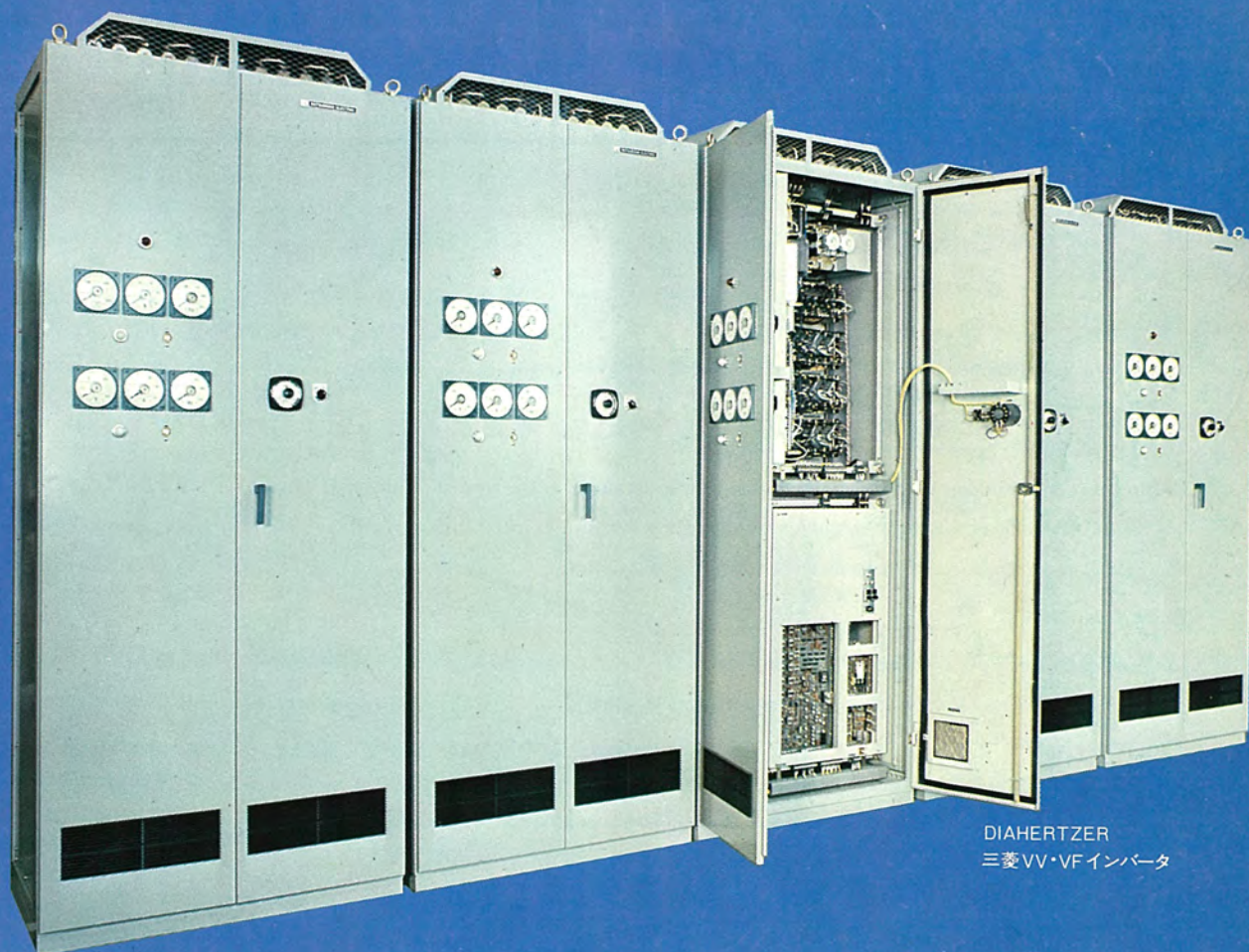


MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

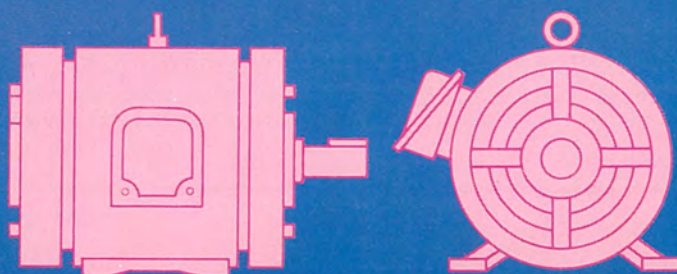
Vol.49 No.6

工業用可変速制御特集

6
1975



DIAHERTZER
三菱VV・VFインバータ



三菱電機技報

Vol. 49 No. 6 JUNE 1975

工業用可変速制御特集

目次

特集論文

直流電動機の可変速制御	松本圭二・片岡玄三雄・松本 宏・近藤昭雄	427
交流電動機のインバータによる周波数制御	宮崎 治・杉本英彦・長南克彦・横山隆一・田中一彦	433
三菱 ES モータ	栗田静夫・蘭田幸男・川口和孝	439
位置制御用電磁クラッチ・ブレーキと制御装置	吉田公一・橋爪 淳・岡本清秀・高山政広・石川 徹	442
高ひん度マイクロパウダクラッチ	車戸秀男・井上宗明・海堀 充	447
超精密微細制御用同期電動機とその制御《ファイシロール》	赤松昌彦・篠原芳男・近藤昭雄	451

普通論文

大容量ブラシレス励磁機の機械的問題	河村博敏・松倉欣孝	457
農業用水集中管理システム	柳 沢 忍・永田良茂・小浦哲仁・安田宜弘	463
FD-30 形超音波厚さ計	大力健市・丸田紳一・長沢音彦	469
シーケンス制御・監視システム——MELMIC PAC-2 システム——	渡部和徳・山内信治・松村雅司・森本克英・近藤耕一	473

FEATURING ADJUSTABLE-SPEED DRIVES

CONTENTS

FEATURED PAPERS

Adjustable-Speed Drives for DC Motors	by Keiji Matsumoto et al.	427
AC Motor Speed Control Using Inverters	by Osamu Miyazaki et al.	433
The Type ES AC Variable-Speed Motor	by Shizuo Kurita et al.	439
Electromagnetic Clutches and Brakes for Position Control, and Control Devices Employing Them	by Koichi Yoshida et al.	442
Micropowder Clutches for High Frequency of Operation	by Hideo Kurumado et al.	447
FINEROL High-Precision, Fine-Controlled Synchronous Motors	by Masahiko Akamatsu et al.	451

GENERAL PAPERS

Mechanical Problems of Large Brushless Exciters	by Hirotohi Kawamura & Yoshitaka Matsukura	457
A Supervisory Control System for Agricultural Water Supplies	by Shinobu Yanagizawa et al.	463
The Type FD-30 Ultrasonic Thickness Meter	by Kenichi Dairiki et al.	469
The MELMIC PAC-2 Programmable Automatic Control and Monitoring System	by Kazunori Watanabe et al.	473

表紙

DIAHERTZER (三菱 VV・VF インバータ)

サイリスタ素子など電力用半導体の進歩と回路技術の発達により、交流電動機用 VV・VF インバータは、各種産業機械駆動電源としてすでに実用期に入っている。

表紙の写真は、現在量産中の DIAHERTZER (三菱 VV・VF インバータ) で、5 kVA (DH-V 50) のユニット 2 組を同一制御盤に収納している。

DIAHERTZER は、用途に応じて各種の方式を備えているが、各方式とも当社独自の高性能転流方式を採用し、また制御回路は、大幅に IC 化するなど信頼性が極めて向上している。

COVER

Mitsubishi's DIAHERTZER Variable-Voltage, Variable-Frequency Inverter

With progress in thyristor elements and other large power semi-conductors, and advances in circuit technology, VV-VF inverters are in use for controlling the AC motors that power various types of industrial machinery. This month's cover shows two of Mitsubishi's Type DH-V50 5-kV mass-production DIAHERTZER VV-VF inverters, mounted in a single control panel.

DIAHERTZERs come in a variety of inverter systems depending on the application, but all utilize Mitsubishi's unique, high-performance commutation system. Extensive use of ICs in the control circuitry contribute importantly to the greatly improved level of reliability.

UDC 621.313.2 : 621.316.718

直流電動機の可変速制御

松本圭二・片岡玄三雄・松本 宏・近藤昭雄

三菱電機技報 Vol.49・No.6・P427～432

直流電動機がサイリスタで制御されるようになって以来十数年になるが、今やサイリスタ レオナード装置は完全に成熟の域に達し、性能・価格・据付面積の点で他の可変速制御装置の追従を許さない状況である。最近の傾向としては、更に用途対応で直流電動機及び制御回路を見直すことにより、価格性能比を向上させ、適用分野を広げており、特に工作機械分野でその傾向が顕著である。本文では、この新分野特有の主軸駆動、送り駆動の技術を中心に、最近クローズアップされている直結駆動も含めて、直流電動機とその制御装置を紹介した。

UDC 621.313.13

超精密微細制御用同期電動機とその制御《ファインロール》

赤松昌彦・篠原芳男・近藤昭雄

三菱電機技報 Vol.49・No.6・P451～454

近年、産業の自動化、省力化の要請とともに、電動機制御においてもデジタル制御の必要が高まっている。特に位置や速度を微細円滑に制御できるサーボ駆動装置がNC工作機用をはじめとして、各方面で要求されている。これに答えるべく、当社では直流界磁を磁気的変調した特殊無負荷(空)多極電動機と、これを駆動するデジタル制御正弦波インバータを開発した。ここでは、そのシステムの原理、特長、仕様並びにNC制御に利用した場合の応用面について、その概要を述べる。

UDC 621.313.3 : 621.316.718

交流電動機のインバータによる周波数制御

宮崎 治・杉本英彦・長南克彦・横山隆一・田中一彦

三菱電機技報 Vol.49・No.6・P433～438

DIAHERTZER (可変電圧可変周波数インバータ) の1号機を開発製作してから10年余を経て、製作台数約1,500台、総容量にして約20MVAの実績を得、この実績を十二分に生かし5～100kVAの標準仕様を固めシリーズ化を完成した。また、DIAHERTZERにも各種の方式があり、用途により使い分けされるようになってきた。本文ではDIAHERTZERの基本原理、サイリスタを制御する制御回路の基本、及びDIAHERTZERで駆動される電動機の特長について、電圧波形及び可変周波数の面より説明を行った。

UDC 621.313.12

大容量ブラシレス励磁機の機械的問題

河村博敏・松倉欣孝

三菱電機技報 Vol.49・No.6・P457～462

ブラシレス励磁機では、大容量化に伴い電氣的諸問題の解決もさることながら、強度・振動など材料や構造に関係のある機械的問題の解決が、特に重要になってくる。この論文ではブラシレス励磁機の電機子鉄心・整流器ホイール・カップリングなど容量の増大に制限を与える主要部分の構造・強度について述べ、更に軸の長大化に伴い難しくなってくる軸の横振動及びねじり振動の問題について、励磁機だけでなくタービン・発電機も含めた全回転子系としての観点から、設計上の考え方を述べるとともに、振動調整に関する最近の技術についても若干紹介している。

UDC 621.313.3 : 621.316.718

三菱ESモータ

栗田静夫・蘭田幸男・川口和孝

三菱電機技報 Vol.49・No.6・P439～441

三菱ESモータは、巻線形誘導電動機とサイリスタ電力変換装置から成る交流可変速電動機である。

巻線形誘導電動機の2次側に整流器とサイリスタ インバータを接続し、すべり電力を電源に返還して速度制御を行う2次励磁制御(セルビウス制御)を簡易な構成で実現したものである。

簡単な構成ながら広い速度範囲で効率が高く制御性がすぐれているため中小容量のポンプ、ブロー、押出機などに適している。

ここでは、ESモータの原理及び応用例について述べる。

UDC 626.81/.84 : 654.94

農業用水の集中管理システム

柳沢 忍・永田良茂・小浦哲仁・安田宜弘

三菱電機技報 Vol.49・No.6・P463～468

農業の新しいあり方の一環として、農業用水の総合的な水管理、管理の合理化、適正な水配分、水質保全などを目的とした農業用水集中管理システムの必要性が高まっている。

一例としてここに紹介する今回製作納入した濃尾用水集中管理テレメータは、中央管理センタに管理設備を設け、新般若幹線、大江幹線、奥村幹線並びに各分水に散在する現地機器からの情報を遠方監視並びに制御を行うものである。融通性・拡張性・操作性という面を特に配慮したこのシステムの概要を紹介する。

UDC 621.838.3 : 62-58

位置制御用電磁クラッチ・ブレーキと制御装置

吉田公一・橋爪 淳・岡本清秀・高山政広・石川 徹

三菱電機技報 Vol.49・No.6・P442～446

電磁クラッチ・ブレーキを使用した始動・停止機構は各種機械装置に広く利用されている。

当社は、このたび従来の需要をもとにクラッチ・ブレーキの特性を十二分に発揮させた位置制御装置を開発した。この方式は、位置制御として最高級のパルス電動機によるNCとはん用電動機などによる制御の中間に属するもので、安価でしかも精度が高いという特長を持っており今後の需要増大を見込んでいる。

本文はそのシステムと動作原理、特長、応用例を述べている。

UDC 534.8-8 : 531.71

FD-30形 超音波厚さ計

大力健市・丸田紳一・長沢晋彦

三菱電機技報 Vol.49・No.6・P469～472

今日、工業製品の品質管理、保守検査に超音波を使った厚さ測定器が広く使用されている。しかしこれらの測定器のほとんどが、測定の原点ともいうべき零点を電気回路内で発生させ、付属した校正片を使って手動で設定していた。これは単に操作が繁雑であるというばかりでなく、厚さ測定の信ぴょう性にもかかわる事柄である。ここで報告する新形超音波厚さ計は、新しい技術を用いて、この零点を全く自動的に設定することができた。このため単に片面から測定できるという特質にとどまらず、ノギスなどのような直接測定を可能にすることができた。

UDC 621.838.3

高ひん度マイクロパウダクラッチ

車戸秀男・井上宗明・海堀 充

三菱電機技報 Vol.49・No.6・P447～450

高ひん度マイクロパウダクラッチは高速応答、高精度の動作ができることを目的に開発した。そのため、被駆動側をカップ状とし、小さな慣性モーメントで高トルクが得られる構造を採用している。

電氣的には小さな励磁電力で高トルクが得られ、過励磁や急速過励磁でトルクの立上りを大幅に速くすることができる。トルク時定数は2msで、1秒間に40～60回という高ひん度駆動で1億回以上の動作に十分耐えられる高寿命設計となっている。

UDC 681.323 : 621-503.001.57+681.06

シーケンス制御・監視システム-MELMIC PAC-2 システム-

渡部和徳・山内信治・松村雅司・森本克英・近藤耕一

三菱電機技報 Vol.49・No.6・P473～478

シーケンス制御の分野で最近、プログラマブル コントローラが脚光をあびているが、自動化ラインのソフトウェアやモニタリング、故障検知などを含めた総合的なシーケンス制御・監視システムとして、MELMIC PAC-2 システムを開発した。このシステムでは、シーケンス回路図から直接(ブール代数やフローチャートなどへの変換作業を行わずに)プログラムでき、プログラムされた内容はシーケンス回路図の形でブラウン管に表示される。モニタリング及び故障検知は、機械と人間とのそれぞれの特性を生かし、自動化と機械-人間系の対話により効率的に故障原因を追究できる。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 6, pp. 451~54 (1975) UDC 621.313.13

FINEROL High-Precision, Fine-Controlled Synchronous Motors

by Masahiko Akamatsu, Yoshio Shinohara & Akio Kondo

With increasing demands for more automated, less labor-intensive production in recent years, the field of motor control has also experienced an increasing need for digital control. The need has been particularly pronounced in the numerically controlled machine tool and other areas for servo drive devices that can provide positive, fine control of position and speed. To meet these needs, Mitsubishi Electric has developed special, distortion-free, multi-pole synchronous motors with magnetic field modulation, and a digital-control sinusoidal converter to drive them. The paper outlines the principles, features and specifications of this system, and takes up applications in numerical control.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 6, pp. 427~32 (1975)
UDC 621.313.2:621.316.718

Adjustable-Speed Drives for DC Motors

by Keiji Matsumoto, Isao Kataoka, Hiroshi Matsumoto & Akio Kondo

In the dozen or so years that thyristor control has been applied to DC motors, the development of thyristor converters has progressed in terms of performance, cost, and space factor, to make them far superior to other adjustable-speed drives. Current trends have prompted a new look at DC motors and control circuitry, to improve the cost-performance ratio and broaden the range of applications, particularly in the machine tool field. The paper deals with DC motors and control equipment, including the recently spotlighted direct drive, with emphasis on a spindle drive and a slide drive developed specifically for machine tools.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 6, pp. 457~62 (1975) UDC 621.313.12

Mechanical Problems of Large Brushless Exciters

by Hirotohi Kawamura & Yoshitaka Matsukura

As brushless exciters continue to increase in capacity, it becomes necessary to solve not only electrical problems, but also such mechanical problems as strength and vibration which relate to materials and structure. The paper deals with the structure and strength of such major components as the exciter armature and rectifier wheel, which act to limit capacity increases. Some design concepts are presented to meet the problems of lateral shaft vibration and torsional vibration, which increase in severity as shaft length increases, and a brief introduction is given to recent developments in the technology of balancing.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 6, pp. 433~38 (1975)
UDC 621.313.3:621.316.718

AC Motor Speed Control Using Inverters

by Osamu Miyazaki, Hidehiko Sugimoto, Katsuhiko Chonan, Ryuichi Yokoyama & Kazuhiko Tanaka

During more than a decade of production of DIAHERTZER variable-voltage variable-frequency inverters, Mitsubishi Electric has delivered some 1500 units, with an aggregate capacity of about 20 MVA, and on the basis of this experience has introduced a series of standard-specification models, at ratings of from 5~100 kVA. DIAHERTZERS are manufactured on the basis of a variety of inverter systems depending on the application. The paper takes up the aspects of voltage waveform and variable frequency as a means of explaining basic DIAHERTZER operating principles, fundamentals of the thyristor-control circuitry, and the characteristics of motors with DIAHERTZER drive.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 6, pp. 463~68 (1975) UDC 626.81/84:654.94

A Supervisory Control System for Agricultural Water Supplies

by Shinobu Yanagizawa, Yoshishige Nagata, Tetsuhito Koura & Yoshihiro Yasuda

One aspect of new agricultural techniques is the growing need for supervisory control systems that will provide appropriate distribution and assure the quality of agricultural water supplies. Control equipment for the Nobi Water Control Telemetry Center was recently installed. It monitors information collected by equipment on the Shin-hannya, Oe and Okumura main channels, as well as on diversion channels, and effects control. The system places particular emphasis on flexibility, expandability, and ease of operation.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 6, pp. 439~41 (1975)
UDC 621.313.3:621.316.718

The Type ES AC Variable-Speed Motor

by Shizuo Kurita, Sachio Sonoda & Kazutaka Kawaguchi

Type ES motors comprise a wound rotor induction motor and a thyristor power converter. Slip-recovery (Scherbius) control is achieved by a simple construction in which a rectifier and a thyristor inverter are connected to the motor secondary, returning secondary slip power to the power supply. Despite its simple construction, the Type ES motor provides high efficiency and outstanding control performance over a wide range of speeds, making it particularly suitable for medium- and small-capacity pumps, blowers, and extrusion machinery. The paper explains the operating principles of the ES motor, and describes some typical applications.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 6, pp. 469~72 (1975) UDC 534.8-8:531.71

The Type FD-30 Ultrasonic Thickness Meter

by Kenichi Dairiki, Shinichi Maruta & Otohiko Nagasawa

Nowadays, extensive use is made of ultrasonic thickness gauges in quality control and maintenance inspection of industrial products. In most of the gauges now in use, however, the reference point for measurement is generated in the electrical circuitry, and must be set manually using accessory test pieces. This not only makes operation more complex but also affects the validity of measurement. The paper describes a new type of ultrasonic thickness gauge which uses the latest technology to permit fully automatic setting of the reference point. This enables not only thickness measurement from one side but also direct measurement comparable that using vernier calipers.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 6, pp. 442~46 (1975) UDC 621.838.3:62-58
Electromagnetic Clutches and Brakes for Position Control, and Control Devices Employing Them

by Koichi Yoshida, Atsushi Hashizume, Kiyohide Okamoto, Masahiro Takayama & Toru Ishikawa

Starting and stopping mechanisms employing electromagnetic clutches and brakes are widely used in many types of machinery. Responding to this established demand, Mitsubishi Electric has developed a new line of position control devices which make optimum use of the characteristics of electromagnetic clutches and brakes. The new position control system stands somewhere between the sophisticated approach of numerical control using pulse motors, and simple control using general-purpose motors. Offering high precision at low cost, this new control system is expected to be in increasing demand. The paper describes the operating principles, features, and some typical applications of the new system.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 6, pp. 473~78 (1975)
UDC 681.323:621-503.001.57+681.06

The MELMIC PAC-2 Programmable Automatic Control and Monitoring System

by Kazunori Watanabe, Nobuharu Yamauchi, Masaji Matsumura, Katsuhide Morimoto & Koichi Kondo

Attention in the sequence control field has recently been focused on programmable controllers. The MELMIC PAC-2 has been developed as an integrated sequence control and monitoring system—including software, monitoring, fault detection, etc.—for an automated manufacturing line. In this system, the program is developed directly from sequence circuit diagrams—i.e., without conversion into Boolean algebra or flow charts, and the contents of the program are CRT-displayed as sequence circuit diagrams. Monitoring and fault detection make use of the respective advantages of man and machine, providing effective fault location by means of automation and man-machine interaction.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 49, No. 6, pp. 447~50 (1975) UDC 621.838.3

Micropowder Clutches for High Frequency of Operation

by Hideo Kurumado, Muneaki Inoue & Mitsuru Kaibori

These micropowder clutches have been developed to provide the rapid response and operational precision required when operating repetition rate is high. For this reason, the driven member has been made cup-shaped, in a construction that yields low moment of inertia and high torque. Electrically, high torque is obtained using low excitation power, making it possible to decrease the torque buildup rate, even with overexcitation or rapid overexcitation. The torque time constant is 2 ms, and the designed service life is over 100 million times of engaging at a frequency of 40~60 times per second.

直流電動機の可変速制御

松本 圭二*・片岡 亥三雄*・松本 宏*・近藤 昭雄**

1. ま え が き

直流電動機は、可変速装置として最も制御性能が優れていることにより、従来から鉄、紙、繊維などの製造や加工ラインに使用されてきたが、特にその制御にサイリスタが採用され始めて以来十数年経過し、サイリスタレオナード装置は、性能・価格・据付面積の点で大幅に向上し、他の制御方式の追随を許さず完全に実用化の域に達している。最近の傾向としては、用途に対応し直流電動機及び制御回路を見直すことにより、価格性能比の良い可変速装置として適用分野を広げている。本文では、直流電動機とその制御装置について、最近の技術を紹介する。

2. 工業用直流電動機とその制御

2.1 各種制御方式とその得失

他励直流電動機の変速原理は、次に示す基本式により周知である。すなわち、図1.に示す他励直流電動機において、トルク T と回転速度 N の間には基本的に次の関係式が成り立つ。

$$N = K_1 \cdot \frac{V - I_a R_a}{\phi} \quad (1)$$

$$T = K_2 I_a \phi \quad (2)$$

$$P = VI_a - W \quad (3)$$

N : 回転速度 V : 電機子端子電圧 I_a : 電機子電流 R_a : 電機子内部抵抗(補極巻線抵抗、直巻巻線抵抗含む) ϕ : 界磁磁束 T : トルク P : 出力 W : 内部損失 K_1, K_2 : 係数

式(1)より、回転速度 N は、電機子端子電圧 V と界磁磁束 ϕ により決定されるのでこの二者のうちのどちらか又は、両方制御することにより任意の回転速度を得ることができる。一方、式(2)より明かなように電機子電流一定で電機子電圧を制御した場合はトルク一定の制御に、また、式(3)より電機子電圧を一定に保ち界磁磁束を制御した場合は出力一定の制御となる。(図2. 参照)

上述のように、他励直流電動機の変速制御方式には、電動機の基本特性から、電機子制御方式と界磁制御方式があり、更に、制御装置の整流方式、正逆転方式により表1.のように多種の方式が使用されている。まず電機子制御方式の単相半波方式はサイリスタの数が一方方向で1個、両方向で2個という簡単さで安価に製作できるので、機械式変速機に十分置き換わることができる。単相全波方式はトランスを使用したセンタタップ方式も可能であるが、一方方向の場合一般に混合ブリッジが、また、両方向の場合純ブリッジの逆並列が使用される。小容量可変速としては、これが最も一般的な方式であり、用途も特に限られてはいないが、最近の傾向としては変速比を1:200~1:500に拡大することにより工作機の送り駆動に使用され、無段変速化・ショックレス化を実現している。三相半波方式は回路が簡単であるが出力リップルが多いため、電動機が製作しにくく、更に電源トランスが必要なため、スペースファクタが悪いので、NC機のように1台

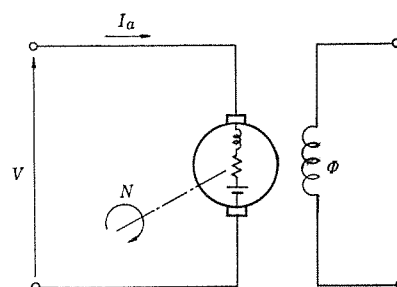


図1. 他励直流電動機

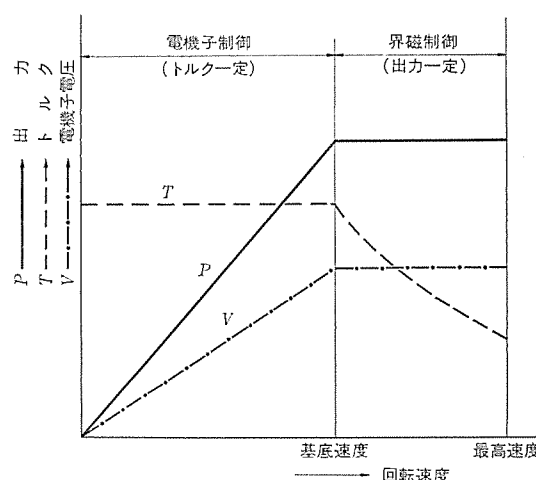


図2. 制御方式とトルク、出力の関係

の電源トランスから複数台の電動機を駆動する場合以外は、国内では余り使用されておらず、一方方向制御は国内外を問わず皆無といえる。三相全波方式は、一方方向制御の場合は回路の簡単さから一般に混合ブリッジが、両方向制御の場合は純ブリッジの逆並列が使用されている。この方式の一方方向制御が価格・性能的に見て応用分野が広く、多くの分野に使用されているが、最近多量に使用され始めた分野として工作機械の主軸駆動が挙げられる。これは、本来高価なNC機を極力効率よく使用するために、主軸の無段変速が要求されるからである。したがって、その出力特性は従来の誘導電動機と機械式変速機の組合せによる出力特性及びワークの切削特性の関係から、定出力特性を要求されることがほとんどである。このような定出力特性を要求された場合、直流電動機では界磁制御が非常に有効となる。直流電動機の界磁巻線は一般にインダクタンスが大きいので、界磁電源としては単相全波が使用されるが、電機子電源には、三相全波が使用され、弱め界磁による直流電動機の整流悪化を防いでいる。一方方向制御の用途としては、応答性が余り必要でなく変速比も小さく、価格の安い精紡機、研削盤の主軸などがあるが、電機子制御と併用し、基底速度より高速で自動的に界磁制御に切換わるいわゆる自動弱め界磁制御が工作機械主軸全般及び定出力特性の必要な用途に採用されている。両方向制御は、制御回路が複雑となるが、回生制御の制御及び無接点可逆が比較的安価にできるので、応答性を必要

表 1. 各種制御方式とその得失

制 御 方 式			容量範囲(kW)	変 速 比	応 答	用 途	特 徴	主回路構成
電 機 子 制 御	単 相 半 波	一方向	0.75以下	1:10~1:30	低	はん(汎)用	● 回路が簡単で安価 ● モータ振動大 ● モータの熱、整流の点より容量に限度あり	
		両方向						
	単 相 全 波	一方向	0.2~7.5	1:20~1:50	低	はん用 (工作機械送り)	● 回路が比較的簡単で安価 ● 変速比1:500程度まで拡大可能 ● モータの整流の点より、弱め界磁範囲が大きくてできない ● 単相半波と同じ理由で容量限度あり	
		両方向						はん用(ならい制御)
	三 相 半 波	両方向	2.2~75	1:50~1:100	中	N C, ならい 工作機械主軸	● 回路が単相全波よりやや複雑な程度で出力リップルが少ない ● 電源トランスが必要	
	三 相 全 波 (混合ブリッジ)	一方向	2.2~75	1:50~1:100	中	工作機械主軸 一般産業機械	● 三相半波と同程度の回路で簡単 ● 容量に対する価格が安い ● 純ブリッジに比べて、出力リップル大	
界 磁 制 御	単 相 全 波 (電機子回路は三相全波)	一方向	5.5以上	1:3~1:4	低	精紡機研削盤主軸 研削盤往復台送り プレーナ	● 安価 ● 両方向式は、一方向電機子制御と組合せて回生制動制御ができる ● モータの整流が悪くなる ● 応答が悪い	
		両方向						

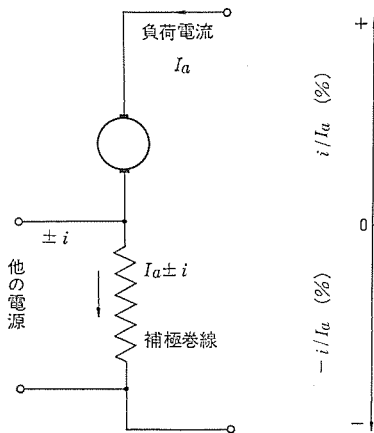


図 3. 整流特性測定回路

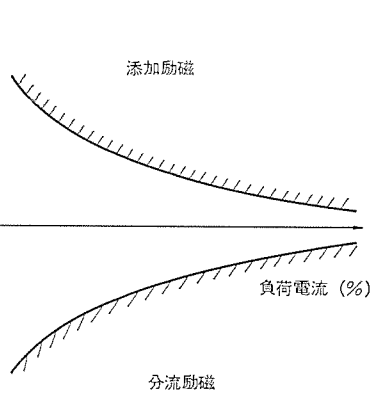


図 4. 無火花帯特性

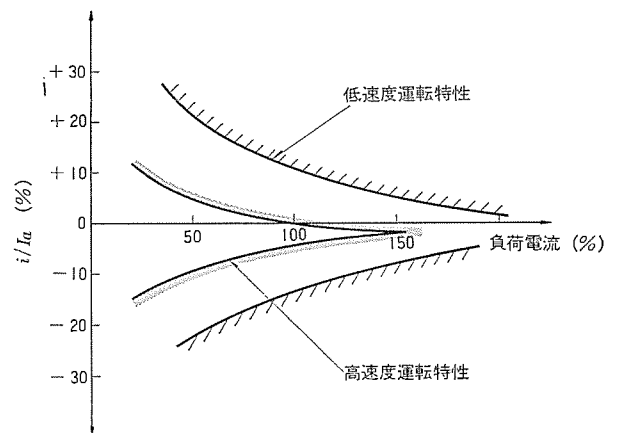


図 5. 無火花帯の移動特性

としない用途に有効である。

2.2 界磁制御と直流電動機の整流

サイリスタ電源で駆動される電動機はMG電源より整流条件が苦しくなるので、定常時及び過渡時の整流能力を高めるため整流磁束回路の積層構造化など種々の手段を講ずるが、界磁制御範囲が広い場合は別に整流上の問題点がある。

図3.のように、直流電動機に一定負荷をかけておき、補極巻線に負荷電流のほか他の電源により電流を添加又は分励し火花が出はじめる限界の添加電流及び分励電流を求め、図4.のように表す。この図でハッチで囲まれた部分を無火花帯といい、この縦軸の幅は

広いほど安定した整流特性を有すると考えてよい。

無火花帯の幅は負荷電流の増加とともに狭くなり、また高速度になるほど狭くなる。更に無火花帯は回転速度により移動するが、図5.のように高速時の無火花帯は低速時の無火花帯の下方へ移動し、その移動量は負荷電流と回転速度にほぼ比例する。

したがって界磁制御範囲の広い電動機は、低速度から高速度の全範囲で無火花帯を確保することは難しく、この無火花帯の移動による整流悪化に対処するため、あらかじめ高速回転時の移動を考慮した補極の強さを設定するか、補極に補助タップを設け、速度と負荷電流に応じて補極磁束を変化させるなどの方法がとられる。

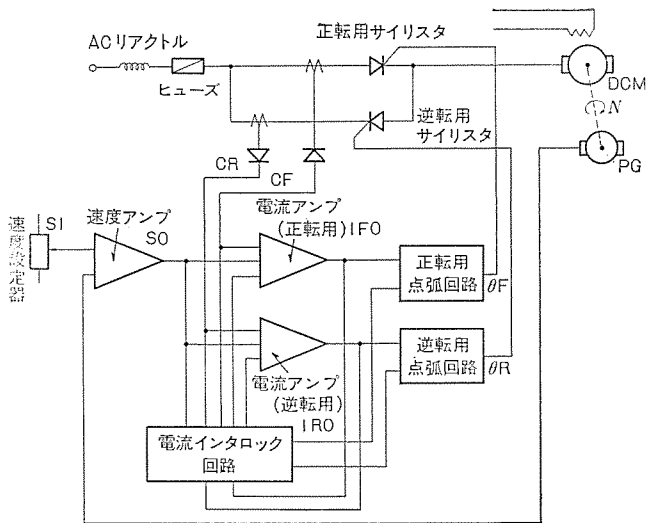


図 6. 両方向制御のブロック図

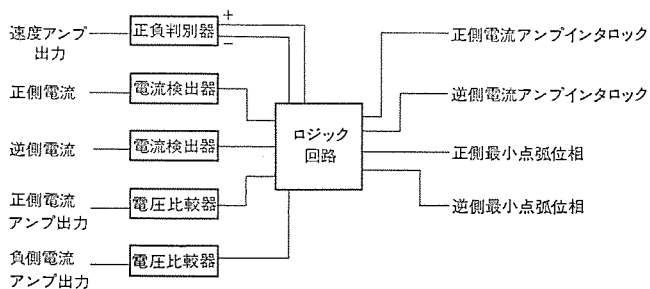


図 7. 電流インタロック回路のブロック図

2.3 直流電動機の回転速度の安定

他励又は分巻電動機の場合、ある値以上に負荷電流が増加すると電機子反作用による主磁束減磁で負荷の増加とともに速度が上昇するいわゆる速度しり上がりの現象を起し運転が不安定になることがある。このしり上がりの現象は特に弱め界磁制御の高速域で見られることが多く、その根本的対策としては電機子アンパターンを減少させるとともに、エアギャップを大きくとり主軸アンパターンを増せばよいが、いずれもマシンサイズを大きくしコストアップにつながるので普通は直巻巻線をつける方法を用いる。

この直巻巻線は、所要アンパターンの数 % を補償するように主極に施され負荷電流増加による磁束の減少を補う。このような電動機を安定分巻電動機又は安定巻線付他励電動機という。

ただし、電動機を正・逆同一特性で運転する場合、直巻巻線の接続変更を行う必要があり制御上繁雑となる。

2.4 両方向制御と正逆インタロック

工作機械分野では、無段変速の必要性から直流電動機が使用し始められたが、(誘導電動機+機械変速)に比べかなり割高であるため全面採用に至っていない。最近では原価低減に努力する一方、価格性能比を改善することにより実質的な原価低減が計られている。その一環として、減速特性の改善、正逆転の切換時間短縮などがあり、一方向制御より価格上昇するが、価格性能比が改善される両方向制御が使用され始めている。両方向制御を使用すれば、回生制動がかかり、無接点で正逆切換えが行われるので、正転最高速から逆転最高速まで1秒程度という機械側からの要求に十分答えることができる。両方向制御には、正逆主回路間に循環電流を流す循環電流方式と、流さない無循環電流方式がある。ここでは、電流効率のよい無循環電流方式における、正逆インタロック回路について紹介するが、

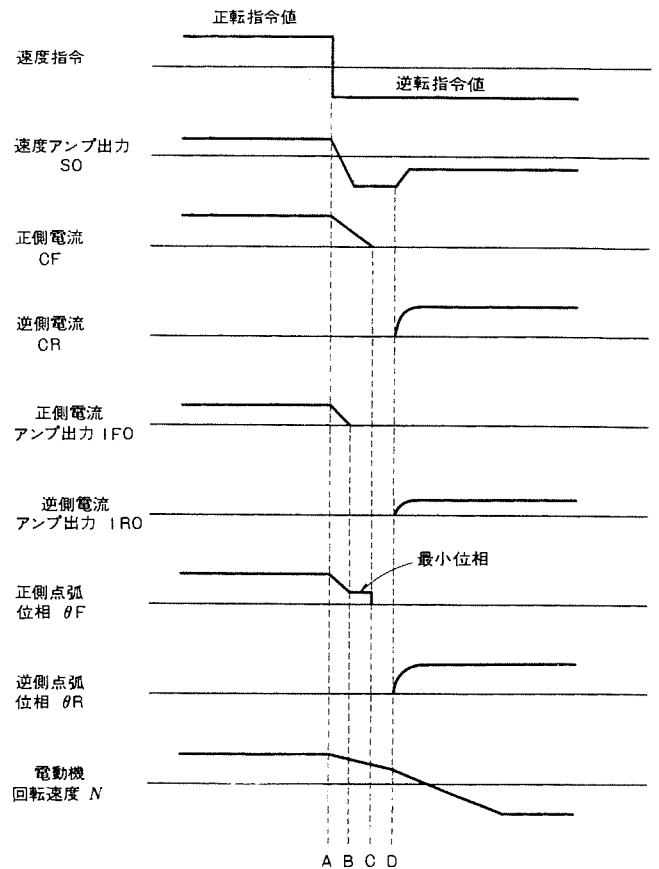


図 8. 正逆インタロック回路の動作

特に正逆切換時間の短縮について詳述する。

(1) 正逆インタロック回路の構成

図 6. のブロック図において、正転用及び逆転用の 2 個の電流アンプと、電流インタロック回路がこの方式の特徴である。正転用電流アンプは速度アンプの出力が正の時、正転用点弧回路に動作信号を与え、正転用サイリスタを導通させる。速度アンプの出力が負の時は、逆転用電流アンプが動作し、逆転用点弧回路により逆転用サイリスタを導通させる。したがって、本質的に正転回路と逆転回路が同時に動作することがなく、更に、図 7. に示す電流インタロック回路の併用により速度ループのハンチングなどの異常動作時においても、正逆サイリスタ間の循環電流を防ぐことができる。電流インタロック回路は、正負判別器 1 個、電流検出器 2 個、電圧比較器 2 個と図 8. の動作をするロジック回路(特許申請中)より成っている。

(2) 正逆インタロック回路の動作と特徴

図 8. は、速度指令入力が正転から逆転にステップ状に変化した場合の動作を示し、A 点は指令値が変化した時点、B 点は電圧比較器により検出された正側電流アンプ出力が最小位相に相当する時点、C 点は電流検出器により検出された正側電流零の時点、D 点は C 点から一定時間遅延した時点である。

順次、動作を追って行くと、速度指令 SI が変化した A 点より、速度アンプ出力 SO は速度アンプで決定される時定数で負方向へ変化し、飽和値まで達する。同時に正側電流アンプの出力も電流アンプで決定される時定数で零へ向かい、正側点弧位相も零に向かうが、B 点において点弧位相は最小位相にクランプされ零にならない。電源及び負荷などのリアクタンス分に蓄積されていたエネルギーは、この最小位相区間において電源に回生され、C 点にて正側主回路電流は零となり、これと同時に正側点弧位相も零となる。この C 点よりあらかじめ設

表 2. 可変速装置の用途別仕様

用途 項目	工 作 機 械				産業機械（鉄鋼関係は除く）		自動化機械	繊維機械
	送 り	主 軸	N/C	な ら い	ワインダー	ピンチロール	位置決め	精 紡 機
小形化の要求	大	大	大	大	小	小	特に大	大
変 速 比	1:30~1:100 (1:1000)	1:30~1:50	1:50~1:100 速度ループ 1:1000~1:3000位置ループ 0付近で安定	1:50~1:100速度ループ 0付近で安定	1:30~1:50	1:3~1:10	1:20~1:50	1:3~1:10
過 負 荷 耐 量	150%, 15s HS	150%, 15s HS 150%, 1min CS	6kW 以下 200~500% 1~2s HS 6kW 以上 150%, 15s HS	6kW 以下 200~500% 1~2s HS 6kW 以上 150%, 15s HS	150%, 1min CS	150%, 1min CS	150%, 15s HS	150%, 1min CS
速度 負荷10~100% 電源 ±10% 精度 温度 0~40°C	1% (0.1%) ±0.5% 1%	1% (0.1%) ±0.5% 1%	3~5% ±1.5% 3%	3~5% ±1.5% 3%	3~5% ±0.5% (±0.1%) 1% (0.2%)	3~5% ±0.5% (±0.1%) 1% (0.2%)	1% ±0.5% 1%	1~3% ±1% 1%
制 御 ル ー プ (絶対必要なもの)	速 度	速度+電流	電圧 or 速度	電圧 or 速度	速度+電流	速度+電流	速 度	電圧 or 速度
電 流 制 限	150%	150%	6kW 以下 200~500% 6kW 以上 150~300%	同 上	150%	150%	150%	150%
応 答 速 度	中	中	大 循環電流方式	大 デッドゾーン小	小	小	中	中
容 量	0.2~55 kW	2.2~150 kW	0.2~55 kW	0.2~22 kW	1.5~75 kW	0.2~75 kW	0.2~15 kW	2.2~45 kW
整 流 方 式	1φ全波~3φ全波	1φ全波~3φ全波	3φ半波 3φ全波	1φ全波~3φ全波	1φ全波~3φ全波	1φ全波~3φ全波	1φ全波~3φ全波	1φ全波~3φ全波

