

MITSUBISHI DENKI GIHO

三菱電機技報



Vol.57 No.7

交流可変速技術と応用特集



7
1983

三菱電機技報 Vol.57 No.7 1983

交流可変速技術と応用特集

目次

特集論文

交流可変速技術の車両への応用.....	1
居蔵和徳・加我 敦・大野義隆・小尾秀夫・中本紀明	
電動機可変速制御用汎用DDCシステム.....	6
岩永俊之・坪井克剛・小宮弘道・増田博之・荒井喜八	
鉄鋼補機用トランジスタVVVF装置.....	10
欠野楨成・森 幸男・西 祥男・重信正広・原 康博	
圧延用直流多相式サイリスタモータの特性と応用.....	15
朝枝健明・松浦敏明・富永善治・細川靖彦・宇高正晴	
工作機用AC主軸装置のデジタル化.....	19
水野公元・海野真人・坂崎正一・林田隆洋	
ACサーボシステム.....	23
杉本英彦・松本 宏・竹下虎男	
新形汎用インバータ.....	27
長南克彦・多田英明・甲藤政之・宮島 徹・大上正勝	
インバータ駆動ポンプ・ファン専用中容量電動機.....	31
照山英俊・森 邦雄	
可変速シミュレーション装置の開発と応用.....	35
柳沢公人・鎌倉孝幸・大上正勝	

普通論文

愛知県納め東浦支線地区配水管理システム.....	41
三浦 望・城島登士治・牧本健二	
高速道路用振動制御装置.....	46
藤野正太郎・丸山 泰・亀井信夫・古石喜郎・富沢正雄	
在来鉄道車両用総合試験装置.....	51
阿武茂生・小林博行・本多隆一・長井成吉・宮川誠二	
加入電話網用専用端末装置.....	56
岡村 繁・西村俊彦・林 信喜・田辺一郎	
20kV級受配電用小形高性能限流ヒューズ.....	61
藤田武彦・不動弘幸・秋定三津男・横内一浩	

特許と新案..... 39, 68

交流の給電制御方式

パルスモータの駆動回路

スポットライト

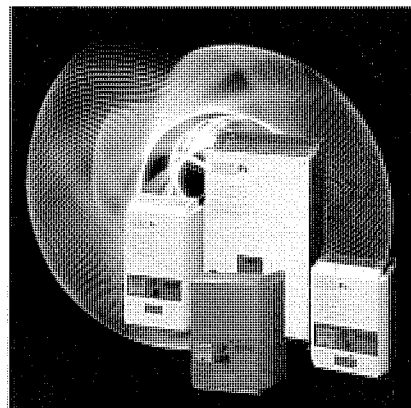
三菱カラーサーマルプリントM4234.....	40
三菱温水洗浄便座《シャワーリカ》.....	67
三菱電子フルカラーフラットディスプレイ《スペクタス》.....	(表3)

表紙

VVVF汎用トランジスタインバータ

《FREQROL-F₂, FREQROL-Kシリーズ》

モータ可変速用インバータは、省エネルギーと省力・自動化用に需要が急増しているが、このシリーズは従来の《FREQROL-Eシリーズ》に加え、市場ニーズに合った専用機能を追加、更に小形軽量化を図った製品である。《FREQROL-F₂》は省エネルギー用シリーズで地絡保護など保護機能充実、瞬停再始動オプション内蔵可能。《FREQROL-K》は一般産業機械の自動化・省力化用シリーズで、ブレーキ回路内蔵、最高周波数240Hz、小容量全閉鎖構造などの特長をもっている。



アブストラクト

交流可変速技術の車両への応用

居蔵和徳・加我 敦・大野義隆・小尾秀夫・中本紀明

三菱電機技報 Vol.57・No.7・P1～5

交流可変速技術を応用したインバータ電車は、この制御方式固有の特長が最もうまくいかされたシステムであり、世界的に導入される気運にある。

本文では、車両推進用に適用するときの特殊性と制御方式を概説し、設計サポート用のシミュレーション技術と検証設備についても紹介した。また、当社の交流電動機駆動システムの開発経緯と、今回新しく開発したDC750V及び1,500V用標準タイプのインバータ装置について報告する。

工作機用AC主軸装置のデジタル化

水野公元・海野真人・坂崎正一・林田隆洋

三菱電機技報 Vol.57・No.7・P19～22

従来アナログ制御装置の分野と称された電動機可変速制御装置にも近年ますます廉価、高機能化してきたマイクロコンピュータによるDDC化が進んできた。このたび工作機用AC主軸インバータ装置を当社の工作機制御に関する豊富な経験をもとに最新の16ビットマイクロコンピュータとパワーエレクトロニクス技術を駆使しDDC化を図った。これにより制御の高度化、小形化、調整要素の極小化が達成されコストパフォーマンスが大幅に向上した。

電動機可変速制御用汎用DDCシステム

岩永俊之・坪井克剛・小宮弘道・増田博之・荒井喜八

三菱電機技報 Vol.57・No.7・P6～9

電動機可変速制御へのDDCの応用は、近年適用範囲が急速に拡大しつつある。DDCの適用には多くの目的が考えられるが、特に異機種間のハードウェアの共通化とリレーシーケンス、モニタリング機能などを含めたトータル制御を目指した汎用DDCシステムを開発し製品化したので、システムの概要を示すとともに、一例としてクリップ付き電流形インバータ制御に適用した場合について報告する。

ACサーボシステム

杉本英彦・松本 宏・竹下虎男

三菱電機技報 Vol.57・No.7・P23～26

NC制御をはじめ産業メカトロニクスのサーボ用として、この度、メンテナンスフリー及び高信頼性を目指したACモータによるサーボシステムを開発した。モータは永久磁石ロータを有する三相同期電動機であり、0.4～2.8kWの5機種を第一ステップとして製作し、更に小容量及び大容量を開発中である。制御性能はDCサーボと同等以上を目指している。

ここに、ACサーボシステムの原理、性能、特長及び用途などについて紹介する。

鉄鋼補機用トランジスタVVVF装置

矢野禎成・轟 幸男・西 祥男・重信正広・原 康博

三菱電機技報 Vol.57・No.7・P10～14

近年パワー・トランジスタの大電流化・高圧化が急速に進み、中容量インバータへのパワー・トランジスタの適用が可能になった。

このたび鉄鋼補機ラインの交流可変速電源として、単一の直流電源から複数のトランジスタ・インバータに給電する直流配電方式VVVFインバータをシリーズ化した。

本稿ではこの動作原理、システム構成、運転特性などについて述べる。

新形汎用インバータ

長南克彦・多田英明・甲藤政之・宮島 徹・大上正勝

三菱電機技報 Vol.57・No.7・P27～30

汎用インバータは省エネルギーをはじめ、省力化、自動化のニーズにこたえ、その用途及び市場は急速に拡大している。その中で最近、ポンプ、ブローなどの省エネルギー用、一般機械用というように機種の分極化の要求が高まり、各用途に最適な制御機能とモートル駆動特性の向上が期待されている。

本稿では、用途別に最適設計した新形インバータ《FREQROL-K》及び《FREQROL-F₂》各シリーズの概要とそのモートル駆動特性について述べる。

圧延用直流多相式サイリスタモータの特性と応用

朝枝健明・松浦敏明・富永善治・細川靖彦・宇高正晴

三菱電機技報 Vol.57・No.7・P15～18

省力化、高性能化、無保守化の時代要請にこたえ、圧延用電動機として直流機に代り、最近では交流機の適用が多くなってきた。

直流多相式サイリスタモータは大容量機に適するもので、急速に発展してきたパワーエレクトロニクス技術を活用して従来の直流電動機と同等以上の性能をもっている。ここにその概要、特性と応用について述べる。

インバータ駆動ポンプ・ファン専用中容量電動機

照山英俊・森 邦雄

三菱電機技報 Vol.57・No.7・P31～34

フレームの材質に従来の鋳鉄にかえて熱伝導性の良いアルミ合金を使用し、冷却効率の改善を行うことで小形軽量化を図るとともに、特殊エポキシ樹脂をベースとした新絶縁システムの採用によりコイルとコア及びフレームを一体注型することで剛性の向上を図り、インバータ電源のひずみ波により発生する振動騒音を抑えたことを特長とするインバータ駆動ポンプ及びファン専用中容量電動機について述べる。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 7, pp. 19~22 (1983)

The Trend Toward Digital AC Machine-Tool Spindle Inverters

by Masamoto Mizuno, Mahito Unno, Shoichi Sakazaki
& Takahiro Hayashida

Variable motor-speed control was long the preserve of analog controllers, but the trend in recent years has been toward the adoption of microprocessors to allow direct digital control. Based on years of experience in the machine-tool field and state-of-the-art technology for 16-bit microprocessors and power electronics, Mitsubishi Electric has developed a direct digital control AC spindle inverter. This novel inverter features highly sophisticated control and reduced size, and requires far fewer adjustments, providing greatly improved cost/performance.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 7, pp. 1~5 (1983)

The Application of a Three-Phase AC Drive System to Rolling Stock

by Kazunori Igura, Atsushi Kaga, Yoshitaka Ono, Hideo Obi
& Noriaki Nakamoto

The use of three-phase AC drive technology in railcars fed by inverters constitutes a system that successfully exploits the special characteristics of this method of control, and is being widely adopted for rolling stock throughout the world. The article introduces the special considerations affecting its application to railcar propulsion and the control system used. It goes on to introduce the simulation techniques used for design support and the performance-testing facilities. The article also covers the history of the development of Mitsubishi Electric's three-phase AC drive system and describes newly developed inverter equipment for 750 and 1,500VDC.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 7, pp. 23~26 (1983)

An AC Servo System

by Hidehiko Sugimoto, Hiroshi Matsumoto & Torao Takeshita

Mitsubishi Electric has developed an AC servo system for numerical control and mechatronic applications aimed at maintenance-free operation and high reliability. This system includes a three-phase synchronous motor with a permanent-magnet rotor. Starting with five models of 0.4~2.8kW, Mitsubishi Electric is now developing AC servo systems for both small- and large-capacity applications. Their servo performance is a considerable improvement over DC servomotors. The article discusses the principles, performance, characteristics, and applications of the AC servo system.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 7, pp. 6~9 (1983)

A General-Use DDC System for Variable-Speed Control of Motors

by Toshiyuki Iwanaga, Katsutaka Tsuboi, Hiromichi Komiya, Hiroyuki Masuda
& Kihachi Arai

The rapid increase in the range of applications for direct digital control (DDC) in recent years is now extending to the area of variable motor-speed control. There are many potential advantages to be gained from the introduction of DDC, and Mitsubishi Electric has therefore developed and marketed a general-purpose DDC system specifically to achieve both standardization of the hardware used for different models and total control, including relay sequencing and monitoring. The article gives an overview of the DDC system along with an example of the system's application to inverter current control using a clipper.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 7, pp. 27~30 (1983)

A New Versatile Inverter

by Katsuhiko Chonan, Hideaki Tada, Masayuki Katto, Toru Miyajima
& Masakatsu Daijo

The demand for savings in energy and manpower and for increased automation has led to a growing and ever more diversified market for versatile inverters. Demand is now tending to polarize into two main areas of application: one for power-saving pumps and blowers, and the other for general-use machines. Each type of application calls for optimum control functions and improved motor-drive characteristics. The article includes brief descriptions of the FREQROL-K and FREQROL-F2 series of inverters developed for specific applications and the corresponding running characteristics of the motors.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 7, pp. 10~14 (1983)

A Transistor VVVF Systems for the Auxiliary Drives of Mills and Processing Lines

by Sadanari Yano, Yukio Todoroki, Yoshio Nishi, Masahiro Shigenobu
& Yasuhiro Hara

Recent significant increases in the large-current, high-voltage ratings of power transistors mean that they can now be used for medium-capacity inverters. Mitsubishi Electric has completed a series of novel VVVF (variable-voltage, variable-frequency) systems. These can be used as variable-speed AC power supplies for mill auxiliary lines, with the DC line voltage distributed to multiple transistor inverters. Descriptions are given of the operating principle, system configuration, and running characteristics of the transistor VVVF system.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 7, pp. 31~34 (1983)

An Inverter-Driven Medium-Size Induction Motor for Pumps and Fans

by Hidetoshi Teruyama & Kunio Mori

The article deals with an innovative Mitsubishi medium-capacity motor for inverter-driven pumps and fans. The motor features the adoption of aluminum alloy, with its higher heat conductivity, to replace conventional cast iron, exploiting the improved cooling effect to achieve a compact, lightweight design. Other features include a new insulation system, based on a special epoxy resin, with integrally molded coils, cores, and frames for increased sturdiness, thus reducing the vibration and noise caused by harmonics in the inverter-source waveform.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 7, pp. 15~18 (1983)

The Performance and Application of a Multiphase Thyristor Motor with a DC Link for Metal-Rolling Mills

by Takeaki Asaeda, Toshiaki Matsuura, Yoshiharu Tominaga,
Yasuhiro Hosokawa & Masaharu Uda

Recent demand for reduced power consumption, higher performance, and greater freedom from maintenance requirements has stimulated the replacement of DC motors by AC motors in metal-rolling mills. A multiphase thyristor motor with a DC link has been developed. Embodying recent advanced power-electronics technology, it is suited to large-capacity applications. This new motor features performance greatly superior to conventional DC motors. The article gives a brief description of the thyristor motor, its performance, and applications.

アブストラクト

可変速シミュレーション装置の開発と応用

柳沢公人・鎌倉孝幸・大上正勝

三菱電機技報 Vol.57・No.7・P35～38

この装置はインバータの最適出力波形を追求するため、インバータと誘導電動機の開発ツールとして開発した。所望波形データをオフラインでミニコン《MELCOM70/60》のディスク上に貯えた後、そのデータを高速でオンラインにてインタフェースを介して、MOS-FETからなるドライブユニットに払い出し、電動機を実際に駆動する方式とした。検証用として、プロッタに電圧波形、フーリエ級数展開結果などを描き出す機能を持っている。最後に応用例についても紹介する。

在来鉄道車両用総合試験装置

阿武茂生・小林博行・本多隆一・長井成吉・宮川誠二

三菱電機技報 Vol.57・No.7・P51～55

近畿日本鉄道㈱は、近年の輸送力増強による車両の増加に対処するため、大阪線五位堂駅付近に検修車庫を新設した。ここに納入された出場検査装置は、工業用計算機《MELCOM 350-A2100》を用い、車両を分解、整備した後の出場検査を効率良く行うとともに、事務用計算機《MELCOM 70/60》によるデータ処理も可能な装置としている。

本稿ではこの装置の概要を説明し、鉄道車両検修業務の関係される方々の参考に供した。

愛知県納め東浦支線地区配水管理システム

三浦 望・城島登士治・牧本健二

三菱電機技報 Vol.57・No.7・P41～45

近年の水需要の増加及び生産の効率化に伴い、農業用水の分野でも水の有効利用、水の適正配分、災害の軽減、管理の省力化が期待されている。愛知用水東浦支線地区について、広域監視制御装置《MELFLEX》の情報伝送機能とプロセスコントローラ《MACTUS》のDDC機能を中心とした配水管理システムを愛知県に納入したのでここに紹介する。

加入電話網用専用端末装置

岡村 繁・西村俊彦・林 信喜・田辺一郎

三菱電機技報 Vol.57・No.7・P56～60

日本電信電話公社の一連の回線自由化施策に伴い、電話網を利用した通信端末装置の需要が急増しており、いずれも汎用品の組合せではなく専用端末化の傾向にある。

ここではマイクロプロセッサ(μP)を主要素子として、電話網制御部(NCU)、FSKモデム部、データ端末部(DTE)を一体化して、小形・低価格化を図った《MELFLEX 102/302》異常通報システム及びNCU、ADPCM(適応差分PCM)方式の音声合成部、DTE部を一体化した《メルホン8》遠方音声通報装置について紹介する。

高速道路用振動制御装置

藤野正太郎・丸山 泰・亀井信夫・古石喜郎・富沢正雄

三菱電機技報 Vol.57・No.7・P46～50

高架形高速道路に隣接した建物の振動公害を低減する目的で、高速道路用振動制御装置の開発を行っている。この装置は構造物の動的特性を電気-機械的に改善しようとするもので、構造物には制振用のコントロールデバイスが取り付けられ外部より制振エネルギーが供給される。

ここでは、この装置の開発の経緯、基礎理論、現地での振動実測、模型による制御実験などについてその概略を報告する。

20kV級受配電用小形高性能限流ヒューズ

藤田武彦・不動弘幸・秋定三津男・横内一浩

三菱電機技報 Vol.57・No.7・P61～66

22kV・33kV配電は拡大の一途にあるが、この直接受電の比較的小容量需要家には、主遮断装置が限流ヒューズと負荷開閉器とからなるPF・LBS形の簡易受電方式が、多用されてゆくものと思われる。受電盤の小形化・高性能化・低廉化のためには、この方式の遮断装置の中心をなしている限流ヒューズが大きな検討要素である。そこで、今回関西電力㈱と三菱電機㈱との共同研究によって、寸法、重量が $\frac{1}{3}$ 、最小遮断電流が100秒溶断電流のヒューズを開発した。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 7, pp. 51~55 (1983)

Computer-Aided Overall Test Equipment for Use on Existing Standard Electric Trains

by Shigeo Anno, Hiroyuki Kobayashi, Ryuichi Honda, Naruyoshi Nagai & Seiji Miyakawa

Mitsubishi Electric delivered inspection equipment for a car shed recently built by Kinki Nippon Railway Co. near its Osaka Line Goido Station to handle the increased numbers of railcars needed to meet expanded transport-capacity demand. Using the Mitsubishi MELCOM 350 Model A2100 industrial computer, the test equipment allows efficient final inspection of electric trains after disassembly and reassembly. Data processing is handled by a MELCOM 70 Model 60 small business computer. The description of this equipment in the article is oriented to those involved in railcar inspection.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 7, pp. 35~38 (1983)

A Simulator for Variable-Speed Apparatus

by Kimito Yanagisawa, Takayuki Kamakura & Masakatsu Daijo

This simulator contributes to the development of inverters and induction motors by simulating inverter output waveforms to identify the optimum ones. The proposed waveform data is first stored, off-line, on the disks of a MELCOM 70 Model 60 minicomputer and then read, on-line, at high speed. The data is output via an interface to the MOS-FET drive unit used to drive the motor. For verification, the simulator can output the voltage waveform and Fourier analysis data to a plotter. The article also discusses applications of the simulator.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 7, pp. 56~60 (1983)

Special-Purpose Terminal Equipment Used Over the Telephone Network

by Shigeru Okamura, Toshihiko Nishimura, Nobuyoshi Hayashi & Ichiro Tanabe

Accompanying a series of measures to liberalize the use of lines controlled by the Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation, there is an increasing demand for communications terminal equipment using the telephone network. This terminal equipment tends to be special purpose, rather than a combination of general-purpose units. The article introduces two systems: the MELFLEX 102, 302 compact, low-cost, automatic alarm and calling systems consisting of a microprocessor, network control unit (NCU), frequency-shift keying MODEM, and data-processing terminal equipment (DTE), and the MELPHONE 8 remote voice and alarm equipment consisting of an NCU, speech synthesizer with adaptive differential PCM, and built-in DTE.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 7, pp. 41~45 (1983)

A Centralized Water-Supply Management System for the Higashiura Branch Area

by Nozomu Miura, Toshiharu Jojima & Kenji Makimoto

The recent growing demand for water supplies and high productivity in agriculture calls for the efficient utilization of water, an optimized water supply, protection from natural calamities, and a management system that offers manpower economies. Mitsubishi Electric has developed, for the Higashiura Branch Area of Aichi Prefecture, a new centralized water-supply management system providing both the data-transmission functions of MELFLEX remote supervisory-control equipment and the direct digital-control functions of MACTUS process controllers. The article discusses the new management system briefly.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 7, pp. 61~66 (1983)

A Current-Limiting Power Fuse for 20kV Class Electric-Power Distribution and Receiving Systems

by Takehiko Fujita, Hiroyuki Fudo, Mitsuo Akisada & Kazuhiro Yokouchi

Power distribution at 22 and 33kV is rapidly increasing. Comparatively small-capacity consumers connected directly to the distribution line therefore represent a large potential demand for Series PF and LBS power-receiving systems with main protection equipment consisting of current-limiting fuses and load-break switches. The current-limiting fuse plays a key role in protection equipment that must offer compact, high-performance power-receiving panels at low cost. In cooperation with The Kansai Electric Power Co., Ltd., Mitsubishi Electric has developed a new power fuse featuring a dramatic one-third reduction in size and weight for a fuse that melts in 100 seconds under the minimum breaking current.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 57, No. 7, pp. 46~50 (1983)

Active Control Systems to Reduce Highway-Bridge Vibration

by Shotaro Fujino, Yasushi Maruyama, Nobuo Kamei, Yoshiro Furuishi & Masao Tomisawa

To protect buildings near highway bridges from vibration hazards, Mitsubishi Electric has developed an active control system that reduces highway-bridge vibration. This system improves the dynamic characteristics of the bridge from both the electrical and mechanical standpoints. The control device is installed within the bridge and supplies vibration-damping energy. The article describes the history of the development, basic theory, on-site instrumentation for vibration, and control testing using a prototype of the active control system.

交流可変速技術の車両への応用

居 蔵 和 徳*・加 我 敦*・大 野 義 隆*・小 尾 秀 夫*・中 本 紀 明*

1. ま え が き

車両用駆動システムに対しては、従来から車両の高速化・省エネルギー化・保守業務の簡易化などの要請があり、これに沿って新幹線で代表される高速列車の開発や回生付きチョップ電車の導入が行われてきた。一方、車両保守の現状をみると経営的にも人材確保の困難さから、保守を大幅に軽減することが今後の重要な課題となっている。交流可変速技術を適用したインバータ電車の最大のメリットは、電動機の無整流子化と主回路の無接点化によって保守の低減を大きく進め得ることにある。また、このシステムの優れた粘着特性から高加減速車両性能と省エネルギー化も期待でき、更に主電動機の小形化によって低床式車両への適用が有利となる。

欧州でのインバータ電車は、特に西ドイツを中心とする各都市で、地下鉄や市電に大量導入が行われつつあり、その営業実績からこのシステムの多くのメリットが確認されている。我が国でも、昭和57年、初めて熊本市交通局8200形車両へ適用されたが、その後も実用化開発が急速に進展している。これらの動向をみると、インバータ電車の普及の傾向は世界的なものと言えよう。

この論文では、交流可変速技術を電気車へ適用する場合の特殊性と制御方式を概説し、当社の実施例について報告する。

2. 車両への適用

交流可変速技術を車両推進用として採用する場合は、一般産業用に比べて次のような特殊性がある。

(1) ぎ装スペースの制約

低床式車両や狭軌車両において特に制約は大きい。誘導電動機は小形、大出力化が可能で有利となる。

(2) 重量制限

車軸当りの車両重量は、軌道の設計強度や保守の点から制約があり、誘導電動機の高速回転設計による軽量化や主回路構成の単純化による軽量化が有効である。

(3) 粘着の制約

粘着限界を超えると空転、滑走を起こすが、誘導電動機は分巻特性であり粘着制御性能に優れる。このため、付随車のブレーキ力をも電力回生して消費電力量を低減したり、編成中の電動車比率を下げることで初期投資を抑制することが可能となる。

(4) 車輪径差

1台の制御器で複数モータを制御する方式では、各モータの駆動する車輪径の差で負荷アンバランスが発生するため、車輪径管理が必要となる。

(5) 振 動

レール面からの振動が大きく、直流電動機では整流面での配慮を必要とするが誘導電動機はこの点でも有利である。ただし、空けき長は一般産業用に比べて広くとっている。

(6) 誘導障害

信号・通信機器への誘導障害に対して、入力電流の交流リップル分や転流時の直達電磁波を十分抑制する必要がある。

(7) 架線電圧変動

多編成の車両が任意に運転されるので、架線電圧の変動が大きくしかも頻度が多い。これに対しては電圧変動を検知し、フィードフォワード制御による補正で安定化している。

(8) 運転操作

路線条件によって再起動・再ブレーキなどの特殊操作が行われるので、運転モードの切替を滑らかに、しかも速やかに行う必要がある。

(9) こう配運転

こう配区間での定速運転や故障車の救援運転など、長時間にわたる過負荷運転に対応できなければならない。

交流可変速技術を応用したインバータ電車は、主回路の無接点化やモータの無整流子化など制御方式固有の特長が最もうまくいかされたシステムで、省保守・省エネルギー・車両性能の向上などに有効であるが、車輪径管理や誘導障害については鉄道システムとして検討する必要がある。

3. 車両用駆動システム

3.1 インバータ方式

インバータ方式として電圧形と電流形の両方式があるが、当社は次の特長を重視し、電圧形パルス幅変調方式(Pulse Width Modulation : PWM)を採用している。

(1) PWM制御によって、直流入力から直接可変電圧、可変周波数(VVVF)電源が得られるので、主回路構成が簡単になる。

(2) トルクリップは電圧形の方が小さくなるが、PWM変調周波数を高くすることで更に低減できる。

(3) 直流平滑リアクトルが不要であるため、効率が良くしかも応答も速く安定である。

なお、この特長を最大限活用するためには大容量・高速形半導体素子の採用が必ず(須)の条件である。このことは、高性能素子の開発が遅れている欧州で、素子の高速性を必要としない電流形が普及していることの要因の一つと考えられる。

3.2 制御方式

誘導電動機の特性は、次の式(1)～(3)で表される。

$$\text{磁束 } \phi \propto E_1 / f \cdots \cdots (1)$$

$$\text{回転子電流 } I_2 \text{ は } I_2 \propto \phi \cdot f_{SL} / Z_2 = E_1 \cdot (f_{SL} / f) \cdot (1 / Z_2) \cdots (2)$$

$$\text{出力トルク } T \text{ は } T \propto \phi I_2 \propto (E_1 / f)^2 \cdot f_{SL} \cdot (1 / Z_2) \cdots \cdots (3)$$

E_1 : 一次コイル誘起電圧 f : インバータ周波数

f_{SL} : すべり周波数 Z_2 : 二次インピーダンス

(1) 定トルクモード

式(3)から、原理的には V/f 一定、定すべり周波数制御によって一定の出力トルクが得られる。しかし、温度上昇などでインピーダンス Z_2 が変わると回転子電流も変化して所定のトルクとならない。このためモータ電流をフィードバックして一定電流となるようにすべり周波数

の補正を行う。

(2) 定電力モード

定電力の条件はほぼ $f \cdot T = \text{一定}$ で表されるので、式(3)に f を乗じて、

$$f \cdot T \propto E_1^2 \cdot (f_{SL}/f) = \text{一定} \quad \dots\dots\dots (4)$$

が満たされるように制御すればよい。一般に、モータ電圧が最大となるまでは定トルク運転が行われるから、定電力運転では電圧が一定であり、したがって $f_{SL} \propto f$ となるようにすべり周波数制御を行う。このモードでは、出力トルクは回転数に逆比例して低減し、直流電動機の弱界磁に相当する特性となる。

(3) 特性モード

最大電圧・最大すべり周波数で運転するので、このモードでは出力トルクが回転数の二乗に逆比例して低下し、直流機の特性格線領域に相当する特性となる。

以上の制御を組み合わせ、図1.に示す制御特性のように直流機の場合と同様な、車両に適したパフォーマンスを得ている。

3.3 個別制御方式

個別台車制御 (Bogie Drive Unit) は、制御ユニットを台車単位とする方式で、交流可変速技術を車両へ適用した場合に、その特長を最も効果的に発揮できるシステムであって、当社は、これをBDU制御と呼称している。

(1) 車輪径管理の軽減

インバータ1台で複数誘導電動機を駆動するとき、車輪径差があると各電動機は異なったすべりで運転され、出力トルク及び電流の大き

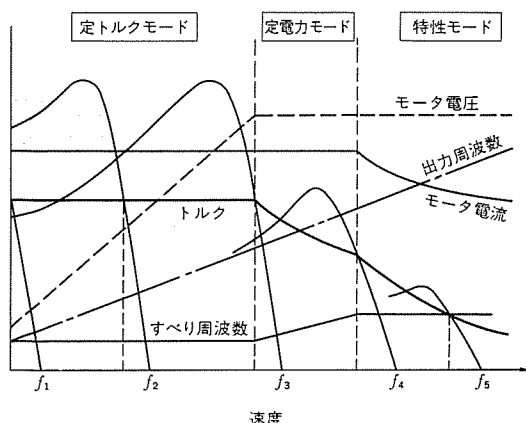


図1. トルク-速度特性と誘導電動機制御

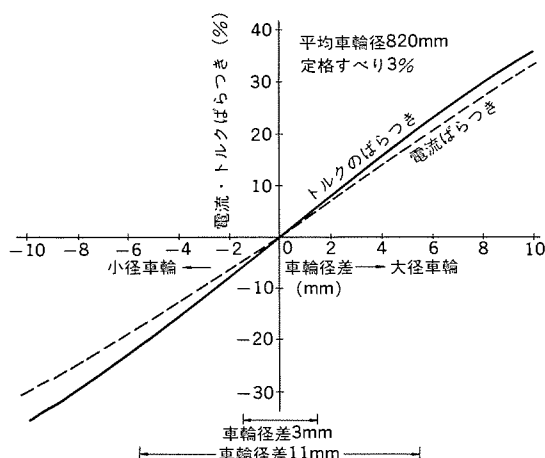


図2. 車輪径差によるトルク・電流のばらつき

さにアンバランスを生ずる。このため車輪径管理が必要となるが、BDU方式では台車単位の管理だけでよく有利である。図2.の条件で運転したときのトルクと電流のばらつき量は、一般的な台車内車輪径管理基準の3mmでは平均値に対し5%以下と問題のない範囲に抑制される。

(2) 粘着制御

誘導電動機は速度変化に対するトルク変化の割合が大きいので、空転、滑走を発生すると、自らトルクを減じて再粘着するという車両用動力に適した特性をもっている。しかし、空転、滑走が発展した場合、基準パターンを絞って出力トルクを抑制する必要がある。BDU方式は個別制御を行うので、該当する台車のみ再粘着制御すればよく、他の台車を不要に制御することがないので、この間のトルク低下を小さくできる。

(3) 異常時の冗長性向上

ユニット開放を台車単位で行うので、異常時の車両性能低下を最小とすることができ、列車ダイヤの乱れが抑制される。

3.4 ブレーキ方式

誘導電動機の優れた粘着性能を利用して、電動車 (M車) だけでなく付随車 (T車) の運動エネルギーも電力回生する遅れ込みブレーキ方式を採用すれば、省エネルギー効果が大幅に向上する。この場合、電気ブレーキの粘着係数は17%程度が期待されるのに対し電空併用ではこの値が低下するため、回生失効時又は軽負荷回生時に、M車のブレーキ不足分をM車の空気ブレーキで補足すると粘着限界を超えて滑走する可能性がある。この問題を解決するために、軽負荷回生などによる電気ブレーキ不足分はT車から空制先込み補足を行い、T車の車重分配相当のブレーキ力を超えた分をM車で空制補足する方式を採用した。遅れ込み方式の動作特性を図3.に示すが、この改良によって、滑走することなく回生力を最大限利用して、回生効率を向上させることが可能となった。

3.5 誘導障害

インバータ入力電流に含まれる高調波電流や、主回路電流スイッチング時の急しゅん(峻)な電流変化に起因する直達ノイズにより、信号系統などへの誘導障害を生ずることがある。設計に際しては、次に示す対策を施すなど十分な配慮が必要である。

(1) di/dt の大きい回路要素間の近接配置。特にインバータとフィルタコンデンサの一体化

(2) インバータ箱のシールド

(3) リアクトル類の箱内上部配置

現車試験の結果、商用波軌道回路、誘導無線回路、電話回路及び変電所関係機器への影響は実用上問題なかった。ATC軌道回路に

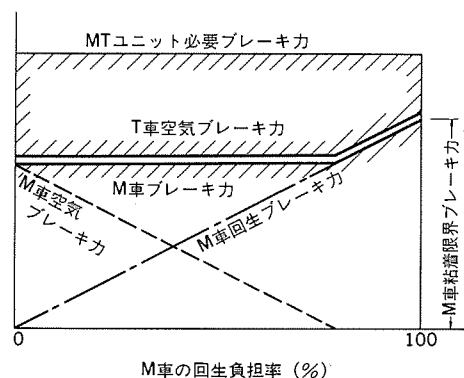


図3. 遅れ込みブレーキ動作特性

対しては、特定のインバータ周波数でノイズレベルが大きくなることがあったが、上記対策を施すことにより大幅に抑制できることが確認された。誘導障害としては、多編成になったときの影響についての調査が残されている。

4. 解析手法と検証設備

4.1 シミュレーション技術

設計サポート用として次のシミュレーションプログラムを開発し、活用している。

(1) 誘導電動機温度分布解析

有限要素法による熱解析を行っている。これまで比較的測定が困難であったロータの温度上昇が推定できるので、構造など設計の最適化が行える(図4.)。

(2) 電気系定常解析

PWM 運転時の主回路各部電流量を計算し、トルクリプル、サイリスタ電流責務、誘導障害などの検討に用いる。図5.に解析結果の一部を示す。

(3) 安定解析

主回路の状態方程式から固有値を計算して安定判別を行うもので、フィルタ定数による安定性の検討などに用いる。

(4) 制御系シミュレーション

主回路と制御回路を組み合わせた瞬時値と実効値レベルのシミュレーションを行うもので、制御方式や制御回路の設計に有効である。

4.2 車両推進システム総合試験設備

この試験設備は、電機品だけでなく駆動装置や台車までを総合的に組み合わせて軌条輪上を走行させ、現車の状況に相当する種々の試験を行うことにより、車両推進システム全体の性能確認を可能とするものである(図6.)。

交流可変速技術を車両へ適用するに当たり、電機品に関して、この設備で検証できる項目のうち特筆されるものは次のとおりである。

(1) 空転・滑走試験

インバータ電車の特長の一つである再粘着特性の良さを有効に活用するため、この設備で実際に空転、滑走を発生させ、最適制御方式を検討することができる。

(2) 車輪径差試験

車輪径差を施した台車を駆動することで、誘導電動機の電流や出力

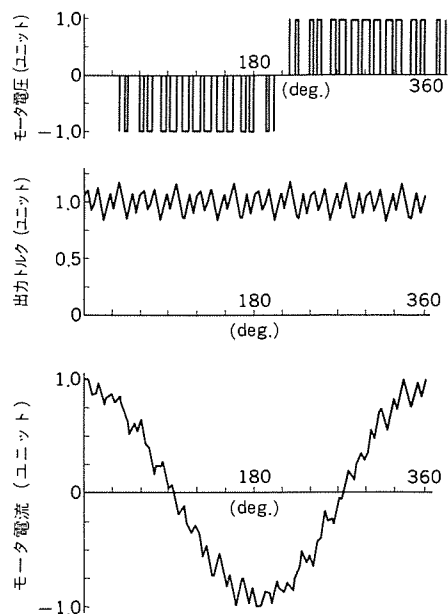


図5. 電気系定常解析出力波形例

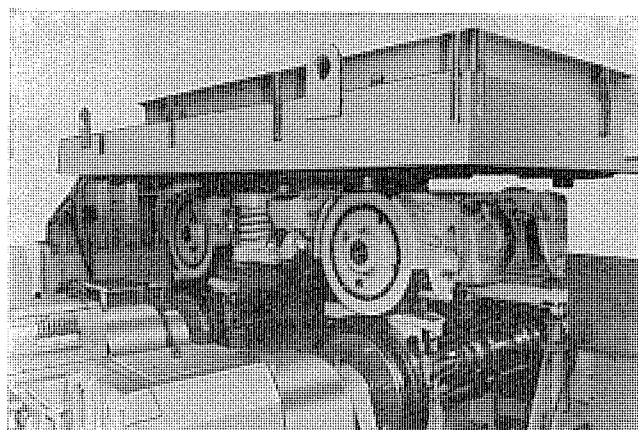


図6. 車両推進システム総合試験設備

トルクなどのアンバランス量や、モノモータ方式における電動機軸に加わるねじりトルクについての検証が可能である。

(3) 電気・機械系干渉試験

台車固有振動やレール面からの振動が、誘導電動機を介して電気系へ及ぼす影響の有無を確認することができる。

5. 三菱車両用インバータ駆動システム

5.1 開発経緯

当社は、交流可変速技術を車両へ適用した場合の優れた特性に着目して早くから基礎研究を開始したが、昭和47年通商産業省大型プロジェクト「インバータ制御電気自動車の研究」を緒に、DC 1,500 V 用への高耐圧化、電気機関車用への大容量化などの研究開発を続けてきた⁽¹⁾⁽²⁾。

大阪市交通局は、車両の新しい制御方式としてインバータ駆動システムの適用を検討され、実用化における技術検証を行うために現車試験を計画された。当社はこの開発に共同参画し、2,500 V、1,000 A の大容量 GTO 素子とマイコン制御によるインバータ装置を製作した。昭和56年度に現車試験が実施されたが、この試験を通じて問題点の明確化と制御技術の確立が行われ、実用化の見通しを

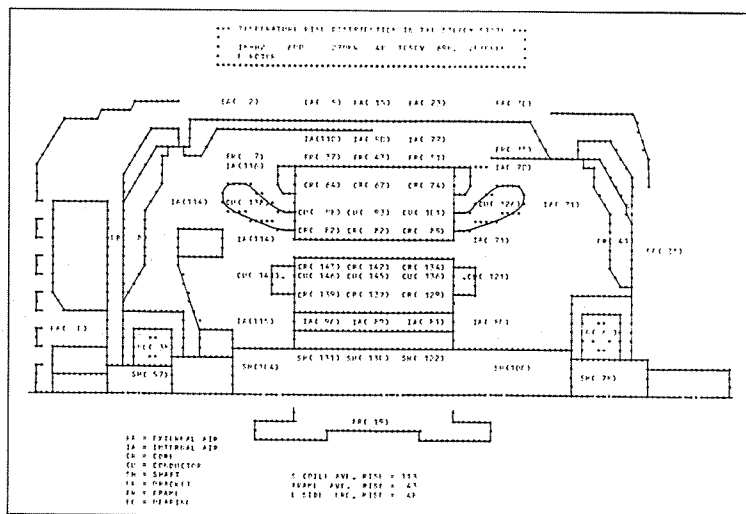


図4. 誘導電動機温度上昇解析例

表 1. インバータ電車主要要目

項 目		大阪市交通局(試験車)	熊本市交通局 8200 形	DC 750 V 標準タイプ	DC 1,500 V 標準タイプ
車 両	電 車 線 電 圧 (V)	750	600	750	1,500
	最 高 速 度 (km/h)	70	40	70	110
	加 速 度 (km/h/s)	2.5	3.0	3.0	2.5
	減 速 度 (km/h/s)	3.5	4.6	3.5	4.0
インバータ制御装置	回 路 方 式	三相 PWM 電圧形インバータ			
	制 御 方 式	定電流・定すべり制御		V/f 一定・すべり周波数制御	
	冷 却 方 式	フ ロ ン 冷 却			
	定 格 出 力 (kVA)	640	300	650	1,700
	出 力 周 波 数 (Hz)	3～125	2～73	2～100	2～170
	使 用 素 子	GTO 2,500 V, 1,000 A, 1S2P	RCT 2,500 V, 1,000 A, 1S1P	GTO 2,500 V, 1,800 A, 1S1P	GTO 2,500 V, 1,800 A, 2S RCT 2,500 V, 1,000 A, 2S
	制 御 素 子	マイコン、ハイブリッド演算		マルチ CPU, DDC	
誘導電動機	駆 動 方 式	各軸駆動	直角カルダン・モノモータ	—	—
	定 格	160 kW, 550 V, 210 A	120 kW, 440 V, 200 A	140 kW, 525 V, 190 A	330 kW, 1,050 V, 220 A
	絶 縁	H 種			



図 7. 熊本市交通局 8200 形 インバータ 電車

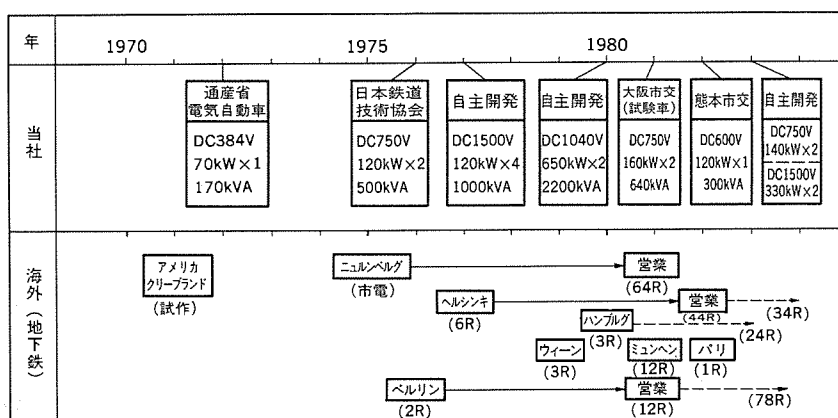


図 8. インバータ 駆動システム の開発経緯

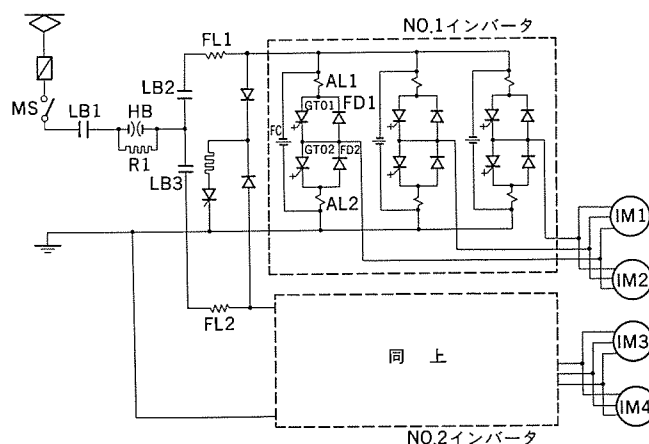


図 9. BDU システムインバータ 主回路

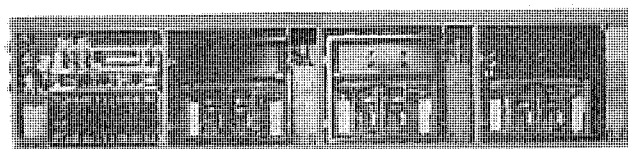


図 10. インバータ 制御装置の外観

得ることができた⁽³⁾。

一方、都市交通機関として路面電車が見直される中で、熊本市交通局は新車計画に際してインバータ駆動システムの導入を決定され、当社は電機品一式を製作納入した(図 7.)。このインバータ電車は、昭和 57 年 8 月から営業運転に使用されているが、これは我が国唯一の営業用車であり多くの注目を集めた。以後、1 日当たり約 150 km の走行実績を積み約 1 年経過したが、その間トラブルもなく非常に安定しており、所期の性能も遺憾なく発揮され、このシステムの優秀性を立証することができた⁽⁴⁾。

これらの実績をもとに、V/f 一定・すべり周波数制御方式とマルチ CPU による DDC 技術を取り入れ、更に 2,500 V, 1,800 A 大容量 GTO 素子の開発を得て、標準タイプのインバータ駆動システムの開発を行った。図 8. は当社インバータ駆動システムの開発経緯であり、そのうちの主なものの主要要目を表 1. に示す。

5.2 DC 750 V システム

2,500 V, 1,800 A の GTO 素子 1S1P での制御容量は 150 kW モータ 2 台分であり、GTO は 1S1P で使用するのが理想的であるので、制御単位を 1 台車とする BDU 方式を標準として採用した。

(1) 主回路ツナギに示すように、高速度しゃ断器、過電圧抑制回路などは 1 両単位で共通化し、フィルタ以降は独立の回路構成にして、

異常時はそれぞれ個別に開放できるものとした(図 9.)。

(2) フィルタコンデンサを 3 分割し、それぞれを各相 GTO ユニットへ近接配置させ、直達ノイズの外部漏えいを極力抑制する構造とした。インバータ制御装置の外観を図 10. に示す。

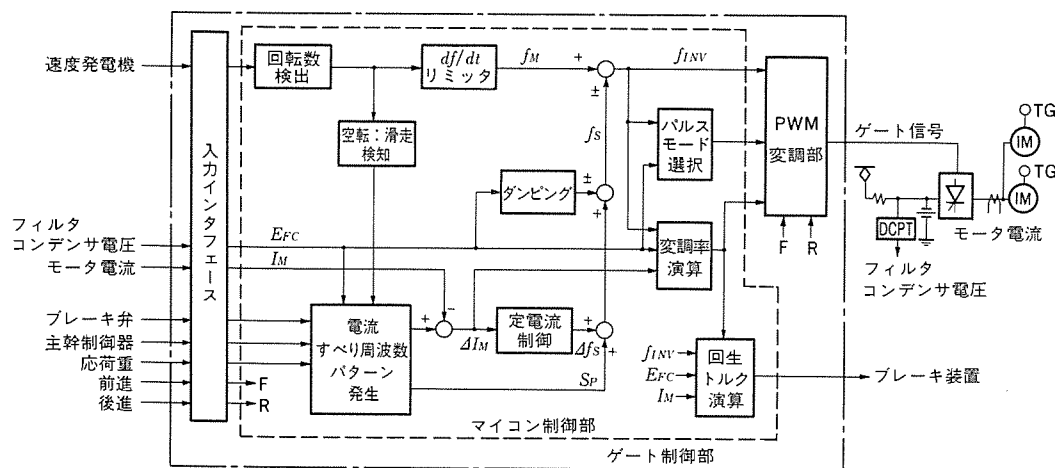


図 11. インバータ制御ブロック図

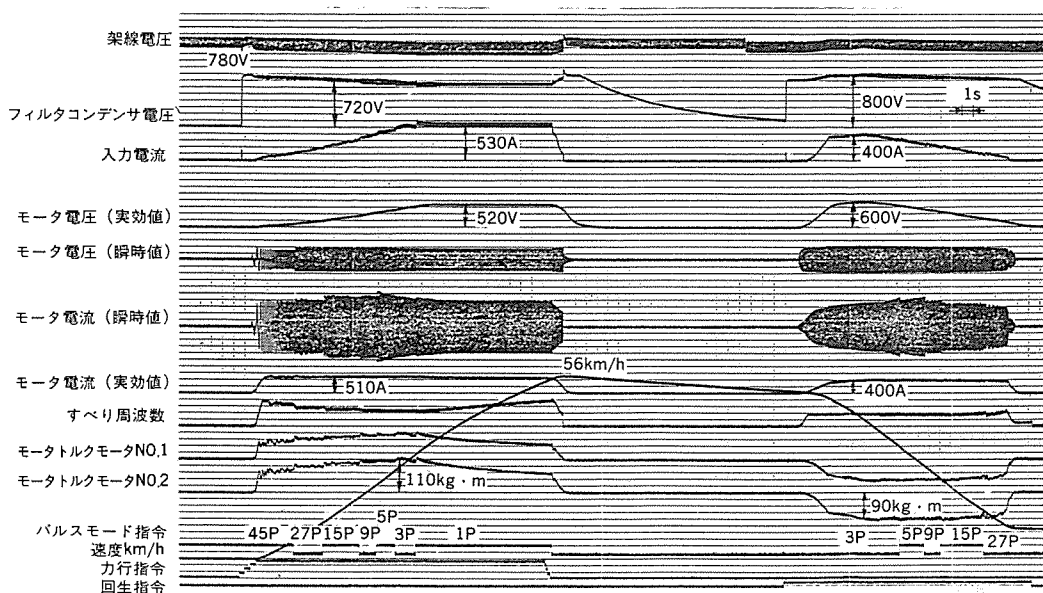


図 12. 加減速制御時のオシログラム

(3) 複数のCPUを共通BUS方式で使用するマルチCPU技術により、DDCの範囲を大幅に拡大した。すなわち、図11.の制御ブロック図において破線部の演算をすべてマイコンで行っている。更に、変調部は最適な出力波形が得られるようあらかじめ計算したデータを記憶させるデータメモリ方式とし、演算のデジタル化とあわせて性能と精度の向上を図った(図12.)。

5.3 DC 1,500 V システム

DC 1,500 V システムには、GTO方式とRCT (逆導通サイリスタ)方式の両案がある。現在の実用レベルの素子耐圧はDC 2,500 Vであるので、1アーム当たり2個直列接続となる。RCTの直列接続はチョッパなどで広く行われており、GTOについても素子やゲート駆動回路の特性をそろえることで直列接続の技術が確立された。これにより、両方式について実用レベルでの製作が可能である。

(1) 現状のGTO及びRCTを2S1P接続で使用すれば、インバータの制御容量はMT編成相当になる。この場合、車輪径管理は1車両単位となるが、管理基準を6mm程度にすればトルクのばらつきは平均値の12%以内である。容量の小さい素子を使用してBDU方式とすることも可能である。

(2) サイリスタ部を1相単位でユニット化し、更にフィルタコンデンサを3分割して一体化構造とした。

(3) ゲート制御部はDC 750 V システムと共通とし、システムによる相違点はマイコンソフトウェアで対応させた。

GTOの特長を最大に発揮させるには、1S接続で使用できる高耐圧用素子の開発が望まれるが、当社は、昭和57年に当時最高のDC 3,600 Vの素子を発表⁽⁵⁾して以来、引き続いてDC 4,500 V大容量GTOの量産ベースの開発を進めているので、これの完成をみてDC 1,500 Vシステムに適用する。

6. む す び

インバータ駆動システムの実用化においては、パワー及びマイクロエレクトロニクスの進歩に負うところが大きい。これらの技術は日進月歩であって、新しいデバイスを得て更に性能の向上を期待し得る。また、制御技術面でも、本文で提案したBDU制御や新方式遅れ込めブレーキは、

車両システムとして交流可変速技術の長所を最大限に発揮させるものと期待できる。

インバータ電車は既に実用域に入った。ここで確立した交流可変速技術は、小形地下鉄・路面電車はもとより一般地下鉄・郊外電車・新交通・機関車などあらゆる種類の車両推進用として適用できるので、今後も研さんに努めインバータ駆動システムの普及に貢献したい。

参 考 文 献

- (1) 赤松ほか：パルス幅変調式インバータによる車両用主電動機の運転，三菱電機技報，51，No. 12 (昭52)
- (2) 太田ほか：インバータによる車両用無整流子電動機駆動システム，三菱電機技報，55，No. 4 (昭56)
- (3) 山中：電気車のVVVFインバータ制御方式，電気学会関西支部，専門講習会講演論文集 (昭58-2)
- (4) 太田ほか：熊本市交通局納め8200形インバータ電車，三菱電機技報，56，No. 8 (昭57)
- (5) Tada, High-Voltage, High-Power, Fast-Switching Gate Turn-Off Thyristor, ISPC (1982-5)

電動機可変速制御用汎用DDCシステム

岩永俊之*・坪井克剛*・小宮弘道*・増田博之*・荒井喜八*

1. ま え が き

電動機可変速制御の DDC (Direct Digital Control) 化は、サイリスタレオナードを中心に進められてきたが、近年適用範囲が急速に拡大しつつあり、インバータへの適用も多く見受けられるようになった。DDC 化の主な目的は、

- (1) 制御性能の向上……温度変化や機器の経年変化の影響が少なく高性能の制御が可能。
- (2) 高機能付加……アナログ回路では実現困難であった複雑な関数演算、高度な判断を含む制御が可能。
- (3) 保守性の向上……自己診断機能の付加により各信号のモニタリング、故障診断が行える。

