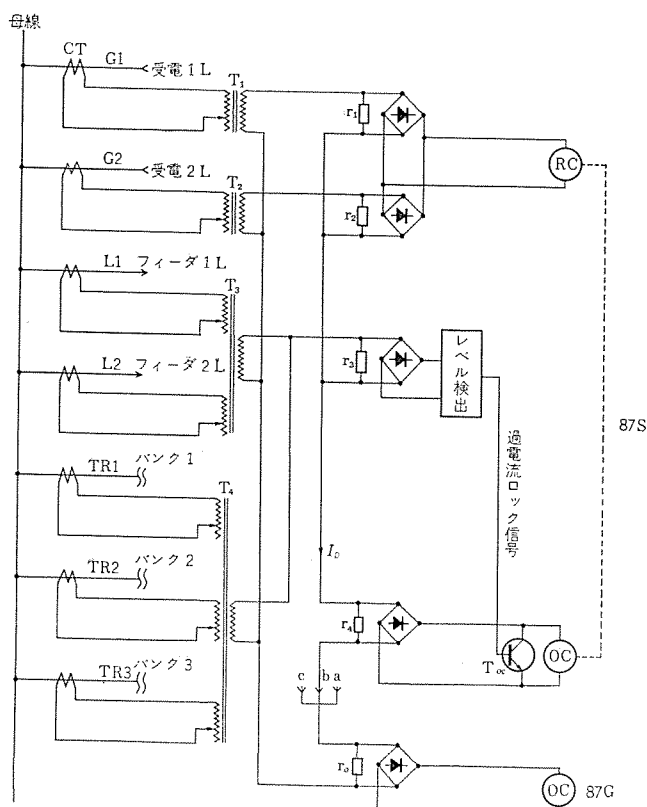


図 5.3 簡易母線保護装置原理接続図
Principle circuit of type UABS, UABG relay.

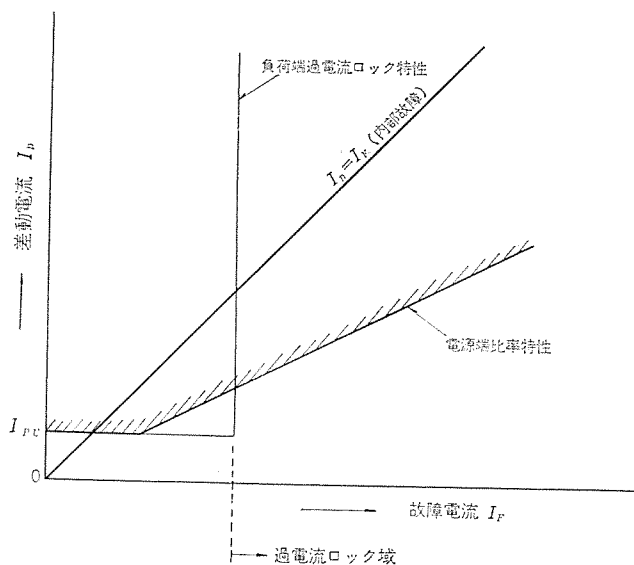


図 5.4 簡易母線保護装置特性例
Ratio-characteristics of type UABS relay.

の各端子に設ける代わりに、フィーダ L1 と L2 を一つにまとめ、さらにバンク Tr1~Tr3 を一つにまとめ、これら負荷線の全電流が一定以上となったときにただ一つのレベル検出が動作して、動作コイル OC の両端をトランジスタ Toc にて短絡し、リレーを強制的に不動作へ

持ち込んでいる。

このようにして得られる UABS 形継電器の基本的な特性は、図 5.4 のようになる。すなわち、電源線 L1・L2 の事故時には、図示のような電源端比率特性により、動作～不動作を判定し、負荷線では、故障電流一定以上で不動作となるものである。

UABG 形地絡母線保護継電器は、単純差動リレーであるので、詳しい説明は省略するが、CT 比の相異を補正するトランスは短絡用と共用しているので、必ず UABS 形短絡母線保護継電器と組合せて使用されるものである。また図 5.2 に図示の 27, 64 リレーも、タップ値を 85 V・30 V に固定した静止形リレーである。

5.2 整定

(1) UABS 形短絡リレーで、CT 比の相異を補正するタップを選定する。電源線の CT は 400/5~2,000/5 A、負荷線の CT は 100/5~800/5 A を用意してある。標準整定とすれば 1,000 A の検出感度となる。

(2) UABG 形地絡リレーを使用している場合には、短絡が 1,000 A 検出の場合に、地絡は 60~100~150 A を選定できるようにタップが設けてある。

5.3 特性

(1) 比率特性

60% 抑制をかけている (電源線)

(2) 過電流ロック特性

リレー二次で 30 A としている

負荷時の最大電流 $5 \text{ A} \times 5 \text{ 回線分} = 25 \text{ A} < 30 \text{ A}$

CT 定格 $5 \text{ A} \times \text{過電流定数 } 10 = 50 \text{ A} > 30 \text{ A}$

30 A では CT は飽和しないことの検証

(3) 動作速度

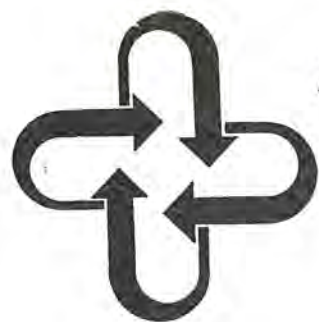
500% 入力にて 30 ms 以内

6. むすび

以上、最近新しく開発製品化した母線保護継電器を中心に、その概要を紹介した。これらの新製品は、すでに実用機として納入されており、これら新リレーの開発にあたっては、各電力会社の関係各位からのご指導と、社内関係各位とくに伊丹製作所大電流試験 (HPL) 関係のかたがたのご協力を賜り、ここに深く感謝する次第である。

参考文献

- (1) 森：空心変成器による母線保護方式，三菱電機 33, No. 5 (昭 34)
- (2) 森：CA-6 形比率差動継電器による母線保護継電方式，三菱電機 33, No. 6 (昭 34)
- (3) 寺田，鈴木，阪上：母線保護，三菱電機技報 40, No. 4 (昭 41)
- (4) 服部，阿部，高田，辻倉，海老坂：昭和 45 年電気学会関西支部連合大会 G-3-70



三次元レーダについて (その2)

—— 原理と実施例の全般的解説 ——

玉 真 哲 雄*

6. Defocus 方式

6.1 原理

多数のビームで鉛直面内の所要覆域を埋めつくし、鉛直面内には走査を行わずに仰角を検知する。方位方向には通常の間転走査を行なう。ただし、どのビームに信号が入ったかを知るだけでなく、隣り合うビームでの受信振幅を比較して仰角を精測する。いわば振幅モバルス方式を縦に多数重ねたようなもので、このため鉛直面内のビーム幅はかなり太く、数も少なくてもよい(数本〜十数本)。ビームの発生は反射鏡の前に鉛直面内に多数のホーンを置き、それぞれ個別の送受信チャネルを持たせて行なう。ホーンは必然的に(1個を除いて)焦点からずらして配置されるので Defocus 方式の名がある。ビームを束ねた感じに着目して Stacked Beam 方式とも呼ばれる。Defocus する結果、焦点からずれたホーンのビームほどビーム形、サイドローブ等が劣化するが、通常の仰角範囲はカバーできる。各ビームは隣り合うものどうしが相当重なるようになっており、図 6.1 のように隣接ビームの受信信号を対数特性検波したのち振幅比較を行なうと、図 6.2 のようにビームのクロスオーバー点で振幅差が反転し、その前後でほぼ直線的な変化が得られる。 i 番目、 $i+1$ 番目のビームについて諸量を図 6.2 のように定め、ビーム形は対称でクロスオーバー点 ϕ_{0i} は両ビームの中心 ϕ_i と ϕ_{i+1} との中央にあるとする。もしビーム形状がガウス形 $\exp(-a\phi^2)$ の形であれば、振幅比較回路の出力は

$$V = -a(\phi - \phi_i)^2 - [-a(\phi - \phi_{i+1})^2] \\ = -2a\psi\Delta\phi, \quad \psi = \phi_{i+1} - \phi_i$$

のようにクロスオーバー点で0となり、その前後でまったく直線的な変化をするので、容易に仰角に変換できる。現実のビームは正しくガウス形ではないが、おおむね直線的な変化をし、その形を知って V と仰角とを対応づけることができる[この項、参考文献 1.2.3, 1.3.3, 6.5.2 参照]。距離・方位角の決定は在来レーダと同様である。

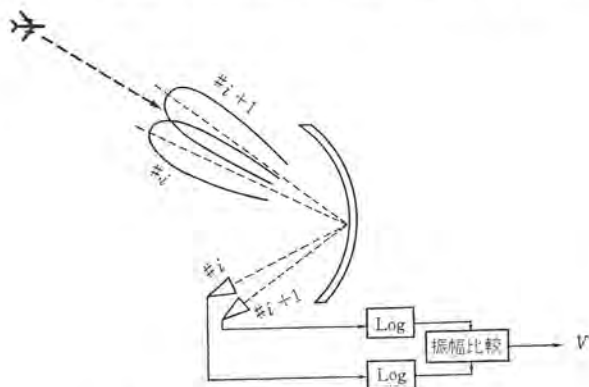


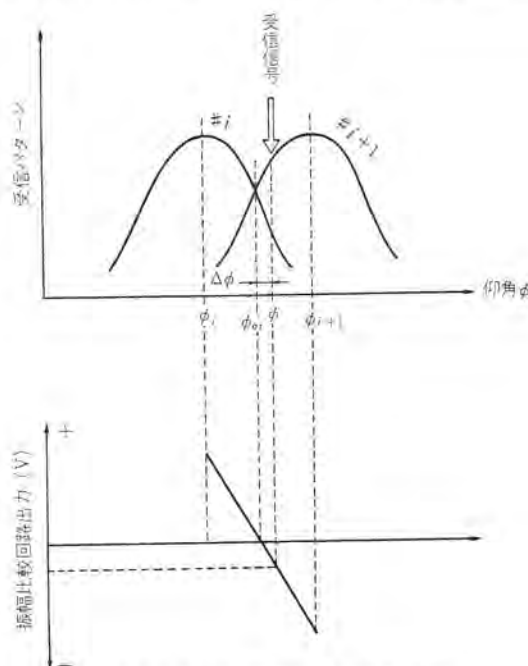
図 6.1 Defocus 方式の概念

なお上記は両ビームの間に1個の目標があった場合であって、同時に2個以上の目標がある場合の動作には注意を要すると思われ、とくにその一方が地上・海面・雨雲等の不要な反射(クラッタ)である場合に備えてクラッタの良好な抑圧が必要であろう。

送信機は1チャネルでよいが、各ホーンに電力分配を要し(この分配比いかんで鉛直面内の覆域を成形することもできる)、また受信機は1ビームごとに個別に同一特性のものを設ける。ただし必ずしも1ホーン1ビームでなく数個のホーンを束ねることもあり、15ホーン6ビームの例がある。これらの結果規模は比較的大きくなるが、鉛直面内の覆域がビームで埋めつくされているのでデータ率が高く、中距離〜遠距離用の地上設置形搜索3Dレーダの本命として米・英・仏で軍用に開発され、わが国でも試作が行なわれている。

6.2 米国 GE 社

GE 社 (General Electric Company) が FPS-7 の名で米空軍向けに製造し、1960年2月の記事で「最近防空空軍 (Air Defense Command) へ納入した」とある[1.2.3]。FPS-7 A, 7 B, 7 C, 7 D という形名のものもあり、地上固定サイト用遠距離レーダで SAGE 防空組織の一部をなす。[1.1.1, 1.1.6]。40 ft × 18 ft (=12.2 m × 5.5 m)、重さ 7 t のアンテナを 55 ft 直径の軟質レードームに収めた写真があり、機材は 52 きょう (筐) 体から成るという大形のものである[1.2.3]。軍用ながら広告からかなり諸元がわかり[1.1.5]、それによると周波数 L バンド 1,250 ~ 1,350 MHz で 10 波までプリセットで



文献 [6.5.2] から (信学電研資料 65.5-10)

図 6.2 Defocus 方式の原理

き、7ビームを持ち探知距離 300 マイル、探知高度 150,000 ft まで、10 MW 出力のクライストロン、MTI 装置を備えパルス幅 $6\ \mu\text{s}$ 、PRF は 244 pps、アンテナ回転数 3.3, 5, 6.6 または 10 rpm、方位分解能 0.5° 、高度分解能 0.04° であるという。最後の数字は仰角分解能の意味と思われるが、仮に仰角覆域 20° としても 7 本のビームでカバーすると 1 ビームあたり平均 3° の仰角となり、分解能がビーム幅の 1/100 近くにも及ぶことになって信じがたい。他の数字はおそらくカタログ性能であって現実の性能とは別かもしれないが、大形遠距離捜索レーダとしてかなりの水準と思われる。

FPS-7 の艦載形を SPS-34 と呼ぶ由であるが [1.1.1]、とう (搭) 載例はあきらかでない。

6.3 米国 W 社

W 社 (Westinghouse Electric Corporation) は米空軍向けに本方式の 3D レーダ数機種を製造し、相当数を納入しているもようである。

6.3.1 MPS-20

早く 1953 年に米空軍向け移動形の MPS-20 なる機種を製作したといわれ [1.2.10]、3D レーダとしてはもっとも早いものに属する。詳細は不明である。

6.3.2 TPS-27 (図 6.3)

パラバルーンアンテナを用いた戦術用可搬形中距離レーダで、1960 年 2 月の記事では米空軍 ローム 研究所 (Rome Air Development Center) へ試作機を納入して試験が行なわれ、続く量産機の最初の 8 台が 1961 年 10 月納入予定であった。1960 年 10 月付きの広告がある。30 ft (=9.15 m) 直径のパラバルーン (低圧で与圧した風船状の壁内に反射面を形成したもの) が特色で、外側をさらに 50 ft (=15.2 m) の軟質レードムでおおい、その中に全系が納まっている。可搬性を主眼とし全系を 4 時間で開設できる [以上 1.2.3, 6.2.1]。C-130 輸送

機 1 機半または M-35 トラック 9 両の容積で輸送でき、開設人員・時間は 25 名 150 人時との記述もある。25 人 \times 6 時間かと思われる [6.2.7]。用途は戦術防空組織 412 L 用である [1.1.1, 1.1.6, 1.2.10]。なお本機は後出のように近年 TPS-48 へ改造されつつある。

6.3.3 FPS-27

地上固定サイト用遠距離レーダとして 30 台以上納入されているが詳細はほとんど公表されていない [1.1.1]。

6.3.4 TPS-48

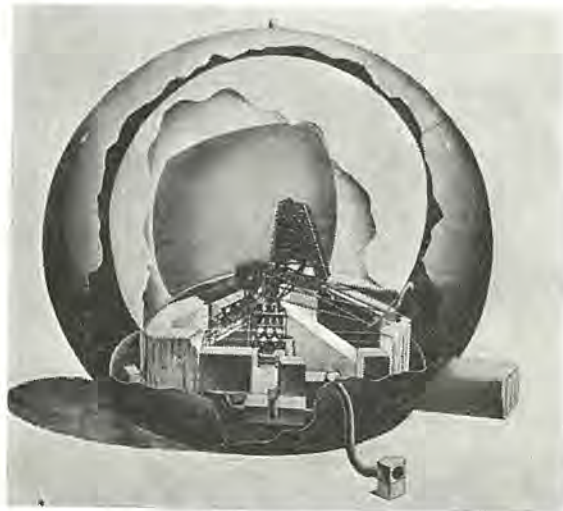
戦術用可搬レーダで、前出の TPS-27 を近年改造してさらに小形化したものである。1966 年 9 月の記事では 8 台を改造して 1967 年 1 月から納入を始める。改造は機械的・構造的な面が主で、予想図ではレードム、パラバルーンともなくなり通常の金属性アンテナがシエルタ上に設置されている。シエルタ 2 個に全系が納まり、TPS-27 にくらべ重量 60% 減となり C-130 輸送機半機分の容積または M-30 トラック 2 両またはヘリコプタ 2 機で輸送でき、開設人員・時間は 6 人 6 時間となった (6 人時か 36 人時か明確でない)。[以上 1.1.6, 1.2.10, 6.2.7]。