注) 1. () 内は、将来方向を示す。

2. 過負荷耐量の項で HS はホットスタート, CS はコールドスタート。

定された一定時限後のD点にてこれまで動作しないようにインタロックされていた逆側電流アンプ及び逆側点弧回路が動作開始するとともに、正側の電流アンプ、点弧回路はインタロックされ、電動機は再生制動を開始し逆転起動へと移って行く。

以上述べたように主回路のリアクタンス分のエネルギーが完全に回生され、更に無逆電期間を設けているので、正逆切換時のサイリスタの転流失敗が皆無となり正逆主回路素子間の循環電流を完全に防止できる。したがって、主回路のリアクタンス分の大きさを考慮することなく、制御ループの安定性のみ考慮して装置の応答を最大限まで上げることができ、特に最高速付近で回生制動中に再加速するという厳しい動作モードで、更に電源電圧の低下という悪条件を加えても応答を下げることなく確実な動作が得られる。

2.5 応用面より見た直流可変速の技術的方向付け

表2. に各用途で要求される可変速装置の一般的な仕様を示すが、現状では保守上の問題で交流可変速が使用される場合を除き、直流可変速が主として用いられ、特に精度・応答性・広域変速比が要求される用途においては、直流可変速がその特徴をよく発揮している。

産業機械、自動化機械、繊維機械の分野では機械装置全体がかなり高価であり、装置が故障で停止した場合の損失が非常に大きいので、可変速装置の価格をわずかも低減するというより、むしろ、信頼性に重点を置く場合が多い。一方、工作機械分野では簡単な数値制御から適応制御へと制御が高級になるにつれて、精度・応答・変速比の優れた無段変速機が必要となり、主軸にも直流可変速が使用されるようになってきたが、他と比べて機械装置全体が比較的安価であり、従来の変速装置が誘導電動機とギヤ変速機の併用で安価であったため、直流可変速の価格に対する要求も非常に厳しい。

また、性能面でも、負荷変動に対する精度と応答性が特に重視され、最も厳しい分野とも言える。したがって、直流可変速の性能をフルに発揮させる研究はこの分野において最も力が入れており、

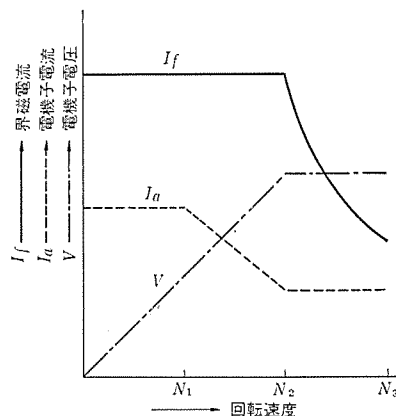


図 9. 主軸用直流可変速の特性

今後、直流可変速の技術の中心となる可能性もある。

この新技術の一環として主軸直結駆動をねらいとした直流可変速装置を以下に説明するが、これは工作機主軸用として最も適した定出力特性広域変速比の性能が得られるものである。

図9. にこの装置の特性図を示すが、速度 N_1 から N_3 までは定出力変速範囲であり、 N_1 から N_2 までの間は速度の上昇とともに電機子電圧が比例して増加し、最大電機子電流は減少する。 N_2 から N_3 までの間は電機子電流は一定で、界磁電流だけが速度と反比例して減少する。

このように、電機子制御、界磁制御及び最大電機子電流制御を組合せ使用すること（特許申請中）により、定出力変速範囲を広げることがこの装置のねらいである。次に、表3. にこの装置の標準的な仕様を示すが、モータのわく（極）番を1わく程度大きくするだけで変速比を大幅に増加できることがわかる。

表 3. 主軸用直流可変速の仕様一覧

定出力 範 囲	出 力 (kW)	電機子 電 圧 (V)	回 転 数 (rpm) 定トルク範囲/ 定出力範囲	わ く 番			備 考 定出力(1:3) のわく番
				連 続 (防滴他 力通風)	1 h (防滴自 己通風)	1/2h (全閉 自冷)	
1:6	5.5	220	25~600/3,600	180 L	180 LS	160 L	160 L
	7.5		25~600/3,600				
	11		25~500/3,000				
	15		25~450/2,700				
1:4.5	11	220	25~756/3,400	180 LS	200 LS	180 LS	180 LS
	15		25~667/3,000				
	22		25~600/2,700				
1:3.5	22	440	25~772/2,700	225 L	250 MS	—	—
	30		25~686/2,400				
	37		25~686/2,400				

3. ダイレクトドライブ モートルとその制御

最近の工作機械においては、送り精度の向上、機構および保守の簡略化のため、従来のギヤドライブの送り機構からギヤを省略して、送りボールねじに、電動機を直結させ駆動しようとする傾向がある。(図 10. 参照) この工作機送りの直結駆動用直流サーボモートルとして当社で開発し、数値制御装置「MELDAS シリーズ」に使用している HD モートルについて紹介する。

3.1 《HD モートル》

HD モートルとは、High Torque Low Speed Direct Drive Motor より名付けた当社の商品名であり、次のような特長がある。

(1) 制御性がすぐれている。

HD モートルは加速性と応答性にすぐれている。加速性については、加速度は次式に示すように、高加速度を得るには、大きなトルク/イナーシャ比を得る必要がある。

$$\text{加速度 (radians/sec}^2\text{)} = \frac{\text{ピークトルク (kg-cm)}}{\text{総合イナーシャ (kg-cm} \cdot \text{sec}^2\text{)}}$$

HD モートルは界磁に高性能永久磁石を使用し、電機子反作用の影響を小さく押さえてあるので、定格の 10 倍のピークトルク、及びピーク電流に対しても磁石の減磁は皆無であり、高イナーシャであるが高いピークトルクにより、高加速性を有している。また、応答性については、一般に電機子インダクタンスは次の関係で示される。

$$L \propto \frac{E}{N \times I \times P} \quad L: \text{電機子インダクタンス} \quad E: \text{定格電機子電圧}$$

N : 定格回転速度 I : 定格電機子電流 P : 極数

HD モートルは極数を多くするとともに、定格電機子電圧を低くして電機子インダクタンスを小さくしており、この結果電氣的時定数が小さく、また、高性能永久磁石の使用により、誘起電圧定数及びトルク定数を大きくして機械的時定数も小さくしてあるので、高応答性を持っている。

(2) 直結駆動ができる。

多極構造のためトルクリップルが小さく低速時においても平滑な運転ができ、またトルクスピード特性は図 11. に示すように、低速回転・高トルク、高速回転・低トルクの定出力特性であり、工作機械の負荷特性にマッチしており、直結駆動が可能である。また、ギヤレス直結駆動方式とすることにより、次のような効果が期待できる。

(a) ギヤの省略により、バックラッシュによる不感帯を除去でき、高い精度が得られる。

(b) ギヤの騒音や衝撃が除去でき、非常にスムーズな加減速制御

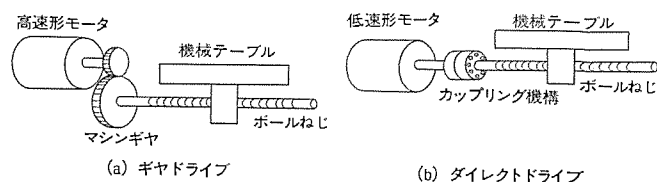


図 10. 工作機械の駆動方式

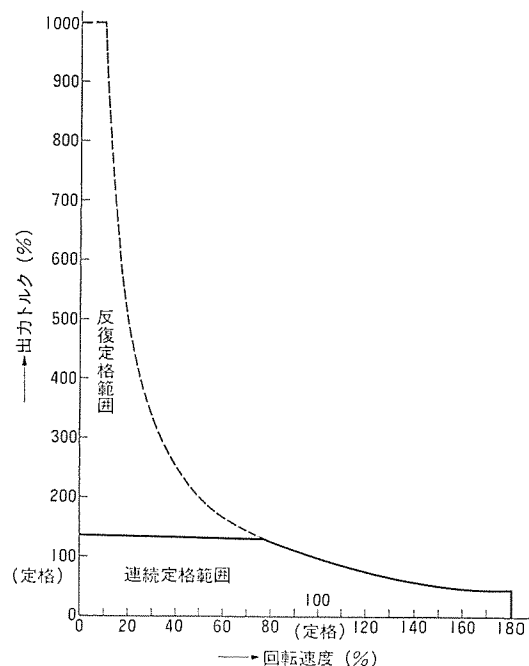


図 11. HD モートル トルクスピード 特性

が得られるため、例えば早送り速度 10 m/min で加減速時定数を数十 ms という高速、高加速度も可能である。

(c) 機構が簡略化でき、保守が容易となり、信頼性が高まり、トータルコストが安くなる。

(d) 負荷イナーシャに比べて、モートルイナーシャが大きい安定性が良く、高い速度ルーパゲインがとれ、サーボ剛性が大きくできる。また、負荷イナーシャの影響が小さいので、小形機から大形機までサーボ系の再調整を必要としない。

(3) 過負荷耐量が多い。

高イナーシャであるため熱容量が大きく、過負荷耐量が多い。このため厳しい反復運転や短時間過負荷運転にも十分使用できる。したがって、重切削時に定格の 200~300% の高推力を必要とするマシニングセンタ、フライス盤、旋盤などに最適である。

(4) サリスタ電源駆動で良好な運転特性を持つ。

整流については、電機子電圧を低くすることにより、整流子片間電圧及びリアクタンス電圧を低く押さえ、更に、適切なブラシ材質を選定して、高い整流性能を持たせており、また、温度上昇の面でも高い冷却効果を持たせて、サリスタ電源駆動時の脈動電流に対しても、トルク低減することなく定格出力で使用できる。

(5) 小形軽量で取付けが容易である。

多極及び永久磁石構造のため、効率高く、小形軽量である。また、フランジ取付構造のため、取付けが簡単であり、全閉構造のためじんあいの多い場所でも使用できる。

図 12. に 1.5 kW, HD モートルの外観を示し、表 4. に特性を示す。

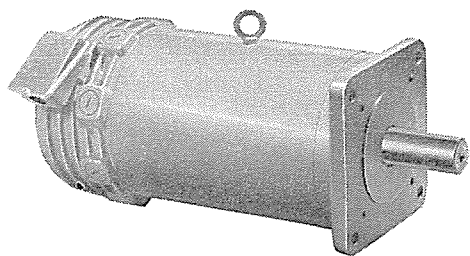


図 12. 1.5 kW HD モートル 外観

表 4. HD モートル の定格及び仕様

定 格 出 力 (kW)	0.75	1.5	2.2
定 格 ト ル ク (kg-cm)	73	146	214
定 格 回 転 速 度 (rpm)	1,000	1,000	1,000
定 格 電 圧 (V)	63	83	120
定 格 電 流 (A)	15	22	22
瞬時最大トルク (kg-cm)	730	1,460	2,140
瞬時最大電流 (A)	150	220	220
最高回転速度 (rpm)	1,800	1,800	1,800
電機子イナーシャ (kg-cm s ²)	0.20	0.34	0.47
機 械 的 時 定 数 (ms)	17.6	11.7	11.2
電 気 的 時 定 数 (ms)	4.0	4.8	5.0
熱 的 時 定 数 (min)	110	120	130
定 格	連 続	連 続	連 続
界 磁 構 造	永久磁石	永久磁石	永久磁石
保 護 形 式	全閉自冷	全閉自冷	全閉自冷
重 量 (kg)	24	35	46.5

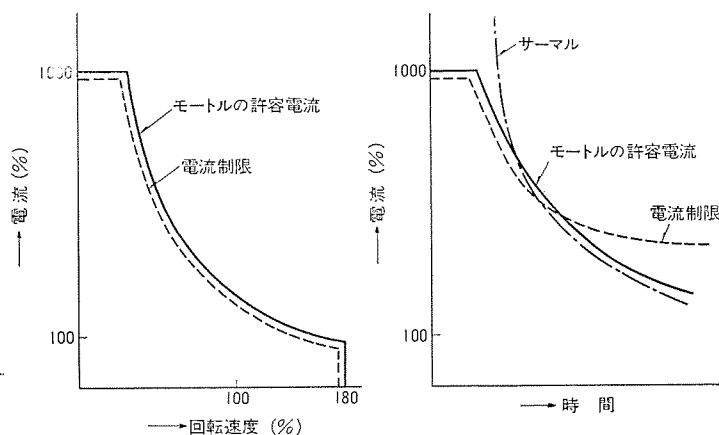
3. 2 HD モートルの制御装置

HD モートル は、前述のように一般工業用の直流電動機とはかなり異なった特長を有しているが、本質的には工業用直流電動機と同じであり、独特の制御方式があるわけではなく、2. 1 項で述べた制御方式の界磁制御以外ならどれでも制御することが可能である。しかし、一般的には、HD モートル のようなダイレクトドライブモートル は、NC 装置とか、ならい装置の位置 サーボ 用として使用されるので、単相全波可逆方式、三相半波可逆方式、及び三相全波可逆方式が使用され、更に制御性能面でも、HD モートル の性能をフルに発揮できるよう、過電流耐量を1,000 %、1～2秒というように大きくとり、各演算増幅器の周波数特性も一般工業用の3～5倍に高くとっている。

上述のような装置を使用すればモートルの持つ性能を発揮するのは十分であるが、実用面において、過電流によるモートルの電機子巻線の焼損、整流子の荒損、及び界磁磁石の減磁に対する保護を十分考慮する必要がある。

HD モートル では、図 10. に示すように低速域では発熱により、また、高速域では整流により、許容電流が決定されており、整流特性上は定出力、すなわち、速度が大きくなるほど許容電流は小さくなり、発熱に関しては許容電流は反限時特性を有する。したがって、図 13. (a)に示すように速度と反比例関係にある電流制限と、(b)に示すように時間と反比例関係にある電流制限の併用が必要となる。

HD モートル は開発当初よりこれらの保護協調技術を研究し、モートル容量と用途により異なるが、表 5. に示す方法の組合せにより、より完全な保護方式をとらう。電機子巻線の焼損に対しては原理



(a) 整流子及び磁石の保護協調 (b) 電機子巻線の保護協調

図 13. HD モートル の保護協調

表 5. HD モートル の保護

保 護 の 対 象	保 護 の 方 法 ・ 器 具
電機子巻線の焼損	・ サーマルリレー ・ 反限時特性を有する電流制限回路
整流子の荒損	・ 速度により変化する電流制限回路
磁石の減磁	・ ピーク電流を抑制する電流制限回路 ・ 限流リアクトル ・ 限流抵抗

的には反限時特性を有する電流制限回路で保護できるが、長時間領域に至るまで保護特性を得るのは困難であるので短時間領域を重点的に保護し、サーマルリレーの併用により長時間領域を保護することになる。(図 13. (b)参照)。HD モートルの整流の面からすれば瞬時過電流は図 13. (a)に示すような速度と反比例関係で動作する電流制限回路により電流値を制限することにより整流子を保護でき、同時に、界磁磁石の減磁の保護もできる。なお、瞬時過電流を制限するには電流マイナーループの動作を確実にする必要があるが、これは制御系を複雑とするため、小容量では瞬時過電流は限流リアクトル、又は、限流抵抗により制限することもある。

以上述べたように、HD モートルの制御装置としては、電流マイナーループ、又は、それと等価なものが不可欠であると言える。

4. む す び

以上述べたように、最近、機械の高級化に伴い、工作機械分野に高性能の可変速装置が必要となってきたが、直流可変速の価格低減に対する要求も厳しく、一方、ギヤ変速などの機械部品も含めて価格性能比を改善向上する意味で、性能(応答性、精度など)向上に対する要求も強い。このように従来、産業機械のライン制御で主として発達した直流可変速の技術は工作機械分野にその中心が移りつつあるといえる。

当社では、過去の技術を生かしながら積極的にこの新分野での新技術確立に取り組んでいる。

交流電動機のインバータによる周波数制御

宮崎 治*・杉本英彦*・長南克彦*・横山隆一*・田中一彦*

1. ま え が き

サイリスタ、トランジスタなど電力用半導体及び IC など制御用半導体の進歩はパワーエレクトロニクスの分野を著しく発達させ、サイリスタやトランジスタを用いたインバータも広範囲に実用されている。当社においても可変電圧可変周波数インバータ（商品名 DIAHERTZER, 以下 DH と略す）を開発してから 10 年余を経て、製作台数約 1,500 台、総容量にして約 20 MVA の実績をあげ、この実績を十二分に生かして 5 ～ 100 kVA の標準シリーズ化を完成した。

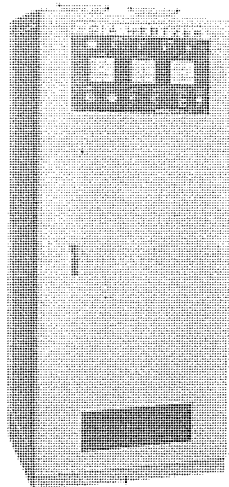
交流電動機は電源周波数を制御して速度制御するのが効率、力率、制御性が最も良い。構造が簡単で保守が容易な交流電動機に対する速度制御の要求が増大するとともに、可変電圧可変周波数インバータによる交流電動機は速度制御を適用する分野は著しく拡大している。

インバータの需要が拡大し各方面に導入された現在では、用途に応じて最も適したインバータを使いわけることができた。したがって DIAHERTZER にも電圧形インバータ(DH-V)、電流形インバータ(DH-C) トランジスタ式インバータ(DH-T) などがあり、その特長を生かして用途によって使いわけようとしている。

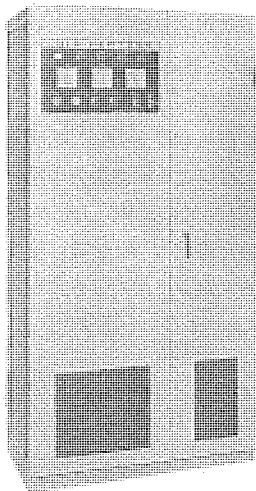
以下 DIAHERTZER の基本原理、各インバータ方式の得失、インバータ駆動される電動機の得失などについて述べる。

2. インバータによる周波数制御の原理と特長

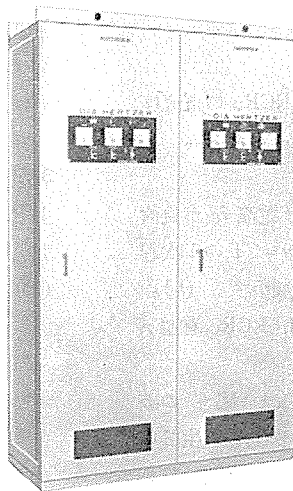
交流電動機は本質的に電源周波数 f と極数 P とで決まる同期速度を中心に回転するものであるため、可変周波数電源を用いて速度制御を行うのが最も理想的である。交流電動機の同期回転数 N_0 は $N_0 = 120f/P$ で与えられ、インバータによる速度制御は周波数 f を変化させることにより回転数を変化させるものであることはいうまでもない。



(a) DH-V 125



(b) DH-V 500



(c) DH-C 125×2

図 1. DIAHERTZER

また誘導電動機のトルク T は

$$T = K(v/f)^2$$

で示されるので本質的には v/f を一定に保ちながら周波数を変えると、ほぼトルク一定制御が可能であるが、実際は、周波数を下げると、電動機の 1 次抵抗による電圧降下の影響が大きくなり、トルクが低下する。したがって低周波領域では、 v/f を少し大きくして、トルクを発生させている。

インバータによる交流電動機の可変速運転は次のような特長をもっている。

- (1) 駆動電動機として、ブラシのない交流電動機を利用できるので保守が不用である。
- (2) 転流回路は当社開発による、新転流方式を採用しているため、小形、高効率であり、高周波化が可能である。
- (3) 高精度の速度制御が可能である。出力周波数精度は、それを制御する、発振器の精度によって決まり、駆動電動機に同期電動機⁽¹⁾を用いれば、速度変動率は負荷変動に関係なく、高精度の可変速運転が可能である。

- (4) 当社のインバータは、前面のみで内部の保守点検が可能であり、盤裏面は壁面につけて設置できるため、据付スペースが小さくてよい。

インバータは、電圧形インバータと電流形インバータに大別される。電圧形インバータは、負荷に関係なく出力電圧が一定しており制御性が優れているため同期電動機の運転、特に群制御に適している。電流形インバータは、主回路に直流リアクトルを有するため、内部インピーダンスが高く、負荷短絡などに対し保護しやすく、また帰還ダイオードを有しないため、電力の回生が容易にでき、急加速、急減速がひんぱんに行われるような用途に適している。

3. 電圧形インバータ (DH-V)

DIAHERTZER-V は、当社で開発した転流用変流器を用いた高性能転流法 (Transfer Current Commutation, 略して TC 転流法と称す) を採用している。TC 転流法は負荷電流経路と転流コンデンサ放電経路が転流用変流器で磁気結合され、コンデンサ電流が負荷電流により制御されることが特長である。

このように、転流時に必要以上の余分な電流を極力抑さえ、コンデンサが持つ電荷の有効利用を極限まで高めているため、従来の転流法に比べ転流コンデンサの容量を数分の一にすることができる。この結果、転流時の回路損失は少なく、極めて高効率である。また、TC 転流法を用いることにより、従来サイリスタ式では実用上困難とされていた高周波域 (2 kHz 以上) での転流動作が可能となった。

表 1. DH-V 標準シリーズの主な仕様

形 式		DH-V 50	DH-V 125	DH-V 250	DH-V 500	DH-V 750	DH-V1000
入 力 電 源		三相 200 V±10% 50/60 Hz 220 V±10% 60 Hz				三相 400 V±10% 50/60 Hz 440 V±10% 60 Hz	
瞬 時 電 圧 降 下		補償あり 50% 1 s					
瞬 時 停 電		補償あり 60 ms					
出 力	容量 (kVA)	5	12.5	25	50	75	100
	電流 (A)	15	37	73	145	109	145
	電圧 (V)	三相 200					三相 400
過 負 荷 耐 量		200% 30 s (150% 1 min)					
周 波 数 上 限		250 Hz, 500 Hz					
周 波 数 精 度		最高周波数に対し ±0.1%/±10°C					
電 圧 / 周 波 数		定トルク範囲で一定 (補正可)					
出 力 電 圧 変 動 率		± 5 % (10~100% 負荷変動)					
負 荷 力 率		0~0.9 (遅れ)					
周 囲 温 度		0~40°C					
盤 寸 法 (mm) (600 D 共通)		700 W × 1600 H	700 W × 1600 H	800 W × 1900 H	1000 W × 1900 H	1400 W × 1900 H	1400 W × 1900 H

$$\left[\begin{array}{l} V = v_c / E_c \quad I = i_c / I_0 \quad \tau = t / \sqrt{LC} \\ Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad Y = \frac{I_0}{E_c} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \varepsilon = E_d / E_c \end{array} \right] \dots (2)$$

転流モードⅢ b の終了時には $i_c = 0$ であることから式(1)を解き、
転流モードⅢ b 終了後のコンデンサ電圧 V_4 は次のようになる。

$$V_4 = V_3 + \varepsilon + Y / Q \dots (3)$$

ただし V_3 は転流モードⅢ b の初期値

V_4 は ε と Y によりその量は変化する。この V_4 の電圧値は転流能力に大きく影響するため、 ε と Y の値を最適に設計することにより、過負荷時における十分な転流能力を確保することができる。

3.3 仕様

表 1. に当社の電圧形インバータ DIAHERTZER-V の仕様を示す。

4. 電流形インバータ (DH-C)

4.1 特長

誘導電動機に対する加減速制御性の良い速度制御の要求は増大しており、当社ではこれに答えるもののひとつとして電流形インバータを開発製作し、DIAHERTZER-C と呼んでいる。この電流形インバータは

(1) 電流制御が簡単にできるので負荷短絡などの過酷な使用に対しても装置の安定な動作を保障できる。

(2) 簡単な主回路構成で回生ができる。

などの利点のほかに当社が開発した独自の転流方式 (特許出願中) により

(3) 上限周波数が高く、標準シリーズの最大周波数は 250 Hz である。

(4) 安定性の向上を図ることができるので、安定性確保のためのダミー負荷は不要である⁽³⁾。

などの利点を有している。

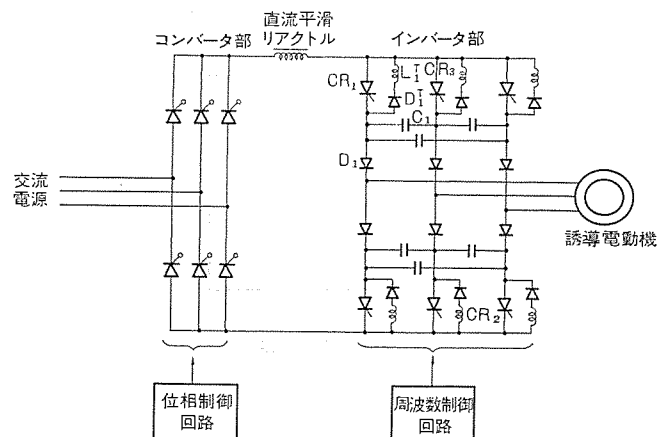


図 6. DH-C の主回路図

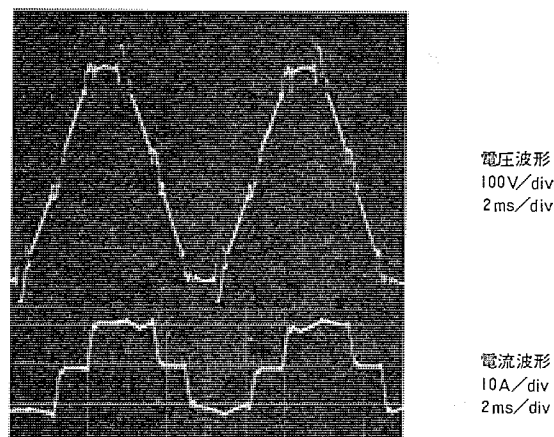


図 7. 電動機の電圧、電流波形

4.2 回路構成と動作

当社の電流形インバータの主回路を図 6. に示す。この図においてコンバータ部は位相制御回路に接続されており、誘導電動機の 1 次巻線端子電圧あるいは 1 次巻線電流を制御し、インバータ部は周波数制御回路に接続され誘導電動機への供給周波数を制御している。コンバータ部とインバータ部を接続する直流平滑リアクトルは電流を平滑し、これが電流形インバータにおける電流制御を容易にしている。インバータ部は電圧形インバータと異なり、サイリスタは 120 度導電であり、また無効電力処理のための帰還ダイオードをもっていない。したがって、先に述べた直流平滑リアクトルの作用と相まって誘導電動機の 1 次巻線電流は図 7. に示すように (矩) 形波となる。このため電流の高調波含有率は低く誘導電動機の効率低下は少ない。帰還ダイオードをもっていないことはインバータ部の動作周波数を下げて誘導電動機が発電領域にはいると、1 次巻線の電流は電圧に対して 90 度以上の遅れとなり、直流電圧を反転させるので、それに合わせてコンバータ部の制御をすれば特別な回路なしで電力回生することができる。このことは図 8. に示す誘導電動機の 4 象限運転を可能にし、力行、回生制動、逆転というような動特性を優れたものにすることができる。

図 9. はインバータ部の転流動作を示すものである。

(1) 転流開始前 (図 9. (a))

サイリスタ CR_1 , CR_2 が導通しており、電流 I_d は誘導電動機の U 相、W 相の巻線に流れている。このとき転流コンデンサ C_1 は図示の極性に E の大きさに充電されている。

(2) 転流モード I (図 9. (b))

サイリスタ CR_3 にゲート信号を与えると転流コンデンサ C_1 の放電が始ま

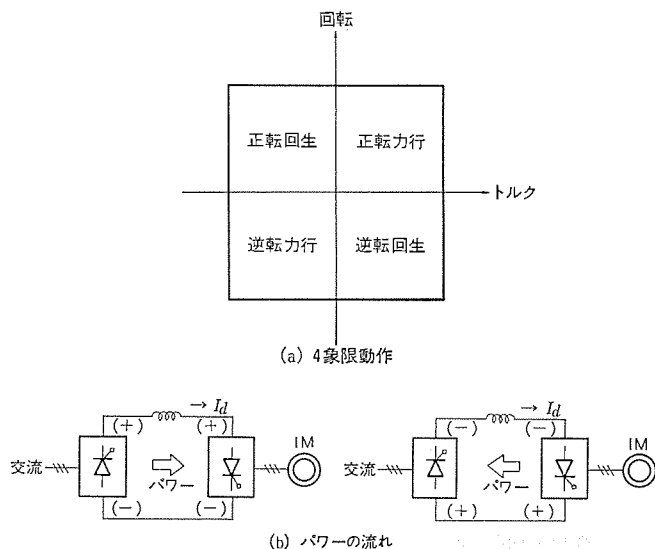


図 8. 4 象限運転時の動作とパワーの流れ

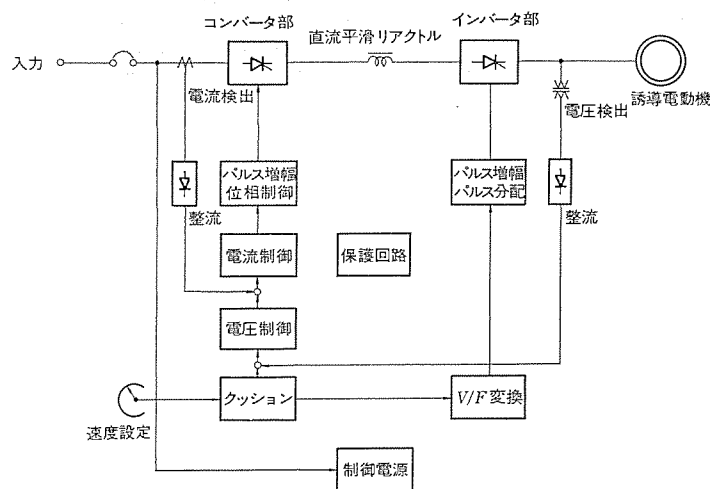


図 10. 電圧制御付速度制御系の構成

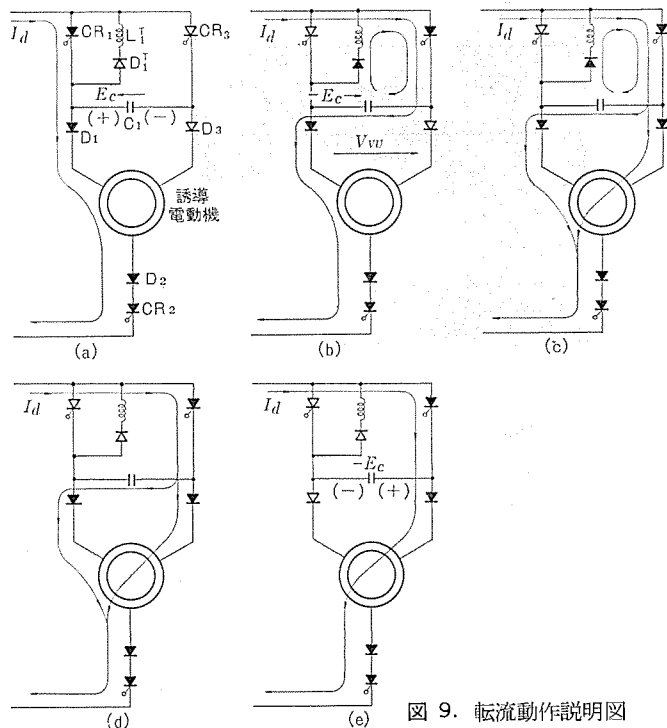


図 9. 転流動作説明図

るが、この放電電流はサイリスタ CR_1 に流れていた電流 I_d にほとんどすぐに等しくなり CR_1 はただちにオフする。この時点では転流コンデンサ C_1 の電圧はほとんど変化しておらず C_1 を通じて電動機の U 相には電流 I_d が流れ続けるが、 C_1 の電流はサイリスタ CR_1 に逆並列に接続された転流ダイオード D_1^T と転流リアクトル L_1^T にも流れる。このため転流コンデンサ C_1 の極性は急速に反転するので、この期間は電動機端子電圧 $V_{vu} > -E_c$ の条件下で持続するが非常に短い。なお、サイリスタ CR_1 の逆バイアス時間は転流コンデンサ C_1 の電圧が零になるまでの時間で

$$t = \sqrt{\frac{3}{2}LC} \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{\frac{2}{3} \frac{L}{C} \frac{I_d^2}{E^2} + 1}}$$

となる。

(3) 転流モード II (図 9. (c))

電動機端子電圧 V_{vu} よりも転流コンデンサ C_1 の電圧 $-E_c$ が大きくなると直列ダイオード D_3 が導通を始め、電動機の U 相電流は減少し始

め、V 相電流は増加する。このとき、転流リアクトル L_1^T の電流は減少しながらまだ流れている。

(4) 転流モード III (図 9. (d))

転流リアクトル L_1^T の電流は零となるが電動機の U 相電流は減少しつつもまだ流れ続け、転流コンデンサ C_1 は更に充電される。この電流が零になった時点で直列ダイオード D_1 はオフとなり、V 相への転流を完了する。

(5) 転流完了後 (図 9. (e))

電流 I_d は電動機の V 相及び U 相の巻線を介して流れ、転流コンデンサ C_1 は転流直前とは逆の極性に充電されている。

転流動作のあらましは以上ようであるが先に述べた転流ダイオードと転流リアクトルの動作によって転流時間をこれがない従来のものに比べ数分の一にすることができ、また誘導電動機のすべりが転流時間に与える影響を少なくすることができたので上限周波数が向上し、安定性も著しく向上した。

4. 3 制御方式

電流形インバータの制御方式としては

(1) 電圧形インバータと同様、誘導電動機の 1 次巻線の誘起電圧と供給周波数との比、近似的には 1 次巻線端子電圧と供給周波数との比すなわち V/F を一定に保ちながら 1 次巻線端子電圧と供給周波数を制御する方式

(2) 誘導電動機の回転子に速度発電機をつけ、すべり周波数を検出し、それが所定の範囲内にはいるように供給周波数と 1 次巻線電流を制御する方式

の二つが代表的である。前者は従来、安定性があまり良くないため急加減速を要する用途、負荷変動が大きい用途には向かないと言われていたが、当社では先に述べたように安定性の向上を図った結果これらの用途にも十分耐えることができることが判明した。後者は速度発電機付きのため誘導電動機を運転するにもかかわらず速度精度が良いのが特長である。一例として図 10. に前者の場合のブロック図を示す。

インバータで誘導電動機を運転する場合、インバータの機能はいうまでもなく、異常時に対する保護も重要である。電流形インバータにおいては再生制動中の停電に対する保護が必要であり、停電を検出した場合、インバータ部のゲートブロックを行い、転流動作を中止し、転流コンデンサ及び各サイリスタに印加される電圧の異常上昇を防ぎインバータ

表 2. DH-C 標準シリーズの主な仕様

形 式		DH-C 50	DH-C 125	DH-C 250	DH-C 500	DH-C 750	DH-C 1000
入 力 電 源		三相 200 V ±10% 50/60 Hz 220 V ±10% 60 Hz				三相 400 V ±10% 50/60 Hz 440 V ±10% 60 Hz	
瞬 時 電 圧 降 下		補償あり 50% 1 s					
瞬 時 停 電		補償あり 60 ms					
出 力	容量 (kVA)	5	12.5	25	50	75	100
	電流 (A)	15	37	73	145	109	145
	電圧 (V)	三相 200				三相 400	
過 負 荷 耐 量		200% 30 s (150% 1 min)					
周 波 数 上 限		250 Hz					
周 波 数 精 度		最高周波数に対し ±0.1%/±10℃					
電 圧 / 周 波 数		定トルク範囲で一定 (補正可)					
出力電圧変動率		± 5 % (10~100% 負荷変動)					
負 荷 力 率		0~0.9 (遅れ)					
周 囲 温 度		0~40℃					

を保護している (特許出願中)。

4.4 仕様

表 2. に当社の電流形インバータ DIAHERTZER-C の仕様を示す。

5. インバータで駆動されるモートルの特性

5.1 インバータ波形による影響

交流電動機をインバータで駆動した場合、電圧及び電流波形の中に高調波分を含んでいるために、正弦波電源で駆動した場合に比べて、効率、力率、トルクなどの特性が低下する。

効率、力率は図 11. に示すように正弦波電源のものに比べて数% 低下する。

トルクは、電源周波数の 6 の倍数の高調波分を含み、電源周波数が高いときは高調波成分が電動機の内部インピーダンスに吸収されトルクの脈動が小さくなる。またトルク脈動の周期が短いので回転体の慣性に吸収され問題となることは少ない。電源周波数が低いときは吸収されないために、回転振動が現れるので、低速機への適用には問題がある。

更にトルクの脈動は振動・騒音の源となるので運転パターン、用途を考えて適用範囲の決定、及び電動機構造強度の検討を行う必要が

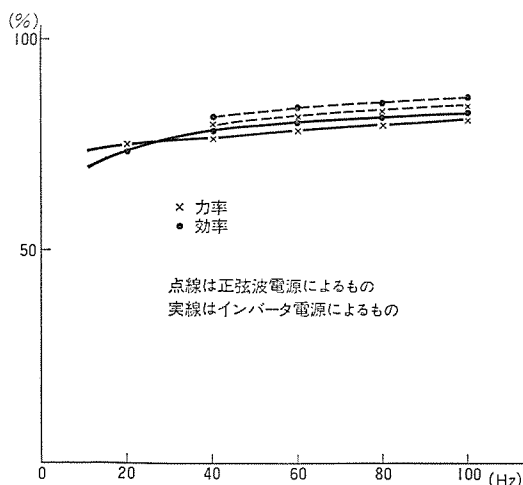


図 11. 電動機特性

ある。図 12. に低速域での脈動トルクを示す。図 13. には周波数—振動特性を示す。

図 14. に電流形インバータによる誘導電動機の運転特性例を示す。

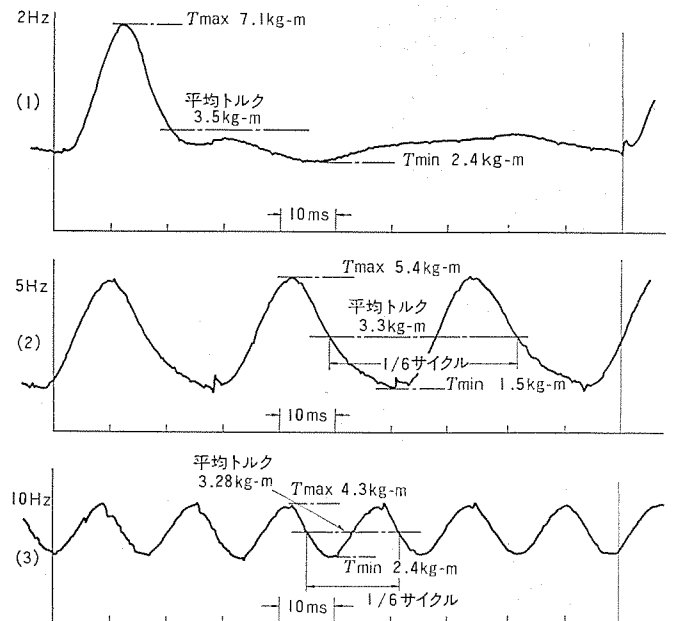


図 12. トルク波形 (5.15 kW 4 P)