などであった。

このたび、高性能マイクロプロセッサを使用して、上記のほかに特に次の2点に特長を持った電動機駆動用汎用 DDC システムを開発したので概要を述べる。

(1) 異機種間のハードウェアの共通化

多種多様な制御方式に対してソフトウェアの変更で対処できるため、ハードウェアの共通化が可能となり、品質・信頼性が向上する。

(2) トータル制御

単にコントローラとしてのみならずリレーシーケンス、モニタリング機能などを含めた電動機の可変速運転に必要なトータル制御が可能。

2. 技術的課題と対応

汎用 DDC システムを構成するに当たり、いくつか解決すべき点があった。

(1) マイクロプロセッサの処理能力

多様なシステムを対象とするため、システムの複雑さに応じて、要求される能力も広範囲に変化する。このたび開発したシステムでは、中大容量機の完全 DDC 化を目的として、高性能 16 ビットマイクロプロセッサをシステムバスで介して最大 4 個まで接続可能なマルチ CPU 構成を採用した。

(2) I/O 信号の取扱

I/O 信号は種類が多く、電圧、電流などのアナログ入力信号、PLG、分配器などからのデジタル信号、またコンタクト、リレー、ランプなどに対する接点信号と多岐にわたる。このシステムでは、アナログ信号と接点信号に対しては、各々汎用ボードを設けてシステムの変化に対応した。

(3) ソフトウェアとハードウェアの機能分担

電動機の変速制御では、位相制御、デジタル速度検出、PWM 制御、リングカウンタ動作、分配器ロジックなど多種類のリアルタイム処理が行われる。これらすべてをソフトウェア処理すると CPU の負担が重くなる。また個別のハードウェアで対処するとハードウェアの種類が増し、共通化の利点が薄れる。このため、機種間で共通な位相制御、デジタル速度検出は専用のハードウェアを設け、機種、制御対象により変化するものはインバータのパルス発生を含め、すべてソフトウェア処理するものとした。

(4) 制御定数、シーケンスプログラムの設定と表示

このシステムでは、汎用システムを目指したこと及びシーケンス機能を備えたことにより、専用のテンキーと 16 けた (桁) LED 英数字表示装置を標準装備している。この表示装置は、故障原因の表示、CPU にとり込まれた各種信号のモニタリング結果の表示などにも利用される。

3. ハードウェア構成

図 1. に電動機制御用汎用 DDC 装置を示す。上部前面に、設定用

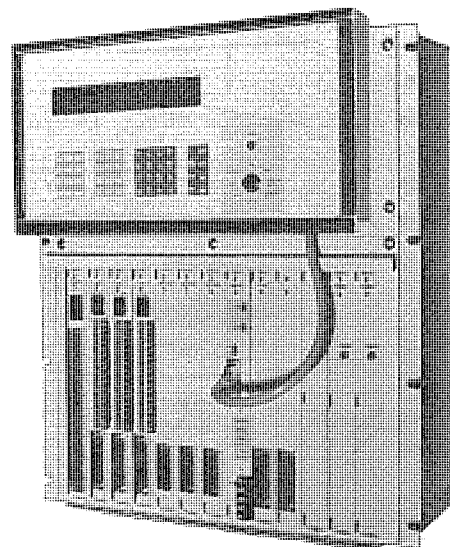


図 1. 電動機制御用汎用 DDC 装置

表 1. プリント基板仕様

カード	実装	仕 様 ・ 機 能
CPU	最大 4 枚	CPU: 8086, RAM: 4 K バイト, ROM: 16/32 K バイト 割込み: 8 レベル, タイマ: 3×16 ビットタイマ/カウンタ エラー検知: パリティチェック, ウォッチドックタイマ マスタ/スレーブ構成
DPY	1 枚	(1) バッテリバックアップ RAM: 8 K バイト (2) 表示, キーボード制御 (3) CMT インタフェース (4) 停電検出: 制御電源, 主回路電源
AIO	最大 8 枚	(1) アナログ出力: 4 点 (±10 V) (2) アナログ入力: 8 点 (±15 V, 4~20 mA)
DPH	最大 8 枚	(1) 同期検出: PLL (2) 点弧信号発生: 6 相ブリッジ用, ダブルコンバータ用, ロングパルス, ダブルパルス, 精度: 0.2 度
DSD	最大 8 枚	(1) PLG パルス列信号によるデジタル速度検出精度: 0.01%
GPV	最大 18 枚	(1) ドライブ能力: 4 バラドドライブ 6 点又はシングルドライブ 12 点 (2) 点弧パルス: 短パルス, ロングパルス
RYI RYO RIO	最大 16 枚	(1) リレー入力: 8 点 (RIO) 又は 16 点 (RYI), DC 100 V (2) リレー出力: 8 点 (RIO) 又は 16 点 (RYO), 0.4 A
表示パネル	1 枚	(1) シーケンスプログラムの作成, 変更 (2) 制御定数の設定, 変更 (3) 制御変数のモニタ指定 (4) 自己診断プログラム指定 (5) CMT 制御

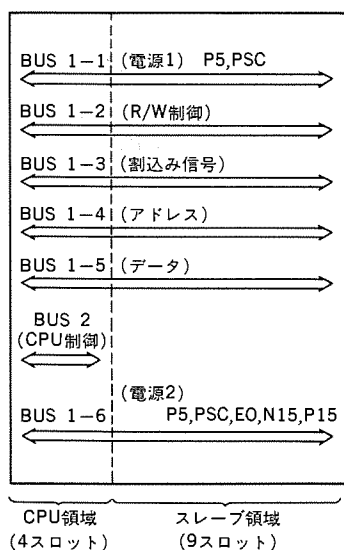


図 2. システムバス 構成

テンキー、16桁LED英数字表示装置、モード切換スイッチを備えている。下部に各種プリント基板用スロットを設けており、システムに応じて必要な枚数のプリント基板が装着できる。制御電源(+5V, ±15V)以外の外部信号は、すべてプリント基板の前面から入出力し、更にホトカプで絶縁することにより耐ノイズ性能の向上を図っている。また、制御電源もデジタル電源(+5V)とアナログ電源(±15V)を、バックボード及び各プリント基板上で空間的に分離している。

表 1. にこのシステムで使用するプリント基板の一覧を示す。これらのうち、ゲートアンプ(GPV)以外の基板は、システムバスを介して互いに接続し、データのやりとりを行う。ゲートアンプは位相制御基板(DPH)、又は表示制御基板(DPY)から直接点弧信号の供給を受ける。図 2. にシステムバスの構成を示す。

以下、各基板の動作及び仕様を述べる。

(1) CPU

高性能16ビットマイクロプロセッサ8086を使用し、最大4枚までのマルチ構成が可能である。これらは、コモンデータエリア方式を採用しており、CPU間のデータ伝送は、通常運転時にはコモンデータエリアを介して行う。自己診断機能を強化するため、マスタCPUからスレーブCPUにHOLDをかけ、スレーブCPUボード上のメモリをアクセスできる構成になっている。マルチ構成されたCPUのシステムバスの使用権は、バスビータ方式により、各々のCPUの要求とプライオリティを判断して決められる。

(2) DPY

8Kバイトのバッテリー、バックアップしたRAMを持ち、制御定数及びシーケンスプログラムの記憶用と、コモンデータエリアとして使用する。このボードは停電検出回路を持ち、制御電源、主回路電源の停電を検出し、メモリの退避、ゲート遮断を行う。

(3) AIO

汎用のアナログ信号入出力用基板である。電動機の変速制御システムでは、通常、アナログ入力は点数も多くシステムに応じて変化する要素が多いが、アナログ出力はメータ駆動用などに利用されるにすぎない。このため入力8点、出力4点の端子を設けている。また、CPUダウンの異常時を考慮し、過電流と過速度に対するハードウェア検出回路を持っている。

(4) DPH

PLLを用いた位相制御用基板で、電源電圧と点弧角基準から、6相ブリッジに対する点弧信号を発生する。

(5) DSD

電動機に直結したPLGの回転数に比例した周波数のパルス信号から、デジタル的に速度を生成する。

(6) GPV

汎用ゲートアンプ用基板で、パラドライブ用とシングルドライブ用がある。更に基板上での選択により、短パルス・ロングパルス信号の生成も可能で多くのサイリスタ回路に使用できる。

(7) RYI, RYO, RIO

リレー信号の入出力用の基板で、入出力点数に応じて3種類の基板がある。出力接点はAC100/110V, 0.4Aの駆動能力を持つため、特別な場合を除いて、バッファリレー、操作用リレー回路を省略できる。これにより、ハードウェアの簡素化とトータルコストの低減が期待できる。

4. ソフトウェア構成

電動機制御用汎用DDCシステムのソフトウェアは、①モニタプログラム、②シーケンサインタプリタ、③コントローラに分類できる。モニタプログラム及びシーケンサインタプリタは、システムの構成によらず共通である。コントローラは制御対象、制御方式により種類が変化するが、基本的なPID演算、フィルタリング演算などをサブルーチンとして準備し、これらを適宜組み合わせることでシステムの変化に対応する。これらのプログラムはすべて、アセンブラで記述されている。

4.1 モニタプログラム

モニタプログラムは、動作モードの判定とテンキー及び16桁英数字表示装置の制御を行う。これらは図3.のメンテナンスパネルに装着している。次に各モードの動作を説明する。

(1) “SEQUENCER WRITE”

シーケンスプログラムの書き込みに利用する。これらの情報はDPYボード上のバッテリーバックアップしたRAMに書き込まれる。

(2) “CONSTANT WRITE”

コントローラのパラメータ及びシーケンサのタイマ/カウンタ値の設定を行う。

(3) “READ”

コントローラの任意の変数値、あるいは任意アドレスのメモリ内容を16桁英数字表示装置に表示する。

(4) “RUN”

定常運転状態を表す。このモードでは、シーケンサで与えられる状態表示が行われる。

(5) “DIAGNOSIS”

故障原因の表示あるいは故障発生順序の表示など、種々の自己診断を行うモードである。

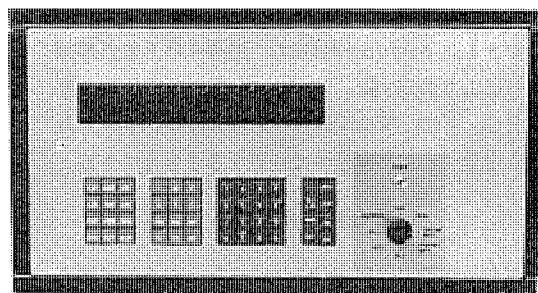


図 3. メンテナンス パネル

表 2. シーケンサ仕様

ステップ数	常用プログラム 割込みプログラム	928 ステップ 6×16 ステップ
入出力	入力 (I)	224 点
	レギュレータリンク入力	32 点
	出力 (O)	224 点
	レギュレータリンク出力	32 点
	中間メモリ (M, LM)	128+32 点
	タイマ (T, HT)	32+16 点
	カウンタ (C, HC)	7+7 点
	故障表示 (DP)	16 点
命令	状態表示 (DP)	16 点
	LD, LDI, AND, ANI, ANS, OR, ORI, ORS, OUT, RST, NOP, END, EI, DI	

4.2 シーケンサインタプリタ

シーケンサインタプリタは“SEQUENCER WRITE”モードで書き込んだシーケンスプログラムを1行ずつ翻訳し実行する。このシステムでは、最大928ステップのシーケンサプログラムを書き込むことができる。更にサイリスタ装置を制御する場合には高速応答を要する場合があるため、6レベルのシーケンサ割込みを用意している。各割込みには各々16ステップのシーケンスプログラムを書き込むことができる。この割込みはソフトウェアで処理され、割込みが発生すると対応する割込みプログラム領域へジャンプする。

表 2. にシーケンサの仕様を示す。I と O は電磁リレー、コンタクトなど外部制御器に対する入出力を表す。シーケンサに対する入出力には、このほかに直接コントローラとの間の情報の授受に利用されるものが、各々32点用意している。バッファメモリ、タイマ及びカウンタには、停電回復時に要求される特性に応じて、CPU 再投入時リセットされるもの(M, T, C)と値を保持するもの(LM, HT, HC)を用意している。DP は、故障表示と状態表示に用いる出力である。これらは、DP 番号に応じて16桁英数字表示装置上に、○又は×印で表示し、更に内容を知りたい場合は、対応する番号を入力すれば文字列で故障原因や状態が表示される。

シーケンスプログラムは、いわゆるプログラマブルコントローラと同様、POL (Problem Oriented Language) で記述する。表 2. に POL の命令一覧を示す。シーケンサのタイマ動作は、CPU ボード上のプログラマブルインタルタイマから与えられる0.1秒ごとの外部割込み信号でトリガされる。

4.3 コントローラ

コントローラ部は、速度、電流などのレギュレータを中心に、これらに付随するラップゼネレータ、リミッタ、各種演算回路で構成する。これらの演算は、基本的に差分方程式によって実行するが、複雑なものは関数テーブルを参照することで実行できる。サンプリング時間は、必要に応じて外部割込み信号により設定する。また、コントローラ動作に必要な各種パラメータは、“CONSTANT WRITE”モードであらかじめ設定するが、運転中に変更することもできる。

5. 適用例

電動機可変速制御用汎用 DDC システムをクリップ付き電流形インバータに適用した場合をとりあげて紹介する。

図 4. に示すように、主回路はダイオード直列形6相電

流形インバータと直列12相クリップで構成し、制御装置は計12枚のプリント基板で構成する。2枚のCPUは要求されるサンプリング速度に応じて役割を分担してすべり周波数制御を行っている。3組の位相制御用基板(DPH)とゲートアンプ(GPV)は、各々コンバータ(CNV)、クリップ1(CLIP 1)、クリップ2(CLIP 2)に対応する。位相制御用基板の1枚には速度検出用基板(DSD)がマウントされ、PLGからのパルス列を用いて速度検出を行っている。リレー接点は、計24点の入力と8点の出力で構成している。このシステムにはアナログ方式の制御回路に必要であったバッファリレー及び制御用リレーは基本的に不要である。

図 5. にこのシステムの等価アナログ回路を示す。CPU 0 は、モニタ、シーケンサ及び速度コントローラとして動作し、サンプリング時間10msである。CPU 1 は電流コントローラ、インバータ点弧信号発生回路、故障検出回路を持つ。電流コントローラは0.85msのサンプリング時間で運転する。

すべり周波数制御を行う場合、要求される高精度の周波数演算は、CPU 0 から与えられる周波数基準を倍精度で積分することで簡単

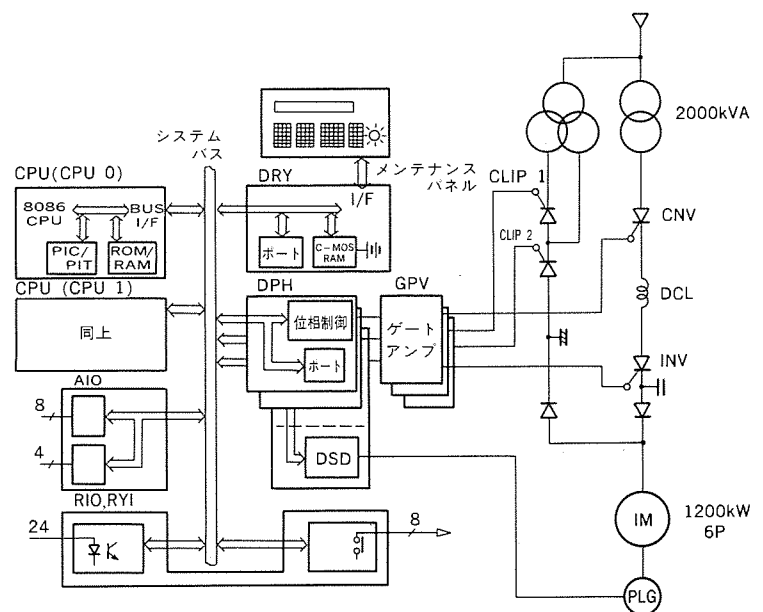


図 4. 汎用 DDC 装置構成例 (6 相電流形インバータ)

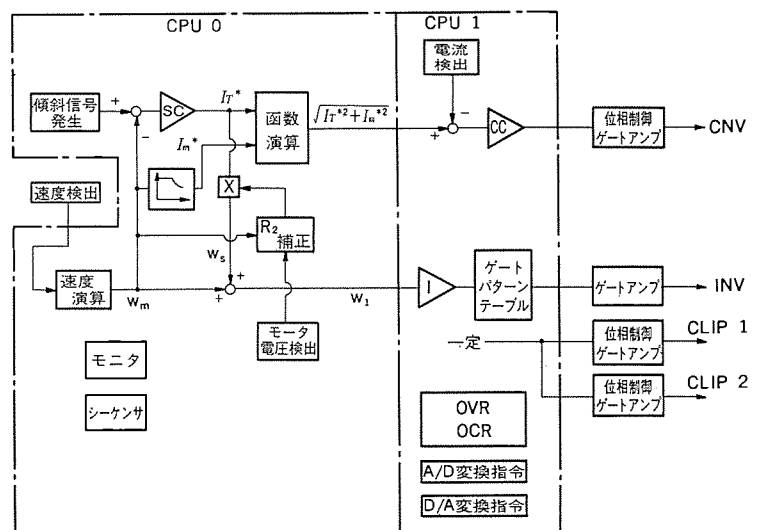


図 5. 等価アナログ回路

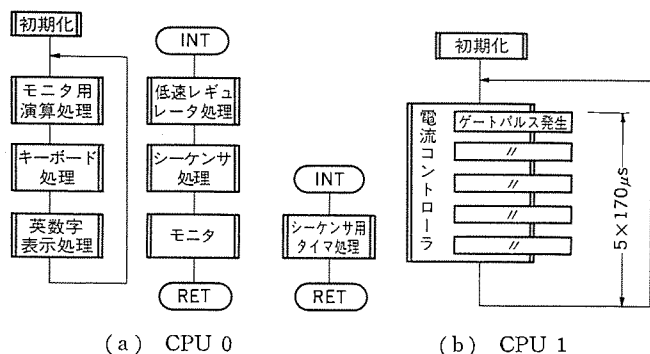


図 6. フローチャート

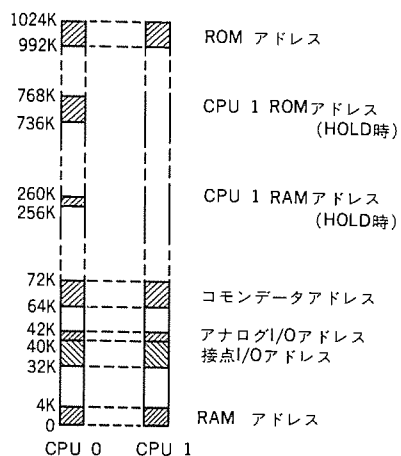
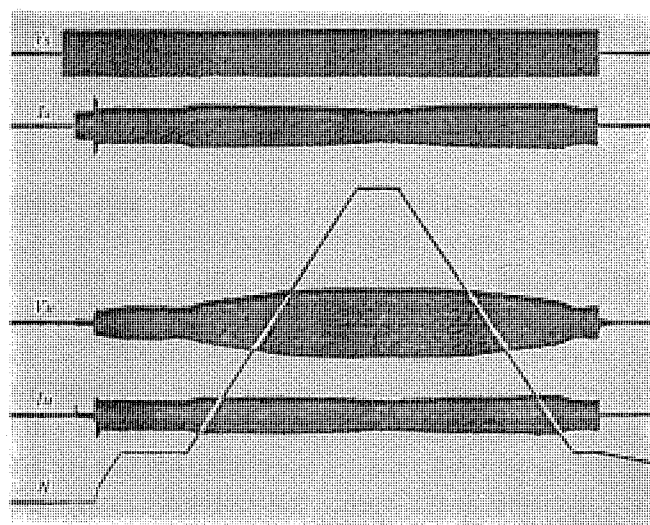
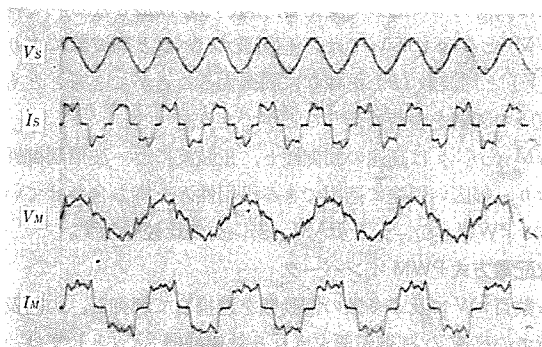


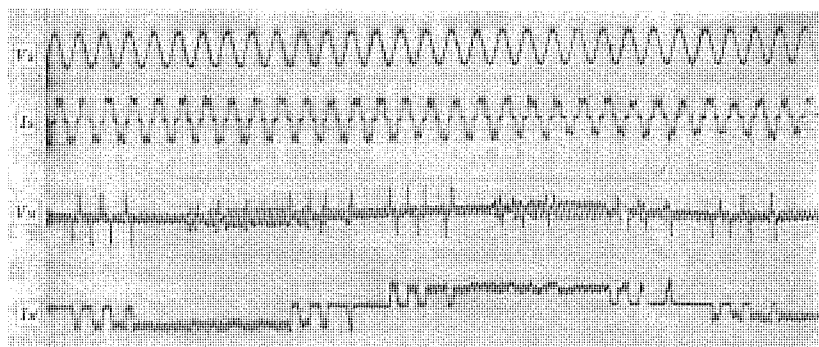
図 7. メモリマップ



(a) 起動停止波形



(b) 動作波形 (1パルスモード)



(c) 動作波形 (PWM モード)

図 8. 運転 オシログラム

に実現できる。この積分値の下位 10 ビットをアドレスとしてゲートパルスステープルをアクセスすれば各サイリスタに対する点弧信号が与えられる。

上述のシステムのフローチャートを図 6. に示す。CPU 0 のプログラムは主プログラム、コントローラの 10 ms の割込み処理、タイマの 0.1 s の割込み処理から構成されることがわかる。シーケンサタイマに対する割込みルーチンは、直接タイマ動作を行うのではなく、シーケンサインタプリタに対してタイマプログラムを起動するためのフラグを立てるのみである。この応用例では、CPU 0 がマスタ、CPU 1 がスレーブとして動作し、CPU 0 は CPU 1 の全メモリをアクセスできる。

図 7. に各々のメモリマップを示す。CPU 0 には 256~260K 番地、736~768K 番地に CPU 1 の RAM 及び ROM に対応する番地が割り当てられる。アドレスの切換は、HOLD 信号により自動的に行う。システムバスに対する優先度は、高速処理を要する CPU 1 の方を高く設定し、アクセス時間の増加を防いでいる。

動作波形の一例として、起動停止オシログラム及びインバータ出力波形の拡大図を図 8. に示す。図のように、完全 DDC 制御により、安定にかつ十分な精度で運転されていることが分かる。

6. む す び

電動機可変速制御用汎用 DDC 装置の概要と一適用例について述べた。DDC の目的の一つは、高性能 CPU を用いることにより部品点数を減らし、システムの信頼性と生産性の向上を図ることにある。位相制御用 LSI あるいは、より高速の CPU を用いることにより、更にコンパクトで高信頼のシステムも可能である。

現在、電動機可変速制御の DDC 化が定着しつつあるが、新しい制御方式の開発、自己診断機能の拡充などに力をそそぎ、ユーザーの要求にマッチしたより高性能の制御システムの完成を目指したい。

参 考 文 献

- (1) 坪井ほか：誘導電動機のディジタル・ベクトル制御、電気学会半導体電力変換研究会資料、SPC-81-51 (昭 56)
- (2) 坪井ほか：電動機制御用汎用 DDC 装置の一構成例、電気学会情報処理研究会資料、SPC-82-39 (昭 57)

鉄鋼補機用トランジスタVVVF装置

矢野 禎成*・轟 幸男*・西 祥男*・重信正広*・原 康博*

1. ま え が き

鉄鋼補機ライン駆動システムにおいて、従来より無保守化の観点から交流化へのニーズは強く、過去中小容量領域への代表的適用例として、搬送テーブル駆動に複数のかご形モータを組み合わせた振幅変調(Pulse Amplitude Modulation : PAM)方式サイリスタインバータが専ら用いられてきた。

近年半導体製作技術の急速な進歩により、パワートランジスタが台頭し、その自己消去機能と高速スイッチング機能を有効に活用した制御性の良いパルス幅変調(Pulse Width Modulation : PWM)方式トランジスタインバータが、プロセスラインのヘルパーロールなど、小容量インバータ領域において数多く使用されるようになった。小容量インバータの普及とともに、パワートランジスタの大電流化、及び高圧化が進み、現在では中容量領域への適用が可能になった。一方、交流機制御技術においても直流機並みの制御方式が確立されてきた。これらを背景としてトランジスタ式PWMインバータを鉄鋼補機ラインに適用すれば、一組の直流母線から、複数のPWMインバータに一括給電する直流配電方式インバータを構成することができ、従来に比べて電源設備の大幅な省スペースを図ることができる。

ここでは鉄鋼補機用直流配電方式トランジスタインバータの標準シリーズを紹介する。

2. 直流配電方式PWMインバータ

高速のスイッチング機能を有するパワートランジスタの大容量化により、制御性の良いインバータを適用することができ、コンパクトな直流配電方式PWMインバータを実現することができる。表1.にパワートランジスタとサイリスタとの比較を示す。

2.1 PWMインバータ

誘導電動機を可変周波数制御する場合、本質的に電源周波数を可変にしてその速度を制御する。一方、電動機磁束を一定に保ち、かつトルクを十分に得て安定な運転を行うために、周波数(F)を変化させると同時に、インバータ出力電圧(V)をも制御することが必要になる。通常 V/F がほぼ一定になるように制御する。

図1.に三相PWMインバータの原理図を示す。図(a)はスイッチ S_u

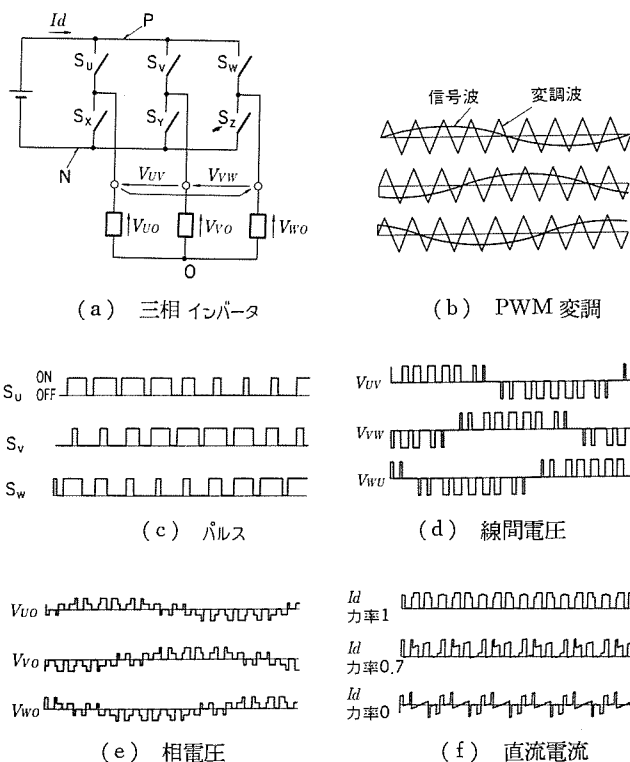


図 1. 三相 PWM インバータ

～ S_z で構成する三相 PWM インバータを示しており、図(b)は信号波と変調波で構成する各相の PWM 制御信号波形を示している。信号波と変調波の大きさのレベルを比較し、図(c)のようにスイッチ S_u , S_v , S_w の ON-OFF の期間を決定する。負 (N) 側に接続したスイッチ S_x , S_y , S_z は正 (P) 側に接続したスイッチ S_u , S_v , S_w のそれぞれの反転動作となる。図(d)は PWM インバータの線間電圧を示し、図(e)は相電圧を示す。このように PWM インバータの出力電圧は、信号波の大きさに応じてパルス幅変調されたパルス列となる。モータ電流は相電圧に応じて流れ、変調周波数を高くすれば、モータの漏れインピーダンスにより平滑になり、正弦波に近づく。インバータ入力直流電流は負荷力率に応じて変化し、図(f)の波形となる。このように PWM インバータにおいては、信号波のレベルと周波数により出力電圧(V)と周波数(F)を独立に制御することができるとともに、出力電圧の制御を瞬時に行うことができる。

更に PWM インバータは高速の制御性と、正弦波に近い波形制御性を有しており、幅広い用途に適用できる汎用性を持ち合わせている。表2.に PWM インバータと PAM インバータの比較を示す。

2.2 直流配電方式 PWM インバータ

数 kW から数百 kW に及ぶ多数の電動機を連携して制御し、力行及び回生状態での高速の制御が要求される鉄鋼補機ラインとしては、グループごとに一つの整流器を備えた直流母線に、複数の PWM インバータを接続した直流配電方式 PWM インバータが単純な主回路構成と、

表 1. スwitching 素子の比較

	サイリスタ	パワートランジスタ
自己転流	不可	可
過電流保護	ヒューズによる保護協調	ASO 領域内でベース遮断
オン電流上昇率 (di/dt)	規定あり ($\approx 200 \text{ A}/\mu\text{s}$)	制限なし
オフ電圧上昇率 (dv/dt)	規定あり ($\approx 200 \text{ V}/\mu\text{s}$)	制限なし
スイッチング周波数	数百 Hz 以下	数 kHz 以下

制御性の良さの観点から最適なシステムと言える。

図 2. に従来から適用されている直流電圧可変式 PAM インバータと直流配電方式 PWM インバータの回路構成を示す。直流配電方式においては、各インバータが個々の速度基準に応じて、互いに独立の速度で運転することができる。また個々のインバータは、運転パターンにより力行、回生が同時に生じる点を考慮すれば、システム運転に見合っ

3. 特長と仕様

3.1 特長

三菱 パワートランジスタモジュール(図 3.)を使用した直流配電方式 PWM インバータであるため、従来のサイリスタインバータに比べ次のような特長もっている。

(1) 省スペース

コンバータ装置の共通化により、VVVF 装置の占める寸法が小さくなり、小容量の装置では 1 キュービクルに複数台収容が可能となり、ユーザーにおける省スペースの要求を満たすことができた。図 4. にその外観を示す。

(2) 高性能、高信頼度

転流回路が不要となり、主回路部品点数の大幅な減少により、高性能、高信頼性となる。また転流音もなくなり低騒音である。

(3) 電源力率の向上

コンバータは定電圧化されているので、電動機速度によらず、電源の力率は高力率を保つことができる。

(4) 安定した加減速制御

PWM インバータにより、低速域から高速域まで滑らかな安定した加減速特性を得ることができる。

(5) 保守が容易

主回路をプラグイン式トレイ(引出し式)とし、かつ制御モジュールはプラグインカード方式としたため、点検及び取扱が容易である。図 5. にトレイの外観を示す。

(6) システムに適した保護方式

直流配電方式においては、1 台のインバータ装置の故障が他へ波及し全インバータ装置停止という事態を避ける必要がある。このため、万一トランジスタ上下アームとも故障の場合、故障インバータ装置を切り離す選択遮断が可能である。他の故障はすべてトランジスタのベース遮断で対応し、システムの停止時間を最小にしている。

(7) 途中起動が可能

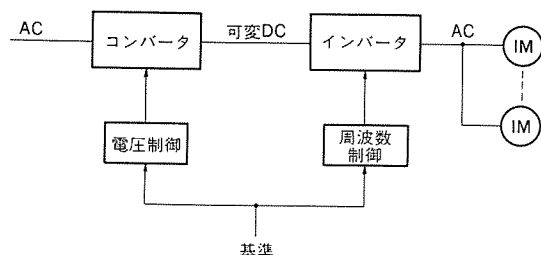
PWM インバータとすべり周波数制御との組合せにより、回転途中の電動機をインバータに引込み、インバータで運転させることが可能である。

3.2 仕様

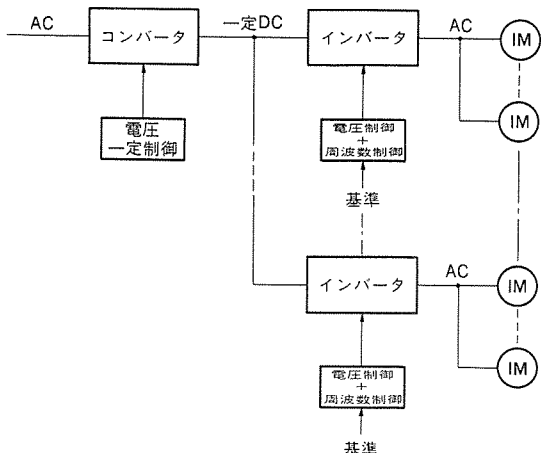
表 3. に標準仕様を示す。200 V 級と 400 V 級を設けラインの電圧統

表 2. PAM 方式と PWM 方式の比較

	PAM	PWM
出力電圧波形		
出力電流波形		
トルク脈動	やや大	小
応答性	遅い	速い
スイッチング周波数	低	高
電源力率	低速域ほど悪い	常に最高
電流制御	困難	可能



(a) 直流電圧可変方式



(b) 直流配電方式

図 2. 回路構成

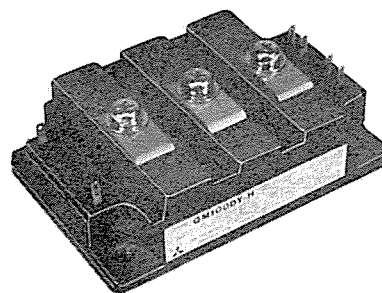


図 3. パワートランジスタモジュール

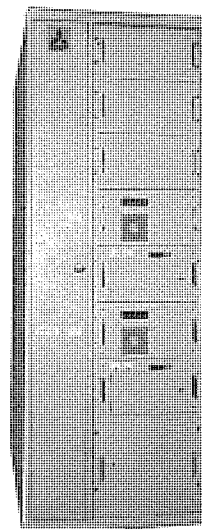


図 4. VVVF 装置の外観

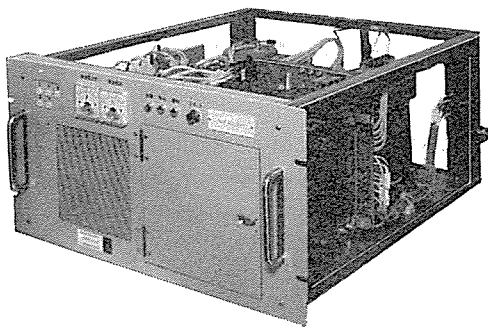


図 5. インバータトレイの外観

表 3. 標準仕様

項目		標準仕様									
方式		直流配電方式 PWM									
制御方式		V/F 制御, ナベリ周波数制御									
入力	相数	三相 3 線式									
	定格電圧 (V)	300 又は 540 $\pm 10\%$									
	周波数 (Hz)	50 又は 60 $\pm 5\%$									
出力	定格容量 (kVA)	200V 級	10	15	20	30	40	60	100	150	
		400V 級		15	20	30	37	60	75	150	225
	電動機 (kW)	200V 級	5.5	7.5	11	15	22	30	55	75	
		400V 級		7.5	11	15	18.5	30	37	75	110
	定格の種類	100% 連続 150% 1 分間									
	定格周波数 (Hz)	60, 120									

一を容易にしている。

4. 回路構成

4.1 主回路構成

図 6. に直流配電方式 PWM トランジスタインバータの主回路構成を示す。鉄鋼補機ラインでは頻繁な加減速制御を必要とし、回生制御モードが必ず含まれているので、両方向コンバータ装置としている。コンバータ出力側には、電圧平滑化のための LC フィルタを有する。十分平滑化された直流電圧源を入力として、複数の三相 トランジスタインバータ 装置

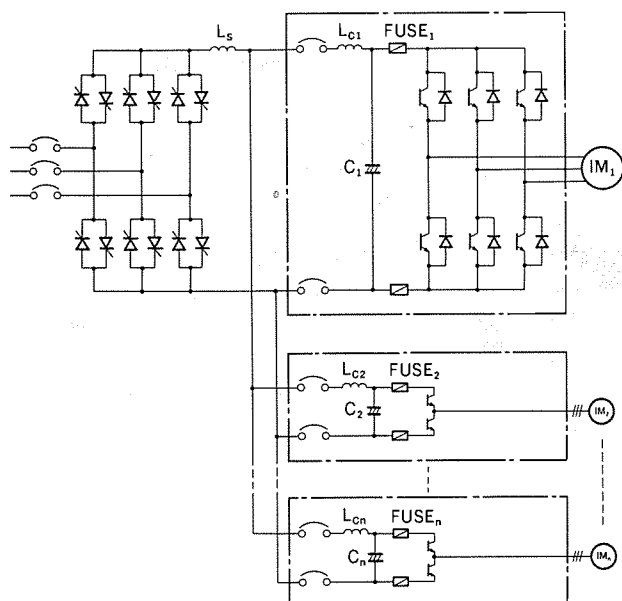


図 6. 直流配電方式 PWM インバータの主回路構成

により交流に変換し、誘導電動機を個々の速度基準に応じて、互いに独立の速度で運転することができる。

インバータ部は、パワートランジスタのコレクタ・エミッタ間には特にスナバは設けておらず、平行導体使用による主回路浮遊インダクタンスの極減化を図り、素子に近接した直流端子間にコンデンサを挿入することなどにより、素子を逆バイアス ASO 領域内で高速かつ信頼度よく動作させ、スイッチング時の安全動作を確保している。

4.2 保護方式

鉄鋼補機用 VVVF 装置における基本的な保護として、過電流保護、短絡保護はすべてベース遮断で対応し、更にシステム保護としての選択遮断が必要である。

4.2.1 過電流保護

電動機過負荷などの過電流に対しては、電動機の過電流を検出し、トランジスタのベース遮断により事故電流を抑制し、ヒューズ溶断や素子破壊を起こさぬ対策を施している。

4.2.2 短絡保護

ノイズあるいは制御回路不良など誤動作による直流間短絡に対する保護は、通常の過電流保護よりも、電流値が大きく故障電源の立上りも早い場合、条件はきびしくなる。しかしながら、図 7. の例で示すように、一定直流電圧、一定ベース電流の条件で、素子の直流短絡時間中に対する非破壊確率を定めた短絡 ASO という新しい耐量を設け、許容非破壊確率に対応する短絡時間内で短絡電流を検出し、ベース電流を遮断することにより偶発的な素子の破壊を防止している。

このため、電圧源から素子に至る回路の配線インダクタンスは極小に抑えるとともに、必要な場合には過電圧吸収回路を付けて短絡保護にもベース遮断にて対応している。この構造決定及び過電圧吸収回路の定数決定は、試作モデルによる確認テストで行った。一方、最適設計を見いだすため回路定数を種々変化させ、大形デジタルコンピュータで波形シミュレーションする方式を用いた。これにより、短絡保護に対する可否が実機で計測する以前に予測することができ、保護可能とすべき対策案の試行も短時間に行えた。

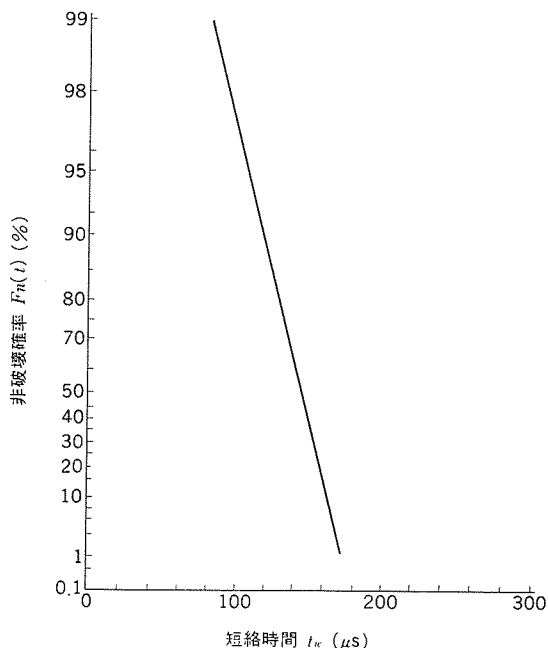


図 7. 短絡 ASO の一例

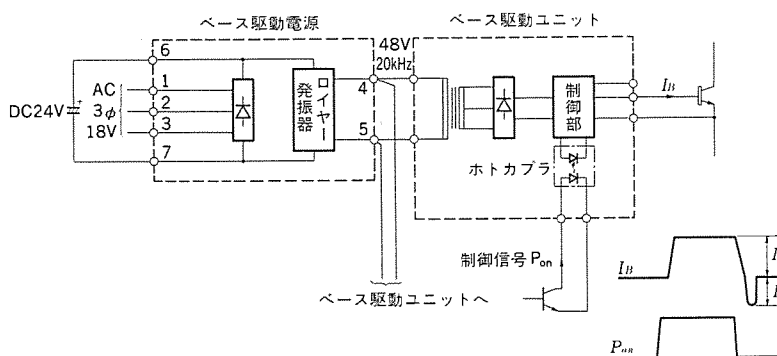


図 8. ベース駆動回路

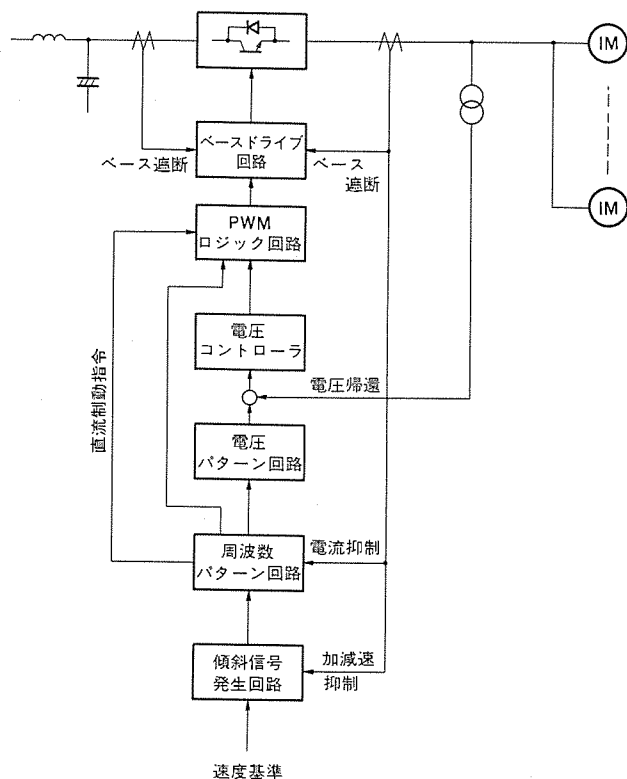


図 9. V/F制御方式

4. 2. 3 選択遮断

直流母配電方式 PWM インバータにおいて、万一、トランジスタ素子破壊によりインバータ内部で短絡が生じた場合、他のインバータに影響することなく故障インバータを切り離すことが要求される。そのため、鉄鋼補機用としては、図 6. のように各インバータに故障電流抑制用リアクトル LC と速断ヒューズを設ける。

内部短絡が生じた場合、速断ヒューズは平滑コンデンサからの突入電流で急速に熔断し、不良回路は切り離される。事故後のコンデンサ電圧回復は、抑制リアクトル LC を通じて充電されるため、他のインバータ群の電圧降下は少なく、かつ変化率は低く抑えられ、負荷電動機への影響はほとんど生じない。このようにして、複数台のインバータ装置が運転中、1 台のインバータが故障しても、他の正常インバータ群はそのまま継続して運転することが可能である。

4. 3 ベース駆動回路

ベース駆動回路は、パワートランジスタのスイッチング特性を左右する最も重要な部分である。図 8. にこのインバータ部に採用したベース駆動回路を示す。この回路の特長は、①電源として 20 kHz の高周波電源を

用いている。②制御信号は光 (ホトカブラ) で絶縁している。③ベース順電流は定電流化している。④ベース逆バイアスにより素子的高速スイッチングが可能である。などである。これらによりベース駆動回路はコンパクトなモジュールとして標準系列化しており、各モジュールの組合せにより素子の並列接続による大容量インバータのベース駆動を可能にしている。

4. 4 制御回路

誘導電動機速度制御方式として、インバータの周波数をモータ速度と独立して制御する V/F (オープンループ) 制御と、モータの速度を帰還し、そのすべ

り周波数を制御する速応制御すべり周波数 (閉ループ) 制御方式がある。複数モータの速度制御には V/F 制御も適しており、精密な速度制御 (あるいはトルク制御) を必要とするときは、速応制御すべり周波数制御方式を適用する。

ここでは、モータ群制御用として適用する V/F 制御方式の回路構成を図 9. に示す。速度基準が電動機の加減速率を決める傾斜信号発生回路に入力され、その出力が周波数及び電圧パターン回路を経由して PWM 回路の周波数基準及び電圧基準となる。一方、出力 CT によりモータ電流を検出し、周波数を補正する電流制限回路を設けている。

PWM 回路は電圧制御ループを構成しており、電圧基準に応じたモータ電圧を供給するので安定化した制御が可能である。PWM 回路出力は、主回路と制御回路を絶縁するベースドライブ回路により増幅されて主トランジスタを制御する。出力過電流及び直流過電流に対しては瞬時にベースドライブ回路を遮断し、インバータを停止する。また、直流制動指令に応じて PWM 回路が直流制動信号を発生し、モータの停止精度を向上させている。

この PWM 回路は二つの動作モードを有し、最大値の 70% より低い出力電圧に対しては、三角波比較法で得られる波形と等価な非同期パルスモード (変調周波数が一定) を使用し、70% 以上の基本波電圧は、同期パルスモード (半サイクルのパルス数が一定) で動作させることにより、出力電圧波形の改善を行っている。PWM 回路のハードウェアは ROM を用いた全デジタル回路であり、カウンタ・デジタルスイッチ・比較回路により構成し、同期及び非同期の異なる二つの動作モードを同じハードウェアで処理できるように考慮している。

5. 試験データ

5. 1 短絡保護データ

図 10. に短絡保護試験のデータを示す。短絡電流約 1,000 A、約 25 μ s 通電後ベース電流を遮断し、急速に電流が零となり、かつ直流電圧の上昇が 150 V 程度であり、許容値内である。

5. 2 選択遮断データ

実際の電動機 2 台 (正常インバータ装置 2 台) を運転中、模擬的に故障インバータを短絡させたオシログラムを図 11. に示した。正常インバータにより駆動される電動機電流への影響は、最初の 1 サイクルのみであり、軽微であることがわかる。

5. 3 電動機、実運転データ

VVVF 装置 3 台 (誘導電動機 3 台) を、別々に運転した実運転データを図 12. に示した。図は電動機 1 が定常再生中、電動機 3 が定常駆動運転中に電動機 2 を運転、停止を行った場合を示す。電動機が減速のために再生を行った際、わずかに直流母線に電圧変化がある

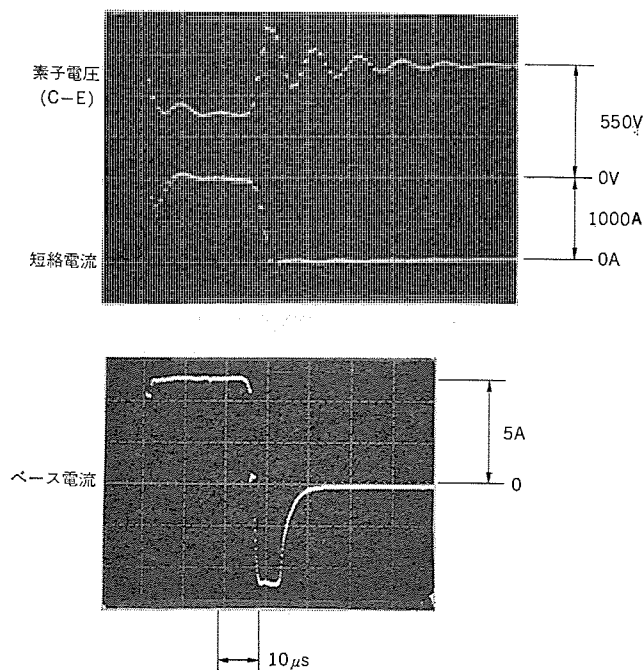


図 10. 短絡保護試験 データ

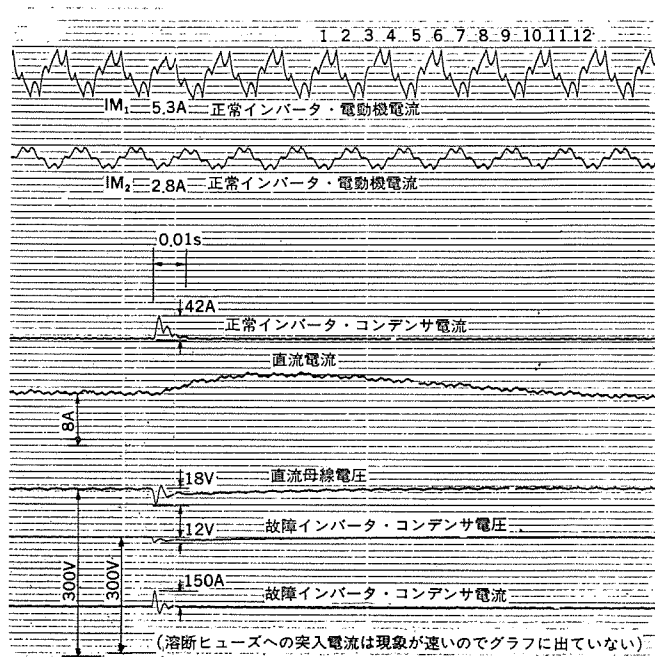


図 11. 選択遮断試験 データ

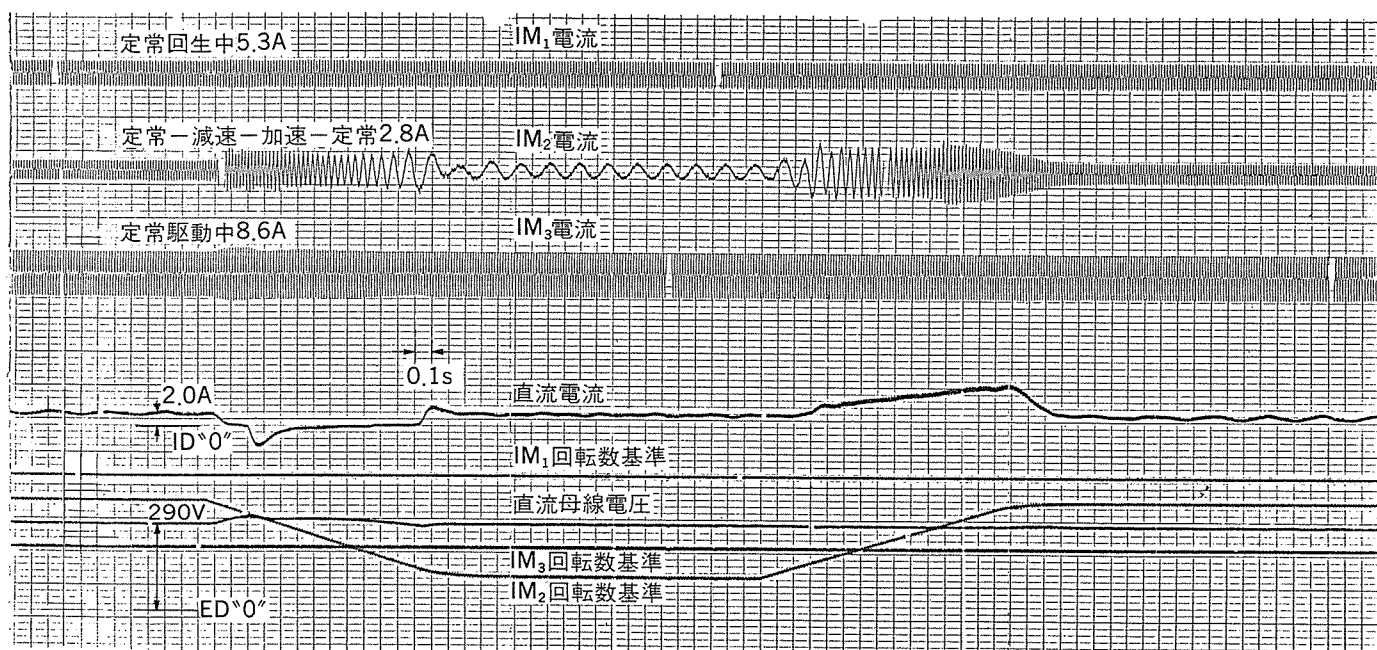


図 12. 電動機更運転 データ

ものの各電動機は正常に運転していることがわかる。

6. む す び

以上、最近の鉄鋼補機用トランジスタVVVF装置について製品概要を紹介した。すなわち、直流配電方式トランジスタVVVFの採用により、小形でかつ信頼性が向上し、保守性に優れた装置を得ることができた。鉄鋼補機のほかに、各分野で保守性のよい誘導電動機が注目さ