次項の TPS-43 と規模が似ており、「つなぎ」的意味のものではなかったかと想像される。

6.3.5 TPS-43 (図 6.4)

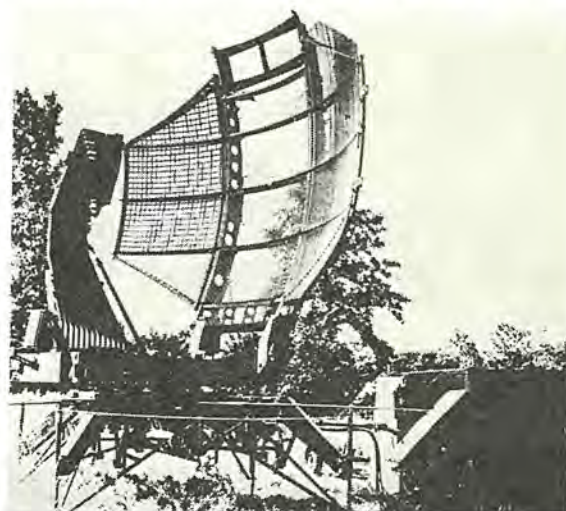
米空軍の戦術用可搬形 3D レーダとしてもっとも新しく、近年の記事にしばしば登場し性能等もかなり報道されている。

戦術空軍 (Tactical Air Command) が計画の野戦用防空組織 407 L を紹介した 1964 年 10 月の記事に全重量 6,000 lb (=2.72 t) 以内、ヘリコプタ可搬のシエルタ 2 個に納まる軽量 3D レーダの要求がある旨記されており [6.2.6]、1965 年 2 月になると 50 万ドルの研究費で Westinghouse, Hughes の両社からプロポーザルが出され、翌年 1 月に決定のあるべきことが報ぜられた。この段階では重量 7,000 lb (=



文献 [6.2.3] から (Skolniki Introduction to Radar Systems)

図 6.3 AN/TPS-27



文献 [6.2.17] から (INTERAVIR 1969 年 9 月号)

図 6.4 AN/TPS-43

3.18 t) となっている。[6.2.5]。翌年1月には TPS-43 の名が現われ [6.2.6]、6月の記事で W 社が受注したことが、18台を1968年1月までに納入することが知られる [1.2.10]。1967年9月の広告で一次ホーンの写真入りの詳しい説明があり [6.2.8]、続いて同年10月に意外に詳しい雑誌記事が出て全貌がほぼあきらかになった [6.2.9, 6.2.10]。

それによると周波数は S バンド (=3,000 MHz 帯)、電力 3 MW、探知距離 150 NM、探知高度 75,000 ft (ただし目標断面積不明)、測高精度 $\pm 3,000$ ft (どんな距離でか不明)、仰角覆域 $0.5^\circ \sim 20^\circ$ で、鉛直面内の覆域図やビームの形状・配置のグラフ、各装置のブロック図も掲載されている。

アンテナ反射鏡は横 20 ft \times 縦 14 ft (=6.1 m \times 4.25 m)、方位方向ビーム幅 1.1° 、ホームは 15 開口で開口部の長さ (写真から推定) 約 1.2 m、最下部の 3 ホーンを途中で統合して導波管は 13 本出ており、さらにストリップ線路で統合して出口は 6 個となり、6 本のビームに対応している。数ホーンを統合して 1 ビームとしたり、1 個のホーンを隣接 2 ビームに共用する等の工夫を加え、前記の原理のように仰角変化に対する出力変化を直線に近づけるよう設計している。アンテナ利得は第 1 ビーム (水平に近いもの) で、39.2 dB、第 6 ビームで 32.6 dB である。

受信機は 6 チャンネルで各 TWT 増幅器を持ち、パルス圧縮、デジタル MTI、サイドローブ抑圧等の機能を持つ。レーダ情報は PPI スコープ上に表示され、カーソルで画面上を移動できる “height window” を所望の目標上に重ねてボタンを押すと高度が数字で表示される。

構造面では送受信機とデータ処理機とが 7 ft \times 7 ft \times 9 ft (=2.13 m \times 2.13 m \times 2.74 m) のシェルタ 1 個に納められ、アンテナとマイクロ波部分とは別の 1 台車を形成し、両者とも重量約 3,500 lb (=1.59 t) で前記の全重 7,000 lb に一致する。3,000 個の IC、1,200 個のトランジスタを用い、電子管は 12 本だけで [6.2.16]、MTBF は 200 時間である。価格は試作機 2 台と量産機 17 台とで 1,850 万ドルで、1 台あたり 3.5 億円程度にあたる。

その後 1969 年 5 月から 9 月にかけて内外の業界誌等に何回か紹介しないし広告が掲載されたことから、新たな段階に入ったものと想像される [6.2.11~6.2.17]。このうち [6.2.11, 6.2.17] の写真からはアンテナの折りたたみがよくわかる。[6.2.16] によると開設時間の要求は 1 時間、探知距離は 120 NM とある。また開設人員は [6.2.11] からは 6 人である。

以上の記述はいわばカタログ性能であって現実の性能は不明であるが、最近の軍用レーダの詳細な報道は珍しいのでやや詳しく紹介した。

6.3.6 その他

W 社は 1962 年 1 月に米国連邦航空局へ航空交通管制用 3D レーダを提案したことがある [6.2.2]。内容は探知距離 75 NM、探知高度 15,000 ft、アンテナ回転数 12 rpm、10 ビームで仰角覆域 35° 、測高精度

(度(相対) ± 300 fs, (絶対) ± 500 ft (どんな距離でか不明)) であったが、実現しなかったようである。

6.4 英国 RRE および AEI 社

英国でもかなり早くから、RRE (Royal Radar Establishment, 王国レーダ研究所) と AEI (Associated Electrical Industries) 社との手で空軍用に本方式 3D レーダの開発を進めており、米国にくらべて公表は少ないが、1962 年 5 月の記事に「数箇所の英空軍基地で、すでにかなりの期間成功裡に運用されている」旨記述がある [6.3.1]。Malvern の RRE にある試作機らしいアンテナの写真 [6.3.3, 6.3.5, 6.3.9]、量産機らしい模型の写真と全系予想図、アンテナの写真 [6.3.2~6.3.4, 6.3.6, 6.3.9] が見られる (図 6.5)。(AEI 社はその後 Marconi 社と合併したが、一応別に記す)。

6.4.1 Type 82

地对空ミサイル組織 Bloodhound I 用の搜索レーダであるとの記述がある [1.1.6]。

6.4.2 Type 85

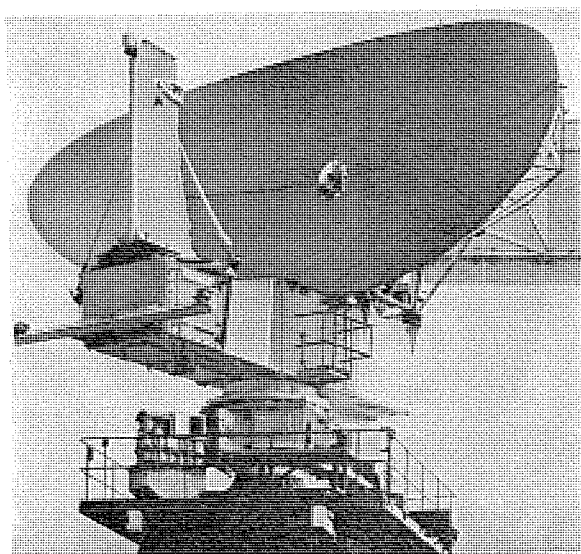
Type 4502 に類似の大電力 3D レーダで、英国の防空・航空交通管制組織である Linesman/Mediator に使われているという [1.1.6]。

6.4.3 Type 4502

波長 10 cm 帯 (S バンド) の長距離 3D 搜索レーダで、ビーム 12 本、アンテナは縦 6.6 m \times 横 13.7 m、出力 4 MW で、かなり大形のものである [1.1.6]。用途、使用実績等の記述はない。

6.4.4 Type 40

Type 4502 から発展した軍用のもので、S バンド 10 cm 帯、ビーム 12 本、アンテナ 40 ft \times 15.25 ft (=12.2 m \times 4.65 m)、出力 3 MW \times 2 台、パルス幅 10 μ s、PRF は 333/238/185 pps (前二者は “pulse pair” で MTI をかけるといふ)、水平方向ビーム幅 0.6° 、アンテナ回転 5 rpm、



文献 [6.3.4] から (INTERAVIR 1968 年 9 月号)

図 6.5 AEI 社のアンテナ

探知距離 240 NM (10 m²) または 200 NM (3 m²), 探知高度 100,000 ft である [1.1.3, 1.1.6]。これもカタログ性能としては高度のものであるが、現実の性能は不明である。本機はサウジアラビア向けに AEI 社が担当した防空組織の一環として輸出された [6.3.3]。

6.4.5 その他

最近の広告に、あきらかに本方式と思われる大形のアンテナ2面を背中合せに配置した防空用レーダーアンテナの写真があり注目されるが [6.3.7], 詳細は不明である。

6.5 仏国 TH 社, CSF 社

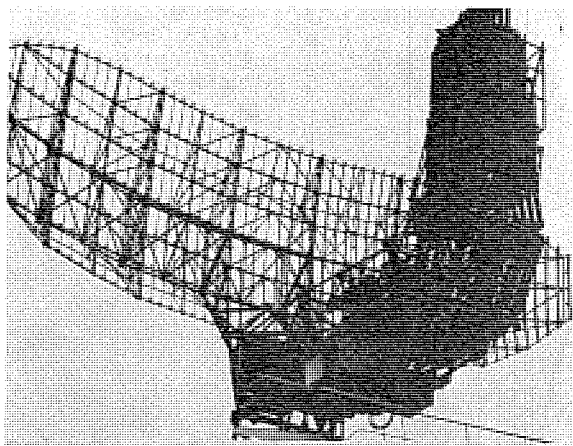
フランス TH 社 (Compagnie Française Thomson-Houston) および CSF 社 (Compagnie Générale de Télégraphie sans Fil) もこの方式の 3D レーダーを手がけている。(両社はその後合併したが、一応別記す)。

6.5.1 TH. D. 1955, Palmier, Argos (TH 社) (図 6.6)

非常に複雑なホーン機構を持った大形アンテナの写真が見られ、アンテナ開口は 16 m × 6 m, 利得 46 dB, 回転数 6 rpm, 性能としては周波数 S バンド, 方位分解能 0.5°, 距離分解能 0.5 NM, 周波数変化機構, 偏波面可変機能, パルス圧縮機能をもち, 送信に Thomson-Varian 社のクライストロンを使用し, 出力は, 20 MW, 探知距離 400 km 以上, 仰角覆域 20° 以上と言われる。開発着手は 1955 年, 受注は 1963 年である。Palmier の評価試験は 1966 年に始められたほか 1968 年に NATO の防空組織である NADGE に 5 台供給されており, 他にフランス独自にも使用している模様で合計して 20 台以上にのぼる。輸出形を Argos と呼ぶ。[以上 1.1.3, 1.1.4, 1.1.6, 6.4.1, 6.4.6]。

6.5.2 AC 12 (CSF 社)

周波数 23 cm (=L バンド 1,300 MHz), 出力 3 MW, パルス幅 4 μs, PRF=250 pps, 探知距離 150 NM, 探知高度 60,000 ft, アンテナ横幅 33 ft=10 m, 水平ビーム幅 1.6°, アンテナ回転数 6 rpm, 二重消去 M TI 機能を持つ [1.1.3]。TH 社の Palmier を L バンドにしたような



文献 [6.4.1] から (INTERAVIR 1967 年 6 月号)

図 6.6 TH 社のアンテナ

ものと思われる地上用搜索 3D レーダーであるが, 使用範囲や Palmier との使いわけ等は不明である。

6.5.3 DRBI 23 (CSF 社)

仏海軍のミサイルフリゲート艦 Suffren D 602, Duquesne D 603 両艦の艦橋上に巨大なレードームが見られ, その中にとり載されているのが本方式に属する CSF 社の DRBI 23 である。同艦の主兵器 Masurca 対空ミサイルのための搜索用であるが, 両艦の任務が空母 Clemenceau, Foch の護衛であるところから, 艦載戦闘機にも情報を供給するとの記述もある。周波数 L バンド (23 cm), 出力は数 MW, カルシトロンを含む 6 段の広帯域増幅送信機で, 電波妨害排除のための周波数揺動可能と見られる。アンテナは逆カセグレン形と言われ, 本方式としては新規なように聞こえるが詳細はわからない。アンテナは艦の動揺に対して安定化されている。両艦の就役はそれぞれ 1967 年, 1969 年で, Masurca ミサイル組織は 1970 年に運用状態に入る予定の由で, 新しい機材である [以上 1.1.4, 6.4.2~6.4.5]。なお 3.2.3 項で述べた対空巡洋艦 Colbert C 611 も Masurca と同様に改修中であり, 本機をとり載するものと思われる [3.5]。

6.6 日本, 東芝

わが国でも東京芝浦電気でこの方式の 3D レーダーが開発されている。[6.5.1] は Defocus したアンテナの基礎的検討であり (昭和 38 年), [6.5.2] には ビーム 3 本の試作機が報告されている (昭和 40 年)。それによると周波数 2,850 MHz, パルス幅 2 μs, PRF=400 pps, 出力 500 kW, アンテナ利得 24 dB, 水平ビーム幅 6°, 垂直ビーム幅約 2° (これを 3 本), 受信機雑音指数 9 dB のもので, 振幅比較を行なうため受信機 3 チャンネルの利得不ぞろいを 0.6 dB 以内におさえた。また A-D 変換部・緩衝記憶部・平均演算部・高度演算部・計数指示部から成るデジタル化した信号処理系を持ち, 1 目標の処理時間約 30 μs で 1 パルスくりかえし内に最大 5 目標処理可能とした。実験的に S/N 比 25 dB および 15 dB の擬似信号を注入して, それぞれ 99 % および 92 % 以上の確度で垂直ビーム幅の 1/20 (≒0.1°) の分割が可能であった。実際の目標も観測したが結果は報告されていない。

7. 受信位相差方式

7.1 概説

3D レーダーの測高手段としては受信電波の仰角を測定するのが大部分であるから (V ビームだけが例外), 鉛直面内の位相差アレイでアレイアンテナ素子間の位相差を利用して測角するのがもっとも基本的である。これまで述べたビームを走査する諸方式も何らかの意味でその変形であって, 空間で位相差が零となる方向を送受信ビームの存在という形で判定して便宜的に位相差測定に代えていると見なすことができる。これに対し本章の方式は, 送信の際は比較的広いビーム形で送信し, 受信の際だけに素子間の受信位相差そのものを何かの形で測定して仰角を知るもので, ビーム走査を伴わずまた送信ビームも広いものを 1 本しか用いないで仰角が知られる。三種の方

式の実施が知られており、三者は見かけ上かなり異なるが、上記の点では共通なので受信位相差方式と名づけた。

7.2 米国 Maxson 社方式

おそらく唯一の非軍用 3D レーダとして米国 Maxson Electronics Corp. で開発され、FAA (Federal Aviation Agency, 連邦航空局) の手で試験が行なわれたが採用には至らなかった。

7.2.1 原理

[1.3.2, 7.1.3] 等によって説明すると、図 7.1 のように多数のアンテナ素子に接続した多数の水平な導波管を設け、これと方向性結合器で結合した多数の縦方向の導波管を置いて下端を出力とする。なおアンテナ素子間隔は位相差アレイの常として $\lambda/2$ 程度なので (4.1 節参照)、アレイ正面 (broadside, 図の左方) へ放射特性を持たせるため 1 本おきに 180° 移相器を入れてある。こうすると水平方向からの入射信号は鉛直な導波管の出力 1 で同相となってもっとも強く現われ、以下入射仰角が増すにつれ次第に斜めになった導波管の出力 2, 3, ... 等に最大出力が得られるようになる。すなわち実効的に、種々の仰角に対する多数のビームが鉛直面内に出力端子 1, 2, 3, ... 等に対応して生成されたことになる。レーダ領域上一般に高仰角の目標は近距離であるから、高仰角のビームに対しては出力導波管が全部のアンテナ素子には接続されない構造として (図の出力 n)、ビーム幅を広く、低利得にしてもさしつかえない。