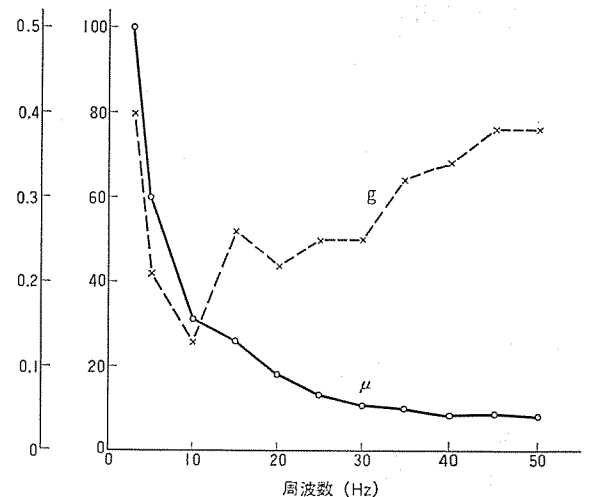


図 13. 周波数—振動

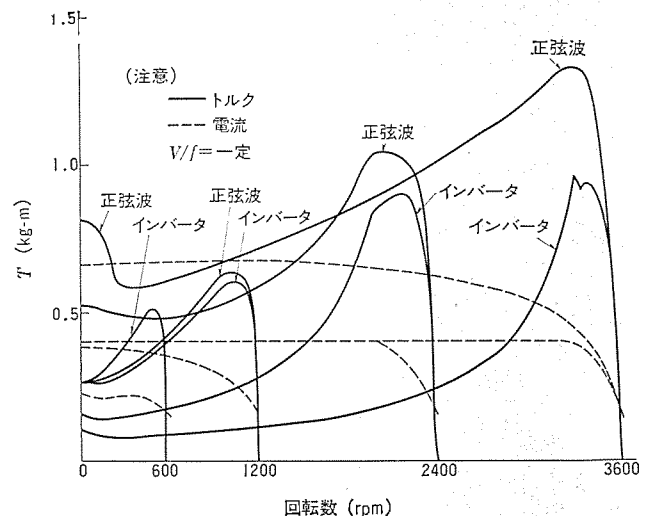


図 14. スピード—トルク 曲線

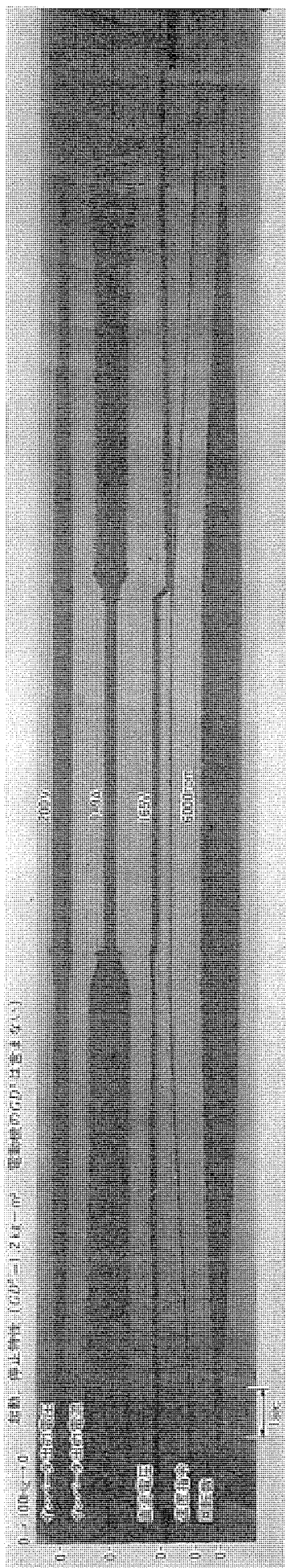


図 15. 電動機運転特性

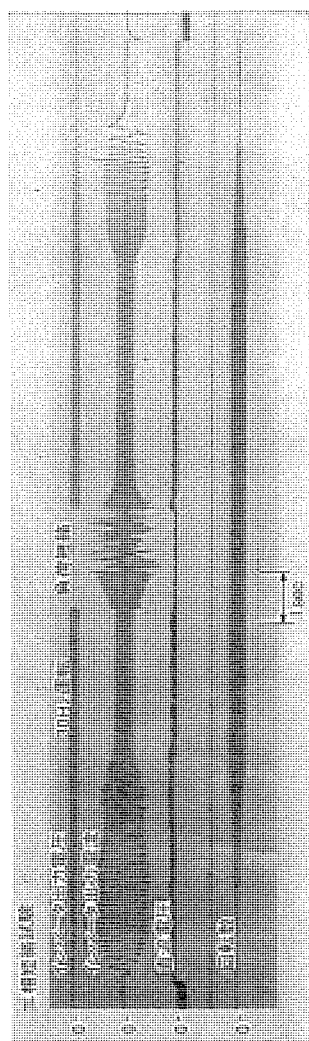


図 16. DH-C の特殊試験

供試機として誘導電動機 3.7 kW, 2 P, 200 V, 100 Hz を使って各種電源によるトルク、電流一回転数の変化を測定した結果を示す。正弦波電源による場合とインバータ電源による場合について比較している。インバータによるものは電流制限のために高い周波数で始動する場合、すべりが大きい範囲でトルクが著しく小さくなっている。図 15. は始動停止時における電動機の追従特性を示しており、直線加減速指令により最高回転数まで加減速し、最終制動に直流制動を適用した例である。図 16. は電動機の入力側を非常に短い時間短絡したときの特性を示しており、電動機運転中に瞬時短絡現象が起ってもインバータ、電動機ともに異常のないことを示している。

5. 2 インバータ用電動機の留意点

以上述べたとおり、電動機に要求されることは多々あるが経済性も同時に考えなければならない。

まず、トルクの脈動、振動、騒音については電動機の GD^2 の増加、構造の強度アップ、電動機の極数を大として低周波数の使用を避ける、回路定数の変更などがあるが電源側としても、高調波分を減らす回路構成を選ぶ必要がある。特性の向上についても、効率、力率が直接インバータ電源の容量選定に結びつくものであるため、使用材料の高級化、増量化、磁気回路の飽和の程度を十分に検討する必要がある。また冷却の問題として、出力に寄与しない高調波分による温度上昇、低速回転時の冷却効果の低減、を考慮して電動機わく番のアップ、強制通風ファンの設置などを考える必要がある。また安定性の問題としては回路定数の適切化、固定子抵抗の減少、回転子抵抗の増大、あるいはダンピングファクタの増大、などの処置を行う必要がある。いずれにしろ、用途、負荷条件、電源制御系との協調を考えた総合的な見地から最適な電動機とすることが必要である。

6. む す び

以上、インバータによる交流電動機の変速運転について、種々述べた。交流電動機は低廉かつ小形、堅ろうである上に、周波数を変えて速度を変えるという基本的原理に基いて制御しているので、オープンループ制御でありながら非常に安定であり、用途はますます広がると思われる。

電圧形インバータはせん速運転などの群制御に適しており、電流形インバータは回生制動が容易であるため、ひんばんな加減速運転に特に適している。

今後インバータの改良及びソフトウェアの充実を計り、交流電動機の変速制御装置として、より多く実用されるように努力する所存である。

参 考 文 献

- (1) 柳沢：三菱電機技報, 47, No. 4, 424 (昭 48)
- (2) 赤松ほか：三菱電機技報, 47, No. 3, 321 (昭 48)
- (3) 常広ほか：電学誌, 49-B 1, 1 (昭 49)

三菱ESモータ

栗田 静夫*・茵田 幸男*・川口 和孝*

1. ま え が き

三菱 ES モータは、巻線形誘導電動機とサイリスタ電力変換装置からなる交流可変速電動機の商品名である。(Easy Sliprecovery motor)

誘導電動機は構造が簡単で保守が容易なため広く利用されているが、速度制御をするため 2 次抵抗制御すると、すべりに比例した 2 次損を発生し、低速になるに従い運転効率が低下し、速度変動率が大きく、速度制御性が悪いなどの欠点をもっている。

当社は、この 2 次抵抗制御方式のもつ欠点を解消する方式としてレクチフロードライブ、静止セルブス装置及び SS 形サイリスタモータ(超同期静止セルブス)を開発し、多数の納入実績を有し好評を得てきた。

ES モータは、これらの方式を中小容量の電動機にも適用するため、回路構成を検討し、簡易な構成で 2 次損を電源に返還し広い速度範囲において高効率で安定した運転ができるようにしたもので、次の特長をもっている。

- (1) 広い速度範囲にわたって高効率の運転を行い、したがって電力費が安価である(省エネルギー)。
- (2) 制御素子に IC を採用しているため速度精度が高い。
- (3) つまみ一つで無段階に速度設定ができる。
- (4) 0 速度からのクッションスタートができる。
- (5) 電動機本体は、巻線形誘導電動機であり保守が割合容易である。
- (6) 制御盤は静止化されており保守が簡単である。
- (7) 制御盤の部品及び回路を検討し、効果

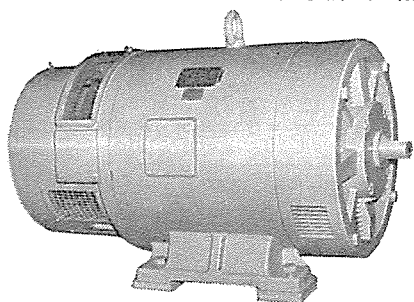


図 1. ES モータ 外観

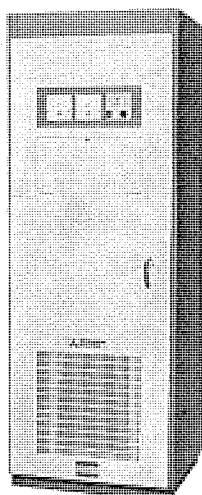


図 2. ES モータ 制御盤

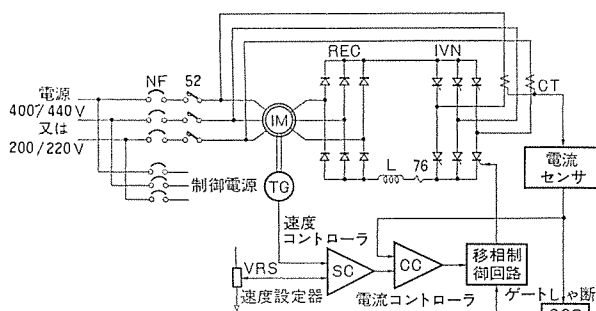


図 3. ES モータの制御系統図

的な風冷構造を採用したため、据付面積が少なくてよい。

(8) オプションを追加することによって各種の応用制御ができる。既に 10 数台を製作納入し(うち 2 台は輸出)好結果を得ている。

2. 原 理

ES モータは図 3. に示すように、負荷を駆動する巻線形誘導電動機と制御盤から構成され、制御盤は誘導電動機の 2 次側に接続されたシリコン整流器、直流リアクトル、サイリスタインバータ、及びその制御装置、コンベクションスタータより成っている。

誘導電動機の 2 次電圧は、そのすべりに比例して変化するから、この整流後の直流電圧(平均値)は図 4. の E_d のように直線的に変化する。

$$E_d = (3\sqrt{2}/\pi) E_{20} S = 1.35 E_{20} S \quad (1)$$

$$S = \frac{N_s - N}{N_s} \quad (2)$$

ただし E_{20} : 2 次開放電圧 S : すべり

N_s : 同期速度 N : 回転数

一方、サイリスタインバータの直流側電圧(平均値) E_i は、次の式で示される。

$$E_i = -1.35 E_s \cos \alpha \quad (3)$$

ただし E_s : 電源電圧 α : サイリスタの制御おくれ角

図 5. はサイリスタインバータ直流電圧 E_i と制御おくれ角 α との関係を示す。 α が $90^\circ \sim 180^\circ$ の範囲では整流器の出力電圧 E_d に逆らう電圧を発生し、直流電力を交流電力に変換するインバータとして動作する。

誘導電動機のトルク τ は電源電圧が一定とすると 2 次電流 I_2 に比例する。

$$\tau = K I_2 \quad (4)$$

直流リアクトルに流れる電流 I_d は整流器の転流重なり角を無視すれば

$$I_d = \sqrt{3}/\sqrt{2} I_2 = 1.22 I_2 \quad (5)$$

2 次回路インピーダンスを z とすると次の式が成り立つ。

$$I_d = \frac{E_d - E_i}{z} \quad (6)$$

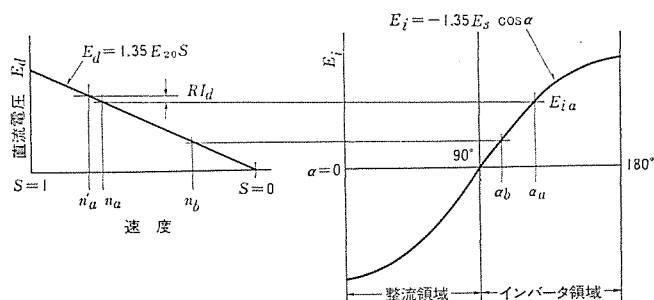


図 4. ES モータの速度 - 電圧関係

図 5. インバータ直流電圧(E_i)と制御おくれ角(α)の関係

以上の式で示されるようにサイリスタインバータの制御おくれ角 α を制御することにより誘導電動機のトルクを制御し、回転数を制御することができる。

図5.においてインバータの逆電圧が E_{ia} であるとする。電動機速度 N_a 以下では $E_a < E_{ia}$ となり電動機2次に電流が流れず、したがってトルクは発生しないから電動機は減速する。速度が N_a 以下になると $E_a > E_{ia}$ となり式(6)で示す電流が流れ出し、速度が低下するほど大きな電流が流れるから発生トルクも増大し負荷トルクに見合う点でおちつく。一般に2次回路インピーダンスは小さいから速度変動は少なく、いわゆる分巻特性を示すが自動速度制御装置で α を自動制御し高精度の速度制御を行っている。

3. 特性

3.1 入力・出力・総合効率

誘導電動機をすべり S で運転すれば、2次入力 P_2 のうち機械的出力 P_m となるのは

$$P_m = (1-S)P_2 \quad (7)$$

で残りのすべりに比例した

$$P_{20} = SP_2 \quad (8)$$

は2次出力となる。2次抵抗制御の場合 P_{20} のすべてが損失となるが、ESモータでは、電動機2次損失及び整流器、直流リアクトル、サイリスタインバータで発生する損失を P_{l2} とすると

$$P_r = P_{20} - P_{l2} \quad (9)$$

が電源に回収される。したがって P_1 を電動機1次入力すると総合効率 η_t は、

$$\eta_t = P_m / (P_1 - P_r) \quad (10)$$

図6.は、電力の流れを図式化したものである。

図7.は、実測例を示す。

3.2 総合力率

電動機2次に整流器を接続するため2次電流波形は、く形波となり、高調波を含むことになる。それに加えて転流重なり角のため、2次力率がわずかに低下し、同一トルクを発生するための2次電流は抵抗制御の場合の約1.1倍になる。したがって電動機1次の力率が若干低下する。サイリスタインバータに流れる電流は電源に対し α の位相差があるため $\sin \alpha$ に比例した無効電力を生じる。その結果、総合力率はかなり低下するが、進相コンデンサを追加することにより改善することができる。

$$\cos \theta = \frac{P_1 - P_r}{\sqrt{(P_1 - P_r)^2 + (Q_1 + Q_r - Q_c)^2}} \quad (11)$$

ただし P_1 : 1次入力 P_r : 返還電力

Q_1 : 1次無効電力 Q_r : インバータ無効電力

Q_c : 進相コンデンサ容量

4. 制御方式

4.1 起動

コンタクト52を投入し、その後サイリスタインバータに点弧信号を加えるが、コンタクト投入前には α が最大になるように設定されているのでショックなく動作状態にはいり速度設定器で設定した速度まで加速す

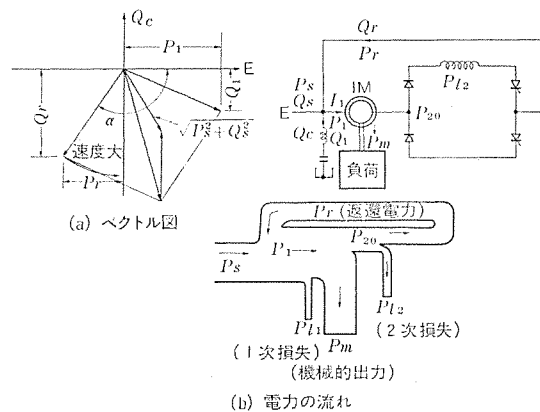


図6. ベクトル図・電力の流れ

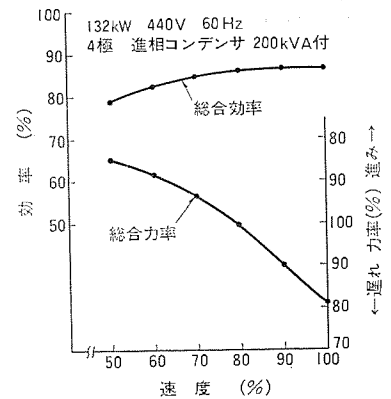


図7. 効率・力率曲線の例(速度2乗トルクの場合)

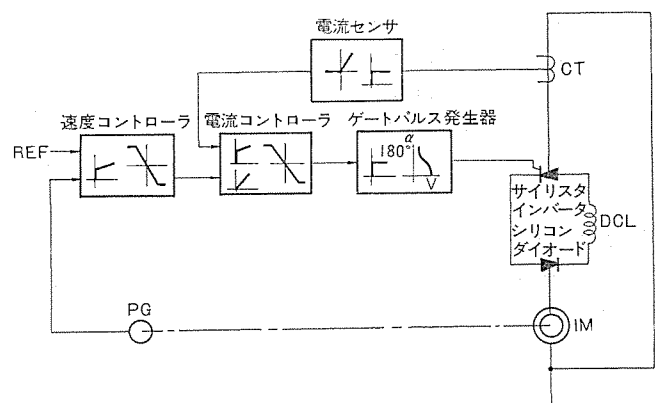


図8. ESモータ速度制御系

る。

4.2 停止

停止信号が与えられると、まず α を最大にして2次電流を0にした後、サイリスタインバータの点弧信号をしゃ断し、その後コンタクトを開く。進相コンデンサが接続されている場合は、誘導電動機の自動現象をさけるため、コンタクト52開放時、進相コンデンサが電動機に接続されないよう操作順序が定められる。

4.3 速度制御

図8.はESモータの速度制御系を示す。

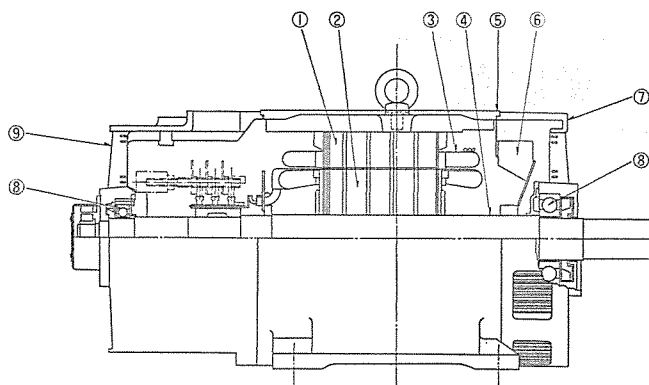
電動機に取付けた指速発電機によって検出した実速度と速度設定器からの基準信号を速度コントローラに加え、その出力をインバータ電流を制御する電流コントローラの電流基準値としているため、速度コントローラにリミッタを設けることによって速度設定又は負荷が急変しても過大な電流が流れるのを防止することができる。

電流コントローラの出力を位相制御回路に加え、サイリスタインバータの α を制御し、インバータ電流を所定値以下におさえながら一定速度で運転するよう自動制御する。

5. 構成機器

5.1 巻線形誘導電動機

2次開放電圧を電源電圧に対し最適になるように選定し、2次側に整流器が接続されるため多少、電流が増加することを考慮に入れて設計される。付属品として速度検出のための指速発電機が軸端に取付けられる。トルク特性、速度制御範囲によっては他力ファンが設けられることがある。



品番	品名	品番	品名	品番	品名
1	固定子鉄心	4	軸	7	ブラケット(負荷側)
2	回転子鉄心	5	フレーム	8	ころがり軸受
3	固定子コイル	6	ファン	9	ブラケット(遊び側)

図 9. ES モータ 構造断面図

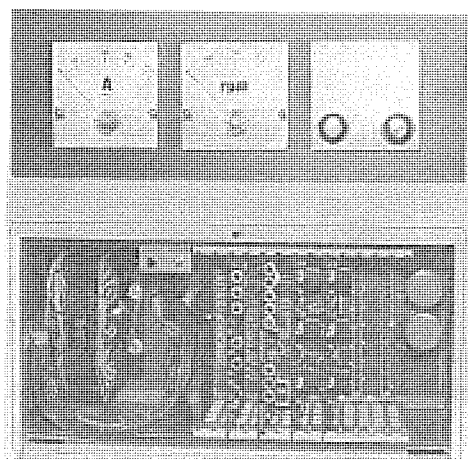


図 10. インバータ 制御装置

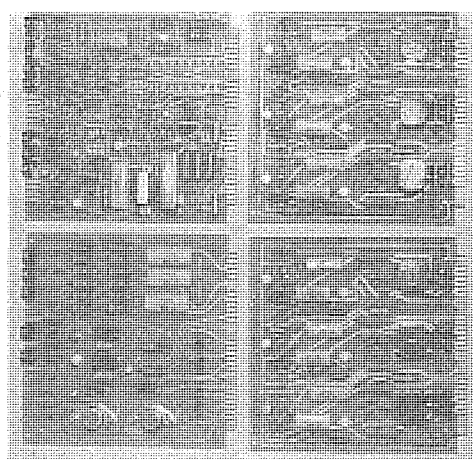


図 11. プリント 板

5.2 制御盤

ES モータを運転するために必要な、すべての部品が収納されており、シリコン整流器、サイリスタインバータ、直流リアクトル、保護装置、インバータ制御装置、コンビネーションスタータ、補助回路、操作部より成っている。

シリコン整流器、サイリスタインバータは合理的に配置された冷却フィンに取付けられ直流リアクトルとともにファンによって冷却される。インバータ制御装置、操作部はドアに取付けられ各種の応用制御が可能のようにオプションのためのスペースが準備されている。

制御装置は IC の大幅な採用により、わずか 4 枚のプリント板にまとめられており、プリント板相互の接続もマザーボード方式を採用するなど信頼性の向上をはかっている。

6. 用 途

ほとんどの用途の可変速電動機として使用できる。ただし急速な加速減速、ひん繁な可逆運転には不向きである。主な用途としては次のようなものがある。

(1) 水道、ガス

ポンプ………流量制御、末端圧制御

送風機……吐出圧制御、風量制御

(2) 化学、セメント

押出機、カレンダー、ミキサの速度制御

(3) 製紙、ゴム

抄紙機、カレンダー、ワインダの速度制御、張力制御

(4) 鉄鋼、製線

各種の処理ライン、コンベヤ、スリッタ、伸線機、巻取機、速度制御

(5) 印刷

印刷機、ワインダの速度制御、張力制御

(6) その他

M-G セット、試験設備

7. 標準仕様

(1) 電源電圧 200/220 V, 400/440 V

(2) 回転数範囲 $120f/P \times (0.93 \sim 0.093)$ 10 : 1

f : 電源周波数 P : 極数

(3) 出力 22, 30, 37, 45, 55, 75, 90, 110, 132 kW

(4) 保護形式 防滴保護形

(5) 負荷特性 定トルク 2 乗トルク

(6) 速度精度 最高速度に対し $\pm 1\%$ (定常値)

(7) 逆転の有無 なし

(8) 速度設定 手動

(9) 力率改善 なし

標準仕様以外のものについてもユーザーと打合せのうえ製作している。

8. 応用制御

ES モータは、標準的な単独運転のほか、オプションを追加することにより次のような応用制御が可能である。

(1) 連動運転

(2) クッションスタート、クッション停止

(3) せん(揃)速運転

(4) トルク制御、張力制御

(5) 調節計による自動運転

(6) 遠方設定

(7) 抵抗起動法によるバックアップ

(8) 部分速度制御

(9) 制動運転

上下水設備など長時間の停止がゆるぎない負荷については、万一制御装置が故障した場合、起動抵抗器と起動器でバックアップする(7)の方式がとられることが多い。

9. む す び

省エネルギーに対する社会的要求が強まっている今日、中小容量の可変速電動電動機についてもランニングコストの低減は重要な問題になりつつある。ES モータは、このような要求を満たすものとして各種の用途に適用できるものである。ES モータの特長を生かして広く使用されるものと期待している。

参 考 文 献

(1) 中野ほか：サイリスタ静止セルビウス装置、三菱電機技報 42, No. 4, 603 (昭 43)

(2) 栗田ほか：超同期静止セルビウス装置、三菱電機技報 45, No. 5, 578 (昭 46)

位置制御用電磁クラッチ・ブレーキと制御装置

吉田 公一*・橋爪 淳*・岡本 清秀*・高山 政広*・石川 徹*

1. ま え が き

電磁クラッチ・ブレーキを使用した起動・停止機構は各種産業機械をはじめ、一般工業用に従来から広く利用されている。

当社もこの業界において、電磁摩擦板式クラッチ・パウダクラッチほか各種クラッチ・ブレーキを市場に供してきたが、その応用分野が広がりとともに高精度、高能率が要求され、その需要にこたえるため、このたび電磁クラッチ・ブレーキの特性を十二分に発揮させた位置制御装置を開発した。

この方式は位置制御の分野では最高級のパルモータによるNC装置とはん(汎)用電動機などによる制御との中間に属するもので、安価でかつ精度が高い特長をはじめ、パウダクラッチ・ブレーキ方式では、その伝達トルクの制御性の良さと円滑さを発揮させた緩衝起動・緩衝停止ができる利点などをもって、クラッチ・ブレーキとあわせてシステム製品として、今後の需要増大を見込んでいます。

以下にその基本構成、動作原理、特長について述べ、代表的な応用例を紹介する。

2. 概 説

移動体の起動・停止に電磁クラッチ・ブレーキを使用する方法として、

(1) 比較的運転ひん度の小さいものは、駆動源例えば電動機で起動し、停止時に電磁ブレーキを用いて精度を出し、運転ひん度が增加すると、(2) 起動・停止に電磁クラッチ・ブレーキを交互に作動させ、更に、(3) 高精度・高能率の要求には速度変換をする。変速には高低速クラッチで行う方法と、クラッチのスリップにより変速する方法があり、後者は緩衝起動停止用としてパウダ式が適している。今回報告する電磁クラッチ・ブレーキとその制御装置の概要は下記のようになる。

2.1 電磁クラッチ・ブレーキ

位置制御用として主に使用される機種を掲げる。これらの製品中トルク応答性、連結熱容量を特に向上させたものもある。

位置制御用として主に使用される機種は、

- (1) 摩擦板式：NEA(T)形クラッチ、NEY形ブレーキ及びNUK形ユニットほか乾式製品、湿式ではNKA形クラッチ、HB形ブレーキ
- (2) パウダ式：複げき(隙)高ひん度ZE形クラッチとブレーキがある。

2.2 制御装置

この装置には、パルスカウント方式により移動距離設定部、クラッチ・ブレーキ機能を最大限発揮させる電力出力部、停止位置誤差補正部の主要素から成り立っており、下記のような機能を備えている。

- (1) 伝達トルク応答性向上のため過励磁・急速励磁回路の採用
- (2) 伝達トルク経時変化補償のため、誤差補正回路の採用
- (3) けんかロス低減のため連結完了後励磁電圧設定回路の採用
- (4) 無接点回路による長寿命
- (5) パルス発生器は安価な近接スイッチで動作

オプションとして

- (1) 移動量表示装置
- (2) 残り量表示装置
- (3) 機械系バックラッシュ誤差防止のため一方方向停止方式
- (4) 機械系送りロール摩耗補償のため、誤差比率補正回路
- (5) 光電信号などによる累積誤差補正回路
- (6) 緩衝起動・減速用としての傾斜信号回路などがある。

3. 電磁クラッチ・ブレーキによる位置制御

3.1 位置制御の種類

図1. は、電磁クラッチを使用した位置制御の各種の方法を示している。これらの中で多く使用されている方法とLH形位置制御装置を組合せた動作原理を説明する。図2. は位置制御用摩擦板式クラッチ・ブレーキとLH形制御装置である。

3.1.1 高ひん度位置制御

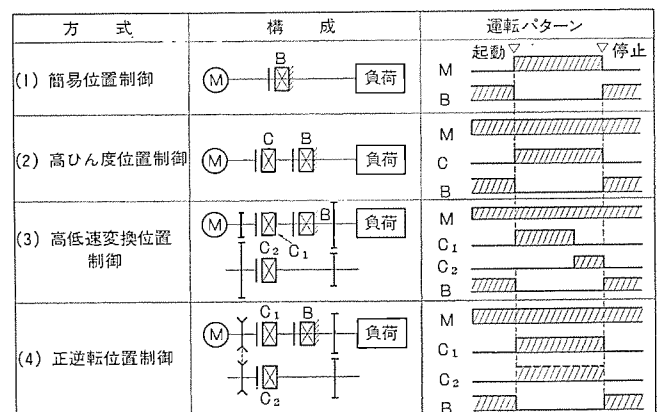
図3. は、電磁クラッチ・ブレーキとLH形位置制御装置による位置制御の構成と運転パターンである。

その動作は、起動指令により電磁クラッチが連結し、負荷が移動を始めそれと同時に移動量に応じたパルス信号をプリセットカウンタで計数し、あらかじめ設定された値と計数値が一致したところで電磁クラッチをOFFし、ブレーキをONとし負荷を停止させる。

3.1.2 高低速変換位置制御

この方式は、高速送り用と低速送り用の電磁クラッチ2個と停止用電磁ブレーキ1個とLH形位置制御装置から構成され、停止位置の直前で高速から低速への切換えを行い、十分低速になったところで停止させるので、3.1.1項で述べた方式よりも更に高精度な停止ができるとともに、能率の向上にも役立つ。図4. にこの方式の構成と運転パターンを示す。

その動作は、起動指令により高速用クラッチが連結し、負荷は高速で送られ、所定のパルス数を計数したところ(図中のイ点)で、高速用クラッチをOFF、低速用クラッチをONし、更に計数がすすみ、



M: 電動機 C: 電磁クラッチ B: 電磁ブレーキ

図1. 位置制御方式

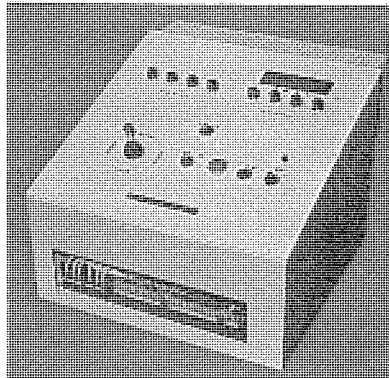
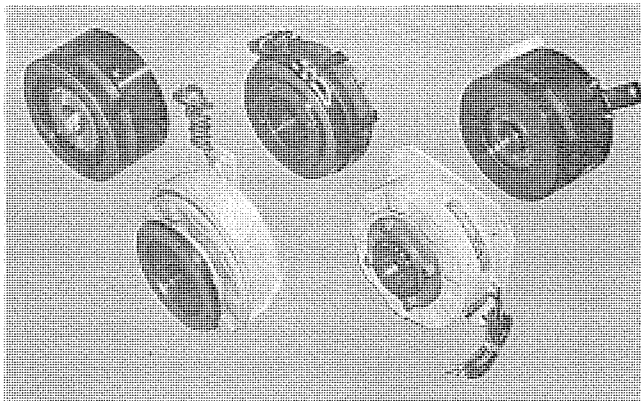


図 2. 位置制御用摩擦板式クラッチ・ブレーキと制御装置

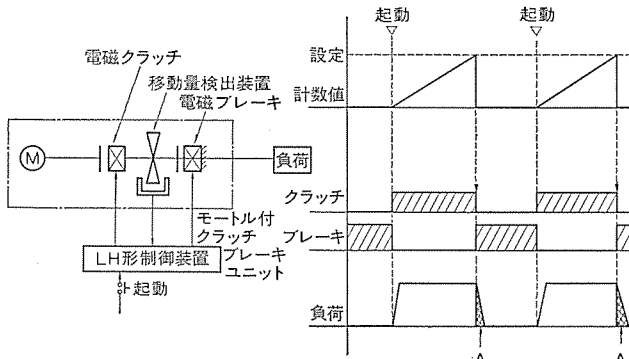


図 3. 高ひん度位置制御の構成図と運転パターン

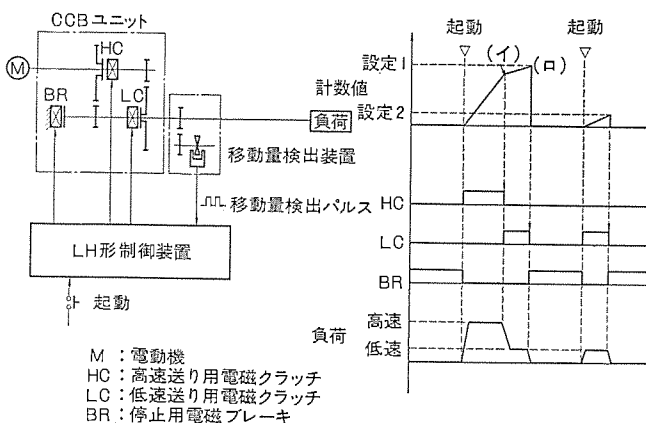


図 4. 高速低速変換位置制御の構成図と運転パターン

設定値に達したところ（○点）で、低速用クラッチを OFF、ブレーキを ON し負荷を停止させる。設定値が大きい（設定 1）ときは、高速起動から低速切換えを行って停止、設定値が小さい（設定 2）ときは、低速起動から停止となる。

図 5. 上にのべた方式によく用いられる、モートル付クラッチ・ブレーキユニットと CCB ユニットの一例を示す。

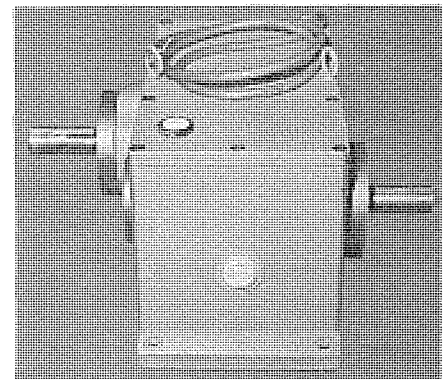
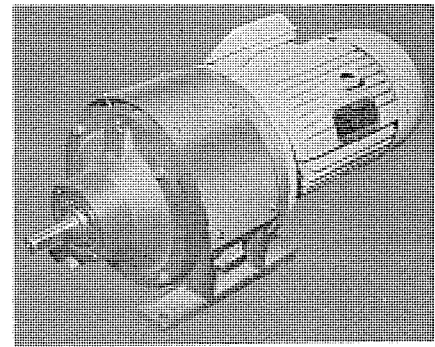
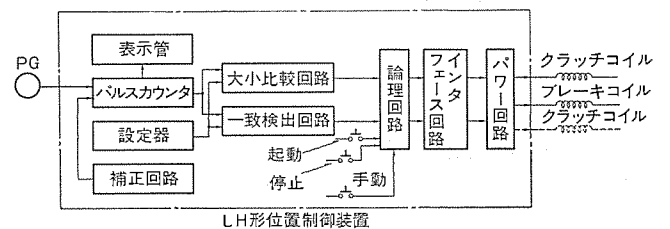


図 5. モートル付クラッチ・ブレーキユニットと CCB ユニットの一例を示す。



PG：負荷の移動量に応じたパルス数を生ずる移動量検出用パルス発生器
 大小比較回路：往復運動などで右左の移動方向を設定値と計数値に応じて決定する
 一致検出回路：設定値と計数値からクラッチ・ブレーキの励磁タイミングを検出する
 補正回路：ブレーキによる惰行量の変化などを補正する

図 6. LH 形位置制御装置の制御構成

3. 2 LH 形位置制御装置

3. 2. 1 制御構成

LH 形位置制御装置は、特にクラッチ・ブレーキのトルクの立上がり、きれを良くする励磁方式を採用し、また装置自体の応答性、信頼性を高めるために主要回路の無接点化をはかり、更に停止精度をあげるために惰行量補正回路などを設けている。

図 6. は、LH 形位置制御装置の制御構成を示す。

3. 2. 2 惰行量補正

さきに述べた動作で注目すべき点は、設定値と計数値が一致したところで停止指令（ブレーキ ON）を出すと、実際は負荷が目標点を行き過ぎたところで停止するという点である。（図 3. 中に網印で示した A 部分）この行き過ぎは、いわゆる惰行と呼ばれるクラッチのトルクのきれ、ブレーキのトルクの立上がりなどに起因するものであり、またその量は負荷の変動、クラッチ・ブレーキの特性変化などによって変わる。停止精度をあげるためには、この惰行量の補正ということが必要不可欠なものである。

惰行量の補正には、あらかじめ惰行量を設定値より引き去る、あるいは計数値に加算する方法などが考えられる。また補正量の設定には、手動設定方式、自動（前回の惰行量をフィードバックする）方式がある。（特許出願中）

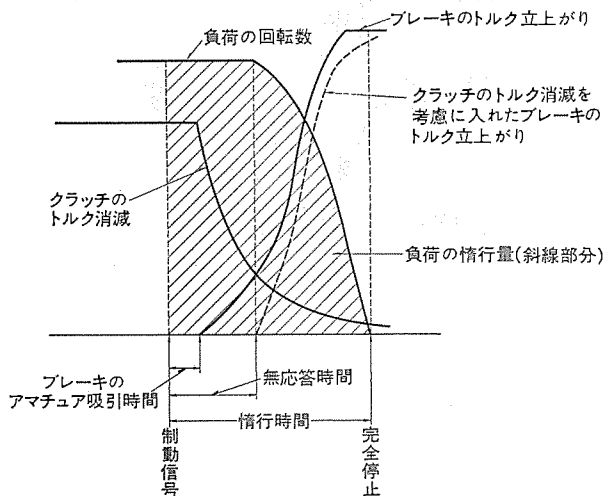


図 7. クラッチ、ブレーキ きりかえ時の過渡特性図

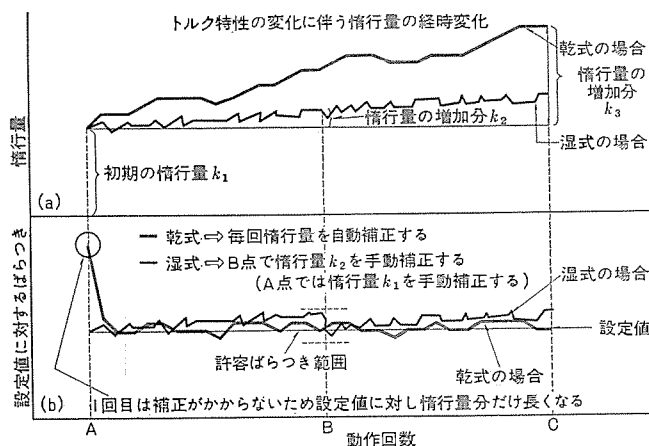


図 8. 滑り量補正の説明図

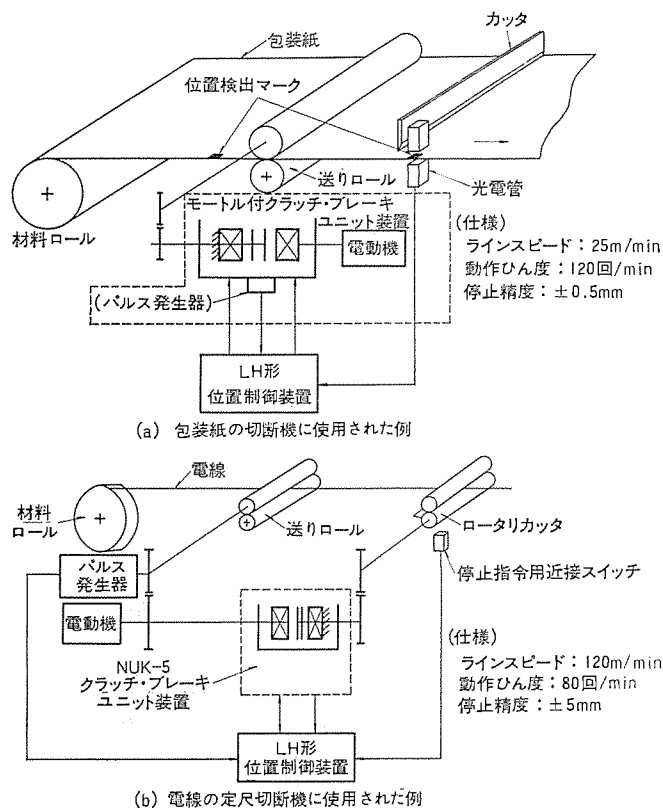


図 9. 応用例

3.3 位置制御用のクラッチの特性

高ひん度で、かつ高精度の位置制御を行うため、摩擦板式 クラッチ・ブレーキ 本体、及び制御装置に種々の対策を講じているが、それらについて説明する。

トルク 立上がり特性は、アマチュア の吸引時間を含め、トルク 立上がり時間を短くするため、短時間、過励磁電圧を印加し、その後は定格電圧以下に下げる 2 段 ステップ 電源を使用して、トルク が飽和しない範囲で特性を改善している。これと同時にトルク 特性自体のばらつきを少なくし、安定した制動を行うため必要トルク 範囲において、トルク 飽和のない磁気回路を形成し、過励磁電圧印加時にもトルク 特性の直線性を損なわないようにしている。

トルク 消滅特性は、磁気回路中に磁気しゃ断部を設け、かつ特殊な放電回路と併用し、消滅時間を短くしている。また、2 段 ステップの過励磁電源により連結完了後の印加電圧を使用条件に応じてできる限り低く設定することによってもトルク 消滅を改善している。

以上の両特性(トルク 立上がり特性と消滅特性)を同時に改善することによって、けんか現象(制動時、クラッチ が完全に切れていない状態でブレーキ が投入されると、クラッチ の摩擦トルクがブレーキ の摩擦トルクより大きい間は、みかけ上、負荷に対し制動力は働かない)を少なくし、滑り量を短くして、停止時のばらつきを小さくしている。この様子を図 7. に示す。

以上述べたとおり、高ひん度でしかも高精度の位置制御を目的とするところでは、トルク の応答性が特に重要であり、主として乾式クラッチ・ブレーキ が使用される。しかし、使用環境、取付スペースなどの関係から湿式を使用した例もみうけられる。当社の湿式は摩擦板に特殊な処理(内側摩擦板については特殊化学処理を、また外側摩擦板については全周数カ所の波づけ)を行っているのでトルク の応答性が極めて良く、また初期のトルク 変化を除くと乾式と比較して滑り量の経時変化は少ない。そのため乾式のように滑り量を毎回自動補正するより、補正量を手動設定し許容ばらつき範囲を越えた地点で補正しなおすほうがよい。滑り量の経時変化及び毎回、滑り量を補正した場合の様子を図 8. に示す。また、トルク の伝達方式の違いから乾式と比べ、極めて高ひん度の使用には適していないが、トルク 安定性が高いため過励磁電圧を印加しなくても停止時のばらつきは安定し、そのため停止精度を考慮した寿命も長い。

3.4 応用例

3.4.1 包装紙の切断機

図 9. (a) は、包装紙の切断機の送り機構にモートル付摩擦板式クラッチ・ブレーキユニット装置を使用した例である。その動作は、切断寸法が一定の場合にはプリセットカウンタによってあらかじめ切断寸法を設定しておき、パルス発生器からの出力パルス数が設定値と一致した時に材料を停止させ、切断する。また、絵柄や模様などのある包装紙を切断するときには、あらかじめ包装紙につけた位置検出マークを光電管などにより検出し、制御装置及びユニット装置を動作させる。

3.4.2 電線定尺切断機

図 9. (b) は、電線定尺切断機のロータリカッタ駆動用に摩擦板式クラッチ・ブレーキユニット装置を使用した例である。その動作は、パルス発生器の出力パルス数があらかじめ切断寸法を設定したプリセットカウンタの値と一致した時にクラッチが動作し、ロータリカッタは回転する。送りロールとロータリカッタは同一のラインシャフトにより回転しているためロータリカッタは電線の移動速度と同期して回転し電線を切断する。次にロータリカッタがある所定の位置になるとブレーキが働いて停止し次の動