れており、VVVF装置の需要はますます拡大することが予想される。今後パワートランジスタの容量拡大や制御技術の向上により、トランジスタVVVFが広範囲に普及し、直流機並の制御が容易に行える見通しである。

省力化、省エネルギーの社会的要求にそって多様化する用途に適応するため機種整備と性能の安定を図り、より信頼できるインバータ装置を目指す所存である。

圧延用直流多相式サイリスタモータの特性と応用

朝枝 健明*・松浦 敏明*・富永 善治*・細川 靖彦*・宇高 正晴**

1. ま え が き

従来鉄鋼圧延機用電動機として直流電動機が使用されてきたが、直流機には整流上の理由から単機容量の製作限界や保守性の問題があり、最近では直流機に代って交流可変速システムの適用が推進されている。比較的大容量の圧延機駆動電動機に同期電動機を用いた直流多相式サイリスタモータは、他励式の変換器で構成し、電源力率、高調波電流、変換器効率などの特性が優れており、また高速応答や広い弱め界磁範囲などの制御性能も、直流機と同等以上のものが得られる特長がある。

当社では、昭和49年頃から鉄鋼圧延機用としてサイリスタモータの開発に着手し、昭和55年には非可逆圧延機用として直流多相式サイリスタモータ1,950 kWを製作納入した。その後も継続して開発を進め、直流多相式サイリスタモータ150 kWを試作して新制御方式とシミュレーション解析手法を確立した。ここでは、直流多相式サイリスタモータの特長、特性、応用について述べる。

2. 直流多相式サイリスタモータの概要

直流多相式サイリスタモータの基本回路構成を図1に示す。主回路の変換器は各々二組の整流器とインバータで構成し、直流リアクトルを介して交互に縦続接続をする。この接続構成により主回路の電位が、整流器あるいはインバータの1ユニット分の電圧と等しくなって低減し、高電圧化に適している。整流器とインバータは三相ブリッジ接続で構成し、各々電源電圧と電動機逆起電力により転流動作を行う。

電動機の電機子は、電氣的に30°の位相差を有する二組の三相巻線で6相で構成し、また電源変圧器の巻線も30°の位相差をもたせた構成になっている。二組の整流器とインバータを各々30°の位相差で導通制御することにより、12相整流動作を行わせて電源側の高

調波電流と電動機のトルク脈動を低減している。界磁は電磁氣的に互いに直交する二組の巻線で構成し、2軸界磁制御を行っている。主界磁巻線で主磁束を発生させ、補償界磁巻線で電機子反作用を打ち消すようにして、過負荷耐量と弱め界磁範囲（定出力範囲）を直流機と同等以上に増加させている。

制御方式は、基本的には速度と電流のフィードバック制御である。電機子電流は主回路整流器で制御し、主界磁、補償界磁の電流は主界磁、補償界磁の整流器で制御する。インバータは分配器のロータ位置検出信号によって導通制御し、安定な転流動作を行っている。低速運転時に電動機逆起電力が小さい場合には、二組のインバータ間に設けたサイリスタスイッチでインバータを転流させている。この転流方式（バイパス転流）では、従来の断続転流方式に比べて電動機の軸トルクの脈動を低減できる。一般に鉄鋼圧延機の運転では4象限運転が要求されるが、サイリスタモータは、インバータの位相制御角の切換と補償界磁電流の極性切換により容易に早く行える。

圧延機駆動用電動機は単機大容量化、高速化の傾向にあるが、サイリスタモータでは直流機のような整流上の問題がないから大容量化、高速化、高電圧化が可能であり、高電圧化することにより効率の向上、工事費の低減ができ、また保守性が向上するなどの特長をもっている。

3. 直流多相式サイリスタモータの特性

3.1 静特性

当社では直流多相式サイリスタモータのシミュレーション解析手法を開発しており、新日本製鐵(株)納めサイリスタモータ1,950 kW、試作機などでこのシミュレーションの妥当性を確認している。ここでは試設計サイリスタモータ8,000 kW (45/130 rpm, 20極)を例にとり、静特性のシミュレーション結果を図2に示す。Base速度の静特性では、主界磁電

流 I_f と補償界磁電流 I_{fc} を主回路直流電流 I_{dc} にほぼ比例させ、また主回路直流電圧 E_{dc} を電機子抵抗による電圧降下分だけ増加させることにより電動機出力を主回路直流電源に比例させることができ、直流機と同等の特性を得ている。Top速度ではBase速度の場合に比べて、主界磁電流を低減して主回路直流電圧を同一にしている。この結果、Base速度からTop速度までの弱め界磁範囲では、主回路整流器の電源力率がほぼ一定になり、電源容量を低減できる。

3.2 バイパス転流方式

低速運転時には電動機逆起電力が小さくなり、この逆起電力を利用したインバータの転流（負荷転流）が困難になる。サイリスタモータ8,000 kWを例にとり、負荷転流の限界をシミュレーションで求めた結果を図3に示す。回転数9 rpm、定格トルクにおいて、インバータが転流するときのサイ

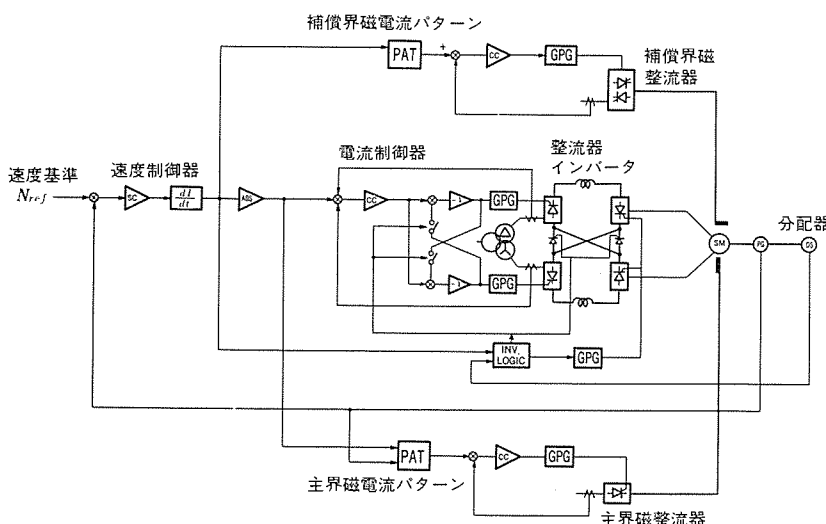


図1. 基本回路構成

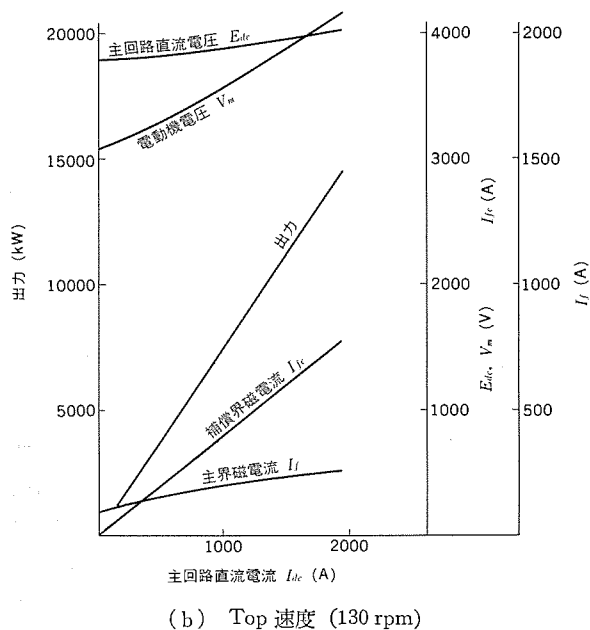
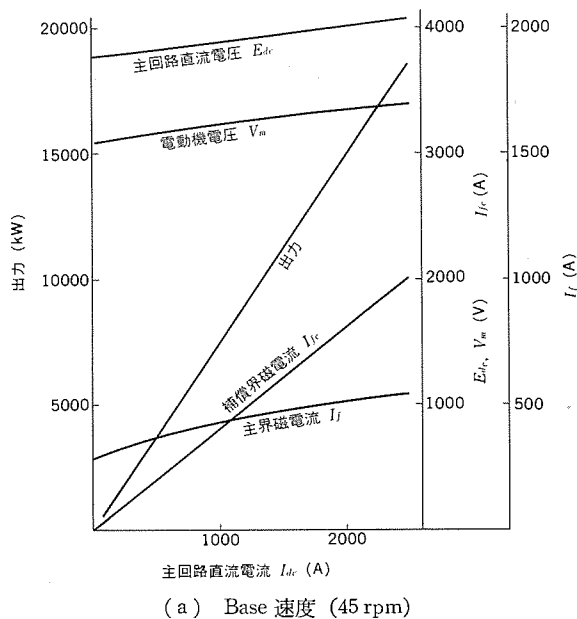


図 2. サイリスタモータ 8,000 kW の静特性

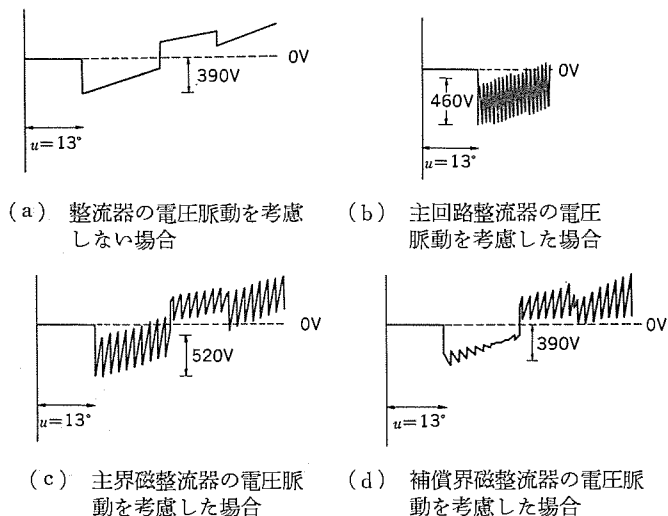


図 3. 負荷電流限界の電圧波形

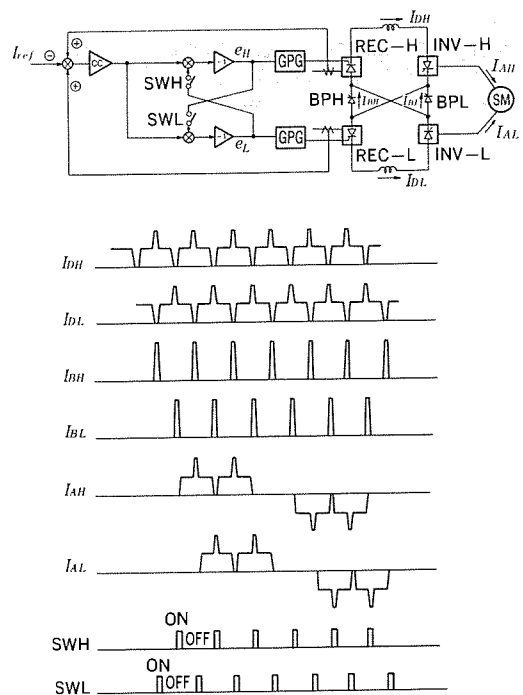
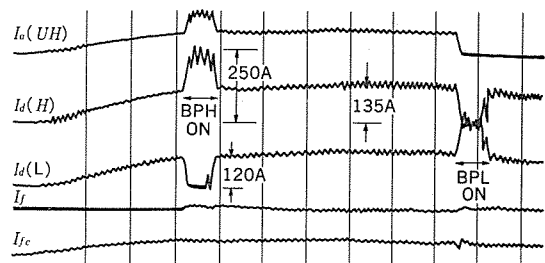
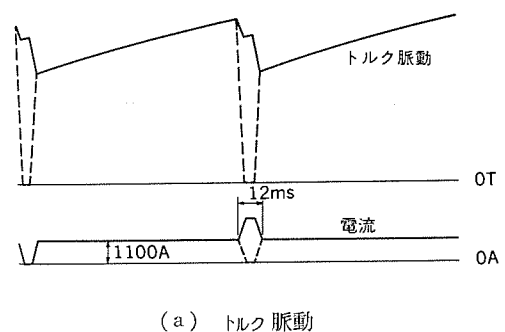


図 4. バイパス転流方式

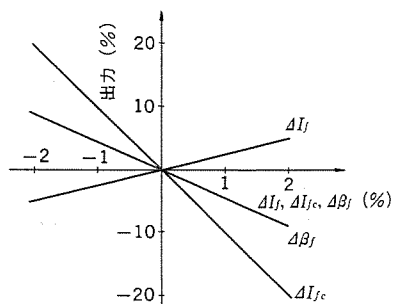


(b) 各部の電流

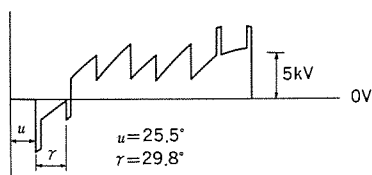
図 5. バイパス転流波形

リスタの印加電圧波形を示しており、電機子抵抗の電圧降下分と主回路、主界磁、補償界磁の各整流器の直流出力電圧の脈動成分が、インバータの転流に大いに影響する。

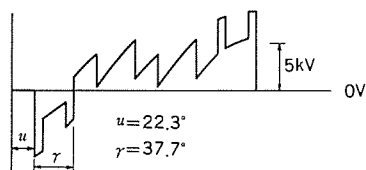
負荷電流の限界以下の速度では、従来は主回路直流電流を断続させてインバータを転流させていたが、トルク脈動が大きくなる傾向があった。トルク脈動を低減させるために開発したバイパス転流方式の動作を図 4 に示す。サイリスタスイッチ BPH、BPL は逆並列に接続して、二組の整流器とインバータ間に共通に接続する。例えばインバータ INV-H を転流させるときは、整流器 REC-H により直流電流 I_{dH} を零にする。一方、インバータ INV-L の直流電流 I_{dL} を整流器 REC-L に



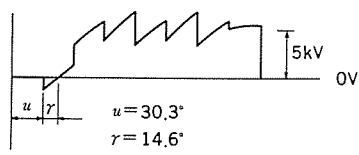
(a) 制御誤差による出力の変化特性



(c) サイリスタ 電圧波形 ($\Delta I_{fc} = 0\%$)



(b) サイリスタ 電圧波形 ($\Delta I_{fc} = +2.7\%$)



(d) サイリスタ 電圧波形 ($\Delta I_{fc} = -2.7\%$)

図 6. 負荷転流特性 (Top 速度)

より 2 倍まで増加させて、インバータ転流時の瞬時トルクの低下を補償している。バイパス転流時のトルク波形を図 5. (a) に示す。破線の波形で示す断続転流方式では、トルク脈動が大きくて平均トルクも減少する。実線の波形で示すバイパス転流方式では、トルク脈動が負荷転流時とほぼ同じになり、改善されている。図 5. (b) はバイパス転流方式の試験結果を示す。これはサイリスタモータ 8,000 kW と等価性をもたせて試作したサイリスタモータ 150 kW (150/450 rpm, 8 極) の各部の電流波形である。

3.3 負荷転流特性

一般に可逆圧延用直流機では弱め界磁範囲が広い場合には、整流上の理由から Top 速度で過負荷運転を行うことは困難な傾向がある。サイリスタモータではインバータの転流電圧を十分確保するように、界磁電流を精度良く制御することにより、安定な転流動作が可能で過負荷耐量を増加できる。例えば、サイリスタモータ 8,000 kW について、界磁電流とインバータの位相制御角 β_f の制御誤差に対する電動機出力（ほぼ主回路直流電圧と比例する）の変化特性を求めた結果を図 6. (a) に示す。補償界磁電流の制御誤差による影響が顕著であり、インバータのサイリスタの印加電圧波形を図 6. (b), (c), (d) に示す。(d) の波形は二組のインバータの転流現象が一部重なる重複転流モードを示し、補償界磁電流が更に減少すればインバータは逆電圧不足となり転流失敗を生じる。

インバータの位相角 β_f の精度は、分配器の微調整により向上できるが、速度急変などの過渡変動を考慮した場合には界磁電流の制御精度に限界が生じ、制御誤差は無視できない。そのため、制御誤差の影響が大きい補償界磁電流の制御系に主回路直流電圧をフィードバックする電圧制御系を付加して、補償界磁電流の制御誤差を補正し、安定な運転性能を得る方式を開発した。図 7. は試作機 150 kW で 0-Top の加速試験を行ったときの動作波形を示す。主回路直流電圧制御系の付加により、Base-Top 間で主回路直流電圧 E_{dc} が一定に制御されている。Top 速度付近では過負荷制限近辺まで電流が増加しているが、インバータの転流失敗は生じていない。

3.4 過渡応答特性

試作機 150 kW で行った速度のステップ応答の例を図 8. (a) に示す。

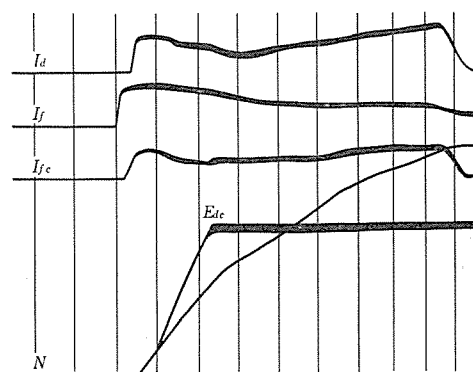
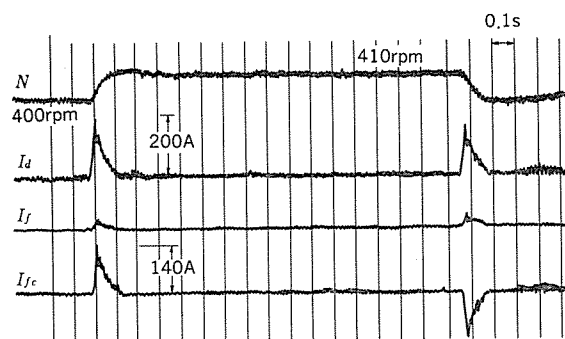
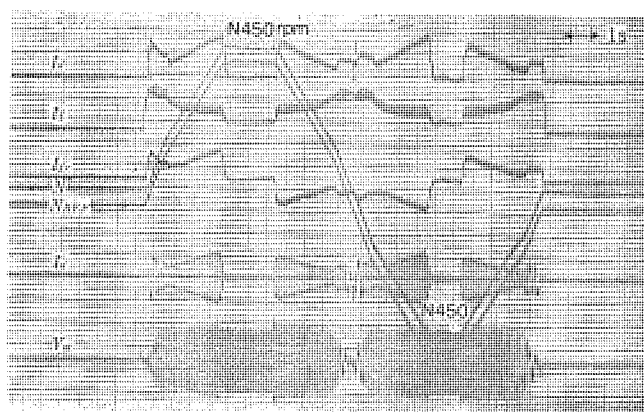


図 7. 0-Top 加速運転特性



(a) 速度のステップ応答 (定出力領域)



(b) 加減速運転特性

図 8. 過渡応答特性

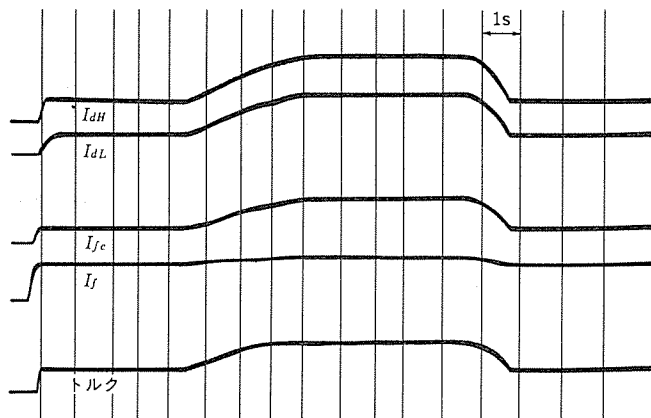


図 9. ストール 運転特性

これは定出力領域におけるもので、0.08 秒程度の応答時間が得られたが、速度制御器に自動 ゲイン 切換機能を付加しているため、定トルク領域の速度応答と同程度になっている。加減速運転特性を図 8. (b) に示す。これは Top-Top の運転特性で速度指令 N_{ref} に対して良好な追従性が得られ、8 秒で可逆運転を行っている。Base-Base の所要時間は 2 秒である。

3.5 その他の運転特性

圧延ではストール運転を要求される場合があるが、サイリスタモータでは直流機と同様にトルクを容易に発生できる。図 9. に試作機 150 kW のストール運転特性を示す。主回路直流電流に比例してトルクが増加している。ストール運転時にはインバータの一つの相のサイリスタに電流が連続して流れるが、このサイリスタの温度上昇に注意する必要がある。電動機効率を 1 に近づけるように制御することにより、同一トルクの発生に必要なインバータ電流が低減でき、インバータのサイリスタの電流定格を整流器と同じものにした場合でも、圧延上要求される時間内で継続してストール運転が可能である。

圧延ロールの組替え時に極低速運転が要求されるが、直流多相式サイリスタモータではトルク脈動の影響もなく安定に運転できる。サイリスタモータ 1,950 kW、試作機などで約 1 % 速度でも十分安定して運転できることを確認した。

インバータの転流失敗時に生じる過電流保護については、整流器、インバータの瞬時ゲート遮断により容易に過電流を抑制でき、直流機のように直流高速度遮断器による保護は不要である。主回路整流器は図 1. に示すようにインバータと同様に、6 相整流回路を 2 段縦続接続して 12 相整流運転を行っているため、6 相整流の場合に比べて電源の高調波電流を低減でき、また二組の整流器を非対称制御することも可能であり、低速運転時に電源効率が向上する。更に主回路整流器を多段縦続接続して、多相整流回路の構成が可能であり、電源の高調波電流の抑制に効果がある。

4. 直流多相式サイリスタモータの応用

信頼性、経済性向上の要求にこたえるものとして、直流電動機と同等以上の性能を有する直流多相式サイリスタモータの応用分野は広い。鉄鋼圧延プラントでは熱間圧延及び冷間圧延機の主電動機として、シングルミル、タンデムミルあるいは可逆ミル、非可逆ミルのいずれにも適用でき、同一方式の交流可変速システムでプラントを構成できることは保守性からも好ましい。また、鉄鋼圧延用以外の用途として揚水発電起動装置やファン、ポンプ、コンプレッサなどの大容量交流可変速システムにも適用できる。

制御装置の信頼性、保守性、制御性能の向上を図るために、保護監視も含めて 16 ビットのマイクロコンピュータによるデジタル制御装置を開発した。制御装置の基本構成図を図 10. に示す。CPU の演算では、主回路電流制御系が比較的大きな時間を費す。直流多相式サイリスタモータでは、主回路整流器が 2 段縦続接続されて 12 相整流構成のため、一つの電流制御系の演算を行うだけでよく、また無負荷運転などで生じる電流断続時の電流制御系のゲイン低下を位相制御角で補正する場合も、12 相整流回路では電流断続限界点が狭いため、

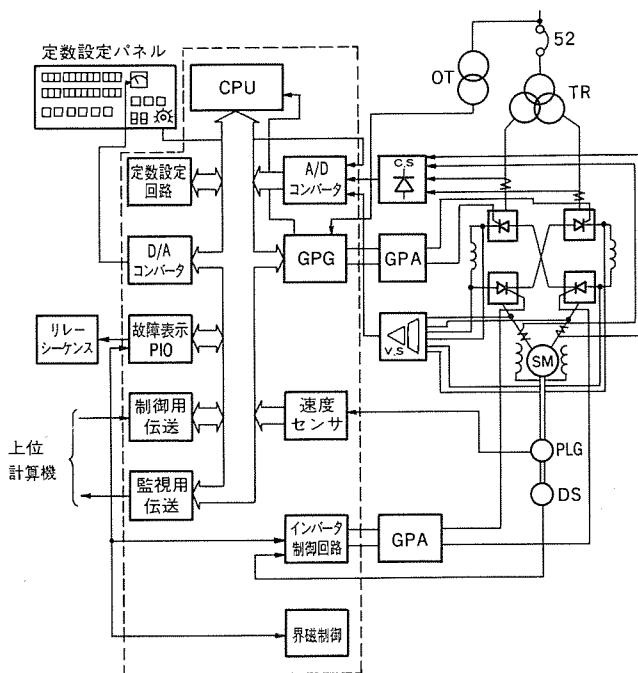


図 10. デジタル制御装置の構成

6 相整流回路に比べると容易に補正できて演算時間が短縮され速度制御の応答を向上できる。

5. む す び

サイリスタモータは数多くの交流可変速システムの一つにあげられ、高圧大容量の始動装置に採用されるなど実績もあり、またサイリスタレオードに代表される鉄鋼におけるパワーエレクトロニクスの応用の実績を生かして開発され、信頼性も高く、制御性能も直流機に匹敵する。

直流多相式サイリスタモータは、無保守化、高効率化、単機大容量化、経済性などが志向される場合に最適な可変速システムであり、鉄鋼圧延用に限らず、他の用途の大容量交流可変速システムにも適用できる。

当社では、直流多相式サイリスタモータの大容量機への適用拡大の技術を整えており、大形圧延機用も含めた大容量交流可変速システムに適用を図るとともに更に新技術の研究開発に努める所存である。

(昭 57-4-11)

参 考 文 献

- (1) 林ほか：最近の圧延機駆動用電動機の動向，三菱電機技報，51，No. 8 (昭 52)
- (2) Shinryo et al. : Commutatorless DC Drive for Steel Rolling Mill, IEEE, IAS, 1977 Annual Meeting.
- (3) Hosono et al. : Static Converter Starting of Large Synchronous Motors, IEEE, IAS, 1976 Annual Meeting.
- (4) 矢野ほか：圧延用直流多相式サイリスタモータ 1,950 kW，三菱電機技報，55，No. 11 (昭 56)

工作機用AC主軸装置のデジタル化

水野 公元*・海野 真人*・坂崎 正一*・林田 隆洋*

1. ま え が き

工作機の主軸は耐環境性の向上、メンテナンスフリー、高速回転などの要求から多年にわたって使用されてきた DC モートル方式を性能、価格面でりようがし、正弦波 PWM インバータによるかご形誘導電動機駆動方式が、主流となっている。当社も昭和 56 年より《FREQROL-SB, SD》形インバータ⁽¹⁾を発表し好評を博してきた。

このたび、永年の工作機主軸に関する豊富な経験及び《FREQROL-SB, SD》で蓄積した AC 主軸インバータの技術、並びにパワーランジスタ応用技術を使用するとともに、最新のマイコン技術を駆使することにより、DDC 化(Direct Digital Control)を実現し、今回製品化した《FREQROL-SX》(図 1.) についてそのシステム概要⁽²⁾と性能について述べる。

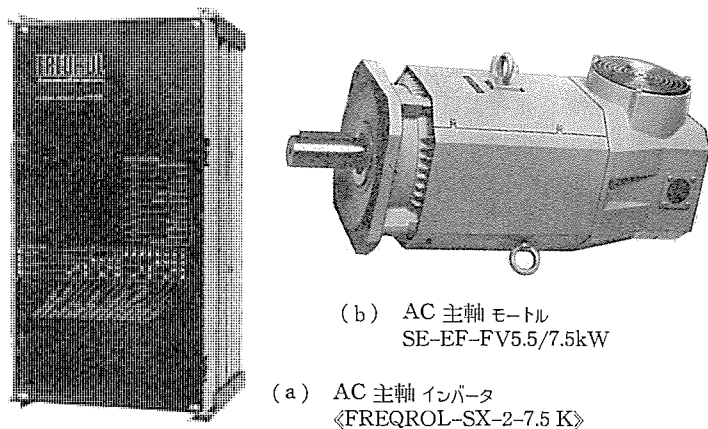


図 1. 工作機用 AC 主軸装置の外観

2. 特 長

図 2. は DDC 化した《FREQROL-SX》の製品化の背景を示す図である。アナログ方式をそのままマイクロコンピュータ（以下、マイコンと称す）によりデジタル化したのでは、マイコンのデータ処理が本質的に離散的であること。しかも、あるサンプリング周期ごとに制御を行う時間離散値系となり、更に現在の汎用のマイクロプロセッサでは処理速度に制約があるため、サンプリング間隔もある程度以下に短くすることは困難となること。などにより、アナログ方式より性能が下がることが多い。

今回、製品化した《FREQROL-SX》ではデジタル制御系の特長を生かし、従来アナログ制御ではハードウェアの拘束により実現できなかった数々の制御方式を取り入れることにより、上記欠点を取り除き、次に述べる特長を有している。

(1) 高精度制御の実現

速度ループ、電圧ループなどの制御演算は位置形 PID 制御式を利用しているが、運転状態に応じたモード切替や予測制御、非線形補償などにより安定かつ高精度制御を実現した。

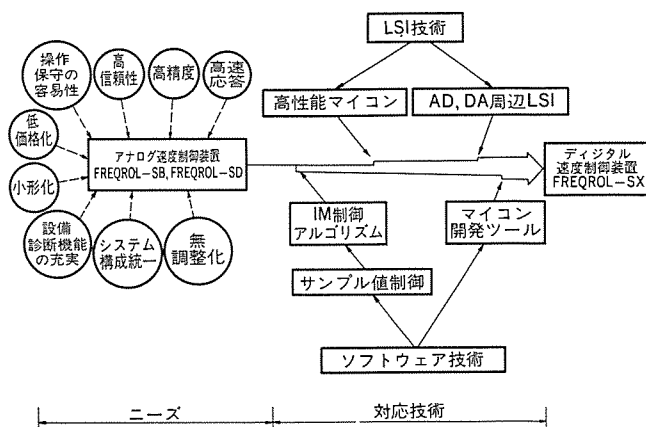


図 2. 製品化の背景

(2) 多様な仕様に ROM 交換で対応

ベース回転数及び最高回転数の変更は、ROM 交換及びディップスイッチ切替で可能とした。

(3) 調整要素を最小化

アナログレベルの調整ポイントの大幅な低減及びデジタル化により調整要素の最小化を実現した。

(4) 調整、保守に特殊な技能が不要

基本回路動作の自己診断をソフトウェアで自動的に行うとともに、メンテナンスパネルで故障診断を行うことにより、調整、保守に特殊な技能を必要としない。

(5) 温度変動、部品ばらつきの影響を最小化

デジタル化により、温度変動、部品ばらつきの影響を最小にし、特性の均一化を実現した。

(6) ハードウェア構成がシンプル

自動相順判別機能、デジタル速度指令の BCD, BINARY の切換などをソフトウェア化することにより、ハードウェア構成をシンプルにした。

(7) NC などとの結合がデジタル信号で可能なため、将来的には光ファイバなどが応用でき耐ノイズアップ高度化、標準化が容易である。

(8) LSI 素子が中心となるため、部品点数の減少、組立ミスの減少につながる。

3. 装置の構成

誘導電動機を制御するインバータの速度制御方式としてオープンループ形とクローズループ形がある。すべり周波数制御やベクトル制御はクローズループ形に属する。AC 主軸インバータ装置は、より精密な速度制御、位置制御を行うためにクローズループ形を適用している。

図 3. 電流制限・可変すべり飽和値制御・弱め励磁・速度制御アップその他を周波数制御方式とともに示す制御ブロック図であり、図 4. はシステム構成図である。これらの機能は、すべてソフトウェアが土台となっているので、ハードウェアは非常に簡単な構成となる。正

弦波パルス発信器は、速度検出を行うために直接電動機に接続している。装置は、磁気センサからの入力信号やパルスゼネレータのマークパ

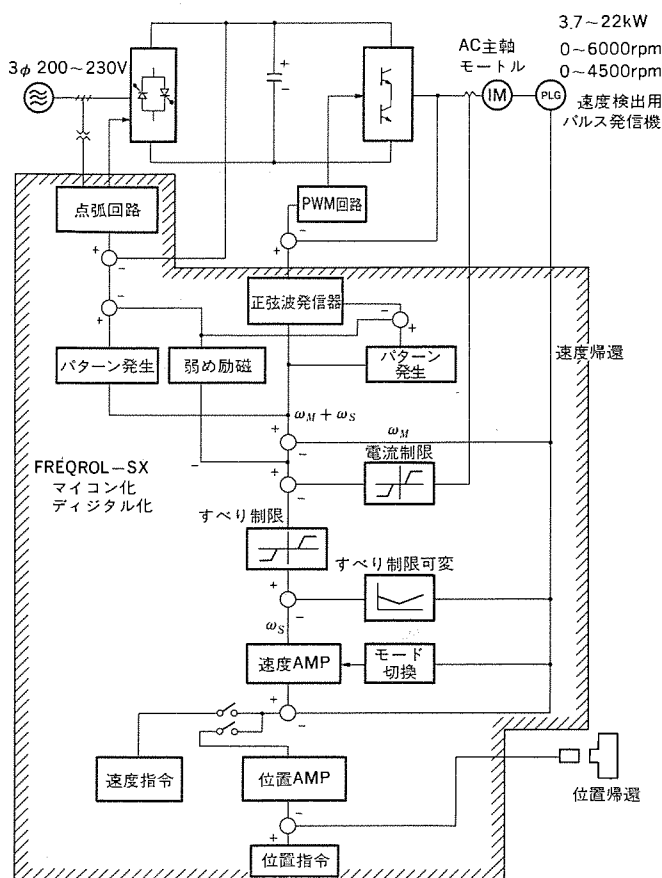


図 3. 《FREQROL-SX》制御ブロック図

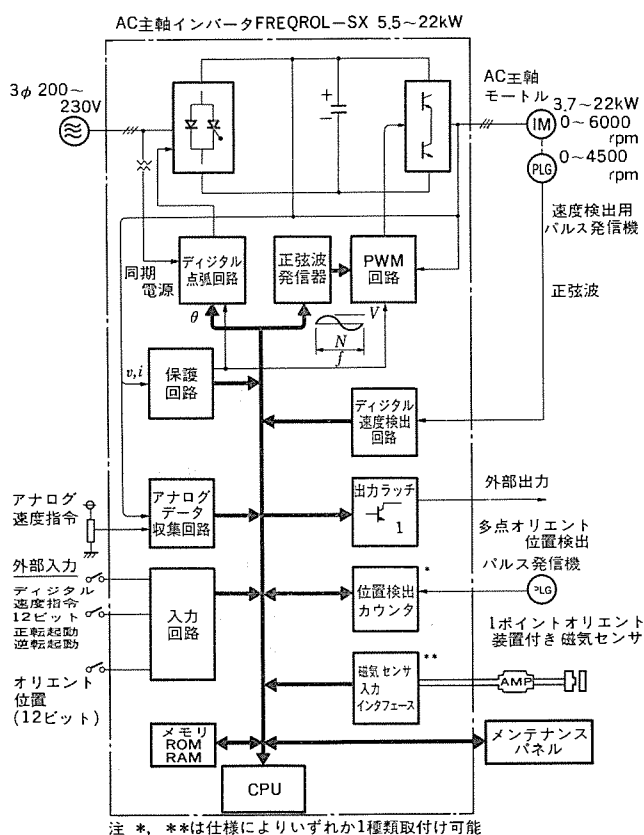


図 4. 《FREQROL-SX》システム構成図

ルスを電動機のシャフトに取り付けることにより取り込み、オリエンテーション機能(定位停止)を可能にしている。

主回路は、AC電源を整流する三相全波可逆サイリスタブリッジと、DCをACに交換するトランジスタブリッジからなる。電動機にブレーキをかける際に発生する回生エネルギーは、インバータ側のダイオードとコンバータ側の回生サイリスタを通して電源へ戻される。制御回路は、16ビットCPUと周辺LSIで構成している。制御回路は、システムプログラムやパラメータテーブルを内蔵するROM、演算結果を格納するRAM、CW/CCW起動信号やオリエン起動信号などの外部信号、主回路の電圧や電流あるいはアナログ速度指令などのアナログ信号をディジタル値に変換するA/Dコンバータ、コンバータ制御ディジタル点弧回路、インバータの v/f 制御の指令信号を発する正弦波発信器、速度致達信号や零速度信号などの出力信号を外部素子へラッチする出力ラッチ回路、オリエンテーション機能のための出力信号カウンタ、磁気センサインタフェース、自己診断やすべり信号などのモニタを行うメンテナンスパネルからなる。

正弦波発信器の出力は、積分形瞬時値制御PWM回路に送られ、インバータ側のパワートランジスタを制御する。それにより、0~6,000rpm全回転数域にわたり、高調波成分の少ない、きれいな正弦波電流をモータに供給している。PWM制御回路は、数kHzの即応性が必要とするので、この装置唯一アナログ式回路を採用している。保護回路は、主回路のサイリスタ及びパワートランジスタを保護する目的で設けており、装置の信頼性や安全性を高めている。

(1) デジタル速度検出回路

AC主軸インバータ装置においては、その速度検出が非常に重要な要素であり、高分能の速度検出器が必要となる。ディジタル制御の特長を生かすため、パルスエンコーダによる速度検出が考えられる。パルス発信器による速度検出方法には、表1.に示すように、周波数測定法、パルス周期測定法などがあるが、いずれの方法も広範囲な速度領域での測定を必要とする工作機械の主軸制御用には問題があった。そこ

表 1. 速度検出方式

方式	①入力パルス数測定方式	②入力パルスの周期測定方式	③正弦波エンコーダの波形位置による測定方式
原理	入力パルス(P)の周期(T)を測定する。	入力パルス(P)の周期(T)をクロックパルス(P _c)で測定する。	正弦波上の位置(アナログ値)をディジタル変換しサンプル時間(T)の変化量(D ₁)を測定する。
速度測定値	$60m_1/P \cdot T_c$ (rpm)	$60f_c/P \cdot m_c$ (rpm)	$A \cdot \frac{D_1}{T}$ (rpm)
特徴	(1)回路が簡単 (2)高精度を得るためには、長い測定時間を要する。しかし、測定時間を長くすると応答が悪くなる。 (3)低速の精度が極端に悪くなる。	(1)低速で高精度検出が可能となるが、高速になると精度が落ちる。 (2)回転むらパルス発生器のパルス間誤差により検出値が変動する。	(1)超低速での高精度検出が可能となる。 (2)変化量(D ₁)が正弦波の1/2周期を越える速度では①又は②の方式を併用する必要がある。

注 P: 1回転当りの発生パルス A: 単位時間当りの変化量を回転数に変換するための係数

で《FREQROL-SX》では、正弦波パルス発信器を採用し、パルス数による周波数測定と、アナログ値による超低速域の速度検出を併用しマイコン演算により、速度精度と大幅に向上させている。

(2) 速度制御方式

AC 主軸インバータ装置は、より精密な速度制御、位置制御を行うため、すべり周波数制御を行っているが、その速度指令演算はすべりの大きさ、速度領域などの条件により、P 制御、PI 制御、PID 制御の切換を行っている。(特許申請中) すべり飽和値はモータの特性に合うよう速度によって可変にしている。また定常時と加減速時によっても、すべり飽和値を可変にする(特許申請中)ことにより、全速度領域による安定した出力及び滑らかな加減速を実現している。

(3) サイリスタコンバータ 点弧回路

PLL 回路とマイコンのバスに直結した LSI とを組合せた全デジタル制御方式を採用した。PLL 回路によって、電源の周波数と位相に同期したクロックパルスを作り、位相角をカウントし、三相各々を制御するサイリスタへの点弧パルスが発生する。このため、電源の 50Hz/60 Hz は自動切換となった。(特許申請中) また、電源の相順検出機能及び欠相検出を付加した。位相角の演算は PI 制御を行い、制御定数は、力行、回生などの条件によって切り換えている。また、回生から力行への切換、力行から回生への切換時には、演算の積分量をリセットする(特許申請中)などの操作を行って、コンバータの応答の向上、回生能力の強化を行った。

(4) オリエンテーション機能

ロボット応用、自動工具交換装置では、主軸を任意の位置に停止させるための純電気式オリエンテーション機能の付加が不可欠となっている。このインバータ装置では、磁気センサによる 1 ポイントオリエン、又は位置パルス発信器による多点オリエンのいずれかを取付け可能としている。多点オリエンでは、主軸停止角度 360° を 4,095 分割の位置させることができる。オリエンテーションでは、位置ループ演算及び速度ループ演算をマイコンによって行い、ROM データのギヤ比設定及び負荷 GD^2 により、前もって最適なオリエンテーション動作を決定しておき、オリエンテーション時間の短縮、停止精度 0.1 度以下、停止時の大きなストールトルクの発生を実現した。

(5) 正弦波発信器

すべり周波数制御を行うために、PWM 回路に入力する正弦波指令波形は、速度ループによって演算されたすべり W_s とモータ回数 W_m とから、 $W_r = W_s + W_m$ によって計算された W_r によって電圧及び周波数が決定される。このインバータ装置では、ROM テーブルによって時分割した二相の正弦波データを D/A 変換器に入力し、アナログ回路により三相の正弦波を発生させている。

(6) 保護回路

マイコンを使ったシステムでは、マイコンの誤動作による異常からの保護も考えなければならない。そのため、このインバータ装置の保護回路は、マイコン処理とハードウェアによる二重系システムとし、モータのオーバーヒート、主回路のオーバーヒート、電源電圧の不足、コンバータ過電圧、出力過電流時にはコンバータのゲート遮断、インバータのベース遮断を行って万全を期している。

(7) メンテナンス(自己診断機能)

メンテナンスパネルを接続することにより、自己診断、調整用データのセットなどが可能となっている。

4. ソフトウェア構成

図 5. は当社の AC スピンドル制御インバータ装置におけるソフトウェアのフローチャートを表す。ソフトウェアは、大別して 2 グループで構成している。すなわち、第 1 はシステムのインシャライズで開始するベシックプログラムグループ、第 2 はベシックプログラムあるいは周辺 LSI からの要求により、割込みを実行する割込み処理プログラムグループである。上記二つの主プログラムに加えて、非常停止・起動プログラムその他いくらかの副プログラムも有している。

図 5. に示すフローチャート 1 は、ベシックプログラムの概略を表す。インシャライザプログラムでは、RAM 内容のリセット、周辺 LSI・I/O ポートのリセット、必要とするデータのセット、ディップスイッチ選択によるモードセット、電源相順の判別、欠相検出を実現する。

速度指令入力プログラムでは、デジタル速度指令あるいはアナログ速度指令を読み込み、指定の速度指令をセットする。補助機能プログラムでは、ロードメータ出力の演算その他の補助的機能の処理を行う。

メンテナンスパネル制御プログラムでは、すべりなどの制御状態をオシロスコープその他に表示するための処理を行う。フローチャート 2 は、速度制御ループと電圧制御ループ演算をサンプリング時間で実行する割込みプログラムの概略を表す。速度推定プログラムでは、デジタル速度検出回路により、パルスゼネレータからのフィードバックパルスを検出し速度変化を推定する。

インバータに異常が発生した場合、アラームコードを出力し、インバータ部のベース遮断、コンバータ部のゲート遮断を実行しプログラム処理を停止する。異常が発生しない場合、オリエン指令有りでオリエンループプログラム

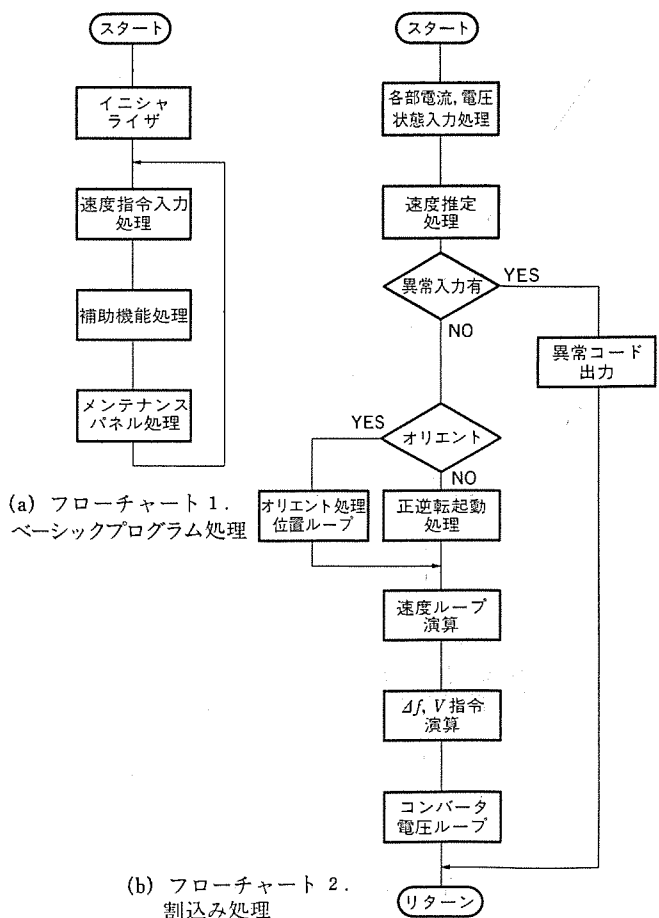


図 5. 概略フローチャート

グラムを実行し位置ループ演算を行う。オリエン
ト指令が無い場合、正転逆転処理プログラムにお
いて、回転方向（正転か逆転か）や指令速度
変化がモニタされる。すべり周波数 W_s は速
度ループ演算プログラムで演算し、プログラム内蔵
のF-Vパターンに基づき、モータ回転速度 W_M
と W_s によりインバータ電圧指令及びコンバー
タ電圧指令を設定する。コンバータループ演算プロ
グラムでは、コンバータ電圧指令とコンバータ電
圧フィードバックにより演算し、設定した点弧角デ
ータをデジタル点弧回路へ出力する。

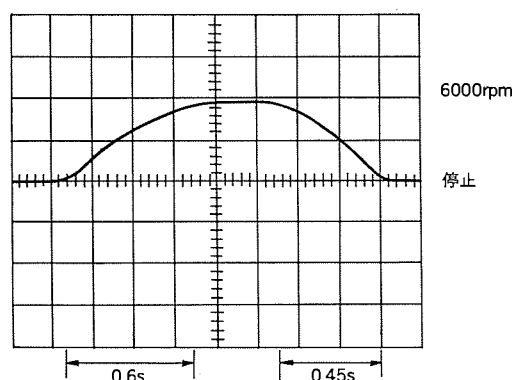


図 6. 0～6,000 rpm 加減速特性

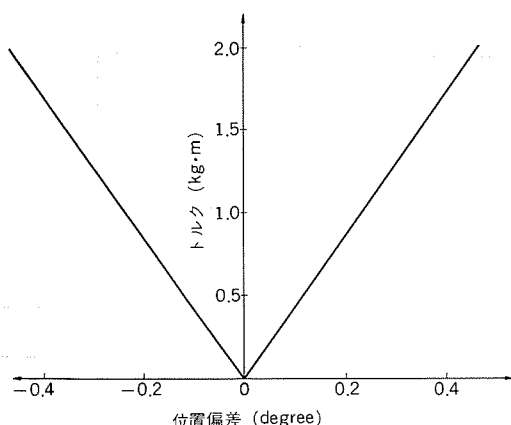


図 7. サーボ剛性 (5.5/7.5kW)

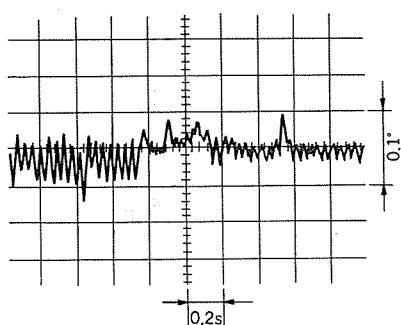


図 8. オリエン時位置偏差

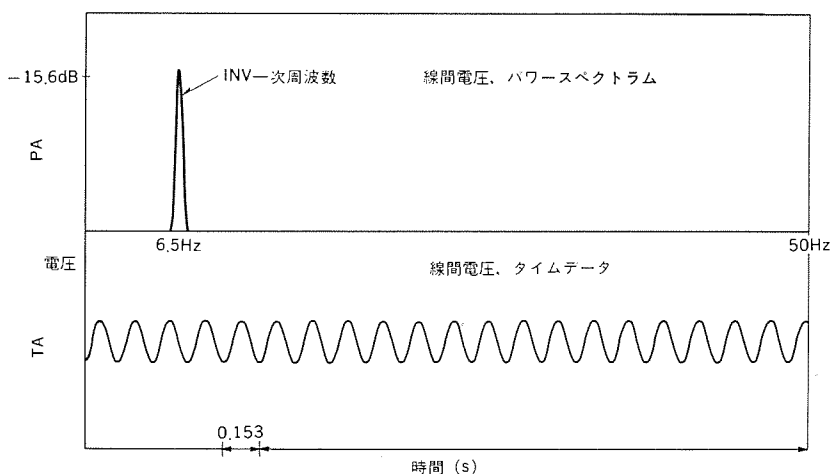


図 9. インバータの出力電圧波形と周波数分析

5. 運転特性

5.1 始動・停止性能

図 6. に、主軸電動機（出力 7.5 kW、ベース回転速度 1,500 rpm）を
無負荷で 6,000 rpm まで駆動したときの特性を示す。オーバシュートが
ない速度応答波形が得られ、加減速時間は、加減速トルク：定格の
120 %、 GD^2 : 0.093 kgm² の理論加減速時間に近い値が得られた。

5.2 オリエンテーション性能

エンコーダオリエン方式にてマシニングセンターで実機テストした結果、最高
速度からの位置決め停止時間は、2.5 s 以下、位置決め精度はハイギア、
ローギア 共機械の主軸にて $\pm 0.1^\circ$ 以下の結果が得られている。また、
サーボ剛性を図 7. に示す。速度フィードバックにタコジェネレータを利用
した《FREQROL-SD》と同等の性能を得ている。図 8. にマグセンサ
オリエン方式によるオリエン停止時の位置決め精度を示すが、停止時
振動が $\pm 0.05^\circ$ 以下になっており、安定な位置決めが行われている。

5.3 出力電圧の周波数分析

図 9. に PWM 回路における 6.5 Hz 駆動時出力電圧波形の周波数
分析結果を示す。出力電圧は、正弦波に非常によく近似しているの
が分かる。

6. む す び

DDC 化を行った工作機主軸用 AC インバータの概要について述べた。
今後もマイクロプロセッサを用いた制御装置の特長を生かし、より制御
性能の高い制御アルゴリズムの開発、より多様な仕様に整合した製品
を製作していく所存である。需要家各位の御指導、御批判をいただ
ければ幸いである。

参 考 文 献

- (1) 松本ほか：工作機械主軸用 インバータ 駆動 AC モータ、三菱電
機技報，56，No. 5（昭 57）
- (2) 水野ほか：速応形 インバータ 制御の デジタル 化，昭 57 年 電気
関係学会東海支部連合大会

1. ま え が き

最近の産業界の各分野で、装置の自動化が急激に進み、それに対応して制御装置の高信頼化及びメンテナンスフリー化の要求が高まっている。システムの手足となるべきサーボドライブ部分もその例外でなく、過酷な環境のもとでも所期の性能を長時間維持することを要求されている。この度、このような要求に対応するため、NC制御をはじめとする産業メカトロニクスにサーボ用として、永久磁石ロータを有する三相同期電動機を用いたACサーボシステムを開発した。ここに、その制御原理、性能、特長などについて紹介する。