以上は結局位相差アレイで受信の際アンテナ素子間に種々の位相差をあてて異なる方向にビームを指向させる一般的な原理 (4.1 節の周波数走査方式もその一変形) を、全部 RF のまま導波管自身を移相素子として実現したもので、アンテナが受動素子のみなので信頼性・整備性がよいとされたが、いかにも膨大となる。

なお水平 (方位角) 方向の検出については、実施例ではこのアンテナを在来形のレーダの近くに置いて、その送信波の反射波を受信して仰角検出専門に使い、距離・方位角は在来レーダが分担している。このため本方式のアンテナは水平方向にはホーンだけのせまい開口で広いビームを発生しているが、全周はカバーできないので 3 方向にこのアンテナを個別に向け、 120° ずつを分担する。

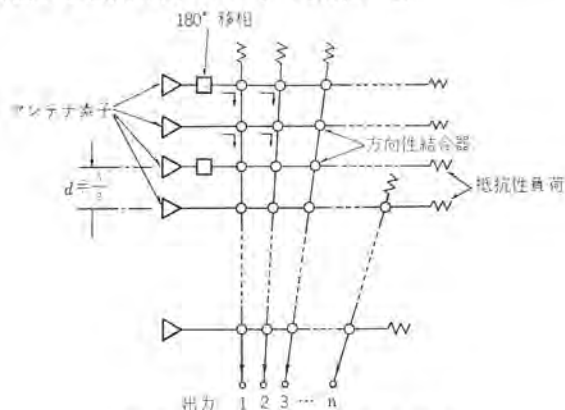
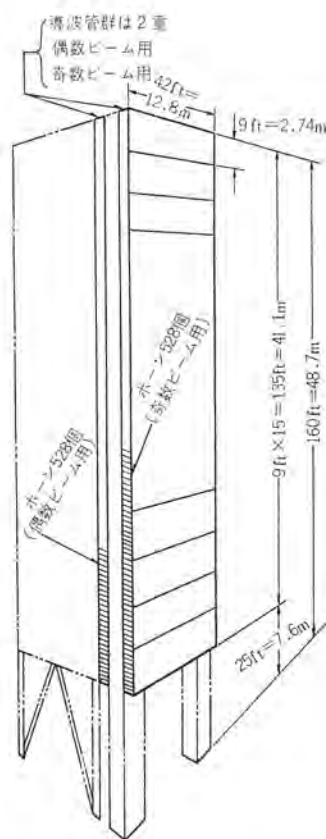


図 7.1 Maxson 社方式の概念

7.2.2 実例

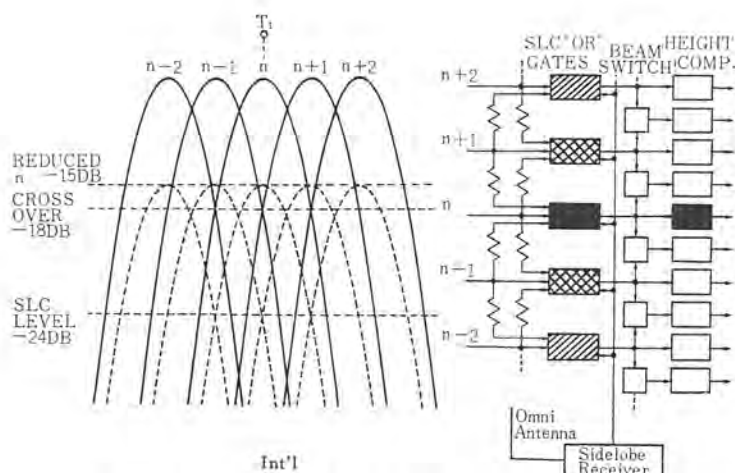
米国 FAA 向けに試作・試験されたのが唯一の例である。名称を AHSR-1 (Air Height Surveillance Radar) という。[1.2.2, 1.2.10, 1.3.2, 7.1.1~7.1.7] によって説明すると、前記のアンテナを正三角柱状の鉄塔の 3 面に取り付けて 120° ずつを分担しフェライトスイッチで切り換える。ただし試作機として 1 面のみが作られた。図 7.2 のように 160 ft = 48.7 m 高の鉄塔で、この上部 135 ft × 42 ft = 41.1 m × 12.8 m の面に導波管群が取り付けられてその一端に上下に 528 個のホーンがある。

こういう導波管群が 1 面あたり 2 重に 2 組存在して偶数番目・奇数番目のビームを分担しており、ホーンは合計 1,056 個となる。各ビームに対応する縦方向の導波管は各群ごとに 66 条、計 132 条 132 ビームとも言い [初期の記事 7.1.1, 7.1.2], 111 ビーム [1.3.2, 7.1.4, 7.1.7], 110 ビーム [1.2.4], 90 ビーム [7.1.5] 等の説もあるが、要は 100 ビーム前後で仰角 $0.5^\circ \sim 40^\circ$ をカバーしている。導波管全長は試作機 (1 面) で 10 マイル、全部作れば 30 マイルにおよぶ。垂直ビーム幅は下方で 0.189° 、上方では前記の理由で太くなって約 1.2° で、偶数ビーム・奇数ビームが 1 ビーム幅間隔で入れ子になっているようである。測角には図 7.3 のように各ビームの出力 N 等とそれを 15 dB 減衰させた “reduced N ” 出力、および別の等方性アンテナから得られる 24 dB レベルの低い SLC (sidelobe canceller) 信号の三者を振幅



文献 [7.1.2] 参照 (Space/Aeronautics 1959 年 8 月号)

図 7.2 AHSR-1 のアンテナ



文献 [7.1.4] から (1960 IRE Int'l Conv. Rec. Pt. 8)

図 7.3 AHSR-1 の測角原理

比較して、どのビームで受信されたかを判定する。隣接2ビームに同レベルで出力の場合は図中のビーム・スイッチで2ビームの中間と判定する[この辺7.1.4に詳しい]。この結果測角精度は $\pm 1/2$ ビーム幅、分解能(同距離同方位の2目標を分解できる最小の高度差)は1ビーム幅となる。諸元は、周波数Sバンド(在来Sバンド航空交通管制用レーダと共用のため)、距離50 NM、仰角 $0.5^\circ \sim 40^\circ$ である。下方のビーム幅 0.189° は3.3 milにあたり、50 NMでちょうど1,000 ftとなるので、高度分解能は1,000 ft、高度精度は ± 500 ftである。高度検出はアナログ的で、各ビーム出力は仰角 ϕ の正弦値に対応して波高のそれぞれ異なるのこぎり状波(時間軸は距離Rに対応、在来レーダとの設置位置差に応じたRのバックスを電子的に補償済)が供給され、これを切り取って $R \sin \phi$ にあたるアナログ電圧とし、地球曲率の影響を加算して高度に比例した電圧を得る。このデータは多重回線で在来レーダのサイトへ伝送される。表示には図7.4のように、PPI表示の外側に高度を表示するが、あるいはPPI上に特定高度区間のものだけを選択表示することもできる。

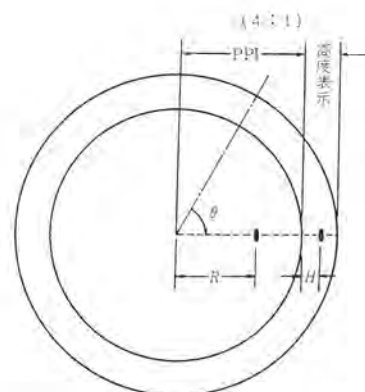
本試作機は価格170万ドル(=6.1億円)で、1959年7月の報道では1960年10月完成見込[7.1.1]、折から1960年12月のニューヨーク上空衝突事故等もあり、1961年3月試験が始められ注目を集めたが[7.1.5]、同年のいわゆる“Project Beacon Report”の結果高価な割に精度がないとして放棄され、現在アンテナ鉄塔だけがニュージャージー州アトランティックシティの実験場に残されている[7.1.6, 1.2.10]。

7.3 米国 Sletten (Phase-in-Space) 方式

米空軍ケンブリッジ研究所(Air Force Cambridge Research Laboratories)のSletten氏の考案をもとにした方式で、同研究所での開発・試作成果が報告されている。実用には供されていないようであるが、原理的には興味深い。

7.3.1 原理

Sletten氏による1958年11月出願の基本特許があるが[7.2.1]、



文献 [7.1.2] 参照 (Space/Aeronautics 1959年8月号)

図 7.4 AHSR-1 の表示方法

原理的説明が十分でなく、他の文献[7.2.2, 1.2.10]も参照して総合するとつぎのようなものである。

図7.5のように一方向に円弧状の断面をもった反射鏡の、半径の $1/2$ の弧(paraxial focus)よりやや近い位置に進行波フィードをおくと成形ビームが得られるが、本方式の特色としてこのフィードの下端T1から見た放射ビームパターンと上端T2から見たビームパターンとの双方を利用し、図7.6のように両者の受信波の位相差で電波の入射角を検知する。送信は一方の端子T2側から給電し、進行波フィードを通過して放射後残存電力は他端T1に接続した整合負荷中で消散する。T1から見た振幅パターンとT2から見た振幅パターンとはこの電力消散比によって異なり、負荷中に100%消散すれば同一パターンとなるが一般には同一パターンでない。実際には25%程度消散させ、ある程度似たパターンにしている。進行波フィード上の放射器は図7.7のような導波管長辺上の軸方向のスロットで、このスロットの軸からの変位で結合度が(すなわち放射電力が)定まり、スロット間隔で両パターン間の位相関係が定まる。特にあるスロットからの放射振幅パターンがとなりのスロットの方角で谷になるようにスロット間隔を選んだ場合は

$$2\phi = 4\pi S/\lambda_g - 2\pi$$

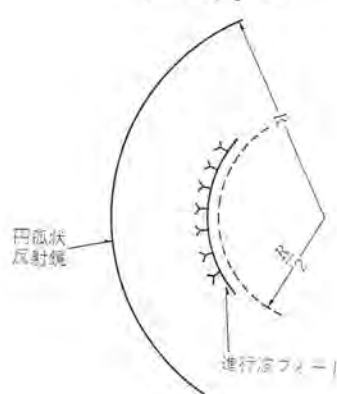


図 7.5 円弧状反射鏡と進行波フィード

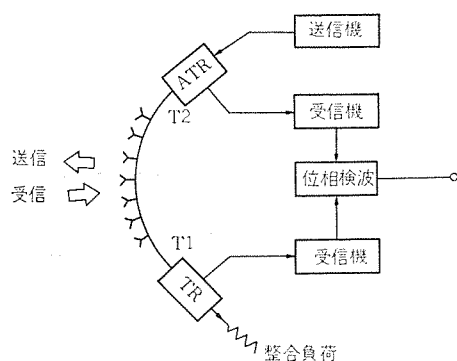


図 7.6 Sletten 方式の基本

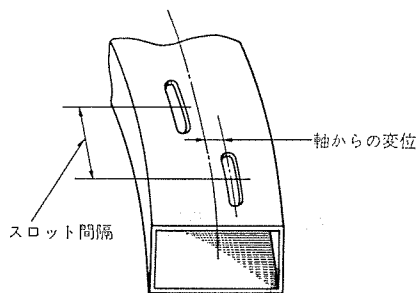
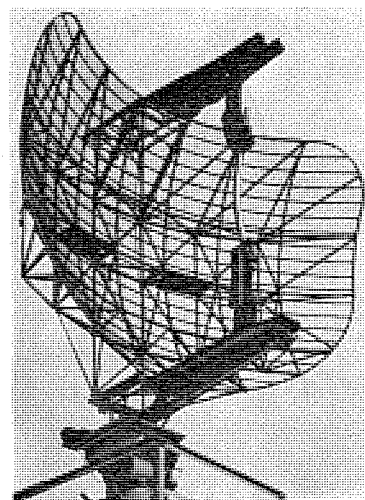
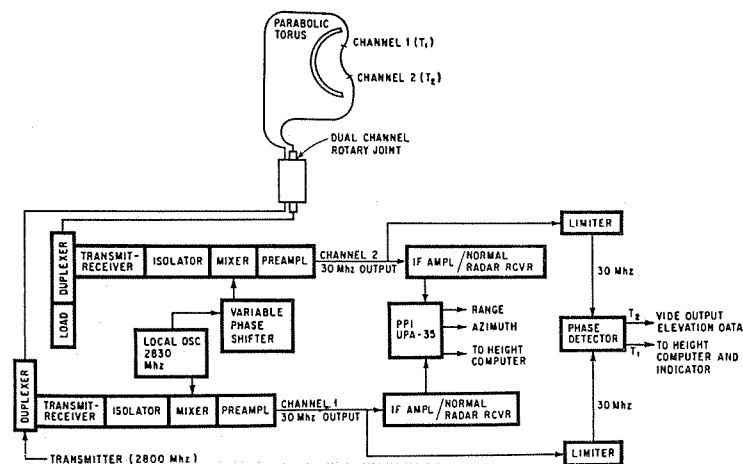


図 7.7 進行波 フィード の構造



文献 [7.2.2] および [1.2.10] から (IEEE Trans. AES, May, 1966 および Electronics, June 27, 1966)

図 7.8 Sletten 方式のアンテナ



Signals from both ends of Sletten antenna array are used to obtain tricoordinate information. Inputs from terminals T₁ and T₂ are fed into matched receivers converted to 30 MHz. One branch from each channel is fed into normal radar receiver; other branches are fed to phase detector, which extracts height information from the detected if signals.