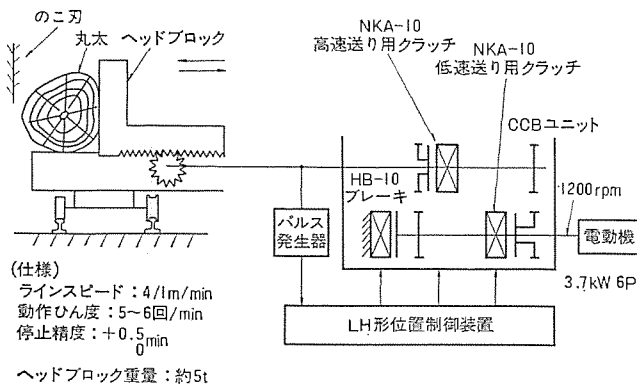


図 10. 原木歩出機に使用された例

作に備える。

このような使用法では電線の切断精度にクラッチの立上がり、ブレーキの立上がりの双方が影響する。

3. 4. 3 原木歩出機

図 10. は原木の歩出し装置のヘッドブロックを定寸送り出しする機構に湿式クラッチとブレーキを使用した例である。この例では、停止精度が高いうえに能率向上が要求されているため、送り機構に高速から低速へ2段きりかえ制御を行っている。その動作は起動指令により高速用クラッチが動作し、ヘッドブロックは高速で移動する。停止位置が近づくと移動速度は高速より低速にきりかわり、制御装置に内蔵されたプリセットカウンタにあらかじめ設定された位置に達するとブレーキが働き停止する。

4. パウダクラッチ・ブレーキによる位置制御装置

パウダクラッチは励磁電流に対するトルク比例性、スリップ回転数に対する定トルク性など、他の電磁クラッチにないユニークな特長をそなえており、この装置はこれらの特長を生かし起動、減速時はパウダクラッチ・ブレーキをトルク制御にして、定加減速度で起動並びに減速し、かつ、停止時はパウダクラッチを速度制御し負荷を低速状態にした後、パウダブレーキをトルク制御して停止させる。

したがってこの装置を使用すればコンベヤ・回転テーブル・走行車などの各種移動体をショックなしで起動・停止させ、かつあらかじめ定められた位置に精度よく停止させることができる。

4. 1 全体構成

図 12. (a) に示すように、標準電動機、パウダクラッチ・ブレーキ及びパルス発生器からなる ZM-MA 形モートル付パウダクラッチ・ブレーキユニットと、可変直流電源を内蔵した LG 形速度制御装置とで構成している。ZM-2.5 MA 形モートル付パウダクラッチ・ブレーキユニットを図 12. (b) に、LG 形制御装置の内部回路ブロックを図 12. (c) に示す。

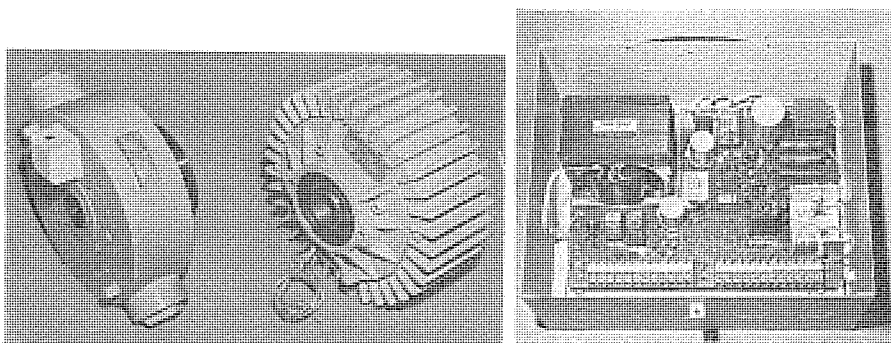


図 11. ZE 形パウダクラッチ・ブレーキと LG 形速度制御装置

4. 2 動作原理

図 13. に示す動作パターン図にもとづき、以下説明する。

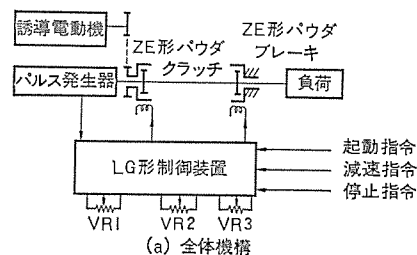
4. 2. 1 起動時

起動調整器 (VR 2) で負荷の特性に合った加速度 (α_1) になるようクラッチトルクを調整し、負荷をなめらかに起動する。この場合の起動時間 (t_1) は

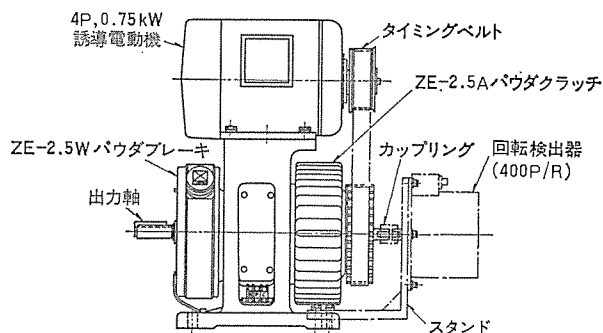
$$t_1 = \frac{V}{60\alpha} \text{ (s)}$$

で求める。

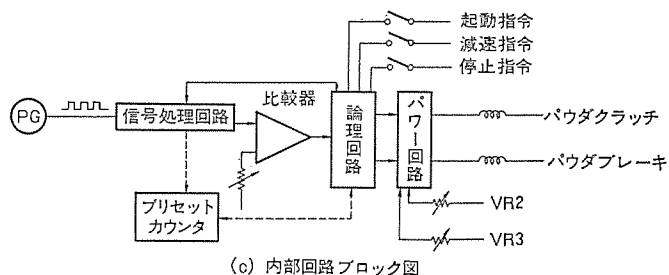
ここに V : 負荷の移動スピード (m/min)



(a) 全体機構



(b) ZM-2.5 MA 形モートル付パウダクラッチ・ブレーキユニット



(c) 内部回路ブロック図

図 12. パウダクラッチによる位置制御装置の構成

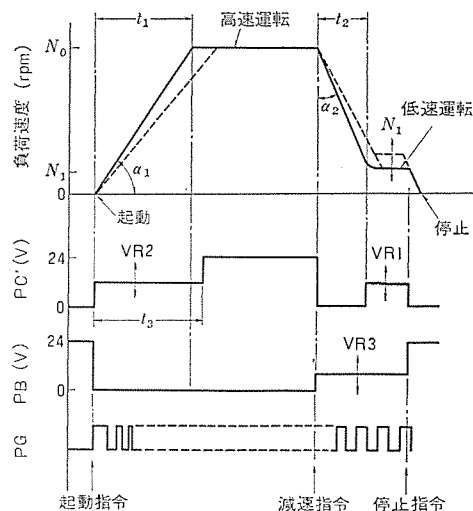


図 13. 動作パターン

α : 加速度 (m/s²)

また、クラッチ必要トルク (T_c) は

$$T_c = \frac{GD^2 \cdot N_r}{375 \cdot t_1} + T_L = \frac{g \cdot W \cdot D}{375 \cdot \alpha} R + \frac{\mu \cdot W \cdot D}{2 \cdot \eta} R \quad (\text{kgm})$$

で求める。

ここに GD^2 : 負荷の慣性モーメント (kgm²)

N_r : クラッチ軸回転数 (rpm)

T_L : クラッチ軸換算負荷トルク (kgm)

W : 負荷重量 (kg)

D : 負荷 (プーリ、車輪など) の直径 (m)

R : クラッチ軸と負荷軸間の減速比

η : 伝達効率

μ : 負荷の摩擦係数

4. 2. 2 高速運転時

負荷変動によるクラッチのスリップを防止する意味で、タイマ設定時間 (t_3) 後に、定格電圧 (24 V) をクラッチに印加する。

4. 2. 3 減速時

起動時と同様に、減速調整器 (VR3) で設定したブレーキトルク、すなわち定減速度 (α_2) で減速する。

4. 2. 4 低速運転時

パルス発生器 (PG) の速度信号と低速設定器 (VR1) の設定値と比較してクラッチ出力回転数、すなわち負荷速度 (N_1) を一定制御する。この場合低速設定は負荷に要求される停止精度とひん度を考慮して決定する。

4. 2. 5 停止時

クラッチ励磁をしゃ断すると同時にブレーキを励磁し、負荷を所定の位置に停止させる。

この場合の停止時間 (t_3) 及び停止時惰行距離 (l) は概略

$$t_3 = \sqrt{\frac{GD^2 \cdot N_r}{187 \cdot T_c}} t_0 \quad (\text{s})$$

$$l = \frac{1}{9} V t \times 10^2 \quad (\text{mm})$$

で求める。停止精度は上記惰行距離の約 (+) (-) 15 (%) となる。

4. 2. 6 オプション

LG形制御装置は下記オプションを内蔵することにより、より高度な制御を行える。

(1) 傾斜信号設定盤

速度設定器と比較器の間に傾斜信号設定盤を内蔵すれば、この傾斜信号と速度信号を比較制御することにより、起動・減速時間を負荷の大小に関係なく任意に設定できる。

(2) プリセットカウンタ

プリセットカウンタを併用すると、減速指令からのカウンタ数 (負荷の回転角又は移動量) とプリセット値との合致信号を省くことができる。また、あらかじめ停止位置を設定できるものにおいては減速指令・停止指令ともにプリセットカウンタに置き換えることができる。

4. 2. 7 運転例

図 14. は模擬試験装置で運転した電磁オシログラムを示しており、速度比は 10 : 1, 加減速度は約 0.03 G である。

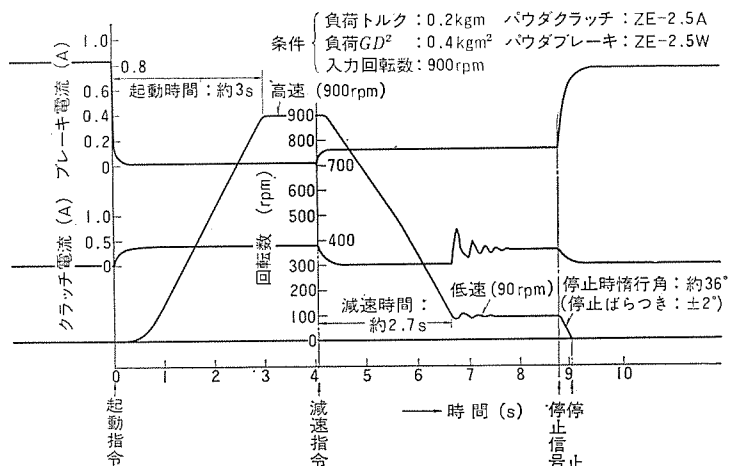


図 14. 模擬試験 オシログラム

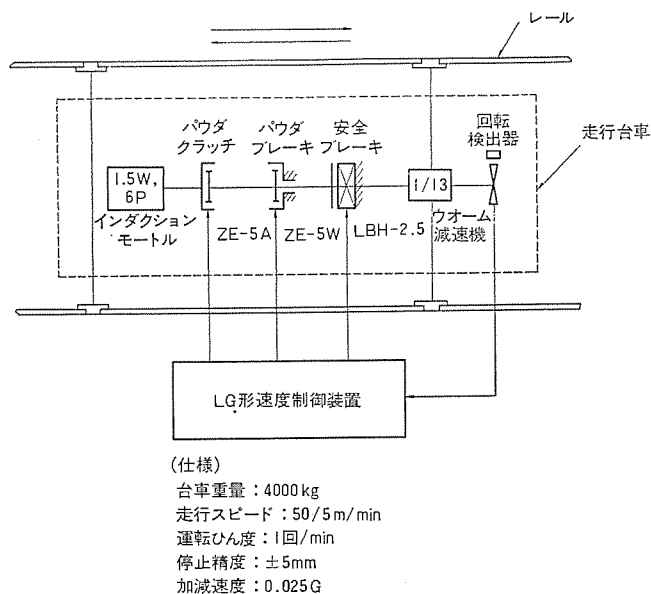


図 15. 自動倉庫の走行用に使用された例

4. 3 応用例

図 15. は自動倉庫の走行車の駆動装置として使用された例で、積荷の倒れとか荷振れを防ぐため、緩衝連結・緩衝制動が要求される。また、定められた部屋に精度よく止めるため、定位置停止機能が要求される。従来装置は 2 台の電動機又はクラッチを使用して高低速の切換えをしているが、この装置はパウダクラッチのスリップ特性を生かし、1 台のクラッチで 2 段スピード (高・低速) 制御しているので機構が簡素化されている。

なお、安全ブレーキは停電などの非常時作動用である。

5. む す び

以上当社の電磁クラッチ・ブレーキによる位置制御装置について述べた。これらの技術は従来の単独製品の市場を基盤とし、システム受注として更に需要拡大を計るのに役立つものと思う。

ここに、今後の多様化する要求に対処していくために、制御技術の向上とともに、クラッチ・ブレーキ本体の長寿命化が研究課題と考えらる。

高ひん度マイクロパウダクラッチ

車戸 秀男*・井上 宗明*・海堀 充*

1. ま え が き

動力伝達の媒体にパウダ（磁性鉄粉）を使用したパウダクラッチは、すぐれたトルク制御性をいかして、その応用分野は各種業界に拡大している。それらの中でも、トルクの高速応答性をいかした高ひん（頻）度駆動用の需要が急増している。

ここでは、今回、高ひん度駆動用に適した新しい構造を採用したZF形マイクロパウダクラッチシリーズを説明する。

2. 開発の意義と特長

パウダクラッチは数々の特長があるが、それらの中で高ひん度の駆動用に適した特性として次の点があげられる。

- (1) 駆動側と被駆動側の相対回転数に関係なく、励磁電流に比例したトルク特性が得られ、励磁電流の立上りを速くするだけで、容易にトルクの応答性が速められる。
- (2) 比較的小さな制御電力で過励磁、急速過励磁が可能で、高ひん度の励磁をくりかえしても温度上昇が小さい。
- (3) 熱容量が大きく、連続スリップでも使用可能であり、高ひん度の起動停止に十分耐えられる。
- (4) 長時間にわたり安定した動作が可能で、かつ動作音や摩耗粉を発生しない。

以上の特長を十分に発揮できるように、今回新しく開発したZF形マイクロパウダクラッチは、パウダギャップは複げき（隙）式、ドリブンメンバはカップ状という新しい構造を採用し、そのため更に次のような特長が得られた。

- (1) 小さな外径寸法で高トルクが得られ、かつ安定した動作と正確な反復動作が可能である。
- (2) 被駆動側の慣性モーメント(GD^2)が小さく、従来の1/2～1/3程度である。
- (3) 小さな励磁電力でトルクが発生し、その結果過励磁や急速過励磁が容易となり、かつ使用ひん度が高められた。
- (4) 1秒に40～60回という高ひん度で1億回以上の動作に十分耐えられる。

3. 構造と動作原理

ZF形マイクロパウダクラッチは図1.に示すようにステータ、ドライブメンバ（駆動側）、ドリブンメンバ（被駆動側）の三つの部分で構成されている。

ステータは、その内部に励磁コイルをもち、ドライブメンバはカップ状のドリブンメンバを内外周で囲むように配置され、両側のベアリングを介してドリブンメンバを互いに保持し合っている。

またトルクを伝達する媒体であるパウダ（磁性粒子）は、ドライブメンバとドリブンメンバによって作られた内外のギャップに均等に分散され、磁束が発生していない場合でもギャップより移動しにくいような構造となっており、またシールによってドライブメンバへのパウダの侵入を防

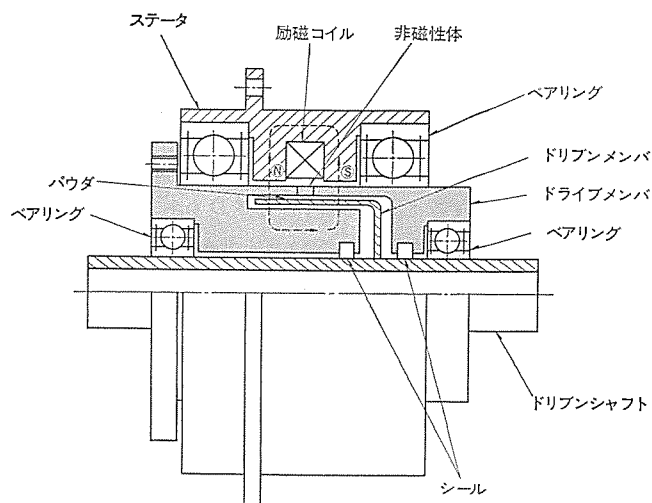


図1. ZF形マイクロパウダクラッチの構造

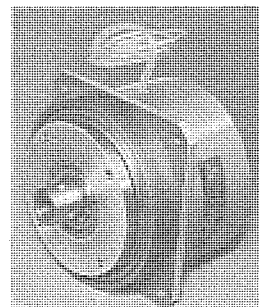


図2. ZF-40 A形マイクロパウダクラッチ

ぐようになっている。

励磁コイルに電流を流すと、点線で示すように励磁コイルのまわりに磁束が発生し、パウダがドライブメンバとドリブンメンバの間で鎖状に連結して、トルクが伝達される。トルク過渡特性（クラッチコイルに電圧を加えてから定格トルクが発生するまでの時間変化）が重要視されるZF形マイクロパウダクラッチでは、磁束のロスを極力減らすようドライブメンバの中央部に非磁性体の部分を設け、かつステータもN、S極完全に分離する構造としたため、従来のマイクロパウダクラッチと比較して、より少ない消費電力でトルク過渡特性とその安定性を大幅に改善することができた。

パウダクラッチの伝達トルク T は

$$T = a \cdot F \cdot \frac{D}{2} = k \cdot \mu B^2 D^2 L \quad \dots \dots \dots (1)$$

で与えられる。

ここに T : トルク (kgm)

μ : パウダとドリブンメンバとの摩擦係数

F : 動作面平均外径 (m)

k : パウダの見かけ密度によって決まる定数

B : 動作面磁束密度 (wb/m²)

L : 動作面長さ (m)

パウダクラッチを使用して、負荷を高ひん度で起動・停止をする場合、クラッチトルクの大きさと同時にクラッチの出力 GD^2 の大きさも負荷となり、この値が大きいと短時間で負荷の起動・停止が不可能となる。この性能を表す手段として、クラッチトルクの2乗と出力軸 GD^2 の比をパワーレートと呼び、式(2)で表すことができる。

$$P_r = \frac{T^2}{J_c} = \frac{384 \cdot T^2}{GD^2} \dots\dots\dots (2)$$

ここに

P_r : パワーレート (W/s)

T : クラッチトルク (kg-cm)

J_c : クラッチ 出力軸慣性モーメント (kg-cm²)

GD^2 : クラッチ 出力軸 フライホイール 効果 (kg-cm²)

パワーレート P を大きくするには動作面平均外径 D を小さくして GD^2 を減らし、動作面長さ L を長くしてトルクを大きくする必要があるが、磁気回路の磁束密度や構造上の問題点より従来の構造のマイクロパウダクラッチでは無理が生じてくる。

ZF 形マイクロパウダクラッチでは、ドリブンメンバの構造をカップ状にすることによって、出力軸 GD^2 を減らすと同時にドリブンメンバの内外径に動作面を持たせ動作面長さ L を長くしてトルクを増加し、従来のパウダクラッチの数倍のパワーレートを得ることができた。

このように設計されたパウダクラッチは、4.2 節に述べる応答性の良さと組合わさって、各種モータなどでは得ることのできない程の短い時間で負荷を駆動することが可能になった。

4. 特 性

4.1 トルク特性

図3. は ZF 形マイクロパウダクラッチシリーズ(定格トルク 20, 40, 80 kg-cm)の励磁電流対トルク特性である。定格トルクの 5~200% の広い範囲にわたって、励磁電流に比例したトルクが得られ、トルク特性の良さを示している。

このトルク特性は、駆動側と被駆動側のスリップ回転数に関係なく得られ、トルク制御の容易さを示している。なお、励磁電流を完全になくしたときの空転トルクは、初期の状態で定格トルクの 3% 程度である。

4.2 トルク過渡特性

励磁コイルに電圧を印加すると、励磁電流は励磁コイルの抵抗 R とインダクタンス L によってきまるコイル時定数 ($T=L/R$) によって指数関数的に上昇する。トルクは励磁電流のそれよりわずかに遅れて、駆動側と被駆動側のスリップ回転数に関係なく、励磁電流に追従して立上がり、負荷を加速する。この特性は他の電磁クラッチでは得られな

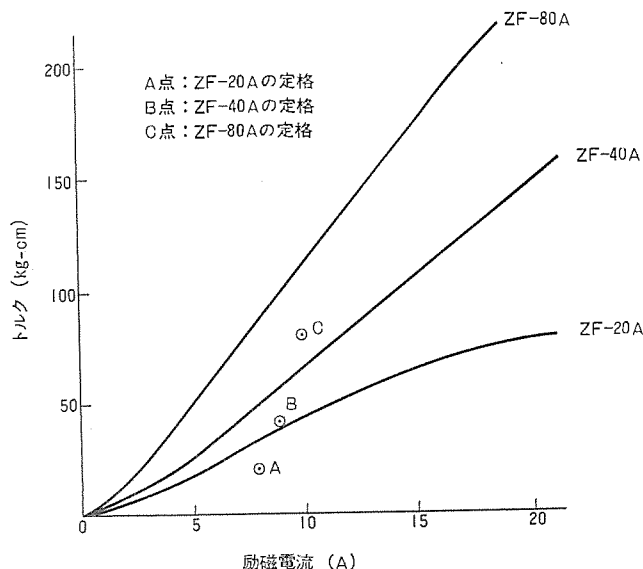


図 3. 励磁電流-トルク特性

い特性で、高加速特性が得られる理由である。これらの関係を数式で表すと、

励磁コイルのインダクタンス L の影響による印加電圧 E と電流 I の関係は、

$$E = RI + L \frac{dI}{dt} \dots\dots\dots (3)$$

磁気回路のうず電流の影響による電流と磁束の関係は、

$$N \cdot I = R_m \phi + k \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (4)$$

磁束とトルクの関係は、定格トルクでは次の式で近似できるので、

$$T \propto K_2 \phi \dots\dots\dots (5)$$

式(3), (4), (5)より

$$T \propto K_2 = \frac{E \cdot N}{R \cdot R_m} \left\{ 1 + \frac{R \cdot R_m}{k \cdot R + R_m \cdot L} \left(\frac{L}{R} \varepsilon^{-\frac{R}{L}t} - \frac{k}{R_m} \varepsilon^{-\frac{R_m}{k}t} \right) \right\} \dots\dots\dots (6)$$

ここに N : コイルの巻数

R_m : 磁気抵抗

k : うず電流定数

K : 定数

ZF 形シリーズではコイル時定数 (L/R)、磁束時定数 (k/R_m) は 11~30 ms, 10~20 ms である。

表 1. は ZF 形シリーズの性能表である。図 4., 5. は定格励磁、過励磁、急速励磁、及び急速過励磁したときのトルク立上がり特性である。図 6. はその励磁方法である。これらからも明らかなように、励磁方法によりトルク立上がり時間は大幅に速くすることができる。

表 1. ZF 形マイクロパウダクラッチの性能

項目 形 名	定 格 トルク (kg-cm)	励 磁 コ イ ル (at 75°C)					トルク立上がり時間		空 転 トルク (kg-cm)	許 容 回 転 数 (rpm)	許 容 消費電力 (W)	許容スリ ップ率 (%)	許 容 熱 容 量 (W)	回転部 GD^2		重 量 (kg)
		定格電圧 (V)	定格電流 (A)	抵 抗 (Ω)	インダク タンス (mH)	時定数 (ms)	最小値 (ms)	最大値 (ms)						入力側 (g-cm ²)	出力側 (g-cm ²)	
ZF-20 A	20	1.8	8	0.22	2.6	11	2 以下	20	0.6	1,800	30	35	50	3,300	222	1.1
ZF-40 A	40	2.0	9	0.22	4.6	21	2 以下	30	1.2	1,800	40	65	75	10,380	1,000	2.5
ZF-80 A	80	2.0	10	0.20	5.9	30	2 以下	35	2.4	1,800	50	80	95	16,950	1,740	3.0

注 1) トルク立上がり時間とは、定格トルクの 63% の値に達する時間である。

2) トルク立上がり時間の最大値は、定格励磁したときの値である。

3) トルク立上がり時間の最小値は、急速過励磁したときの値である。

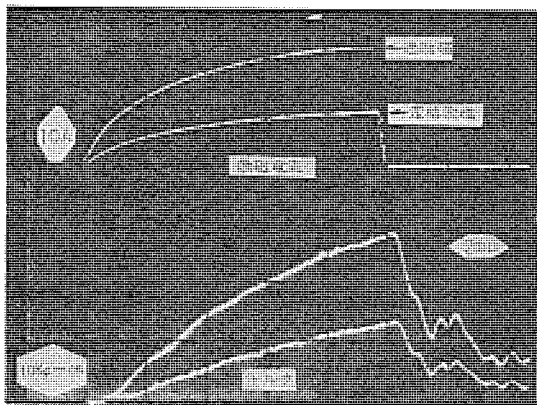


図 4. ZF-20 A 形マイクロパウダクラッチのトルク立上がり特性 (1)

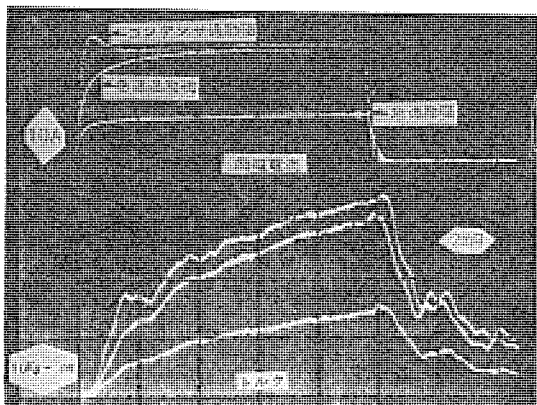
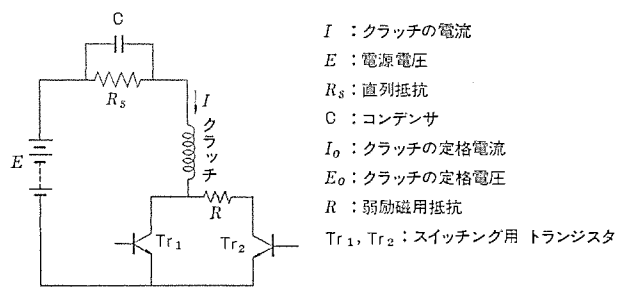


図 5. ZF-20 A 形マイクロパウダクラッチのトルク立上がり特性 (2)



- | | | | | |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
| (I) 定格励磁 | $R_s = 0$ | $I = I_0$ | $E = E_0$ | $C = \text{なし}$ |
| (II) 過励磁 | $R_s = 0$ | $I > I_0$ | $E > E_0$ | $C = \text{なし}$ |
| (III) 急速励磁 | $R_s > 0$ | $I = I_0$ | $E > E_0$ | $C = \text{なし}$ |
| (IV) 急速過励磁 | $R_s > 0$ | $I > I_0$ | $E > E_0$ | $C = \text{なし}$ |
| (V) コンデンサ過励磁 | $R_s > 0$ | $I > I_0$ | $E > E_0$ | $C = \text{あり}$ |

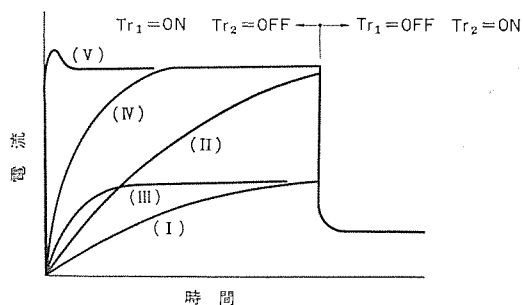


図 6. クラッチの励磁方法

全機種とも急速過励磁で行えば 2 ms で定格トルクの 63%，4 ms で 100% のトルクが得られる。このクラッチシリーズは定格電圧は低く設計しており、急速過励磁が行いやすくなっている。

一方立上がり特性と同様に、過渡特性で重要なものにトルク消滅

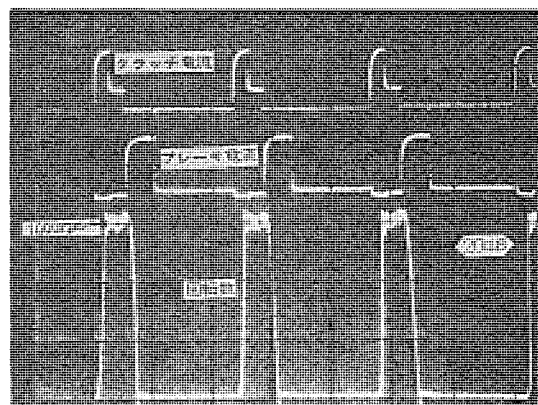


図 7. ZF-20 A 形マイクロパウダクラッチ・ブレーキユニットの起動停止特性 (1)

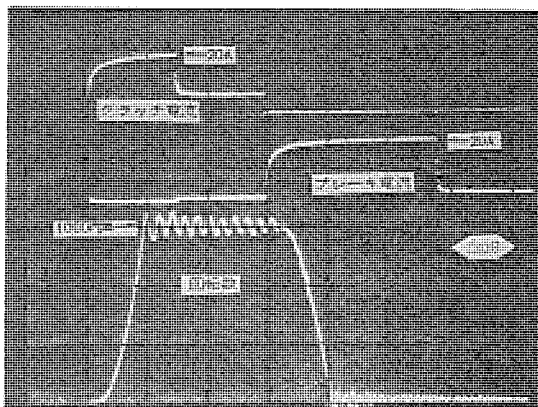


図 8. ZF-20 A 形マイクロパウダクラッチ・ブレーキユニットの起動停止特性 (2)

特性がある。トルク消滅時間を速くするもっとも容易な方法は、加速後は可能なかぎり弱励磁とし、電流をしゃ断するときのトルクを小さくすることである。

このことは消費電力を小さくし、温度上昇を低くし、合わせて使用ひん度が高められる。

4.3 起動停止特性

図 7. は ZF 形マイクロパウダクラッチを 2 個使用し、一方をブレーキにして出力軸に負荷 $GD^2 = 1,500 \text{ gcm}^2$ を取付けたときの回転数特性である。図 8. は以上の条件で 50 ms 周期で起動停止したものである。

ZF 形マイクロパウダクラッチは出力軸 GD^2 の 4 倍の負荷 GD^2 を、回転数 1,000 rpm まで起動・停止させるのに要する時間は ZF-20 A では 4 ms, ZF-40 A 及び ZF-80 A では 6 ms で、そのひん度は毎秒 40 回から 60 回程度まで可能である。

4.4 熱容量

ZF 形マイクロパウダクラッチは、許容スリップ工率のほかにも高ひん度使用時の急速過励磁による励磁コイルの異常発熱を防止するために許容消費電力を決めており、スリップ工率と消費電力の和を許容熱容量としている。許容熱容量は出力軸ベアリングの温度上昇で決定され、60 deg を限界としている。(周囲温度 40°C)

なお、スリップ工率は次のようにして求める。

$$P = \frac{GD^2 \times N^2}{7150} \times f \times \varepsilon \times 9.8 \times 10^{-1}$$

ここに P : スリップ工率 (W)

GD^2 : 負荷 GD^2 (kg-cm²)

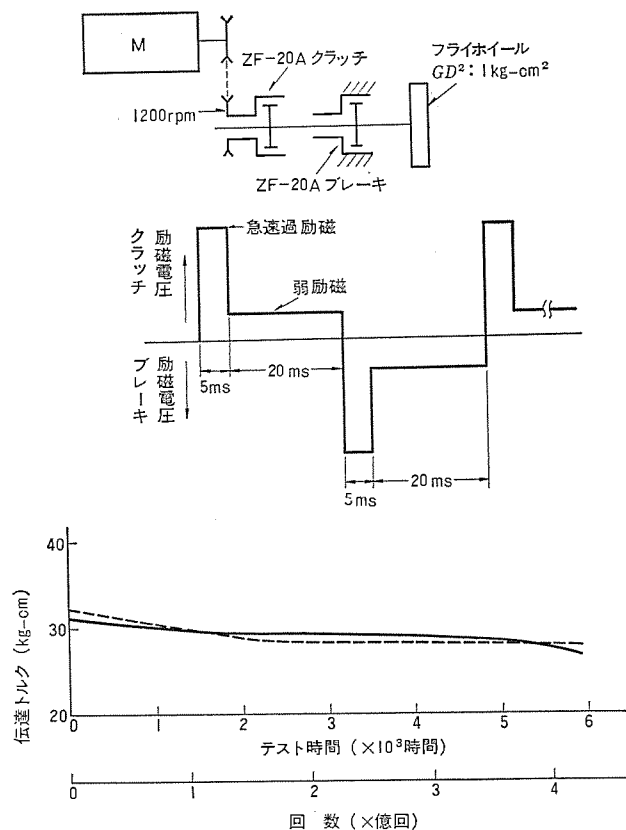


図 9. ZF-20 A 形マイクロパウダクラッチの耐久テストによるトルク推移特性

N : 回転数 (rpm)

f : ひん度 (Herz)

ε : 安全係数 (2 ~ 4)

ひん度、及び弱励磁電流が大きい場合は安全係数を大きくする必要がある。

4.5 耐久性

図 9. は ZF-20 A 形マイクロパウダクラッチをクラッチブレーキユニットとして、高ひん度起動停止による耐久試験を行ったときのトルク推移特性である。パウダクラッチの耐久性は、入力回転数、ひん度及び負荷 GD^2 により変化するが、許容熱容量以内での使用であれば 8,000 時間、又は 1 億回以上を保障している。実際には 1 億回程度の使用では起動時間、及び停止時間の低下はほとんどない。

5. 応 用 例

以上のような、数々の特長をもった ZF 形マイクロパウダクラッチは、年々使用ひん度が増加の傾向にある次のような分野での応用が考えられる。

- (1) 電子計算機用ライププリンタ
- (2) 電子計算機用各種テーブ装置
- (3) 数値制御工作機械
- (4) 各種精密位置決め用産業機械

図 10. は、ライププリンタの紙送り装置に、図 11. に示す ZU-20 形マイクロパウダクラッチブレーキユニット (ZF-20 A × 2 台) を使用した例である。最高使用ひん度は 40 回/秒で、起動・停止の瞬間だけ急速過励磁を行い、クラッチ、ブレーキのトルク過渡特性を改善している。

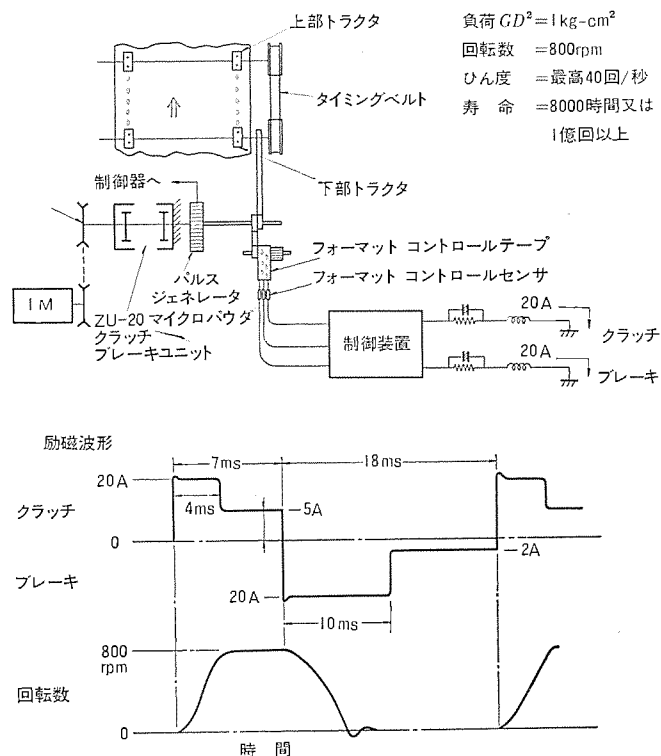


図 10. ラインプリンタの紙送り装置

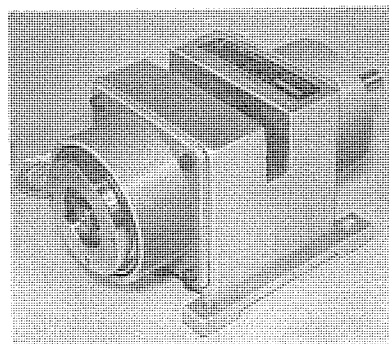


図 11. ZU-20 形 (ZF-20 A × 2) マイクロパウダクラッチ・ブレーキユニット

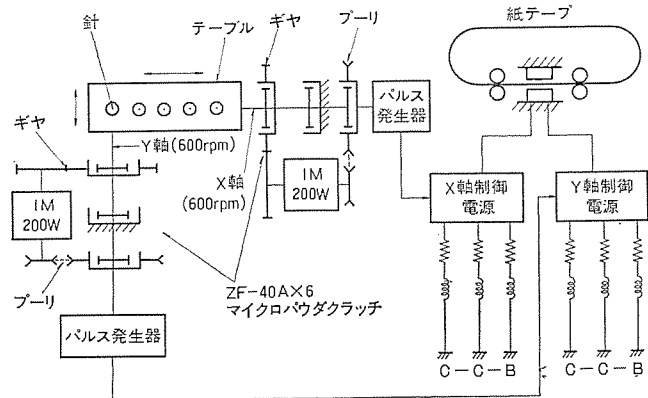


図 12. 工業用刺しゅう機

図 12. は、工業用刺しゅう機におけるテーブの X・Y 軸方向移動の位置決め装置に、ZF-40 A を 6 台使用した正逆転ユニットである。使用ひん度は 10 回/秒と低いが、停止精度は ± 0.1 mm となっている。

6. む す び

ZF 形マイクロパウダクラッチは、制御技術の開発に力を入れ、高ひん度で高精度が要求される市場での活躍を期待したい。

超精密微細制御用同期電動機とその制御《ファインロール》

赤松昌彦*・篠原芳男**・近藤昭雄***

1. ま え が き

近年の労働不足、大幅な賃金上昇に対処するため、産業界全般において、省力化、自動化の重要性がますます強く認識されてきている。この傾向は当然電動機制御にも影響を与え、高性能な位置制御、広範囲な速度制御ができる電動機への関心が強まりつつある。ここで紹介するファインロールはこれに答えるべく開発されたもので、優れた位置制御特性を有することはもとより、可変速電動機として考えた場合でも、従来一般に存在する他の電動機よりはるかに広範囲に制御することができる電動機のシステムである。

以下このファインロールの原理、特長、応用、仕様についてその概要を報告する。

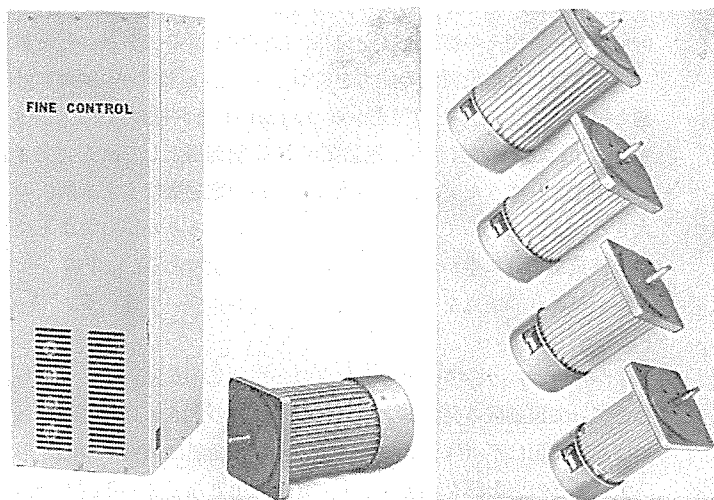


図 1. 三菱 ファインロール

図 2. 各種微細制御同期電動機

2. 原 理

理想的制御電動機は応答性がよく、低速及び高速での安定度が高く、容量が大きなものまで経済的にまとめられるものである。この目標を旨とし電動機単体の開発においてはできるだけトルク/ GD^2 が大きく、電源の容量を小さくするため力率、効率のよいもの、そしてその電動機を運転させるにあたっては種々の制御方式を十分検討し、用途と経済性をマッチさせることを念頭に置いた。

2.1 電動機の原理

2.1.1 磁気的変調

ファインロールを開発するに当たり、保持トルクを有する電動機を考えた。この種の電動機としては従来よりステップモータがあるが、これは原理上力率、効率が良くなかった。そこで従来からのステップモータの改良として、力率の大幅向上、大きなトルク/ GD^2 比、効率の改善、そして制御性のよいものにするを考えた。結局それは優れた超多極同期電動機の開発であり、直流界磁の磁気的変調方式でその目的を達した。図 3. は磁気的変調の原理を示す図である。図中ステータ、

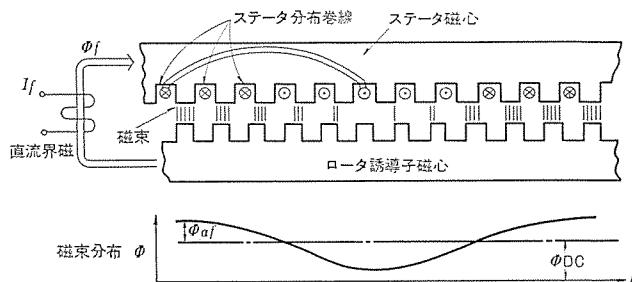
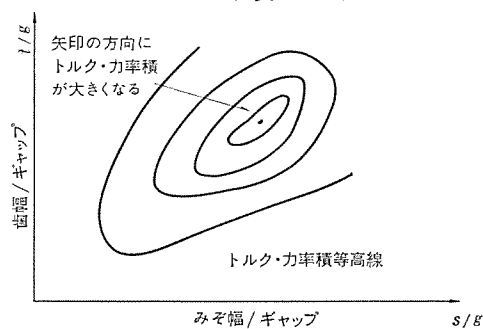