2. 制 御 原 理

ACサーボモータとしての同期電動機の制御方式には種々あるが、ここでは当社が開発した、定常的にも、また過渡的にも他励直流電動機と等価な特性をもつ永久磁石式同期電動機の制御原理について説明する。

2.1 同期電動機の電圧電流方程式

空けきが一樣で突極構造でない回転界磁形同期電動機の電圧電流方程式は、角速度 ω で回転する d^e-q^e 座標上では式(1)のように表される⁽¹⁾。

$$\begin{bmatrix} v_{d^e s} \\ v_{q^e s} \\ v_{d^e r} \\ v_{q^e r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + PL_s & -\omega L_s & PM & -\omega M \\ \omega L_s & R_s + PL_s & \omega M & PM \\ PM & -(\omega - p\omega_r)M & R_r + PL_r & -(\omega - p\omega_r)L_r \\ (\omega - p\omega_r)M & PM & \omega(-p\omega_r)L_r & R_r + PL_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{d^e s} \\ i_{q^e s} \\ i_{d^e r} \\ i_{q^e r} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

R_s, R_r : 電機子及び界磁巻線抵抗

L_s, L_r, M : 電機子、界磁巻線インダクタンス及び相互インダクタンス

p : 極対数

ω_r : 界磁角速度 (機械系から見たもの)

$v_{d^e s}, v_{q^e s}$: d^e 及び q^e 軸電機子電圧

$v_{d^e r}, v_{q^e r}$: d^e 及び q^e 軸界磁電圧

$i_{d^e s}, i_{q^e s}$: d^e 及び q^e 軸電機子電流

$i_{d^e r}, i_{q^e r}$: d^e 及び q^e 軸界磁電流

$P = d/dt$: 微分演算子

式(1)において ω を $p\omega_r$ と等しくとり、更に、界磁が永久磁石ということで、次の二つの式が成立するものとする。

$$\psi_{d^e M} = M i_{d^e r} \quad (\text{一定}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\psi_{q^e M} = M i_{q^e r} \quad (\text{一定}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、

$\psi_{d^e M}$: d^e 軸電機子巻線鎖交磁束数

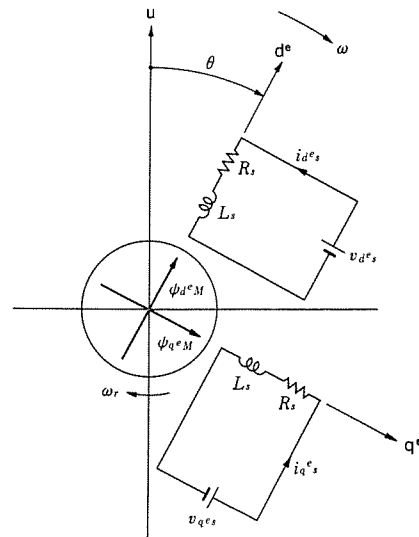


図 1. 永久磁石式同期電動機の d^e-q^e 座標上で示した等価回路

$\psi_{q^e M}$: q^e 軸電機子巻線鎖交磁束数

この場合、式(1)は次式のように変形できる。

$$\begin{bmatrix} v_{d^e s} \\ v_{q^e s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + PL_s & -\omega L_s \\ \omega L_s & R_s + PL_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{d^e s} \\ i_{q^e s} \end{bmatrix} + \omega \begin{bmatrix} -\psi_{q^e M} \\ \psi_{d^e M} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (4)$$

また、その等価回路は図 1. で表される。

2.2 制御原理

同期電動機の電圧電流方程式が式(4)で示されると、その発生トルク T_e は次式で表される。

$$T_e = p(i_{q^e s} \psi_{d^e M} - i_{d^e s} \psi_{q^e M}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

したがって、 $\psi_{q^e M} = 0$ となるように d^e-q^e 軸を選ぶとすると、 $i_{d^e s} = 0$ となるように制御するのがよいことになる。そのための方式として次の二つが考えられる。

2.2.1 フィードフォワード方式⁽²⁾

式(4)から分かるように、 $\psi_{q^e M} = 0$ の条件では次式が満足されるならば $i_{d^e s} = 0$ となる。

$$v_{d^e s} = -\omega L_s i_{q^e s} \quad \dots\dots\dots (6)$$

したがって、 L_s をあらかじめ把握しておき、 ω と $i_{q^e s}$ を検出し、式(6)の演算を行って $v_{d^e s}$ を与えればよい。

2.2.2 フィードバック方式

この方式は d^e 軸電機子電流指令 $i_{d^e s}^*$ ($=0$) と、検出した実際の $i_{d^e s}$ との差を増幅して $v_{d^e s}$ を与える方式である。今、その増幅器の伝達関数を G_d とすると $v_{d^e s}$ は次式で表される。

$$v_{d^e s} = G_d(i_{d^e s}^* - i_{d^e s}) = -G_d i_{d^e s} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式(7)を式(4)の1行目に代入し整理すると次式が得られる。

$$i_{d^e s} = \frac{1}{G_d + R_s + PL_s} \omega (L_s i_{q^e s} + \psi_{q^e M}) \quad \dots\dots\dots (8)$$

したがって、 G_d を適当な値をもつ比例要素あるいは比例積分要素とすれば $i_{d^e s} \doteq 0$ となる。

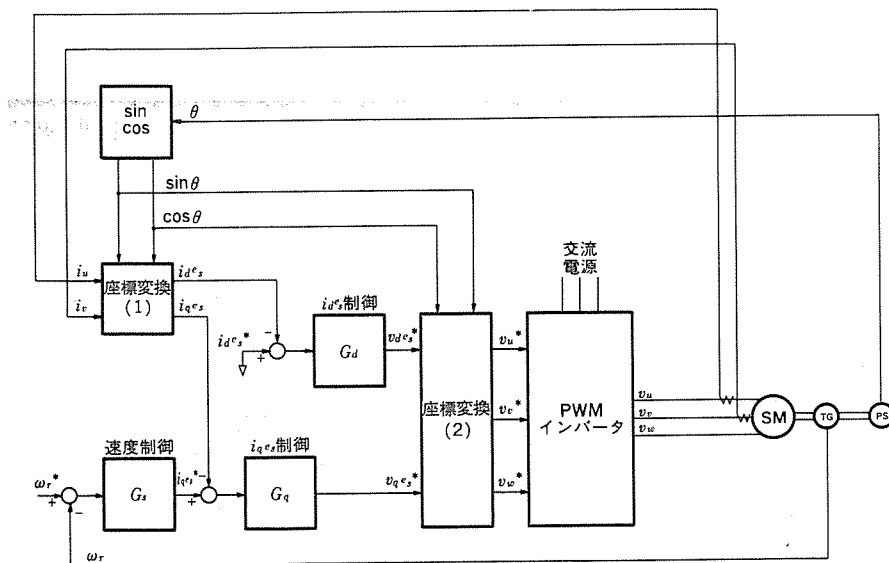


図 2. 同期電動機のフィードバック方式線形制御ブロック図

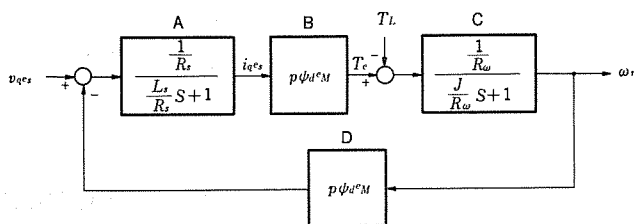


図 3. 線形制御された同期電動機のブロック線図

図 2. はこの制御方式を示すブロック図である。図中、座標変換 (1) は式 (9)、座標変換 (2) は式 (10) で表される変換を行っている。ただし、 d^c 軸は u 軸に対し時計方向に θ だけずれているものとしている。また、PWM インバータは三相電圧指令 v_u^* 、 v_v^* 、 v_w^* などの電圧を出力できるものとしている。

$$\begin{bmatrix} i_{dcs}^* \\ i_{qcs}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{3}/2 & 0 \\ 1/\sqrt{2} & \sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_u \\ i_v \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\begin{bmatrix} v_u^* \\ v_v^* \\ v_w^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{2}/3 & 0 \\ -\sqrt{1}/6 & 1/\sqrt{2} \\ -\sqrt{1}/6 & -1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{dcs}^* \\ v_{qcs}^* \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (10)$$

2.3 伝達関数

以上の説明で $i_{dc} = 0$ とおけることになったので、この制御方式による同期電動機の機械系を含めた状態方程式は式 (11) のように表される。

$$P \begin{bmatrix} i_{qcs} \\ \omega_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_s/L_s & -p\psi_{d^cM}/L_s \\ p\psi_{d^cM}/J & -R_o/J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qcs} \\ \omega_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{qcs}/L_s \\ -T_L/J \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここで、

J : 同期電動機と負荷の慣性モーメントの和

R_o : 同期電動機と負荷の回転制動係数の和

T_L : 負荷トルク

式 (11) は線形状態方程式であり、そのブロック線図は図 3. で表される。図 3. と永久磁石式他励直流電動機のブロック線図を比較すると、図 3. のブロック A は直流電動機の電機子巻線インピーダンスに、ブロック B はトルク定数に、ブロック C はイナーシャ及び粘性摩擦に、そしてブロック D は誘起電圧定数にそれぞれ対応し全く同じブロック構成とな

っている。したがって、この制御原理に基づいて制御された同期電動機は直流電動機と同等な特性を示すことになる。

3. システムの構成と製品

次にこの度、開発した AC サーボの具体的な構成について説明する。

3.1 システムの構成

同期電動機制御システムは図 4. のブロック図で示す。このシステムは従来の DC サーボと互換性を有するように構成しており、TG は速度検出器 (ブラシレスタコジェネレータ)、RE は位置検出器 (レゾルバ) である。今回開発した範囲を実線で示す。なお、破線部を付加することにより、NC 機やロボットの位置制御が可能となる。図において、

ω_r^* : 速度指令

ω_r : 速度フィードバック信号

i^* : 電流指令

i_u, i_v : u 相及び v 相電流フィードバック信号

v_u^*, v_v^*, v_w^* : u 相, v 相及び w 相電圧指令

θ_r : 位置フィードバック信号 (モータ回転角位置及び磁極位置を検出)

θ_r^* : 位置指令

であり、電流制御部は電流指令 i^* 、電流フィードバック信号 i_u 及び i_v

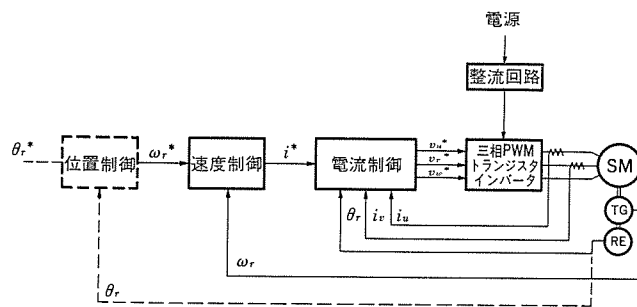


図 4. 同期電動機制御システムブロック図

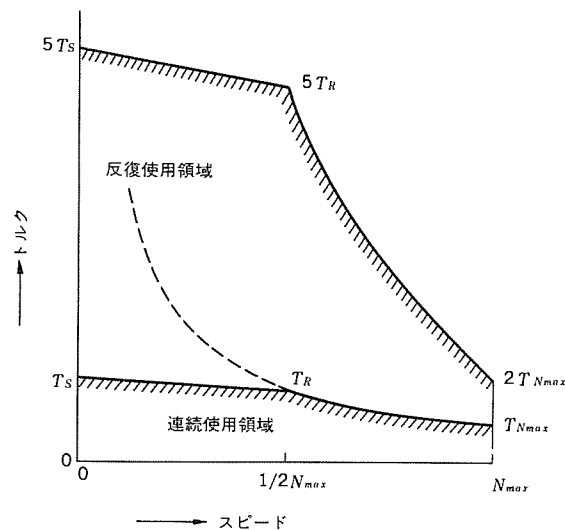


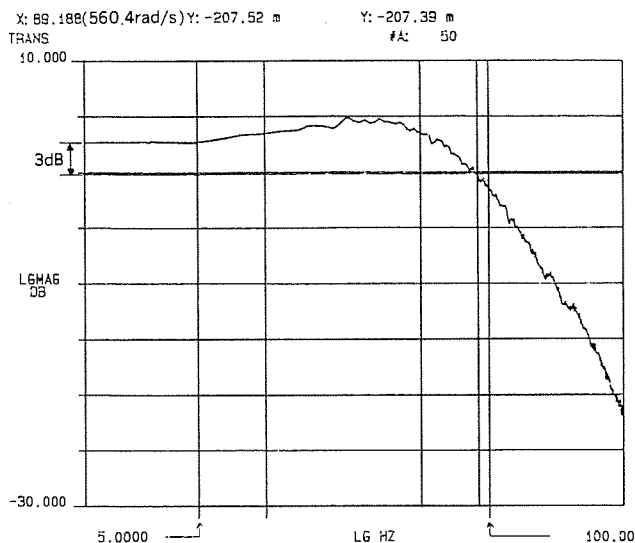
図 5. 代表的なトルク-スピード特性

A quarter circle with its center at the bottom-left corner of the square, spanning from the bottom edge to the left edge.

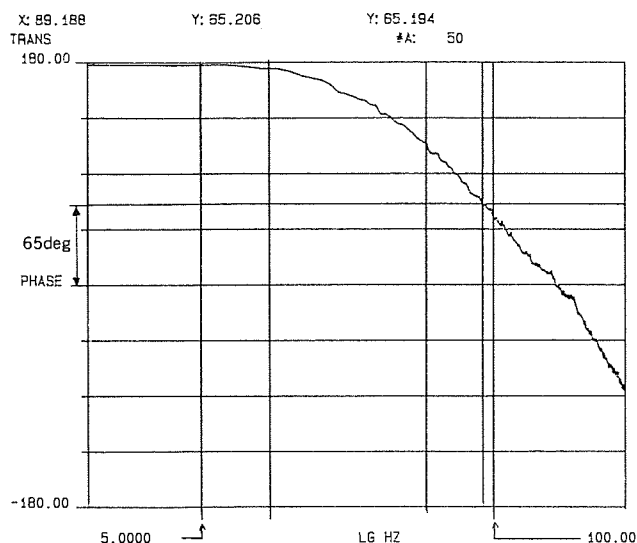
D

(3)の低速での滑らかさに関しては、上記(2)の高応答性(高サ
ーボ剛性)のほかに高速度分解能が要求される。このシステムでは速
度検出器として高精度 DC ブラシレスタコジェネレータを使用しているので、

A quarter circle with its center at the bottom-left corner of the square, spanning from the bottom edge to the left edge.D



(a) 振幅特性



(b) 位相特性

図 6. 速度閉ループ周波数特性

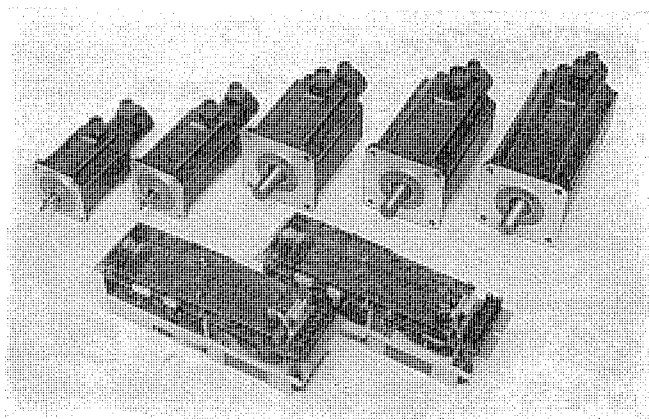


図 7. AC サーボアンプとモータ

分解能に関しても問題なく、NC 工作機械による切削テストでも良好な結果が得られ低速での滑らかさが確認された。

このシステムの性能・仕様は表 1. に示すとおりであり、モータ容量としては 0.4~2.8 kW の 5 機種、サーボアンプとしては 3 機種を第一ステップとして開発した。それぞれの外観を図 7. に示す。

システム及び構成要素の主な特長を掲げると次のとおりである。

- (1) 幅広い速度制御範囲 (1 : 10,000 以上) と広帯域周波数応答性 (500 rad/s) がある。
- (2) ブラシレス化によりメンテナンスフリーを実現、耐環境性も向上した。
- (3) 従来の DC サーボモータに比べて小形軽量である (当社比 : 65 ~ 90 %)。

(4) 従来の DC サーボに比べパワーレートを向上 (当社比 : 150 ~ 200 %) した。

(5) モータ及びサーボアンプは従来の DC サーボシステムと取付互換性がある。

(6) モータ巻線が固定子側にあるため、絶縁の信頼性が向上した。

(7) モータのフレームレス構造により熱的マージンが向上した。

(8) モータは、角形を基調とした新しい外観デザインである。

以上述べたようにこのシステムは多くの特長を持っているので、用途としては、一般工作機械、NC 工作機械、産業用ロボットを含めた各種メカトロニクス分野に使用されていくことが予想されるが、特に高速連続運転、高頻度起動・停止及び防まつ(沫)性、防爆性などを要求される分野においては、AC サーボの特長がより生かされるものと考えている。

4. む す び

以上、当社が最近開発した《MELDAS》用 AC サーボシステムについて述べた。AC サーボ時代は幕が開けたばかりであり、今後更に機種の充実を図るとともに、需要家各位の御指導と御協力を得ながら最適なシステムの実現を目指したいと考えている。

参 考 文 献

- (1) 宮入：エネルギー変換工学入門，下，p. 238 (昭 40)
- (2) 杉本，西内：同期機の直軸電流を零にする制御法，電気学会全国大会 No. 595 (昭 58)

新形汎用インバータ

長南克彦*・多田英明*・甲藤政之*・宮島 徹*・大上正勝*

1. ま え が き

汎用インバータは、省エネルギーをはじめ、省力化、自動化のニーズにこたえ、その用途及び市場は近年急速に拡大している。汎用モートルを容易に可変速モートルに変える汎用インバータは、可変速装置の代表として確固たる地位を得たと言える。そのため、汎用インバータには、各種用途対応の最適な制御機能、モートル駆動特性の向上などの期待が強まっている。

当社は汎用トランジスタインバータの先駆けとして《FREQRQL-Eシリ

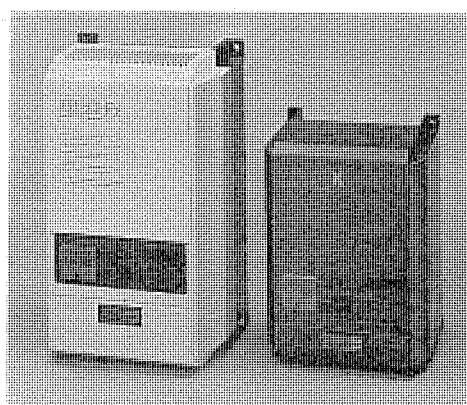


図 1. 《FREQRQL-F₂シリーズ》, 《FREQRQL-Kシリーズ》インバータの外観 (左: FR-F₂シリーズ, 右: FR-Kシリーズ)

ーズ^①を発売し、好評を博してきたが、この度、用途対応に機能を充実させた新形汎用トランジスタインバータ《FREQRQL-K》(一般機械用)と《FREQRQL-F₂》(省エネルギー用)を開発した。本稿では新形インバータの概要及びモートル駆動特性について述べる(図 1., 表 1.)。

2. 新形インバータの概要

2.1 特 長

新形インバータは、汎用インバータとしての必要機能を向上させた上、用途に適応した機種独自の特長を有する。新形インバータ共通の特長は次のとおりである。

- (1) 当社独自の正弦波近似PWM制御方式の採用により低振動、高効率である。
- (2) インバータ(可変周波数電源)用電子サーマルを内蔵しているため、過負荷に対し、モートル及びトランジスタの保護が万全である。
- (3) モートルの加減速時のみならず、定常運転中の過負荷に対する失速防止性能を向上した。
- (4) マイコンを搭載、デジタル回路化を徹底的に追求し、信頼性を向上させた。
- (5) ユーザー設定(加減速時間、周波数設定信号などの選択)は、すべて前面の設定パネルにて可能であり操作性が良い。
- (6) 《FREQRQL-Eシリーズ》(以下、FR-Eシリーズと称す)に比べ、大幅な小形化を図った。

表 1. 新形トランジスタインバータ仕様

項 目		FREQRQL-K シリーズ		FREQRQL-F ₂ シリーズ
適 用 モ ー ト ル		0.4~55 kW	5.5 kW, 7.5 kW	0.75~55 kW
最 大 出 力 電 圧		三相 AC 200 V/50 Hz, 220 V/60 Hz		
電 源	電 圧・周 波 数	三相 AC 200 V/50 Hz, 200 V/60 Hz, 220 V/60 Hz		
	許 容 電 圧 変 動	180~220 V 50 Hz, 180~242 V 60 Hz		
	許 容 周 波 数 変 動	±5%以内		
	制 御 方 式	正弦波近似 PWM 制御, 電圧制御方式		
制 御	周 波 数 範 囲	6~60 Hz, 6~120 Hz, 6~240 Hz 切換 (3 Hz から始動)		6~50 Hz, 6~60 Hz 切換 (3 Hz から始動)
	周 波 数 分 解 能	0.25 Hz (ただし, 5.5 kW 以上は加減速時 0.125 Hz)/最高出力周波数 60 Hz 時		
	周 波 数 精 度	±0.5%/10°C		
	電 圧/周 波 数 比 率	一定 (切換無し)		4 通り切換 (定トルク, 低減トルク各 2 通り)
仕 様	過 電 流 耐 量	150% 1 分間		
	周 波 数 設 定 信 号	DC 0~5 V, 0~10 V 切換		DC 4~20 mA, 0~5 V, 0~10 V 切換
	加 減 速 時 間	0~3.0 秒 (0.2 秒とび), 1~15 秒 (1 秒とび), 10~150 秒 (10 秒とび) 切換		1~15 秒 (1 秒とび), 10~150 秒 (10 秒とび) 切換
	回 生 制 動 ト ル ク	20% 以上		
保 護 機 能	保 護 機 能	過電流失速防止, 回生過電圧失速防止, 過電流遮断, 回生過電圧遮断, 過負荷遮断 (電子サーマル), 瞬時停電保護, 過負荷警報		
		フィン過熱保護 (1.5 kW 以上)		地絡遮断, フィン過熱保護 (5.5 kW 以上)
	周 囲 温 度	-10~+40°C (凍結のないこと)		-10~+50°C (凍結のないこと)
		90% 以下 (結露のないこと)		
保 護 構 造	周 囲 湿 度	腐食性ガスのないこと		
	霧 囲 気	腐食性ガス, じんあいのないこと		
保 護 機 能		全・閉鎖形	閉鎖形	閉鎖形 (7.5 kW 以下) 及び開放形 (11 kW 以上)

2.2 《FREQROL-K シリーズ》

自動化、省力化及び省保守用一般機械を対象として開発した《FREQROL-K シリーズ》(以下、FR-K シリーズと称す)は、次に示すようにダイナミック特性が従来の汎用インバータに比べ優れている。

- (1) ブレーキユニットを標準装備している。また減速時、始動周波数(3 Hz)以下にてDCダイナミックブレーキをインバータに動作させる。
- (2) 速度制御範囲が最大1:40(最高周波数240 Hz)と広い。
- (3) 加速・減速時間が独立に設定でき、かつ0.2~150秒まで幅広く選択が可能である。
- (4) 正転、逆転がインバータへの入力信号により可能である。
- (5) 全・閉鎖構造(3.7 kW以下)であるため、悪環境での使用が可能である。

2.3 《FREQROL-F₂ シリーズ》

ポンプ、フロアをはじめかくはん(攪拌)機、押出機などの省エネルギー運転を主目的として開発した《FREQROL-F₂ シリーズ》(以下、FR-F₂ シリーズと称す)には次の特長がある。

- (1) 周波数設定信号は、電流信号(4~20 mA)及び電圧信号(0~10 V, 0~5 V)のいずれでも選択が可能である。
- (2) 50 Hz, 60 Hz 電源の選択により、インバータの出力最高周波数が50 Hz又は60 Hzにリミットされる。
- (3) 地絡保護可能、またLED表示を行う。
- (4) 瞬停再始動機能をオプションにてインバータに収納が可能である。

3. 回路方式

3.1 回路構成

FR-K, FR-F₂ シリーズインバータは、ダイオードコンバータにより商用電源を直流電源に変換し、トランジスタインバータにより可変電圧、可変周波数の交流出力を得るVVVF(可変電圧、可変周波数)形インバータである。制御回路の心臓部にはマイコンを使用することにより、多様な用途に適合する多機能を収納し、独自のPWM発生回路により正弦波近似PWM制御を行い、出力を正弦波化している。その回路ブロック図を図2に示す。

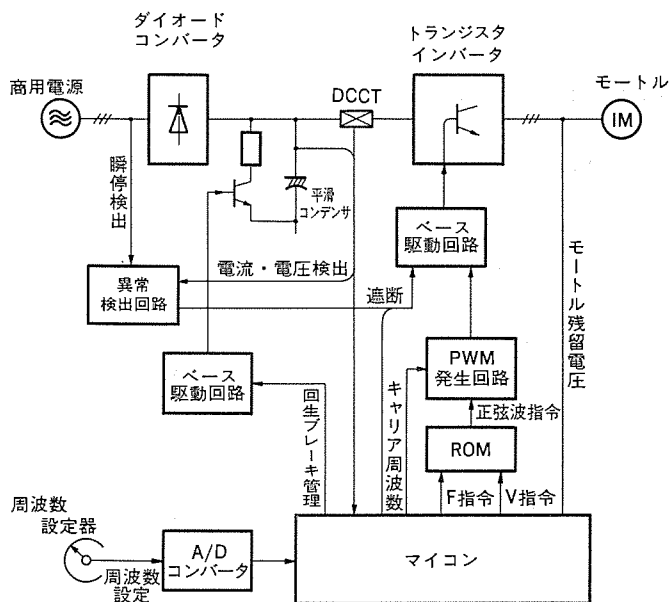


図2. 新形インバータのブロック図

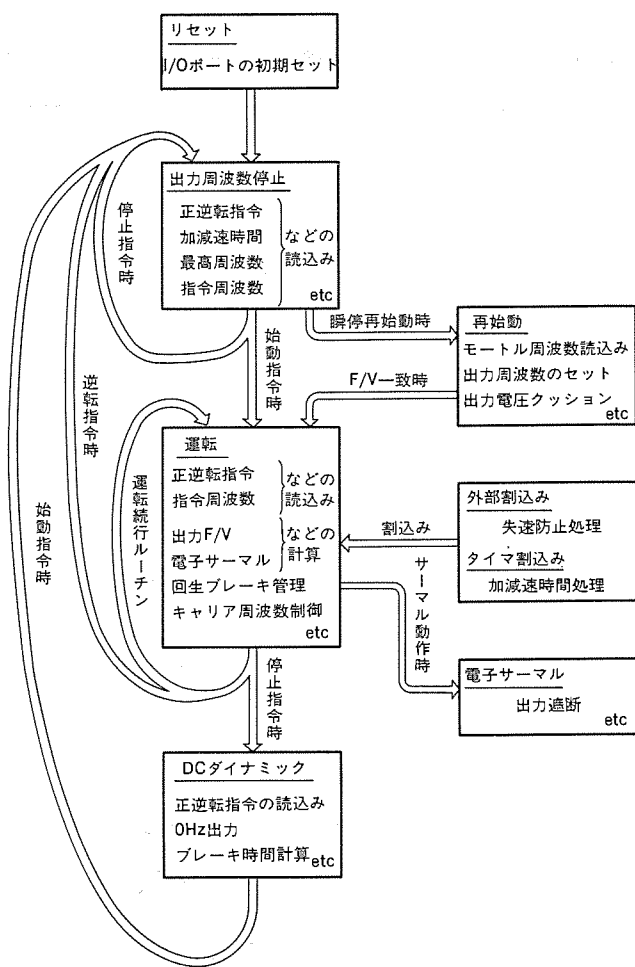


図3. マイコン概略フローチャート

3.2 制御機能

3.2.1 PWM制御方式

汎用インバータFR-Eシリーズは、矩形波PWM制御方式を採用しているが、新形インバータシリーズにおいては正弦波近似PWMを採用し、主に低周波数領域におけるモータ出力の回転リップルの低減を図っている。マイコンからの出力周波数指令、出力電圧指令をROMへ送り、このROMに記憶させた正弦波指令出力を受けるPWM発生回路により、正弦波近似波形を形成している。このPWM発生回路は、正弦波化による最大出力電圧の減少を抑えるために独自の波形制御を行い、波形をひずませることなく、大きな出力電圧が得られる。また、安定なモータ回転速度を得るため、PWMキャリア周波数を選択しているなどの特長を備えている。

3.2.2 マイコン制御

速応性の要求されるPWM回路、保護回路などはハードロジックで構成しているが、比較的応答性の要求が少ない機能はすべて8ビットのマイコンにてサンプリング処理している。その結果、多様な用途に対応するための豊富な機能仕様を満たすことができるようになり、機能の集積度が大幅に向上した。マイコンの主要な機能を図3の概略フローチャートに示し、その一部を紹介する。

3.2.3 制動制御

FR-Kシリーズにおいては、高頻度かつ急加速、急減速の始動停止の繰返しを要求される用途に対応すべく、次の2種類のブレーキ機能を有している。

- (1) 減速時の回生ブレーキ

減速時にモートルから再生されてくるエネルギーは、コンバータ出力の平滑コンデンサに吸収させることにより、モートルは再生ブレーキトルクが得られる。しかし、この再生されるエネルギーが過大となる急減速時には、平滑コンデンサにチャージされた電荷を放電させ、より大きなブレーキトルクを発生させるように構成した。図2に示すように、平滑コンデンサに接続されたブレーキ用トランジスタの駆動により充電されたエネルギーを抵抗で消費させる。トランジスタ及び抵抗を許容限界値内にて最大限に使用し、より大きなブレーキトルクを発生させるために、トランジスタのスイッチング時間の管理をマイコンにて処理している。

(2) 停止時のDCダイナミックブレーキ

モートルが減速し、出力が始動周波数以下になった時点でモートルの回転磁界を固定し、直流磁界とすることによりDCダイナミックブレーキ動作を行うよう構成した。この機能は、マイコンの出力電圧指令を出力した状態で、出力周波数指令を0Hzに固定することにより得られる。この機能により、従来の始動周波数以下におけるフリーラン停止を防止し、高頻度な始動、停止運転モードにおいて十分な応答性が得られる。

3. 2. 4 瞬停再始動機能

従来の汎用インバータは、電源の瞬時停電に対し、瞬時保証時間後に出力を遮断、更に保持を行うことによりトランジスタなどの保護を行っている。そのため復電後の再始動時は、モートルの回転速度の停止を待って、外部よりリセット信号を与えインバータの出力の遮断を解除する必要があった。FR-F₂シリーズにおいては、ポンプ、フロアなどの自動連続運転の用途に適応させるべく、次のように復電後の再始動を行う。

- (1) 電源復帰後は自動的にリセット信号を出し、マイコンを初期状態にセットする。
- (2) フリーラン中のモートルの残留電圧を検出し、モートルの回転速度にインバータの出力周波数を一致させる。
- (3) インバータの出力電圧をソフトアップさせモートルをインバータに引き込む。

以上のようにモートルを停止させることなく、また周波数の不一致

による過大電流が流れることなく、自動的に元の定常運転状態にスムーズに復帰させる機能を持たせている。その動作の概要を図4のタイムチャートに示し、その特性実測例を後述する。

3. 2. 5 保護機能

新形インバータは、従来の過電流保護、再生過電圧保護、瞬時停電保護はもとより下記の保護機能を追加し、使いやすさと保護の万全を図っている。

(1) 失速防止保護

モートル運転中に能力以上の急加減速を指令すると、上記の保護機能が作動し、インバータの出力遮断を行うため、モートルは失速状態となる。この不具合を解消するため、失速防止保護を行っているが、従来の失速防止機能に比べて、より完璧さを図り下記の機能とした。

加速時は、加速トルクのための過大電流を検出した場合、上昇中の周波数をいったん下降させ、モートルのすべりを感じた後、再上昇に移行する機能とし、インバータの持ち得る限界の能力を発揮させることにより最短時間で加速させる。定速運転時に過大トルクが印加された場合は、出力周波数を減少させることによりモートルのすべりを減少させ、失速を防止している。

減速時における過電流、再生過電圧に対しては、周波数の変化を一時停止させ、過電流又は再生過電圧の減少を待って定常動作に復帰させる。しかし、失速防止機能が3秒間以上継続した場合は、失速防止機能を止める動作を行い、モートルが停止できないという不具合を解消している。

(2) 電子サーマル保護

検出したモートル電流を常にマイコンにより演算し、モートル及びインバータ用トランジスタが過熱状態と判断した場合は、出力を遮断する電子サーマル機能を内蔵した。また、周波数(モートルの回転速度)の変化によるモートルの冷却効果を考慮した演算処理を行なっているため、インバータ用電子サーマルとして最適な反限時特性になっている。

(3) 地絡保護

トランジスタ及びモートルに流れる電流は、コンバータ出力の母線に電流横出器(DCCT)を挿入して検出するが、FR-F₂シリーズにおいては、このDCCTをプラス母線、マイナス母線の両方に設けた。これにより、両者の検出電流値のアンバランスが検出可能となり、地絡電流の検出、トランジスタの保護、更に表示の機能を持たせている。

4. モートル駆動特性

新形汎用インバータFR-K、F₂による汎用モートル駆動の主たる特性について述べる。

4. 1 基本特性

汎用インバータで汎用モートルを駆動すると、商用電源周波数と異なる

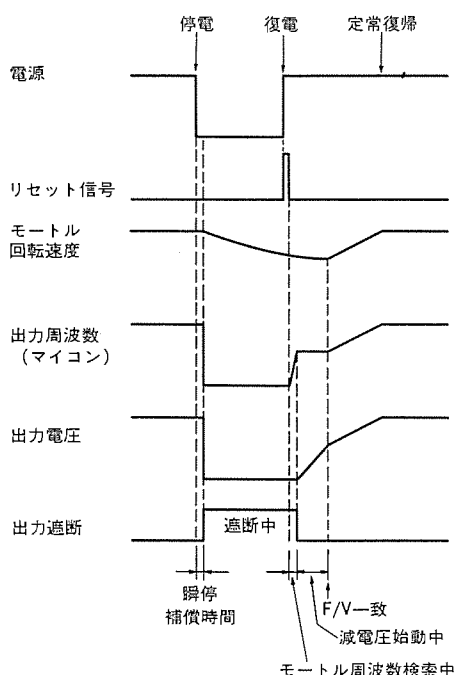
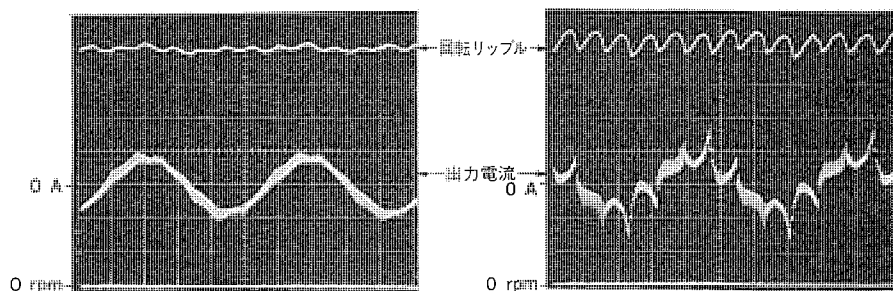


図4. 瞬停再始動タイムチャート



(a) FR-K、F₂シリーズ

(b) FR-Eシリーズ

図5. 出力電流波形と回転リップル

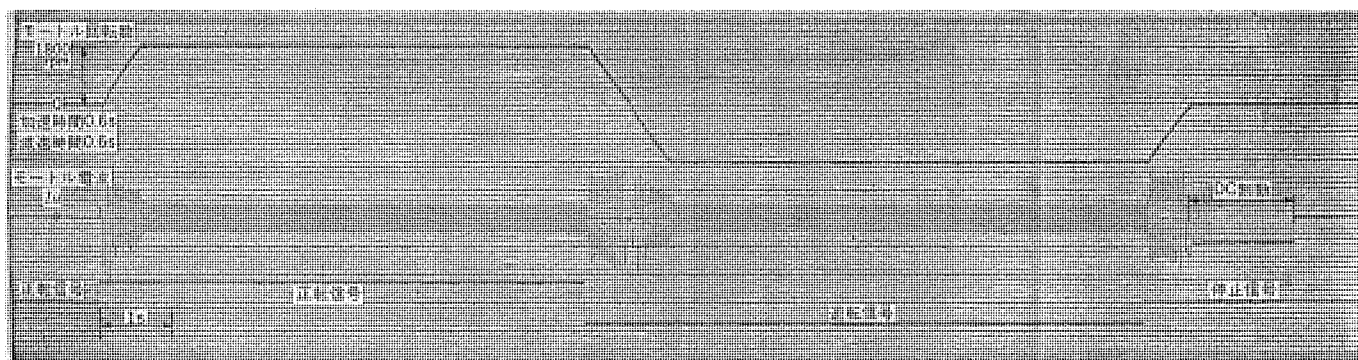
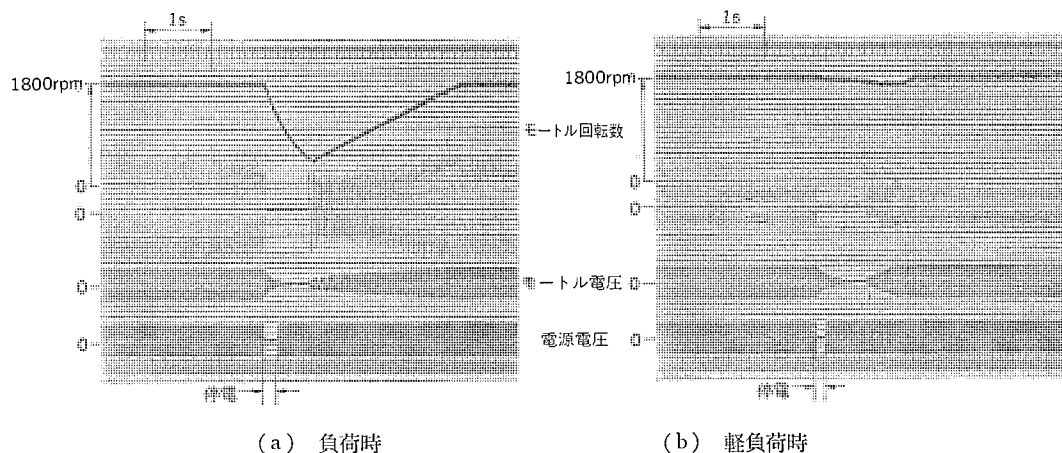


図 6. 加 減 速 特 性



(a) 負荷時

(b) 軽負荷時

図 7. 瞬 停 再 始 動 特 性

周波数で運転することに起因する問題と、インバータ出力電圧がひずみ波形であることに起因する問題が発生する。それらは、商用電源駆動時と比べて、振動、騒音、回転リップルの増加、効率、安定性の低下、モータ温度上昇などである。

FR-K、F₂シリーズでは、独自の正弦波近似PWM制御方式の採用により、低周波数領域でも回転リップルが少なく、従来の正弦波近似PWM制御方式と比べて高効率運転が可能となった。また、キャリア周波数の最適選択を行い、安定性の向上を図るとともに、振動、騒音の増加を抑制している。

図 5. にモータ単体駆動時の出力電流波形と、回転リップルの一例を示す。(a)がFR-K、F₂シリーズインバータ駆動、(b)は従来のFR-Eシリーズインバータで駆動した場合である。これより、低出力周波数領域でも、基本周波数の低次高調波成分が大幅に減少し、正弦波状の電流が流れ、回転リップルは従来のインバータと比べて減少していることが分かる。

4. 2 加減速特性

モータの加減速特性は、加速パワーの供給能力、減速時回生パワーの消費能力及びインバータ主回路素子能力を最大限に活用し得る制御機能により決定する。

FR-Kシリーズでは、失速防止制御と制動制御機能の充実化を図り、加減速特性を向上させた。図 6. に FR-K シリーズの加減速特性の一例を示す。正転加速→定常→正転減速→逆転加速→定常→逆転減速→停止を短時間で行った場合である。加速時に電流が増加すると加速失速防止機能が動作し、インバータ主回路素子許容電流以下で加速する。減速時には、インバータ平滑コンデンサ電位が上昇すると、内蔵回生ブレーキ、あるいは回生失速防止機能が動作し、停止時は始動周波数以下で DC ダイナミックブレーキが動作し、フリーラン状態を回避し急停

止する。

4. 3 瞬停再始動特性

図 7. に、瞬停再始動機能を追加した FR-F₂ シリーズの瞬停→復電時モータ駆動特性を示す。先に示した図 4. と併せて参照しながら動作を説明する。まず、ある回転速度で定常運転中に停電になったとすると、瞬停補償時間後に出力を遮断し、モータはフリーラン状態で減速するが、この間に復電すればマイコンはリセットされ、モータ回転速度にインバータ出力周波数を合致させ、その状態で減電圧始動してモータを引き込み、所定の F/V 設定値に到達後、再加速する。したがって、不必要にモータ回転速度を下げることなく、元の定常運転状態に復帰することができる。出力周波数をモータ回転速度に速やかに合致させ、適切な減電圧始動を行わせているので良好な特性を得ることができる。

5. む す び

汎用インバータは、パワートランジスタ、GTO サイリスタなどの自己消弧特性を有する素子技術の進歩、更にマイクロプロセッサなどを用いた高度のデジタル演算制御の実用化、高信頼性化により、今後更に安価かつ高性能になるであろう。また汎用インバータは、新形汎用インバータ FR-K、FR-F₂ のように用途、分野対応に分極化しつつ、更にコストパフォーマンスの改善も相まって需要が拡大していくであろう。我々は、広い分野のニーズに適用できる汎用インバータを低価格にて供給、普及させるべく、更に努力を続け社会に貢献していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 山崎ほか：新形はん用トランジスタインバータ、三菱電機技報、55, No. 9 (昭56)

1. ま え が き

近年、省エネルギーが強くさげられるようになり、電動機においても相手機械の負荷特性にマッチした専用電動機の要求が高まってきている。現在、誘導電動機の省エネルギー駆動方法としては、インバータによる可変速運転が主流となりつつある。特に、これまでのポンプ・ファンなどの電動機は、定速運転で使用し、流量（風量）の調節は、弁、ダンパなどで行なっていた。しかし、流量は回転数に比例し、軸動力は回転数の3乗に比例して増減するため、弁、ダンパなどによって流量を絞って運転する場合、かなりのエネルギーのロスを出していることになる。

したがって、この流量調節をインバータを使用した回転数制御によって行えば、図1.に示すように大きなエネルギーの節約を図ることができ、運転コストを低減することができる。また、ポンプ・ファンにおいては、装置全体の体積・重量に対しての電動機の占める割合が大きいために電動機を小形軽量化することにより、装置全体としての省スペース化が図れるとともにポンプ・ファンの支持台などの応力軽減を図ることができる。すなわち、構造部材の軽量化が可能となるなどのメリットがある。しかし一方では、インバータ駆動することにより発生する諸問題について考慮する必要がある。

本稿では今回開発のインバータ駆動を対象とし、ポンプ・ファン専用モートルとして小形軽量化を図ったフレックラインモートルについて紹介する。

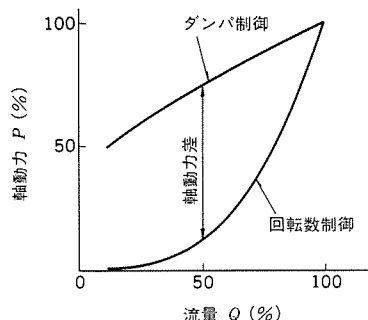


図1. 流量制御における軸動力比較

2. 《フレックラインモートル》の仕様

《フレックラインモートル》の標準仕様及び枠番号・重量比較を表1.に示す。出力は11kWから55kWまでの2, 4極とし、汎用性のあるポンプ・ファンを対象に小形軽量化を図り、インバータ駆動に適したシリ

表1. 《フレックラインモートル》標準仕様及び枠番号・重量比較

標準仕様	電圧・周波数	200/200/220 V 50/60/60 Hz					
	保護方式	全閉外扇形					
	形名	SF-FH					
	絶縁階級	F 種					
枠番号重量比較	出力 (kW)	2 極			4 極		
		フレックライン	当社汎用モートル	重量比率 (当社比: %)	フレックライン	当社汎用モートル	重量比率 (当社比: %)
	11	132 L	160 M	75	132 L	160 M	80
	15	132 L	160 M	75	132 L	160 L	75
	18.5	160 L	160 L	80	160 L	180 M	80
	22	160 L	180 M	75	160 L	180 L	80
	30	160 L	200 L	60	160 L	200 L	65
	37	180 L	200 L	70	180 L	200 L	75
	45	180 L	200 L	70	180 L	200 L	75
	55	180 L	225 S	70	180 L	225 S	75

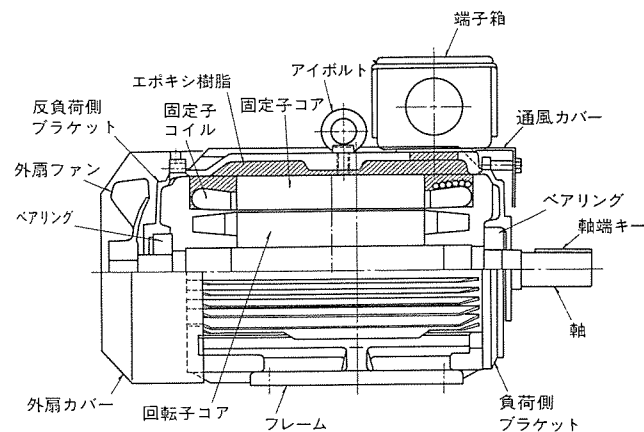


図3. 《フレックラインモートル》の構造

ーズとなっている。当社汎用品と今回開発品を同一出力で比較すると、枠番で1～3段の小形化、製品重量で20～40%の軽量化が図られている。図2., 図3.に《フレックラインモートル》の外観及び構造を示す。

3. インバータ駆動時の問題とその分析

電動機をインバータにより可変速運転する場合、商用電源で駆動する場合と比べて、いろいろな問題が発生することは既に指摘されているとおりであるが、その主なものを次に示す。

- (1) インバータ出力の時間高調波による損失の増加
- (2) 広範囲の周波数域にわたる駆動時における磁気騒音・振動の増加
- (3) 低周波駆動時における回転むらの増加
- (4) 低周波駆動時における最大発生トルクの減少
- (5) インバータ出力周波数変化時における高応答性と安定性の確保

今回開発の《フレックラインモートル》はポンプ・ファン用途への対応を目

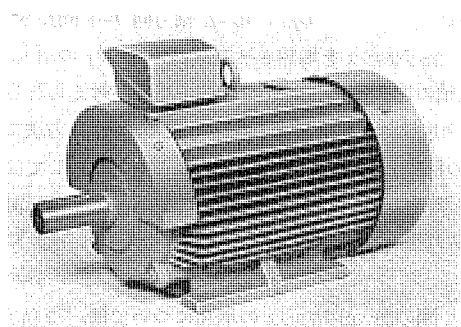


図2. ポンプ・ファン専用《フレックラインモートル》

的としているため、(3)(4)(5)項についてはその運転特性の面から考えて特に大きな影響を及ぼすことはない。しかし、(1)(2)項については十分に検討を加える必要がある。

(1)項の損失の増加は、特に表皮効果によって増加する二次抵抗損の増加が顕著である。これに加えて鉄損、一次抵抗損、漂遊負荷損なども増加するため、これらの損失増加を極力小さく抑えようとすると、いかに冷却改善を図るかが大きな問題となる。

(2)項の磁気騒音・振動については、共振と磁気吸引力による強制振動の問題が考えられる。電動機を可変速運転する場合、運転周波数の変化に伴い基本波成分とそれに伴う高周波成分が広範囲に変化するため、これらのどれかの周波数成分が電動機を構成する各要素がもつ固有振動数と一致し共振を引き起こす。また、多くの周波数において共振現象が起きた場合には、それぞれが重なりあって耳ざわりの騒音を発生する。更に次式で示されるように空けきの偏心によって生じる磁気吸引力 $\Delta F(\theta)$ が加わり、振動騒音を増加させることになる。

$$\Delta F(\theta) = \frac{P \cdot b \cdot L}{4 \pi \mu_0} \cdot B^2 \cdot \frac{\varepsilon}{g_0} [-2 \cos \theta + \cos \{(2P-1)\theta - 2\omega t\} + \cos \{(2P+1)\theta - 2\omega t\}] d\theta \quad (1)$$

ここで、 P : 極対数 b : 極間隔 L : 鉄心長 μ_0 : 空気の透磁率

B : 基本波成分磁束密度 ω : 基本波角周波数

θ : 空けき部円周上の位置 $d\theta$: θ の位置における微小部分

ε : 空けきの偏心量 g_0 : 平均空けき長

この磁気吸引力を小さくするためには、工作精度をあげて ε を小さくする方法及び磁束密度をできるだけ小さくする方法がある。しかし、この力を小さくすることはできても、完全になくすことはできず、電動機のもつ固有振動数すべてを可変速運転によって変化する加振周波数と一致しないようにすることは困難である。したがって、電動機の構成部品を少なくするとともに形状を単純化し、電動機自体がもつ固有振動数を少なくすることが必要となってくる。また、各部の剛性をあげて固有振動数を高くとることにより、メカニカルモビリティ（速度/力）を小さくすることや、構成部材の減衰定数を大きくし振動応答倍率を下げることも必要である。

4. 対策とその効果

上述のように、インバータ駆動による電動機の小形軽量化を図るための冷却改善と剛性の向上に対し、今回、解析、検討を加え採用した対策は電動機フレームの材料と形状の変更及び巻線への絶縁処理方法である。まず、フレーム材料としては軽量でかつ熱伝導性が良いアルミ合金の特性に着目し、更に冷却フィンの形状を変更することで、冷却効果の向上を図るとともに小形軽量化を図っている。また剛性の増強については、固定子コイル、固定子コア及びフレームを特殊樹脂により一体成型し、系全体の剛性の向上を図っている（図4参照）。以下、冷却効果の向上及び振動騒音に代表される剛性の向上についての検討内容を詳細に述べる。

4.1 冷却効果の向上

電動機の熱解析の手法としては、熱等価回路法によるのが一般的であり、図5は全閉外扇形電動機

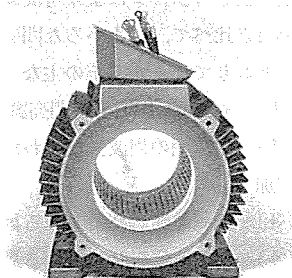


図4. 特殊樹脂成型品

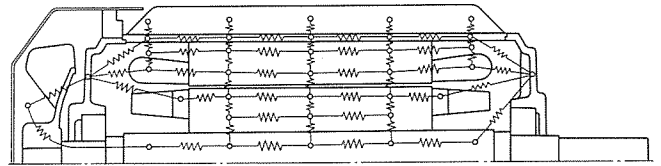


図5. 熱等価回路

の熱等価回路である。この熱等価回路においてフレーム外被からの熱放散の向上、フレーム軸方向の温度差の減少、コイルエンド・フレーム間の伝熱性の向上を図ることにより冷却効果の改善が図れる。

フレーム外被からの熱放散を向上させるためには、フレーム外周及びフィンと通風空気間の熱コンダクタンスを大きくする必要があり、熱コンダクタンスは式(2)で表される。

$$C = N_f \cdot \sqrt{k_f \cdot A_f \cdot h \cdot p_f} \cdot \left(\frac{1 - d \cdot e^{-2M \cdot H_f}}{1 + d \cdot e^{-2M \cdot H_f}} \right) + h(\pi D_2 - T_b \cdot N_f) \cdot L_f \quad (2)$$