文献 [7.2.2] および [1.2.10] から (IEEE Trans. AES, May, 1966 および Electronics, June 27, 1966)

図 7.9 Sletten 方式の構成

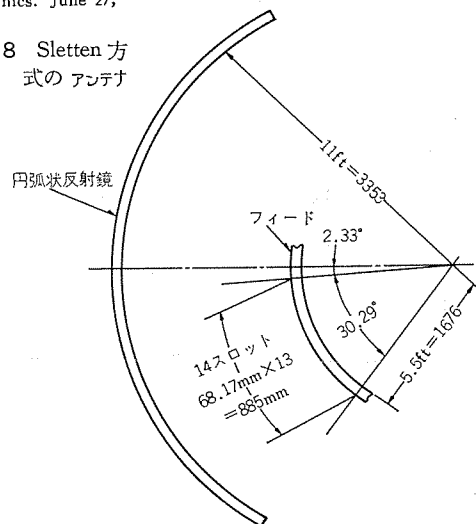
ただし ϕ : T1 と T2 との受信波間の位相差

S: 受信波の仰角を、フィード上の弧の長さで表わした値

という関係が成り立ち、これから両端の位相差を測って目標の仰角を知ることができる。

7.3.2 実例

図 7.8 に試作アンテナの概念を示す。反射鏡は縦 11 ft=3.4 m × 横 16 ft=4.9 m で、水平方向にはパラボラである (parabolic torus という)。図 7.9 は全系の構成を示す。送信機は周波数 2.8 GHz、マグネトロン 5586 を用いせん (尖) 頭 250 kW、PRF=410 pps、パルス幅 1 μ s、IF=30 MHz である。IF 信号を検波して通常の PPI 指示機上に表示する一方、IF のままでリミッタを介して位相検波し、振幅が仰角に比例したビデオパルスとなり、別に PPI 上でカーソルで選択された目標に関して一種のアナログコンピュータで高度が算出され ($R \sin \phi + kR^2$ の形)、アナログサーボで計数器をまわして高度が数字表示される。



この試作機はマサチューセッツ州 Ipswich に設置され、C-130 輸送機を海上へ飛行させて試験が行なわれた。海面反射の干渉による目標の出没が顕著であったが、仰角測定 of 潜在能力は 0.2°, 最高 ± 200 ft の高度精度を得たと報告されている (距離の記載なし)。ただし相対高度精度のほうがよく、絶対精度はやや劣る。今後は垂直偏波の使用、クライストロン送信機 (2.1 MW) の採用等を考慮している。以上は 1966 年 5 月の文献である [7.2.2]。雲、帯水層等の気象現象の高度がよく出るので、その後これを 3 次元気象レーダに使用する方向で実験が続けられているようであるが、実用化の報告はない。

7.4 日本、防衛庁・三菱電機方式

防衛庁と三菱電機との手で昭和 37 年以来進められている 3D レーダの開発について、防衛庁関係者から公表された内容を紹介する。

7.4.1 原理

[7.3.1, 7.3.2, 7.3.7] によって紹介すると、図 7.10 (a) のように位相差アレイで電波の放射方向 ϕ と位相差 ψ との間には $\psi =$

$(2\pi/\lambda)d \sin \phi$ の関係があり、受信系で考えても同様である。電波の入射角 ϕ を広範囲にわたって一意的に定めるにはアンテナ素子間隔 d を小さくする必要があるが(4.1節参照)、他方アンテナ利得をかせぎ同一入射角に対して大きい位相差を得るには d の大きいほうがよい。この相反する要求を充たすため、 d の異なる空中線系を2組以上組み合わせる方法が考えられた。すなわち図 7.10 (b) のような何組かの空中線素子で電波を受信すると、その各素子間にはつぎのような位相差が現われる。

$$\begin{aligned}\psi_1 &= (2\pi/\lambda)d_1 \sin \phi, \\ \psi_2 &= (2\pi/\lambda)d_2 \sin \phi, \\ \psi_3 &= (2\pi/\lambda)d_3 \sin \phi \text{ 等}\end{aligned}$$

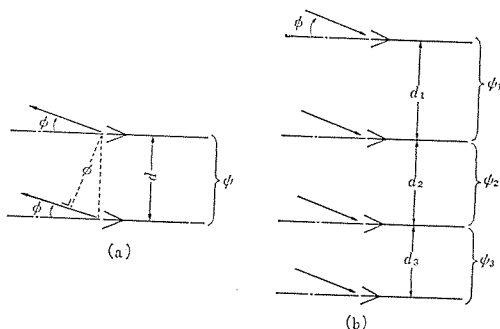
これにより入射角 ϕ はつぎのように2変数、3変数等の関数として定められる。

$$\begin{aligned}\phi &= f(\psi_1, \psi_2), \\ \phi &= f(\psi_1, \psi_2, \psi_3) \text{ 等}\end{aligned}$$

いわば一意的に定まる位相角を示す測角範囲が、2素子アンテナの場合は 2π ラジアン以内であったものが、 $(2\pi)^2$ 、 $(2\pi)^3$ 等まで増大したことになり、前記の両方の条件を充たすことができる。チャンネル間位相差の検出には高速デジタル位相計で直接測定もできるが、当面は移相器を並列に多数そう入して 2π 内の位相角を待ち受ける多チャンネルを構成する方法をとった。その具体的な考えかたについては[7.3.2, 7.3.7]に詳しい。本方式の測高原理が素子空中線間の位相を取り扱うものであるため、アンテナの機構や、電気回路中の位相の遅れ・進みを自動位相平衡回路で調整するなど、各系の均一性を保つため苦心がはらわれた。なお送信についてはアンテナ中の一素子を利用してファンビームで送信し、任意の垂直パターンをあたえることができる。

7.4.2 実例

従来航空自衛隊の防空用レーダとしては、搜索用レーダと測高用レーダにより目標の三次元位置を測定しているが、二つのレーダを使用しているため一つの目標に対しても位置の確定には若干時間がかかる。航空機がますます高速化しつつある今日では、目標の算定時間をできるだけ短くする必要があるため、三次元レーダが必要とさ



文献 [7.3.7] から (信学字船エレ研資料 SANE 69-13)

図 7.10 防衛庁・三菱電機方式の基本

れ、技術研究本部で昭和37年に周波数走査方式(本文4章相当)、Defocus方式(6章相当)および本方式の3方式を検討の結果、わが国独自の本方式の採用を決定し、38年度から三菱電機の手で試作に着手した[以上7.3.1, 7.3.5, 7.3.7]。試作機は40年度に完成納入され、41年度には第一研究所飯岡支所内に建屋が完成し、昭和43年度まで各種の詳細な試験が実施された。すなわち、既知の距離の山頂に設置した信号源の発射する信号の受信、比較的近距離・低高度でのヘリコプタ対象試験、1~3万フィートの高度での高速ジェット機対象試験、約1万フィートの高度での中形プロペラ輸送機対象試験、MTI性能、電波高度計とう載機の海上飛行による測高性能試験、高速ジェット機対象の探知領域測定、2機以上の高速ジェット機を対象とした多目標処理能力試験、チャフ妨害に対するECCM装置の基本的性能確認試験等考えうる限りの方法・手段をもうらしたもので、各種航空機100フライト以上により評価された大形プロジェクトであった[以上7.3.4, 7.3.5~8]。所要の測高精度が発揮できた[7.3.3]、測高精度についてはこの種レーダとして知られる限りにおいて現在最高のものと考えられ、性能諸元は公表を許されないので優秀性を喧伝できない[7.3.7]等の記述がある。またレーダ情報のデジタル処理について、新しいデータ処理方式で従来に比べ目標処理能力が大幅に向上し[7.3.3]、データの即時デジタル表示・多目標処理・多目標自動追尾等の能力を持ち、前記のように複数目標機を対象とした多目標処理能力試験も行なわれ、自動検知におけるスライスレベルや予測ゲートやスムーズ定数はじめ、目標追尾のソフトウェア、プログラミングについてもわが国独自の技術で完成をみたことが報告されている[以上7.3.4, 7.3.6, 7.3.7]。この結果まず装備1号機が昭和45年度契約され、46年度に設置される予定で、防空組織の眼としてその情報処理能力を十分に生かすべく活躍が期待されている[7.3.8, 7.3.9]。

8. 艦載三次元レーダ

艦載三次元レーダのうち、すでに方式別に解説したもの(3.2, 4.2~4.4, 5.2, 6.2, 6.5各節)以外について説明する。なお、いわゆる phased array レーダで静止アレイアンテナからビームを2方向に電子走査可能なものを三次元レーダにすべて含めるか否かには問題があり、含めるならば衛星探知用のFPS-85や遠距離ミサイル探知用にABM関連で開発中の各種 phased array レーダのような巨大なもの——定形的ビーム走査でなく、既知の軌道や目標の有無・脅威の大小等によって電子計算機でビームを制御して搜索と追尾とを使いわけ等、いわゆる計算機の判断機能と結合したものと考えられる——をも含めることとなるが、これらは別の種類と考えるほうが妥当である。ここでは便宜上、phased array レーダは艦載用のものだけに限ることとする(1.5節参照)。

8.1 米国 Hughes 社 SCANFAR (図 8.1, 8.2)

米海軍向けで、形名としてはSPS-32とSPS-33との複合であり

[1.1.1, 1.1.2], 原子力航空母艦 Enterprise CVAN 65 および原子力ミサイル巡洋艦 Long Beach CGN 9 の 2 隻だけにとり載されている。両艦の四角な司令塔の 4 面がそれぞれのアンテナとなり、方位角 90° ずつを分担し、SPS-32, SPS-33 双方で計 8 面である。前者は捜索レーダーでファンビームを方位角方向に周波数走査するもの、後者は追尾レーダーでペンシルビームを一方向位相走査、他の一方向に周波数走査するものと思われる。そのアンテナアレイの基本と想像される報告がある [1.3.1~1.3.4]。アンテナ寸法は Long Beach の横幅 $73\text{ ft} = 22.3\text{ m}$ [8.1.1] と比較して 1 面あたり横 $18\text{ m} \times$ 縦 7 m 程度と思われる (横幅のうち左寄り約 $1/3$ が SPS-33, 他が SPS-32), 全重量 200 t 近いとの記述があり [1.1.2], 非常に大規模なものである。Long Beach, Enterprise の就役が 1961 年 9 月および 11 月であるから、その時期に全電子走査 phased array レーダーを完成したことは注目する。レーダー情報は電子計算機で処理され同時に数百の目標を検出・追尾でき、味方機の航法支援も可能であると言われ [8.1.3],



文献 [1.1.2] から (INTERAVIR 1965 年 12 月号)
図 8.1 空母 Enterprise 号上の SCANFAR
(=AN/SPS-32+AN/SPS-33)



文献 [1.1.2] から (INTERAVIR 1965 年 12 月号)
図 8.2 巡洋艦 Long Beach 号上の SCANFAR

事実とすればかなり進んだものであるが、定量的性能諸元等はいっさい公表されていない。

1969 年秋の報道では Long Beach という載分を 1970 年に第 1 期工事 260 万ドルで大改装するとのことであるが内容は不明である [8.1.2~8.1.5]。なお、原子力空母の 2, 3 番艦として建造中の Nimitz CVAN 68, Eisenhower CVAN 69 には捜索レーダー SPS-10, SPS-43 A および 3D レーダー SPS-48 (4.3 節参照) をとり載するが本機はとり載しないようである [8.1.1, 8.1.6]。

8.2 米国 W 社

Westinghouse 社で全電子走査 phased array レーダーが米海軍の Typhon 武器組織向けに開発されたが、採用に至らなかった。

Typhon は 1970 年代の空からの脅威に対抗する目的で計画された、全電子走査レーダー SPG-59 と電子計算機およびミサイル管制装置を持った対空武器組織で、W 社がレーダーと計算機等を一括製作すべく 1960 年に試作を受注し、1962 年の報道ではレーダーと武器管制装置の縮小試作機を完成している。レーダー部分の原理は Johns Hopkins 大学の開発になるものである [8.2.1]。Typhon 組織試験のため水上機母艦 Norton Sound AV 11 が 1963~1964 年にかけて実験艦に改装され (AVM1 となった), その艦影写真を見ると艦橋上に直径 $6 \sim 7\text{ m}$ かと思われるおわんを伏せたような半球状のアンテナが見られる (図 8.3)。これは数千個の素子から成るアレイアンテナで 1 素子ごとに TWT 送信機を持ち (Watkins-Johnson 社製), 電子計算機がビームを制御して単ビームまたは多ビームの発生, 半空間全域にわたる電子走査, 捜索・追尾と同時にミサイルの誘導等も行なうという野心的な計画であったが、やがて Typhon 組織そのものが大形で高価な割に効力がないとして放棄されてしまった [以上 1.2.10, 8.2.1, 8.2.2]。レーダーだけの評価は続けられたがこれも 1966 年 7 月には撤去され、最近の写真ではもはやアンテナの形も見られない [8.2.3]。全電子走査 phased array に電子計算機の判断能力を直結させるという先端を行く着想であったが、艦載用の限定等もありいささか時期尚早であったように思われる。

8.3 ソビエト海軍

ソビエトのレーダーについてはほとんど判明しないが、艦載レーダーのうち 3D レーダーとの推測のあるものを紹介する。いずれも新しい艦である。

8.3.1 Strand

ミサイル駆逐艦 Kynda 級 (基準 $4,800\text{ t}$, この名は西側の仮名) の前しょう (艦)・後しょう上に同形のレーダー各 1 基があり、仮名を Head Net A と言ってこれが S バンドの 3D レーダーであるとの記事があるが [8.3.1], 見たところ普通のレーダーアンテナであって形状からは信じがたい。他の記事では仮名を Strand と言い、3D レーダーではない [8.3.8]。

8.3.2 Kingsway

ミサイル駆逐艦 Kashin 級 (基準 $4,300\text{ t}$) の前しょう上に特異なアン



文献 [8.2.2] から (Jane's Fighting Ships 1968~69)
図 8.3 実験艦 Norton Sonud 号上の Typhon



図 8.4 駆逐艦 Kashin 級

テナが認められる場合がある。すなわち通常の搜索レーダと思われるアンテナが2枚背中合わせになっており、これは他国にも例があるが、変わった点は後のアンテナが約30°くらい斜めに傾いている [8.3.1の指標18番および8.3.2, 8.3.5] (図8.4)。これは、仮名 Kingsway と言い、Vビーム方式に属するSバンドの3Dレーダであるとの報道があり可能性があるが [8.3.5, 8.3.6], 通常のVビームでは両アンテナを同一方向へ向けているのにくらべて、両アンテナで捕える時間差が大きくなるので精度上有利とは思われず、意図は不明である。なお Kashin 級でも全艦がこれとは限らず、ジェーン海軍年鑑等の写真からは前項の Strand である場合もある。

ミサイル駆逐艦 Kresta 級 (巡洋艦とも見られる。推定6,000 t) の前しょう上には、あきらかにこれと同じ一方の傾いた背中合わせの2枚のアンテナが見られる [8.3.3]。

8.3.3 Knightsbridge

新しい2隻のヘリコプタ母艦 Moskva, Leningrad (推定15,000 t) の中央上部に大きな特異な形のアンテナがあり、仮名を Knightsbridge と言って3Dレーダとの報道があるが [8.3.4, 8.3.5, 8.3.7],

形状からも十分その可能性がある。縦長のだ円形の反射鏡の前に縦にフィードを置いた感じのもので、電子走査を行なうものと思われる、4章のような周波数走査方式である可能性もある。Lバンドとの観測がある [1.1.7]。またそのすぐ前方に Kingsway と同じ一方の傾いた背中合わせの2枚のアンテナがあり、SバンドVビーム3Dレーダであるといわれる [8.3.5]。

9. その他

存在は知られているが詳細に公表されていないものをまとめて紹介する。

9.1 日本、防衛庁・日本電気方式

防衛庁・日本電気の手で移動用3Dレーダを製作中であることが報じられているが [9.1], 方式等詳細は公表がない。[7.3.9]によると7章の防衛庁・三菱電機方式の3Dレーダ設置に伴うバックアップ用で、45年度に納入される予定である。

9.2 仏 Thomson-CSF 社

同社には既述以外に開発・試作中のつぎの3Dレーダがある。

9.2.1 Antares [1.1.6, 9.5]

Antenna Tracking Altitude, azimuth and Range by Electronic Scan の略で、目下開発中の仰角方向にビームを電子走査するSバンドのレーダである。2Dレーダと連動して測高レーダとして働くことを主目的とし、必ずしも3Dレーダとは称していない。円筒パラボラ状反射鏡の前に鉛直方向に長い放射器があり、一次放射器相互の位相差をデジタル移相器で制御してビーム走査を行なうほか、周波数の異なる3台のマグネトロン送信機 (各せん頭1 MW, 平均1 kW) で給電して3本のビームを発生させ、モノパルス測角をも併用しているようである。18 m のレードームを持つ建屋中に9 m×8 m のアンテナを収めた想像図があり、かなり大形のものである。探知距離は235 NM という。

9.2.2 Matador [1.1.6, 9.6]

Mobile And Tridimensional Air Defence Operations Radar の略で、Sバンドの移動用3Dレーダであり探知距離130 NM, 測高原理は Antares と同じようである。折りたたみ式のアンテナ、送信機キャビン、受信機キャビンの3台から成り、道路・鉄道・輸送機およびヘリコプタで輸送でき、1時間以内で開設できる。試作中で1971年のパリエアショーに出品された。

9.2.3 その他

名称も不明で、phased array 方式による防空およびミサイル探知用3Dレーダが [1.1.6] に記載されている。

9.3 AWACS [9.2~9.4]

米空軍が1970年6月に Boeing 社を主契約者として開発に着手した AWACS (Airborne Warning and Control System) は監視レーダをとう載した大形哨戒機でそのレーダは三次元性能を持つと言われるが、開発の途についたばかりで担当会社も Hughes 社と W

社が競合中で決定を見ていないので、記述は以上にとどめる。

10. 三次元指示機

三次元情報の表示手段として、三次元指示機について一言しておく。これには種々の考案があり、5種に大別される。おおむね初めのものほど古く、実用的である。1, 2は実用の報告があり、3~5は試作ないし着想の報告だけである。

- (1) 二次元表示の組合わせ
- (2) 二次元表示と文字表示との組合わせ
- (3) 透視図的二次元表示
- (4) 立体視の応用
- (5) 真の三次元表示