図 3. 磁界変調原理図

図 4. トルク・力率積と t/g , s/g の関係

ロータにはそれぞれ多数歯を持っており、この両者の間に直流励磁がかけられている。ステータ、ロータの歯数はわずかではあるが異なっているため、空けき(隙)には歯が一致して磁束の多く存在する部分と、歯が不一致のため磁束の少ない部分が生じ、図 3. に示すような電機子巻線と鎖交する有効磁束ができ、ロータが回転すると電機子巻線には誘起電圧 E_f が発生する。この誘起電圧に対抗して電機子巻線に I_a 電流を流し込むとここに有効トルクが生じる。これを数式で表すと次のようになる。

$$E_f = 4.44 f N_a \phi_{af} \quad (1)$$

$$f = \frac{N}{60} Q_2 \quad (2)$$

$$T = K Q_2 \phi_{af} I_a \quad (3)$$

ここに ϕ_{af} は電機子鎖交有効磁束数、 N_a は電機子巻数(1相分)、 Q_2 はロータ歯数、 N はロータ回転数(rpm)、 K は定数、 I_a は電機子電流である。式(1)、(2)が示すように E_f はロータ歯数とロータ回転数の積に比例した周波数を有する。一般にロータは多数の歯を持っているから、ロータ回転数が低くても高い E_f を発生する、すなわち低速大トルクの同期電動機となっている。これは、一般の多極電動機のように電機子巻線で多数の極を設けて磁束の速度を落としたのではなく、磁気的に減速ギヤを入れて、等価的に非常に多くの極数を持つ同期電動機となっているので原理的に力率の面で非常に有利であり、その結果効率も向上することができた。

2.1.2 設計パラメータの最適化

2.1 節で述べた原理説明でも想像できるように、この電動機は歯幅、みぞ幅、ギャップ長、などが全体の特性に大きな影響を与える。

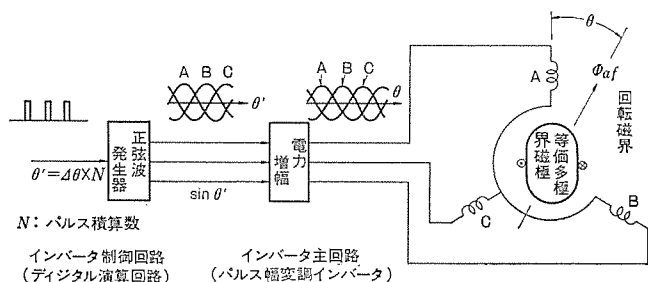


図 5. システム構成

そこで同じ寸法ならより大きなトルクを、より良い力率を念頭に検討した。そして同じ磁束密度、同じロータ寸法におけるトルク T と力率 P_f の積を関数とし歯幅/ギャップ (t/g)、みぞ幅/ギャップ (s/g) をパラメータに理論的に追求した結果図 4. に示すようにトルク・力率積に最大値のあることが判明した。この理論的結果を更に実験により飽和の影響なども考慮しながら修正し最適設計パラメータを選定した。このほか、直流励磁の方式、あるいはトルク・偏差角特性 $T(\theta)$ についても正弦波状とするようにするなど十分な検討を加えた。

2.2 駆動装置

同期電動機の運転では 1 ステップ 応答における振動、連続 n ステップ における乱調が存在し、これがサーボ用電動機として用いるとき問題となる。一般にロータの運動は次式で表される。

$$J\ddot{\theta} + \mu\dot{\theta} + T + M \operatorname{sgn} \dot{\theta} + T_l = 0 \quad (4)$$

ただし J はロータ軸の慣性モーメント、 μ は粘性摩擦係数、 M はクーロン摩擦トルク係数、 T_l は負荷トルク、 T は電動機の発生トルク、 θ はロータ回転角位置である。元来この種の理論的研究は今までにも多くの人々によって行われているが、式(4)の電動機発生トルク T としては静止トルクの正弦波近似とか、2 次線形系等と表現したものが多く、1 ステップ 応答の解析、定性的(把握)には十分であるが、駆動電源の電動機に与える影響などを考えるには不十分であった。そこでファインロールの駆動系の特性を十分に理解し、より良い駆動系の確立のため電動機の電気定数、駆動電源の特性を含む非線形モデルを作成し、これを種々の状態に応じていろいろの簡易モデルを作り、シミュレーションによって、制御方式を含めた駆動系のあるべき姿、例えばダンピング定数など十分吟味した。また製品化する場合の具体的なダンピング方法についてはコスト、用途などに応じどのようにするか十分検討した。そして駆動電源も滑らかな回転磁界を得るため図 5. に示すようにパルス幅変調式インバータとした。このシステムは、デジタル演算関数発生器を持ち、電動機の各相巻線が、指令パルスが到来するごとに 1 パルス に対応する指令回転角 $\Delta\theta$ だけ変化した指令(回転角) θ' の三角関数となるように励磁される。言いかえると、各相電流が指令 θ' に対し正弦波状に連続制御されるので、回転磁界の軌跡は連続円となり、ロータの速度を変えるには指令パルスの周波数を、またロータの回転角度を制御するには指令パルスの積分量で行える。すなわち、このインバータは単に周波数を変えるだけでなく、位相をも精密微細にデジタル制御できるインバータである。

3. ファインロールの特長

2 章で述べた原理から、ファインロールはどんな特長を有するかをステップモータ、直流電動機と対比させながら述べることにする。

3.1 ステップモータとの比較

ファインロールは速度制御、位置制御を必要とするあらゆる分野に応用できるが中でもその最も典型的な応用例が図 6. に示す N/C 工作

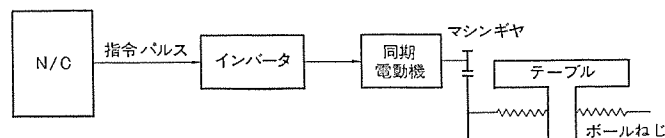


図 6. ファインロールによる N/C 工作機械の制御

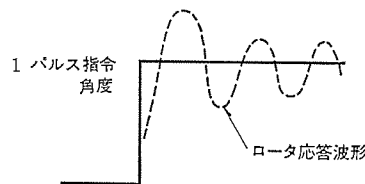


図 7. ロータの共振現象

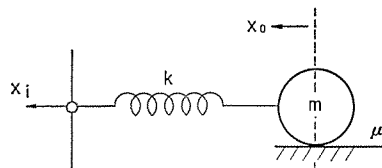


図 8. 2 次共振系のモデル

機械の制御である。N/C 工作機械はその最小移動単位(一般的には 10μ または 1μ) を N/C からの指令 1 パルス に対応させ、指令パルスの数(積分量)で機械テーブルの移動量を、指令パルスの速度 (pulse per second) でその移動速度を自在に制御するものである。したがって電動機自身に位置決め能力を持つファインロールは N/C 制御に好適と言えよう。そのため従来からファインロールと同種のステップモータまたはパルスモータと言われる電動機が N/C 制御用として研究開発され実用化されてきた。しかし従来のこの種の電動機はまだ未解決の大きな問題点を含んでいたため、有用な方式でありながらもまだにその特質を十分に生かし切っていないのが現状である。以下にファインロールにより問題点をいかに改良しているかについて述べる。

(1) 効率がよい

従来からのステップモータの大きな欠点の一つは効率が悪いことである。したがって電動機の発熱が大きく、特に損失の大きい高速回転領域では連続使用は不可能であった。その上この発熱は機械側の熱変形ひずみなどの悪影響を与え実用上大きな問題となっている。この傾向は発熱量の絶対値が大きくなる大容量電動機ほど著しい。この点も電動機効率向上で解消された。

(2) インバータの正弦波駆動により無段回転制御である。

この種の電動機のもう一つの大きな問題点は電動機-駆動系の固有共振現象である。これについては 2 章で具体的に述べなかったので少し説明しよう。これは図 7. に示すように電動機に 1 パルスの角度指令を入れたときの応答が電動機-駆動系の固有共振周波数で振動する現象である。この現象は図 8. に示す 2 次共振系のモデルを使って説明できる。この共振系はばねの一端をステップ状に動かすと質量 m のおもりは、 $W_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ の共振周波数で振動する。したがって電動機に与えられる指令パルスの速度がちょうどこの共振周波数と一致するとロータの振動は減衰できずにいわゆる乱調状態となって大きな振動を起こし、場合によっては電動機あるいは機械の損傷を引き起こす。もちろん、これは適切なダンピング効果によって防止できるが、この共振周波数がちょうど切削速度領域内にあるため、切削面の粗さといった微妙なことを問題にする N/C の用途では実質的にはこの周波数近辺は使えないことになる。ファインロールでは回転磁界を従来のようにステップ状に動かすのではなく連続的に等速度

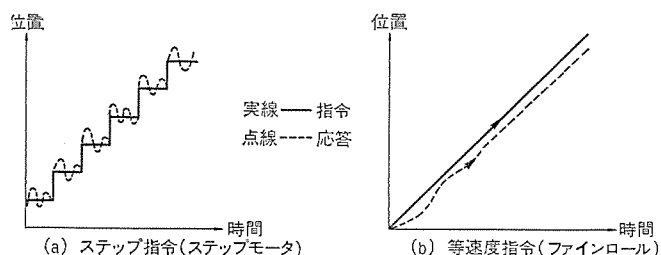


図 9. 2次共振系モデルの応答の相違

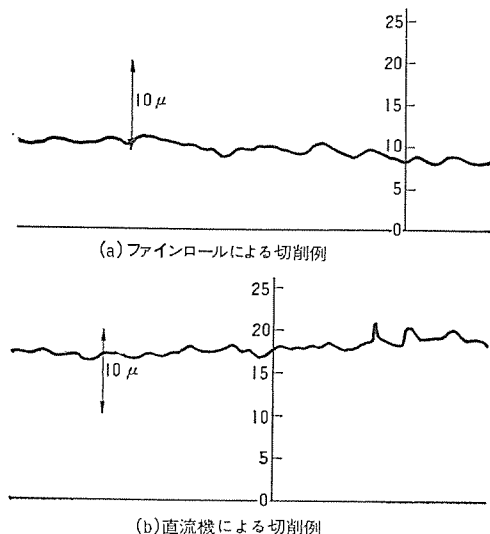


図 10. 直流機、ファインロールによる切削例

で動かすのでロータの振動を誘発しない。図 9. にこの 2 次共振系のステップ状指令と等速指令に対する動きの相違を示す。なお等速度指令でも加速開始点では振動は生ずるがファインロールでは、ステップ制御をしてもスムーズな運転ができるようなダンピング効果を持たせているから、これは必ず減衰して消滅してしまうので問題にはならない。この正弦波駆動制御による実機での切削例を 図 10. に示す。これは同一の機械、同一の切削条件でのファインロールと直流電動機の 45° 方向切削をしたものである。このように直流電動機の場合とそんなに良好な面精度が得られる。この優れた点は従来のステップモータでは得難いものであった。

(3) 応答周波数が高く速度範囲が大きい。

応答周波数は電動機が追いつける指令の最大速度を言うが、この値が従来のステップモータと比較してけた違いに大きいものでファインロールの特長である。ファインロールでは回転磁界を連続的に制御できるので同一の回転磁界速度に対して指令パルス速度をいくらに対応させるかによって定まる。したがって応答周波数の限界は指令の速度を作り出すロジックの応答速度で定まると言ったほうがよい。もっともファインロールは電流制御形インバータによる駆動であるので電流を適応制御することで加減速時定数を短縮することもでき、電動機自体の速応性を上げることも容易である。また低速の限界もやはり低速の回転磁界制御を指令する回路技術上の問題に帰着する。したがって速度範囲も従来のステップモータとは比較にならない。また速度を連続的に変えられるので速度検出器あるいは位置検出器を取付けることによりクローズドループを形成でき、直流電動機と同等の高級な制御も可能となる。

(4) ステップ角が可変である。

従来のステップモータでは固定である。したがって機械と結合した場合に機械の最小移動単位をこのステップ角に合わせなければならない

めボールねじのピッチを変えとかギヤ比を変えなどの不便さがあった。更に機械の最大速度によって電動機の最大速度が定まるため、電動機的全速度範囲を有効に利用できなくなる、つまり電動機出力を有効に使えなくなるため必要以上に大きな出力の電動機を使わざるを得ない場合があった。これに対しファインロールの指令単位角は電動機固有のものではなく、ほぼ自由に選択できる。この自由度により上記の欠点が解消され常に機械にマッチした適正な電動機を選択することができる。

(5) 完全無調整、無保守である。

インバータは完全にデジタル化されているために機械との組合せ後の調整は一切不要であり、また電源変動、温度変動、経年変化などの影響もなく、電動機にはブラシ等の摩擦部がないために保守も不要である。また電流調整もチョップ制御なので、電源事情による再調整も無用である。

3. 2 直流電動機との比較

(1) トルク/ GD^2 比が優れている

直流電動機は原理的に見ると、ロータの寸法が同じなら他のどの電動機よりも大きなトルクを出せると考えられるが、現実には

- (a) 温度上昇の限界
- (b) 整流の問題

により、トルク/ GD^2 比の値はかなり制約を受けることになる。

すなわち、直流電動機は電機子巻線が回転子中に収まるため、温度上昇の問題から、ロータの GD^2 値はかなり大きくなる傾向があり、また整流の問題は駆動装置の電圧波形にもよるが、通常の場合 200 ~ 300 % 過負荷トルクが上限と考えられ、近年サーボ用として注目を浴びている、ダイレクトドライブモータでも実用上の短時間定格は 500 % 程度である。そこで次のおのおの条件で両者のトルク/ GD^2 比 (大きいほうを 100 % として表示) を比較し図 11. に示した。なお直流電動機は 500 % トルクの状態、ファインロールは 3.1 節 (3) で述べた電流の適応制御も考えられるが取りあえず 100 % トルクで比較した。ここに A は両者とも電動機単体の状態で、電動機の回転数は 1,000 rpm、B はファインロールと同等の負荷 GD^2 が直流電動機にもファインロールにも付き、かつ電動機の回転数は 1,000 rpm、C は直流電動機と同等の負荷 GD^2 が付き、かつ電動機の回転数は 1,000 rpm、D は C と同じ条件であるがファインロールは 3,200 rpm の回転数としギヤ比を変えて 1,000 rpm とした場合である。

(2) 変速範囲が広い。

現在実用化されている速度比は、標準直流電動機で 1 : 50 ~ 1 : 100 で、サーボ用として開発された直流電動機 (ミルスモータ、HD モータ等)

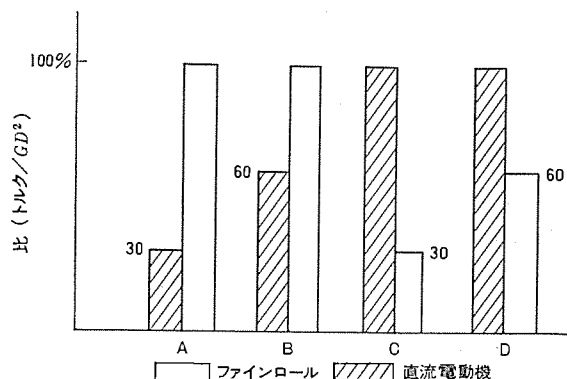


図 11. 各種条件における直流電動機とファインロールのトルク/ GD^2 比の % 比較 (1.5 kW 1,750 rpm)

で $1:10^4$ 程度であるが、ファインロールの速度比は $1:10^6$ が得られる。したがって、例えば電解加工機の電極の送り駆動を考えると、従来の直流電動機の制御では、加工送り速度と早送り速度ではクラッチとギヤを使って機械系で速度比を変える必要のあったものが、ファインロールでは電動機そのものの速度範囲で加工送り速度と早送りが得られ機械系の著しい簡素化が実現された。また加工送りの速度を超低速度にまでコントロールできることは、同一電流源に対し金型の寸法を大きくできる（金型の精度の向上）など加工機そのものの性能アップにもなった。

(3) 運転状態（動的）でのトルクゲインが高い。
直流電動機の制御は一般にクローズドループ方式で、指令とフィードバックとの偏差によりトルクを発生する。したがってループゲインを上げれば静止状態においてトルクゲインは大きくとれるが、これにはむだ時間などの遅れがあり、実際の運転状態ではトルクゲインは悪くなる。しかしファインロールでは実際の起磁力軸とパーミアンス軸のずれでトルクを生ずるから、動的にも静的にもゲインは変わらず、これは切削の場合のように高度な追従性を要求される場合には非常に有利である。

(4) 脱調については注意を要する。
ファインロールは同期電動機のため、脱調というやっかいな現象がある。すなわち一般的には瞬時でも停動トルクを越せん(尖)頭負荷がかかると停止してしまう。それに対し直流電動機の場合は減速するものの停止はせず、また負荷が正常にもどればそのまま運転を続ける有利さがある。したがってこの点はファインロールを選定する際に十分留意すべき点であり、一般的にはトルク-速度特性におけるトルク値の60%以下の負荷になるように選ばれ、更に用途次第では検出器を付け指令パルス位相を制御するなどの工夫も必要となる。

(5) 駆動電源の容量は直流電動機と同じである。
3.1節の(1)でも述べたようにファインロールの効率及び力率が従来パルスモータより非常によいので、サイリスタレオナード制御の直流機(7.5kW以下の小容量機種)の総合効率約75%)と比較しても電源容量はほとんど同じで、したがって配線のサイズも同じである。

(6) 速度変動率がよい。
この項の比較は電動機本来の性質で決まってしまうためあえて述べる必要はないが、ファインロールでは指令パルスの精度だけで決まるので、低速においても高精度が得られる。直流電動機の場合は同等の精度を得ようとする複雑なデジタル制御装置と検出器が必要であり非常に高価となる。

4. 標準仕様

最後にファインロールの標準仕様を表1、またトルク-速度特性を図12.に示す。

5. むすび

ファインロールは3章で述べたような数々の特長を有しており、普及形のN/C工作機、リトロフィットN/Cに好適であることはもちろん、多くの産業機械においてもその威力を発揮できると思う。更にはN/C機械については、当社はファインロールとカップルする新しいN/C装置MELDAS-1000の近日発売も計画しており、これらと相まって、その普及は進むと思われる。一般に電動機サーボは油圧サーボと比較すると油の管理、排油の処理、騒音の問題などの公害において断然有利であり、取扱い方も簡単である。このようにファインロールの特長

表 1. ファインロール仕様一覧

呼称(最大)出力 (約 kW)	0.2	0.4	0.75	1.5	3	6
最大トルク (kg-cm) (T_1) 注 1	13	25	50	100	200	400
変速範囲 (rpm)	0~3,200					
1パルス当たり の回転角度(度)	正弦波発生器 なし	1.2°				
	〃 あり	0.12° (0.012° も可)				
累積誤差 (Open Loop 制御)	0.2 パルス (1 パルス 1.2° として)					
電 源	三相交流 200 V 50/60 Hz 220 V 60 Hz					
交流入力最大電流 (rms) (A)	1.5	2.5	5	10	20	40
電流制限(インバータ入力電流)(A)	2.0	3.5	6.5	13	26	52
絶 縁	E 種絶縁					
時間定格	0~3,200 rpm まで連続定格					
自起動最高周波数 (pps) 注 2	1200	1200	1200	1000	900	800
電動機の GD^2 (kg-cm ²)	7.7	13	23	56	130	310
駆動源方式	電流制御形インバータ					
界磁電圧 (DC)	24 V					
入力パルス 数/s	0~16 kpps					
出力周波数	0~2667 Hz					
周囲条件	0~40°C					
保護形式	開放形					

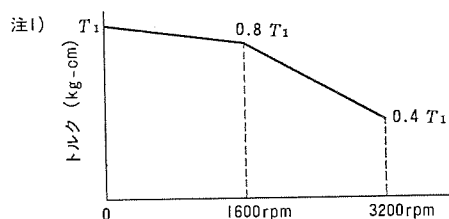


図 12. トルク-速度特性

負荷トルクは上記曲線のトルク値の6割以下を推奨します。
(特性裕度はJEC-37の考え方に準拠)

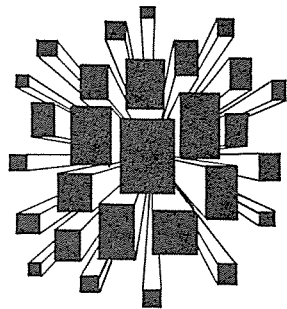
注2) 電動機単体の
無負荷状態

を考えていくとき、これが需要家の皆様方の諸問題の解決に大きな手助けとなり得るものと確信している。もちろんファインロールはまだ開発されて間がないし、元来本格的な位置制御電動機(電動機だけで位置制御ができる)そのものが我々社会においてそれ程普及していないし、また身近にも感ぜられていないことも事実である。これらも考慮し今後関係各位のご指導、ごべんたつを賜り、より良いものへと改善していく考えである。

参 考 文 献

- (1) 後藤：三相ステップモータの動特性，電学誌，84-10，No. 913，p. 183~192
- (2) 西田ほか：ステップモータの動特性，電学誌，84-9，No. 912，p. 105~112
- (3) 大石：パルスモータの始動時の挙動，システムと制御，15，No. 10

特許と新案



自動刻印装置 (特許 第699259号)

発明者 蘓原 智・田中 陸 務

この発明は、製鉄所で圧延などによって製造される製品に対し、計算器などからの電気信号に基づき所定の活字を自動的に選択し、文字数字などを刻印する自動刻印装置に関するものである。

図1はこの自動刻印装置の全体を示す斜視図であり、図2はこの自動刻印装置における電磁石装置(35)を示す断面図である。

図1において鉄板などの製品に刻印するときは、ハンマ(6)の直下に所望の活字(2)を位置決めして並べ、この活字(2)を垂錘(8)の落下によるハンマ(6)への衝突で強打して活字(2)の下に位置す

る製品に刻印を行っている。かように刻印するときは以下のように動作させる。活字(2)を保持しているホルダ(48)は、うず巻ばね装置(31)に接続され、矢印Aの方向に常時引張られているが、まず最初に駆動レバー(22)によりホルダ(48)を、うず巻ばね力に抗して最大に引張られた図1の位置に設置し、その後図2に示される活字(2)のそれぞれに対応して構成された電磁石装置(35)の所望の活字に対応した電磁石のコイル(39)を計算器などの電気命令信号に基づいて付勢することにより、図2の掛金(36)をスプリング(41)に抗して支板(38)の下部に突出させる。この状態で、駆動レバー(22)をフリーにすると、ホルダ(48)は矢印A側に引張られホルダ(48)の爪部(34)と掛金(36)とが係合するまで移動し、その位置で停止する。これでハンマ(6)の直下に所望の活字(2)が位置決めされ並ぶので、垂錘(8)をハンマ(6)に衝突させ上述した刻印が行われることになる。

この発明の刻印装置を使用することにより作業員自ら手作業によって刻印する場合に比べ、作業能率が著しく向上するものである。

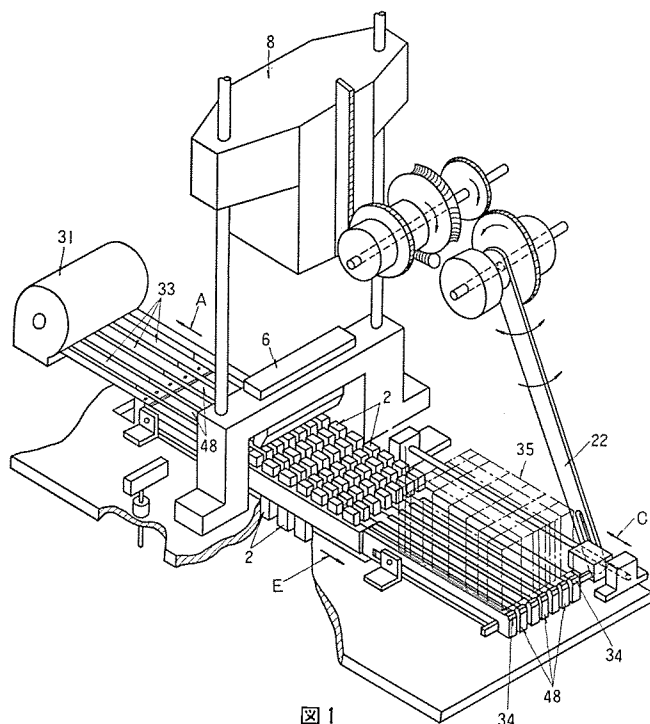


図1

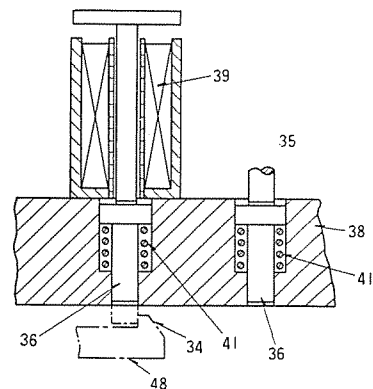


図2

トランジスタ増幅器 (実用新案 第963749号)

考案者 早水 弘一・堀場 康孝

この考案は、片接地入力信号からプッシュプル出力信号を得るトランジスタ増幅器に関するものである。

図はこの考案の基本的構成を示す結線図で、 Q_1 、 Q_4 はnpn形トランジスタを、 Q_2 、 Q_3 はpnp形トランジスタを表す。Xは Q_1 、 Q_2 を動作領域にバイアスするためのインピーダンス回路で、簡単のためダイオ

ード D_1 のみが接続されているものを示す。 R_{E1} 、 R_{E2} はこのX部にバイアスを供給するとともに、 Q_1 、 Q_2 のエミッタ負荷を構成しており、出力端子(2)に接続されている R_L は負荷を示している。上記 Q_1 のコレクタは、電源より Q_3 のエミッタ・ベース間の負荷を通してバイアスを供給されている。又上記 Q_2 のコレクタは、同様に電源より Q_4

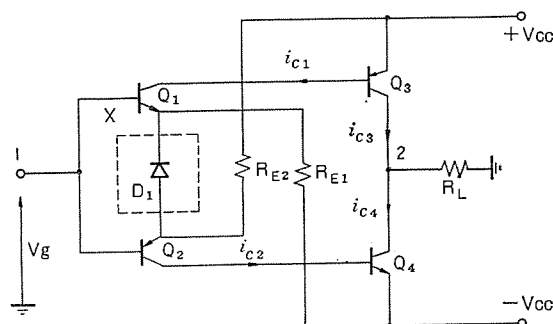
のエミッタ・ベース間の負荷を通してバイアスを供給されている。

今、入力端子(1)の信号電圧が0で $R_{E1}=R_{E2}$ の時、この回路の動作を考えるに、 $V_{CC}-R_{E2}-X(D_1)-R_{E1}-(-V_{CC})$ の閉路を流れる電流によって D_1 が順方向にバイアスされると、 Q_1 、 Q_2 のエミッタ・ベース間はこの D_1 の順電圧降下 V_{D1} のほぼ $1/2$ ずつを担い、ごくわずかに順方向にバイアスされる。しかし D_1 、 Q_1 、 Q_2 がすべて同一の半導体母材から製作されたものである時には、 Q_1 、 Q_2 のコレクタ電流 i_{c1} 、 i_{c2} はほとんど流れない結果、 Q_3 、 Q_4 を流れる電流も著しく微少で高電力効率増幅器となることが期待される。これより出力端子(2)の直流電位は0(V)である一方入力端子も $R_{E1}=R_{E2}$ の条件より Q_1 、 Q_2 のエミッタ・ベース間特性が等しい時には0(V)となる。

次に入力端子(1)に接地電位に対して正方向の信号が印加されると、 Q_1 はこの信号に応じて導通し i_{c1} を流すが、 Q_2 はそのベース電位がより正になった結果より非導通になる。したがって Q_4 は非導通で、 Q_1 のコレクタ電流 i_{c1} は Q_3 で電流増幅されて負荷 R_L に Bic_1 の信号電流を与える。一方接地電位に対して負方向の信号に対して

は、 Q_1 が非導通となり、 Q_2 が信号に応じて i_{c2} を流し負荷 R_L に Bic_2 の信号電流を供給する。

したがってこの考案の回路は、入力端子(1)に入る片接地入力で Q_1 、 Q_3 、 Q_2 、 Q_4 をバランスよくプッシュプル動作させ、少ないトランジスタ電力損失で負荷 R_L に大電力を供給するものである。



シリコン、窒素及び酸素の三成分系半導体用保護膜の製造方法 (特許 第680455号)

発明者 植松 滋 幸・中 尾 院 治

この発明は、半導体表面に形成される電気的絶縁性保護膜、特にシリコン、窒素及び酸素の三成分系からなる絶縁性保護膜の製法に関するものである。

この発明の製法は、窒素と酸素の混合ガス中のシリコンの反応性スパッタ法を用いるものである。この製法によれば、窒素と酸素の混合ガスの分圧比を変えることによりシリコン、窒素及び酸素の三成分系保護膜の成分比を連続的に変えることができ、所望の保護膜が得られることを確認した。製造装置としては、例えばプラズマ・スパッタ装置を用いることができる。図1で、排気口(1)より排気した後、さらに排気しながら可変リークバルブ(2)、(3)よりそれぞれ酸素ガスと窒素ガスを別々に導入し、所定の圧力はほぼ 10^{-3} Torr にする。フィラメント(4)を加熱し電子を放出させて、アノード(5)の間に外部の磁場発生器(6)で集束されたプラズマを発生させる。シリコン・ターゲット(7)にプラズマに対し1kV程度の負の電圧を印加して、ターゲット(7)にイオンを衝撃させシリコン原子をスパッタさせる。スパッタされたシリコン原子はガス中の窒素と酸素に反応し、ターゲット(7)に向い合って置かれた基板(8)上に、シリコン、窒素及び酸素からなる保護膜を形成する。

図2は、MOS形ダイオードにおける電圧対容量特性を示し、(9)はこの発明により得た絶縁性保護膜の曲線、(10)は酸化シリコン膜から成るものの曲線、(11)は窒化シリコン膜から成るものの曲線、又 C_0 は最大容量値を示す。この発明による絶縁膜(9)に比べ、窒化シリコン膜(11)はフラットバンド電圧 V_{fb} の値が大であり、又窒化シリコン膜(11)にはヒステリシスの欠点があることが分かる。

この発明の製法の特長は、低温で保護膜を付着することができ、又その成分比を簡単に変えることができる点にある。

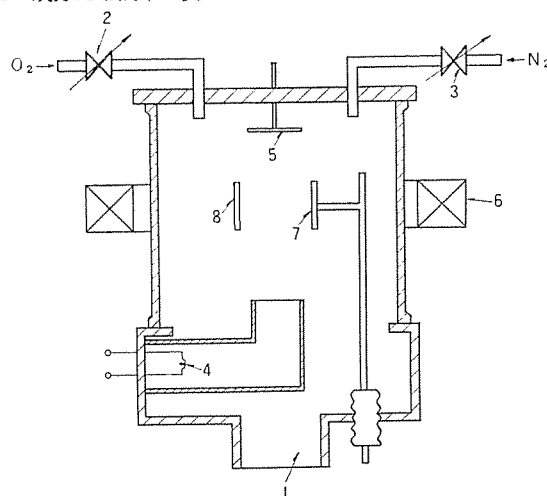


図1

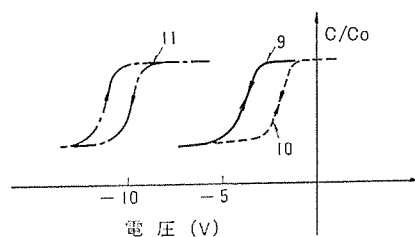


図2

大容量ブラシレス励磁機の機械的問題

河村 博敏*・松倉 欣孝**

1. ま え が き

タービン発電機の単機容量の増大にともなう、その励磁容量も最近急激に増大している。当社では、励磁方式として、保守・性能及び経済性の点で最良の方式と思われるブラシレス励磁方式を標準にしておき、事業用としては、昭和43年に九州電力大分発電所に1号機を納入して以来これまでに42台を製作納入し16台を製作中である。これらの中の代表的な大容量機には、既に運転中の、台湾電力大林発電所納め3,300 kW 3,600 rpm 機、及び現在製作中の5,500 kW 1,800 rpm 機などがある。

ブラシレス励磁機の場合、大容量化にともない、電気的諸問題の解決もさることながら、強度・振動など材料や構造に関係のある機械的問題の解決が、特に重要になってくる。これは、ブラシレス励磁機がタービン発電機に直結されるため高速で運転されること、また振動やねじりトルクのように、励磁機だけでなくタービン・発電機も含めた全回転子系として捕えなければならない問題を含んでいること、更にブラシレス励磁機が従来の回転電気機械の概念からかなり異なった構造をしていることなどに起因している。

本文では、電機子鉄心・整流器ホイール・カップリングなど容量の増大に制限を与える主要部分の構造・強度について述べ、更に、軸の長大化に伴いますますます難しくなってくる軸の横振動及びねじり振動の問題について、設計上の考え方を述べるとともに、振動調整に関する最近の技術についても若干紹介する。

なお、ブラシレス励磁機の一般的説明や、整流回路部品の強度などについては、これまでも紹介している⁽¹⁾ので本文ではふれないが、参考までに代表的なブラシレス励磁機の断面図を図1.に示す。

2. 交流励磁機の電機子鉄心

2.1 電機子鉄心の構造と組立

一般の交流発電機が、小容量機を除いて回転界磁形であるのに対し、ブラシレス励磁機の交流励磁機は回転電機子形となる。したがって、タービン発電機のようにソリッドの軸にスロットを切ったものではなく、図2.に示すように打抜いたけい素鋼板を積層コアにして、フルート軸に圧入したものである。積層コアは、ばね効果を持ったフィンガプレートを紹介してクランプで締めつけられており、またクランプはキーにより軸に固定されているので回転中に積層コアの締付圧力が低下することはない。

電機子鉄心の組立には、適正なる面圧で均等に締めつけることが

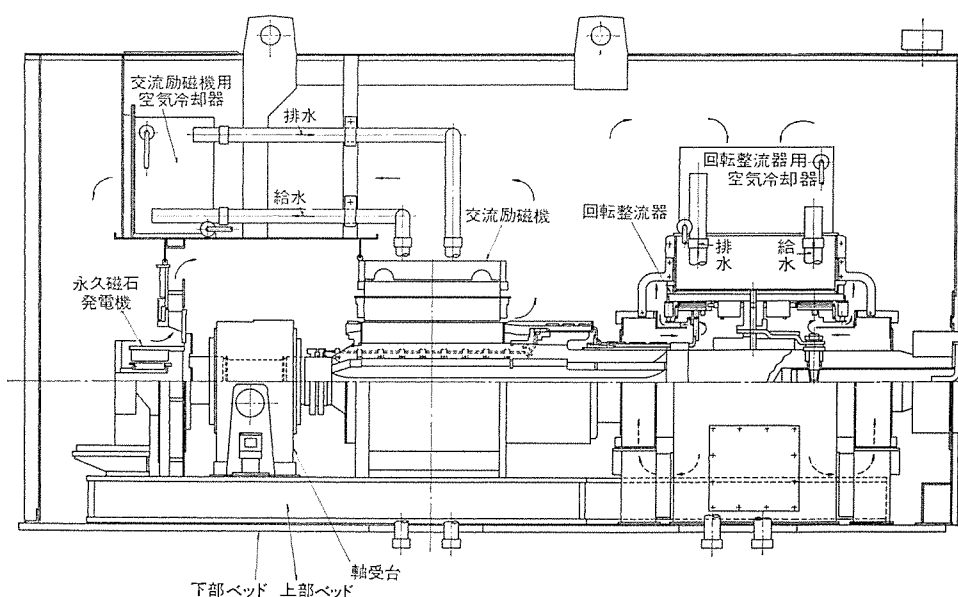


図1. 600 MW 級タービン発電機用ブラシレス励磁機断面図

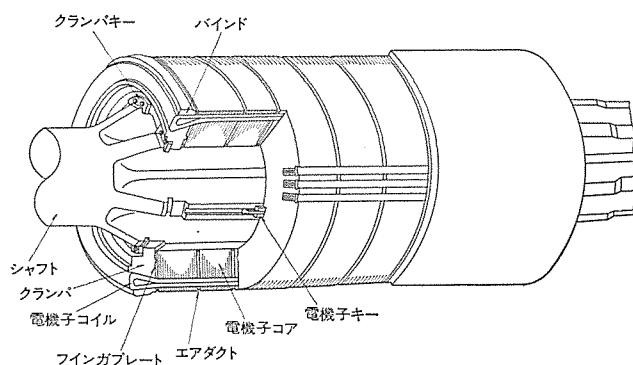


図2. 電機子鉄心の構造

重要である。積層鉄心を積層方向に圧縮したときの面圧と変形の関係は比例ではなく、面圧をある程度以上に高めても占積率はそれほどよくならない。交流励磁機では、鉄心をなじませるため初期締付力を 60 kg/cm^2 にして、軸に圧入後の残留面圧は 15 kg/cm^2 以上になるように組立てている。軸は、重力によって曲げられながら回転し、軸の上側及び下側表面に引張り・圧縮応力を生ずるため、鉄心の面圧も変動するが、この変動面圧は残留面圧 15 kg/cm^2 に対して1%程度であり、無視できるほど小さい。また、鉄心は無機物の絶縁コーティングをしたものを使用しているため枯れによる収縮はほとんどなく、運転期間中 15 kg/cm^2 以上の面圧が安定に保たれる。

圧延した帯状のけい素鋼板は、幅の中央付近がごくわずかであるが厚くなっているのが普通であり、これを打抜いて同じ方向に積層すると、面圧が低い方向を生ずる可能性がある。一般に鉄心の面圧が均等でないと振動の原因になることがあるので鋼板の幅の中央付近が同じ方向にならないように、交互に方向を変えて積層し、面圧

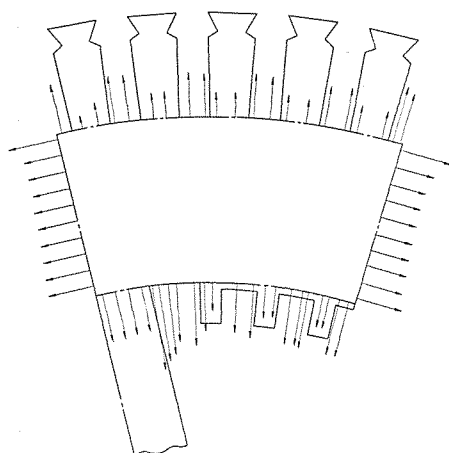


図 3. 有限要素法による電機子鉄心 フープ応力計算例

の不均一が生じないようにしている。また、特殊な工具を使用して鉄心が均一に締めつけられるように配慮している。

2.2 電機子鉄心の強度

電機子鉄心の強度上考慮すべき点は、次のとおりである。

- (1) 電機子鉄心には軸と鉄心の締めしろによる力と遠心力が作用するが、これらの力による応力が材料の許容範囲内にあること。
- (2) 運転中に遠心力による鉄心の伸びのため締めしろが減少する。また、鉄心の温度が軸よりも高くなり、両者の熱膨張の差によっても締めしろが減少する。過速度状態においても、締めしろがなくなると軸と鉄心の間にゆるみを生ずることがないこと。
- (3) 系統事故などによって生ずる過大なねじりトルクに対しても、鉄心がすべることがないこと。

締めしろを大きくすると、これによる応力が大きくなるので、上記(1)と(2)は相反することになる。遠心力による応力を低下させるためには、回転子の内外径とも小さくすればよいが、振動・通風の点からは好ましくない。一方、鉄心材料としては、鉄損の少ないものが要求されるため、S-10 級の高抗張力けい素鋼板を使用しているが、これの引張り強さは 52kg/mm² 程度であり、磁気的特性上の制約からこれ以上の強度を持った材料を入手することは現状では困難である。したがって、3,600 rpm 機で容量が大きくなると、鉄心の応力及び残留締めしろを正確に知ることが、極めて重要な問題になってくる。

当社では、曲がり回りの理論を応用して、解析的に鉄心の応力及び残留締めしろを計算しているが、この方法の妥当性を調べるため、有限要素法による計算を行い、両者がよく一致していることを確認している。有限要素法による計算例を図 3. に示す。更に、実機及びモデル機を使って各部応力測定をするほか、実物大モデル機を回転させた後で分解調査し、ゆるみなどの異状がなく機械的に堅ろう(牢)で十分信頼性がある構造であることを確認している。

ねじりトルクに対しては、電機子内周にキーみぞ(溝)を設け、予想できる最大トルクに対しても耐えることができるよう考慮している。

これまでの検討結果から判断して、3,600 rpm 機では 5,400 kW まで、1,800 rpm 機では 10,000 kW までは鉄心の強度に制約されることなく従来の技術で製作可能であり、更に容量が大きくなれば、水素冷却方式の採用など冷却方式の改善で鉄心の問題は克服できる。米国では、既に水素冷却 ブラシレス 励磁機が数台運転中である。

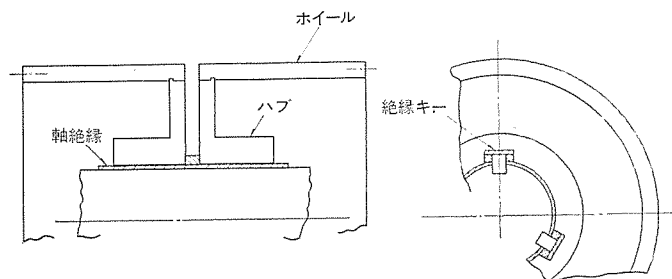


図 4. 整流器 ホイールの構造

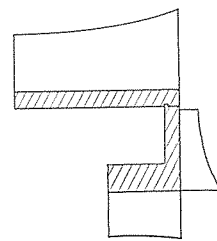


図 5. 整流器ホイールの回転中のフープ応力分布

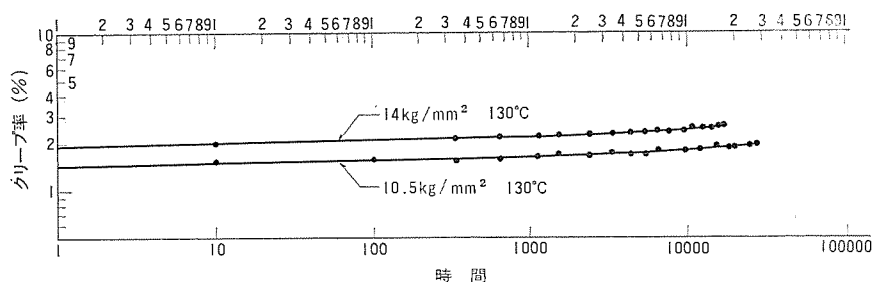


図 6. 整流器ホイール絶縁材料の圧縮クリープ特性

3. 整流器ホイール

3.1 整流器ホイールの構造

整流器ホイールは、整流回路部品を取付ける構造物であると同時に導電部として使用される。したがって、図 4. に示すように絶縁物を介して軸に焼きばめされ、絶縁キーにより固定されている。整流器ホイールは、ホイールとハブから構成され、焼きばめにより一体化されている。ホイールとハブは、最初から一体構造で製作することも可能であるが、大形化すると一体形では均一な材質の鍛造品を入手することが困難になるので、分割構造にしている。