ここで、 $M = \sqrt{\frac{h \cdot p_f}{k_f \cdot A_f}}$ 及び $d = \frac{k_f \cdot M - h}{k_f \cdot M + h}$

N_f : フィン数 T_t : フィン上端の厚さ

k_f : フレームの熱伝導率 T_b : フィン下端の厚さ

h : フィン周囲の熱伝達率 D_2 : フレーム外径

p_f : フィン周囲長 ($= T_t + T_b + 2 \cdot L_f$) L_f : フレーム長さ

H_f : フィン高さ A_f : フィン平均断面積

前述のアルミ合金フレームを採用することにより、式(2)における k_f の増大 (アルミ合金=196 kcal/mh°C, 鋳鉄=45 kcal/mh°C) に加え、鋳造性の良さからフィン高さ H_f を高くすることができ、種々の検討から従来の鋳鉄製フレームに比べて1.3~1.4倍にできることが分かった。したがって、熱コンダクタンス C はアルミ合金製フレームの場合、鋳鉄製フレームに比べて約1.3倍となり、フレーム表面と通風空気との温度差は77%となる。すなわち、フレーム表面の温度低下が図れるとともに固定子コア、固定子コイルの温度低下も図れることになる。

次にフレーム各ノード間の熱コンダクタンスの増加に関しては、フレームと固定子コアと接触している部分は温度が高く、コイルエンド部分のフレーム表面は低くなっているため、熱コンダクタンスを増加させることにより、熱流は表面から熱放散されるとともに温度の低いノードに流れ込みやすくなる。フレーム各ノード間の熱コンダクタンスは式(3)で表される。

$$C = \frac{k_f \left\{ A_{fa} \cdot N_f + \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) \right\}}{L_{fa}} \quad (3)$$

ここで、 k_f : フレームの熱伝導率 D_2 : フレーム外径

A_{fa} : フィン軸方向断面積 D_1 : フレーム内径

N_f : フィン数 L_{fa} : フレーム軸方向ノード間長さ

式(3)において熱コンダクタンスを増加させるためには、 k_f の増大、フィン数とフィン断面積の増加及びフレーム断面積の増加が考えられるが、フレーム断面積の増加は軽量化を大きく妨げるため、有効な方法ではない。アルミ合金の採用とフィン断面積の増加による効果としては、22kW 4Pの場合を例にとるとフレーム各ノードの最高温度と最低温度の差は、29°C (鋳鉄製フレーム) から15°C (アルミ合金フレーム) に改善された。

コイルエンドとフレーム間の熱コンダクタンスの増加については、コイルエンドとフレームの間は一般の電動機では空気であり、熱伝導率が非常

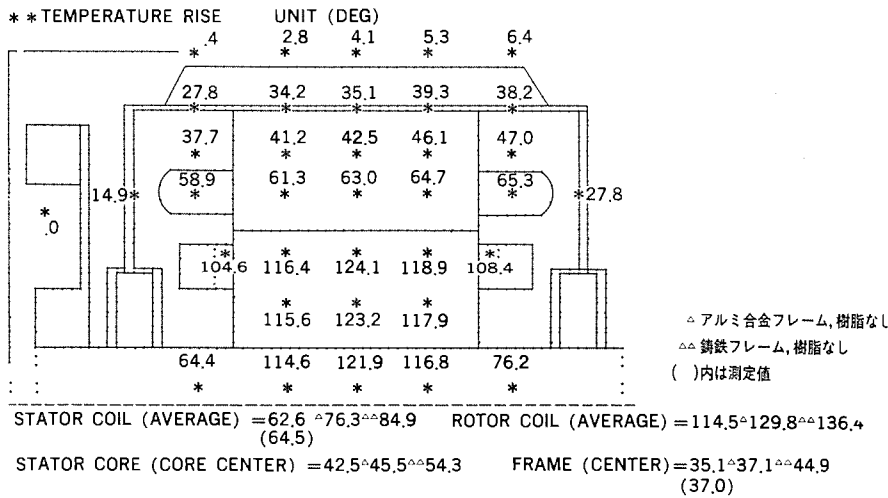


図 6. アルミ合金フレーム、樹脂注型モータの温度上昇分布

に小さく一種の断熱材の働きをするため、熱コンダクタンスも小さい。したがって、コイルエンドにおける発生損失は、コイルエンド→コアスロット内コイル→絶縁材→固定鉄心→フレームと伝熱し熱放散する。ここで、コイルエンドとフレーム間の熱コンダクタンスを増加させ、発生損失の一部をこのバイパスによりフレームへ伝熱させれば、コイル全体の温度を低下させることができるとともに、コイル各ノード間の温度差を小さくすることができる。コイルエンドとフレーム間の熱コンダクタンスは式(4)で表される。

$$C = \frac{2\pi \cdot k_x \cdot L_e}{\ln(D_1/D_e)} \quad (4)$$

ここで、 k_x ：コイルエンド・フレーム間の熱伝導率

L_e ：コイルエンド長さ

D_1 ：フレーム内径

D_e ：コイルエンド外径

式(4)における熱伝導率 k_x を大きくするために、今回コイルエンドに特殊樹脂注型を採用した。この樹脂注型により、コイル各ノード間の温度差の最大値は12°Cから6°Cに減少し、最高温度(コイルエンド部)については18°Cの低下が図れ、コイル平均温度で14°Cの低下という効果があった。

これらの対策による効果をまとめたのが図6.であり、熱等価回路による温度上昇値計算結果と測定結果を示している。()内の数値は測定値を示し、計算値とよく合っている。△、△△印はそれぞれ、アルミ合金フレームで樹脂注型なし、鋳鉄フレームで樹脂注型なしの場合を示す。この結果からも明らかなようにアルミ合金+樹脂注型フレームは、鋳鉄フレームに比べ、コイル温度上昇でみた場合約35%の冷却効果の改善が図られ、小形軽量化が可能となっている。

4.2 振動・騒音

剛性の向上は電動機の振動騒音の減少に大きく影響するため、ここでは剛性の問題を振動騒音として取り扱う。電動機の振動騒音源としては磁気吸引力が考えられるが、この磁気吸引力による振動騒音に対して、最も大きく影響するのが固定子コアの振動である。

固定子の固有振動数は薄肉円筒の面内振動の式で近似され、式(5)のように表される。

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{n^2(n^2-1)^2}{n^2+1}} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z \cdot g}{\gamma \cdot R^4}} \quad (5)$$

ここで、

E ：ヤング率

γ ：コアバックの単位長さの重量

表 2. 固定子コア固有振動数 単位：Hz

次数	ワニス処理品		樹脂注型品	
	計算値	実測値	計算値	実測値
2	788	762	1,016	1,064
3	1,722	1,778	2,604	2,692
4	2,639	3,138	4,606	4,757

I_z ：コアバック単位長さの断面二次モーメント

R ：コアバックの平均半径

n ：次数=2, 3, 4……

g ：重力加速度

更に固定子コア歯部や固定子コイルなどの付加質量の影響を考慮し、

$$f' = f/\alpha \quad (6)$$

で表される。ただし、

$$\alpha = \sqrt{1 + K \frac{m}{M}}$$

ここで、

K ：振動モード及びスロット形状などによって決定される係数

m ：付加質量

M ：固定子コア質量(歯部を除く)

固定子コアの固有振動数を上げるには、剛性 $E \cdot I_z$ をあげるとともに付加質量 m を小さくすることが考えられる。今回、フレームと固定子コア及びコイルを特殊樹脂により一体注型することにより、フレームと固定子コアのすき間、スロット内すき間などに樹脂が注入されて付加質量として固有振動数を下げる方向に作用していた固定子コアの歯部や、固定子コイルを一体に固着させ剛性の向上を図った。この樹脂による固定子の剛性の増加を近似的に固定子コアバック部分の増加とみなせば、式(5)(6)により固有振動数を計算できる。《フレックラインモータ》では、樹脂注型により固定子コアバックの高さを10%増加した場合と同等の剛性が得られることが分かった。樹脂注型した場合の固有振動数の計算結果と測定値の比較を表2.に示す。従来のワニス処理品と樹脂注型品の剛性の差は、この表の固有振動数の差となって表れている。

次にフレームの影響について述べる。今回フレーム材料として採用したアルミ合金は、鋳鉄(ねずみ鋳鉄：FC材)に比べてヤング率が75%に低下するが、密度も37%と小さくなるため、固有振動数としては1.4倍と高くなる。また、固定子コアとフレームのかん(嵌)合に締め代をもたせることにより両者の間のすき間を小さくし、更に剛性をあげることが可能となり、面内振動に対するフレーム単体の剛性は特に問題とならない。しかし、アルミ合金は鋳鉄材に比べ、減衰率が小さいため振動応答倍率が大きくなる。そこで、この減衰を小さくする対策が必要となる。この減衰の問題に対しては、前述の特殊樹脂による一体注型の結果、高い周波数に対しては減衰を大きくすることができた。図7.は従来の鋳鉄フレーム及び同一形状のアルミ合金フレーム(樹脂注型品)の振動応答(加速度/力)の比較を示す。これによれば樹脂注型品では剛性の向上の結果、共振周波数が周波数の高い方へ移動しているとともに、固定子コア歯部やコイルなどが一体化され、その局部振動が抑えられたことにより振動応答のピークの数、すなわち系のもつ固有振動数の数が減っているのが顕著に表れている。また、減衰についても特に大きな差はなく、ア

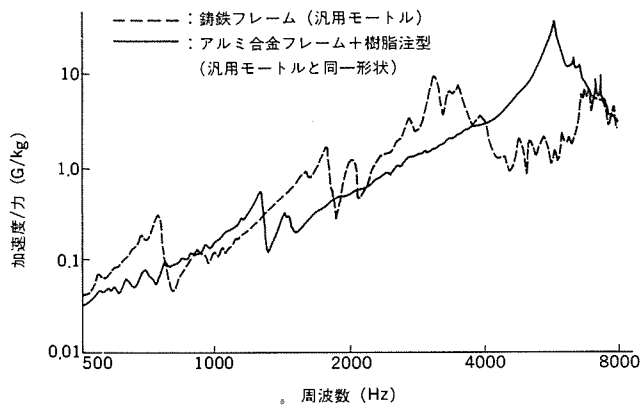


図 7. フレーム 完成品の振動応答 (同一形状での比較)

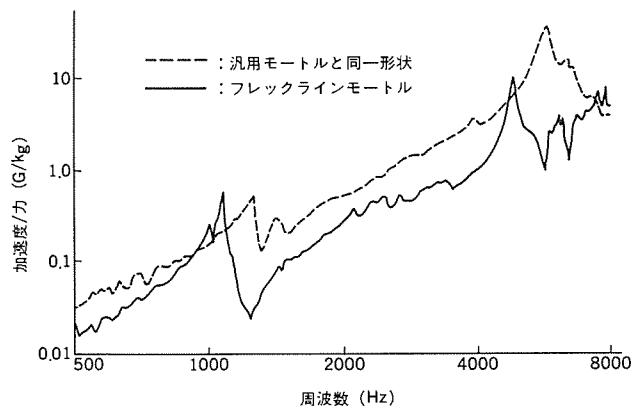


図 8. フレーム 完成品の振動応答 (フレーム 形状による比較)

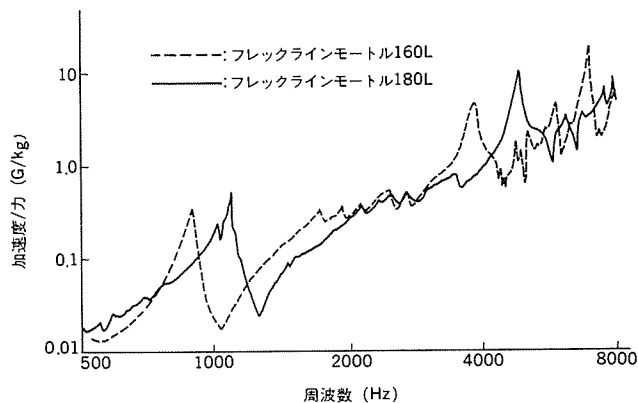


図 9. フレーム 完成品の振動応答 (枠番による比較)

ルミ合金と鋳鉄の減衰率の差を十分補っていることが分かる。

次にフレーム形状の違いについて考える。《フレックライン》は端子箱取付位置を上部にするることにより、左右対称形とし、振動系を単純化するとともに、取付足とフレーム胴の接合部の剛性をあげ振動特性の向上を図った。図 8. に汎用モータと同一形状のアルミ合金フレームと《フレックライン》の振動応答の比較を示す。この図から《フレックライン》のフレーム形状が振動特性の向上に効果があることが分かる。図 9. に枠番号の違いによる振動応答の比較を示す。大きさの違いにより固有振動数は変化するが、ほぼ相似形であり、振動特性の向上に対する効果は変わらない。

以上のように《フレックライン》では振動騒音に対する対策を剛性及び減衰の問題としてとらえ、それに対する対策を行った。《フレックラインモータ》を当社汎用インバータ FR-E で駆動した場合の振動特性を図 10. に示す。この図からも明かなように広い周波数域で振動特

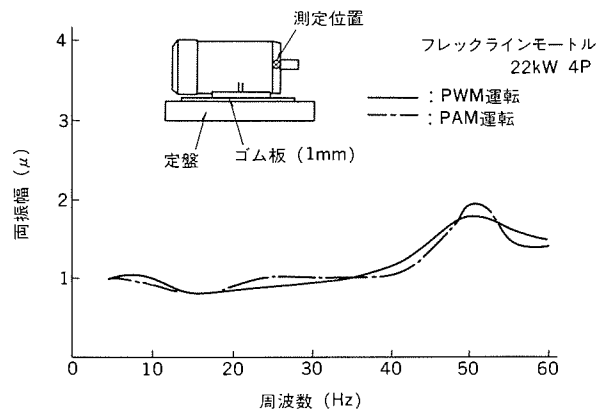


図 10. 振動特性

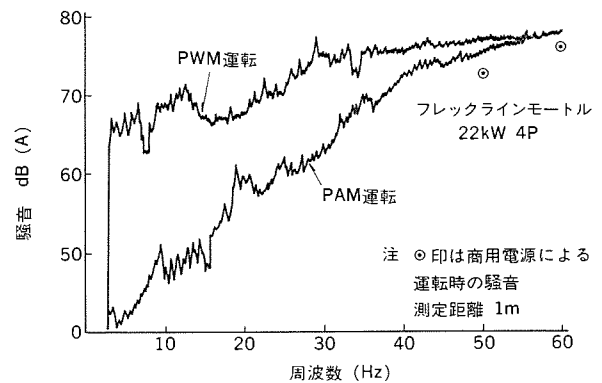


図 11. 騒音特性

性は良好な値を示している。

騒音と振動は密接な関係にあるが、騒音に対する効果については、実機による騒音測定結果だけを示す。図 11. が今回対策を行った《フレックライン》の騒音測定結果である。一般に PWM 運転は高調波のチョッピングにより出力電圧を変化させるため、応答性の良さに対して騒音が大きくなる傾向があり、PAM 運転は応答性よりも低騒音、高効率の面でメリットがあるとされているが、いずれの場合においても特に目立った騒音の増大はなく、樹脂注型の効果が良く表れている。この結果、小形軽量化及び冷却改善に対してフレームにアルミ合金を使用し、枠番号を 1～3 段下げた場合でもインバータ駆動時に良好な振動騒音特性が得られることが分かった。

5. む す び

以上、電動機をインバータ駆動で可変速運転する場合の問題点について述べ、インバータ駆動のポンプ・ファン専用電動機として開発した《フレックラインモータ》の冷却及び振動騒音について紹介した。今回、アルミ合金フレームの採用、樹脂注型により問題の解決を図ったが、今後とも新技術の開発、設計技術、工作技術、解析技術の向上に努め、需要家各位の御指導、ごべんたつにより、市場にマッチした製品が生まれるように努力を続けたい。

参 考 文 献

- (1) 松本ほか：三菱電機技報，56，No. 5，p. 396 (昭 57)
- (2) 小泉ほか：三菱電機技報，51，No. 8，p. 548 (昭 52)
- (3) ギート(横堀，久我井訳)：基礎伝熱工学，丸善
- (4) 谷口ほか訳：デン・ハルトック 機械振動論，コロナ社

可変速シミュレーション装置の開発と応用

柳 沢 公 人*・鎌 倉 孝 幸*・大 上 正 勝*

1. ま え が き

可変速システムの中でもインバータ駆動システムは、電動機の交流化志向、システムの省エネルギー化志向により、ますますその重要性を増している。最近では、当社の《FREQUOL シリーズ》に代表される汎用インバータが急速に普及しつつあり、また工作機やロボットなどに要求される速応形インバータの開発競争が展開されている。

今回、インバータの最適制御方式を追求するため、インバータ及び誘導電動機（以下、IMと称す）の開発ツールとして、ミニコンを応用した可変速シミュレーション装置を開発した。この装置は、ミニコンを応用して制御方式をシミュレートしたインバータ装置により、実際にIMを運転して、電圧、電流、振動、騒音、トルクなど各種特性を測定できることを大きな特長としている。すなわち、万能インバータを使用した実時間シミュレータということができる。シミュレートした制御方式の検証の容易化のため、プロッタに電圧波形、そのフーリエ級数展開結果などを描き出す機能も持っている。

2. 装置の構成

この装置の概要を図1.に示す。モデルの構築の段階において所望P

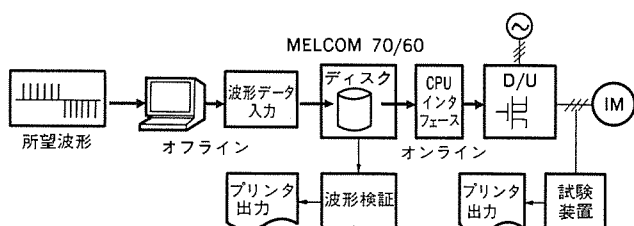


図 1. 可変速シミュレーション装置の概要

表 1. 仕 様

仕 機	内 容
本 体	MELCOM 70 モデル 60 (MELCOM 70/60)
ミニコン	チャンネルインタフェース機構
記憶装置	IO モード 最高転送速度 400 K 語/s
入出力機器	固定ディスク、ディスクバック、FDD、MT
出力電圧	CRT, CR, ハードコピー, グラフィックディスプレイ, LP, X-Y プロッタ ほか
出力電圧波形	三相 電圧形 200 V max
出力電流容量	ミニコンプログラムによる PWM 任意電圧波形
制御方式	ピーク 100 A 7.5 kW IM 駆動可能
コンバータ機能	オープンループ制御
インバータ機能	負面ボリュームによる電圧制御可能
PWM 電圧発生方式	6 相インバータの各相は MOS-FET 並列接続使用
基準クロック周期	基準クロックカウンタによる 6 アームオンオフ信号発生方式
出力周波数	500 ns (2 MHz) ~ 12.5 μs (80 kHz) の間 125 ns とび (プログラムにより指定可)
	0.1 Hz ~ 20 kHz

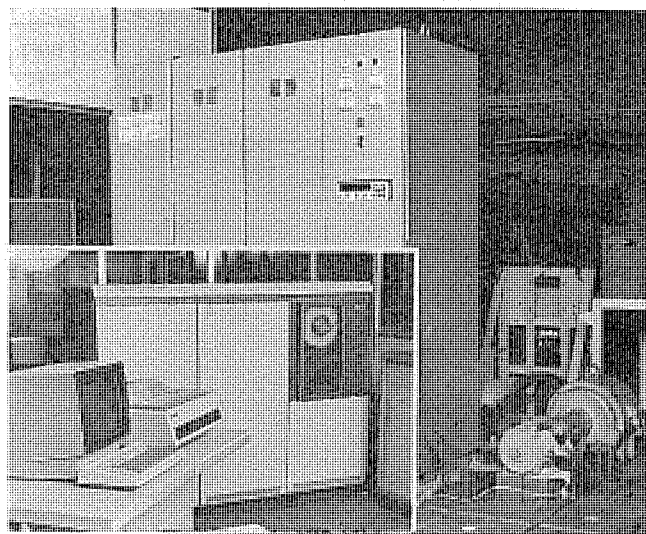


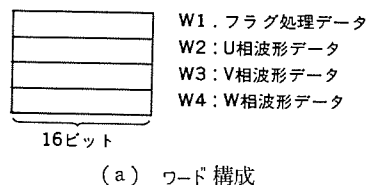
図 2. 可変速シミュレーション装置の外観

WM 電圧波形を作るために、ミニコンを使用し、FORTRAN 言語を用いた波形生成プログラムにより、オフラインにて波形データを作る。この波形データは、インバータの半導体素子の オンオフデューティデータ（以下、データと称す）であり、ミニコンのディスクパック（以下、D/P と称す）に貯えられている。このデータを運転プログラムにより、オンラインにて高速でインタフェース（以下、I/F と称す）を介して MOS-FET を主回路素子とするインバータドライユニット（以下、D/U と称す）に払い出し、電動機を実際に駆動する方式とした。この装置に使用するミニコン、D/U の仕様を表 1. に、また外観写真を図 2. に示す。

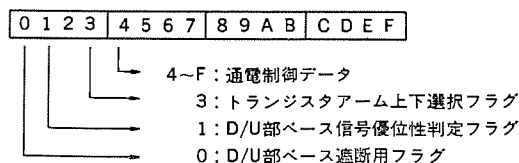
3. データの形式と流れ

3.1 データの形式

電圧波形を作るデータは、インバータ部各アームのトランジスタのオン時間（又はオフ時間）に相当するタイアックのカウンタ数を16進数で表したものである。このオンオフ信号は、例えばU相上側トランジスタ



(a) ワード構成



(b) ビット構成

図 3. データの形式

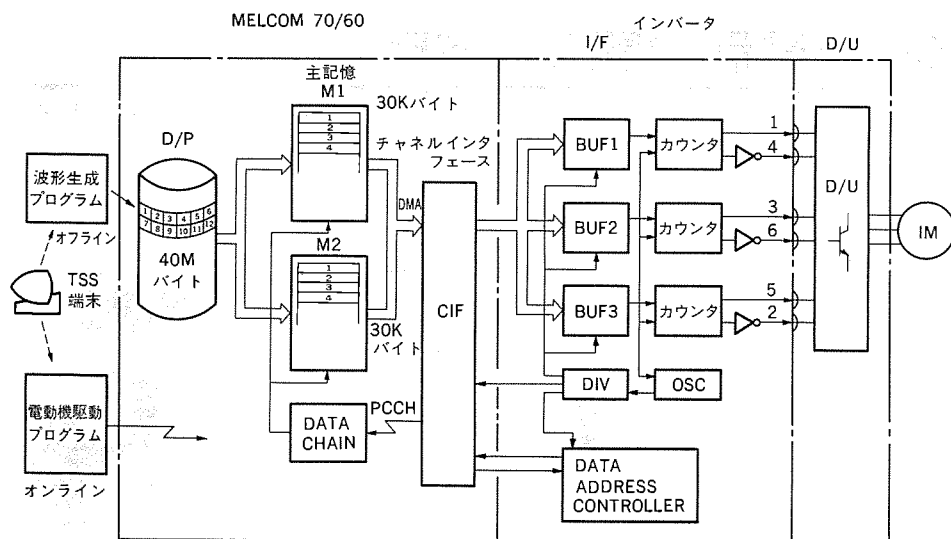


図 4. データの流れ

の信号とすると、U相下側トランジスタのオンオフ信号は、その逆信号となるようにハードウェアを構成している。

ミニコン《MELCOM 70/60》は16ビットマシンであり、1ワードは16ビットからなる。波形データは図3.に示すように4ワードで構成しており、1ワードは運転周波数とチョップ周波数の関係により必要なFLAGデータを、また3ワードはUVW各相のデータを構成する。

3.2 データの流れ

この装置のデータの流れを図4.に示す。インバータのオンオフデータは、図中の波形生成プログラムにより作成し、D/Pに格納する。次に、インバータで実機モータを駆動するプログラムとして、電動機駆動プログラムが必要である。これはD/Pに格納したデータをチャンネルI/Fに出力するプログラムである。D/Pのデータはミニコン内の主記憶装置M1、M2に読み込まれる。M1のデータがチャンネルI/F経由、インバータに払い出されているとき、D/PのデータがM2に読み込まれる。M1のデータの払い出しが完了するとインバータのI/F部より完了信号が出力される。この完了信号を電動機駆動プログラムが受信すると主記憶M2のデータをインバータに払い出し、M1にD/Pのデータが読み込まれる。すなわち、主記憶の一方のデータを払い出している間にディスクのデータを主記憶に読み込ませ、ディスクに貯えられた大量のデータをとぎれることなくインバータのI/F部に出力するデータチェイン方式をとっている。

このように電動機駆動プログラムは、オンラインにて動いており、インバータ部では4ワードデータを主記憶M1、M2から受けとる。このデータを受けとる部分がI/F部であり、I/F部では4ワードデータからD/U部の6アームのトランジスタのオンオフ信号を作成している。更にデータチェイン時の割込み信号、異常発生時の割込み信号をミニコンに送っている。異常発生時の異常の種別（過電流、過電圧、瞬停など）もミニコンに知らせている。

4. I/F部の構成

4.1 I/F部の機能

I/F部はミニコン内チャンネルI/Fと接続しており、主記憶の二つのメモリバッファ領域M1、M2からインバータの点弧用データを受けとり、オンオフ通電信号に変換する。更にこのオンオフ信号を光ファイバにて絶縁して、インバータの各アームを構成しているMOS-FETのゲート用

オンオフ信号として出力している。

4.2 I/F部との接続バスライン

I/F部とミニコンとの接続バスラインは図5.に示すように二つある。一つは、“PCCHチャンネル”と呼ばれるプログラムで制御する低速バスラインと他の一つは、“DMAチャンネル”と呼ばれ、プログラムとは無関係に動く高速バスラインである。

PCCHチャンネルは、プログラムにより制御信号をI/Fに送り、インバータの起動、データチェイン及び異常時のI/F部からの割込み処理及びインバータD/Uの運転停止の制御を行っている。DMAチャンネルは主記憶のアドレスをI/F部から指示する

と、そのアドレスのデータを純ハード的にI/F部に転送してくる。この処理はプログラムを介さずに行うため、プログラム及びOSのオーバヘッド時間をかけず高速にデータの授受を行うことができる。

4.3 I/F部の動作

ブロック図は図5.に示すとおりであり、これに従って動作を説明する。I/F部を制御する入出力命令は、起動用、割込み用、停止用の三つで構成し、チャンネルI/Fとの結合を図っている。ここではこれらの動作の概要を述べる。

(1) 起動命令を実行すると、PCCHチャンネルに同期してメモリのバッファ領域M1、M2の先頭アドレス及びアドレスレンジを示すデータがPCCHチャンネルの16ビットデータラインに出力する。これらのデータをデータチェインコントロール部が受けとり記憶する。次に同様に基準クロック

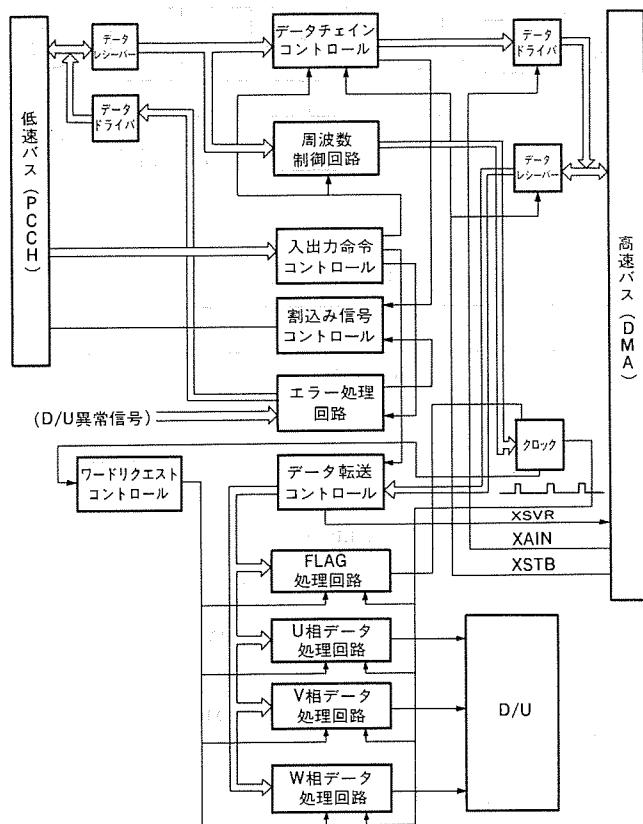


図 5. インタフェース部のブロック図

及びチョップ周波数を決定する D/U 内発振器の分周比を周波数制御部が受ける。

起動命令が PCCH チャンネル入出力命令ラインから出力し、データ転送コントロール部に出ると、DMA チャンネルにデータ転送要求信号 XSV R を出力する。CPU はこの信号を受けると、アドレス入力指示信号 XAIN が CPU から出され、この信号に同期してデータチェインコントロール部で作成された主記憶のアドレスを DMA ラインに出力する。そして、そのアドレスのデータを高速スローブ信号 XSTB に同期して、DMA ラインから I/F 部のデータコントロール部へ転送する。

(2) 割込み命令は、データチェイン割込み信号を受けると、現在アクセスしているバッファ領域とは反対のバッファ領域にディスクのオンオフデータをロードさせる。異常時の割込み処理は、エラー処理回路が割込み信号コントロール部を経て信号を CPU へ知らせる。

(3) 停止命令は、エラー情報を受けると起動命令がリセットされ、インバータの運転を停止させる。

5. ソフトウェアの構成

5.1 概要

インバータ波形シミュレータ用プログラムは大別して、①波形生成プログラム、②電動機駆動プログラム、③波形検証プログラムの三つからなる。これはすべて FORTRAN 言語を使用している。

(1) 波形生成プログラムは、D/P に運転データを格納するプログラムで、オフラインでデータを作る。特にこのプログラムは、その波形生成方法が制御回路方式と等価となるように制御データを生成することになる。基本フローを 5.2 節に詳述する。

(2) 電動機駆動プログラムは D/P のデータを取り出し、D/U 部に運転データを転送するもので、運転モードは D/P のデータに従って運転する。このプログラムはリアルタイムジョブで駆動させるが、回生領域のテストを実施しない場合はパッチジョブ、TSS ジョブでも使用できる。

(3) 波形検証プログラムは、波形生成プログラムで生成したデータで実機シミュレートする前に、設定 V/F パターン、電圧波形、通電波形を表示しデータの欠陥などをチェックするとともに、その波形の周波数分析結果も表示することができる。

次に波形検証プログラムの実行例を示す。図 6. は正弦波を 48 STEP の階段波形で近似した場合の PWM 出力電圧波形において、キャ

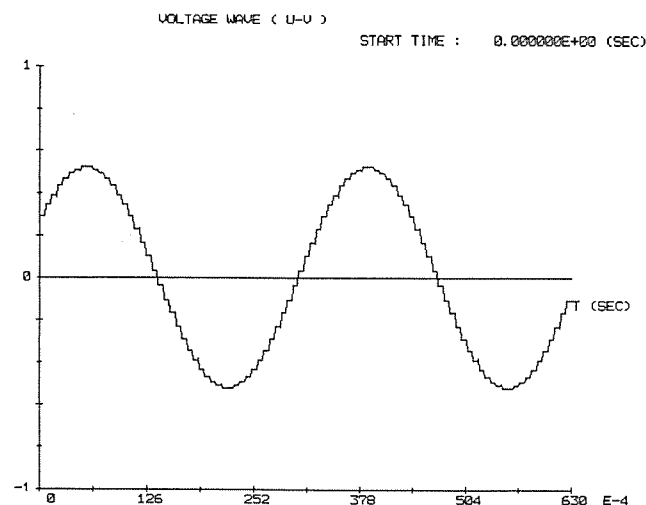


図 6. 検証プログラムの出力例 (電圧波形)

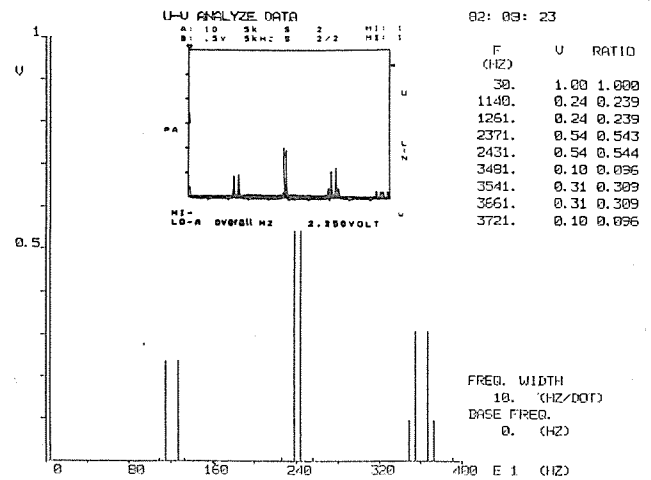


図 7. 検証プログラムの出力例 (フーリエ級数展開結果)

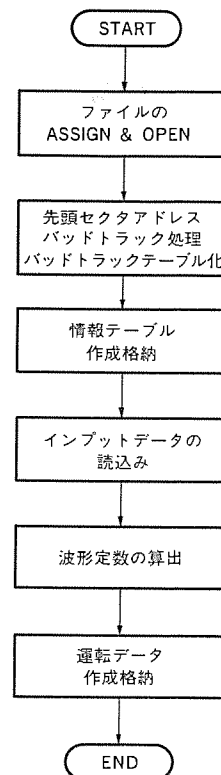


図 8. 波形生成プログラムの基本フローチャート

リア成分をマスクした表示である。通常の出力電圧にフィルタをつけた電圧波形となる。また、図 7. は出力電圧の周波数分析結果であり、実測周波数分析結果とよく一致している。波形検証プログラムはこのほかに、V/F パターンの表示、起動時の F/T パターン及び各相電圧、各線間電圧の瞬時値波形の表示を行うことができ、ソフト開発時のデバックの短縮化を図っている。

5.2 波形生成プログラムの基本フロー

図 8. に示す基本フローチャートの中で、特に工夫した点の一つは、ディスクのバッドトラック対策である。D/P の記録面に傷やピンホールがあると、このトラックが欠陥トラックとなりデータの書き込み、読み出しができなくなることがある。このため、一般に D/P のイニシャライズ時にこの判定をし、代替トラックを割り当てる処理をするのが通常である。しかし代替トラックは、その設置位置が物理的に離れたエリアにあるため、この代替トラックをシークするためのアクセス時間が付加され、

データロスを生ずる。この対策として、書き込みに必要なファイル内の欠陥トラックの有無と、欠陥トラックがあった場合にファイル内の相対アドレス表をインフォメーションテーブルファイルに書き込むと同時に、そのトラックをはずしデータを書き込む方式とした。

次に、このデータを読み出すときには、インフォメーションテーブルファイルを先に読み、欠陥トラック部は上記テーブル値を参照しながらデータの正規に入ったトラックのみを読むことができ、高速で多量データを払い出すことができた。また、上記ファイル内の欠陥トラックのサーチはデータ書き込み時に毎日実施するため、最新のファイル内情報をテーブルに設置することができ、データ欠損、ロスなどのない確実な払い出しが可能となった。

6. シミュレーション実施例

次に、この装置を用いたシミュレーション結果の一部について報告する。図9.(a)と(b)は正弦波PWM波形(相電圧)に3次高調波を入れた場合と、相電圧基準正弦波を飽和させて出力電圧(線間電圧)の上昇を行った場合の電流波形の比較であり、どちらも直流母線電圧の $\sqrt{2}$ 倍の波高値の電圧を出力している例であり、3次高調波入りに比べ、飽和形の出力電流がひずんでいるのが分かる。次に図10.(a),(b),(c)は、電流波形による回転むらを測定した例である。(a)は方形波PWMの例、(b)は正弦波PWMでインバータ部の上下トランジスタの短絡防止時間を極力少なくした場合の例、また(c)は正弦波PWMで短絡防止時間をかなり大きくした場合の例である。

電流波形が正弦波に近いほど、すなわち、(a),(c),(b)の順に回転むらも小さくなっている。

7. む す び

以上、ミニコン応用インバータシミュレーション装置の開発に当たっての代表的な技術課題の解決策を、装置の概要、構成を解説する過程に盛り込みながら説明し、最後にこのシミュレータが波形制御方式開発に際し、有効に活用されている例を紹介した。

この装置の機能上、特記すべきことは、

- (1) プログラムによる任意電圧波形で実機モータを駆動することができる実時間シミュレータであり、各種特性データの定量的測定が可能となった。
- (2) 任意のPWM波形を生成するプログラムを完備し、会話形機能を有効に使用しながら操作できる。更に、波形制御方式のアイデアをプログラムでなく図形的処理データを用いて、実機モータを駆動する

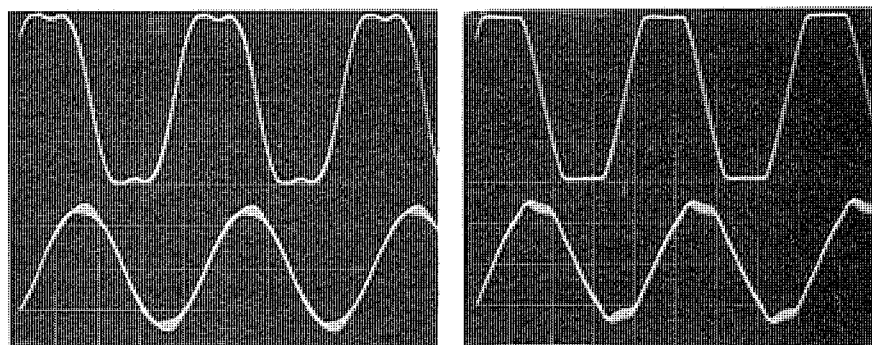
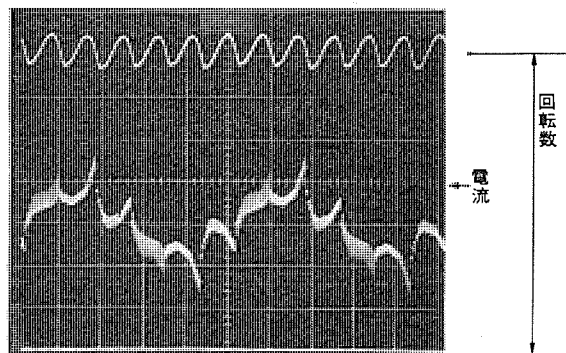
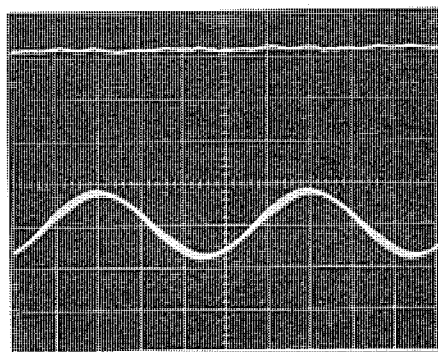


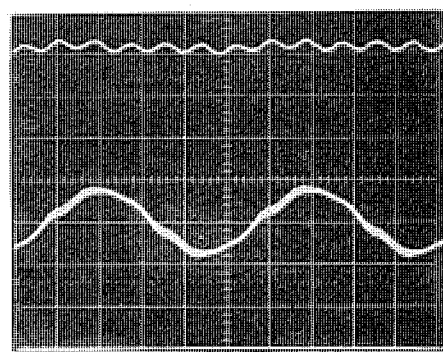
図9. 直流電圧の $\sqrt{2}$ 倍波高値の電圧出力例 (上: 相電圧 (フィルタ 付き), 下: 出力電流)



(a) 方形波 PWM の回転むら



(b) 正弦波 PWM の回転むら (短絡防止時間小)



(c) 正弦波 PWM の回転むら (短絡防止時間大)

図10. 電流波形による回転むらの測定例

こともできる。

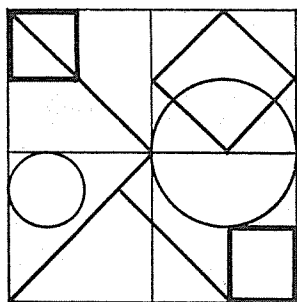
(3) 生成した波形データの検証を、オフラインにて即座にプロッタに描かせることにより実施できる。

これらの機能がそれぞれ有効であることを実例を通して示した。しかし、インバータに要求される小形化、低価格化、高性能化などの要望は、これからもよりいっそう厳しくなると予想される。今後ともシミュレーション技術の研究開発に努力していきたいと考える。

最後に、この装置の完成に際し多大な御協力をいただいた関係者各位に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 細野ほか: 電気学会東海支部連合大会, S57-151
- (2) 平松: ミニコンの応用技法, 産報



特許と新案 有償開放

有償開放についてのお問合せ先 三菱電機株式会社 特許部 TEL (03) 218-2136

交流の給電制御方式 (特許 第972026号)

発明者 赤松 昌彦

この発明は、インバータやサイクロコンバータなどの交流の給電制御方式に関するものである。図1の様な従来の交流給電装置においては、スイッチによるオン・オフ制御を行う為、出力交流電圧や電流がステップ状に変化し、低次高調波が問題となる。この為、電源装置としてはフィルタや相数増大などが必要であった。また、交流電動機を駆動した場合、低速で滑らかな回転を得ることが困難であった。この発明は、図2の実施例の様に互いに異なるパルス周波数の2つのパルス列 P_1, f_1 と P_2, f_2 の一方を前進パルス入力とし、他方を後進パルス入力とすることにより、2つの状態間を前後進しつつ、その代数和によって基本波周期が決定される。この結果、3相ブリッジ回路の例

では、図3の実線図の様な順序でそれぞれのスイッチが導通することとなる。例えば、従来においては状態①のみであった期間に、この発明の場合、状態①と状態⑥とが混在する。即ち前進パルス P_1 で状態①に転移し、後進パルス P_2 で状態⑥という一進一退を繰り返す、かつ両者のパルス周波数の差によって漸時状態⑥の時間が短くなる。以下同様に互いに隣り合う状態間を前後進しつつ動く訳である。この発明によれば、複雑なパルス幅変調手段を用いることなく、分配制御装置の状態転移操作により低次高調波の少ない交流を給電することができ、ひいては交流電動機を駆動した場合滑らかな回転制御を行うことができる。

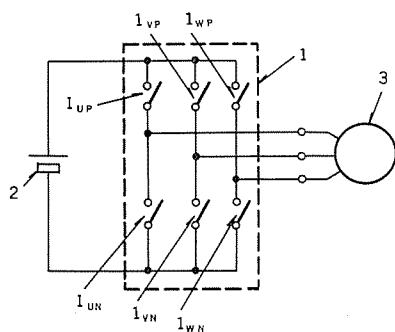


図1

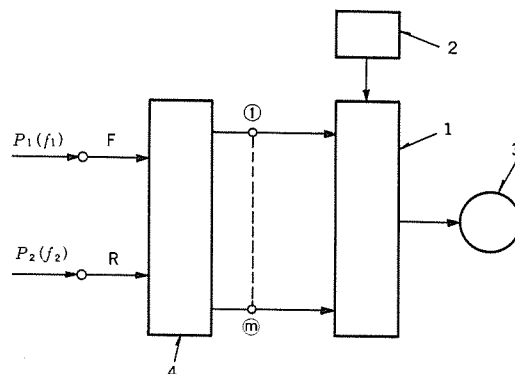


図2

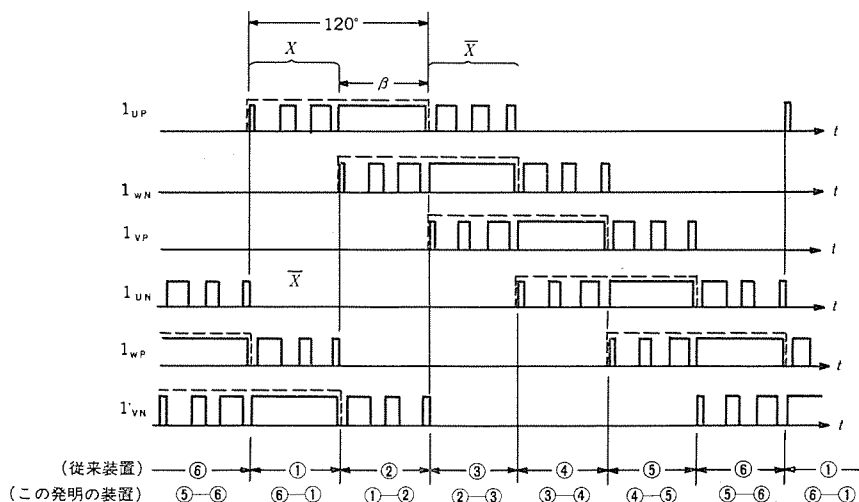
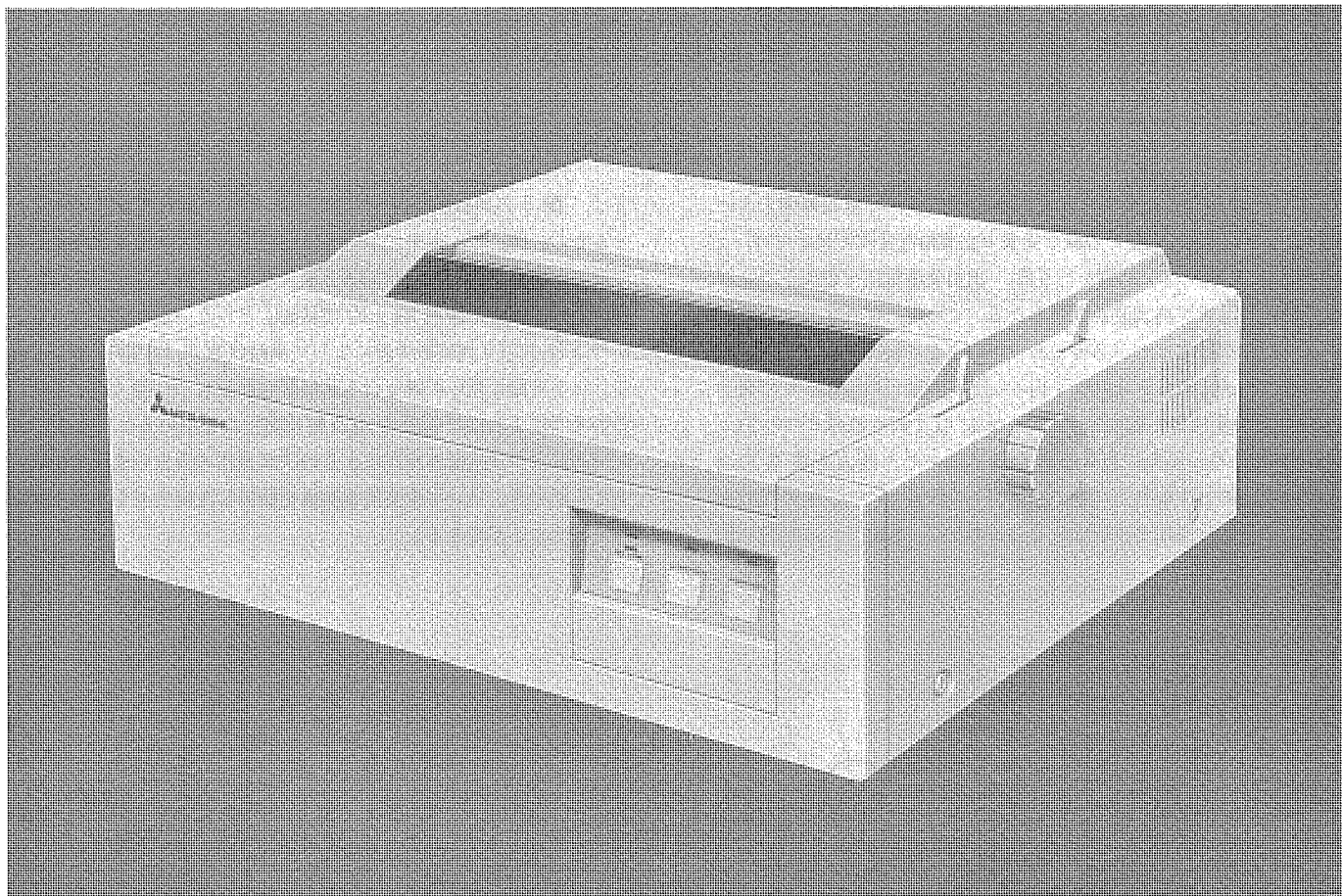


図3

静かなオフィス、鮮明なカラー文書を実現する

三菱カラーサーマルプリンタM4234



このたび三菱電機では、7色で文字・グラフを印字できる三菱カラーサーマルプリンタM4234を発表しました。

熱転写方式を採用したため、騒音がなく、鮮明な文字を普通紙上に印字。特にパソコンやワープロに接続して、静かなオフィスづくりを目指すものです。高密度24ドットマトリックスで漢字や図形を表現するので、タイプ印刷や写真のような出力が得られ、カラー画面のハードコピーや見やすいカラーでの会議資料の作成などに大いにその力を発揮します。

特長

●低騒音

熱転写方式を採用し、印字音のない低騒音プリンタを実現。静かなオフィスにマッチします。

●高密度印字

24×24ドットマトリックスにより、鮮明な漢字や図形を印字します。

●カラー印字

7色(マゼンタ・赤・黄・緑・シアン・紫・黒)で見やすい文書、表、グラフを作成できます。セールスや会議の資料に最適です。カラー印字

モード、黒印字モードの切り替えもリボンカセット交換で簡単にできます。

●小形、軽量

従来にないポータブル設計です。

●低価格

オフィスだけでなく、個人で活用していただける低価格の卓上プリンタです。

●汎用性の高い接続インタフェース

標準仕様は、プリンタで最も汎用性のあるセントロニクスインタフェースを採用しております。さらに、オプションとしてRS232Cによるインタフェースも用意しております。

仕様

印字方式	熱転写シリアル
文字構成	24ドット×24ドット(漢字) 19ドット×11ドット(英・数・カナ)
文字サイズ	10ポイント相当
印字速度	漢字 30字/秒 以上 英・数・カナ 45字/秒 以上
印字色	黒又は黒・マゼンタ・赤・黄・緑・シアン・紫 (リボンカセット交換によりモード切替)
用紙	普通紙 連続紙 10インチ幅以下 カット紙 A4サイズ以下
リボン	カセット方式
寸法・重量	408mm(幅)×235mm(奥行)×140mm(高さ) 6kg以下

愛知県納め東浦支線地区配水管理システム

三 浦 望*・城島登士治*・牧 本 健 二**

1. ま え が き

東浦支線地区は愛知用水の支線地区（水田・普通畑・樹園地を含み1,850 ha）であり、水路施設は老朽化などの理由により開水路方式から管水路（セミクローズドタイプ）方式に改修を行い、末端への用水到達時間の短縮、無駄な放流の防止を目指している。

ここで紹介する東浦支線地区配水管理システムは、このような水路の改修と相まって、配水管理の一元的運用を行い、水の有効利用、管理の省力化を目的として導入されたもので、次のような特長を持っている。

(1) 広域監視制御装置《MELFLEX シリーズ》(100, 200, 400) による集中監視制御。

(2) プロセコントローラ《MACTUS 610》による分水バルブ及びチェックゲートのマルチループ制御及びポンプ起動・停止時のシーケンス制御。

このように、このシステムは《MELFLEX シリーズ》の通信機能と《MACTUS 610》のマルチループ制御機能を有機的に結合したシステムであり、現場側では単なる開閉機能のみとし、子局に通信機能及びマルチループ機能をもたせる方式は、保守費の減少が図れ管理の省力化に貢献するものである。

2. かんがい排水事業の概要

東浦支線水路は、昭和35年愛知用水事業により新設されたもので、知多郡東浦町外3市1町1,850 ha に及ぶ農地のかんがい用水源として利用されてきた。しかし、この用水路は地形的に山腹を等高線に沿って流れるコンクリートブロック張り用水路のため、法面崩壊による土砂流入、枯草、落葉などゴミの流入とブロックの老朽化など多大の維持管理費を要するばかりでなく、加えて末端までの用水到達時間が数時間に及ぶため、用水需要量とポンプ送水量との調整が困難で貴重な水資源の無駄な放流や末端での用水不足に悩まされてきた。