10.1 二次元表示の組合わせ

もっとも常識的な方法である。

10.1.1 PPI+RHI

水平面上の状況を表示する PPI (Plan Position Indication) 指示機と、鉛直面内の状況を表示する RHI (Range Height Indication) 指示機とを併用するものである (図 10.1)。二次元搜索レーダと測高レーダとを併用する場合 (1.3 節, 7.4.2 項参照) にはもっとも当然な表示方法であるが、3Dレーダでも 4.2 節の Hughes 社の単ビーム周波数走査方式に適用例がある [1.2.3, 4.1.5~4.1.7] (図 4.5)。測高レーダと異なり、3Dレーダの場合はアンテナの方位角方向回転につれ RHI 画面が刻々かわってちらつくので、指定方位方向だけの選択表示またはメモリースコープの使用も考えられる。

10.1.2 その他

2.2.2 項の Maxson 社 AHSR-1 のように、PPI 画面の外側に高度を表示する画面を付属させた例もある [7.1.1, 7.1.2, 7.1.4, 7.1.5] (図 7.4)。また通常の PPI 指示機上に目標物を高度別に選択表示する方法 [6.2.2] もこの分類に属すると言えよう。

10.2 二次元表示と文字表示の組合わせ

画像的表示は従来どおり二次元的なもの (多くは PPI) にとどめ、高度等の情報は文字で表示する方法である。2.2 節の Sperry 社の V ビーム方式 TPS-34 [2.6] および 7.3 節の Sletten 方式 [7.2.2] では、アナログ的に計算された高度情報によりサーボ軸をまわして高度がカウンタ式に数字表示される。6.3.5 項の W 社 TPS-43 ではアナログかデジタルか不明であるが、同様に数字表示が行なわれ、7.4 節の防衛庁・三菱電機方式の場合は、デジタルデータの即時デジタル表示が行なわれる [7.3.4]。Sletten 方式および TPS-43 の場合は PPI 画面で area gate または height window と呼ばれる移動可能な区域を目標上に重ねることにより所望の目標を指定すると、その目標についての高度が表示される。他も似たような方法と思われる。

10.3 透視図的二次元表示

三次元的な位置情報のデジタル処理を前提とし、これを D/A 変換して CRT 上に透視図的に表示する方法である。[10.8] の例では

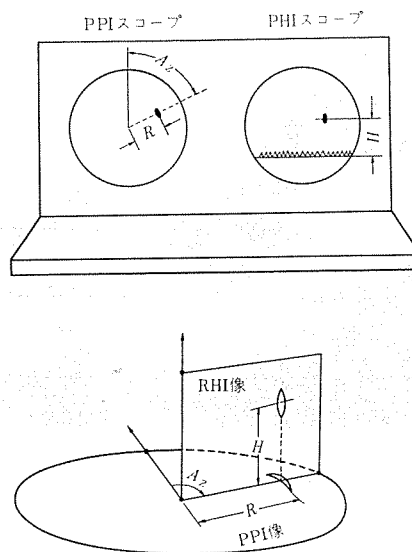


図 10.1 PPI と RHI とによる三次元表示

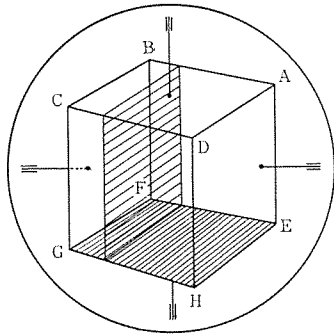
表示は生(なま)のビデオではなく処理済の情報をシンボル表示するのみとなり、たとえば図 10.2 のように立体を透視図として輝線で描き出し、この中の対応点に目標物を示す輝点を発生させる。現実味を増すため手前寄りの輝線を太くしたり、基底にハッチ線を入れたり、可動の目盛面をそう入したりする工夫があるほか、特に立体に「回転」をあたえる装置を加えたことが興味深い。すなわち図の立体の中心を通る縦・横の2軸を中心に立体を任意に回転させるかのような操作が可能で、これに伴って表示自身がそれだけ回転したように変形する。この機能は立体感の要件の一つである遠近法を用いて二次元上に立体を直感的に表示するうえで有効なものと思われる。ただしこの指示機は試作の報告があるだけで、現実レーダに結合して用いられた例は聞いていない。

10.4 立体視の応用

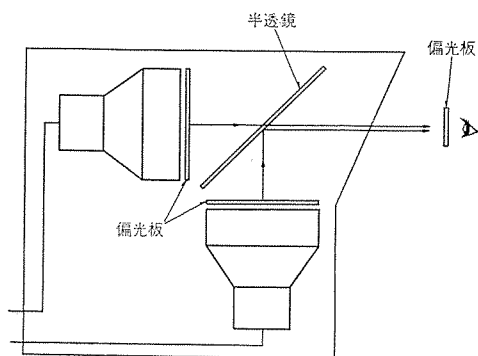
立体感の他の要因である両眼視差を応用したもので、[10.2] の例では図 10.3 のように2本の CRT 上の PPI 画像を偏光板と半透鏡を用いて重ね合わせ、偏光眼鏡を介して一眼で一画像ずつを見る。両画像の偏向電圧には仰角の正弦に比例する電圧が一方には加算、他方には減算されており、結果として PPI 画像が奥行を持って見えるという。Hughes 社が単ビーム周波数走査方式の 3Dレーダを使って実演したと伝えられるが、その後実用された報告には接しない。

10.5 真の三次元表示

何らかの手段で実際に三次元空間中に像を発生させるものである。表示面の移動によるものとしては回転白色スクリーンに光線を投射させる方式 [10.1, 10.5, 10.7], 回転 EL (Electro-luminescence) スクリーンに縦横に配線した電線に電圧を印加して交点を発光させる方式 [10.3, 10.9], 真空中でけい光スクリーンを回転させ電子ビームを透射する方式 [10.7] 等があるが、いずれも試作だけで、レーダと組み合わせる実用性は疑問である。表示面を移動させるかわりに反



文献 [10.8] から (British Comm. and Elec. 1964 年 6 月号)
図 10.2 透視図的二次元表示による三次元表示



文献 [10.2] から (INTERAVIA 1961 年 6 月号)
図 10.3 立体視を応用した三次元表示

射面またはレンズ面を移動させて表示物の像に奥行を持たせる特許 [10.14] や、プラズマ ないし気体中で発光させる着想 [10.10 など] もあるが、いずれも着想だけの段階と思われる。

10.6 所見

3D レーダと結合して実用する見地からは、あまりに複雑な指示機を単に三次元的であるという理由で採用することは考えられない。ことに 3D レーダを使用するような場合は多数の高速飛行目標を対象とするのが前提で、これらを単に肉眼で見えて処理することには限度があり、今後はむしろ電子計算機による位置・速度・追尾・予測位置等のデジタル自動処理が中心となり、視覚的表示は自動処理のモニター、および機械に指令を下すための媒体 (man-machine のつなぎ) の役割りとなろう。したがって実用的には上記のうち「二次元表示と文字表示の組合わせ」にとどまるのではないかと考えられる。

三次元映像はそれ自体非常に興味ある問題で多くの報告があり、わが国にも近年すぐれたものうらの解説があるが [10.6, 10.11~13], 3D レーダの本題からははずれるのでここまでにとどめる。

11. 所見

以上に各方式とその実施例を解説したが、各方式を通じて総合的所見を記しておく。

11.1 現況の総括と将来性

3D レーダを開発している国は日・米・英・仏・オランダ・ソの 6 か国で、開発の規模は米国がもっとも進み、英国あるいは仏国がこれに次いでいると思われる。日本も近年独自の努力で実用の域に近づいている。オランダは 1 方式 1 機種が知られ、ソビエトの詳細は不明であるが (ことに地上用)、艦載用にはわずかの情報がある。用途は多くは軍用 (地対空の監視用) で地上固定用・地上移動用・艦載用があり、民間用 (航空交通管制—ATC—用、一部に気象用) には二、三の試みがあったが実用に達していない。

今後、方式としての生存力があると思われるものはつぎのものであろう。

(1) V ビーム方式

米 Sperry 社=米海兵隊・地上移動用

(2) 単ビーム周波数走査方式

米 Hughes 社=米海軍・艦載用, 米 Gilfillan 社=米海軍・艦載用
および米海兵隊・地上移動用

オランダ Signal 社方式は今後を見守る必要がある。

(3) Defocus 方式

米 W 社=米空軍・地上移動用, 英 AEI 社=英空軍・地上固定用, 仏 TH 社, CSF 社=仏空軍・地上固定用, 仏海軍・艦載用

(4) 日本, 防衛庁・三菱電機方式

地上固定用

(5) 米 Hughes 社 SCANFAR 方式

米海軍・艦載用は, Long Beach, Enterprise 2 艦にとどまるもよう。

(6) 日本, 防衛庁・日本電気方式

地上移動用

(7) ソビエトの詳細は不明

11.2 測高精度と用途

3D レーダの性能上の生命である測高精度については公表が少ないが、判明する限りを記すと表 11.1 のようになる。

これを見ると、公表の限りでは仰角精度 $1/200 \sim 1/300 \text{ rad} \approx 0.2^\circ$ 程度が限界と見られる。同表を見ると、おおむね航空交通管制 (ATC) 用のほうが軍用より精度がきびしい。これは軍用が遠方警戒を主目的とし概況を速やかには握ることを必要とするのに対し、ATC が比較的近距离ながら高精度の測高を必要とするためであろう。現に [1.2.9] によると ATC 用 3D レーダに望まれる精度は $200 \text{ ft}/50 \text{ NM} = 1/1,500 \text{ rad} = 0.038^\circ$ ないしその半分 $1/3,000 \text{ rad} = 0.019^\circ$ 程度となり、表 11.1 より 1 けた前後高い数字となる。3D レーダが軍用にはかなりの努力で開発されながら、ATC 用レーダの 3D 化が容易に行なわれない原因の一つはここにあると思われる。今後 ATC に適用可能な高精度の 3D レーダが出現するか否かは、航空機の大形化・高速化、空域の混雑化とからんで注目される問題であろう。

表 11.1 測高精度比較表

| 方 式 | 機 種 | 測 高 精 度 / 距 離 | 仰 角 換 算 値 | 備 考 | 出 所 |
|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------------------|-------------|-----------------------|
| 単ビーム機械的走査 (仏) | Bruxelles 空港レーダ | 1,000 ft/50 NM | 1/300 rad=0.19° | 実在, ATC 用 | 文献 [3. 3] |
| 単ビーム機械的走査 (仏 T-CSF) | TRS 2200 | ±450 m/60 NM | 1/120 rad=0.48° | 実在, 軍用 | 文献 [3. 6] |
| 単ビーム機械的走査 (仏 T-CSF) | VOLEX | 600 m/100 NM | 1/300 rad=0.19° | 実 在 | 文献 [3. 7] |
| 単ビーム周波数走査 (米 Hughes) | SPS-39 系 | ±3,000 ft/100 NM | 1/200 rad=0.29° | 実在, 軍用 | 文献 [1. 2. 10] |
| Defocus (米 W) | ATC 用 | ±500 ft/75 NM | 1/450 rad=0.13° | 提案のみ, ATC 用 | 文献 [6. 2. 2] |
| Defocus (米 W) | TPS-43 | ±3,000 ft/150 NM ? * | 1/150 rad=0.38°* | 実在, 軍用 | 文献 [6. 2. 10] |
| Defocus (仏 TH) | TH. D. 1955 | | 1/250~1/500 rad=0.23~0.115° | 実在, 軍用 | 文献 [6. 4. 6] |
| 受信多ビーム (米 Maxson) | AHSR-1 | ±500 ft/50 NM | 1/300 rad=0.19° | 実在, ATC 用 | 文献 [7. 1. 1, 7. 1. 2] |
| 不 詳 (仏 T-CSF) | Antares | ±300 m/150 NM | 1/450 rad=0.13° | 開発中 | 文献 [9. 5] |
| 不 詳 (仏 T-CSE) | Matador | | 1/200 rad=0.29° | 試 作 | 文献 [9. 6] |

* 距離の記述なく、便宜上最大探知距離をとったので、精度はこれよりよくはない。

表 11.2 三次元レーダ性能対照表

| 方 式 | 機 種 | 周 波 数 (波長) | 送 信 | | | 探 検 | | | 距離精度 | ア ン テ ナ | | | 備 考・出 所 |
|--------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------|---------------------|--------------------|--|----------------|----------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---------------|---|
| | | | 電力(尖頭/平均) | パルス幅 | くり返し | 距 離 | 高 度 | 仰 角 | | 開 口 | ビーム幅 | 回 転 数 | |
| 単ビーム機械的走査 (仏) | Bruxelles 空港レーダ | S バンド | | | | 60/100 NM | 40,000 ft | 0°~15° | 0.4NM 60NM | | 2°×2° | 3 rpm | [3. 3] ビーム走査 700/min |
| 単ビーム機械的走査 (仏) | TRS 2200 | S バンド | 1 MW/1~2 kW | 4 μs | 500 Hz | 100 NM | | 15° | | 3.4×3.4 m | 2°×2° | 3 rpm | [3. 6] |
| 単ビーム機械的走査 (仏) | VOLEX | S バンド | | 2 μs | 500 Hz | 250 NM (?) (10 m ²) | 250,000 ft (?) | 21° | | 11×13 ft +22×11 ft | 2°×2° | 3~4 rpm | [1. 1. 3, 1. 1. 6] ビーム走査 720/min |
| 単ビーム機械的走査 (仏) | VOLEX III | S バンド | (1MW/2kW)×2 | 4 μs | 500 Hz | 150 NM | | 22° | | 3.4×3.9 m +6.8×3.4 m | 2°×2° +1°×2° | 3 rpm | [3. 7] |
| 単ビーム周波数走査 (米 Giff) | TPS-32 | | | 30 ms (9 周波) | | 300 NM | | | 分解能 500 ft | 32×12 ft | | | [4. 2. 8] |
| 多ビーム走査 (英 Marconi) | 984 | S バンド | | | | | | | | 直径 14 ft | | | [5. 1. 1, 5. 1. 7] |
| Defocus (米 GE) | FPS-7 | L バンド 1,250~1,350 MHz (クワイステロン) | 10 MW | 6 μs | 244 Hz | 300 NM | 150,000 ft | | 方位 0.5° | 40×18 ft 重さ 7 t | 7 ビーム cosec ² | 3.3/5/6.6 rpm | [1. 1. 5, 1. 2. 3] |
| Defocus (米 W) | TPS-43 | 2.9~3.1GHz | 3 MW | | | 150 NM | 75,000 ft | 0.5~20° | | 20×18 ft G=39.2~ 32.6dB | 水平 1.1° 15 ホール 6 ビーム | | [6. 2. 10] |
| Defocus (英 AEI) | 4502 | 10 cm | 4 MW | | | | | | | 13.7×6.6 m | 12 ビーム | | [1. 1. 6] |
| Defocus (英 AEI) | 40 | 10 cm | (3 MW)×2 | 10 μs ¹⁾ | 333/238/ 185 Hz | 240NM(10m ²) 200NM(3 m ²) | 100,000 ft+ | | | 40×15.25 ft | 水平 0.6° 12 ビーム | 5 rpm | [1. 1. 3] 1) 圧縮 0.5 μs |
| Defocus (仏 TH) | ARGOS/ PALMIER | S バンド | 20 MW | | | 400 km | | | 0.5NM 方位 0.5° | | | | [1. 1. 4, 1. 1. 6] パルス圧縮あり |
| Defocus (仏 TH) | TH. D. 1955 | S バンド | 20 MW | | | 400 km+ | | 20°+ | | 16×6 m | | 6 rpm | [6. 4. 6] パルス圧縮あり |
| Defocus (仏 CSF) | AC 12 | 23 cm | 3 MW | 4 μs | 250 Hz | 150NM(3 m ²) | 60,000 ft | | | 幅 33 ft | 水平 1.6° | 6 rpm | [1. 1. 3] |
| Defocus (仏 CSF) | DRBI 23 | 23 cm | 数 MW | | | | | | | | | | [6. 4. 4] |
| 受信多ビーム (米 Maxson) | AHSR-1 | S バンド | (受信専用) | | | 50 NM | | 0.5°~40° | | 高さ 135 ft | 垂直 0.189° ~1.2° 90~132 ビーム | 無回転 | [1. 2. 4, 1. 2. 10, 7. 1. 1~7. 1. 5] |
| 不詳 (仏 T-CSF) | Antares | S バンド | (1MW/1kW)×3 | | | 235 NM | 30,000 m | -2°~35° | | 9×8 m | | 6 rpm | [9. 5] |
| 不詳 (仏 T-CSF) | Matador | S バンド | 1 MW/2 kW | 4 μs | 500 Hz | 130 NM | | -5°~30° | | | 1.5°×1.9° | 5 rpm | [9. 6] |