3.2 整流器ホイールの強度

整流器ホイールは、大容量機になると 3,600 rpm 機で外径が 1,000 mm 程度になり、周速は 120 % 過速度で 226 m/s にも達するので電機子鉄心同様、応力と締めしろの決定が設計上の最大のポイントになる。応力と締めしろは、電子計算機を使って解析法と有限要素法の両方で計算するほか、実機について焼きばめ前後の寸法計測を行い、計算値と比較することによって計算方式の妥当性を確認している。図 5. に整流器ホイールの応力分布の計算例を示す。材料としては引張り強さ 115 kg/mm² 以上の高張力鋼を使用している。

整流器ホイールのハブと軸の間の絶縁物は約 10 kg/cm² の圧縮力を受けるので、そのクリープ特性についても考慮する必要がある。図 6. は、絶縁物を使用状態よりか(苛)酷な条件、130°C、10.5 kg/mm² 及び 14 kg/mm² でクリープ試験した結果である。一般にクリープ率 E は、次式で表される⁽²⁾。

$$E = Bt \left(\frac{S}{S_0} \right)^n \quad \dots\dots\dots (1)$$

B , n は試験によって決まる定数、 t は時間、 S は応力レベルである。

試験結果と式(1)から、実際の使用状態 (65°C、10 kg/mm²) におけるクリープ率を計算すると、20 年間で 0.45 % にすぎず、締めしろの変化に対する影響は、ほとんどないことがわかる。

4. カップリング

4.1 構造

ブラシレス 励磁機のカップリングは、図 7. に示すように軸に焼きばめし、

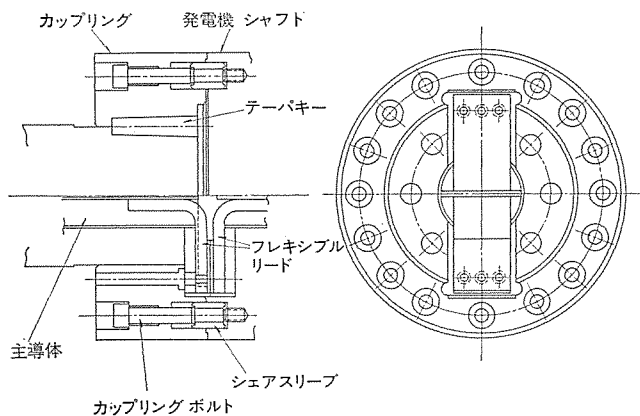


図 7. カップリング部構造

丸形のテーパキーで固定する構造になっている。結合ボルトは、シヤスリーブ方式と称して、カップリング締めつけ機能と過大トルク伝達機能を分離した構造を採用している。すなわち、通常運転時のトルクは、ボルトの締付力によるカップリング面の摩擦力で十分伝達することができるが、発電機の突発短絡などにより発生した異常大トルクは、シヤスリーブが負担することになる。シヤスリーブと穴のすき間は、異常トルクによっても結合の狂いがないように小さな値にしている。この方式は、リーマボルトで異常トルクを伝達させる方式に比較して、直結分解時にボルトを焼きつかせる心配がなく作業が容易であるという利点がある。

ブラシレス励磁機のカップリングは単に機械的結合機能だけでなく、電氣的結合機能も持たせる必要がある。大容量機では、励磁電流を流すリードを、図 7. に示すようにカップリング内部で結合する方式にしているため、遠心力が小さく機械的信頼性が高い。

4.2 強度

焼きばめカップリングでは、特に焼きばめ部の信頼性が重要であるから、締めしろを大きくすることによって一体形カップリングと同等の性能を持たせるとともに、カップリング部に曲げモーメントが加わらないように発電機と励磁機のセンタリングを行っている。締めしろを大きくすると応力も増すので、材料は引張り強さ 90 kg/mm² 以上の高張力鋼を使用している。

カップリングキー及びシヤスリーブは、発電機の突発短絡や異同期投入時にかかるトルクが定格の 100 倍程度であるのに対して、定格の数百倍のトルクに耐えるように設計してある。

5. 振 動

5.1 危険速度と振動の応答

振動に関しては設計時に、次の 2 点に留意する必要がある。

- (1) 軸の横振動危険速度が定格回転数及び過速度域と十分に離れており、更に不つり合振動感度が低いこと。
- (2) 軸のねじり固有振動数が電源周波数及びその 2 倍の周波数と十分に離れており、更に発電機の突発短絡及び異同期投入時に発生するねじりトルクに耐えること。

ブラシレス励磁機の重量はタービン・発電機の 1/10 程度と軽い関係上、横振動、ねじり振動ともにタービン・発電機の振動によって大きく影響される。この意味から、ブラシレス励磁機だけを単独でとりあげて振動問題を論じても十分でなく、常にブラシレス励磁機とタービン・発電機とを一体にして検討を進めなければならない。

横振動に関しては伝達マトリックス法にもとづいた長大軸系振動解

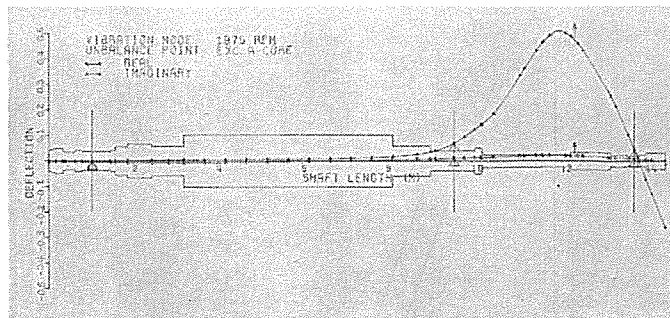


図 8. ブラシレス励磁機の危険速度における振動モード

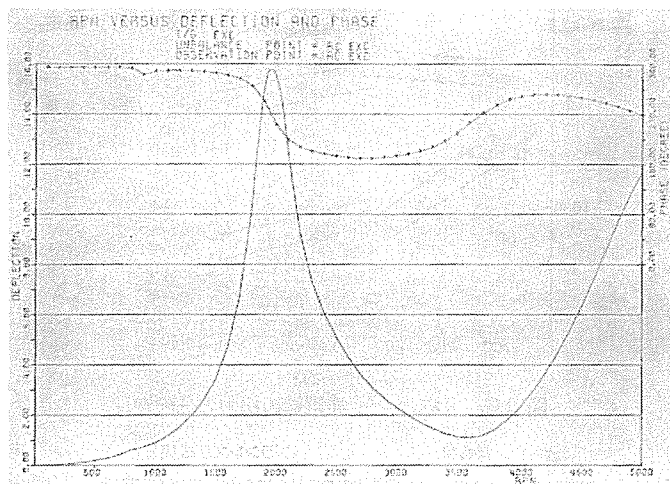


図 9. ブラシレス励磁機の振動応答

析プログラムを開発し軸系の設計に使用している。このプログラムの特徴は次のとおりである。

- (a) 危険速度、固有モード、不つり合振動応答といった振動特性だけでなく、軸の静たわみ、軸受調整高さなどの軸系設計上の基本的事項が計算できる。
- (b) ブラシレス励磁機の整流器ホイール部、発電機のリチーニング部などの、軸中オーバハングの影響を考慮している。
- (c) 軸受の垂直方向のばね定数、減衰定数だけでなく、油膜軸受の水平-垂直方向の相互干渉特性をも考慮している。

図 8. は発電機、励磁機軸系の不つり合振動応答モード計算の一例で、ブラシレス励磁機の電機子コア部に単位不つり合があるときの励磁機 1 次危険速度での振動モードである。図 9. は単位不つり合を、電機子コア部に付加し、電機子コア部で観測した場合の周波数応答計算の一例で、回転数と振動振幅・位相の関係を示している。

軸系の設計にあたっては励磁機の危険速度と発電機の危険速度とを十分に離さねばならない。図 10. は危険速度と発電機出力との関係で、危険速度が問題になるほど接近していないことがわかる。

以上は火力用 (2 極機) についての検討であるが、原子力用 (4 極機) の場合はブラシレス励磁機の危険速度が定格回転数よりも高いため、全く問題はなく、上述のような考慮の必要もない。

ブラシレス励磁機における軸系のねじり振動問題は、永久磁石発電機 (PMG)・交流励磁機・整流器ホイール・発電機の 4 自由度振動モデルについて解けば十分で、タービンの影響はほとんど受けない。電気トルクとしては、最も厳しい条件として発電機出力端子の線間突発短絡・三相突発短絡及び異同期投入時に発生するトルクを考えておけばよい。線間突発短絡トルクには、電源周波数の 2 倍周波数成分も含まれるので、その共振も避けるような軸系にする必要がある。

軸の横振動の危険速度と、ねじりの固有振動数とは互いに関連が

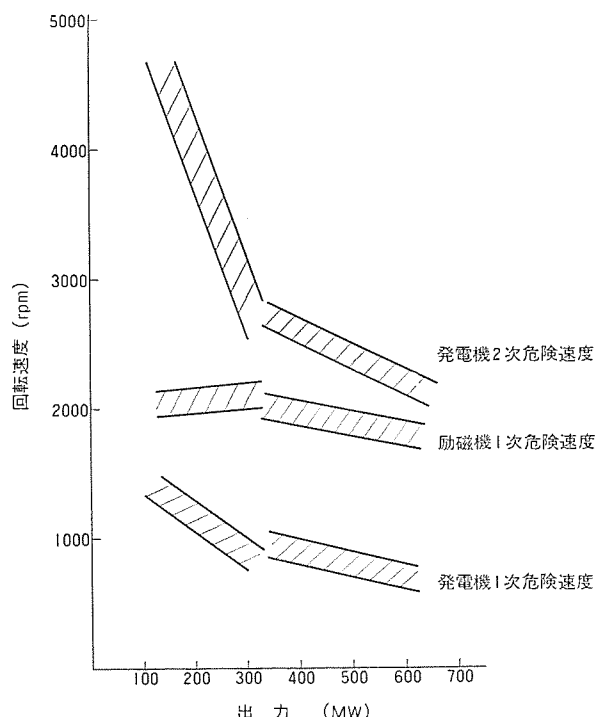


図 10. 2 極 タービン 発電機の出力と危険速度

やヒューズなどの部品は重量管理を行っておく。その後励磁機として完成した状態で定格回転数までバランスを行う。この間発電機回転子についてもベキキングを兼ねて、単独でバランス修正を行い、その後両回転子を直結し、改めて過速度域までバランスをとる。この後、電気試験のため、固定子の中へ回転子を組立てたとき、再度微調整のバランス修正を行うこともある。最後に現地発電所で若干のフィールドバランスを行ってバランス作業は終了する。

励磁機・発電機軸系は運転回転数以下に最高 3 個の危険速度が存在するため、通常の剛体軸のバランス、いわゆる動つり合修正ではバランスをとったことにならない。危険速度を越える軸のバランス、いわゆるフレキシブルバランスの理論については現在までに多数の研究⁽³⁾が行われ、現時点では二、三の点を除きほとんど確立されたものとみてさしつかえない。これらの理論によれば、フレキシブルバランスは次の点を骨子にしている。

- (1) 通常の動つり合修正を実施する。
- (2) 使用回転数範囲の各危険速度でモード別にバランス修正を行う。
- (3) つり合修正すい(鍾)を付加する位置は、そのモードで振動が比較的大きい点を選ぶ。

当社では、この理論にもとづいて各危険速度でバランス修正を行うほか定格回転数及び過速度でも若干のバランス修正を行いフレキシブルバランスの不十分な点を補っている。

バランス理論によれば、先に挙げた(1)項の動つり合修正を行う N+2 面法と、動つり合修正を不要とする N 面法⁽⁴⁾とがある。当社では、上述のとおり後者に準拠している。

各種の振動データから修正すい(搭)載位置を決めるためには、主にモーダル効果ベクトル法⁽⁵⁾を採用している。

以上のフレキシブルバランスでは膨大な量のデータを、比較的短時間で、繰り返し処理する必要がある。この意味で、採取した振動データを自動記録するとともに直視化をはかって、実際に発生している振動現象を短時間で理解できるように、図 12. に示すような計測装置を導入した。この装置は工場で使用するだけでなく、大形専用バス(振動解析車)で現地へ持ちこみ使用している。

5.3 軸受ベDESTALの剛性

軸系の振動は軸受部分の特性に大きく影響される。ブラシレス励磁機には図 13. に示す 4 パッド軸受を採用している。この形式の軸受は一般に軸受ばね定数、減衰定数が回転子の振動抑制に対し十分な効果を発揮しうることが知られている。更に、この軸受を支えるベDESTALの剛性及び基礎への据付剛性が重要であり、図 14. に示すように上部ベDESTALを直接基礎に締めつけるホルドダウンボルトを採用している。なお、ホルドダウンボルトは発電機回転子の引抜きを容易にするため分割構造にしている。

ベDESTAL及び据付部の剛性を確認するために、ブラシレス励磁機を発電所に据付けた後ベDESTALの加振試験を行った。試験には最大加振力 300 kg の大形油圧加振器を使用し、測定データはメカニカルインピーダンス測定装置を用いて処理した。測定結果の一例を図 15. に示す。ベDESTALの基本ばね定数は 120~200 t/mm で、1 次の固有振動数が 290 Hz であることがわかる。Hagg らの研究⁽⁶⁾によれば、励磁機軸受の油膜ばね定数は約 30 t/mm であり、ベDESTAL剛性はこれに比べ十分に高く、更にベDESTALの最低次の固有振動数は、定格回転数の 5 倍以上も高いので、振動的には十分な裕度をもっている。

5.4 回転子の非対称による振動

断面が非対称形状の軸に発生する特異な振動現象は古くから知られ

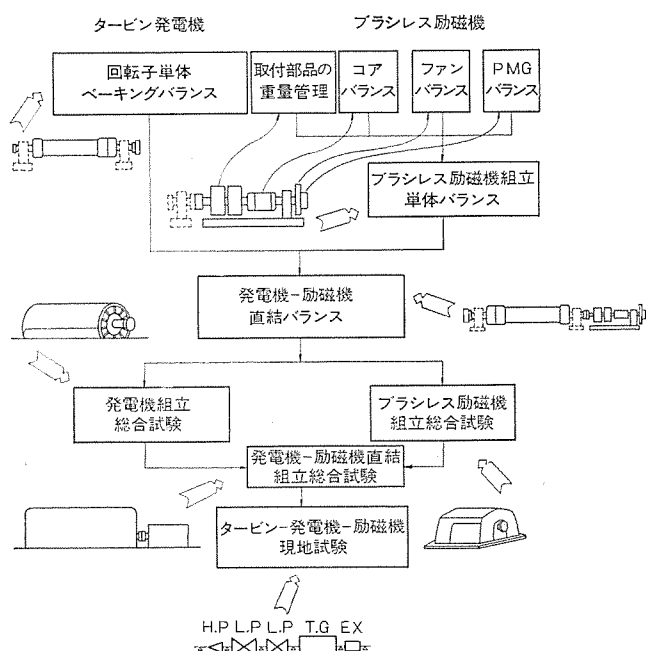


図 11. ブラシレス励磁機・タービン発電機のバランス手順

あるので、横振動が最適になる設計を行うと、ねじり振動のほうで不都合が生ずることがある。このような場合、ブラシレス励磁機では交流励磁機部や整流器 ホイル・カップリング 間部にフルート軸構造を採用し、曲げ剛性に影響を与えずにねじり剛性を大幅に変えるといった調整を行う。ブラシレス励磁機の軸材は、引張り強さ 110 kg/mm² 以上の高張力鋼を使用しているが、これはねじり振動に対する強度を持たせるためで、一般に曲げ応力は問題にならないほど小さい。

5.2 バランス修正

軸振動とバランス修正とは密接な関係にあり、当社では設計図面上回転子に幾何学的な重量アンバランスがでないような構造にするとともに、図 11. に示す手順で綿密にバランス作業を行っている。まずブラシレス励磁機の電機子コアを軸に焼きばめした段階で低速バランスを行う。一方ファン、PMG は単体で高速バランスを行い、また整流器

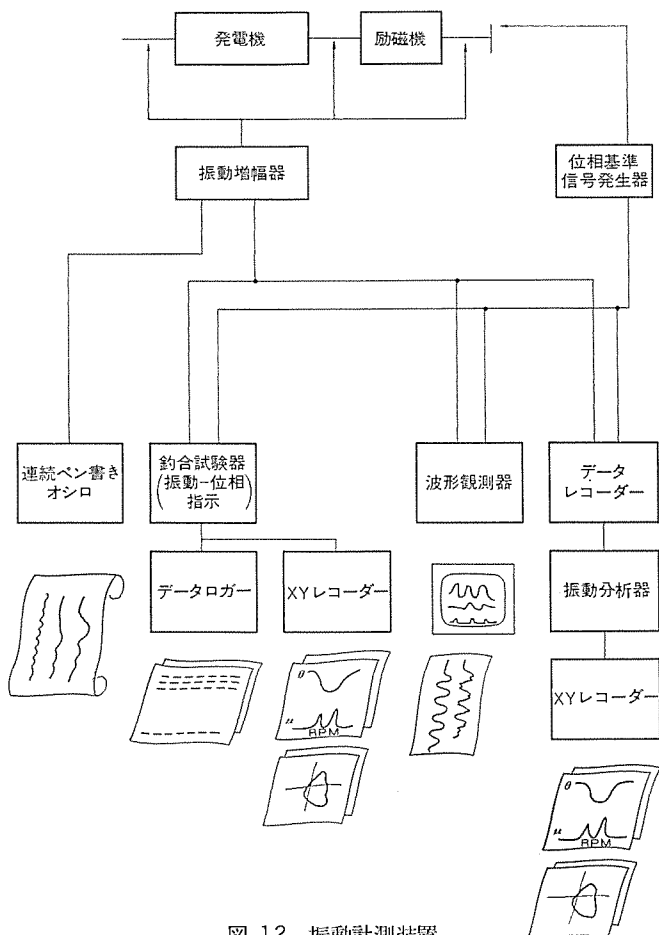


図 12. 振動計測装置

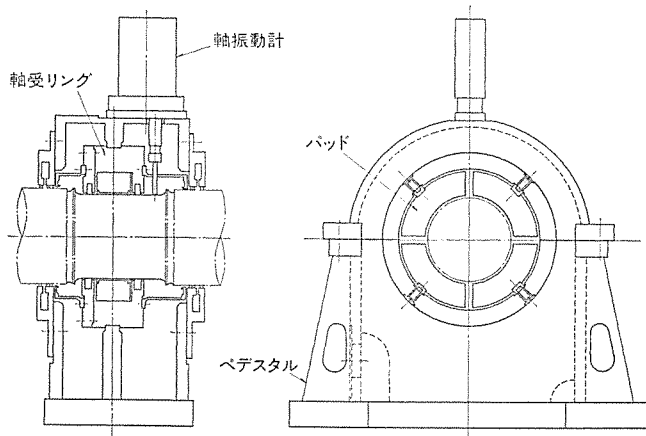


図 13. 軸受構造

ている。断面非対称軸とは図 16. に示すように、X 軸と Y 軸まわりの断面 2 次 モーメントが異なるものである。図 16. でわかるように、ブラシ励磁機、発電機軸には、励磁電流を流すためにリード用のみぞや穴があり、また、発電機回転子胴部には界磁巻線用のみぞがあるためこの部分で軸断面が非対称になっている。従来から発電機胴部には補償用のクロスロット⁽⁹⁾を加工し対称にしているが、リード部でも非対称量の大きさによっては、

(1) 軸系全体に働く減衰効果が少ないと、X、Y 軸まわりの二つの危険速度の間で回転子の運動が不安定になる。

(2) 横置き回転子では重力の影響で回転数の 2 倍周波数の加振力が発生し、危険速度の半分の回転数で振動が大きくなる。

などの特異な振動現象が発生すると考えられている。

通常回転子の非対称量 μ_j は、X、Y 軸まわりの j 次の危険速度

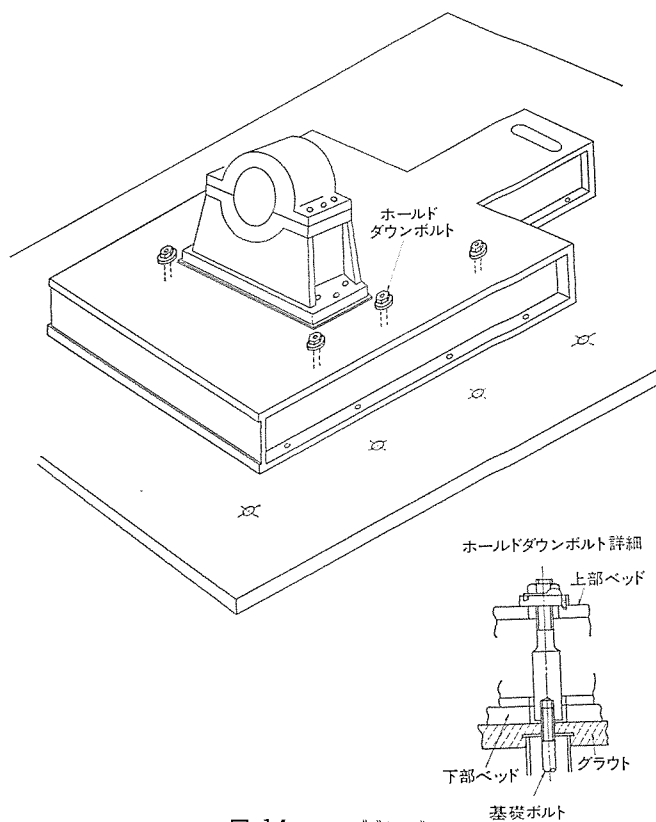


図 14. ホールドダウンボルト

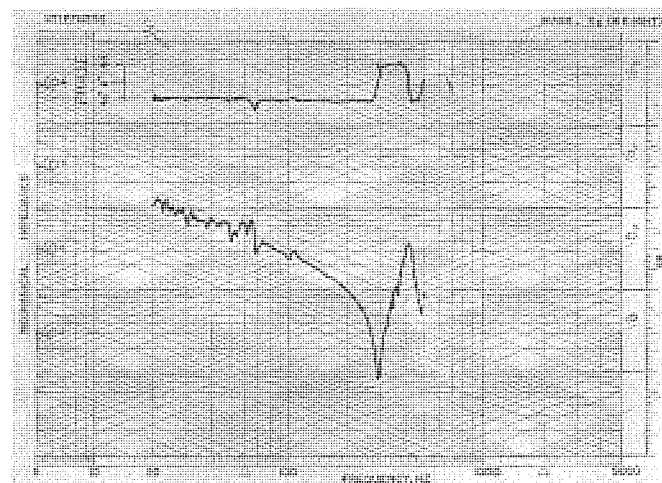


図 15. 軸受ペDESTAL のメカニカルインピーダンス

(角速度) を ω_{xj} , ω_{yj} とすると、

$$\mu_j = \frac{|\omega_{xj}^2 - \omega_{yj}^2|}{\omega_{xj}^2 + \omega_{yj}^2} \quad (2)$$

であらわされる⁽⁷⁾。実際の発電機・励磁機軸系では X、Y 軸まわりの固有振動数の差は非常に少なく、高次の固有振動数においてすらたかだか 2 Hz 程度で、種々の測定によれば式 (2) の μ は、大略 0.003~0.02 の間にあることが明らかになった。

上記 (1) 項の非対称軸の不安定現象に対し、安定限界は軸系のモード減衰比 ζ をとして、次式で与えられる⁽⁷⁾。

$$1 > \frac{\mu}{2\zeta} \quad (3)$$

実際の発電機・励磁機軸系の減衰比 ζ は 0.04~0.1 で、いずれも式 (3) から判定して十分に安定な領域にあることがわかる。

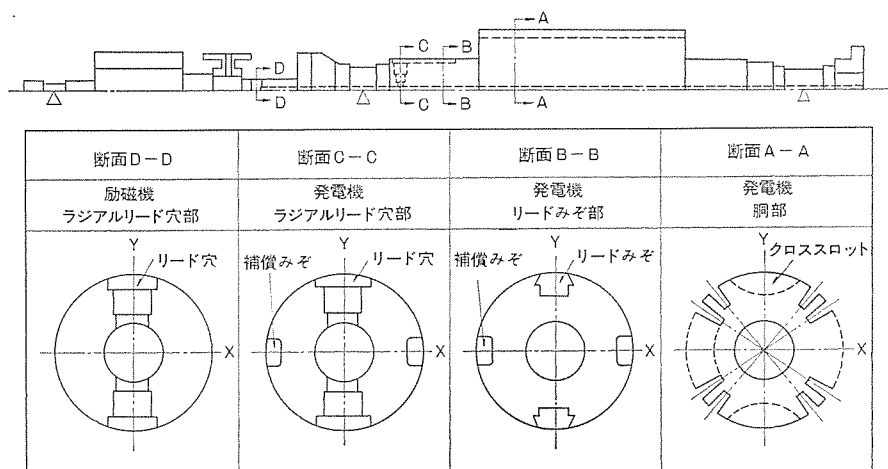


図 16. ブラシレス 励磁機・タービン 発電機の軸断面非対称性

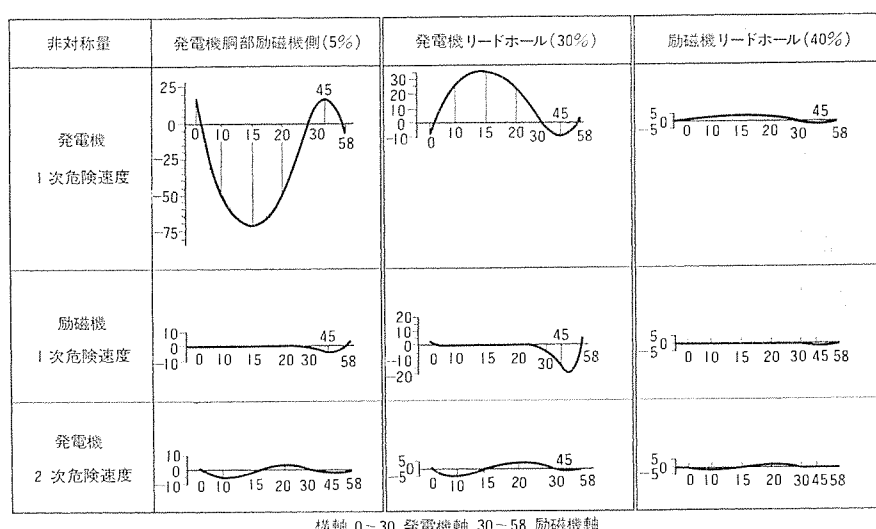


図 17. 軸断面非対称性による 2 倍周波数振動振幅

2 倍周波数の振動振幅は軸の非対称性 (μ) に比例することが知られている。このためには、実際の発電機・励磁機軸系で回転子の非対称性と 2 倍周波数振動振幅との関係をあらかじめ計算しておくことが重要である。計算方法の詳細は別報⁽⁸⁾に譲ることとし、ここでは概略について述べる。モード解析理論によれば、一般に軸上任意点 m の j 次危険速度における振動振幅 X_{mj} は、 r 点に加わる振動外力を $F(x_r)$ 、 j 次の固有モード関数を $\phi(x)$ として、

$$X_{mj} = \frac{\phi_j(x_m)}{\omega_j} \sum_r \frac{\phi_j(x_r) F(x_r)}{\sum_l C_l \phi_j(x_l)} \quad (4)$$

で表される。ここで C_l は軸上 l 点に存在する軸受の減衰定数である。 $F(x_r)$ は r 点に働く 2 倍周波数の加振力で、 $F(x_1)$ 、 $F(x_2)$... を列マトリックス \mathbf{F} であらわすと、

$$\mathbf{F} = \mathbf{C}_0^{-1} (\mathbf{C}_x - \mathbf{C}_y) \mathbf{W} \quad (5)$$

で計算することができる。ここで、 \mathbf{W} は軸を微少要素に区切ったときの各要素の重量マトリックス、 \mathbf{C}_x 、 \mathbf{C}_y はそれぞれ回転子の極中心

方向、極間方向の曲げのコンプライアンスマトリックスである。更に \mathbf{C}_0 は x 、 y 方向の断面 2 次モーメントの平均値を使って算出するコンプライアンスである。2 倍周波数振動振幅は式 (5) を式 (4) に代入すれば計算できる。

図 17. は上記に従って計算した 2 倍周波数の振動振幅である。この計算例から分かるように励磁機の 2 倍周波数振動を、低減させようとした場合、発電機の構造にも注意を払う必要があり、発電機胴部にクロススロットを加工するだけでなく発電機リードスロット部にも、図 16. に示すような補償スロット (実用新案出願中) を加工し、回転子全体の対称性を確保している。

6. む す び

火力・原子力発電プラントは、今後も大容量化の傾向にあり、使用条件はますますか酷になる反面、信頼性に対する要求は更に厳しくなっていくと予想される。ブラシレス励磁機は、タービンや発電機に比較すると形状は小さいけれども、その重要性においては、まったく変わらない。当社では、これからも新しい材料の開発、構造・強度・振動・冷却法・特性の改善などに努め、より使用条件に適した信頼度の高いブラシレス励磁機を製作するように努力する所存である。現在も、ダイオードをスタッド形からフラパック形に変えることによって更にコンパクト化された新系列のブラシレス励磁機 MARK III を開発中であり、完成すればあらためて紹介する予定である。

本文が多少なりともブラシレス励磁機を理解し

ていただく上において参考になれば幸いである。

最後に、機械的諸問題の解決に対してご協力をいただいている三菱重工業(株)の関係各位に厚く感謝の意を表すものである。

参 考 文 献

- (1) 甲斐, 長沢ほか: 三菱電機技報, 43, No. 4, 519 (昭 44)
- (2) Joseph Marin: Engineering Materials, Prentice Hall (1952)
- (3) 例えば, 川井: 日本機械学会論文集, 74, 628, 501 (昭 46-5)
- (4) R. E. D. Bishop and A. G. Parkinson: Trans. ASME, Series B, 94, No. 5, 561 (1971)
- (5) 白木ほか: 三菱重工技報, 10, No. 6, 881 (昭 48-10)
- (6) A. C. Hagg and G. O. Sankey: Trans. ASME, Jour. Appl. Mech, 80, 141 (1958)
- (7) 例えば, A. Tondle, 前沢訳: 回転軸の力学, 65, コロナ社 (昭 46)
- (8) 松倉, 井上: 日本機械学会講演論文集, No. 740-3 (昭 49-4)
- (9) 今井, 大石, 村上: 三菱電機技報, 40, No. 11, 1,700 (昭 41)

農業用水の集中管理システム

柳沢 忍*・永田良茂*・小浦哲仁*・安田宣弘**

1. ま え が き

農業用水の新しいあり方の一環として、農業用水の総合的な水管理、管理の合理化、適正な水配分、水質保全などを目的とした農業用水の集中管理テレメータの必要性が高まっている。一例としてあげれば濃尾用水第2期農業水利事業所に納めたものは木曾川を水源とした約12,000 haの農地かんがい用水組織の管理を行う総合的な水管理システムであり、中央管理センタから端末の子局を遠方監視制御することにより、各チェックゲート及び分水バルブの開閉制御、チェック工、分土工、放水工などの流量・開度・水位の計測、ゲート及びバルブの運転、故障、局舎警報などの状態監視を行う計画である。この集中管理システムは、将来は計算機を導入し、高度の処理、制御計算、判断を行えるよう計算機インタフェース及び設定値制御インタフェースを考慮するものとし、増設に対しては中央管理センタ側は最小の改造で対応できるように考慮した設計となっている。

2. システムの概要

濃尾用水第2期農業用水事業所のシステムを、図1. 管理施設配置図、図2. 遠方監視制御装置系統図として示す。

このシステムは、地区内に点在する各種水利施設を集中監視制御することによって、施設管理の合理化と水配分の適正化をはかるとともに防災に対して万全を期するものである。

伝送路の条件、管理目的、地理的条件などからして取水門、余水吐などの取水関係施設は直送ケーブルで接続し、幹線の各施設は各チェック工を子局とした幹線ごとの搬送3系統に構成し、各系統は独立して、中央管理センタにおいて、各種データの収集と集中監視を行うとともに、ゲート及びバルブの遠隔操作を行うものである。

子局より伝送される情報のうち、幹線水位、幹線流量及び主な分水流量 (0.5 m³/s 以上のもの) は計器盤へ数値データにより常時表示し、個々の場所の全データを操作卓上へ選択表示する。異常信号に対しては操作卓、計器盤の双方で表示し警報を発する。

3. 機器の構成

図 3.~8. は各機器の外観を示す。

3.1 中央管理センタ

中央管理 センタ において、操作卓からの制御信号は テレコン 架を通して子局へ伝送される。また子局から伝送される監視信号は計測 データの場合、テレメータ 架—計器盤、異常信号の場合はテレメータ 架—出

カリレー架, 選択表示
の場合 テレメータ 架一
操作卓で信号を入出
力し表示する。

テレメータ 架、 テレコ
ン 架は系統ごとと独立
しており各系統各 1
架から成る。ただし
出力 リー 架は新般
若系、 奥村系が 1 架、
大江系が 1 架から成
る。構成は次のとお
り。

(a) 計器盤

なお将来は増設し
盤面を2倍にする
予定である。

(b) 操作卓 1 卓

(c) テレメータ 架
3 架

(d) テレコン 架

3 架

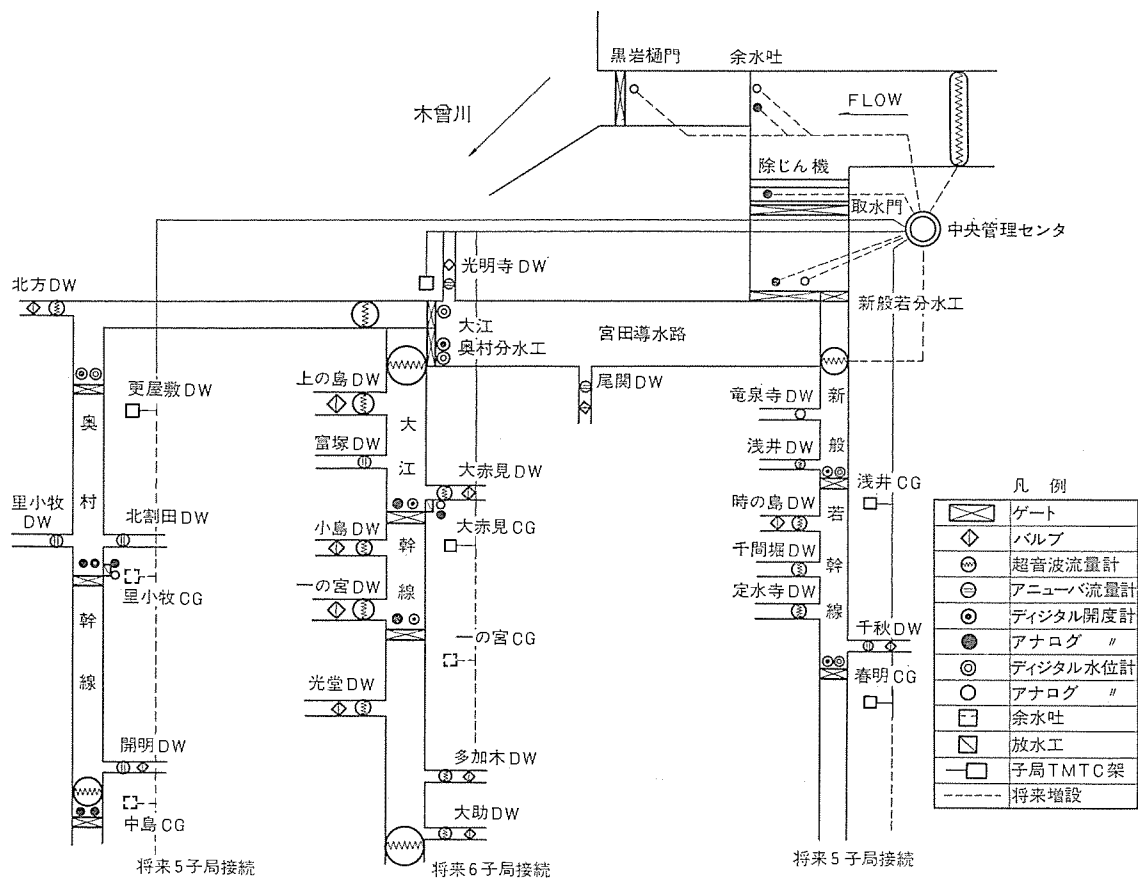


図 1. 管 理 施 設 配 置 図

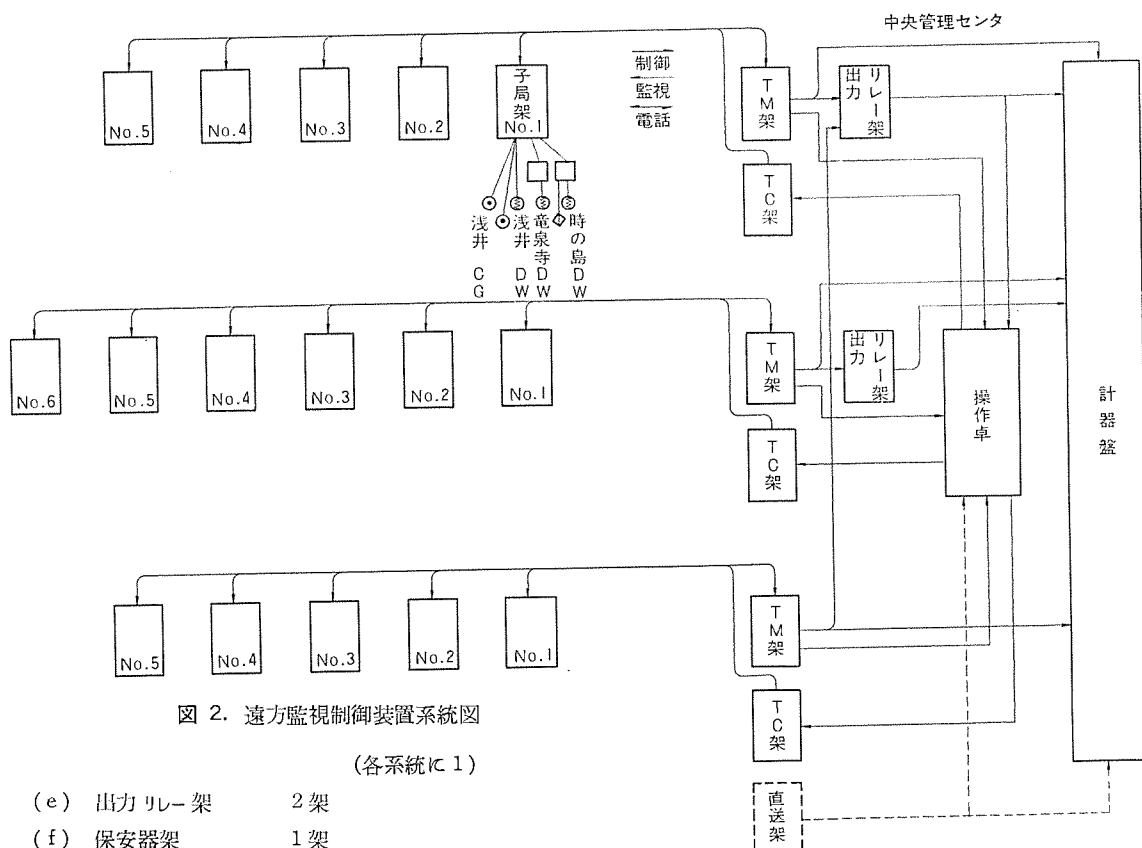


図 2. 遠方監視制御装置系統図

(各系統に 1)

- (e) 出力リレー 2 架
(f) 保安器架 1 架

3.2 受配電設備

中部電力から AC 6 kV, 三相, 1 回線を受電し, 変圧器で 200 V 三相, 更に 100 V 三相に降圧し, 動力, 電灯回路として配電する。また非常用電源として ディーゼル 発電機 1 台を設けている。受配電盤の盤構成は次のとおり。

- (a) 引込盤 1 面
(b) 受電盤 1 面
(c) 変圧器盤 1 面
(d) 動力盤 1 面
(e) 電灯盤 1 面
(f) 発電機盤 1 面
(g) 発電機 1 台
(h) 直流電波設備 1 式

- (a) 全天候形屋外 キュービクル (MC シェルタ)
(b) ゲート, バルブ 現場操作盤
(c) 屋外計器盤
(d) 子局 テレメータ・テレコン 架

3.4 検出器

- (a) 流量計 (超音波 デジタル, 超音波 アナログ, アニューバアナログ 式)
(b) 水位計 (フロート 式 デジタル, アナログ 式)
(c) 開度計 (デジタル 式, アナログ 式)

- (i) 無停電電源装置 (5 kVA) 1 面
(j) 電池盤 (無停電用) 1 面

3.3 現場盤

散在する チェック 工, 分水工, 放水工の各機側に現地組立式の鋼板製全天候形屋外 キュービクル (MC シェルタ) を設置し, その中に子局 テレメータ・テレコン 架及びゲート, バルブ 現場操作盤を収納している, アニューバ式流量計, 信号変換器類は現場設置の屋外計器盤内に収納する。