この事業はこれらの諸問題を解消するため、全線の管水路タイプへの改修、分水・放水の新設を行うものである。概略の事業計画諸元は次のとおりである。

(1) 受益面積 1,850.3 ha

水 田	1,244.7 ha
普通畑	563.0 ha
樹園地	42.6 ha

(2) 主要施設

(a) 東浦揚水機場	ポンプ	3 台
(b) 用水路	東浦支線	7,817 m
	緒川分線	5,030 m
	明治池分線	4,051 m
	明治池放水路	562 m
	七本木放水路	180 m

3. 配水管理システムの計画

3.1 目 的

この地区への配水管理システムの導入に際しては、次のことを目的とした。

- (1) 用水配分の適正化
- (2) 期別用水量の変動に対する適切な対応
- (3) 無駄な放流の防止による用水の有効利用
- (4) パイプライン 事故などの異常状態の早期発見と適切な対応
- (5) 記録の自動化による管理費の節減
- (6) 連絡・通報の即時性
- (7) 管理人の心理的不安（水利施設運用操作の妥当性など）の除去

3.2 施設概要

この地区の水源は愛知用水幹線水路であり、公団管理の東浦揚水機場にて吐水槽に揚水し、自然流下により配水する。そして、水路内には9箇所のチェックスタンド、43 箇所の大小分水及び4 箇所のため（溜）池がある（図1.）。

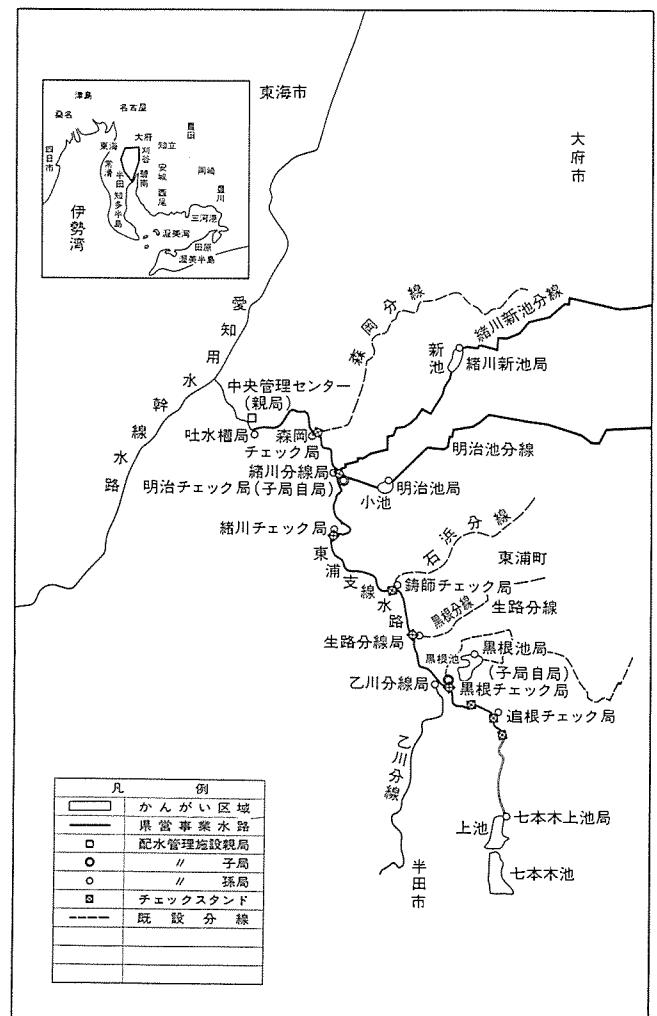


図1. 施設概要図

表 1. 管理項目表

対象施設	項目	セ ン サ			現 場		中 央 管 理 所					備考
		種 別	方 式	出 力	表 示	制 御	監視表示	操作表示	手 制 御	警 報		
師 鉾 チェック (石浜分水)	現場, 中央			接点	○	○	○	○				
	電源異常				○	○	○	○				
	チェック水位	水位計	静電容量式	ボタンスイッチ		A		D			○	
	チェック水位上限・下限	水位計	電極式	接点	○		○				○	
	分水バルブ開度	開度計	軸結合式	ボタンスイッチ	A	開閉		D	開閉	設定		流量設定による自動制御
	分水バルブ全開・全閉			接点	○							
	分水バルブ故障			接点	○							
	分水バルブ故障			接点	○							
	分水流量	流量計	超音波式	D.C. 4 ~ 20mA		A		D			○	
	現場, 中央			接点	○							
生路分水	電源異常			接点	○							
	分水バルブ開度	開度計	軸結合式	ボタンスイッチ	A	開閉		D	開閉	設定		流量設定による自動制御
	分水バルブ全開・全閉			接点	○							
	分水バルブ故障			接点	○							
	分水流量	流量計	超音波式	D.C. 4 ~ 20mA		A		D			○	
	現場, 中央			接点	○							
	電源異常			接点	○							
	分水バルブ開度	開度計	軸結合式	ボタンスイッチ	A	開閉		D	開閉	設定		流量設定による自動制御
	分水バルブ全開・全閉			接点	○							
	分水流量	流量計	超音波式	D.C. 4 ~ 20mA		A		D			○	
乙川分水	現場, 中央			接点	○							
	電源異常			接点	○							
	分水バルブ開度	開度計	軸結合式	ボタンスイッチ	A	開閉		D	開閉			流量設定による自動制御
	分水バルブ全開・全閉			接点	○							
	分水バルブ故障			接点	○							
	分水流量	流量計	超音波式	D.C. 4 ~ 20mA		A		D			○	
	現場, 中央			接点	○							
	電源異常			接点	○							
	分水バルブ開度	水位計	静電容量式	ボタンスイッチ	A			D			○	
	チェック水位上限・下限	水位計	電極式	接点	○							
黒 根 チェック (黒根分水)	バルブ開度	開度計	軸結合式	ボタンスイッチ	A	開閉		D	開閉	設定		流量設定による自動制御
	バルブ開度全開・全閉			接点	○							
	バルブ開度故障			接点	○							
	分水流量	流量計	超音波式	D.C. 4 ~ 20mA		A		D			○	
	余水ゲート開度											
	余水ゲート全開・全閉			接点	○							
	余水ゲート故障			接点	○							
	池 水位	水位計	圧力式	D.C. 4 ~ 20mA	A			D			○	
	チェック水位	水位計	静電容量式	ボタンスイッチ	A			D			○	
	チェック水位上限・下限	水位計	電極式	接点	○							
黒根 チェック	幹線流量		演算				D			○		
	池 水位	水位計	圧力式	D.C. 4 ~ 20mA	A			D			○	

注 A:アナログ D:デジタル

対象施設	項目	セ ン サ			現 場	中 央 管 理 所					備 考	
		種 別	方 式	出 力		表 示	制 御	監視表示	操作表示	制 御		警 報
吐 水 槽	水 位	水位計	フロート式	ポテンシヨ	A		D		○			
	水位上・下限	水位計	電極式	接点	○		○			○	○	
	現場, 中央			接点	○		○					
	電源異常			接点	○		○			○	○	
	チェックゲート開度	開度計	結晶式	ポテンシヨ	A			D	開閉 設定			水位設定による自動開閉
	チェックゲート全開・全閉			接点	○		○					
	チェックゲート故障			接点	○		○			○	○	
	チェック水位	水位計	静電容量式	DC 4～20mA	A		D				○	
	チェック水位上・下限	水位計	電極式	接点	○		○					
	分水バルブ開度	開度計	結晶式	ポテンシヨ	A			D	開閉 設定			流量設定による自動開閉
綿川分水	分水バルブ全開・全閉			接点	○		○					
	分水バルブ故障			接点	○		○			○	○	
	分水流量	流量計	超音波式	DC 4～20mA	A		D			○		
	現場, 中央			接点	○		○					
	電源異常			接点	○		○			○	○	
	分水バルブ開度	開度計	結晶式	ポテンシヨ	A			D	開閉 設定			流量設定による自動開閉
	分水バルブ全開・全閉			接点	○		○					
	分水バルブ故障			接点	○		○			○	○	
	分水流量	流量計	超音波式	DC 4～20mA	A		D			○		
	池水位	水位計	圧力式	DC 4～20mA	A		D			○		
綿川新池	現場, 中央			接点	○		○					
	電源異常			接点	○		○			○	○	
	分水バルブ開度	開度計	結晶式	ポテンシヨ	A			D	開閉 設定			流量設定による自動開閉
	分水バルブ全開・全閉			接点	○		○					
	分水バルブ故障			接点	○		○			○	○	
	分水流量	流量計	超音波式	DC 4～20mA	A		D			○		
	チェック水位	水位計	静電容量式	DC 4～20mA	A		D			○		
	チェック水位上・下限	水位計	電極式	接点	○		○			○	○	
	余水ゲート開度				全開 全閉							
	余水ゲート全開・全閉			接点	○		○			○	○	
明治池	余水ゲート故障			接点	○		D					
	池水位	水位計	圧力式	DC 4～20mA	A							
	現場, 中央			接点	○		○					
	電源異常			接点	○		○			○	○	
	チェックゲート開度	開度計	結晶式	ポテンシヨ	A			D	開閉 設定			水位設定による自動開閉
	チェックゲート全開・全閉			接点	○		○					
	チェックゲート故障			接点	○		○			○	○	
	チェック水位	水位計	静電容量式	DC 4～20mA	A		D			○		
	チェック水位上・下限			接点	○		○					
	明治池			接点	○		○					
綿 川	チェックゲート開度	開度計	結晶式	ポテンシヨ	A			D	開閉 設定			水位設定による自動開閉
	チェックゲート全開・全閉			接点	○		○					
	チェックゲート故障			接点	○		○			○	○	
	チェック水位	水位計	静電容量式	DC 4～20mA	A		D			○		
	チェック水位上・下限			接点	○		○					
	明治池			接点	○		○					
	チェックゲート開度	開度計	結晶式	ポテンシヨ	A			D	開閉 設定			水位設定による自動開閉
	チェックゲート全開・全閉			接点	○		○					
	チェックゲート故障			接点	○		○			○	○	
	チェック水位	水位計	静電容量式	DC 4～20mA	A		D			○		

3.3 管理対象施設

3.2 節で述べた施設のすべてを管理するには多額の費用を要し、投資効果もそれほど見込めない。このため、このシステムでは次のことから管理対象施設を決定した。

- (1) 分水は流量把握率を80%程度とし、分水流量が0.1 m³/s以上の7分水を管理するものとした。
- (2) (1)以外の分水については6箇所のチェックスタンドの管理によって、配水量は確保できるものとした。
- (3) 溜池については無駄な放流をなくするため、4箇所すべてを管理するものとした。

3.4 管理内容

(1) 分水

分水流量及び分水バルブの開度・状態を監視し、現場又は中央における手動開閉停制御又は手動流量設定値制御を行う。

(2) チェックスタンド

チェック水位、水位上限・下限、チェックゲート開度・状態を監視し、現場又は中央における手動開閉停制御又は手動水位設定値制御を行う。そして、明治池チェック及び黒根池チェックについては余水吐状態を監視し、現場又は中央における全開・全閉制御を行う。

(3) 吐水槽

水槽水位及び水位上限・下限の監視を行う。

(4) 溜池

池水位の監視を行う。

(5) ポンプ運転との連動のためのシーケンス制御

ポンプ起動後、速やかに各分水の流量を確保するため上流から順次チェックゲート、分水バルブを自動的に制御し、ポンプ停止時は管内の充水を確保するために、チェックゲート及び分水バルブを全閉にするものである。

(a) ポンプ起動時

- (i) 分水バルブ及び余水ゲートがすべて全閉であることを確認する。
- (ii) 森岡チェック及び緒川チェックのチェックゲートが全閉であることを確認する。
- (iii) (ポンプ起動)……………公団にて管理
- (iv) 森岡チェックのチェック

水位が確保されたことを確認後、森岡チェックから上流の分水バルブの流量設定値制御及び森岡チェックゲートの水位設定値制御を開始する。

- (v) 緒川チェックのチェック
- 水位が確保されたことを確認後、緒川チェックから上流の分水バルブの流量設定値制御及び緒川チェックゲートの水位設定値制御を開始する。

(b) ポンプ停止時

- (i) (ポンプ停止)……………公団にて管理
- (ii) 上流から順次、時間を空けて分水バルブ及びチェ

ックゲートを全閉にする。

表1. に管理項目を示す。

3.5 中央管理センターの機能

中央管理センターは東浦揚水機場内に設置し、次の機能を持っている。

(1) 情報の収集

管理項目表(表1.)に示す情報を収集する。

(2) 情報の監視

収集された情報について、データの合理性、欠測などの監視を行う。

(3) 演算

スケール変換及び追根チェック水位から幹線流量の変換を行う。

(4) 表示

収集データ、演算結果データを監視表示盤及び操作卓に表示する。

(5) 記録

各施設の水位及び流量を監視表示盤の多点式打点記録計で記録する。

(6) 通話

専用の回線により、子局については専用の電話器、また孫局については携帯式電話器を使って通話を行う。

3.6 置局計画

置局は親-子-孫構成とし、子局-孫局間の最大距離を2km程度で計画した。図2. に回線構成を示す。

3.7 伝送計画

伝送回線には種々のものがあるが、このシステムは完成後、管理が土地改良区へ移管されることを考慮し、維持管理費が安価な自営有線方式を採用した。

3.8 雷害対策

近年、色々な管理システムが導入され、これに伴い管理システムの中核である電子回路への雷害が多数報告され、雷害対策は必要不可欠の要素となっている。このシステムにおいて、信号ラインには計装アレスタ・サージアブソーバ・中継リレー、電源ラインには耐雷トランス・電源アレスタを配し、雷サージから電子機器を保護している。

4. システム構成

このシステムはシステム概念図(図3.)及びシステムブロック図(図4.)

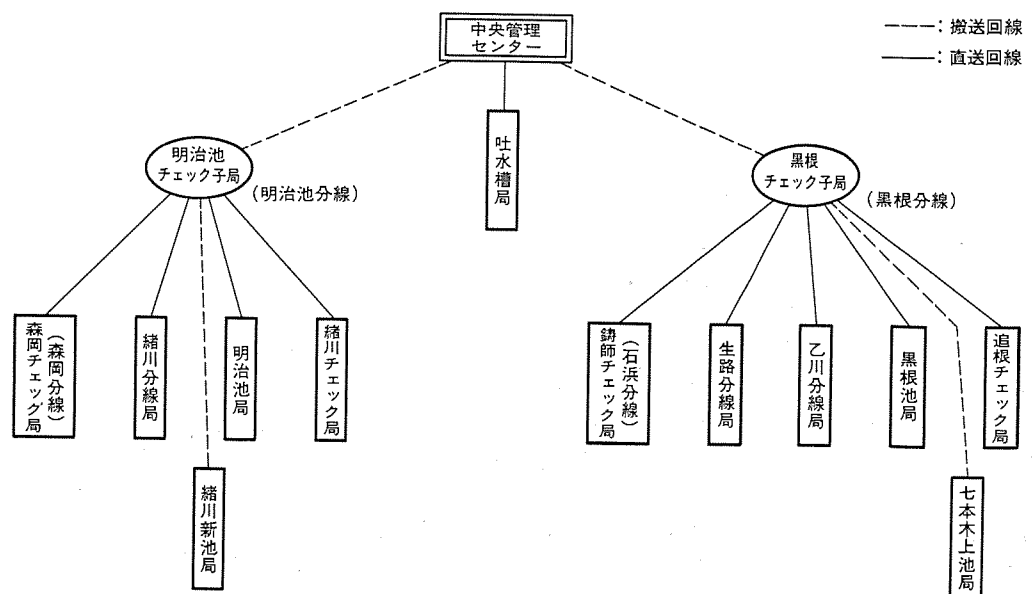


図2. 回線構成図

に示すように東浦揚水機場内に設置する中央管理センターにおいて水路内の分水、チェックスタンド、溜池などを一元的に管理するものであり、システム構成は次のとおりである。

- (1) 中央管理センター : 1箇所(図5.)
- (2) 子局 : 2箇所(図6.)
- (3) 簡易テレメータ子局 : 2箇所
- (4) 孫局 : 10箇所

4.1 伝送方式

- (1) 伝送方式 : 常時サイクリック伝送方式
- (2) 符号方式 : NRZ等長符号方式
- (3) 変調方式 : FS変調方式
- (4) 誤り検定方式 : パリティ検定及び隣接位相反転照合検定の併用、また制御時には定マーク検定を追加
- (5) 伝送速度 : 200 b/s
- (6) 同期方式 : ワード同期方式
- (7) 制御方式 : 2挙動方式

4.2 構成機器の仕様

- (1) 遠方監視制御親局装置(図7.)

この装置はこのシステムの中核であり、広域監視制御装置「MELF LEX 400」(マイクロコンピュータ)を使用し、次の機能を持っている。

- (a) 子局装置とのデータ伝送
- (b) データのチェック及びスケール変換
- (c) 監視表示盤及び操作卓へのデータ表示
- (d) 操作卓からの制御入力及び自動制御(設定値制御、シーケンス制御)の起動及び監視

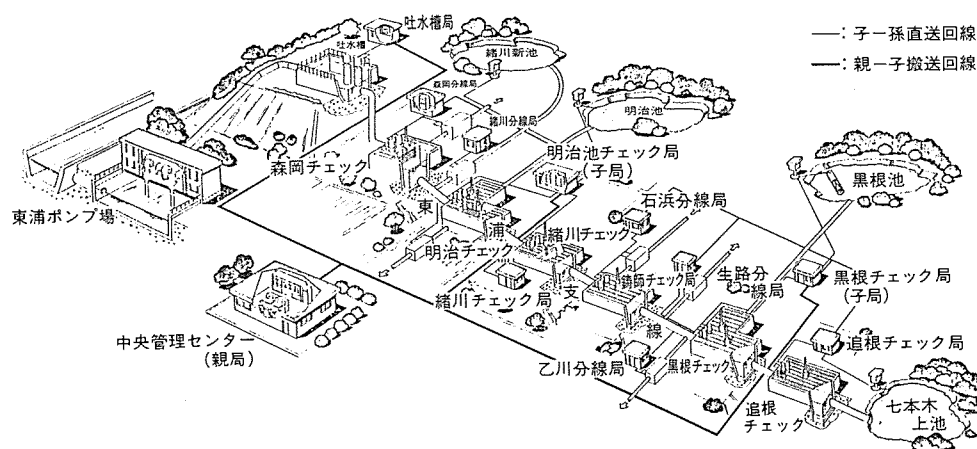


図3 システム概念図

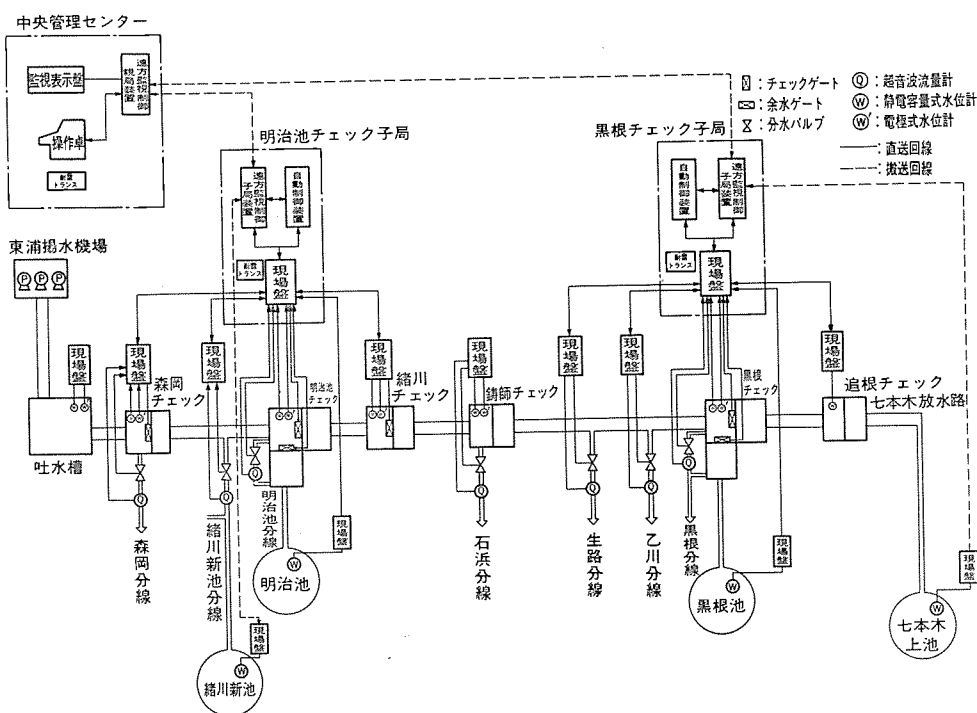


図4 システムブロック図



図5 中央管理センターの外観

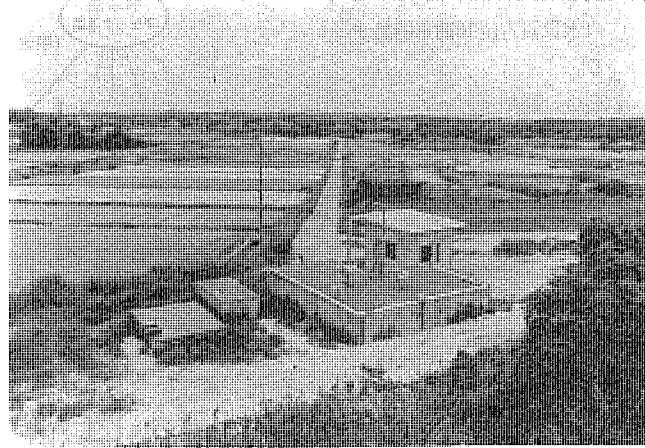


図6 明治池チェック子局の外観

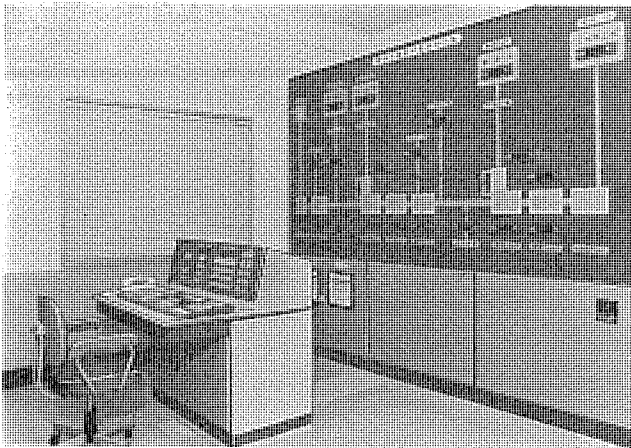


図 7. 中央管理 センター 機器

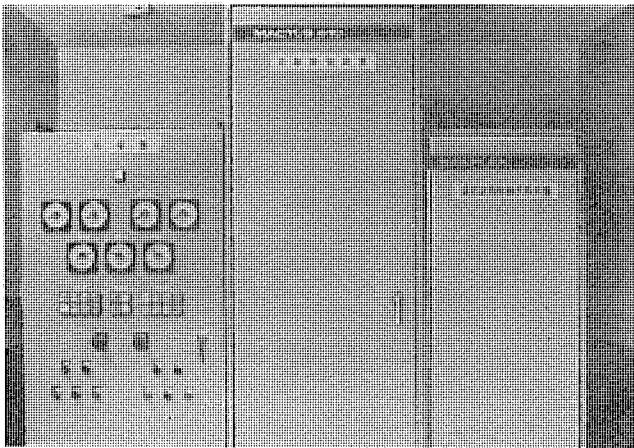


図 8. 明治池 チェック 子局機器

(e) 追根 チェック 水位から幹線流量の算出

(2) 監視表示盤 (図 7.)

水系の模式図及び データ 表示器・ランプ を取り付け、水系の状態の把握を行う。また、多点式打点記録計により水位・流量のアナログ記録を行っている。

(3) 操作卓 (図 7.)

分水 バルブ、チェックゲートの状態などをランプで表示し、スイッチの操作により制御が行える。

(4) 遠方監視制御子局装置 (図 8.)

明治池 チェック 及び黒根 チェック に設置し、管轄内のデータをまとめて親局装置へデジタル伝送するもので、広域監視制御装置《MELFLEX 200》を使用している。

(5) 自動制御装置 (図 8.)

この装置は明治池 チェック 子局及び黒根 チェック 子局に設置し、管轄内のチェックゲート及び分水バルブの設定値制御(定流量又は定水位)及びポンプ起動時・停止時のシーケンス制御を行うマルチループコントローラであり、プロセスコントローラ《MACTUS 610》(マイクロコンピュータ)を使

用している。

ここで、コントローラとしてシングルループコントローラでなく、マルチループコントローラを使用した理由は、一般に、農業用水の管理システムは使用環境が厳しいので、現場には単なるゲート・バルブの開閉機能のみをもたせ、子局において各現場のマルチループ制御を行うのが信頼性に優れ、またシーケンス制御にも適しており、更に保守ポイントの減少が図れることなどによっている。なお、ループ数は明治池 チェック 子局が5ループ、黒根 チェック 子局が4ループである。

(6) 流量計

分水口径が大きく、取付けが容易なことから超音波式流量計を使用している。

(7) 水位計

チェックスタンドについては水槽の大きさが小さく、流れが乱れていることから、静電容量式、吐水槽は水槽が大きく、水の乱れはないのでフロート式、そして溜池については設置の容易さから圧力式を使用している。また、水位の上限・下限については電極式水位計を使用している。

(8) 現場盤 (バルブ・ゲート用)

チェックスタンド又は分水に設置し、ゲート又はバルブの現場での監視、制御及び遠方監視制御子局装置とのインタフェースを行う。

(9) 現場盤 (吐水槽、追根 チェック 及び溜池用)

吐水槽又は溜池に設置し、水位と水位上限・下限の現場表示及び遠方監視制御子局装置とのインタフェースを行う。

(10) 簡易テレメータ装置

子局からの距離が2km以上である緒川新池及び七本木上池の現場盤内に收容し、水位信号のデジタルテレメータを行っており、広域監視制御装置《MELFLEX 100》を使用している。

5. む す び

以上、東浦支線地区配水管理システムについてその概略を述べた。近年、農業用水において、水路のパイプライン化が進んでいるが、これに対する管理システムは実例が少なく、パイプライン方式(オープンタイプ、セミクローズドタイプ、クローズドタイプ)や管理の形態(需要主導形、供給主導形及びこれらの中間形)について明確な方針がない状況である。

このような状況において、オープンタイプパイプラインであるこの地区に対する管理システムとして、他のパイプライン方式と比べて比較的開水路の要素が強いことから、供給主導形に重点をおいたシステムが実現できた。しかし、他のパイプライン方式については、パイプライン自体が需要主導形であるため、管理システムとしてはどのようにして供給主導形の水管理を実現するかが問題となる。これらについては、今後の実施例によって方向づけがなされると思うが、オープンタイプパイプラインの1実施例として、このシステムが今後の農業用水管理システムの参考となれば幸いである。

最後に、このシステムの計画・施工に対して、御指導、御意見をいただいた愛知県半田農地開発事務所殿及び土地改良区の関係者各位に深く感謝する次第である。

高速道路用振動制御装置

藤野正太郎*・丸山 泰*・亀井信夫*・古石喜郎**・富沢正雄**

1. ま え が き

近年における高強度材料の開発や、構造物の設計・解析法の進歩により、経済性を考慮して設計された最近の構造物はより軽量化され、規模の大きいものとなってきた。このため構造物自体が、大きなフレキシビリティを持つ割に小さな減衰しか持たないことが多く、風や地震、走行車両などによる外部からの動的荷重により非常に大きな応答を生じやすい状況となっている。このような中で、都市部における高架形的高速道路では、走行する車両によって橋りょう(梁)、橋脚に振動が発生し、この振動が地盤を伝わって沿道の建物に有害な影響を与えている場合がある。

このような問題の解決には、従来より部材の剛性を増したり、構造そのものに配慮をするいわゆる受動的(パッシブ)な対策がとられてきたが、完全に目的を達するには至っていない。これに対して最近では、構造物に制振用のコントロールデバイスを装着し、外部より制振エネルギーを供給して能動的(アクティブ)な制振効果を与える振動制御方式(アクティブコントロール)が注目されている⁽¹⁾⁽²⁾。この高速道路用振動制御装置は、建物に影響を及ぼす構造物の複数の振動モードに対し、速度フィードバック系を構成し、振動減衰比の改善から建物の振動軽減をねらうものである。

ここでは、首都高速道路の一部に設置することを目的として、検討を進めてきた振動制御装置の開発の経緯、基礎理論、建物を含めた現地での振動実測、スケールモデルによる制御実験などについてその概略を報告する。

2. 高速道路振動制御の概要

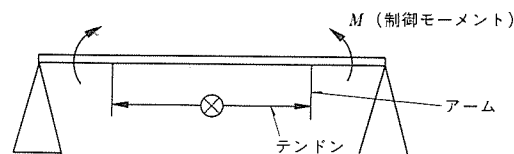
高速道路上を走行する車両によって引き起こされる振動が、沿道の建物に伝わるメカニズムを、これまで行われた数例の振動測定結果から整理してみると次のようになる⁽³⁾⁽⁴⁾。

- (1) 影響を受ける建物は、高速道路に近接した細長い形状の小規模なビルが多く、固有振動数は約3.0~3.5 Hz程度のものが多い。
- (2) これに対し、高速道路側の構造物の方も約3.0~3.5 Hz付近に励起されやすい振動モードをいくつか持っており、このうちのいずれかのモードの振動が建物の振動と共振現象を起こしているものと考えられる。

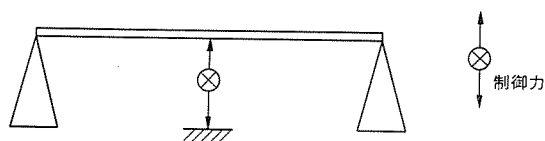
次に建物の振動レベルを軽減する方法について列挙してみると、

- (1) 高速道路側構造物に、橋脚の剛度を増すなどの補剛工事を行い、固有振動数を建物の共振範囲から外す。
- (2) 高速道路側構造物から建物に至るまでの地盤に防振溝などを設置して伝ば(播)を妨げる。
- (3) 高速道路側構造物又は建物そのものの振動減衰性を改善して共振時の倍率を低減する。

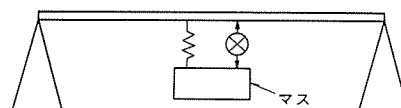
などが考えられる。このうち(1)は小規模な補剛では固有振動数を大幅にずらすのは難しく、新たに補助の柱などを設置するにしてもスペースなどの制約を受けることが多い。(2)もまた同様で、現実的、



(a) テンドン方式



(b) ダイレクト方式



(c) マスダンパ方式

図 1. 振動制御方式

経済的とはなり難い。(3)にあたるのが、今回選んだ対策方法で、振動減衰比に代表される構造物の振動特性を電気・機械的な方法で改善しようとするものである。

2.1 振動制御方式の種類

構造物に制御力を加える各種振動制御方式として、次のようなものが考えられる(図1.)。

(1) テンドン方式

構造物にアームを介して取り付けけた テンドンにより制御力を加えるもので、作用させる制御力の反力が構造物の中で処理されるので、余分の柱や基礎などを必要としない。

(2) ダイレクト方式

構造物に作用させる制御力の反力を地盤からとるもので、制御位置によっては制御力が非常に小さくて済むが、余分の柱や基礎が必要となる。

(3) マスダンパ方式

構造物に作用させる制御力の反力を、ばねを介して取り付けけた質量からとるもので、(2)のような基礎を必要としないが、制御方向によっては構造がやや複雑になることがある。

これらの制御方式のうち、高速道路の振動制御として、(2)、(3)は設置上の制約が大きいため、現時点では、(1)を適用する方向で検討を進めているが、将来的には(3)の建物への適用も考えられる。

2.2 振動制御の基礎理論

構造物を多自由度線形振動系で表現し、これに走行車両による外力とアクティブコントロールによる制御力が加わったときの運動方程式は次式のようにになる。

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + kx = F(t) - U(t) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 M : 質量マトリクス
 C : 減衰マトリクス
 k : 剛性マトリクス
 $x(t)$: 変位ベクトル
 $F(t)$: 外力ベクトル
 $U(t)$: 制御力ベクトル

構造物の振動特性は、各固有モード間の減衰による連成が無視でき、その振動応答が固有モードの重ね合わせで記述できるものとし、

$$x(t) = \Phi A(t) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 Φ : 固有ベクトルマトリクス

$A(t)$: 一般化座標ベクトル

とおいて、式(1)に代入すると、

$$\Phi^T M \Phi \ddot{A}(t) + \Phi^T C \Phi \dot{A}(t) + \Phi^T k \Phi A(t) = \Phi^T F(t) - \Phi^T U(t)$$

を得る。 M , k に関する直交性と減衰マトリクスが対角化できるとの仮定を用いて、各モードに分解する。

$$\bar{m} \ddot{A}(t) + \bar{C} \dot{A}(t) + \bar{k} A(t) = \Phi^T F(t) - \Phi^T U(t) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $\bar{m}$, $\bar{C}$, $\bar{k}$ はモード別の質量、減衰、剛性マトリクスで、

$$\bar{C} = \text{diag}[2\zeta_r \omega_r m_r]$$

ζ_r : モード減衰比

ω_r : 固有角振動数

m_r : モード質量

式(3)を状態方程式で表示すると、

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} A(t) \\ \dot{A}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -\bar{m}^{-1}\bar{k} & -\bar{m}^{-1}\bar{C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A(t) \\ \dot{A}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -\bar{m}^{-1}\Phi^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ U(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{m}^{-1}\Phi^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ F(t) \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。

$$A_c = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -\bar{m}^{-1}\bar{k} & -\bar{m}^{-1}\bar{C} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ -\bar{m}^{-1}\Phi^T \end{bmatrix}$$

$$X(t) = \begin{bmatrix} A(t) \\ \dot{A}(t) \end{bmatrix}, \quad d(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{m}^{-1}\Phi^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ F(t) \end{bmatrix}$$

とおくと、

$$\dot{X}(t) = A_c X(t) + B U(t) + d(t) \quad \dots\dots\dots (4)'$$

制御力 $U(t)$ の最適値は、式(4)'の条件のもとで以下の評価関数 J を最小にする操作変数ベクトルとする。

$$J = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} (X^T(t) Q X(t) + U^T(t) R U(t)) dt \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 t_0 : 制御開始時間

t_f : 制御終了時間

Q , R : 重みマトリクス

最適制御力 $U^0(t)$ は、フィードバックゲインマトリクスを G とすると、

$$U^0(t) = -G X(t) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$G = R^{-1} B^T k \quad \dots\dots\dots (7)$$

で与えられる。ただし、 k は正定値マトリクスで次の Riccati 方程式の解として求められる。

$$A_c^T k + k A_c - k B R^{-1} B^T k + Q = 0 \quad \dots\dots\dots (8)$$

以上から最適フィードバック系は次のように表現できる。

$$\frac{d}{dt} X(t) = (A_c - B R^{-1} B^T k) X(t) + d(t) \quad \dots\dots\dots (9)$$

2.3 振動制御装置開発の経緯

開発の流れは概略四つのステップに分けられる(図2.)。

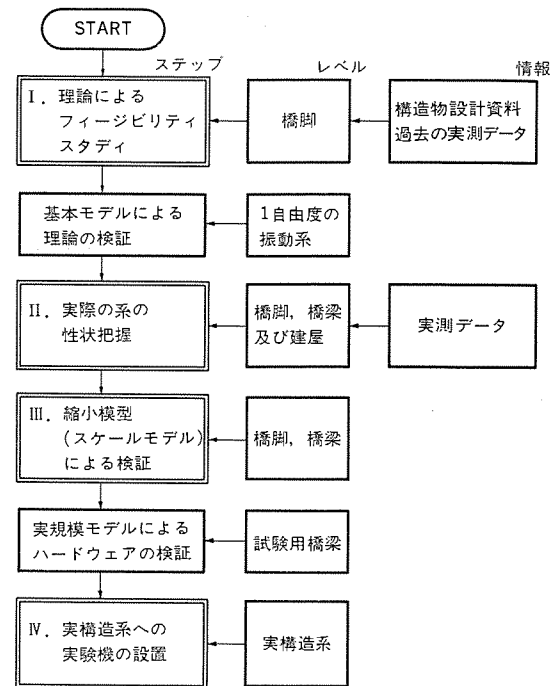


図2. 振動制御装置開発の流れ

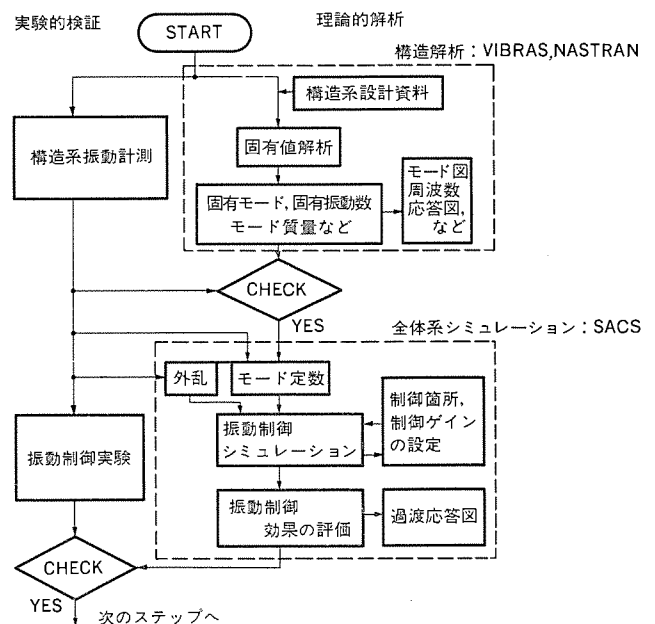


図3. 開発ステップ内のフローチャート

第1ステップは、既存の資料を用い紙の上で装置の可能性を検討したもので、開発の計画段階とも言えよう。これに引き続き行われたのが基本モデル実験で、単純な1自由度の振動系を用い理論の裏付けを行っている。

第2ステップは、現地での振動実測を中心に実際の系の性状把握を行ったもので、構造解析等で得た固有振動数、モード形状などのパラメータの検証や、ハードウェアの設計に必要な振動の絶対量の把握、制振効果に影響する減衰量の測定などを行っている。

第3ステップは、現地の構造を模擬したスケールモデルによって振動制御実験を行ったもので、実際の構造物と同様に複数のモードを持った振動系により制御効果の確認をしている。

最後の第4ステップでは、実構造物に実験機を設置して基礎データ

これらの結果は可能な限り実験的手段による結果と比較され、良好な結果を得ると次のステップへと開発が進められていく。開発の過程では、このような解析と実験の繰返しを行っているが、現在までのところ両者は比較的良好一致をみている。

観測したたわみ波形の例を図 5. に示す。これらの波形はすべて

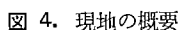
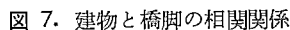


図 6. 振動ビルの実測結果



となどが読み取れる。

図 6. は、振動が問題となっている建物のパワースペクトラムと自己相関関数で、この建物は周期性の強い振動を生じており、その固有振動数は約 3.4 Hz であることがわかる。また図 7. は、この建物と橋脚との間の相関関係を示すもので、両者にはかなり強い相関関係があり、橋脚の振動から若干の時間遅れをもって建物の振動が生じており、建物一階の振動レベルは橋脚付根部分の約 1/10 であることが確認される。

4. スケールモデルによる振動制御実験

実際の構造物に装着する振動制御装置の設計に先立ち、実系を 1/15 に縮小した模型（スケールモデル）で制御実験を行った。実験の目的は、近接した固有振動数を持つ複数のモードでの制御効果の確認と、複数の制御箇所における効果の比較などである。

4.1 スケールモデルの製作

制御の対象となる構造物は、問題の建物に近接した橋脚とその前後の橋脚、及びそれらを連結する上り線、下り線の橋梁を含んだ範囲をモデル化し、実系の道路直角方向の振動（模型では道路方向を剛とした）の固有振動数、固有モード形状が模擬できるようにした。また構造物の材質にはアルミニウムを使用し、形状比を 1/15 としたほか、重量比を 1/10,000 とした。更に実系では主として部材の曲げによる振動が生じているものと考え、模型各部の断面 2 次モーメントの値は次式によって与えた。

$$\frac{I_{MO}}{I_{RE}} = (\text{材料のヤング率の逆比}) \times (\text{重量比}) \times (\text{形状比})^3$$

ここで、 I_{MO} ：模型の部材の断面 2 次モーメント

I_{RE} ：実物の部材の断面 2 次モーメント

構造体設計時に計算した固有モード形状の例を図 8. に示す。スケールモデルは、任意の組合せで制御の ON-OFF ができる 6 台のアクチュエータ（10 W の DC サーボモータで駆動）と、12 台のサーボ形加速

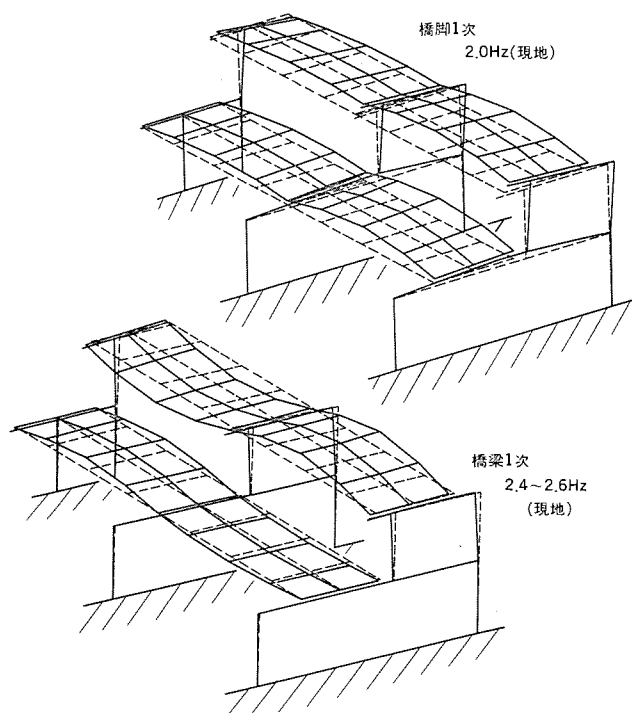


図 8. スケールモデルの固有モードの例（計算）

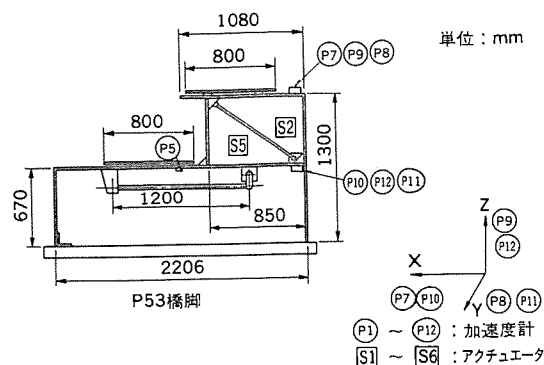


図 9. スケールモデルの概要

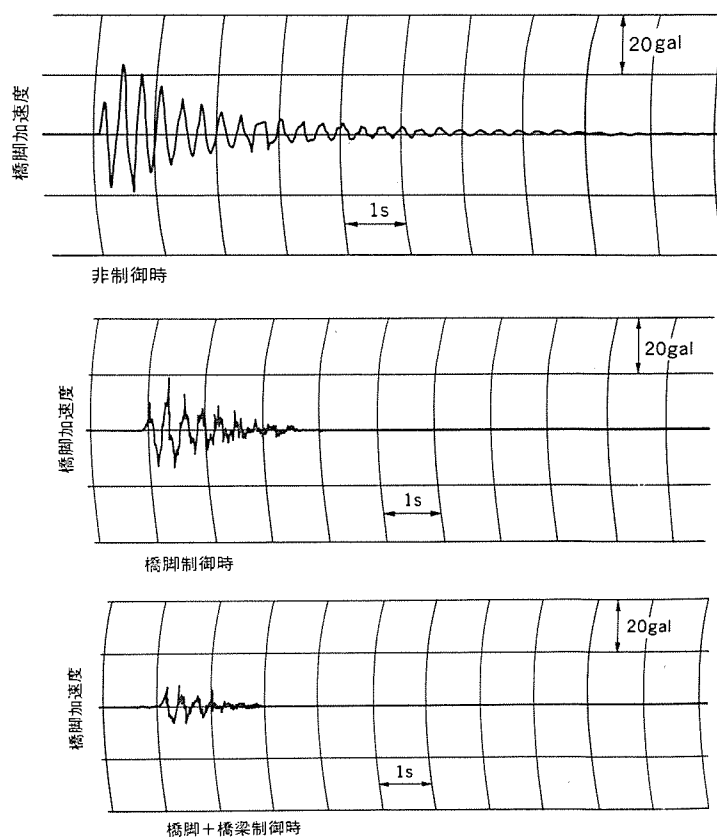


図 10. スケールモデル 実験結果（ステップ応答の時間波形）

度計（制御用／振動計測用）を装着した（図 9.）。実験中のデータはいったんデータレコーダーに記録させた後、FFT アナライザなどにより解析を行った。

4.2 実験結果

上り線にあたる橋梁の一つに、5 kg のステップ状荷重を与えて観察した橋脚の加速度波形を図 10. に示す。非制御時に約 10 秒程続いた自由振動が、橋脚の制御により約 3 秒程で減衰してしまうことがわかる。また橋梁部分も含めたすべてのアクチュエータを用いると更に振動が低減されることがわかる。

図 11. は、下り線にあたる橋梁に重量約 5.5 kg の模型トラックを

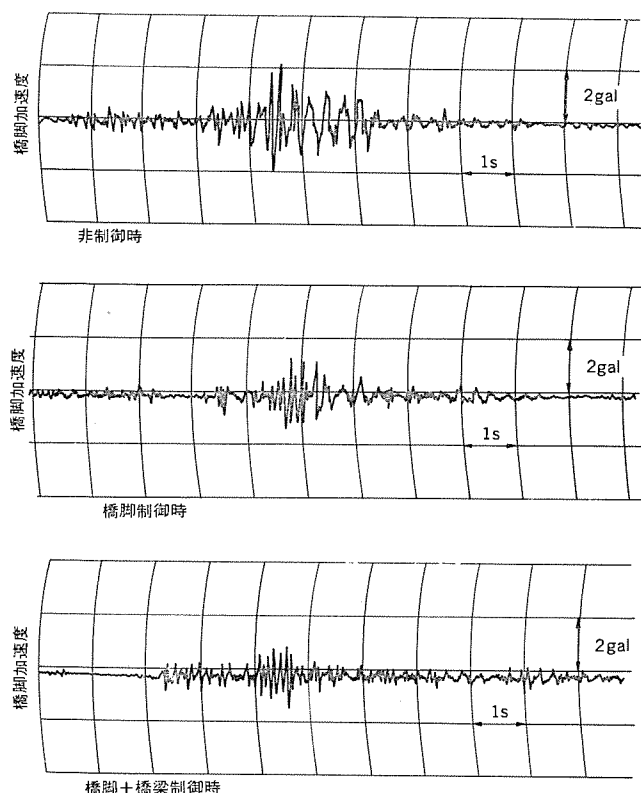


図 11. スケールモデル 実験結果 (走行荷重による応答の時間波形)

走行させて起こした走行荷重による実験結果である。ステップ状荷重の場合と同様に、橋脚又は橋脚と橋梁の制御により振動が低減されることがわかる。また制御後に残る振動は、比較的高い周波数成分であることも観察される。

5. 実規模モデルによる振動制御実験

図 12. は、全長約 16 m、重量約 20 t (制御に用いる機器の重量を含む) の試験用橋梁に取り付けた高速道路用振動制御装置の実規模モデルの写真である。構造体となる橋梁の重量は実系モード重量の約 1/30 であるが、アクチュエータ部分 (3 kW 程度の AC サーボモータで駆動) 及び制御機器については、実橋脚への装着を予定している装置と同等の性能を持ったものとなっている。試験は実際の振動レベルより高い振動を与え、ハードウェアの検討を主目的として行っている。

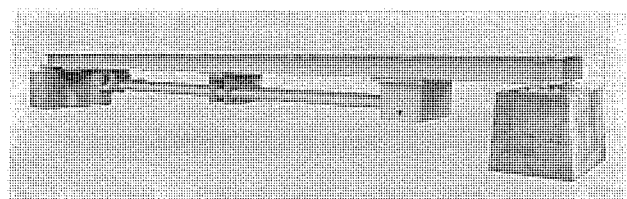


図 12. 実規模モデル

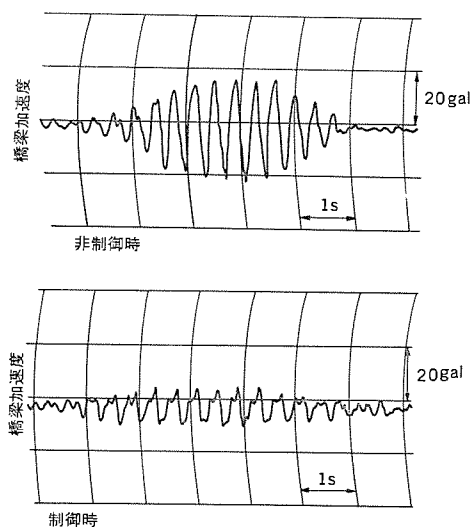


図 13. 実規模モデル 実験結果

図 13. は、体重約 55 kg の人間が橋梁上をゆっくり歩くことにより起こした振動を、橋梁のスパン中央に取り付けた加速度計により観察したものである。橋梁に制御を加えることにより、振動を約 1/3 程度に低減できることがわかる。

6. む す び

ここに紹介した高速道路用振動制御装置は、構造物の動的特性を電気-機械的に改善する方法として一つの方向を示すものと思われる。構造物への制御系の適用は、最近各方面で注目され始めたところで、世界的にも製品化の例は極めて少ない。このようなシステムの実用化のためには今後とも多くの研究が必要であるが、大規模な構造物に対しても大がかりな構造変更を必要としないので、他の手段に比べはるかに経済的となる可能性を持っている。

現在、振動・騒音問題が公害の大きなウエートを占めるに至り、この分野での社会的要請は大きいものがあると思われる。われわれは、そのような社会の要請を受けとめ、より完成されたシステムを目指し開発を進めていく所存である。

最後に、この高速道路用振動制御装置の開発にあたり、数々の御教示、御協力をいただいた首都高速道路公団殿の関係者各位に厚くお礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) H. H. Leipholz : Structural Control, IVTAM, Symposium (1979)
- (2) M. A. Rohman : Optimal Control of Civil Engineering Structure, Proc. of ASCE, 106 (1980)
- (3) 上前ほか : 橋梁と基礎, 12月号, p. 10 (昭57)
- (4) 上前ほか : 橋梁と基礎, 1月号, p. 16 (昭58)

在来鉄道車両用総合試験装置

阿武茂生*・小林博行*・本多隆一**・長井成吉***・宮川誠二+

1. ま え が き

近年開業した地下鉄、新設鉄道、新交通システムなどでは、検修作業の高能率化、試験精度の向上、データ処理の合理化などのため、電子計算機を用いた総合試験装置を設置する事例が非常に多くなっている。これに対し、在来からの鉄道車両の検修業務は、一般に検査対象車種が多く、車両が試験装置用のコネクタを持たないために自動化することが困難であった。近畿日本鉄道(株)は、大阪線、奈良線、南大阪線及び名古屋線の一部の車両を一括検修するため、大阪線五位堂駅付近に検修車庫を新設し、車両を分解、整備した後の出場検査と検査データの処理業務のため、電子計算機を用いた出場検査装置(近畿日本鉄道(株)納め装置の名称)を導入した。この装置が検査対象とする車両は、特別な試験コネクタを持たない在来車両で、車種の形式は90種類に及び出場検査線において次の形態で車両を検査することができる。