11.3 性能一覧表

各章節に分散して紹介した各機種性能(測高精度以外)を一括して表 11.2 に示しておく。内容はほとんど本文中で紹介済みである。

12. む す び

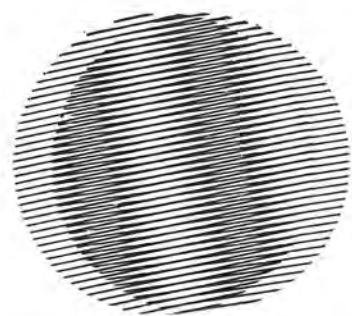
世界各国の三次元レーダにつき、1章で共通の事項をのべ、2~9章で6か国(日・米・英・仏・オランダ・ソ), 十余方式、約15社、約40機種にわたって明らかに解説し、公表された範囲内での性能を記した。公開の資料に現われる限りはおおむね説明をつくしたと思われる。10章で三次元指示機について解説し、11章に総合的所見を記した。文献179件を引照してある。

参 考 文 献

6. Defocus 方式
- 6.1 米 G. E.
- 6.2 米 Westinghouse
- 6.2.1 (広告) Vigilance in Three Dimensions, Aviation Week 73, (15) 56 (October 10, 1960)
- 6.2.2 W. E. Bushor (Staff) : Traffic Control Radar Shows Aircraft Altitude, Electronics 35, (2) 27 (January 12, 1962)
- 6.2.3 M. I. Skolnik : Introduction to Radar Systems, McGraw-Hill (1962), Sections 7.4 (276, 277), 10.3 (457, 458)
- 6.2.4 Thomas Maguire (Staff) : Controlling Fighter Planes from a Jeep in Battle Area, Electronics 37, (26) 114~118 (October 5, 1964)
- 6.2.5 3D Radar Order Due in January, Electronics 38, (26) 25 (December 27, 1965)
- 6.2.6 Shopping List, Electronics 39, (1) 46, 48 (January 10, 1966)
- 6.2.7 Westinghouse Cutting Weight of 3D Tactical Radar for AF, Electronic News 11, (563) 28 (September 12, 1966)
- 6.2.8 (広告) Antenna Feed Array, Waveline Inc., Microwaves 6, (9) 162, 163 (September, 1967), 6, (10) 100, 101 (October, 1967)
- 6.2.9 (表紙写真) Electronics 40, (21) (October 16, 1967)
- 6.2.10 Air Traffic Cop Eyes 'Bandits', too, Electronics 40, (21) 111~117 (October 16, 1967) RM-60715
- 6.2.11 (広告) This Westinghouse 3D Radar Can Be Somewhere Else in Minutes, Aviation Week & Space Technology 90, (22), (June 2, 1969)
- 6.2.12 移動性、信頼性高い長距離戦術レーダ, 電波新聞(昭44-6-4)
- 6.2.13 長距離の探知能力, 米空軍新戦術レーダ, WING (594) 2 (昭44-6-11)
- 6.2.14 空軍用新型レーダ, 日本工業新聞(昭44-7-18)
- 6.2.15 (表紙写真) 兵器と技術 (266) (1969-7)
- 6.2.16 Air Force Tactical Radar is Mobile and Reliable, Westinghouse Engineer 29, (4) 127 (July, 1969)
- 6.2.17 (広告) This Westinghouse 3D Radar Can Be Somewhere Else in Minutes, INTERAVIA 24, (9) 1481 (September, 1969)
- 6.3 英 R. R. E., A. E. I.
- 6.3.1 Controlling Air Traffic of the Future, British Communications and Electronics 9, (5) 365 (May, 1962)
- 6.3.2 (広告) From Surveillance to Target Illumination for Air Defence, An AEI Development Profile, INTERAVIA 20, (6) 904~905 (June, 1965)
- 6.3.3 An Integrated Air Defence System for Saudi Arabia, INTERAVIA 21, (2) 180 (February, 1966)
- 6.3.4 (広告) INTERAVIA 23, (9) 1016 (September, 1968)
- 6.3.5 Ron Pretty (Staff) : RRE Open Day Gives Close-Up of Activities over Wide R&D Range, Electronics Weekly (460) 16 (June 25, 1969)
- 6.3.6 (表紙写真) Wireless World 75, (1407) (September, 1969)
- 6.3.7 Three Dimensional Radar, Wireless World 75, (1407) 422 (September, 1969)
- 6.3.8 (広告) Marconi, Complete Capability in Aerospace Electronics, INTERAVIA 24, (11) 1750, 1751 (November, 1969)
- 6.3.9 GEC-Marconi Electronics, INTERAVIA 25, (7) 855~857 (July, 1970)
- 6.4 仏
- 6.4.1 (広告) INTERAVIA 22, (6) 867 (June, 1967)
- 6.4.2 (写真) INTERAVIA 21, (5) Int'l Defence Review Supplement 606 (May, 1966)
- 6.4.3 Jane's Fighting Ships 1966-67 (91)
- 6.4.4 Masurca Surface-to-Air Missile System, Jane's Weapon Systems 1969-70 (41, 42)
- 6.4.5 Jane's Fighting Ships 1970-71 (110)
- 6.4.6 Three-Dimensional Radar TH. D. 1955, Jane's Weapon Systems 1970-71 (412)
- 6.5 日 東芝
- 6.5.1 田中周三, 吉田孝, 久郷幸次, 千葉胤昭(東芝) : Defocusing による多重ビームの形成について, 昭和38年電気四学会連合大会 1221 (昭38-4)
- 6.5.2 吉田孝, 佐藤禎司, 久郷幸次, 国分幹郎(東芝) : 搜索三次

- 元レーダ, 電気通信学会航行エレクトロニクス研究会資料 65.9-10 (1965-9-27)
7. 受信位相差方式
- 7.1 米 Maxson
- 7.1.1 James A. Fusca (Staff) : Altitude Radar Cuts Controller Workload, Aviation Week 71, (4) 71~74 (July 27, 1959)
- 7.1.2 Bernard Kovit (Staff) : Passive Height Finder for 3 D Traffic Control, Space/Aeronautics 32, (2) 135~137 (August, 1959)
- 7.1.3 Judd Blass (Maxson) : Multidirectional Antenna, A New Approach to Stacked Beams, 1960 IRE Int'l Conv. Rec. (Pt. 1) 48~50
- 7.1.4 Thompson J. Simpson (FAA) : The Air Height Surveillance Radar and Use of Its Height Data in a Semi-Automatic Air Traffic Control System, 1960 IRE Int'l Conv. Rec. (Pt. 8) 113~123 RM-55058
- 7.1.5 Robert Haavind (Staff) : Push Intensifying for Commercial Altitude Radar, Electronic Design 9, (5) 4, 5 (March 1, 1961)
- 7.1.6 Herbert Cheshire (Staff) : New Directions for Air Traffic Control, Control Engineering 9, (1) 21, 22 (January, 1962)
- 7.1.7 M. I. Skolnik : Introduction to Radar Systems, McGraw-Hill (1962), Section 10.3 (460, 461)
- 7.2 米 Sletten 方式
- 7.2.1 Carlyle J. Sletten (USAF) : Means for Obtaining Tri-coordinate Radar Information, U. S. Patent 3,106,708 (October 8, 1963 ; 出願 Nov. 18, 1958)
- 7.2.2 William G. Mavroides, Lancer G. Dennett, Leon S. Dorr (USAF) : 3D Rader Based on Phase-in-Space Principle, IEEE Trans. AES-2 (3) 323~331 (May, 1966)
- 7.3 日, 防衛庁, 三菱電機
- 7.3.1 西条利彦(防衛庁) : 防衛通信, 事業展望, 電気通信学会雑誌 47, (7) 1,086~1,089 (1964-7)
- 7.3.2 大賀浩三(防衛庁) : 三次元レーダ(その2), 兵器と技術 (214) 17~28 (1965-3)
- 7.3.3 加藤晟(防衛庁) : 防衛, 事業展望, 電気通信学会雑誌 49, (9) 1,747~1,751 (1966-9)
- 7.3.4 加藤晟(防衛庁) : 防衛, 事業展望, 電子通信学会雑誌 50, (9) 1,697~1,701 (1967-9)
- 7.3.5 通信・電子機器, 1968 自衛隊装備年鑑 305, 朝雲新聞社 (昭 43-4)
- 7.3.6 加藤晟(防衛庁) : 防衛, 事業展望, 電子通信学会雑誌 51, (9) 1,140~1,144 (1968-9)
- 7.3.7 武藤弘道(防衛庁) : 防衛庁の開発した三次元レーダについて, 電子通信学会宇宙・航行エレクトロニクス研究会資料 SA-NE 69-13 (1969-9-30)
- 7.3.8 水橋喜七(防衛庁) : 防衛, 事業展望, 電子通信学会雑誌 52, (9) 1,116~1,119 (1969-9)
- 7.3.9 水橋喜七(防衛庁) : 防衛, 事業展望, 電気通信学会雑誌 53, (9) 1,228~1,230 (1970-9)
- 8 艦載三次元レーダ
- 8.1 米 Hughes
- 8.1.1 Jane's Fighting Ships 1968-69 (352~355, 363)
- 8.1.2 原子力巡洋艦を改装, 米ヒューズが契約, 日刊工業新聞 (昭 44-9-5)
- 8.1.3 原子力巡洋艦のレーダを整備, ヒューズ・エアクラフト, 電波新聞 (昭 44-9-9)
- 8.1.4 (表紙写真) 兵器と技術 (270) (1969-11)
- 8.1.5 巡洋艦「ロングビーチ」のレーダ装備を大改装, 兵器と技術 (270) 68 (1969-11)
- 8.1.6 Jane's Fighting Ships 1970-71 (410)
- 8.1.7 SPS-32 (Scanfar) Radar, Jane's Weapon System 1970-71 (439, 440)
- 8.1.8 SPS-33 (Scanfar) Tracking Radar, Jane's Weapon System 1970-71 (440)
- 8.2 米 Westinghouse
- 8.2.1 Eyes for Typhon, Westinghouse Engineer 22, (2) 62, 63 (March, 1962)
- 8.2.2 Jane's Fighting Ships 1968-69 (467, 470)
- 8.2.3 Jane's Fighting Ships 1969-70 (517, 518)
- 8.3 ソビエト海軍
- 8.3.1 Advanced Avionics Visible on Russian Ships, Aviation Week and Space Technology 89, (24) 61~63 (December 9, 1968)
- 8.3.2 世界の船 '69 (朝日新聞社) 27
- 8.3.3 Jane's Fighting Ships 1969-70 (544, 547)
- 8.3.4 Edward H. Kolcum (Staff) : Soviet Mediterranean Push Deepens, Aviation Week & Space Technology, 92, (13) 14~18 (March 30, 1970)
- 8.3.5 Jane's Fighting Ships 1970-71 (581~584)
- 8.3.6 Kingsway Air Surveillance Radar, Jane's Weapon Systems 1970-71 (443, 444)
- 8.3.7 Knightsbridge Three-Dimensional Radar, Jane's Weapon Systems 1970-71 (444, 445)
- 8.3.8 Stand Air Surveillance Radar, Jane's Weapon Systems 1970-71 (446)

9. その他
- 9.1 (ニュース) 3D レーダ 予備審査 パス, 日本電気, WING (619) 10 (昭44-12-3)
- 9.2 (ニュース) Boeing Wins AWACS Award, Aviation Week and Space Technology 93, (2) 22 (July 13, 1970)
- 9.3 (ニュース) Westinghouse AWACS Antenna Undergoes Test, Aviation Week and Space Technology 93, (4) 55 (July 27, 1970)
- 9.4 (ニュース) Hughes and Westinghouse Compete for AWACS Radar, Microwaves 9, (8) 18 (August, 1970)
- 9.5 Antares Height-Finding Radar, Jane's Weapon Systems 1970-71 (396)
- 9.6 Matador 3D Radar TRS 2210, Jane's Weapon Systems 1970-71 (404, 405)
10. 三次元指示機
- 10.1 New Display Gives Realistic 3D Effect, Aviation Week 73, (18) 66, 67 (October 31, 1960)
- 10.2 (ニュース) INTERAVIA 16, (6) 849 (June, 1961)
- 10.3 John L. Coddington, Robert J. Schipper (Avco) : Practical Solid State Three Dimensional (3D) Display, 1962 IRE Int'l Conv. Rec. (Pt. 3) 177~184
- 10.4 (ニュース) INTERAVIA 17, (5) 629 (May, 1962)
- 10.5 Dreidimensionale Sichtdarstellung, Elektronische Rundschau 16, (8) 348 (August, 1962)
- 10.6 3D Display, Concepts and Requirements, Space/Aeronautics 38, (4) 60~64 (September, 1962)
- 10.7 D. W. Perkins (G.E.) : Spherical Spiral Display, Space/Aeronautics 38, (3) 64~67 (September, 1962)
- 10.8 W. Hersch (E. M. I.) : 3D Display for Air Traffic Control, British Communications and Electronics 11, (6) 390~393 (June, 1964)
- 10.9 フレドリック アントン シュベルツ (ゼロックス) : 三次元表示装置, 特許公報 昭40-17412 (昭40-8-7), 特願 昭38-13480 (昭38-3-22)
- 10.10 山田公(神戸工業) : 三次元表示装置, 特許公報 昭42-20099 (昭42-10-7), 特願 昭38-56720 (昭38-10-22)
- 10.11 大越孝敬(東大) : 三次元映像表示と三次元テレビジョン, 信学誌 51, (10) 1,249~1,257 (昭43-10)
- 10.12 大越孝敬(東大) : 連載: 三次元映像工学入門, エレクトロニクス 15, (1) 145~153 (昭45-1)
15, (2) 242~248 (昭45-2)
15, (3) 359~368 (昭45-3)
15, (4) 470~480 (昭45-4)
15, (5) 583~589 (昭45-5)
15, (6) 693~700 (昭45-6)
15, (7) 810~816 (昭45-7)
- 10.13 大越孝敬(東大) : 三次元 テレビジョン, テレビジョン 24, (9) 726~730 (1970-9)
- 10.14 Alan C. Traub (MITRE) : Three-Dimensional Display, 米国特許 3, 493, 290 (February 3, 1970), 出願 520,708 (June 14, 1966)



新製品紹介

製鉄ラインの自動化に貢献する生産番号記録装置

現在、製鉄所のあるゆるラインにおいて、鋼板の厚さ・幅・伸び率あるいはラインスピード等の測定量をペン書き記録計で記録しているが、この測定量は一連のデータではなく、コイルごとのデータであるためコイルの生産番号を記録しておくことが必要である。従来この作業は測定量記録前あるいは後で、作業位置から離れて設置してある記録計の記録紙上に作業者が手書きしていたが、作業能率の低下、記録間違いあるいは記録を忘れる等の欠点があった。

本装置はこの作業を自動化する要求に対処して製作したものであり、デジタル量であるコイルの生産番号を自動的にペン書き記録計の記録紙上に記録させる装置であるので、実際に生産番号をデジタル印字するのと同等の機能を有し、製鉄所における自動化・省力化機器として広く使用することができる。

■ 特 長

- (1) 作業による記録紙上への生産番号の手書きは不要になる。
- (2) 従来のペン書き記録計の機構を何ら追加・変更することなく、デジタル印字機能を有したペン書き記録計として使用することができる。
- (3) シンクロ発信機駆動によるライン同期式記録計においては、ラインが停止しているわずかの時間に、自動的に記録紙定速送り装置に切換えて生産番号を記録する。
- (4) 生産番号記録時間は、任意の時間に選定できる。