盤構成は次のとおり。

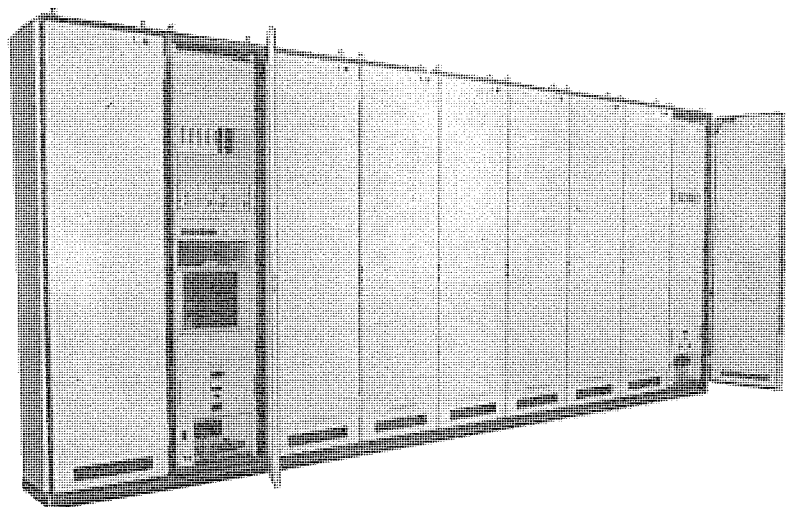


図 3. テレメータ・テレコン 架

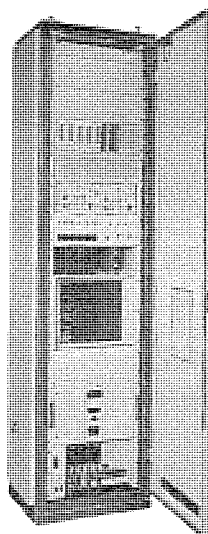


図 4. 親局 テレメータ 架

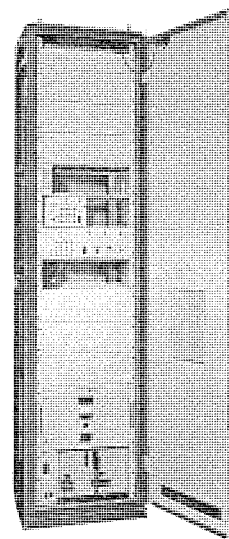


図 5. 親局 テレコン 架

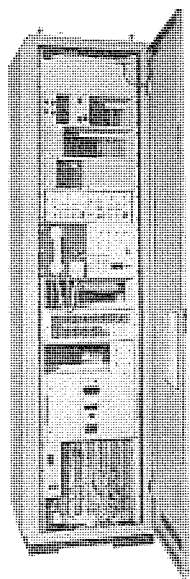


図 6. 子局テレメータ・テレコン架

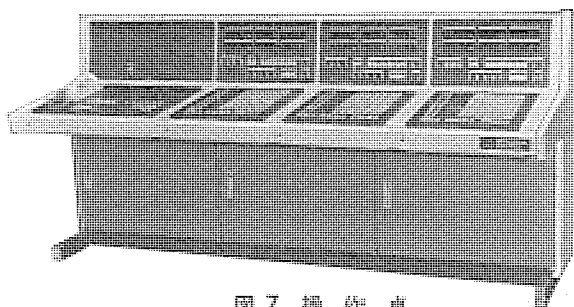


図 7. 操作卓

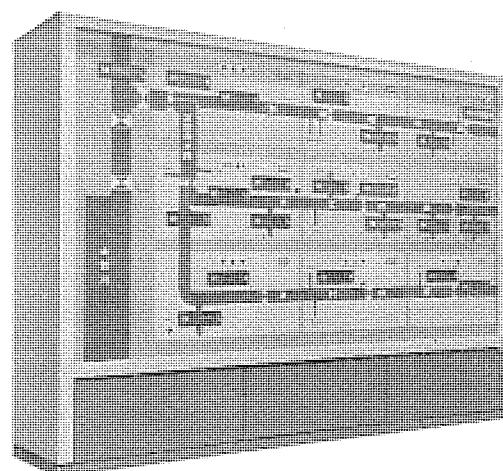


図 8. 計器盤

4. テレメータ・テレコン方式

4.1 監視方式

監視信号（計測及び表示）はチェック工にある、子局テレメータ・テレコン架に各分木工、放木工のデータを集中させ、親局へデジタルサイクリック伝送する。図 9. に子局系統図を、図 11. に親局系統図を示す。

親局ではテレメータ架において、常時表示系においては順次子局データを走査して、幹線水位、幹線流量、分木工（ $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上）流量、故障、異常を常時計器盤で表示させる。この常時表示系の符号伝送回路は 1:N 方式を採用している。選択表示系においては操作卓の選択操作時に、系統ごとに 1 局分の全データだけをサイクリックに伝送する 1:1 方式を採用している。また常時表示系データと選択表示系データを時分割出力させることにより、両データの時間遅れによる不一致をなくしている。数値データは有効数字 3 けた（桁）を送信

し、操作卓で可変小数点にて表示しているため、高精度が保てる。

4.2 制御方式

操作卓操作スイッチの 2 挙動 3 操作により、親局テレコン架から各系統子局共通に、選択指定制御方式（制御時伝送）による制御を行う。ゲート及びバルブの ON-OFF 制御を行うが、将来設定値制御時はカードを実装するだけで接続可能である。

また非制御時は全スペース信号を送出することにより、常時回線及び装置異常（特に符号チェック）の監視を行っている。

4.3 電話方式

各系統ごと独立に 1 回線を使用することにより親局、子局、孫局間で通話ができる。

呼出しはスピーカーによる一斉呼出しにて行い、通話時にはフックスイッチ、プルススイッチにてスピーカー回路が切れ同時通話ができる。なおハンドセットは携帯形であり、孫局へ持込み子局、親局の呼出し、通話ができる。孫局のスピーカー呼出しは行っていない。

系統間の通話は、親局操作卓スイッチで接続することができる。

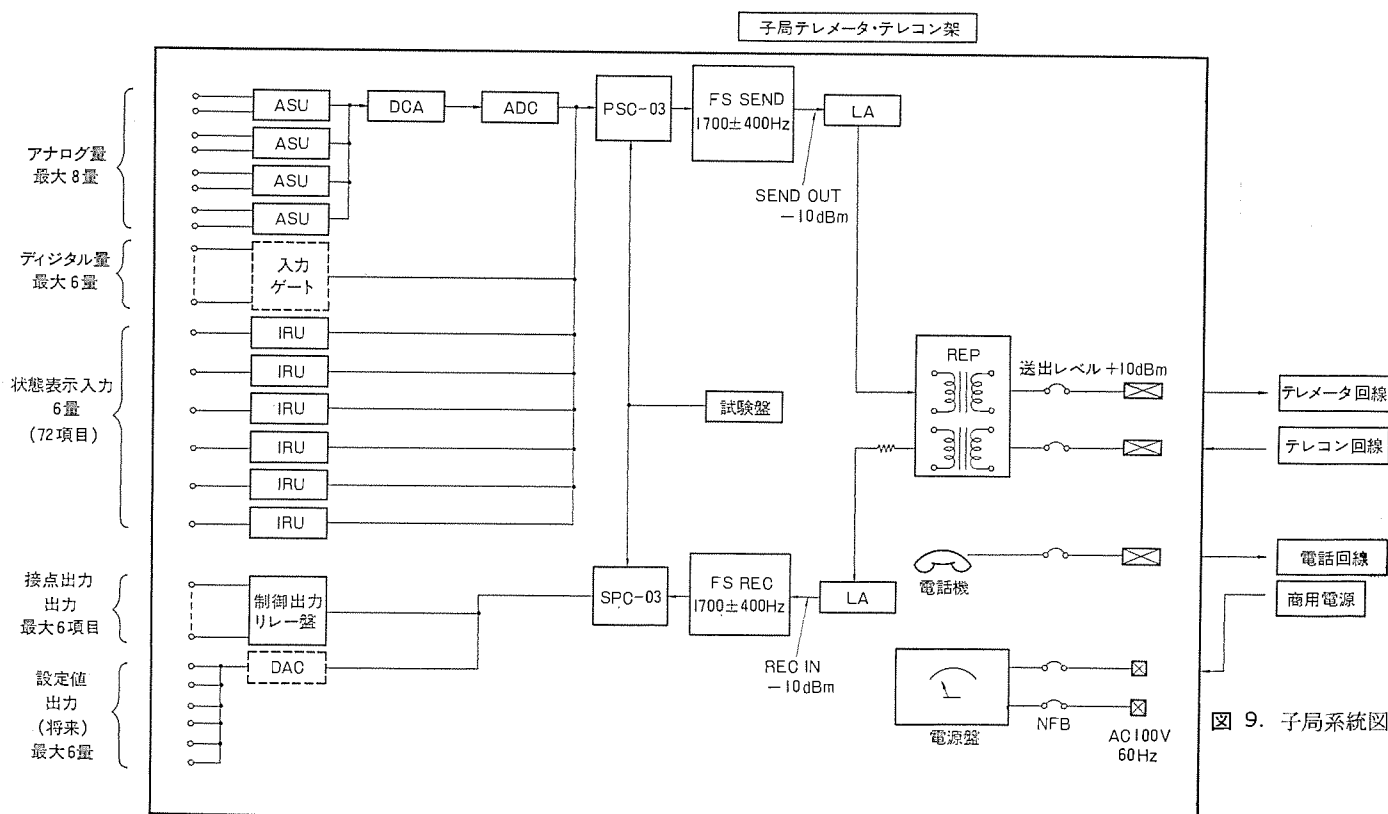


図 9. 子局系統図

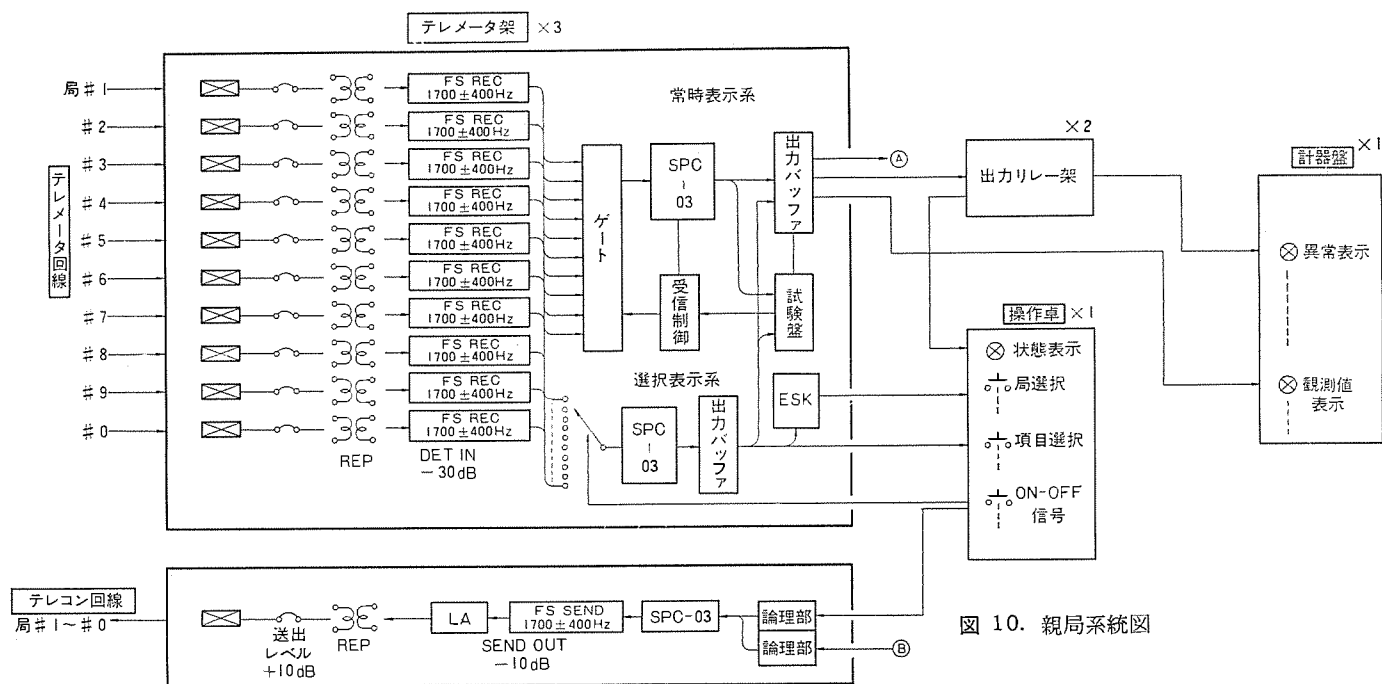


図 10. 親局系統図

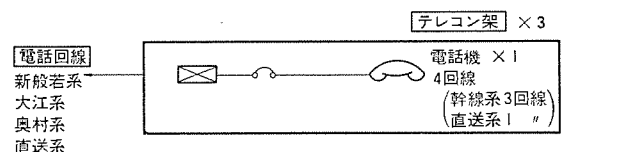


図 11. 制御回線

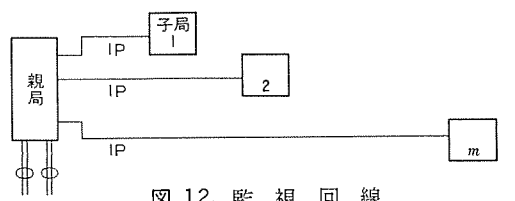


図 12. 監視回線

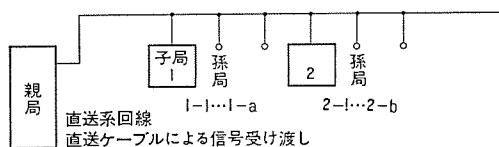


図 13. 電話回線

4. 4 回線構成

市内対 ケーブル 0.9 mm φ (アルミシールド付) による有線により図 11. ~13. のように構成される。

5. 装置仕様

5. 1 テレメータ・テレコン装置

- (1) 収容局数 1 系統当たり 10 子局以下
- (2) 伝送項目 伝送項目数の 1 子局当たりの最大容量は次のとおり。

アナログ計測	8 量
デジタル計測	6 量
状態表示	6 量分 (72 項目)

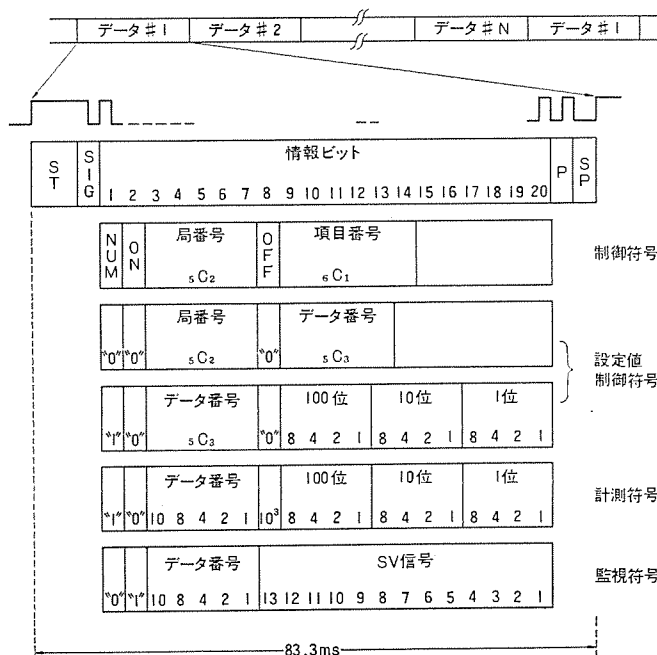


図 14. 伝送符号の形式

- (3) 変調方式 FS 変調 600 bps
- (4) 符号方式ワード同期隣接反転符号
- (5) 符号構成 図 14. による。
- (6) 総合精度 アナログ入力 デジタル出力にて 1% 以下
- (7) 伝送時間
 - (a) 制御出力 約 0.167 秒
 - (b) 選択表示出力 子局伝送量を h とすると伝送サイクルは $0.83 \times h$ 秒
 - (c) 常時表示出力 $1.25 \times l$ 秒 l は子局の数。ただし伝送量 13 以上の場合は 2 局分を割当てる。
- (8) 入出力条件 (現場盤, 検出器—子局 テレメータ・テレコン 架)
 - (a) 計測入力 アナログ 4 ~ 20 mA 350 Ω 終端
デジタル 電圧 0, +12 V

ただし BCD 接点入力も接続可能

無電圧 1 a 接点

(b) 表示入力 無電圧 1 a 接点

(c) 制御出力 設定値 DC 1～5 V (将来)
ON-OFF 1 a 独立接点 DC 30 V
0.2 A 以下

(9) 線路結合 インピーダンス 600 Ω 公称

5.2 操作卓

(1) 装置構成

(a) 構成単位 各幹線独立構成 (1 きょう (筐) 体)

(b) 構成数 搬送系 3, 直送系 1

(2) 操作方式

(a) 制 御 2 挙動 3 操作方式

第1操作 選択スイッチ (局, 機器, 項目が同時に設定される)

第2操作 制御スイッチ (開, 閉)

第3操作 " (停 止)

(b) 監 視 1 操作方式 選択スイッチによる。

(c) ロック機構 手動制御/自動制御/表示選択のロック機構を有する。

(3) 制御操作

(a) 制御項目 チェック工のゲート, 分水工のバルブ開閉

(b) 制御手順 ①手動制御へロックする。
②選択スイッチを押す。
③制御スイッチ (開又は閉) を押す。
④監視信号による操作員の判断により制御スイッチ停止を押す。

(4) 監視表示

(a) 表示項目

常時表示 親局異常ランプ
現地異常ランプ (赤ランプフリッカ表示)
受変電関係ランプ
選択時表示 制御スイッチ (ランプ)
ロックスイッチ (ランプ)
選択スイッチ (各場所ごとのスイッチ, ランプ)
補助スイッチ (ランプテスト, 警報停止などのランプ)
監視信号表示 状態監視信号 15 点 (各系統)
水 位 4 けた (1 ユニット)
水位設定値 4 けた (1 ユニット)
流 量 3 けた (2 ユニット)
開 度 3 けた (2 ユニット)

なお, 表示は必要ユニットだけの電源投入を行い, 流量, 開度は可変小数点により単位を可変する。

(b) 監視表示手順

選択スイッチ (各場所ごとのスイッチ) を押すことによりその場所の全データを表示し, 他場所の関連データも表示可能。

(5) 電話方式

(a) 電話呼出し スピーカー呼出し。

(b) 回線切換え 電話選択スイッチによる切換え。

(6) 警 報

(a) ブザー 現場異常, 受変電故障, 装置故障発生時鳴動。

(b) ペル 水位異常発生時に鳴動する。

(c) 警報出力 ブザー信号を外部へ出力する。

5.3 計器盤

(1) 装置構成

(a) 構成単位 各幹線 独立構成

(b) 構成数 搬送系 3 直送系 1

(2) 表示項目

主な水位, 流量データを常時表示する。

(a) 幹線水位 4 けた数字表示

(b) 幹線流量 3 けた "

(c) 分水工流量 3 けた " (0.5 m³/s 以上の流量)

(d) 故障表示 (ランプ)

水位異常 (異常上昇, 異常下降, 上限, 下限)

渋 滞 (子局テレメータ異常)

現場異常 (ゲートバルブ, 水位, 流量, 局舎関係異常の発生時局名表示をフリッカさせる)

(e) 操作卓選択表示

操作卓選択局を模式図上へランプ表示させる。

(3) 表示方式 グラフィックパネル方式

模式図上にデータを表示し, 全体の状況を一見しては握可能なものとしている。

5.4 受配電設備

この電源設備は, 中央管理センタから直接電源を供給し制御するゲート関係, 直流電源設備, センタ建物の空調, 動力, 照明のほかに, 将来設置予定の計算機用無停電電源設備などに電源を供給するためのもので, 将来分も含めて計画されている。またディーゼル発電機は, 6 kV 受電の停電を検出し, 自動起動, 自動切換えを行い, 6 kV 受電停電時にも中央管理センタが支障なく運用できるように, 考慮されている。

受電設備は安全性, 小形化, 省力化を考慮し, 高圧受電設備は JEM-1153-F 2 級, 真空しゃ断器を使用し, 変圧器は乾式 H 種を採用している。また負荷力率を検出し, 力率改善用コンデンサを台数制御して自動的に力率を改善している。安全面から AC 200 V, 100 V 回路の各フィーダには漏電継電器を設け, 漏電にて配線用しゃ断器を自動しゃ断することとしている。

主要機器の仕様は下記のとおり。

(1) 動力変圧器

容 量 150 kVA 三相
1 次電圧 F 6.6-F 6.3-R 6.0-F 5.7 kV
2 次電圧 210 V

(2) ディーゼル発電機

容 量 125 kVA
電 圧 220 V 三相
励磁方式 ブラシレス
起動方式 セルモータ起動

5.5 現場盤

現場操作盤はキュービクルタイプとし, 動力用として AC 200 V, 照明用として AC 100 V 各 1 回線を引込み配電するための配線用しゃ断器, 電磁接触器, 補助継電器類を内蔵し, 正面とびらにはゲート設備監視用計器 (開度計, 水位計, 流量計), 電源監視計器 (電流計, 電圧計), 運転, 故障, 状態表示灯, ゲート, バルブ用操作開閉器を設けている。現場操作盤に計装関係の弱電機器を収納する場合は, 盤内に隔壁を設け, ノイズなどのトラブルを防止している。

現場操作盤に遠方直接の切換スイッチを設けて、直接側とすれば現場操作盤面上の操作開閉器でゲート、バルブの操作を行い、遠方側とすればテレメータを介し中央管理センタから操作可能となるほか、将来は中央管理センタから操作卓、計算機から、又は現場操作盤から、開度、流量を設定し、その設定値と実際の開度、流量を比較し、ゲート、バルブを制御するための調節器、比較器などの取付スペースを設けている。

5.6 検出器

各検出器及び使用場所は次のとおりである。

- (a) 超音波流量計 (デジタル) 幹線
" " (アナログ) 0.5 m³/s 以上の分水
- (b) アニューバ 流量計 (アナログ) 0.5 m³/s 以下の分水
- (c) フロート 式水位計 (デジタル) 幹線 チェックゲート
" " (アナログ) 分水工、放水工、余水吐
- (d) ゲート 開度計 (デジタル) 幹線の チェックゲート
- (e) バルブ " (アナログ) 分水工、放水工、余水吐

6. システム故障系統

異常の早期発見という観点から常時システムの監視が行われる必要がある。ゲート及びバルブ関係、水位、流量の現地センサからの警報、局舎警報、テレメータ・テレコン装置の故障、回線の故障を含めて、全システムのどの場所のどの装置が異常又は故障であるか判別し、早期対処できるよう考慮している。

6.1 水位異常

テレメータ回線を使用して計器盤、操作卓に表示する。特に重要な異常上昇、異常下降は操作卓にてベルを鳴らす。

- (1) 水位異常表示内容
異常上昇、異常下降、上限、下限
- (2) 計器盤表示

各場所ごとに表 1. の内容でランプ表示する。

表 1. 水位異常表示

信号名	表示ランプ (赤ランプ)		
	上限ランプ	下限ランプ	局名表示ランプ
異常上昇	フリッカ表示		フリッカ表示
上限	点灯		フリッカ表示
下限		点灯	フリッカ表示
異常下降		フリッカ表示	フリッカ表示

- (3) 操作卓表示
現場異常信号として選択スイッチ上へ表示し、表示選択された場合に異常内容を表示する。

- (a) 制御・表示選択ランプ フリッカ表示 (赤)
孫局単位の各場所ごとの表示
- (b) 状態監視表示ランプ
制御・表示選択スイッチを押した場所の信号を表示する。
異常上昇ランプ (赤)
上限 " (白)
下限 " (白)
異常下降 " (赤)
- (4) ベル・ブザー (操作卓内)
ブザー 異常上昇、上限、下限、異常下降時
ベル 異常上昇、異常下降時

6.2 水位以外の現場異常

テレメータ回線を使用して計器盤、操作卓に表示する。

- (1) 現場異常表示内容
ゲート及びバルブ関係 故障、電源断
流量 上限、下限 (将来)
局舎 警報
- (2) 計器盤表示
局名表示ランプ フリッカ表示 (赤)
- (3) 操作卓表示
(a) 制御・表示選択ランプ フリッカ表示 (赤)
孫局単位の各場所毎の表示
(b) 状態監視表示ランプ
制御表示スイッチを押した場所の信号を表示する。
(c) ブザー (操作卓内)
現場異常信号のいずれか 1 つ以上の信号発生時に鳴動する。

6.3 テレメータ異常

テレメータ回線、テレコン回線とも常時回線レベル、符号チェックを行っており、その異常内容が分かるよう計器盤、操作卓に表示する。

- (1) テレメータ異常内容
親局で検知できる内容は次のとおり。
(a) 渋滞 子局渋滞 (各局ごと)、親局渋滞 (各系統ごと)
(b) 回線断 テレメータ回線 (各局ごと)、テレコン回線 (各系統ごと)
(c) 電源断 ヒューズ断、電源断
- (2) 操作卓表示
子局渋滞信号 (回線断、渋滞、電源断) は各子局ごとに表示する。及び親局回線断、渋滞、電源断を表示する。
- (3) 計器盤表示
子局渋滞ランプを各局ごとに表示する。
- (4) テレメータ架内表示
親局渋滞のうちどの子局に相当する系統が不良かを項目番号ごとにチェックし、表示する。
- (5) ブザー (操作卓内)
テレメータ異常 (渋滞、回線断、電源断) にて鳴動する。

6.4 受配電設備異常

受配電設備の異常は、受配電盤に故障内容を個別表示し、操作卓に一括表示し警報する。

- (a) 受電故障 受電過電流、接地
- (b) 停電 受電停電
- (c) 低圧故障 配線用しゃ断器トリップ、漏電
- (d) 自家発故障 ディーゼル発電機故障

7. むすび

農業用水の集中管理システムの一実施例についてその概要説明を行った。なおこのシステムは、子局テレメータ・テレコンの増設を行い、計算機と接続しオンライン制御を行う予定であるが、この移行が円滑に行えるよう配慮がなされている。

最後にこのシステムの計画・設計・工事にあたってご指導・ご協力をいただいた 東海農政局 濃尾用水第 2 期農業水利事業所の武上所長をはじめ、関係各位に深謝する。

FD-30形 超音波厚さ計

大力健市*・丸田紳一*・長沢音彦*

1. ま え が き

石油化学、鉄鋼などの装置産業及びタンカーなどの巨大輸送機械はその巨大さ故に運転コストを低減させることが可能となり、今日の物質文明を豊かにする原動力となっていることは広く知られるとおりである。しかしながらこれら産業は、その巨大さの持つ合理性の故に部分的な故障でもその波及効果は大きくなりがちで、事故によるか(稼)動停止は単に一企業の損失にとどまらず、直ちに他の産業活動や社会生活に影響を与えることになるため、この連鎖を断つための保守検査が極めて重要となっている。さて、この保守検査機器として石油化学などのプロセス工業を中心に広く使用されているものに超音波厚さ計があり、わずかに数 mm² の探触子接触面があれば、片面からその部分の厚さが測定できる特長を生かし、パイプの内側の腐食状態の検査などに活用されている。当社では過去 25 年にわたる超音波探傷器の技術と最新のエレクトロニクス技術を結合することで、従来の厚さ計では困難とされた零点自動校正などの定量的機能を具備した新しい発想による FD-30 形 超音波厚さ計を開発し販売を始めたので、その性能、特長などについて紹介する。

2. 超音波厚さ計の原理と性質

今日広く使用されている超音波厚さ計は、超音波探傷器の技術より発展分離したパルス反射式と呼ばれる厚さ計がほとんどである。このパルス反射式超音波厚さ計は、被測定物の表面に接触させた探触子により超音波パルスを発射し、被測定物の反対面(底面)からの反射波を再び探触子で受信して、この反射波の被測定物中の往復伝ば(播)時間(t)を測定し、これを被測定物の音速(C)から厚さ(d)を($d=Ct/2$)なる関係で求め表示したものである。

このため超音波厚さ計は、今日最も一般的に使用されているノギスやマイクロメータなどのような距離を直接測定する計器に対し、次のような多くの異なった性質を持っている。

(1) 接触面が片面でよい

パルス反射式であるため、探触子を片面に接触できれば、その部分の反対面までの距離を測定でき、パイプや容器や大形板料の中央部のように直接厚さ測定の不可能な用途に適用できる。

(2) 大部分の工業材料の測定が可能

超音波の透過する材料であれば厚さ測定が可能であり、一般に材料の組織が均一で(緻)密であればあるほど超音波の透過率が良く、この傾向を持つ大量生産された工業材料である鋼、アルミなどの金属やガラス、プラスチックの大部分は超音波厚さ測定が可能である。

(3) 欠陥までの深さが測定できる

超音波探傷器と同一原理のため極めて感度が高く、被測定物の内部に異物や空洞などの欠陥があると、そこからの反射波を計測し、欠陥までの深さ測定が可能である。この検出能力は被測定材の超音波透過率や欠陥の位置などで異なるが、最高 1~2 mm ϕ 程度と高感度

である。

(4) 音速校正が必要である

超音波厚さ計では厚さ(d)は伝ば時間(t)に音速(C)を乗じた値($d=Ct/2$)から求めるため、音速による校正が必要である。この音速(C)は被測定物のヤング率(E)と密度(ρ)に対し、($C \propto \sqrt{E/\rho}$)なる比例関係を持ち、被測定物の材質や組成により異なり、また温度によっても変動するため超音波厚さ計では同一材料で音速を容易に測定できる機能を持つ必要がある。

(5) 測定性能が超音波の周波数に依存する

測定性能は周波数(f)と音速(C)より求められる超音波波長($\lambda=C/f$)に関係する。この波長(λ)が短いほど超音波ビームはせん(尖)鋭になり指向感度が向上するが、一方、波長が短いほど被測定物の組織による超音波の減衰は増大するので、波長が組織粒度付近まで小さくなると急激に減衰が増し測定不能となる。最小測定可能距離や、測定精度は一般に波長に比例するため波長が短いほど有利となる。これらの理由により周波数の選択は重要で、周波数を高くすると見かけの性能は向上するが、限られた材質しか測定できなくなる。

一般に超音波厚さ計では 2~10 MHz 内の周波数が被測定物の材質に応じて使い分けられている。

3. FD-30 形 超音波厚さ計の開発方針

前述のように、超音波厚さ計は従来のノギスなどの直接距離を測定する方法では得られないユニークな特長がありながら、今日までの超音波厚さ計ではその特長をフルに生かしきれない傾向があった。この原因としてこれまでの超音波厚さ計は測定の起点となるべき零点と、長さの単位となるべき音速の取扱いが不明確で、厚さ測定のためには、まず被測定物と同一材質で寸法の異なった 2 種の校正用試験片を作り、これにより厚さ計の零点つまみと音速つまみを回し、手動校正する必要があった。しかも、この校正値は温度や被測定物の表面のおうとつ(凹凸)に対し変動するため、ひん繁に再校正を必要とするとともに測定値の定量性を低下させた。

FD-30 形 超音波厚さ計の開発に際しては、上記の欠点を補ってノギス並の性能と使いやすさと超音波厚さ計の特長を兼ねそなえることを目標とし、次の事項を開発の重点項目とした。

(1) 零点の自動設定

実際の厚み測定時において常に遭遇する事項である被測定物の材質や表面おうとつの相違、測定面の塗装やさびの有無、及び周囲温度や探触子の接触状態の変動などによる零点変動を自動的に最小限におさえることを最も重視した。

(2) 音速ダイヤルの直読化と連続化

音速が未知の材料でもノギスやマイクロメータなどで距離測定できる部分があれば、その部分で容易に音速校正ができ、また音速が既に知られた材料では容易に再現性のある音速設定ができるよう、ダイヤル

目盛が直接音速で読取れるよう音速ダイヤルの直読化を計った。また音速の異なる種々の材料の厚さ測定ができるよう音速ダイヤルの可変範囲の広域化と連続化を計った。

(3) 測定範囲の広域化

これまでの超音波厚さ計では1回の校正及び1個の探触子で測定できる厚さの範囲が狭く、操作が複雑であり、特に2mm以下の厚さでは大幅な誤差を生じやすい欠点があった。このためFD-30形ではこれらの欠点を改善し、測定範囲の広域化を計った。

(4) 操作性、機動性の向上

技術革新の最も著しいエレクトロニクス製品であるという特長を生かしたデジタル厚さ表示などの操作性の向上と、小形軽量化と電池電源化による測定場所の制限軽減を計った。

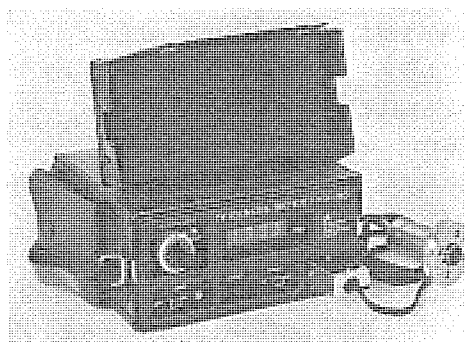


図 1. FD-30 形 超音波厚さ計の外観

4. 外観と構造

図 1. は FD-30 形 超音波厚さ計の外観を示す。厚さ計本体は皮バックに収容し、バンドを肩にかけ長時間持ち歩けるよう重量 1.6 kg 以下 (電池を含む) と軽く、また皮バックにより持ちはこび時に生ずると予想される振動や衝撃に対し本体を保護した。

前面パネルはバンドを首にかけ、右手で探触子进行操作するのに便利のように探触子接続コネクタ (T, R) は右側に、デジタル厚さ表示器は中央に、音速ダイヤル (VELOCITY) は左側に配置した。デジタル厚さ表示器は最大 179.8 mm まで表示するが、最高けた (桁) が 0 の場合はその表示は行わない日常使いなれた表示法を取り、しかもその表示の点滅で測定の回数を示し、この点滅周期を測定者の数字の読取り速度に合わせて表示けた数が小さいほど早くすることで読取りを容易にした。デジタル表示器は発光ダイオード使用のため暗い場所でも容易に読取れるが、直射日光中での測定も考慮し、皮バックのふたが日よけの役目を果たしている。

音速ダイヤルは設定後、動かないようロック付きとし、また音速測定が容易にできるよう、音速を直接ダイヤル目盛で読取れるようにした。この厚さ計は可搬式のため本体後面よりそう (挿) 入された乾電池により動作するようにし、電源変動による性能低下の予防と乾電池の交換時期の予告を点滅周期により表示する電源ランプを前面パネル左下に設けた。探触子は接触が一定となるばねでおさえる構造とし、また探傷ケーブルも取扱いに便利よう柔らかく、しかも強度の

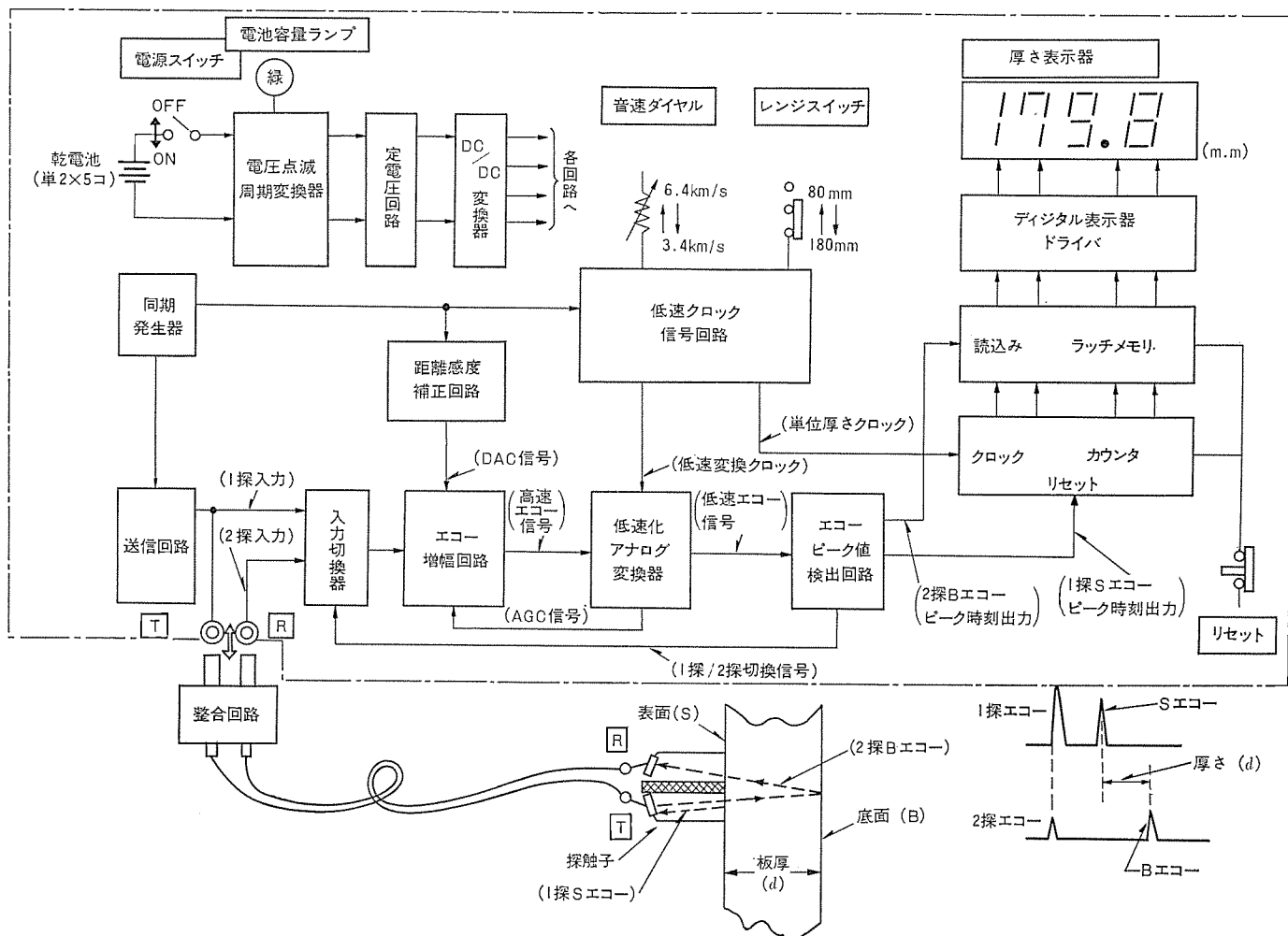


図 2. FD-30 形 超音波厚さ計系統図

高いものを特に選んだ。また探触子の接触部はパイプでも安定に接触できる V 形ガイド付きとした。

5. FD-30 形 の動作概要

図 2. は FD-30 形 超音波厚さ計の系統図を示す。この図の信号の流れにより動作を説明する。送信回路からの電気パルスを送信形探触子の送信振動子 (T 側) に印加すると超音波振動が生じ、遅延材を通して被測定物中に投入されるが、一部は被測定物の表面で反射し、再び送信振動子で 1 探 S エコー として受信される。この信号はエコー増幅回路で増幅され、低速化アナログ変換器によって低速化された後、エコーピーク値検出回路で信号波形の微係数がプラスからマイナスとなる点を検出することで 1 探 S エコー のピーク時刻を求めこれを厚さ測定の零点とする。この S エコー 位置が検出されるとピークエコー値検出回路より入力を 2 探法に切換える信号が発生し、エコー増幅器入力に被測定物の底面から反射した 2 探 B エコー が探触子の 2 探受信振動子 (R 側) を経由して受信される。この 2 探 B エコー 信号も S エコー と同様な系路でエコーピーク値検出回路により 2 探 B エコーピーク時刻出力として検出される。厚さ測定は、前述の 1 探 S エコーピーク時刻より 2 探 B エコーピーク時刻までの時間を測定することで行っており、低速クロック信号回路の単位厚さクロック (1 クロックが厚さ 0.1 mm に相当) をカウンタで計数することで時間を厚さに変換している。厚さの表示は、1 探 S エコーピーク時刻でカウンタをリセットすることで零点を求めた後、計数を始め、2 探 B エコーピーク時刻でその時のカウンタ内容をラッチメモリで読込み、このラッチメモリに記憶された内容をドライバを通してデジタル厚さ表示器で表示することにより行っている。この方式では、もし 2 探 B エコー が無い場合はラッチメモリは閉じたままとなるためそれ以前の厚み表示値がそのまま保持されることとなり、探触子と被測定物との接触をはずすとそれ以前の厚さが自動的にホールドされ、接触させると新しい厚さを再び表示し始める。

受信されるエコーレベルは被測定物の材質や厚さや表面状態により大幅に変化するため、エコー増幅回路には距離感度補正信号 (DAC 信号) を供給し、また低速化アナログ変換器から自動利得制御信号 (AGC 信号) を供給している。この結果、エコーレベル変動はかなり抑ええることができ、探触子の性能向上とあいまって、1 個の探触子で 1.0 mm から 179.8 mm まで精度よく測定できるようになった。

また、デジタル微分回路によりエコーのピーク値を検出しているため、従来形超音波厚さ計のエコー立上がりを使用する方式に比べて、エコーレベルの大小による測定値への影響は軽減された。しかも、エコーピーク値検出法では被測定物の表面におとつがある場合や、塗装表面の場合は S エコーのピーク位置が探触子の接触表面側より被測定物の素材表面に移動する傾向を持つため、これらに対しても安定な零点が得られた。音速ダイヤルはエコー信号を低速化して処理するため、従来方式の高速形では数十 MHz のクロック信号を必要としたのに対し、数 kHz のクロックで十分となり、このため音速設定は、広範囲にわたって精度よくできるようになった。零点の温度による変動は、探触子に用いている超音波遅延材の音速が温度に依存することが大きな原因となっているが、FD-30 形は零点を探触子によって作りだし、ま