- (1) 4両 1編成 (2) 3両 1編成
(3) 2両 (4) 1両 (5) 2両 2編成 同時
以下に、この装置の概要を述べる。

2. 特 長

- (1) 試験装置用の特別な検査コネクタを持たない、在来形電車の出場検査を可能な限り自動化した。
(2) 指揮者に対するキャラクタディスプレイを用いた適切な作業指示画面と、指揮者と検査員間の無線電話による情報交換で、検査作業の漏れがなくなる。
(3) 検査条件の設定方法、計測方法が統一され、検査員間の個人

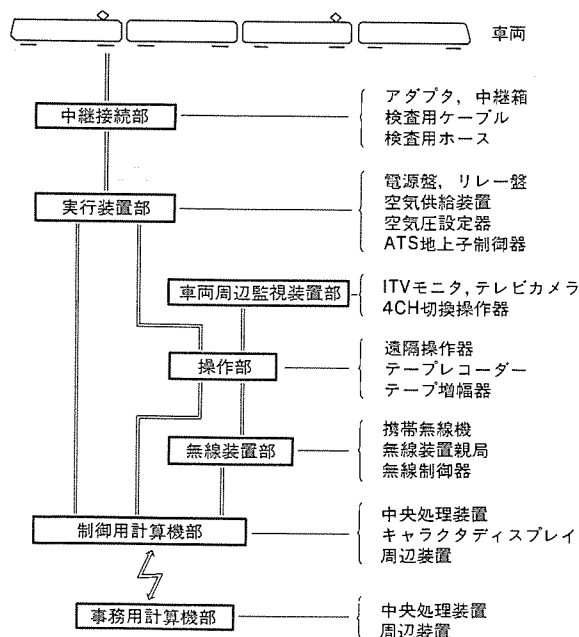


図 1. 出場検査装置システム構成

差がなくなる。

- (4) 車両検査により得られたデータが整理された形で保管され、必要なときはいつでも検索や参照が行える。
(5) プログラムの追加、変更をユーザーが容易に行える。

3. システム構成

出場検査装置全体の構成概念図を図 1. に示す。装置を構成する各

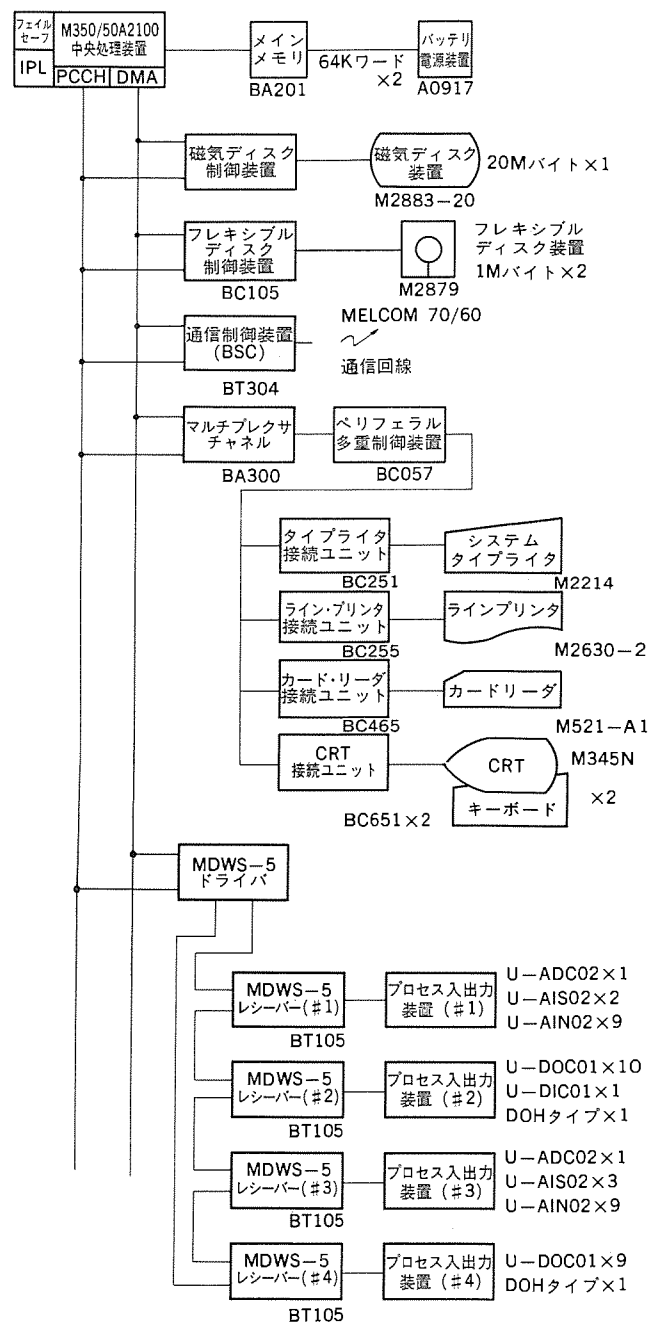


図 2. 計算機関係システム構成



図 3. 計算機室設置状況

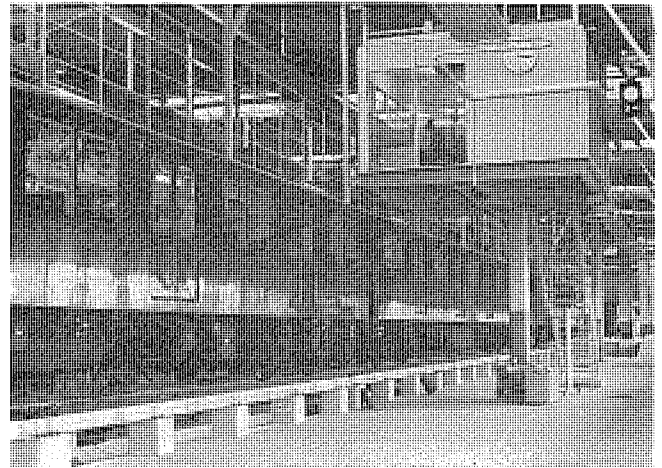


図 4. 操作室の外観

部の機能と構成は、以下のとおりである。

3. 1 制御用計算機部

検査装置全体の中核となるところで、定められたプログラムに従い、検査進捗のガイド、実行装置への命令、検査結果の判定及び検査データの収集、印字を行う。更に事務用計算機とのデータ伝送も行う。制御用計算機部のシステム構成を図 2. に、各機器の機能を次に示す。

(1) 中央処理装置

データの演算、判定、記憶と各入出力装置の制御を行う。

(2) 磁気ディスク装置

制御プログラム、アプリケーションプログラム、言語プログラムなどのシステムプログラム及び検査制御手順データ、検査結果などのデータを記憶する。

(3) フレキシブルディスク装置

システムの保守、データの交換用として使用する。

(4) システムタイプライタ

システムの調整、保守用として使用するほか、計算機システムの異常警報メッセージなどの印字を行う。

(5) ラインプリンタ

プログラムの開発、検査結果の印字に使用する。

(6) カードリーダー

プログラムの開発、各種テーブルデータの製作に使用する。

(7) プロセス入出力装置

中央処理装置とプロセス側（実行装置を介して検査車両）との信号伝達の仲立ちを行う。

(8) 《MDWS-5》ドライバ、レシーバ
離れて設置された中央処理装置とプロセス入出力装置間のデータ伝送を行う。

(9) 通信制御装置

事務処理用計算機《MELCOM 70/60》

に検査結果のデータを伝送するため

に使用する。操作室に置かれたキャラクタディスプレイ装置と出場検査線に置かれたプロセス入出力装置を除き、制御用計算機部の機器は、計算機室に設置されている。設置状況を図 3. に示す。

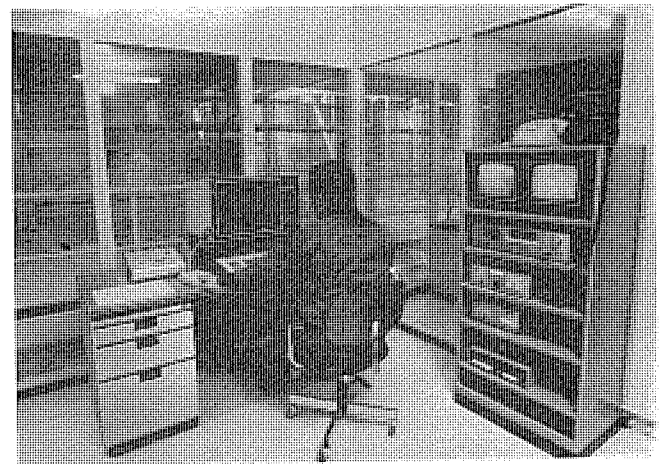


図 5. 操作室第 2 室の機器設置状況

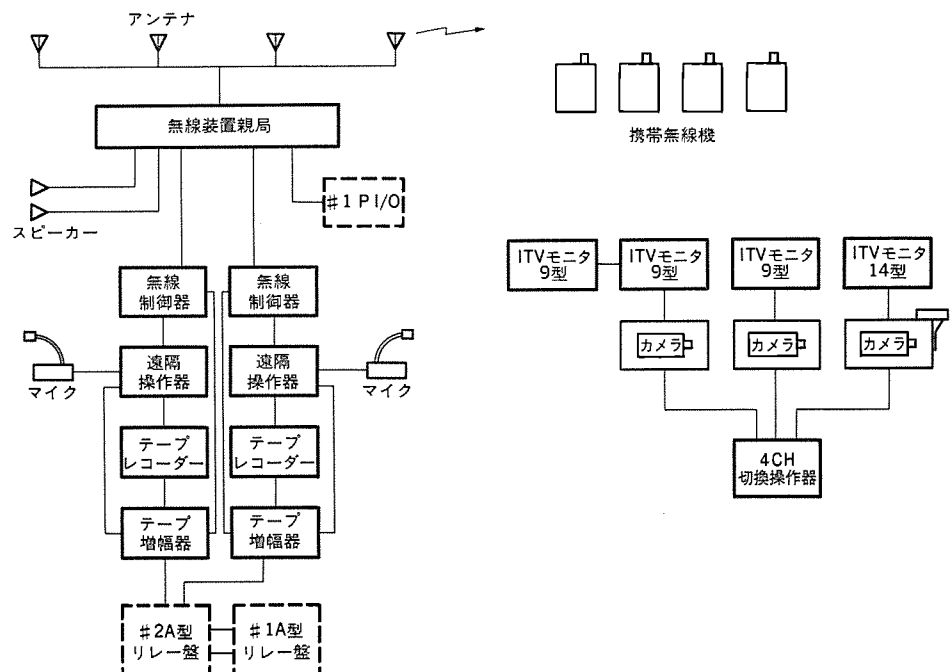


図 6. 操作部、無線装置部、車両周辺監視装置部システム構成

3. 2 操作部

出場検査線のほぼ中央、全体を見渡せる高い位置に操作室がある。

操作室の外観を図 4. に示す。操作室内は、2 編成同時検査に対応して 2 室に仕切られ、必要機器は 2 組設置されている。図 5. に第 2 室の機器の設置状況を示す。図 6. に操作部、無線装置部、車両周辺監視装置部のシステム構成を示す。操作部各機器の機能は次のとおりである。

(1) 遠隔操作器

操作卓の上に置かれ、無線制御器、テープレコーダーに接続されており、テープレコーダーの遠隔操作と連絡用場内放送の制御を行う。

(2) テープレコーダー、テープ増幅器

車両の放送装置の試験に使用する。

3. 3 実行装置部

制御用計算機部のプロセス入出力装置と検査車両の間にあって、中央処理装置の命令に従い、規定のピンやカプラに規定の電気信号、空気圧を印加する。その結果として車両の機器が動作し、車両から出力される信号を変換して、プロセス入出力装置経由中央処理装置へ入力する。

(1) 電源盤

車庫電源を車両機器を動かすための電源と、実行装置の他の機器を動かすための電源に変換する装置で、出場検査線、点検用足場上に設置されている。

(2) リレー盤

車両機器を動かすための等価信号発生器、車両からの信号を変換する装置及び選択リレーを内蔵する。リレー盤は出場検査線、点検用足場上に設置されている。

(3) 空気供給装置

車庫空気源より供給を受け、車両の空気制動検査に際し消費する空気の再供給を補助する。空気供給装置も出場検査線、点検用足場上に設置されている。

(4) 圧力設定器

空気圧制動検査に際し、制御用計算機部の指令に従い検査車両の空気圧を給排する作用と、空気圧を電氣量に変換して制御用計算機部へ入力する機能を持つ。また、設定圧力値は、コンピュータによるフィードバック制御方式のため、コンピュータ内のデータを変更するだけで自由に設定できる。出場検査線下に設置された圧力設定器の一つを図 7. に示す。

(5) ATS 地上子制御器

車両の ATS 装置（列車自動停止装置）を試験するため、ATS 車上子と所定の関係位置で結合させ、変周情報を与える。

3. 4 中継接続部

検査車両の電気連結器、密着連結器、その他一部の車両機器と実行装置部とを接続する。空気圧、電気信号の結路となるアダプタ、ケーブル、ホース類、中継箱などがあり、操作性を良くし、格納時に他の作業の妨げにならぬよう考慮されている。電気連結器、密着連結器へのアダプタ接続状況を図 8. に示す。

3. 5 無線装置部

操作室にてキャラクタディスプレイを見ながら、試験作業の指揮をとる指揮者（図 9. 参照）と検査車両の機器を扱うとともに、車両状態の良否を目視判定する検査員（図 10. 参照）との間で、通話連絡に使うもので次の特長がある。

(1) 無免許で使用できる微弱無線を採用している。

(2) 二つの編成車両が同時に異なった試験を実施することがあるので、操作室の親機 1 台と検査員の携帯無線機 2 台の組合せが 2 組

あり、相互に混信しないように周波数帯を分けて使用している。

(3) 無線装置親局を介して、携帯無線機から出力された音声以外の信号が、直接制御用計算機部へ入力される。

(4) 無線装置親局には拡声増幅器を実装しており、操作室から場内へ拡声放送ができる。

3. 6 車両周辺監視装置部

検査実施中の車両周辺の状況及び架線用断路器の状態を操作室で把



図 7. 出場検査線下に設置された圧力設定器

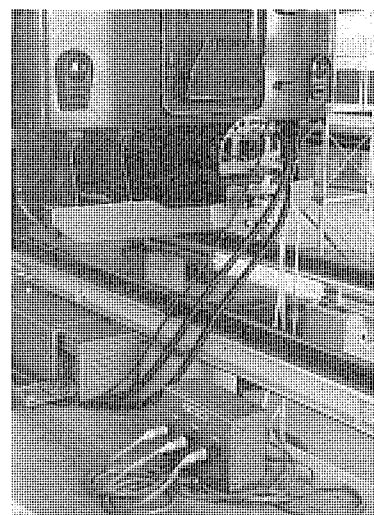


図 8. 電気連結器、密着連結器へのアダプタ接続状況

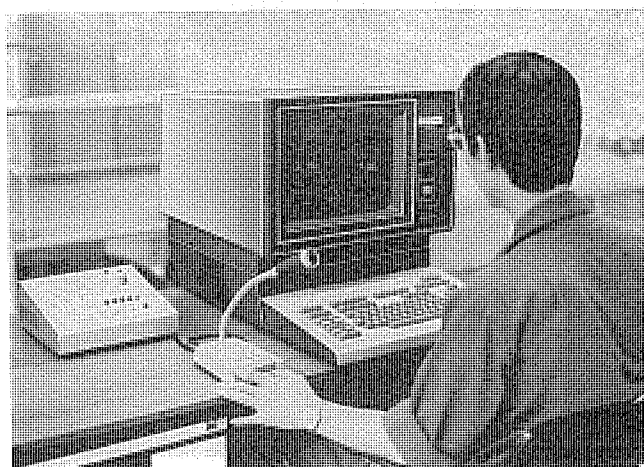


図 9. 操作室にて試験作業の指揮をとる指揮者

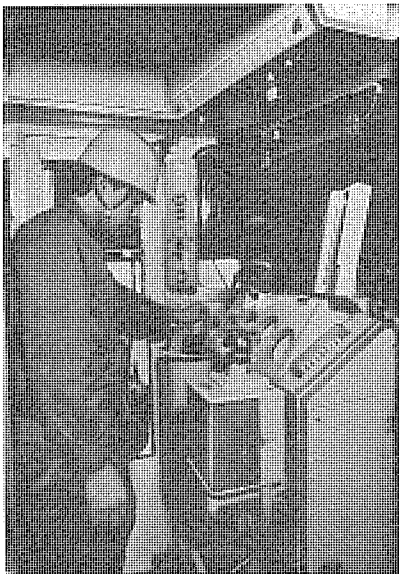


図 10. 車両状態の良否を目視判定する検査員

握するため、ITV カメラ、4 CH 切換操作器、ITV モニタが装備されている。

4. オペレーション

操作室にて試験装置を扱う指揮者と、検査車両の当該位置で車両機器の操作と目視判定を行う検査員が、相互に連絡をとりながら検査作業を行う。したがって通常は、計算機室と点検台足場上には人を配置する必要がないよう考慮されている。指揮者はキーボード付きキャラクタディスプレイ装置を操作して、試験装置と対話形式で検査作業を進めていく。キーボードは一般の標準型であるが、頻繁に使用する次の命令は、ファンクションキーとして操作を容易にしている。

- (a) 自己チェック、(b) 通常検査開始、(c) 再検査開始、
- (d) 特別検査開始、(e) 検査実行、(f) 検査中断、
- (g) 検査再開、(h) 検査終了、(i) 結果表示、
- (j) 基準値変更、(k) 結果伝送、(l) 画面送り、
- (m) 非常停止

キャラクタディスプレイ装置は、検査進行状況の表示、検査員に対する作業指示、検査結果の表示などを行う。表示画面の一例を図 11. に、検査作業の流れを図 12. に示す。

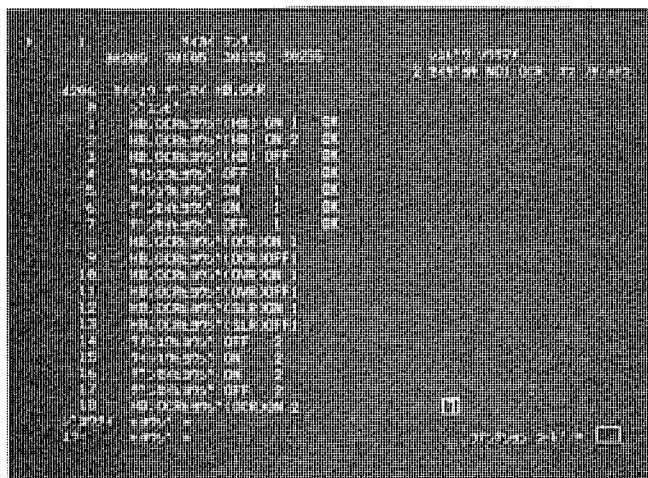


図 11. キャラクタディスプレイ装置表示画面例

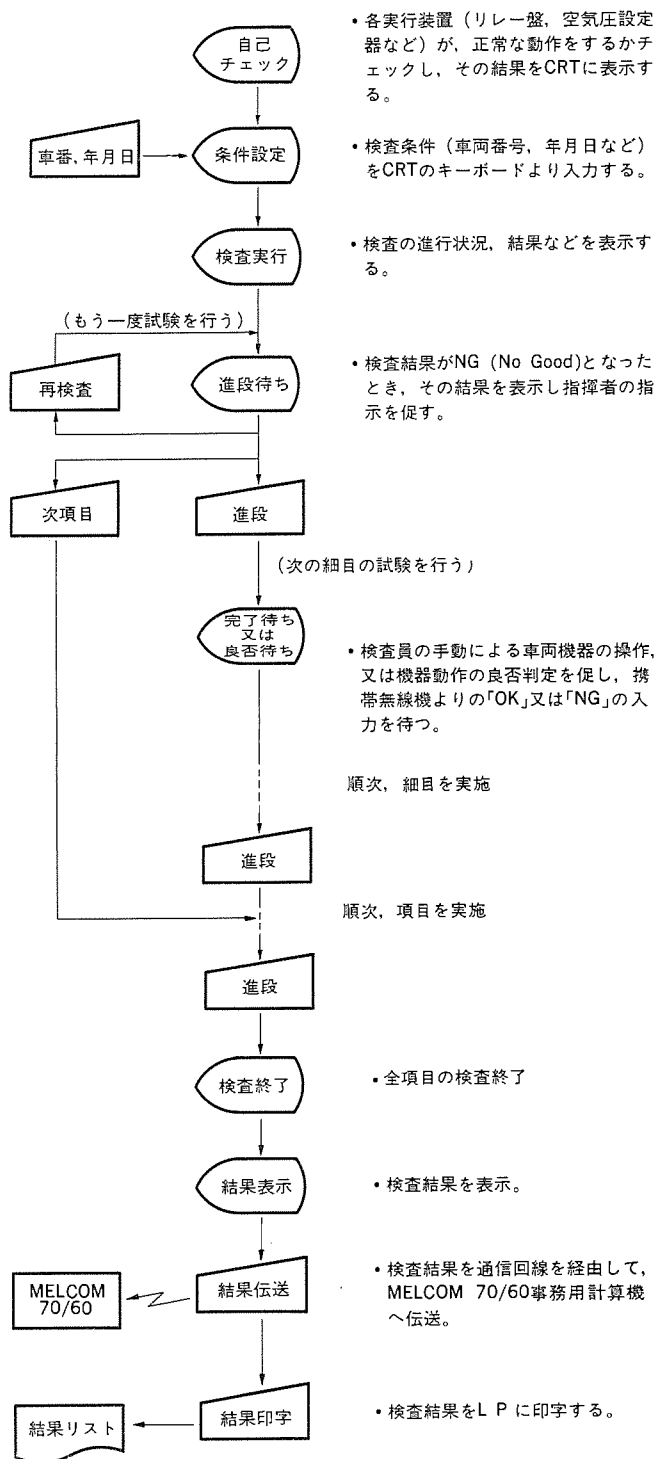


図 12. 検査作業の流れ

5. 検査実行

検査対象車種が約 90 種類、車両数が約 1,500 両に及ぶため、車両の種類によって実施する検査項目は異なり、検査開始前に入力された車両番号等の条件により、必要な検査項目が選択され、実行される。検査項目の一覧を表 1. に、検査実行の具体的な例を以下に述べる。

5.1 引通し導通

編成列車一端の電気連結器の特定ピンから電圧を印加し、編成反対側の電気連結器のすべてのピンについて、電圧のある、なしをチェックする。加圧側 60 ピンすべて、測定側 60 ピンすべての組合せについて実施する。

表 1. 検 査 項 目

検 査 項 目	
1. 引通し線導通に関するもの	(1) 引通し線導通
2. 回路検査に関するもの	(1) パンタ回路 (2) C P 回路 (3) MG 起動回路 (4) パンタ動作 (5) C P 動作 (6) M G 動作 (7) 整流回路 (8) 車内灯回路 (9) 扉回路 (10) ベル回路 (11) ノーベルホン回路 (12) 列車種別表示回路 (13) 放送回路 (14) 車内通報回路 (15) 予備制動回路 (16) 制御回路 (17) 冷房回路 (18) 風暖制御回路 (19) 空気ばね回路
3. ATS 装置検査に関するもの	(1) A T S
4. 機器動作検査に関するもの	(1) 表示灯、ブザー (2) ベル、ノーベルホン、放送 (3) 扉、扉保安 (4) 列車種別表示灯 (5) 非常吐出弁
5. 空気制動検査に関するもの	(1) 漏 気 (2) 電磁直通制動 (3) 自動制動 (4) 連動締切電磁弁 (5) 制御圧切換 (6) 踏面清掃装置 (7) 予備制動 (8) EP-AMP

5. 2 回路検査

車両の機器を操作するとともに、電気連結器の特定ピンから電圧を印加し、車両の機器動作が正常か、電気連結器のピンの電圧でチェックする。操作室のディスプレイに操作内容が表示されるので、漏れの無い検査ができる。

5. 3 機器動作検査

車両の機器の動作具合を検査する。特に放送装置の検査は、操作室のテープレコーダーを操作し、実際に客室内の音声の状態でチェックする。

5. 4 空気制動検査

コンプレッサの動作に関しては、充圧時間、ガバナの入圧、切圧などを、直通制動に関しては SAP 圧と BC 圧の関係と BC 圧の立上り時間を、また自動制動に関しては、BC 圧、最小感度圧と制動、ゆるめの所要時間などを、その他予備ブレーキなどについても検査している。

6. 多車種に対応するソフトウェア

6. 1 検査手順プログラム

全体プログラムを項目プログラムと検査プログラムに分割した。項目プログラムは、電車車載機器単位（コンプレッサ、MG、ATS など）に作成され、実際に各機器を動作させ判定を行う。検査プログラムは、車種単位（特急車 12000 系、30000 系、通勤車 8000 系など）に作成され、内容はその車種を構成する機器の項目プログラムを呼び出すだけとした。このため、車種の変更と増加及び検査内容の変更に容易に対応できる。

6. 2 記述性の改善

検査プログラムは、ユーザーが自由に作成又は変更できるように、各語が制御の内容を表現できるファンクション部と、その制御の対象を表すパラメータ部からなる電車試験装置用専用言語を使用している。

6. 3 プログラムの保守性

キャラクタディスプレイを用いたソースプログラムエディタが、専用コンパイラを内蔵しているため、容易に検査プログラムを修正することができる。更に、新規に作成したプログラムのエラーを見つけるための専用シミュレーションを用いることにより、検査実行時におけるエラーの発生をほとんど抑えることができる。

7. む す び

計算機を使用した電車総合試験装置は、既に 10 年の歴史をもつが、今までに実用化されたほとんどの試験装置は、その被試験物である車両の設計当初より、試験装置の導入を前提として試験用コネクタが装備された特定車種を対象とするものである。

しかしながら近年開業した新設鉄道は別として、多くの電鉄会社では、特別の試験コネクタがない種々雑多な車両を入手により保守点検しているのが実状であり、多車種に使用できる試験装置の開発が望まれた。

今回、近畿日本鉄道(株)に納入された出場検査装置は、この要望に沿ったものであり、装置の導入によって、試験作業の正確化、データ管理の合理化、試験工程の標準化など、多くの成果をあげることができた。この種の試験装置が、今後、他の多くのユーザーで採用され、更に使いやすいものとなるよう、研究を重ねてゆく所存である。

最後に、この装置の開発と実用化に際して、多大な御尽力をいただいた関係の方々に対し、深謝の意を表する次第である。

加入電話網用専用端末装置

岡村 繁*・西村俊彦*・林 信喜*・田辺 一郎*

1. ま え が き

昭和46年の公衆電気通信法改正によりデータ通信サービスが創設(第1次自由化)されて以来、日本電信電話公社線を利用したデータ通信は着実に増加している。そして昭和57年の第2次自由化(共同使用あるいは他人使用制限の撤廃又は緩和、及び相互接続の自由化など)は、これを更に助長するものである。特に最近はおフィスオートメーションへの関心の高まり、端末装置の低価格化、オンラインシステムの底辺の拡大などにより、比較的情報量が少ない場合や広域にわたる場合のニーズに適したものとして、加入電話回線によるデータ通信の伸びが著しい。これは加入電話回線利用による以下のようなメリットを生かし、比較的手軽にデータ通信システムを実現しようとする気運が増加しているからである。

- メリット 1 手近の電話回線に接続でき、専用の回線が不要である。
- ” 2 度数料金制であるため、低密度、広域運用の場合に回線利用効率が良い。
- ” 3 ダイヤル操作により複数の通報先が選べる。
- ” 4 電話機も同時に接続しておけるので、通話機能は損なわれない。

このように、電話網利用端末装置の需要が急増しているが、いずれも汎用の網制御装置(NCU)、変復調装置(モデム)、データ端末装置(DTE)などを組み合わせるのではなく専用端末化の傾向にある。これらの要求にこたえるべく、このたびマイクロプロセッサ(μP)を中心として、NCU部、モデム部、DTE部をも一体化した、《MELFLEX 102/302》異常通報システム及びNCU部、ADPCM(適応差分PCM)方式の音声合成部、DTE部を一体化した《メルホン8》遠方音声通報装置を開発したのでその概要を紹介する。

2. 《MELFLEX 102/302》異常通報システム

2.1 システムの概要

このシステムは図1.に示すように《MELFLEX 102》を子局装置、《MELFLEX 302》をセンター装置とし、伝送路として加入電話網を

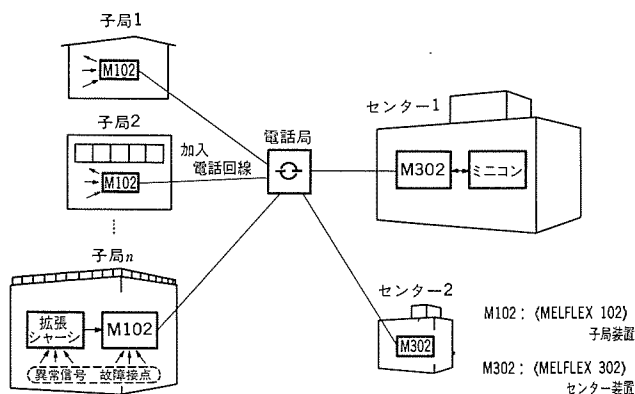


図1. 《MELFLEX 102/302》異常通報システム概念図

利用した異常通報システムである。装置価格が安価である上に伝送路の初期費用、運用費用とともに低く抑えることができるため、次に示すような設備機器の監視制御システムあるいは防災・防犯監視システムをはじめ各種異常通報システムを安価に構成することができる。

- ・団地、ビル群の集中監視
- ・スーパーマーケット、各種チェーン店の防災・防犯監視
- ・工場、倉庫の設備機器監視制御
- ・無線中継所など無人施設の監視制御

2.2 特長

以下にこのシステム並びに各装置の主な特長を述べる。なお、装置外觀を図2.、図3.に、子局装置のブロック図を図4.に示した。

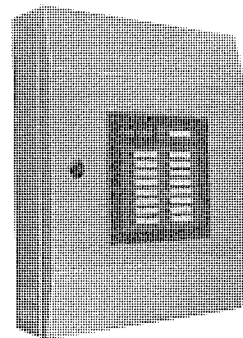


図2. 《MELFLEX 102》子局装置

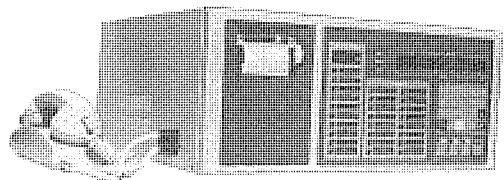


図3. 《MELFLEX 302》センター装置

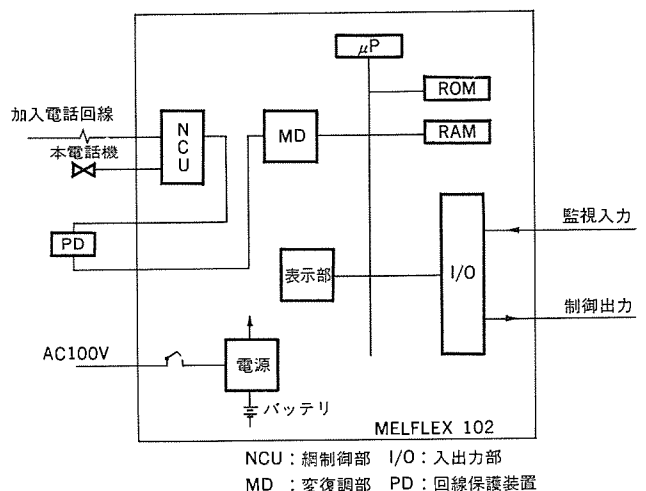


図4. 《MELFLEX 102》子局装置ブロック図

2. 2. 1 システム

- (1) 子局↔センター間の通信は1,200 b/s (ビット/秒) のFSK方式を採用し、通信時間の短縮と高い伝送品質を実現している。
- (2) 子局からの定時発信機能、再発信終了後のリトライ機能など、システムの高信頼度化を図っている。
- (3) 子局からの異常通報モードに加え、センターからのポーリングモード、制御モードなど各種モードを準備し、柔軟性に富んだシステム構築が可能である。
- (4) 子局用拡張シャーシ、センター装置のデータ転送機能によりシステムのグレードアップが容易に行える。

2. 2. 2 子局装置

- (1) マイクロプロセッサ制御によるファームウェア化により多機能化を図るとともに、大幅に部品点数を削減して信頼度を向上させた。
- (2) メインモジュールと目的別モジュールの2枚のカードモジュールにより機能構成しているので、ユーザーごとの専用化にも容易に対応できる。
- (3) 基本監視項目16点は前面にLED表示され、子局装置を警報盤として用いることができる。
- (4) 電源ラインをはじめ、あらゆる外線からのノイズ障害に対して万全の対策を施している。
- (5) 停電用非常電池を内蔵し最大1時間のバッテリー動作が可能となっている。
- (6) 壁掛設置形ながら設置による圧迫感の少ない新しいデザインを採用している。

2. 2. 3 センター装置

- (1) 前面に表示器、テンキー、プリンタを配置したコンパクトな構造である。
- (2) テンキー操作により手動での試験発信、ポーリングも可能である。
- (3) RS-232Cインタフェースにより、上位機種あるいは計算機などと接続でき、受信データの転送はもちろん、外部からポーリング先を指示する電話番号入力機能、及び制御データ入力機能を有している。
- (4) カレンダー機能を内蔵し、印字記録動作時には動作日時を併記する。

2. 3 仕様

表1. にシステム仕様、表2. に子局装置仕様、表3. にセンター装置仕様をそれぞれ示す。

2. 4 動作概要

この節では各モードを中心にその動作概要を述べる。

2. 4. 1 異常通報モード

このシステムの中心となる動作モードであり、子局装置に内蔵しているマイクロプロセッサが監視項目の状態変化を検知した時点で起動する。通報は電話回線を経由するので、通報先の電話番号を自動ダイヤルしてセンター装置を呼び出す動作が必要である。この動作は内蔵のNCU部により実行される。センター装置が応答すれば子局装置は子局識別番号及び異常通報データの送信を開始する。

一方、センター装置は子局装置からの着信に対して自動的に回線を接続し全データを受信後、異常通報データをLED表示するとともに警報ブザーを鳴動させて係員に異常発生を知らせる。また、異常通報データを受信日時・子局識別番号とともにプリンタで印字記録する。なおRS-232Cインタフェースにより外部機器が接続されている場合は、受信全データが1,200 b/sの速度で転送出力する。

2. 4. 2 定時通報動作

システムの信頼性を向上させるため、子局装置あるいは回線の障害の

表 1. 《MELFLEX 102/302》異常通報システム仕様

項 目	仕 様
適 用 回 線	加入電話回線
セ ン タ ー 数	最大3
子 局 数	最大500
変 調 方 式	FSK
伝 送 速 度	1,200 b/s
通 信 方 式	2線式半二重
通 信 手 順	BASIC手順
同 期 方 式	調歩同期
誤 り 制 御 方 式	垂直パリティ、二進送照合

表 2. 《MELFLEX 102》子局装置仕様

項 目	仕 様
監 視 項 目 数	基本16点 最大96点
監 視 入 力 形 式	無電圧接点
制 御 項 目 数	6点 (オプション)
制 御 出 力 形 式	無電圧接点
適 用 回 線	加入電話回線
ダ イ ヤ ル 方 式	回転ダイヤル 10 pps/20 pps
ダ イ ヤ ル 桁 数	最大11桁 (内線からの0発信可)
通 報 先	最大3箇所
不 応 答 時 の 再 発 信	最大2回
リ ト ラ イ	再発信終了後10分経過時点
自 動 着 信 機 能	有
電 源	AC 100V±10V 50/60 Hz
消 費 電 力 (VA)	35
停 電 保 証 (h)	1
周 囲 温 度 (°C)	-5~+40
外 形 寸 法 (mm)	400(W)×500(H)×120(D)

表 3. 《MELFLEX 302》センター装置仕様

項 目	仕 様
適 用 回 線	加入電話回線
ダ イ ヤ ル 方 式	回転ダイヤル 10 pps/20 pps
ダ イ ヤ ル 桁 数	最大10桁
発 信 先 指 定	テンキー/外部インタフェース経由
外 部 イン タ フ ェ ー ス	RS-232C 1,200 b/s
表 示 項 目	異常データ、子局識別番号
記 録 項 目	異常データ、子局識別番号、受信日時
電 源	AC 100V±10V 50/60 Hz
消 費 電 力 (VA)	35
周 囲 温 度 (°C)	-5~+40
外 形 寸 法 (mm)	440(D)×200(H)×425(D)

早期発見を目的とした定時通報動作が子局装置に組み込まれている。これは一定時間ごとに子局装置が自動起動してセンター装置に正常動作を知らせるもので、センター装置ではプリンタで定時通報受信の記録のみを行う。

2. 4. 3 ポーリングモード

このモードはセンター装置から自動ダイヤルして子局装置を呼び出し、監視項目をはじめ各種データの送信を要求するものである。モードはテンキー操作による電話番号入力、あるいはRS-232Cインタフェース経由のコマンド入力により起動する。なお、受信データの表示、印字は異常通報モードと同様に行われる。

2. 4. 4 制御モード

通常、この種の小形装置は監視項目の伝送が主体であり、制御出力機能を有するものは少ない。このシステムではセンター装置より手動あるいは自動で制御データを送信し、子局装置にて無電圧接点を出力させる制御機能がオプションとして準備している。この機能により安価なテレコントロールシステムを提供し、簡易な監視制御に対するニーズにこたえることができるようになっている。

2. 5 拡張機能

子局装置はユーザーごとの要求にフレキシブルに対応するべく、以下の拡張機能を有している。

2. 5. 1 拡張シャーシの接続

拡張シャーシは、1台あたり32点の監視項目の増設に対応できるので、子局装置と同一外形寸法のきょう(筐)体に収納される。また、子局装置1台につき最大3台まで接続が可能である。この場合の監視項目総数は96点となり、小形、安価な装置でありながら広範囲の機器、センサーなどの監視が行える。

2. 5. 2 目的別モジュール

目的別モジュールはメインモジュールとペアで使用されるユーザー対応の専用スペックモジュールである。メインモジュールは単体のみの動作が可能であるが、目的別モジュールをバス結合することにより、より多様な機能が付加できる。なお上記拡張シャーシは、汎用の目的別モジュールと接続できるよう構成している。

3. 《メルホン8》遠方音声通報装置

3. 1 概要

《メルホン8》遠方音声通報装置は、各種センサーあるいは設備機器、監視装置、計算機などから入力される情報を加入電話網を利用し、自

動的に音声により通報することを目的として開発した装置である。従来、異常監視通報を行う機器としては、符号伝送による装置が主体であった。近年、異常通報機器の需要拡大に伴い、だれでも理解できる音声による通報装置が発売されてきたが、テープレコーダーによる再生方式であったため耐久性、機構的トラブルなどの問題を生じていた。

ここに紹介する装置は、新たに音声合成方式を導入し、上記問題をなくすとともにあらゆるニーズを取り入れた新しい音声通報装置である。直接、音声で異常を伝えるので受信側には何ら装置を必要とせず電話機だけで異常監視ができるという特色を生かし、下記分野をはじめ幅広く適用できるものである。(図5., 図6.)

- ・団地・ビル・マンションなどの防犯・防災
- ・農水産施設の機器異常監視
- ・自動販売機群管理
- ・上下水道設備の異常監視

3. 2 特長

この装置は、マイクロプロセッサ及びCMOS-ICの採用により小形、高性能、低消費電力及び低価格を意図して製品化したもので、次のような特長がある。

- (1) コンパクトな壁掛うす形構造である。
- (2) 通報モードは、利用形態に応じて3モードより選択できる。
- (3) 通報メッセージは、音声合成方式(ADPCM方式)とし、完全に半導体化されているため、テープ式などのように機構的トラブルや消耗が全く無く信頼性が向上している。
- (4) 音声の分析録音処理は、メッセージフォーマットを標準化するとともに、専用の音声分析録音機によりユーザー側で手軽に分析録音を可能として、メッセージの登録・変更が容易に行えるように配慮した。
- (5) NCU部は、自動発着信機能を持ち、回転ダイヤル方式、押し

表 4. 《メルホン8》遠方音声通報装置仕様

項 目	仕 様
監視項目数	8点(オプション+8点)
監視入力形式	無電圧接点(マーク4点, マークあるいはブレイク4点)
メッセージ送出	音声合成方式(ADPCM方式)
メッセージ登録	ICメモリ
メッセージ数	監視項目別8種類
メッセージ時間	1メッセージ 約10秒を3回繰返す (但し監視項目別の内容は約2.6秒)
メッセージモニタ	内蔵スピーカーによる
通報モード	グループモード, 在/不在モード, 全局モード
自動応答	監視項目の応答通報が可能
割込通報	本電話機使用中には、割込み通報を行う
符号送信	押しボタンダイヤル信号による
適用回線	加入電話回線
ダイヤル方式	回転ダイヤル(10pps/20pps), 押しボタンダイヤル
ダイヤル桁数	最大12桁(内線からの0発信可能)
通報先	最大6箇所
不応答時の再発信	最大2回
外部警報出力	無電圧トランスファ接点 DC 50V 200mA
電 源	AC 100V $\pm$ 10% 50/60Hz
消費電力(VA)	待機時3以下, 動作時25以下
停電保証(h)	24
環境条件	温度-10 $\sim$ +40 $^{\circ}$ C, 湿度40 $\sim$ 85%
外形寸法(mm)	300(W) $\times$ 350(H) $\times$ 100(D)

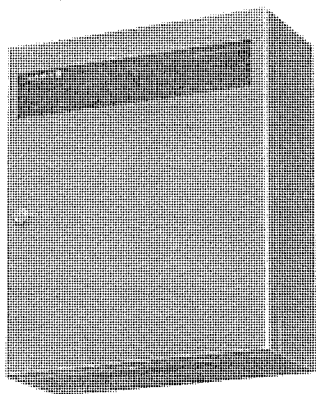


図 5. 《メルホン8》遠方音声通報装置 (VH-100 形)



図 6. 《メルホン8》音声分析録音機 (VL-100 形)

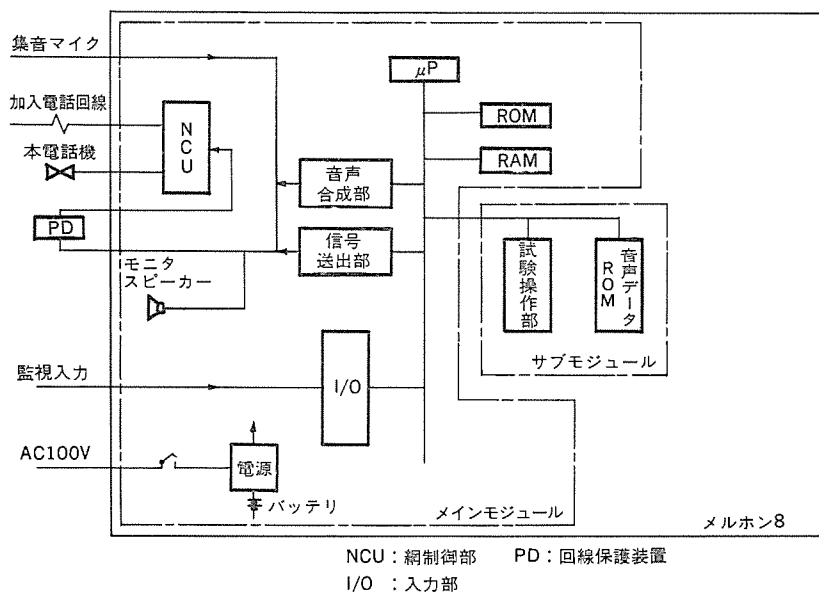


図 7. 《メルホン 8》遠方音声通報装置ブロック図

ボタンダイヤル方式のいずれの回線へも接続可能とした。また内線からの発信（0 発信）も可能である。

(6) 通報先は、最大 6 箇所、ダイヤルけた(桁)数は、最大 12 桁とし、これらをバッテリーバックアップした RAM に記憶しており、通報先の増減、電話番号などの変更に対して柔軟に対応できる。

(7) 通報動作時及び着信応答時のみ主電源を投入する電源制御方式及び CMOS-IC の採用により低消費電力化を図るとともに、本体実装のバッテリーにより装置の無停電化を行っている。

(8) 付加機能として、周囲の物音を通報する集音機能、異常発生を接点で出力する警報出力機能、着信応答機能、異常監視データを PB 信号にて送信する機能などがあり、あらゆる防犯、防災及び状態監視などにおける音声通報装置として対応できるよう考慮した。

3.3 仕様

《メルホン 8》の基本仕様を表 4. に示す。

3.4 構成

この装置のブロック構成を図 7. に示す。この装置は、2 枚のカードモジュールと筐体からなるシンプル構成となっている。メインモジュールは、マイクロプロセッサ制御による音声合成部・NCU 部と監視入力部、電源部で構成する。サブモジュールは、音声合成データ ROM と電話番号設定などを行う試験操作部で構成する。

3.5 動作概要

3.5.1 監視入力動作

監視データの読み込みは、監視入力部にて行い、状態変化を検出すると、マイクロプロセッサ、音声合成部、NCU 部へ電源を投入する。これらの動作を行うため、電源部は監視入力部及びマイクロプロセッサからのコントロール信号により電源の投入、切断を行う機能を備えている。

3.5.2 試験動作

試験操作部のスイッチ操作により、自動的にマイクロプロセッサ電源投入が行われて、電話番号設定操作が行える。操作モードとして、書込みモード、読出しモード及び通報メッセージを確認するための音声モニターモードがある。書込みモードでは、通報先最大 6 箇所、電話番号最大 12 桁までの登録書込みが行える。またコード設定により、内線からの発信（0 発信）、符号送信などの指定も可能である。読出しモード

は、書込み登録されている通報先、電話番号の読出し確認を行うもので 7 セグメント表示器により 1 桁ごとに読出し表示を行う。モニターモードでは、通報メッセージを監視入力に対応して内蔵スピーカーから再生出力することが可能である。

3.5.3 自動通報動作

マイクロプロセッサ電源が投入されるとバッテリーバックアップされた RAM に記憶している前回の監視入力データと、現在の入力データを比べ、有意側への状態変化を検出すると、自動的に通報動作を開始する。自動通報の動作手順は、次のとおりである。

(1) 本電話機使用中監視及び着信信衝突監視
本電話機使用中の監視は、本電話機による回線閉結の有無により、また着信信衝突監視は、16 Hz の呼出信号及び回線の転極の有無により行われる。本電話機使用中と判断した場合は、割込みメッセージの送信を、また着信有りと判断した場合は、着信応答動作を行う。

(2) ダイヤリング

RAM に格納している電話番号に基づいてダイヤリングを行う。ダイヤル方式は、回転ダイヤル方式、押しボタンダイヤル方式のいずれも可能である。

(3) 応答監視と通報

ダイヤリング終了後回線の極性監視を行い、転極により通報先の応答を検知して通報動作を開始する。約 40 秒経過しても転極を検知できない場合は、応答なしと判断する。

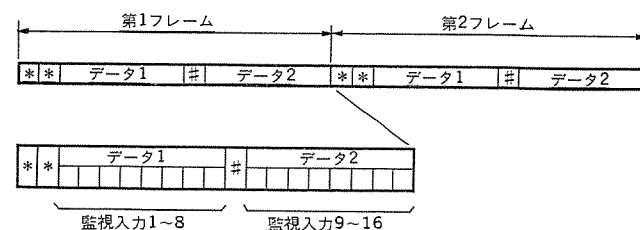
通報メッセージは後述するフォーマットにより、同一内容を最大 3 回繰返して送信される。

(4) 符号送信

この装置では音声により異常項目の通報を行うほか、符号による通報機能を備えている点が大きな特長である。この機能は音声による通報に引き続き、押しボタンダイヤル信号 (PB 信号) により異常データの伝送を行うもので、受信側に PB 信号受信機を設置することにより、パーソナルコンピュータをはじめ RS-232C インタフェースを有する機器との接続が可能となる。この機能により受信側において異常内容を表示・記録できるばかりでなく、より高度な処理をも可能としている。図 8. に符号送信フォーマットを示す。

3.5.4 着信応答動作

16 Hz の呼出し信号を検出すると装置は、回線を閉結して現在有意である監視項目に対応するメッセージを送信する。この動作は内部ス



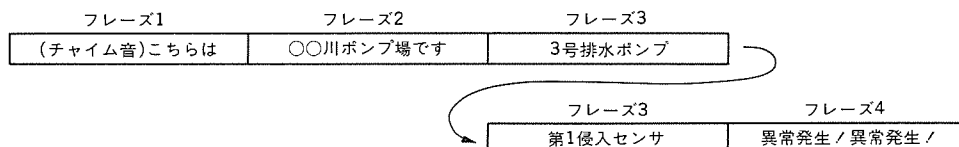
- データは、監視入力有意で監視入力番号を無意で*0*を送信する。
- 監視入力9~16は、監視入力番号として*1*~*8*を使用する。
- 第2フレームは、第1フレームと同一内容とする。

図 8. 符号送信フォーマット

通報メッセージ

フレーズ1	フレーズ2	フレーズ3	フレーズ4
(チャイム音)こちらは	〇〇川ポンプ場です	3号排水ポンプ	異常発生 / 異常発生 /

応答メッセージ



- ・フレーズ1、2、4……全項目共通
 - ・フレーズ3 ……項目別
- 注 応答メッセージは現在2項目の異常がある場合を示している。

図 9. 基本メッセージフォーマット

イッチにより要否の設定が可能である。

3. 6 通報に関する機能

3. 6. 1 通報メッセージフォーマット

通報メッセージフォーマットは、基本のフォーマットを定めて音声合成データ処理プログラムを標準化できるものとした。基本メッセージフォーマットを図 9. に示す。

3. 6. 2 通報モード

通報モードは運用形態に応じて次に示す方式から選択して設定することができる。

(1) グループモード

監視項目及び通報先を各々 2 グループに分け、各グループが個々に通報を行う方式であり、監視区分に応じて通報情報の分配ができる。

(2) 在／不在モード

通報先を 2 グループに分け、本体底面にある在／不在スイッチにて通報先のグループを指定する方式であり、時間帯あるいは状況により通報先を変更する場合に適用する。

(3) 全局モード

グループ、在／不在の各モードではグループ内通報先の 1 箇所にて通報が完了すれば通報動作を終了するのに対し、このモードでは設定されている通報先すべてに通報を行う。

3. 7 《メルホン 8 シリーズ》

以上、本章では《メルホン 8 シリーズ》のうち、基本機種である VH-100 形を例に紹介した。このシリーズではこのほか各分野のニーズにこたえるべく、下記の機種をはじめとしてシリーズの充実度を推し進めている。

- (1) BCD 3 ～ 4 桁の水位・開度データ用音声通報装置
- (2) 気象災害防止用音声通報装置
- (3) 1,000 メッセージを超える大規模音声通報装置

4. む す び

以上、加入電話回線用の専用端末装置として、16 点の異常通報が可能な《MELFLEX 102/302》異常通報システム、及び ADPCM 方式音声合成による《メルホン 8》遠方音声通報装置について紹介した。

当社ではここで紹介した 2 種類の専用端末のほかに、次に示すような各種電話網用専用端末メニューをそろえており、ユーザーの多様なニーズに応じられる体制を整えている。