■ 仕 様

- (1) 生産番号記録対象記録計……ライン同期紙送り式ペン書き記録計
- (2) 生産番号けた数……………6けた
- (3) 生産番号内容……………6けた目 0～9
5けた目 0～9
4けた目 0～9
3けた目 0～9
2けた目 A～E
1けた目 0～9
- (4) 生産番号記録時間……………5, 10, 15 秒の3段切換え

なお、上記仕様は製作実績のある仕様の一例を示したものであり、要求に応じて種々な製作が可能である。図2はラインスピードおよび生産番号9927B0を描いており、図3は生産番号部分の拡大説明図である。

〔神戸製作所〕

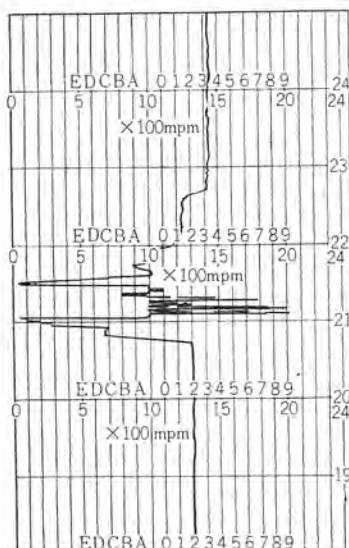


図1 生産番号記録装置

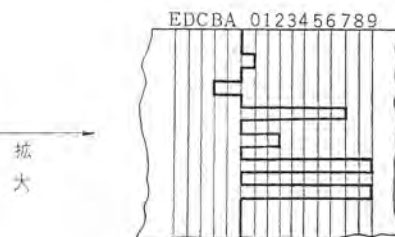


図3 生産番号記録状態拡大説明図

図2 記録紙 (尺度 1/2×2/3)

無接触形鋼板スリップ計

鉄鋼ライン特にストリップ工場においては数多くのロールが使用されており、鋼板—ロール間のスリップが問題になることが多く、特にメッキラインにおけるスリップは鋼板表面にスリキズを発生し、商品価値が著しく減少するため特に大きな問題となっている。

従来鋼板—ロール間のスリップ量を正確に測定することは困難であったが、着磁・検出法を使用した本装置により、鋼板が一定距離走行したことを正確に測定することができるようになったため、精度高く鋼板—ロール間スリップ量を計測できるようになった。したがってこのスリップ計を証とし、ロール駆動モータ速度を調整することによりスリキズを防止することができる。新日本製鉄(株)戸畑製作所 ETLラインに本装置を設置し、現在高精度で良好に動作し品質向上に役立っている。

■ 本装置の動作

走行中の鋼板に着磁装置により磁気マークを施し、1 m 後方に設けられた検出器によりこの磁気マークを検出する。一方スリップ量を測定したいロールに取付けられたパルス発信機からのパルス数(スリップのないとき鋼板 1 mm につき 1 パルス発信する)を、着磁信号から検出信号までの間計数し、このパルス数を P とすると、

$$\text{スリップ量} = \frac{P-1,000}{1,000} \times 100(\%) \text{ で表わされる。}$$

■ 本装置の特長

- (1) 着磁・検出法を使用しているため鋼板に無接触でスリップ量を測定することができる。
- (2) 自動起動装置を有している。
- (3) 交流着磁方式(交流電流を流しておき着磁したいときに電流を切ることにより着磁する方式)により、着磁しているため磁気マークの広がりが少なく、シャープな着磁ができるので、正確な検出ができる。
- (4) 2 個の磁気検出器を用い、差分方式にて検出信号処理をしているので、検出信号の大きさによる検出誤差は非常に少ない。

■ 本装置の仕様

| | |
|-------------|--------------|
| 鋼板速度 | 600 m/分以下 |
| 着磁・検出装置間距離 | 1 m |
| 磁気検出器—鋼板間距離 | 15 mm |
| | (±1.5 mm 以内) |
| 着磁装置—鋼板間距離 | 15 mm |
| | (±1.5 mm 以内) |
| 総合精度 | ±0.3% |

[神戸製作所]



図 1 無接触形鋼板スリップ計

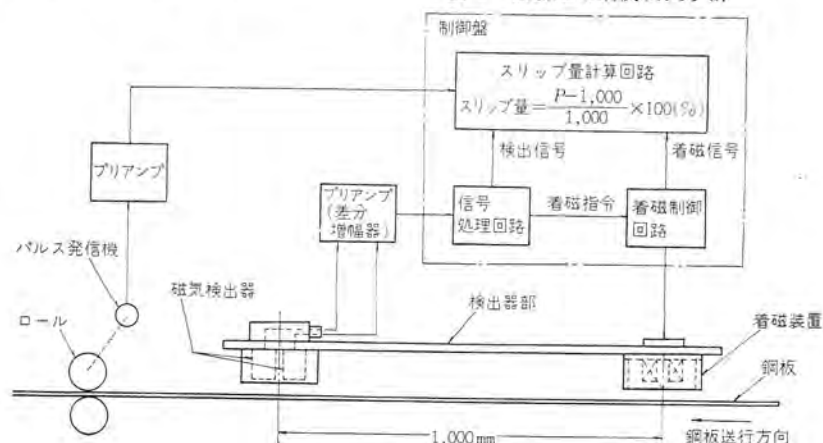
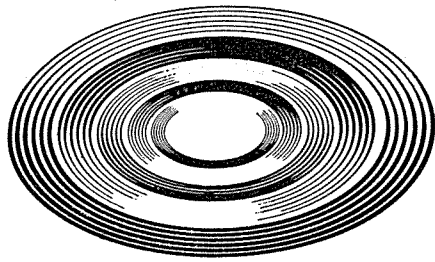


図 2 無接触形鋼板スリップ計構成図

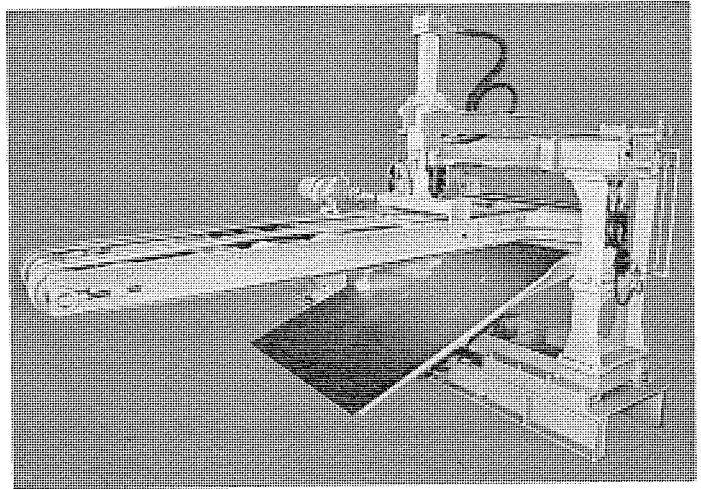


NEWS FLASH

薄鋼板コイル送り出し用マグネットコンベヤ装置を完成

製鉄所向け省力化機器の一環として、薄鋼板コイルの先端をマグネットで吸着して送り出す装置を製作し、某製鉄所に納入した。このマグネットコンベヤの駆動軸はピンチロールも兼ねているので、板の先端がピンチロール通過後も、所定の位置まで先端を送り出すことができる。この装置の使用により、コイルの先端を手でピンチロールに装着する作業が不要になり、ライン自動化の一端をになうものである。

【神戸製作所】



マグネットコンベヤ装置

インドネシア向け 62,500 kVA 空気冷却タービン発電機

当社ではこのほど、INDONESIA, TANDJUNG-PRIOK 発電所向け 62,500 kVA タービン発電機 2 台を完成し、厳格なる立合試験を好成績にて終えた。本機は空気冷却方式の 2 極タービン発電機としては、世界でも最大級である。なお励磁方式として直結直流励磁機方式を採用している。この発電機のおもな仕様は次のとおりである。

■ 発電機仕様

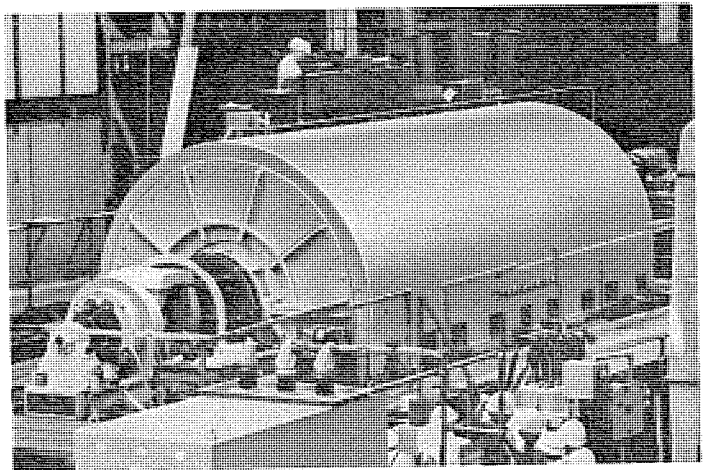
出力： 62,500 kVA, 50,000 kW
電圧： 13,800 V
周波数： 50 Hz
回転数： 3,000 rpm
力率： 0.8
形式： 円筒界磁全閉内冷形

■ 直流励磁機仕様

出力： 150 kW
電圧： 250 V
極数： 4 極
励磁(巻線)： 分巻(制御巻線付き)

本機は、47 年 6 月より運転開始し、現地の電力供給に活躍する予定である。

【長崎製作所】



工場試験中のタービン発電機

最近登録された当社の実用新案

| 名 称 | 登 録 日 | 登 録 番 号 | 考 案 者 | 関 係 場 所 |
|----------------------------|----------|---------|---|---------|
| 扉の開閉装置 | 45- 4-13 | 898552 | 吉川 英之 | 商品研究所 |
| 羽根車と電動機軸の結合装置 | 45- 4-13 | 898553 | 牛越 諒・小栗 敦 | 中津川製作所 |
| 冷却装置 | 45- 4-13 | 898558 | 高橋 博三 | 静岡製作所 |
| 電源保護装置 | 45- 4-13 | 898560 | 坂西 定雄 | 鎌倉製作所 |
| 電気機器の保護警報装置 | 45- 4-13 | 898562 | {八木 勝・梶谷 定之 篠原 芳男・滝本 定固 佐藤 良雄・鈴木 勝久 | 名古屋製作所 |
| 送風装置 | 45- 4-13 | 858569 | 長瀬卯三郎・斎藤 辰夫 | 中津川製作所 |
| 電動機用 ブラシ の取付け装置 | 45- 4-13 | 858572 | 長 嶺 元 | 群馬製作所 |
| 電気あんま器 | 45- 4-13 | 858580 | 小川 昇・川合 輝一 | 群馬製作所 |
| サイリススタチョップ 式電力制御装置 | 45- 4-13 | 898549 | 赤松 昌彦 | 中央研究所 |
| ホイスト付 マニプレータ | 45- 4-13 | 898550 | 藤原 智・梶田 勲 | 中央研究所 |
| 閉鎖形配電盤 | 45- 4-13 | 898554 | 川村 福蔵・安井 栄次 | 伊丹製作所 |
| 空気 イオン 比調整装置 | 45- 4-13 | 898555 | 平山 建一 | 和歌山製作所 |
| 空気 イオン 数調整装置 | 45- 4-13 | 898556 | 平山 建一 | 和歌山製作所 |
| 多端子送電線保護用 パイロット 継電装置 | 45- 4-13 | 898557 | 亀川 勇 | 神戸製作所 |
| ミシン などにおけるばね装置 | 45- 4-13 | 898559 | 本田 英三・辻本 忠司 | 和歌山製作所 |
| 自動 ジグザグミシンのカム 装置 | 45- 4-13 | 898561 | 藤田 次朗・堀本 耕一 | 和歌山製作所 |
| 鏡面板の支持装置 | 45- 4-13 | 898563 | 森川 洋・大沢 武 | 通信機製作所 |
| 照光模擬母線装置 | 45- 4-13 | 898564 | 立石 俊夫 | 神戸製作所 |
| 蓄電池充電装置 | 45- 4-13 | 898565 | 佐藤 正通 | 姫路製作所 |
| 表示線監視装置 | 45- 4-13 | 848566 | 下迫 賀生 | 神戸製作所 |
| 車輛用表示装置 | 45- 4-13 | 898567 | 福井 脩・平田 穀 | 姫路製作所 |
| 導体保持装置 | 45- 4-13 | 898568 | 原 忠之 | 姫路製作所 |
| 距離継電装置 | 45- 4-13 | 898570 | 三上一郎 | 神戸製作所 |
| 限時距離継電装置 | 45- 4-13 | 898571 | 三上一郎 | 神戸製作所 |
| 電気鉄道変電所用接続回路 | 45- 4-13 | 898573 | 岩垂 邦昭・石田 英樹 | 神戸製作所 |
| 接点の反跳防止装置 | 45- 4-13 | 898574 | 天野 恒 | 神戸製作所 |
| 貫通形変成器 | 45- 4-13 | 898575 | 金子正一・横山 栄一 | 福山製作所 |
| 貫通形変成器 | 45- 4-13 | 898576 | 金子正一・横山 栄一 | 福山製作所 |
| 貫通形変成器 | 45- 4-13 | 898577 | 金子正一・横山 栄一 | 福山製作所 |
| 機関点火時期調整装置 | 45- 4-13 | 898578 | 浅山 嘉明 | 姫路製作所 |
| ウォータークーラー | 45- 4-13 | 898579 | 三宅 良明・前中和 義 | 和歌山製作所 |
| ロータ 起動装置 | 45- 4-13 | 898582 | 畑田 稔 | 神戸製作所 |
| 電気あんま器 | 45- 4-13 | 898581 | {小川 昇・川合 輝一 鶴田 剛可 | 群馬製作所 |
| デジタル 記憶内容読出装置 | 45- 4-13 | 898583 | 蒲生 容二 | 鎌倉製作所 |
| フロースイッチ | 45- 4-13 | 898584 | 久山貴美雄・清水 誠 | 商品研究所 |
| 電磁開閉器 | 45- 4-13 | 898587 | 岡戸 弘行・中村 隆 | 名古屋製作所 |
| 油中 シールド 装置 | 45- 4-13 | 898585 | 鳥羽 靖男 | 伊丹製作所 |
| 直流器 | 45- 4-13 | 898586 | 杉原 治達 | 神戸製作所 |
| 押釦同調装置 | 45- 4-13 | 898588 | 大下 昌行 | 京都製作所 |
| 自動車用内燃機関起動制御装置 | 45- 4-17 | 898582 | 浅野 哲正 | 姫路製作所 |
| 機関用 フライホールマグネット | 45- 4-23 | 899562 | 三木 隆雄 | 姫路製作所 |
| 機関点火用信号発生装置 | 45- 4-23 | 899563 | 大西 正義 | 姫路製作所 |
| 回転電機の回転界磁 | 45- 4-23 | 899564 | 八木慎太郎・長谷川 四郎 | 姫路製作所 |
| 自動車の排気 ガス 浄化装置 | 45- 4-23 | 899568 | 星川 光清・篠 亨 | 姫路製作所 |
| 照明器具用 セード | 45- 4-23 | 899549 | 山崎 肇・保田 智行 | 大船製作所 |
| 電気加熱器 | 45- 4-23 | 899550 | {高橋 正晨・村岡 和典 鶴谷 嘉正 | 群馬製作所 |
| 灯具用 セード 取付装置 | 45- 4-23 | 899551 | 山崎 肇・保田 智行 | 大船製作所 |
| 扇風機的首振旋回角度表示装置 | 45- 4-23 | 899552 | {加藤 悟・飯塚 保 角野 英雄 | 中津川製作所 |
| 照明用 ランプカバー | 45- 4-23 | 899553 | 小笠原善丸・井上 員成 | 大船製作所 |
| 照明器具用 セード | 45- 4-23 | 899554 | 小田切満寿雄・山崎 肇 | 大船製作所 |
| 操作用 ハンドル 付電気機器のスイッチ 取付装置 | 45- 4-23 | 899555 | 服部 信道・森田 清司 | 群馬製作所 |
| 移動用 ハンドル を有する電気機器のコード 巻付装置 | 45- 4-23 | 899556 | 服部 信道・森田 清司 | 群馬製作所 |
| 照明用 ルーバー | 45- 4-23 | 899557 | 鈴木 実 | 大船製作所 |