(1) データ通信要求着呼時のサービス可否を音声にて応答する音声応答アダプタ

(2) エレベーター故障時にエレベーターかご内と保守センターとの通話を可能とするエレベーター故障監視端末

(3) 印刷発券機のオンライン化端末

(4) データ通信と共用しても電話機能に全く支障を与えないデータ着信／通信着信自動切換形 NCU

(5) NCU 内蔵モデム

(6) 音声とデータの複合端末など

今後、加入電話網を利用したデータ通信は、その従量制料金、相手選択可などのメリットを生かし、回線の効率的運用が可能となることから、ますます増加するものと考えられる。これに伴い、電話網利用端末はユーザーの多様なニーズを反映して、専用化、多機能化を指向するものと考えられるが、これは逆に標準化、汎用化、低コスト化と相反するものであり、両者を如何にうまく整合させるかが量産普及のキーポイントであろう。今後はこれらを考慮の上、ユーザーの多様なニーズにこたえるべく、端末メニューの充実を努め、データ通信とデータ処理を効率良く融合してオンラインデータ通信の底辺拡大に寄与する所存である。

20kV級受配電用小形高性能限流ヒューズ

藤田 武彦*・不動 弘幸*・秋定三津男**・横内 一浩**

1. ま え が き

22 kV 及び 33 kV (以下、20 kV 級と称する) 配電は、昭和 40 年代前半から導入され、拡大の一途にある。

関西電力(株)では、20 kV 級直接受電の場合、常用予備受電方式を標準化し、今後、比較的小容量の需要家には、主遮断装置が短絡保護を受け持つ限流ヒューズ (PF) と、負荷電流開閉と地絡保護を受け持つ負荷開閉器 (LBS) とからなる PF・LBS 形の簡易受電方式が、多用されてゆくものと思われる。この方式の遮断装置の中心をなしているのが限流ヒューズであるが、従来、このヒューズには、20 kV 級一般需要家向けに市販されている屋内外兼用の汎用ヒューズが適用されてきたために、寸法や保護特性において不十分な点があった。

そこで、昭和 55 年から、関西電力(株)と三菱電機(株)との共同研究により、「小形化と高性能化、低廉化」をねらいとして、20 kV 級直接受電専用の新形限流ヒューズの開発に着手し、この程完成したので、その概要を報告する。

2. 開発ヒューズの主要仕様と構造

開発したヒューズの主要仕様と構造を表 1. に示す。

3. 開発要求条件

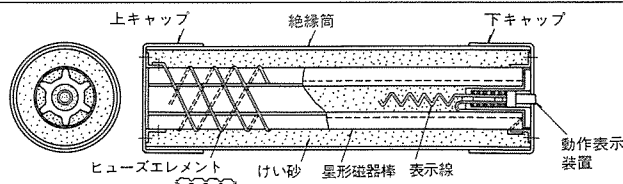
新ヒューズの開発に当っては、次の要求条件を設定した。

- (1) ヒューズの定格電流は、表 1. の各変圧器容量に対して 1 対 1 で対応するようにし、保護特性と経済性の向上を図る。
- (2) 最小遮断電流を、従来の約 10 秒溶断電流から 100 秒溶断電流に向上させ、保護特性の改善を図る。
- (3) 屋内専用として、表面漏えい距離を限界まで短縮し、小形化を図る。
- (4) 変圧器の 1.6 倍の過負荷を 2 時間許容できる通電容量とする。ただし、変圧器 2 台並列に対しては、1 台が故障時に残りの 1 台が 1.6 倍の過負荷になるだけであり、2 台分の定格電流が許容できる通電容量とする。
- (5) 変圧器の定格電流の 10 倍 - 0.1 秒の励磁突入電流を許容できる溶断特性とする。
- (6) 変圧器二次側直下の低圧遮断器 (MCB) 点における短絡に対して 変圧器の定格電流の 25 倍 - 2 秒の短絡強度以内に遮断できる動作特性とする。
- (7) 定格遮断容量は、
24 kV 1,000 MVA (25 kA)
36 kV 1,000 MVA (16 kA)
とする。
- (8) ヒューズの寸法は、使いやすさを考えて、24 kV 用、36 kV 用とも定格電流に関係なく 1 種類ずつとする。
- (9) 準拠規格は JEC-201 とする。

表 1. 開発ヒューズの主要仕様と構造

ヒューズリンク									適用変圧器		
形名	形番	用途	定格電圧 (kV)	定格電流 (A)	定格遮断容量 (kA)(MVA)	最小遮断電 流 (A)	寸法 直径×長さ (mm)	重量 (g)	種別	容量 (kVA)	一次 定格 電流(A)
CL	KF	屋内用	24	T13	1,000 (25)	100秒 溶断 電流	φ60 × 400	2,100	3φ 22kV / 420V	500	13.1
				T20						750	19.7
				T26						1,000	26.2
				T39						750 × 2	39.4
				T53						1,000 × 2	52.5
			36	T8.8	1,000 (16)		φ60 × 550	2,900	3φ 33kV / 420V	500	8.75
				T13						750	13.1
				T18						1,000	17.5
				T26						750 × 2	26.2
				T35						1,000 × 2	35.0

準拠規格 JEC-201



4. 開発プロセス

小形高性能ヒューズ開発の主要プロセスを図 1. に示す。この中で二重枠の部分が、小形化と高性能化を実現させるに至った最も大きな要素である。以下、そのプロセスの順を追って要点を説明する。

4.1 ヒューズ筒寸法の設定

従来使われていたヒューズは屋内外兼用のものであったが、用途を屋内専用に限定して表面漏えい距離の短縮限界までヒューズの長さを短縮した。また、ヒューズの太さを決定する所要表面積に対しては、通電容量を確保するための放熱という点から下限を設定するが、変圧器容量対応の定格電流とすることによって、通電容量を必要最小限まで小さくし、所要表面積を少なくして小形とした。更に、収納されるエレメントを考慮して外形寸法を決定するが、収納するキュービクルを小さくするという観点から、長さを最短にして太さを調整することとし、日本電機工業会技術資料、第 117 号の推奨寸法の中から上記理論値の直近上位の寸法を選び、結論として、ヒューズ筒の寸法を表 1. に示すように設定した。

4.2 絶縁筒材質の設定

ヒューズを小形にするためには、絶縁筒 ボリューム を減らすこと、すな

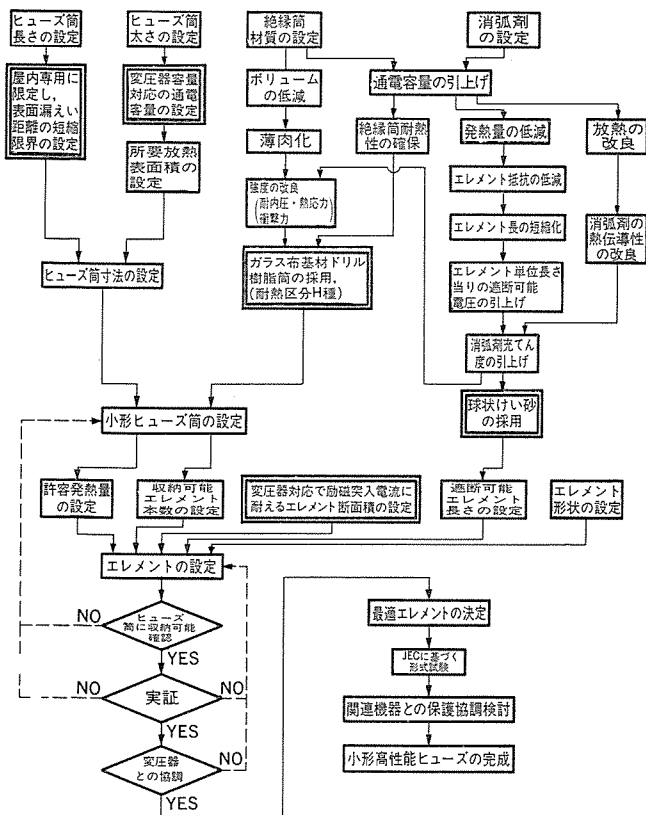


図 1. 小形高性能ヒューズ開発主要プロセス図

わち、薄肉化することが最も効果がある。そのためには、ヒューズの動作時の内圧・熱応力・衝撃力などに耐える十分な強度を有する材質の選定が必要であり、従来使っていた磁器筒に代えてガラス布基材樹脂筒を採用することとした。このヒューズの動作時の内圧・熱応力・衝撃力は、次の4.3節で述べる消弧剤に球状けい砂を使用してその充てん度を向上させると、それに伴って大きくなり、従来の磁器筒では耐えられなくなるが、ガラス布基材樹脂筒の場合には十分耐えることが可能である。

また、小形で大きな通電容量を得るには、耐熱性に優れた材質が必要であり、この観点から三菱電機(株)で開発し、高圧電動機用ヒューズに使われて長年の実績のある、耐熱区分H種のガラス布基材ドリル樹脂筒を採用することにした。

4.3 消弧剤の設定

小形で大きな通電容量を得るためには、発熱量の低減と放熱を向上させることが必要である。発熱量の低減には、エレメント抵抗を低減させること、すなわち、エレメント長さを短縮させることが必要であり、そのためには遮断性能を向上させ、エレメント単位長さ当りの遮断可能電圧を上げなければならない。長年の研究で、遮断性能には消弧剤の充てん度が大きく影響しており、その向上には、できるだけ球形のけい砂を使用することが有効であることがわかっているため、今回の開発ヒューズでは従来の角状けい砂から球状けい砂に変更することにした。また、放熱性能を向上させて通電容量を上げるには、消弧剤の熱伝導性を向上させることが必要であるが、これは、上記の球状けい砂を使用して消弧剤の充てん度を向上させることにより同時に可能となった。

4.4 許容発熱量の設定

4.1及び4.2節で設定したヒューズ筒に対して、温度上昇がヒューズを構成する各部材の許容値となる限界の発熱量が、過去の研究デ

表 2. エレメント形状の種類

素材	ノッチング形状	適用ヒューズ定格	
		電流	電圧
a 線	a1	小	低
	a2	小	高、低
b 板(帯)		大	高、低

タから次のように設定した。

24 kV 用 110 W, 36 kV 用 150 W

4.5 エレメントの設定

(1) 変圧器の励磁突入電流に耐えるためのエレメントの断面積が、ヒューズの定格電流を変圧器容量対応とすることによって、必要最小値に設定した。

(2) 4.3節の球状けい砂の採用によって遮断性能を向上させた場合の24 kV, 36 kVそれぞれの電圧下で遮断可能なエレメント長の下限が、過去の研究データから設定した。

(3) エレメントが溶断したときに、一度に全長にわたって発弧して、回路電圧よりも非常に高いアーク電圧を発生し、ヒューズが使われた回路や機器の絶縁を破壊してしまうことがある。そのため、エレメントに部分的に断面積の小さなノッチングと称する部分を設けて、時差発弧させることが行われている。このエレメントの形状の設定は、遮断性能に大きく影響するために、大変重要なものである。エレメントの形状には、大きく分けると表2.の種類がある。素材には線と板(帯)とがあるが、開発ヒューズは、比較的定格電流が小さいので、小さな断面積のものが容易に得られる線を採用した。

また、線の場合のノッチング形状には、端部から中央に行くに従って細くしたものa1と、押しつぶして断面積を小さくした部分を全長にわたって分布させたものa2とがあるが、前者a1は、溶断・発弧の瞬間に中央部の1箇所に全エネルギーが集中するために、高電圧のヒューズでは遮断し難く、後者a2は、溶断、発弧が全長に分散したノッチングの部分から開始されて、エネルギーがヒューズ筒全体に分散されるために、電圧の高低にかかわらず遮断しやすいという特長があるので、今回の開発ヒューズでは後者の形状a2を採用することにした。

(4) 4.1及び4.2節で設定したヒューズ筒に対して、上記で設定したエレメントの収納可能な本数が、過去の研究データから設定した。

(5) 上記(1)～(4)及び4.4節で設定した許容発熱量を総合して各変圧器対応のエレメントを設定した。

4.6 最適エレメントの決定

上記のように設定したエレメントがヒューズ筒に収納可能かどうか、一般的にはそれを実際に組込んで実証試験を行い、その結果をフィードバックさせてヒューズ筒寸法あるいはエレメントの再設定を行うが、今回の開発に当っては、ヒューズ筒寸法の再設定は必要でなく、最初に設定した寸法通りで良好な結果が得られた。また、エレメントについてはフィードバックを数回繰返すことにより最適サイズを決定した。

5. JECに基づく形式試験と得られた特性

上記で決定した最適エレメントで、JECに基づく形式試験を実施した。また、一部は限界試験を実施し、使用条件あるいは規格値に対しての余裕度を求めた。試験内容は、JEC-201「電力ヒューズ」に規定さ

表 3. ヒューズ、変圧器、二次側 MCB 間の保護協調

変 圧 器			ヒ ュ ー ズ				2 秒以下で遮断 できる変圧器の % Z 限 界	クロスポイント となる MCB 点 短絡 % Z 限界	ヒューズ変圧器と協 調のとれる MCB の 最大定格
電 圧	容 量 (kVA)	定格電流 (A)	定格電流 (A)	許容過負荷 (倍数)	2 秒遮断電流 (A)	Tr 耐 量 クロス電流 (A)	(%)	(%)	
22 kV / 420 V	1,000×2	26.2×2	T 53	64 A (1.22)	300	235	8.7	11.1	NF 1200-S 1,200 A
	750×2	19.7×2	T 39	55 A (1.40)	230	180	8.6	10.9	NF 800-S 800 A
	1,000	26.2	T 26	50 A (1.91)	195	160	13.4	16.4	NF 1200-S 1,200 A
	750	19.7	T 20	36 A (1.83)	160	145	12.3	13.6	NF 800-S 800 A
	500	13.1	T 13	26 A (1.98)	94	86	13.9	15.2	NF 600-S 600 A
33 kV / 420 V	1,000×2	17.5×2	T 35	55 A (1.57)	250	215	7.0	8.1	NF 600-S 600 A
	750×2	13.1×2	T 26	46 A (1.76)	190	165	6.9	7.9	NF 600-S 600 A
	1,000	17.5	T 18	40 A (2.29)	135	120	13.0	14.6	NF 600-S 600 A
	750	13.1	T 13	28 A (2.14)	95	88	13.8	14.9	NF 600-S 600 A
	500	8.75	T 8.8	24 A (2.74)	72	70	12.2	12.5	NF 400-S 400 A

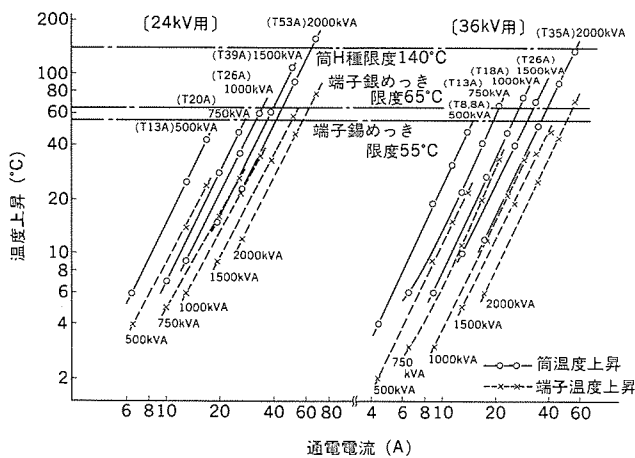
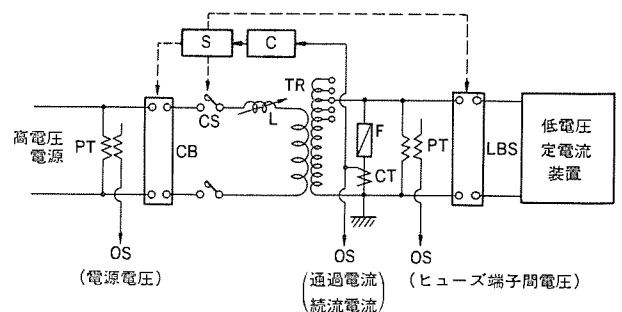


図 2. 通電電流 - 温度上昇特性



CB : 遮断器
CS : 投入スイッチ
L : 電流調整リアクトル
TR : 変圧器
F : 供試ヒューズ
LBS : 開閉器
PT : 計器用変圧器
CT : 計器用変流器
OS : オシロスコープ
S : シーケンススイッチ
C : 溶断検出器

図 3. 小電流合成遮断試験回路

れた温度・溶断・遮断などのすべての項目に加えて、耐汚損・機械的強度の項目を行った。以下、その内容の要点を説明する。

5.1 温度試験

一定電流に対するヒューズ筒各部の温度上昇を測定した。得られた結果を図 2. に示す。この図から温度上昇の規格値に対して許容できる過負荷電流が求められる。例えば、24 kV 1,000 kVA×2 用では、キャップを銀めっきとした場合の許容過負荷電流は、約 64 A となり、変圧器の定格電流に対して $64/52.5=1.22$ の余裕度があることが求められる。同様に、各ヒューズに対して求めた許容過負荷電流及び余裕度を表 3. にまとめて示す。

5.2 溶断試験及び小電流遮断試験

電流と溶断時間との関係を求める溶断試験は、小電流遮断性能の限界を求めるための小電流遮断試験を兼ねて、できるだけ全域にわたって定格電圧を印加して行った。遮断後の回復電圧印加時間は、規格の 60 秒に余裕をみて全試験とも 300 秒間とした。

試験回路は、図 3. に示すようにヒューズを中心として、左半分の定格電圧で大電力を供給する高電圧電源と、右半分の低電圧で一定

電流を供給する低電圧電源で構成している。電源容量までの溶断時間の短い領域や試験電流の小さい領域では、左半分の高電圧電源だけを使って試験の全時間にわたって定格電圧を印加する直接試験法を採用し、電源容量を越えた溶断時間の長い領域や試験電流の大きい領域では、遮断性能には直接関係のない溶断開始時点までは右半分の低電圧電源から一定電流を供給し、溶断開始と同時に左半分の高電圧電源に切り換える合成遮断試験法を採用した。

この小電流合成遮断試験法は、多数本で構成したエレメントの中の一部が溶断を開始したポイントを検出して電源を切り換えるものであり、高電圧電源に切り換え後には、数〜数十サイクル後に全エレメントが溶断して発弧し、最初に溶断を開始していたエレメントにも他のエレメントと同様の電流が流れ、直接試験法と全く同じ遮断現象が得られるため、試験の厳しさにおいて直接試験法と何ら変わらないことが発表されている⁽¹⁾。この小電流合成遮断試験法は、三菱電機(株)が権利を所有する特許⁽²⁾で、非常に小さな電源容量で大容量の試験ができる優れた技術であり、これによって、従来できなかった連続

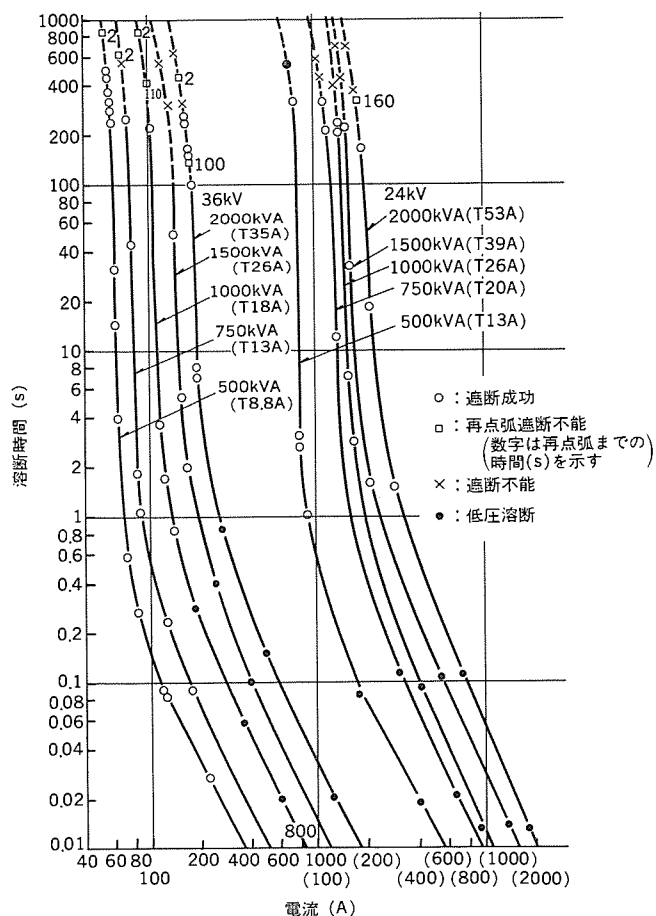


図 4. 溶断試験及び小電流遮断試験結果

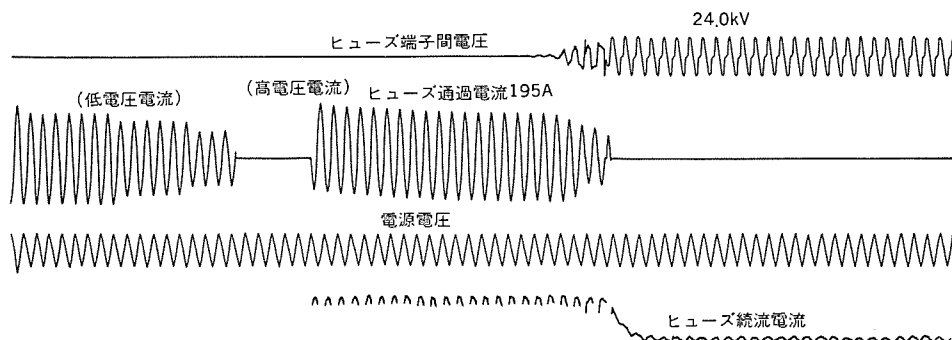


図 5. 24kV, T53 A ヒューズ (1,000 kVA×2 用)
24.0kV, 195 A (溶断 163 秒) 遮断試験 オシログラム

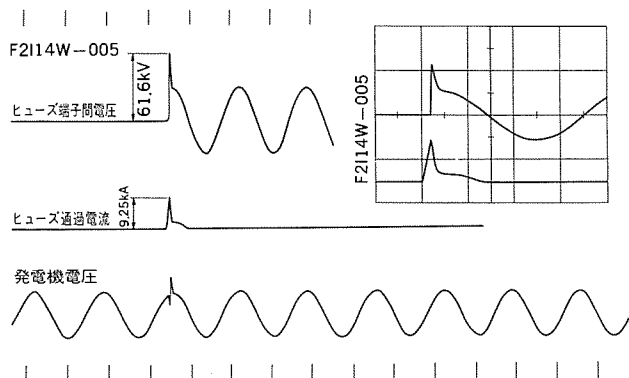


図 6. 24kV, T53 A ヒューズ (1,000 kVA×2 用)
20.9kV, 32.4kA 遮断試験 オシログラム

10 MVA 以上の試験でも容易に可能となっている。

試験結果は、図 4. に示すとおりであり、全定格電流とも目標の 100 秒以上の遮断性能が得られた。得られた代表的なオシログラムを図 5. に、また試験後の解体ヒューズの写真を図 9. に示す。図 4. に示したとおり、遮断不能となったケースには、いったん遮断後に再点弧した例も数多く含まれている。

遮断後長時間経過後の再点弧は、高温度下でヒューズ構成部材の絶縁が低下して流れる続流電流によって流入するエネルギーが、放熱エネルギーよりも大きくなることによって生じていると考えられる。したがって、この続流電流の変化を観測することによって、再点弧の危険性の有無が判定できる。この試験では、すべてこの方法によって 300 秒点においてチェックし、更に長時間の電圧印加の必要がないことを確認している。この手法は、三菱電機(株)から特許を出願中のものである⁽³⁾。

5.3 大電流遮断試験

JEC-201「電力ヒューズ」に記載された試験方法に準拠して、定格遮断電流と最大アークエネルギー電流における遮断性能を検証し、すべて良好に遮断成功することを確認した。得られたオシログラムの例を図 6. に示す。動作過電圧は、図 7. に示すとおり、最大アークエネルギー電流によるものよりも、定格遮断電流によるものの方が約 10～20 % 高くなっているが、規格の限度に対してすべて 10 % 以上の余裕をもって抑制されていることが確認された。限流値(最大通過電流波高値)は、図 8. の上半分に示すとおり、実線で示す計算値よりもすべて幾分低目の値が得られ、上限として計算値で表すことができることが確認された。図 8. の下半分は、試験電流に対して得ら

れたアークエネルギーの関係を示すものであり、この図から、限流ヒューズに特有な現象として、定格遮断電流よりも小さな電流域においてエネルギーが大きくなる領域があることがわかる。また、図 9. の中段と下段にそれぞれ定格遮断電流と最大アークエネルギー電流において試験をしたヒューズの解体写真を示すが、両者のファルゲライト(エレメントが溶断してアークが通った後の溶融生成物)を比較すると後者

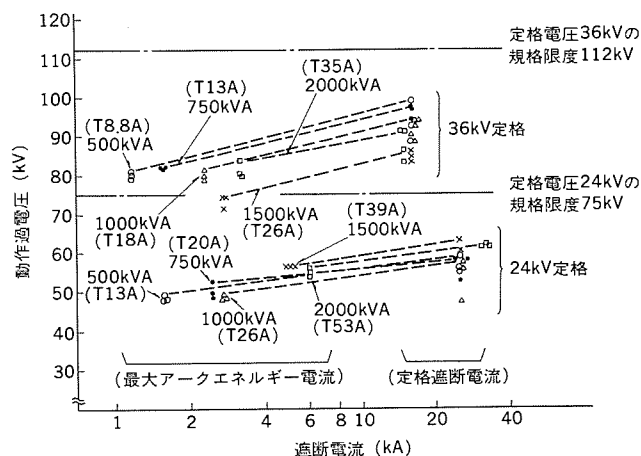


図 7. 遮断電流 - 動作過電圧特性

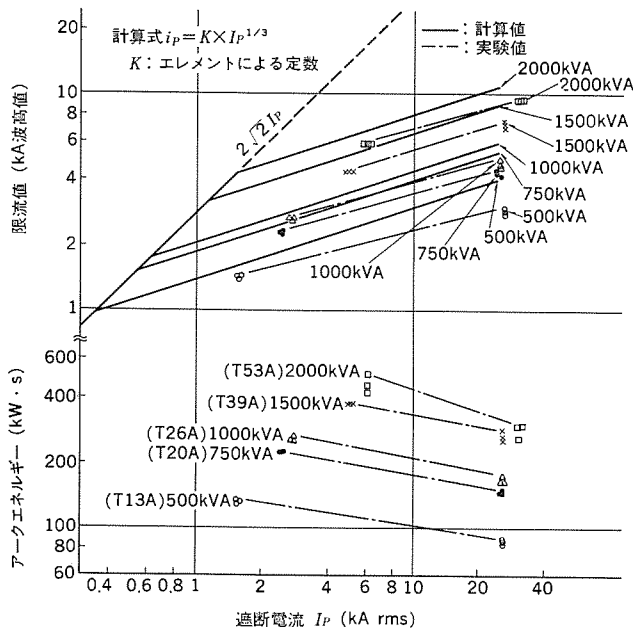


図 8. 24 kV ヒューズ 限流特性、遮断電流－アークエネルギー 特性

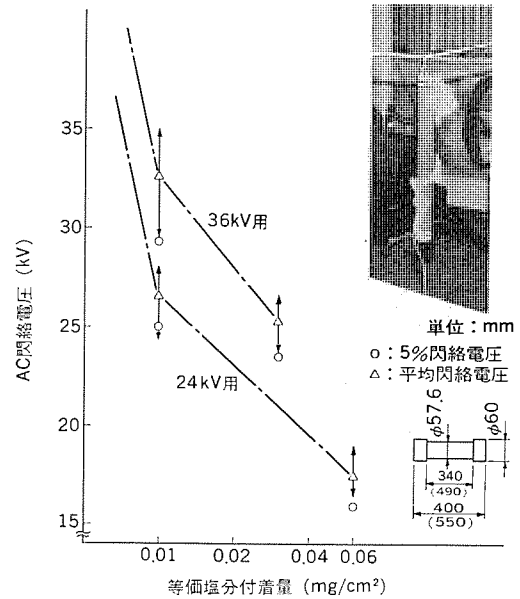
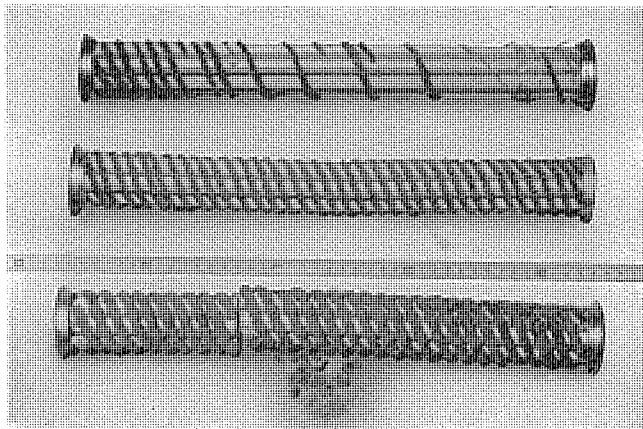


図 10. 汚損特性



上段：最小遮断電流 24 kV 195 A 163 s
中段：定格遮断電流 20.9 kV 32.4 kA
下段：最大アークエネルギー電流 20.9 kV 6.22 kA

図 9. 24 kV, T 53 A (1,000 kVA×2 用) ヒューズ
ファルグライトの比較写真

のものの方が大きく、これは、流入したエネルギーの大きいことを示しており、図 8. の結果と一致している。

5.4 繰返し過電流試験

変圧器の励磁突入電流を模擬した定格電流の 10 倍 - 0.1 秒の電流を繰返して流し、規格の 100 回では異常のないことを確認した。

5.5 耐汚損試験

(1) 汚損特性試験

ヒューズ筒を汚損液によって強制的に汚損させて、AC せん(閃)絡電圧を求めた。図 10. 右上に試験中の状況写真を示す。結果は、図 10. に示すとおりであり、等価塩分付着量 0.01 mg/cm² 近くの汚損まで耐えることが確認された。このヒューズは、屋内専用であるため、十分実使用に耐えられるものと考えられる。

(2) 屋内長期放置試験

実際の電気室における設置状態で、ヒューズ筒がどの程度汚損し、それによって耐電圧がどの程度低下するかを調査するために、昭和 56 年 5 月 26 日から関西電力(株)芦屋浜主電気室 No. 3 内に、24 kV

用供試ヒューズ筒を収納した模擬キュービクルを設置し、定期的にサンプリングして汚損量と AC 閃絡電圧値の推移を調査している。現在までのところ、昭和 57 年 10 月 4 日のサンプリングにおいて、等価塩分付着量 0.0005 mg/cm²、AC 耐電圧値 75 kV 以上と、全く問題にならない値が得られている。

5.6 機械的強度試験

ヒューズ筒の一端を固定して、他端に曲げ荷重を加えたときと引張り荷重を加えたときの破壊荷重を測定した。結果は、36 kV 用において、平均値で曲げ破壊荷重 60 kg、引張り破壊荷重 790 kg が得られ、いずれも十分実用に耐える満足できるものであった。

6. 関連機器との保護協調の検討

6.1 保護協調の必要条件

ヒューズの下位には、図 11. 右上図に示すように変圧器と MCB があるので、三者の間には、下記のような保護協調が必要となる。

- (1) ヒューズは、変圧器の許容過負荷(単機の場合 1.6 倍 - 2 時間、2 並列の場合定格電流の合計)及び励磁突入電流(10 倍 - 0.1 秒)を許容できること。
- (2) ヒューズは、変圧器二次側直下 MCB 点の短絡電流を変圧器の短絡強度(25 倍 - 2 秒)以内に遮断できること。
- (3) MCB は、変圧器の許容過負荷特性及びヒューズの許容特性よりも速く遮断できること。

6.2 保護協調の検討結果

(1) ヒューズの許容過負荷は、5.1 節の温度試験で得られた図 2. から温度上昇限度に対する通電電流限度として得られる。その結果を表 3. にまとめて示した。表より、500~1,000 kVA 単機用に対しては、1.83~2.74 倍と要求の 1.6 倍に対して 10~70 % の余裕をもって満足しており、また 750 kVA×2, 1,000 kVA×2 用に対しては 1.22~1.76 倍となり、いずれの場合も 20~70 % の余裕をもって満足しており、幾分かの裕度をもってできるだけ、ぜい肉を落とした経済設計とする所期の目標が達成されたことが確認された。

また、変圧器の励磁突入電流に対しては、図 11. に、例として 24 kV T 13 A (500 kVA) 用ヒューズの許容特性との関係を示すよう

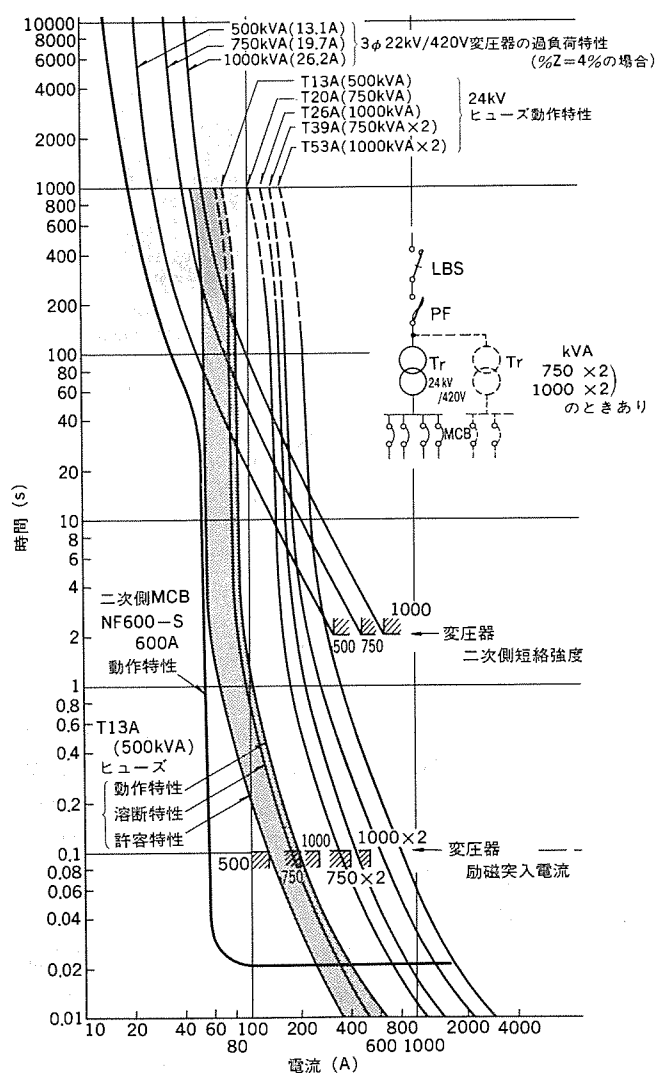


図 11. 22 kV 回路のヒューズ、変圧器、二次側 MCB 間の保護協調

に、励磁突入電流に対して許容特性を限界まで近づけており、この点においても限界設計をしたことがわかる。

(2) 変圧器の内部インピーダンス (%Z) が、4%の許容過負荷特性とヒューズの動作特性とを重ね合わせると、図 11. のようになる。ヒューズは、図における両者のクロスポイントよりも大きな電流域において変圧器を保護することができる。このクロスポイント電流とその電流になる %Z を表 3. にまとめて示した。完全な保護協調を得るためには、二次側 MCB の設置に当って、その設置点における短絡インピーダンスが、上記クロスポイントの %Z 以内になるように、変圧器との距離を制限する必要がある。

また、表 3. には、変圧器の内部インピーダンスが 4% よりも大きくなる場合を考えて、変圧器の二次側直下短絡をヒューズで保護できる限界の変圧器 %Z の目安を得るために、「2 秒以下で遮断できる変圧器の %Z 限界」を示した。最低値で 6.9% となり、変圧器の %Z は、普通これより大きくなることはなく、十分満足できるものである。

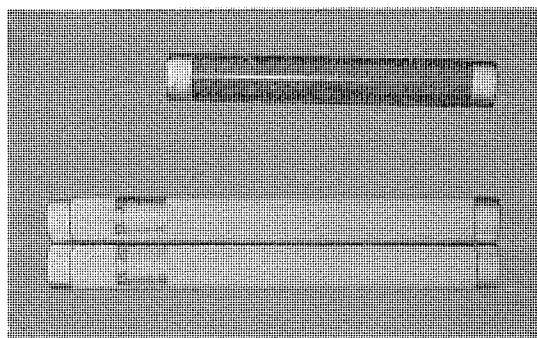
(3) MCB との協調は、変圧器の過負荷電流領域において、ヒューズの許容特性よりも MCB が速く動作するように設定しなければな

らない。MCB を三菱電機 NFB 汎用タイプ S シリーズの中から選定し、各ヒューズと協調のとれる最大定格を求めて表 3. に示した。図 11. に例として、24 kV T13 A (500 kVA 用) ヒューズと NF 600-S 形 600 A NFB との動作協調を示す。MCB の選定に当っては、表 3. の定格の範囲内で行う必要がある。

7. 成果のまとめ

ヒューズの定格電流を変圧器容量対応として、ぜい肉を落として限界設計をしたこと、用途を屋内用に限定して表面漏えい距離を限界まで短縮したこと、球状けい砂を採用して充てん度を向上させて遮断性能を向上させたこと、強度と耐熱性に優れたガラス布基材ドリル樹脂筒を採用して薄肉化したこと、などによって下記の成果が得られた。

- (1) 図 12. に従来品との外観比較写真を示したとおり、寸法及び重量が最大定格で約 1/3 に低減でき、コストダウンを図ることができた。
- (2) 最小遮断電流が、従来の約 10 秒溶断電流に対して 100~490 秒溶断電流に向上し、保護特性が向上した。
- (3) ヒューズ、変圧器、二次側 MCB 間の保護協調が向上した。
- (4) 外形寸法が、従来 24 kV 用、36 kV 用それぞれに 3 種類あったものが、各 1 種類に標準化し、使いやすくなった。



上段：開発ヒューズ、24 kV T53 A (1,000 kVA×2 用)
下段：従来ヒューズ、24 kV G100 A (T50 A)
[G50 A (T25 A)×2 並列]

図 12. 開発品と従来品との外観比較写真

8. む す び

以上、約 3 年の長期にわたる関西電力(株)と三菱電機(株)との共同研究の結果完成した 20 kV 級直接受電専用小形高性能ヒューズの概要を報告したが、この成果は関係者の間で注目され、早速この新形ヒューズを使った小形受電盤が開発され、現在既に実用化されている。この新形ヒューズは、単にヒューズの小形化・高性能化をもたらしたというだけにとどまらず、他の関連機器あるいはシステムに対する小形化・高性能化・低廉化への波及などその効果は大きなものがある。20 kV 級配電の今後の一層の発展に寄与できれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) 笹本ほか：昭 48 電気学会全国大会，791
- (2) 秋定ほか：特許公報昭 52-48291，登録番号 917302
- (3) 秋定，太田：公開特許公報昭 51-93354

スポット ライト

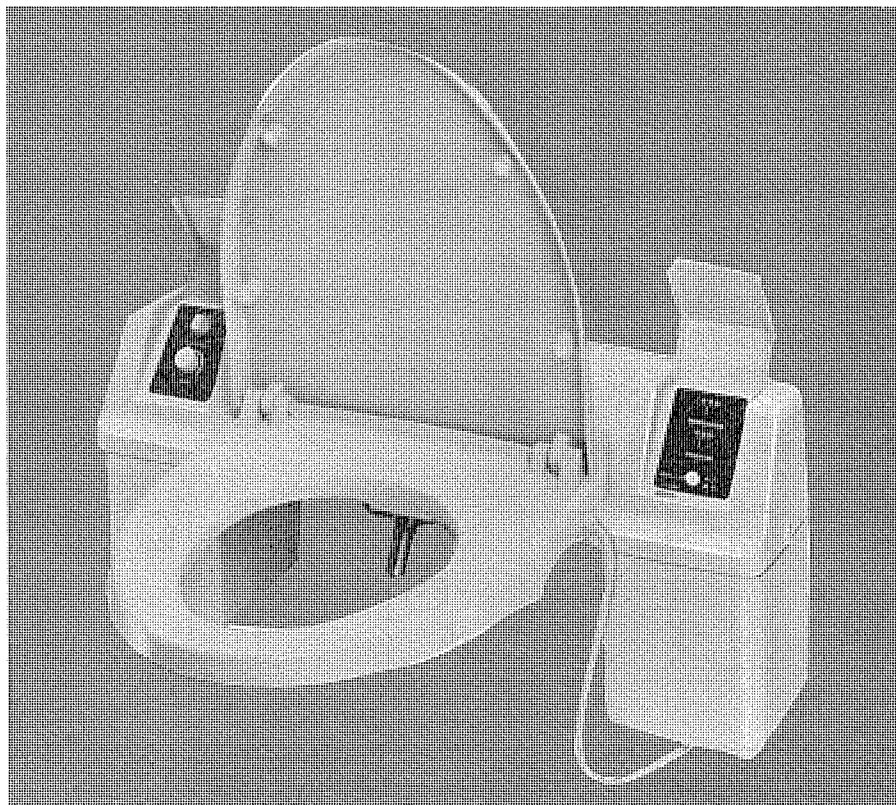
すっきり、さっぱり、爽やか

三菱温水洗浄便座《シャワーリリカ》

ノズルからの温水でおしりを洗浄するという考え方は、欧米先進国にもなく、この新しいトイレライフの定着は日本がいちばん進んでいます。

手、顔、体を問わず、汚れたら洗うのが、私たち日本人の生活習慣です。そして、水より温水(お湯)の方が汚れの落ちが良いのも、生活の知恵として誰もが知っていることでしょう。

このような原理を背景に開発されたのが《シャワーリリカ》。おしりを温水で洗ったあと、温風で乾燥できます。冬の寒い日には、暖房便座でポカポカとおしりを暖めることもできます。三菱温水洗浄便座《シャワーリリカ》は、トイレライフを楽しくする3つの機能をできるだけ多ぜいの人たちにご利用いただくために開発されました。



特長

●トイレが楽しくなる3機能

用便後のおしりを温水で洗浄。温風で乾かしますから衛生的なうえ、肛門部の血行が促がれすっきり、さっぱり、とした気分になります。(姿勢を変えれば、婦人用ビデとしても使えます)ポカポカ暖かい暖房便座で、寒い冬の朝のトイレもさわやかです。

●操作はとて簡単

電源スイッチを「入」にすれば、あとはツマミ操作だけ。温水温度や水勢調節、更に温風及び暖房便座の「強」、「弱」切替がすべてツマミの操作だけですから、お年寄りからお子様まで、手軽にお使いいただけます。

●温水コントロールは、四重安全機構

37℃～42℃の間で、お好みの温度にセットしておけば、ノズルからはいつも安定した温水が噴射します。温水コントロールには、温度調節器、温度過昇防止器、温度ヒューズの三重安全機構としたうえ、更に空焚きを防ぐための空運転防止器付きですから安心です。

●家庭のアンペア容量を配慮した消費電力

洗浄後、温風乾燥ツマミを「強」または「弱」にし、乾燥している時間中(1～2分間)は、温水タンク内シーズヒーターへの通電が自動的に停止。同時に通電することのない回路設計とし、最大消費電力を590Wにおさえています。

●衛生面と清掃性を配慮したデザイン

操作のツマミ類は、すべて本体内に収納。汚水の飛散を受けず、清潔で清掃しやすいシンプルなデザインです。

●資格のいらない取付工事簡易タイプ

幼児用などを除く、JIS規格に適合する洋式便器ならすべて取付可能です。既設の場合でも、便座、便ブタを取付けてあるナットをゆるめてはずし、同じ要領で取付けられます。

電源は、トイレ内のコンセントをそのまま使えます。

●維持費は心配するほど高くありません。

月々の電気代が、冬期でおよそ860円、夏期で450円程度で、他の電気製品とくらべても決して高くありません。〔使用条件＝家族4人、1日の使用回数12回〕

仕様(AX-130形)

定 格	単相100W 590W	
外 形 寸 法	高さ294mm×幅640mm×奥行527mm	
本 体 重 量	約9kg	
洗 浄 装 置	洗 量 特 性	0～1ℓ/min(使用量250～300cc./人)
	ポ ン プ	最大圧力1.2kg/cm ² (60W)
	ヒ ー タ ー	500W(シーズヒーター)
	タンク貯湯量	1ℓ
	安 全 装 置	温度調節器(37℃～42℃) 温度過昇防止器(54℃) 温度ヒューズ(70℃) 空運転防止器(フロート式)
乾 燥 装 置	風 量	0.45m ³ /min
	ヒ ー タ ー	300W↔200W切換(コイルヒーター)
	モ ー タ ー	40W(くまとり誘導電動機)
	乾 燥 風 音	強40deg、弱25deg
	安 全 装 置	温度過昇防止器(60℃) 温度ヒューズ(119℃)
暖 房 装 置	ヒ ー タ ー	30W↔15W切換(コードヒーター)
	便座表面温度	強30deg、弱15deg
	安 全 装 置	温度過昇防止器(70℃)

パルスモータの駆動回路 (特許 第957809号)

発明者 赤松 昌彦

この発明はパルスモータの駆動回路に関するものである。

従来のこの種の回路例を図1に示す。すなわち、停止中や低速回転時の駆動巻線電流を制限すると共に、高速回転時の電流ひいてはトルクの減少を防止するため、あらかじめ高い電圧の直流電源(1)を設け、かつ、制限抵抗(4)を通電路に挿入していた。このため、抵抗における熱損失が大きく、駆動回路の小形化の障害になっていた。また、回転速度の上昇にともなう巻線電圧 V の変化に対し、電流 I が図3の曲線Aの様に減少する性質自体は改善されないで、高速域でのトルクが得難い。したがって、高速域での加減速々度を下げる必要があると共に脱調を生じやすかった。

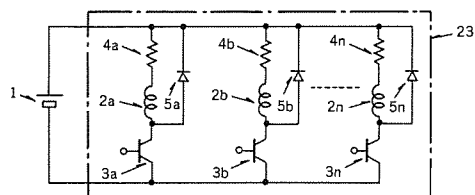


図1

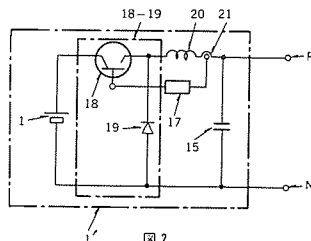


図2

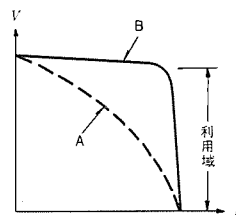


図3

この発明の駆動回路は、図2に示すように、チョップ制御手段(18-19)により、駆動巻線への給電電流を帰還制御している。この結果、回転速度 V の変化に対する巻線電流 I の変化が避けられ、図3の曲線Bのようになる。したがって、高速域でのトルク低下が解消し、制限抵抗における損失も解消できる。以上の結果、従来のものに比べ下記の効果が得られる。

- (1) 駆動回路の電力効率が著しく向上する。
- (2) 駆動回路が小形化できる。
- (3) 加減速応答が向上する。
- (4) 高速域での脱出トルクが向上し、脱調しにくい。

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 57 No. 8 オフィスコンピュータ特集

特集論文

- オフィスコンピュータの動向及び《MELCOM 80 オフィスランドシリーズ》
- 《MELCOM 80 オフィスランド》モデル500・400とオペレーティングシステム“DPS 10”
- 《MELCOM 80 オフィスランド》モデル300・200・100・50
- 《MELCOM 80 オフィスランド》モデル300・200・100・50のオペレーティングシステム“DPS IV”
- 《MELCOM 80 オフィスランドシリーズ》のアプリケーションパッケージ
- 《MELCOM 80 オフィスランドシリーズ》のアプリケーション適用事例

- 《MELCOM 80 オフィスランドシリーズ》のネットワーク・多機能化システム

普通論文

- 車両用主電動機における電着マイカ絶縁システム
- 新形2GHz帯PCM小容量多重通信装置
- 気象用ドップラレーダシステム
- 電磁超音波探傷装置
- マイコン制御による省エネルギー・ピークシフト形電気温水器
- マイコンによる石油ガス化ファンヒーターの燃焼制御
- 三菱音声合成学習機《さんすうめきめき》TM-11 MB(R)形

三菱電機技報編集委員

委員長	志岐守哉	委員	野村兼八郎
副委員長	岸本駿二	〃	山内 敦
〃	三浦 宏	〃	柳下昌平
委員	峯松雅登	〃	櫻井 浩
〃	翠川 祐	〃	徳山 長
〃	佐藤文彦	〃	柴山恭一
〃	大年倉像	〃	町野康男
〃	井上 通	〃	荒野 喆也
〃	立川清兵衛	〃	瀬辺 国昭
〃	吉田太郎	〃	倉橋浩一郎
〃	野畑昭夫	〃	小原 英一
〃	田中克介	〃	尾形善弘
〃	的場 徹	幹事	諸住康平
		7号特集担当	細野 勇

三菱電機技報 57 巻 7 号

(無断転載を禁ず)

昭和58年7月22日 印刷
昭和58年7月25日 発行

編集兼発行人	諸住 康平
印刷所	東京都新宿区市谷加賀町1丁目12番地 大日本印刷株式会社
発行所	東京都千代田区大手町2丁目6番2号 (〒100) 三菱電機エンジニアリング株式会社内 「三菱電機技報社」Tel. (03) 243 局 1767
発売元	東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 (〒101) 株式会社 オーム社 Tel. (03) 233 局 0641(代), 振替口座東京6-20018
定 価	1部500円送料別(年間予約は送料共6,700円)

このたび三菱電機では、世界初の超大形フルカラー液晶ディスプレイシステム《スペクタス》を発売しました。このディスプレイは、表示素子に液晶を採用。最大寸法2.9m(たて)×4.6m(よこ)の大画面に、VTR、ビデオカメラあるいはコンピュータなどからの動画、パターン、文字などを鮮明にカラー表示できます。

《スペクタス》は、格子状に配列された赤、緑、青のカラーフィルターをもつ透過形液晶の背部に特殊光源を配置した構造となっています。この特殊光源から出た光は、液晶の絞り効果によって制御され、更に画素となる赤、緑、青、個々の色に輝度変化をつけることにより、中間調を含むフルカラー画像を実現します。

この鮮明画像に加えて、豊富な機能と自由なシステム構成により、ショッピングセンターの案内、広告板、工場のプラント監視盤、駅や空港の情報板など、種々の目的に幅広く活用することができます。



特長

●鮮明なフルカラー表示

色純度の高いカラーフィルターと特殊光源により、鮮明なフルカラー表示ができます。

●薄形の大画面

スクリーンが大画面で、奥行40cmと薄形です。また、壁に埋めこむこともできます。空間を有効に利用できます。

●自由な画面サイズ

ディスプレイボードをユニット化しているのので、運営目的、設置場所に合わせて大きさが選べます。

●豊富な入力装置

表示する画像の入力装置として、コンピュータ(デジタル信号)及び汎用の映像機器(ビデオ及びオーディオ信号)を必要に応じて自由に選択できます。

標準仕様

設置環境	温度 湿度	動作時 10℃～40℃ 動作時 90%以下(結露なきこと)
電源電圧	消費電力	100V 1φ 50/60Hz 1kW/m ²
最適視野角度	観視距離	-30°～+30° 映像：8m以上 コンピュータ画像：4m以上
画面の色および明るさ	表示画像の種類	自然色に近いフルカラー画像 カラーテレビと同一程度の輝度 ビデオ画像 コンピュータ画像 ●グラフィック ●キャラクタ(漢字を含む各種文字記号) 流し文字(クロール)機能

画面寸法(標準サイズ)

サイズ	たて(cm)	よこ(cm)	奥行(cm)
I	90	140	40
II	120	180	
III	140	230	
IV	200	320	
V	290	460	

これ以外のサイズについても、表示ユニットの組合せにより自由に選定できます。