最近登録された当社の実用新案

| 名 称 | 登 録 日 | 登 録 番 号 | 考 案 者 | 関 係 場 所 |
|--------------------|----------|---------|-------------------------|---------|
| 膨張式すべり台の投下装置 | 45- 4-23 | 899558 | 藤田良二 | 相模製作所 |
| 温水器 | 45- 4-23 | 899559 | 宮崎昭信・鶴谷嘉正 | 群馬製作所 |
| 石油燃焼機の燃焼制御装置 | 45- 4-23 | 899560 | 中村新一 | 商品研究所 |
| 石油燃焼機の燃焼制御装置 | 45- 4-23 | 899561 | 小林恵治・中村新一 | 商品研究所 |
| 換気扇 | 45- 4-23 | 899565 | 中岡 洋・今井 進 | 中津川製作所 |
| 救命艇覆い | 45- 4-23 | 899566 | 大久保貫一 | 相模製作所 |
| 船舶用膨張型滑り台の安全弁 | 45- 4-23 | 899567 | 宇川 彰・山口彰弘 | 相模製作所 |
| 電動機のブラシ摩耗報知装置 | 45- 4-23 | 899569 | 長嶺 元 | 群馬製作所 |
| 電気あんか | 45- 4-23 | 899572 | 内田武士・鈴木清治 | 郡山製作所 |
| 保温器 | 45- 4-23 | 899574 | 中村富家・大竹 操 | 群馬製作所 |
| オーブントースタ | 45- 4-23 | 899575 | 野畑昭夫・丹野正道 | 群馬製作所 |
| クレーン車 | 45- 4-23 | 899570 | 森川 洋・大林愛弘 | 通信機製作所 |
| ブラシ押え装置 | 45- 4-23 | 899571 | 中野 修 | 長崎製作所 |
| 機関点火用断続装置 | 45- 4-23 | 899573 | 大西正義 | 姫路製作所 |
| 冷水供給装置 | 45- 4-23 | 899576 | 岩崎喜彦・西本嘉尹 | 和歌山製作所 |
| 機関点火用配電器 | 45- 4-23 | 899577 | 荒川利弘 | 姫路製作所 |
| 点火時期調整装置 | 45- 4-23 | 899578 | 浅山嘉明 | 姫路製作所 |
| 機関点火時期調整装置 | 45- 4-23 | 899579 | 浅山嘉明 | 姫路製作所 |
| 内燃機関点火装置 | 45- 4-23 | 899580 | 浅山嘉明 | 姫路製作所 |
| テープレコーダの切換装置 | 45- 4-23 | 899581 | 吉川英之 | 商品研究所 |
| 換気扇 | 45- 4-23 | 899582 | 今井 進 | 中津川製作所 |
| 電気ストーブ用ケース | 45- 4-23 | 899583 | 慶野長治・内藤修一 | 群馬製作所 |
| 製氷装置 | 45- 4-23 | 899585 | {野畑和夫・森本敏夫 小川 昇・長尾吉彦 | 商品研究所 |
| 導波管 | 45- 4-23 | 899584 | 小笠原信雄・鍛冶宣人 | 中央研究所 |
| 刷子装置 | 45- 4-23 | 899586 | 岩城良之 | 姫路製作所 |
| 電熱布の温度制御装置 | 45- 5-13 | 900645 | 中村富家・慶野長治 | 群馬製作所 |
| つり下げ式気体膨張形救命袋 | 45- 5-13 | 900646 | 宇川 彰 | 中央研究所 |
| 船舶用気体膨張式すべり台 | 45- 5-13 | 900647 | 福家 章・大久保貫一 | 相模製作所 |
| ポット式燃油装置 | 45- 5-13 | 900648 | 加藤敏治・斎藤梅里 | 日本建鉄 |
| 回転電機 | 45- 5-13 | 900649 | 和田義彦 | 名古屋製作所 |
| クラッチモートル | 45- 5-13 | 900650 | 横山昌弘・林 農 | 名古屋製作所 |
| アイロン仕上台 | 45- 5-13 | 900651 | 野畑昭夫・荒木 勲 | 群馬製作所 |
| ヘアードライヤ | 45- 5-13 | 900657 | 武井久夫 | 群馬製作所 |
| ヘアードライヤ | 45- 5-13 | 900658 | 武井久夫 | 群馬製作所 |
| ブラグ | 45- 5-13 | 900659 | 嶋田 弘 | 鎌倉製作所 |
| ヘアードライヤ | 45- 5-13 | 900661 | 武井久夫・小川 昇 | 群馬製作所 |
| ヘアードライヤ | 45- 5-13 | 900662 | 武井久夫・小川 昇 | 群馬製作所 |
| 電気掃除機用集塵表示器の取り付け装置 | 45- 5-13 | 900663 | 南日国伸 | 群馬製作所 |
| 衣類乾燥機の水受装置 | 45- 5-13 | 900664 | 鶴谷嘉正 | 群馬製作所 |
| 掃除機用吸口の錠止装置 | 45- 5-13 | 900665 | 武井久夫・加藤 悟 | 群馬製作所 |
| 空気調和機の保護装置 | 45- 5-13 | 900667 | {小原英一・山下紀夫 中村新一 | 商品研究所 |
| 流速検知装置 | 45- 5-13 | 900668 | {小原英一・山下紀夫 中村新一 | 商品研究所 |
| 内燃機関点火装置 | 45- 5-13 | 900652 | 三木隆雄 | 姫路製作所 |
| 自動車の自動走行装置 | 45- 5-13 | 900653 | 中田浩一 | 姫路製作所 |
| 機関点火時期調整装置 | 45- 5-13 | 900654 | 三木隆雄 | 姫路製作所 |
| 多信号表示装置 | 45- 5-13 | 900655 | 小川裕三 | 神戸製作所 |
| 主幹制御器用デッドマン装置 | 45- 5-13 | 900656 | 植田幸雄 | 伊丹製作所 |
| 無整流子電動機装置 | 45- 5-13 | 900660 | 赤松昌彦 | 中央研究所 |
| 器具収納箱 | 45- 5-13 | 900666 | 石橋賢悟 | 神戸製作所 |
| 内燃機関点火装置 | 45- 5-13 | 900669 | 三木隆雄 | 姫路製作所 |

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2番3号(三菱電機ビル) (電) 100 (電) 東京 (03) 218局2111番

| | | |
|----------|----------------------------------|--------------------------|
| 大阪営業所 | 大阪市北区梅田町8番地(西阪神ビル)(電) 530 | (電) 大阪 (06) 343局1231番 |
| 名古屋営業所 | 名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル)(電) 450 | (電) 名古屋 (052) 561局5311番 |
| 静岡出張所 | 静岡市伝馬町16の3番地(明治生命静岡支社)(電) 420 | (電) 静岡 (0542) 54局4681番 |
| 福岡営業所 | 福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル)(電) 810 | (電) 福岡 (092) 72局2111番 |
| 長崎出張所 | 長崎市丸尾町7番8号(長崎底曳会館)(電) 852 | (電) 長崎 (0958) 23局6101番 |
| 札幌営業所 | 札幌市北2条西4丁目1番地(北海道ビル)(電) 060-91 | (電) 札幌 (011) 261局9111番 |
| 仙台営業所 | 仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル)(電) 980 | (電) 仙台 (0222) 21局1211番 |
| 富山営業所 | 富山市桜木町1番29号(電) 930 | (電) 富山 (0764) 31局8211番 |
| 広島営業所 | 広島市中町7番32号(日本生命ビル)(電) 730 | (電) 広島 (0822) 47局5111番 |
| 岡山出張所 | 岡山市駅前町1丁目9番地(明治生命館)(電) 700 | (電) 岡山 (0862) 25局5171番 |
| 高松営業所 | 高松市鶴屋町2番1号(電) 760 | (電) 高松 (0878) 51局0001番 |
| 新潟営業所 | 新潟市東大通1丁目2番地23号(北陸ビル)(電) 950 | (電) 新潟 (0252) 45局2151番 |
| 東京商品営業所 | 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル)(電) 100 | (電) 東京 (03) 218局2111番 |
| 関東商品営業所 | 与野市上落合後原842番地(電) 338 | (電) 与野 (0488) 33局3181番 |
| 大阪商品営業所 | 大阪市北区堂島北町8番地の1(電) 530 | (電) 大阪 (06) 344局1231番 |
| 名古屋商品営業所 | 名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル)(電) 450 | (電) 名古屋 (052) 561局5311番 |
| 機器静岡営業所 | 静岡市小島2丁目1番22号(電) 420 | (電) 静岡 (0542) 82局2061番 |
| 機器浜松営業所 | 浜松市上西町42の5(電) 430 | (電) 浜松 (0534) 63局6121番 |
| 福岡商品営業所 | 福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル)(電) 810 | (電) 福岡 (092) 72局2111番 |
| 札幌商品営業所 | 札幌市北2条西4丁目1番地(北海道ビル)(電) 060-91 | (電) 札幌 (011) 261局9111番 |
| 仙台商品営業所 | 仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル)(電) 980 | (電) 仙台 (0222) 21局1211番 |
| 北陸商品営業所 | 金沢市小坂町西97番地(電) 920 | (電) 金沢 (0762) 52局1151番 |
| 広島商品営業所 | 広島市中町7番32号(日本生命ビル)(電) 730 | (電) 広島 (0822) 47局5111番 |
| 高松商品営業所 | 高松市鶴屋町2番1号(電) 760 | (電) 高松 (0878) 51局0001番 |
| 東京機器営業所 | 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル)(電) 100 | (電) 東京 (03) 218局2111番 |
| 大阪機器営業所 | 大阪市北区堂島北町8番地の1(電) 530 | (電) 大阪 (06) 344局1231番 |
| 中央研究所 | 尼崎市南清水字中野80番地(電) 661 | (電) 大阪 (06) 491局8021番 |
| 生産技術研究所 | 尼崎市南清水字中野80番地(電) 661 | (電) 大阪 (06) 491局8021番 |
| 商品研究所 | 鎌倉市大船2丁目14番40号(電) 247 | (電) 鎌倉 (0467) 46局6111番 |
| 神戸製作所 | 神戸市兵庫区和田崎町3丁目10番地の1(電) 652 | (電) 神戸 (078) 67局5041番 |
| 伊丹製作所 | 尼崎市南清水字中野80番地(電) 661 | (電) 大阪 (06) 491局8021番 |
| 三田工場 | 三田市三輪町父々部85番地(電) 669-13 | (電) 三田 (07956) 4371番 |
| 長崎製作所 | 長崎市丸尾町6番14号(電) 850-91 | (電) 長崎 (0958) 23局6211番 |
| 福沢製作所 | 福沢市菱町1番地(電) 492 | (電) 福沢 (0587) 32局8111番 |
| 和歌山製作所 | 和歌山市岡町91番地(電) 640-91 | (電) 和歌山 (0734) 23局7231番 |
| 鎌倉製作所 | 鎌倉市上町屋325番地(電) 247 | (電) 鎌倉 (0467) 46局1111番 |
| 通信機製作所 | 尼崎市南清水字中野80番地(電) 661 | (電) 大阪 (06) 491局8021番 |
| 北伊丹製作所 | 伊丹市瑞原4丁目1番地(電) 664 | (電) 伊丹 (0727) 82局5131番 |
| 熊本第一工場 | 熊本市竜田町弓削720番地(電) 862 | (電) 熊本 (0963) 62局7211番 |
| 熊本第二工場 | 熊本県菊池郡西合志町御代志997(電) 861-11 | (電) 熊本 (0963) 43局0951番 |
| 名古屋製作所 | 名古屋市中区矢田町18丁目1番地(電) 461 | (電) 名古屋 (052) 721局2111番 |
| 旭工場 | 尾張旭市下井町下井(電) 488 | (電) 尾張旭 (05615) 3局5101番 |
| 福岡製作所 | 福岡市今宿青木690番地(電) 819-01 | (電) 福岡今宿 (09295) 6局0431番 |
| 福山製作所 | 福山市緑町1番8号(電) 720 | (電) 福山 (0849) 21局3211番 |
| 相模製作所 | 相模原市宮下1丁目1番57号(電) 229 | (電) 相模原 (0427) 72局5131番 |
| 姫路製作所 | 姫路市千代田町840番地(電) 670 | (電) 姫路 (0792) 23局1251番 |
| 静岡製作所 | 静岡市小島3丁目18番1号(電) 420 | (電) 静岡 (0542) 85局1111番 |
| 中津川製作所 | 中津川市駒場町1番3号(電) 508 | (電) 中津川 (05736) 6局2111番 |
| 大船製作所 | 鎌倉市大船5丁目1番1号(電) 247 | (電) 鎌倉 (0467) 46局6111番 |
| 郡山製作所 | 郡山市栄町2番25号(電) 963 | (電) 郡山 (0249) 32局1220番 |
| 群馬製作所 | 群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地(電) 370-04 | (電) 尾島 (02765) 2局1111番 |
| 藤岡工場 | 藤岡市本郷字別所1173番地(電) 375 | (電) 藤岡 (02742) 2局1185番 |
| 京都製作所 | 京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字図所1番地(電) 617 | (電) 京都 (075) 921局4111番 |
| 長野工場 | 長野市大字南長池字村前(電) 380 | (電) 長野 (0262) 27局1101番 |
| 札幌営業所 | 札幌市北2条東12丁目98番地(電) 060 | (電) 札幌 (011) 231局5544番 |

下水・廃水処理プラント用電機品特集

《特集論文》

- 茨城県鹿島臨海都市計画 下水道 深芝処理場向け電機設備
- 八王子市北野下水処理場向け電機計装設備
- 首都高速道路公団 箱崎ポンプ所向け電機設備
- 東京都 10, 11, 14 号埋立地ポンプ所向け電機設備
- 愛知県甚目寺排水機場向け電機・機械設備

《普通論文》

- MELCOM 350 制御用計算機の入出力システム
- スタンドアロン形カラーキャラクタディスプレイ

イ装置

- 原子力船「むつ」乗員訓練用シミュレータ
- 日本国有鉄道 常磐線電車用 ATC 試験設備
- 乗車券発売機用テープさん孔装置
- 最近のロープウェイ用電機品
- コンデンサプッシング形計器用変圧器
- 誘導電動機における開閉サージ問題と真空開閉器の適用

《技術解説》

- 大気汚染と空気清浄機

三菱電機技報編集委員会

| | | | |
|------|-----------|------|---------|
| 委員長 | 正 木 茂 雄 | 常任委員 | 湊 武 雄 |
| 副委員長 | 神 崎 邇 | " | 武 藤 正 |
| 常任委員 | 石 川 理 一 | " | 福 家 章 |
| " | 上 田 重 夫 | 委 員 | 待 鳥 正 |
| " | 宇 佐 見 重 夫 | " | 北 垣 成 一 |
| " | 北 川 和 人 | " | 田 附 和 夫 |
| " | 古 賀 亨 | " | 南 日 達 郎 |
| " | 小 堀 富 次 雄 | " | 秦 卓 也 |
| " | 鈴 木 正 材 | " | 林 昇 寿 |
| " | 牧 野 六 彦 | " | 松 元 雄 蔵 |

(以上 50 音順)

昭和 46 年 11 月 22 日印刷 昭和 46 年 11 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 2 番 3 号

正 木 茂 雄

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地
(郵便番号 162)

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 12 番地

高 橋 武 夫

発行所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号 (郵便番号 100)

三菱電機株式会社内

「三菱電機技報社」

(電) (03) 218 局 2323 番

発売元

東京都千代田区神田錦町 3 の 1 (郵便番号 151)

株式会社 オーム社書店

(電) (03) 291 局 0912 番 振替東京 20018