た、探触子の送受両系統の遅延材を同一形状とすることで、従来方式では避けられなかったこの欠点を消去することができるようになった。

6. 主要性能

- | | |
|-------------|---|
| (1) 有効測定範囲 | 1.0~179.8 mm (炭素鋼, 5 MHz 分割探触子にて) |
| (2) 測定精度 | 1.0~40.0 mm 間 ± 0.2 mm
40.0~79.9 mm 間 $\pm 0.25\% \pm 0.1$ mm
80.0~179.8 mm 間 $\pm 0.25\% \pm 0.2$ mm |
| (3) 測定範囲 | 0.8~179.8 mm |
| (4) 表示数字 | 4 けた 7 セグメント 3.8 W \times 8.3 H (mm) |
| (5) 音速ダイヤル | 3.40~6.40 km/s 間連続可変 (ロック付)
直読ダイヤル精度: ± 0.025 km/s $\pm 0.2\%$ $^{\circ}$ C |
| (6) 最大感度 | 鋼材の深さ 30 mm にある 2 mm ϕ 平底穴検出 |
| (7) 測定周波数 | 2~5 MHz (10 MHz も可能) |
| (8) 厚み表示周期 | 0.3~2 s/回 (表示けた数にほぼ比例) |
| (9) 動作時間 | 単 2 アルカリ 乾電池で約 10 時間連続 |
| (10) 外形寸法 | 約幅 160 \times 高さ 70 \times 奥行 140 mm |
| (11) 標準探触子 | CP-500 形 5 MHz 分割探触子 (これ以外はオプション) |
| (12) 使用温度範囲 | -10~+45 $^{\circ}$ C |

7. 実測データ

(1) 厚さの測定

図 3. に実際の板厚に対する厚さ計の測定値の偏差の関係を示す。この図の測定は実際の超音波厚さ計の操作法と同様に、被測定物表面に超音波を伝ばさせるための接触媒質 (水、油などの液体) を塗付して、手で探触子を接触させる方法で 10 回以上厚さを求めたもので、測定値の分散は 1 台の厚さ計では表示の 1 ビット (80 mm レンジで 0.1 mm, 180 mm レンジで 0.2 mm) 以下と高い再現性が得られた。

またこの図において鋼板で 1.2 mm, アルミ板で 1.3 mm の板厚

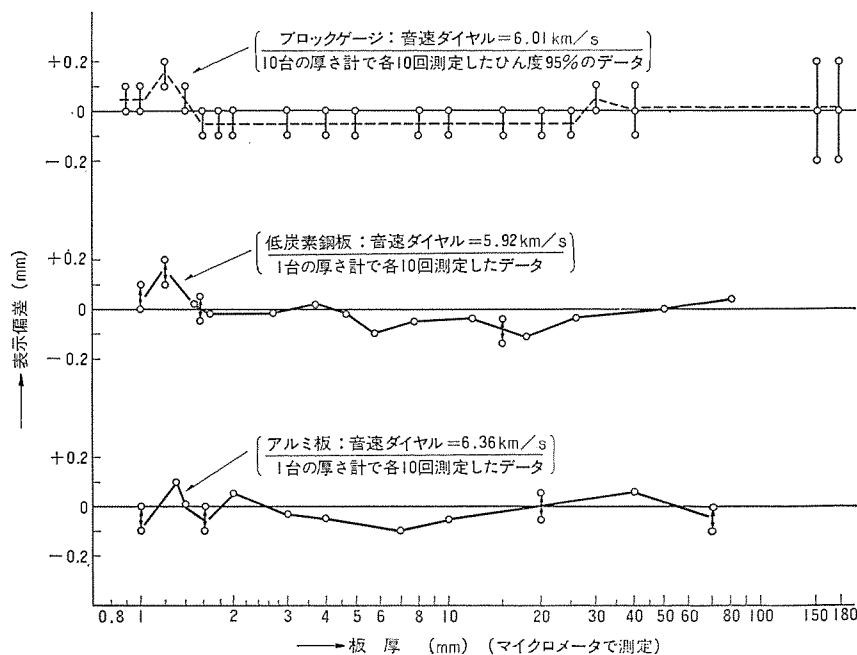


図 3. FD-30 形 超音波厚さ計の表示偏差特性

表 1. 音速測定 データ

被測定物	厚鋼板	アクリル樹脂	ナイロン66	石英ガラス	銅 棒
マイクロメータ 板厚 (mm)	7.80	23.05	5.45	6.30	40.60 mmφ
厚さ計表示 (mm)	7.8	46.1 (2倍表示)	10.9 (2倍表示)	6.3	40.6
音速ダイヤル目盛 (km/s)	5.68	5.44 (2倍表示)	5.30 (2倍表示)	5.60	4.69
実音速値 (基準器にて) (km/s)	5.90	2.72	2.64	5.61	4.71

で偏差がプラス側に増す傾向を見せたが、これは板厚がちょうど超音波の波長と一致したため、共振現象を起こしたものである。厚さ計のセツトによるばらつきはブロックゲージでセツト10台に対して測定したが、厚さの表示ひん度が95%以上となる測定値を取ると分散が±1ビット以下と十分な再現性が得られ、一般的には探触子を固定後3回以上同一数字が連続する厚さを読取ればよいことが分かった。

(2) 音速の測定

表1. は各種材料の音速測定例を示す。この表において、音速ダイヤルの可変範囲はほとんどの金属やガラスをカバーするが、この可変範囲以下の材料であるアクリルやナイロンなどのプラスチック類も厚さ計表示値を真の板厚の2倍となるよう音速ダイヤルを設定し、ダイヤル目盛の1/2を真の音速として読取ることによって測定でき、広範囲の材料に使用することが確認された。

また音速ダイヤルが連続可変で高い分解能を持つため、厚さ表示器では分解できない数ミリメートル程度の薄板でも、音速ダイヤル目盛を真の板厚の表示する範囲の中央で読むことで実用に十分な精度が得られ、マイクロメータなどの直接板厚測定法との対比が容易であった。音速ダイヤルは超音波厚さ計では厚さの単位となるため、この安定性が極めて重要となるが、30台のFD-30形厚さ計で、実測の結果、電源変動については、電源容量表示ランプ点滅中の範囲で厚さ変動±0.1%以下となり、温度変動についても±0.2%/10°Cと十分な性能が得られた。また経年変化についても、基準となるテストブロックを設け、厚さ計の後面にある音速ダイヤル校正ねじにより、1カ月に1回程度校正を行うことで長期間にわたって安定性を保持できた。

(3) 零点の安定性

表2. は探触子の接触媒質の膜厚に対する厚さ表示値の影響を示した。この表においては0.08mmのマイラ・シートを積重ねることで膜厚を変化させ、厚さ変動を測定したが、膜厚0.16mmでも零点の変化はなかった。これから、塗装した被測定物でも塗装材料がマイラ・シートの音響特性(音響インピーダンスと呼ばれ、音速と密度の積で表される。)とほぼ等価のため、塗装を除去せずに内部素材の板厚が測定できることが分かった。この傾向は表面のおうつつについても接触媒質がおう部を埋めるため同様であり、また探触子の接触の変化による膜厚変動に対しても同等な零点の自動追従効果を生じ、従来方式に比べ、安定な零点が得られた。接触媒質の種類による零点の追従性は前述の音響インピーダンスが探触子の遅延材であるアクリル樹脂に近いほど良く、接触媒質としてグリセリンや水ガラスが最も優れ

表 2. 厚さ測定値に対する接触媒質膜厚の影響

被測定物 接触媒質	銅 ブ ロ ッ ク ゲ ー ジ					アルミ板
	0.90mm	1.00mm	3.00mm	10.00mm	25.00mm	3.00mm
油のみ	1.0mm	1.0mm	3.0mm	10.0mm	25.0mm	3.0mm
油+マイラ 0.08 mm	1.0mm	1.0mm	3.0mm	10.0mm	25.0mm	3.0mm
油+マイラ 0.16 mm	1.0mm	1.0mm	3.0mm	10.0mm	25.0mm	3.0mm

ていることが分かった。

表2. においてマイラ・シート0.16mmでは、零点の自動追従作用がなければ、マイラ・シートの音速が銅板やアルミ板の音速の約1/3のため、厚さ計の表示はいずれも+0.4~+0.5mmの誤差となる。従来形の超音波厚さ計では零点を電気的遅延回路で作るため、この零点の自動追従性はなく、接触膜厚ごとに零点再校正を行わないと大きな誤差が生ずるのに対し、FD-30形厚さ計では前述のように大幅に改善された。

温度による零点の変動は前述の遅延材として使用されるアクリル樹脂の音速の温度依存性のために、従来方式では銅材換算0.2~0.4mm/10°Cの零点変動が生じたが、FD-30形では送受遅延材の相殺化により除去でき、高温材の厚さ測定の場合も零点変動誤差を生じないようにした。また高温材測定の場合は探触子が劣化するため短時間しか接触できないが、FD-30形では厚さ表示の自動ホールド機能より、探触子を外した後に厚さを読取れ、操作性が大幅に改善された。零点は探触子の接触部の摩擦が送受とも均一であれば生じないが、片減りや経年変化などで多少の変動があるため、付属のテスト用ブロックゲージを使って本体後面の零点校正半固定ねじを回すことで定期的な校正を行えるようにし、長期にわたる性能を保証した。

8. む す び

以上のようにFD-30形超音波厚さ計は、ほぼ初期の開発目標を達したと思っており、超音波厚さ計とノギスなどの直接測定法のメリットを組合せた「超音波ノギス」と呼ぶべき性能は既に数十台の実用機を顧客にご使用いただき、好評を得ている。

この厚さ計で採用された信号の低速化技術や、微分法による波形の特長をつかむ簡単なパターン認識技術などは、従来人間が行っていた判断機能をハードウェアにおきかえたもので、測定の単純化に大きく貢献するとともに、従来では検出困難と思われた微細な波形の差異からも必要な情報を選出できるようになった。この厚さ計の特長であるノギス並の性能と使いやすさは技術革新の著しいエレクトロニクス業界のおおのこの部門では既に完成された技術を有機的に選出組合せることにより得られたものであり、今後このような商品が顧客のニーズに応じて次々と出現するものと思われる。

終わりにこの厚さ計の開発にあたって、有意義な情報を提供いただいた関係各位に対し、厚くお礼申し上げます。

(昭和49-9-13受付)

シーケンス制御・監視システム—MELMIC PAC-2システム—

渡部和徳*・山内信治**・松村雅司**・森本克英**・近藤耕一**

1. ま え が き

最近、機械加工・組立ラインなどの分野で、自動化・省力化の効果を一層高めるため、トランスファマシン、自動組立機、多点連続溶接機などの例にみられるように、単能作業機械を複雑に組合せたり、各工程間を連結することなどにより、自動化ラインを複雑・大規模化する傾向が顕著になってきた。従来のような小規模な単能機械の制御では、有接点リレーによる専用のシーケンス制御装置で十分その機能を果たし得たが、上記のような高度に複雑化した自動化ラインを制御するには種々の不具合が生じ、数年前から電子技術を応用したプログラマブルコントローラが用いられるようになってきた⁽¹⁾。

プログラマブルコントローラの登場によって、ハードウェアの標準化、シーケンス変更の場合の配線変更不要、無接点化による信頼性向上、小形化、低消費電力化などの長所が生まれたが、フル代数やフローチャート形式でシーケンスを作らなければならないというソフトウェアの問題が、上記のような多くの利点にもかかわらずオペレータや保守員に対する異和感として残り、その普及を妨げてきた。

一方、自動車製造ラインなどの例でみられるように、制御規模の巨大化、複雑化に伴い、センサ、アクチュエータ類も膨大な数となり、それらの故障発生確率が高まるとともに、故障原因の発見、復旧がますます困難になり、ラインか(稼)動率低下という問題が生じてきた。

このようなすう勢を背景に、プログラマブルコントローラの有する各種利点をすべて生かしながら、上記のようなソフトウェアの問題を解決し、かつ、ラインの監視・故障検知を行い得るシーケンス制御・監視システムとして、三菱マイクロコントローラ「MELMIC PAC-2」システムを開発したのでここに紹介する。なお、このシステムは、日産自動車(株)と当社との共同研究により開発されたものである。

2. 「システム」としてのプログラマブル
コントローラ

これまで、国内外で数多くのプログラマブルコントローラが製作発表されているが、我々は、プログラマブルコントローラをラインに導入する場合の問題点につき、ともすれば陥りがちなメカの都合による一方的な押し付けを極力排除することに留意し、ユーザ(制御システムの製作を担当するOEM、及び制御システムを運用・保全するエンドユーザ)の立場を十分配慮したトータルシステムとして完成することに主眼をおき、そのため特に次の3項目を重点研究課題とした。

- (1) オンライン機器(主制御装置)のあり方。
- (2) プログラム言語をどうするか。
- (3) ラインか動率向上をどのようにして実現するか。

2.1 オンライン機器のあり方

方式は、リレー制御盤やラダーロジックのように個々の制御対象に応じて配線を行う方式ではなく、標準ハードウェアによる「プログラマブル」なコントローラとする。

オンライン機器は、信頼性、操作性、保全性、現地工事の容易さが最も重要な項目であり、また、大量導入のためには経済性も重視する必要がある。以上の目的から、オンライン機器のハードウェアはできるだけ単純なものにする必要がある。

2.2 プログラム言語をどうするか

シーケンス設計者やオペレータの取扱うプログラム言語に関して、シーケンス制御を表現する上で最も容易な、しかもプログラミングしやすい言語を分析・調査し、以下のような理由により、リレーシーケンス図(ラダーダイアグラム)を採用することにした。

- (1) 自動化ラインにおけるシーケンス制御は、単にステップを順番に進めるだけでなくほとんどがインタロック制御である。このインタロック制御の表現方法としてリレーシーケンス図は最も適した表現方法である。
- (2) リレーシーケンス図による表現は、途中でシーケンスの修正や変更の必要が生じた場合でも、直観的に修正箇所や修正結果を確認するのに適している。
- (3) リレーシーケンス図は、永い間最も広く使われてきたシーケンスの表現技術であり、プログラミングの教育もほとんど不要で、シーケンスの設計者やオペレータ、保全員にも抵抗なく受け入れられる。

2.3 ラインか動率向上をどのようにして実現するか

か動率低下の最大要因である設備故障の復旧時間の短縮を目標とし、

- (1) 制御対象を含めて動作状態を常時監視できること。
- (2) 故障が発生した場合、故障箇所の発見を迅速に行えること。
- (3) 故障箇所発見の作業も、保全員の熟練度などに左右されず画一的な手順で故障追究ができること。
- (4) 以上を実現する装置ははん(汎)用的であること。すなわち、ミニコンピュータなどを利用して個々の制御対象ごとにモニタリングや故障検出のソフトウェアを作成するという形をとると、

- (a) ソフトウェアの作成及びソフトウェア費用が支障となり、大量導入ができない。
- (b) 制御対象のシーケンス変更を行う場合、現場で簡単にソフトウェアの変更ができず、いちいち、メカに依頼しなければならない。
- (c) 装置の量産化ができない。

などの問題が生じ、はん用性はこの種の装置を実用化する上での重要な要因になる。

2.4 MELMIC PAC-2システムの実現

以上のような観点から、次の三つの装置に分離し各装置はそれぞれ独立した機能を分担できるようにした。

- (1) はん用制御装置TM(Programmable Logic Controller ; PLC)
オンラインで動作する主制御装置で、ハードウェアの単純化に最も留意した。
- (2) プログラム装置 (Programming Support Equipment ; PSE)
オフラインのプログラム作成用装置で、リレーシーケンス図とPLCで読解可能な言語との自動翻訳を行う装置である。
- (3) 故障検知装置 (Maintenance Support Equipment ; MSE)

ラインの動作状態のモニタリング及び故障箇所探索を行うための装置で、PLCにオプションとして付加することができる。

3. MELMIC PAC-2 システムの特長

- (1) ラインの動作状態を常時監視し、故障を自動的に検知し故障原因は保全員の技術レベルに関係なく自動的に、又はキーボードの操作だけで簡単に探することができるので、故障原因発見までの時間が大幅に短縮できる。
- (2) リレーシーケンス図から直接プログラムでき、その結果がリレーシーケンス図の形で図形表示されるのでプログラムミスを防止でき、また、プログラミングに対する特殊技術も必要としない。
- (3) シーケンスの修正・変更がリレーシーケンスの図形通りにでき、その結果もただちに図形表示されるので修正ミスを防ぐことができる。
- (4) プログラムがカセット磁気テープに記録できるのでシーケンス図面の管理が正確にでき、また、設備の動作を変更する場合にも短時間でプログラムの入替えができる。
- (5) シーケンスの動作調整時にはRAM(Read/Write Memory)、運用時にはROM(Read Only Memory)とメモリのそれぞれの特長を生かした使い方ができるため、システムの安定性が高い。
- (6) メモリ、入出力点は、小さな単位でビルディングブロック式に増減でき、また、最大規模として非常に大きな範囲までカバーできるため、フレキシビリティに富み経済的なシステム構成ができる。
- (7) シーケンスが未定の段階でも制御装置を準備できるほか、現地工事が簡単で調整期間も短くてすむため、か動までの期間が短くてすむ。
- (8) 上位計算機と接続して階層制御システムの端末制御装置として使用できる。

4. システム構成

4.1 構成

PAC-2システムは、はん用制御装置(PLC)、故障検知装置(MSE)、プログラム装置(PSE)の三つの装置からなる。図1.にPAC-2システムの外観、図2.にシステム系統図を示す。

このうちPLCは、制御対象とAC100Vレベルで直接インタフェースし制御する装置で、制御対象のリミットスイッチや押ボタンスイッチなどからの入力接点のメーク/ブレーク情報が、プロセス入力部を介して読込まれる。一方PLCの記憶部から読出された制御手順すなわちシーケンスプログラムは、演算制御部で解読され、それに基づいてプロセス入力部を介して読込まれた入力情報と、過去の制御対象の動作経過とから次に動作させるべきソレノイドバルブやモータへの出力情報を求め、その結果がプロセス出力部を介して出力される。

MSEは、PLCを介して制御対象の動作状況をオンラインで監視する装置で、あらかじめ登録された接点番号の動作状況を常時モニタし、その

動作状態と、基準動作状態とをタイムチャートの形式でブラウン管上に表示するとともに、両者の動作状態を常時比較し、万一異常が検知されるとただちにブラウン管上に異常内容を表示する。また制御対象の動作を規定しているシーケンス回路図(リレーシーケンス図)をキーボードからのリクエストにより任意に呼出し、呼出されたシーケンス回路図に、回路を構成している入力接点や出力接点などのメーク/ブレークの状態を重畳させてブラウン管上に表示する。

PSEは、主に制御対象の制御手順すなわちシーケンスプログラムを作成する装置で、シーケンス回路図に書かれている機能シンボル及びその素子番号をキーボードに与えるだけで簡単にプログラムすることができ、プログラムされた内容はその都度ブラウン管上にシーケンスの前後のつながりも一目で分かるシーケンス回路図の形式で図形表示される。またPSEはこのほかに、作成・記憶されたシーケンスプログラムを磁気テープに記録・保存したり、磁気テープから記憶部へプログラムを読み込む機能や、試験・調整の完了したプログラムをROMカードにコピーする機能を有している。これら磁気テープへのRead/Writeや、プログラムのROM化などの一切の操作はいずれもキーボード上のキーを操作するだけで簡単に行うことができる。

4.2 機能及び仕様

4.2.1 PLC

PLCは、記憶部に記憶されているシーケンスプログラムにしたがって入出力情報を処理し、制御対象を直接オンラインで制御する装置で、演算制御ユニット、増設メモリユニット、スキャナユニット、プロセス入力部(PIユニット)、プロセス出力部(POユニット)から構成されている。表1.に

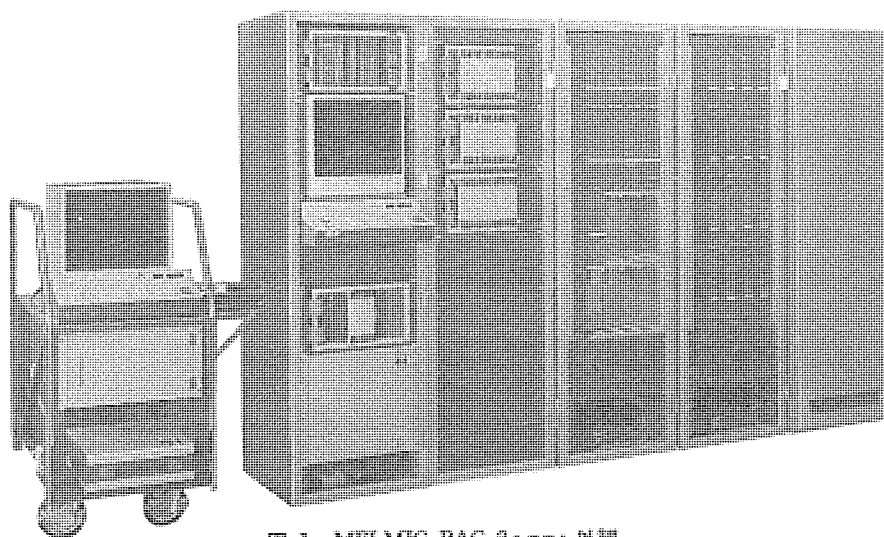


図1. MELMIC PAC-2システム 外観

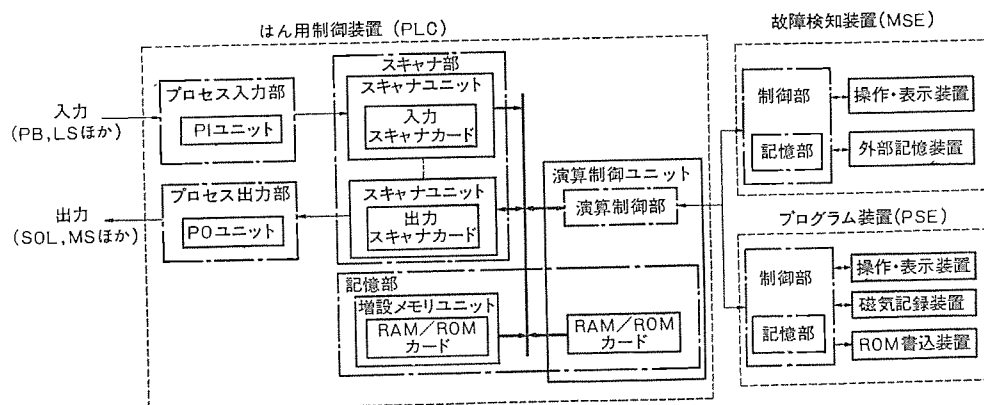


図2. MELMIC PAC-2システム 系統図

表 1. PLC の仕様

(1) 演算制御部			
回路素子	TTL/DTL 集積回路, MSI, LSI		
制御方式	サイクリック制御方式 プログラム内蔵記憶方式		
命令	20 種類		
記憶部	IC メモリ (LSI RAM 又は LSI ROM)		
リストプログラムメモリ容量	最大 7.5 K 語 (0.5 K 語ごとに増設)		
制御用補助記憶要素	内部記憶(F) 512 点 自己保持記憶(L) 64 点 タイマ(T) 64 点 (0~4,000 秒) 分解能 0.1 秒		
入力点数	最大 2,048 点		
出力点数	最大 1,024 点		
割込み	優先順位 2 レベル		
計算機との接続	可能		
電源	AC 100 V \pm 10% (1 ϕ)		
外形寸法	565 W \times 1,800 H \times 660 D (mm)		
周囲条件	0~50°C, 90% RH 以下		
(2) プロセス入出力部 (架1面あたり)			
入出力点数	入力 512 点 (32 点単位) 又は出力 256 点 (16 点単位)		
入力	AC 100 V 10 mA 接点入力 (モニタランプ付)		
出力	AC 100 V 2 A (連続) (モニタランプ付) AC 100 V 10 A (30 ms)		
電源	AC 100 V \pm 10% (1 ϕ)		
外形寸法	565 W \times 1,800 H \times 660 D (mm)		
周囲条件	0~50°C, 90% RH 以下		

PLC の主な仕様を示す。

(1) 命令語

プログラムを構成する命令は、論理演算命令群と制御命令群とに大別される。MELMIC PAC-2 システムの命令を表 2. に示す。命令語の語構成は命令の種類により異なるが、すべて 1 語が 16 ビットで構成されており、上位の 5 ビットで命令の種類を、下位の 11 ビットで命令の対象 (入力、出力、タイマなどの種類及びその点番号) を指定する。

論理演算命令群は、演算処理の途中結果と、命令語のオペランド部で指定される点の情報との間で、命令部で指定される演算を行わせるものである。ここでいうオペランド部で指定される点とは、リミットスイッチや押しボタンスイッチなどのような制御対象から PLC へ入力される入力点 (X) やソレノイドバルブやモータなどへの駆動信号である PLC から制御対象への出力点 (Y) など制御対象と PLC との間でとりかわされる点以外に、従来の補助リレーに相当する内部記憶点 (F) や、自己保持記憶点 (L)、タイマ点 (T) をいう。PLC のこれら各点の最大処理点数は X : 2,048 点, Y : 1,024 点, F : 512 点, L : 64 点, T : 64 点である。

一方、制御命令群は、原則的にはシーケンス回路図面上に表れない命令群で、複雑でかつ高度なシーケンス制御をも、より効率的に行わせるために設けられた特殊な命令群である。

以上の命令語を使って実際にプログラムするときは、PSE を使って、シーケンス回路図を見ながら直接キーボードで図形的に行うことができる。

表 2. MELMIC PAC-2 命令一覧

命令	キーボード記号	機能
AND (logical AND)		以前の結果 \wedge (オペランド部)
OR (logical OR)		以前の結果 \vee (オペランド部)
ANI (logical AND Inverse)		以前の結果 \wedge (オペランド部)
ORI (logical OR Inverse)		以前の結果 \vee (オペランド部)
OUT (OUT put)		以前の結果を出力する
LON (Latch set ON)	L セット	以前の結果が 1 のとき 1 を出力する
LOF (Latch set OFF)	L リセット	以前の結果が 1 のとき 0 を出力する
SET (SET)	セ ッ ト	1 を出力する
RST (ReSeT)	リセット	0 を出力する
CLR (CLear)	ク リ ア	すべての出力点をクリアする
()	()	以前の結果を中断して、() 内を優先的に処理する
PIO (Page set I/O)	XY ページ	プロセス入出力のページ指定
NOP (No Operation)	無 動 作	無動作で次のプログラムに進む
LCK (Lock)	「	以前の結果が 1 のとき「」間はプログラム通り実行、以前の結果が 0 のとき「」間の自己保持記憶点以外の出力をクリアする
ULK (Un Lock)	」	
B (Branch unconditionally)	飛 越	無条件に次の番地の内容にジャンプする
TEB (TEst & Branch)	条件飛越	以前の結果が 1 のとき次の命令をスキップ、0 のとき次の番地の内容へジャンプする
TM (TerMinate)	割込復帰	割込復帰後次の番地の内容へジャンプする
END (END of program)	エ ン ド	プログラムの終りであることを表す

BIT 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0
命令部 オペランド部 命令語

これらプログラムの制御方式は、記憶部から順次シーケンスプログラムを読み出し、その内容にしたがって処理してゆき、プログラムの最後まで処理し終わると再び先頭の番地にもどる、いわゆるサイクリック制御方式で、命令の処理速度は、命令の種類により異なるが 1 命令あたり平均で約 10 μ s 程度である。

(2) メモリ

シーケンスプログラムの記憶には、LSI の RAM 又は ROM 素子を使った RAM カード、ROM カードが使われている。これらのメモリカードは、記憶内容のアクセスに関しては全く互換性があり、必要に応じて使いわけができる。すなわち、シーケンス回路の設計・調整の段階などでプログラムの変更がひんぱんに行われることが予想される場合には、Read/Write が自由な RAM カードを、システムの調整も完了し、プログラムの変更もほとんどなく、通常の運転状態に入った段階では、読み出し専用の ROM カードを使用するなどの使いわけができる。

メモリカード 1 枚あたりの記憶容量は 512 語で、3 K 語以内のプログラムなら演算制御ユニットの内部に、3 K 語以上の場合には別に増設メモリユニットを接続することにより最大 7.5 K 語の記憶容量をもたせることができる。

システム調整の完了したプログラムを ROM カードにコピーする場合は、PSE により自動的に行うことができる。1 度 ROM 化された内容は、誤操作や停電などの外乱によってその内容が破壊されることなく、半永久的に保持される。ただし専用の ROM 消去装置を使用して故意にその内容を消去すれば、新たなプログラムを再記憶させることができる。

(3) プロセス 入出力

制御対象から PLC への入力信号は、AC 100 V レベルで直接 プロセス入力部の端子板に入力させることができる。これら AC 100 V レベルの入力信号は、まず PI ユニットで電圧変換され、積分回路、波形整形回路を経由して TTL、DTL の IC レベルに変換され、入力 スキャナカードに送られる。入力 スキャナカードは、演算制御ユニットからのプログラムの要求に応じて多数の入力点の中から要求された 1 点の信号を選別するカードで、カード 1 枚あたり 32 点の処理能力があり、スキャナユニットに実装される。PI ユニット 1 台あたりの入力点数容量は入力スキャナカードと同様に 32 点で、プロセス入力部 1 架あたりの実装容量は 16 台 (512 点) で、システムの規模に応じて容易に増減できる。

一方、演算制御ユニットで処理された結果は出力 スキャナカードに出力される。このカードも前記入力 スキャナカードと同様にスキャナユニットに実装して用いられ、カード 1 枚あたり 32 点の出力点容量をもつ。これら 32 点の出力点は、おのおの 1 個ずつ互いに独立した計 32 個のフリップフロップをもち、演算制御ユニットから送られてきた出力情報は、そこで 1 度保持され、TTL、DTL の IC レベルでプロセス出力部の PO ユニットへ送られる。PO ユニットでは、出力 スキャナカードから送られてきた出力信号を増幅し、外部出力する。外部出力点は、プロセス出力部の端子板に接続されていて、AC 100 V、2 A (連続)、ラッシュ 10 A の負荷を直接 オン/オフ することができる。PO ユニット 1 台あたりの出力点数容量は 16 点、プロセス出力部 1 架あたりの PO ユニット実装数は最大 16 台 (256 点) で、システムの規模に応じて容易に増減できる。

PI ユニットや PO ユニットの前面パネルには、入力信号あるいは出力信号の オン/オフ 状態を表示するモニタ用のネオンランプが設けられており、保守・点検の際便利のように考慮されている。

(4) 割込機能

PLC には、2 レベルの割込レベルをもつ割込処理機能が標準装備されている。このうち High レベルの割込みは、主として非常停止などの最優先処理要求のレベルとして使用される。いずれの割込みも、割込原因は、通常の入力接点信号と同様に AC 100 V のレベルでプロセス入力部に入力することができ、割込原因数は 16 点単位で増設が可能である。

4. 2. 2 MSE

生産ラインのモニタリングや故障検知を自動化しようとする傾向は、最近ミニコンピュータなどを用いた例がいくつか報告されており⁽²⁾⁽³⁾、国内でも開発例がある⁽⁴⁾。しかしこれらの例はいずれも制御対象固有の専用ソフトウェアを作成して実現したものであり、2 章で記述したような「はん用化されたモニタリングシステム」ではなく、対象とするシステムの綿密な分析と膨大なソフトウェア作成時間及び費用を投入してはじめて完成されたものであり、他の制御対象に適用しようとする場合や制御対象の動作状態に変更・修正を加えようとする場合、現場で簡単にソフトウェアを組み変え得るとはいえない。

2 章で記述したように我々は、モニタリングシステムの目標を「実用性及びはん用性」におき、実ラインの故障形態、保全員の故障復旧作業などに関して精細な分析・調査を行い、その結果、動作監視や故障検知、故障原因の追究など一連の故障復旧作業を完全自動化するのではなく、機械の得意とする要因と人間の得意とする要因とを分離し、機械と人間とが対話しながら故障原因を追究するという方式が結局故障復旧を最も正確かつ迅速に行い得るという結論に達した。すなわち、故障発生から復旧までの各要因のうち、ラインの動作状態

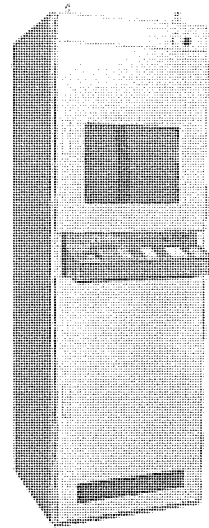


図 3. 故障検知装置

の監視及び異常状態の検知は自動化し、故障原因の追究は、自動検出と人間-機械系の対話による手段とを組合せることにした。図 3. に MSE の外観を示す。

(1) 動作監視

制御対象の動作状態を常時監視し、正規動作と相違する動作を検知すれば異常信号を警報するとともに、異常の発生した制御対象の動作工程をブラウン管上に表示する。同時に、故障原因追究の手段の一つである「故障原因の直接表示」モードを自動的に処理し、不良 LS をブラウン管上に表示する。

モニタしたい点番号は、キーボードで簡単に登録することができ、登録された点番号に関する正規動作は、制御対象の標準運転時にキーボードの学習スイッチを操作することにより自動的にティーチングされる。

制御対象が群制御されている場合や、制御対象の動作状態が多種類選択される場合などの動作監視も可能である。

(2) 故障原因の直接表示

生産ラインの自動化設備などで発生するライン故障を分析すると、一般的には、LS や SOL などのセンサ、アクチュエータ類の故障が最も多い。そこで、最も故障の発生確率の高いこれら LS や SOL に関する故障モード、例えば前進限の LS と後退限の LS との組合せなど正常な動作状態では起こり得ない組合せをあらかじめ登録しておき、動作監視で異常が検出されれば直ちに「故障原因の直接表示」モードを自動処理して、不良 LS や SOL を故障原因として表示する。この故障モードの登録は、LS や SOL の点番号をキーボードから入力するだけでよく、また、最初から多くの故障モードの組合せを登録しなくても、制御対象の動作にオペレータが慣れるにつれて徐々に登録数を増やしていけばよい。このモードの最大登録数は、128 組である。

このモードによる不良 LS の表示例を、図 4. に示す。

(3) タイムチャートの表示

前述の「故障原因の直接表示」モードは、登録された故障モードの組合せ中に、発生した故障原因が発見された場合は自動的にしかも直接、故障原因が表示されるので非常に便利であるが、あらゆる故障の組合せは無限に近い程存在し、すべてを登録しておくことは不可能であり、また経済性からみても効率的とはいえない。したがって、「故障原因の直接表示」モードで発見されない故障原因を追究する別

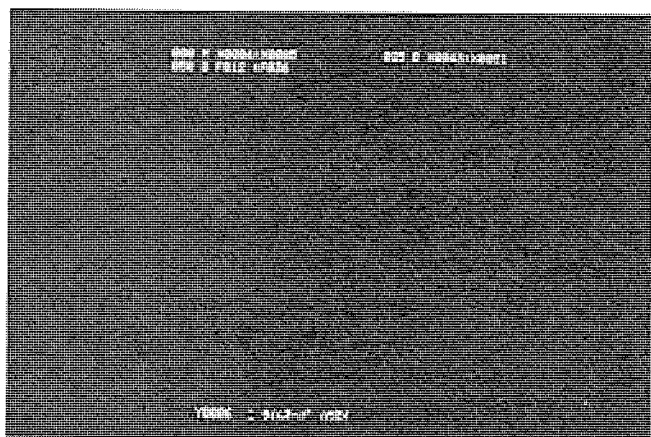


図 4. 故障原因の直接表示例

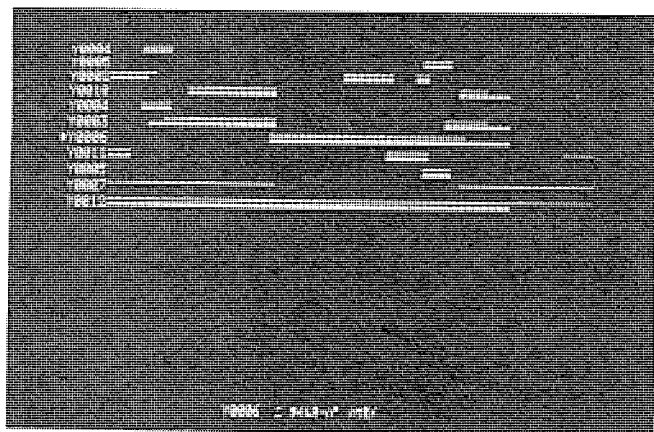


図 5. タイムチャートの表示例

の手段が必要であり、我々は、この手段として「タイムチャートの表示」モードと後述する「シーケンス回路図の表示」モードとを用い、保全員と MSE とを対話させながら故障原因を探究してゆく方式を採用した。

「タイムチャートの表示」モードは、制御対象の動作状態を時間的な経過としてとらえ、ブラウン管上に各モニタ点の動きを、正規動作と重畳させて表示する。正規動作は前述のように、制御対象の標準運転状態をティーチングさせるだけでよい。動作監視で異常が検知されると異常の発生した工程までのタイムチャートがブラウン管上に表示され、同時に異常の発生した工程に関連するモニタ点も通報される。図 5. はその表示例で、左端にモニタ点を、各モニタ点に関して正規動作を細線で、実動作を太線で表している。

モニタ点は、最大 256 点まで登録することができる。

(4) シーケンス回路図の表示

「タイムチャートの表示」モードにより、異常の発生したモニタ点が表示されるので、この通報に基づきシーケンス回路図をたどりながら故障原因を追究するモードである。ブラウン管上に表示されたシーケンス回路図には、シーケンス回路の構成要素（入力点や出力点、内部記憶点、タイマ点など）に、メーク/ブレイク情報も併せて表示されているので保全員は、シーケンス不成立の原因を容易に知ることができる。なお、保全員は希望するシーケンス回路図をその回路構成要素のメーク/ブレイク情報とともに任意に指定して呼出すことができる。シーケンス回路図は、PLC にプログラムされているシーケンスプログラムと全く同一のものであるので、改めて登録する必要はない。

図 6. にシーケンス回路図の表示例を示す。接点記号や出力記号の

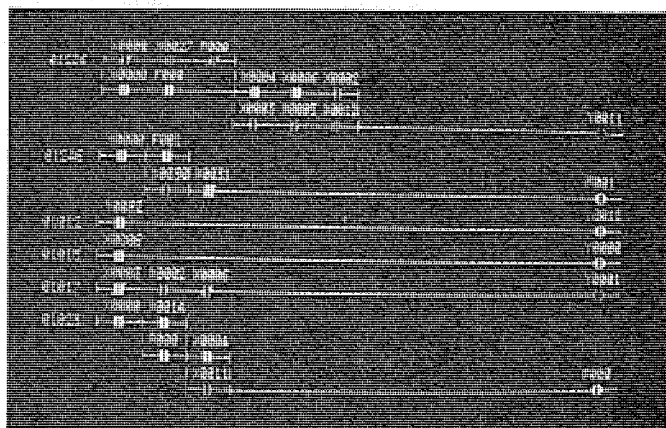


図 6. シーケンス回路図の表示例

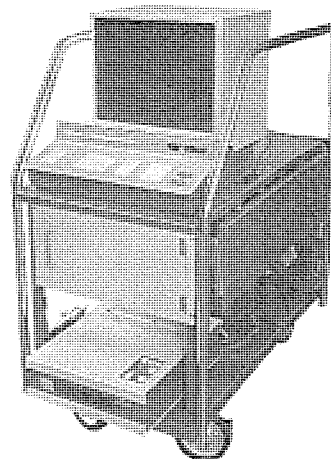


図 7. プログラム装置

太く表示されているものは通電状態を示し、細く表示されているものは通電されていない状態を示す。

(5) MELMIC PAC-2 システムの故障診断

MELMIC PAC-2 システムの各装置に異常が生じた場合、故障診断を行うことができる。

PLC の故障は、MSE から発生される診断プログラムと、「シーケンス回路図の表示」モード及び PIO ユニットのモニタランプにより、次の各項目に分けて診断が行われる。

- (a) 演算制御部
- (b) 記憶部
- (c) スキャナ部
- (d) プロセス入力部、プロセス出力部

MSE 及び PSE の故障は、それぞれ MSE 及び PSE の自己診断プログラムによって検査され、不良箇所はブラウン管又はキーボード上に表示される。

4. 2. 3 PSE

PSE は、リレーシーケンス回路図をプログラム言語として、PLC で解釈可能な言語に自動翻訳する装置で、その外観を図 7. に示す。PSE は、PLC と切離してオフラインでシーケンスプログラムを作成することもでき、容易に移動させ得る構造になっている。

以下に、PSE の主な機能を示す。

(1) シーケンスプログラムの記憶と表示

シーケンス回路図にしたがって、回路図上のシンボルと類似なシンボルキー（ \neg 、 \neg 、 \neg 、 \neg 、 \neg etc）を押すだ

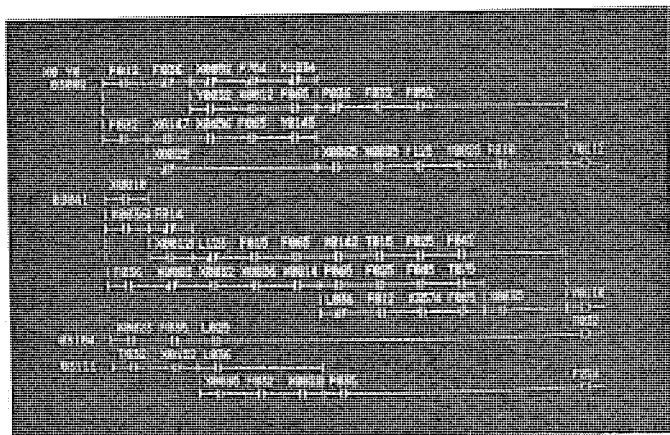


図 8. シーケンス展開図表示例

けで、自動的にシーケンスプログラムが記憶部に記憶されるとともに、その内容は逐次ブラウン管上にリレーシーケンス図の形式で図形表示されるため、プログラミングが容易であるばかりか、ブラウン管に表示されたリレーシーケンス図からいま入力した命令が正しいか否かが容易に確認できる。ブラウン管の1画面に同時に表示できるシンボル数は、横方向に入力素子が11個、出力素子が1個の計12素子、縦方向にこれらが12段の計144素子である。また画面がいっぱいになると次にキーインされた内容は、画面全体が自動的にロールアップされ、画面の下から順次表示される。

図 8. にシーケンスプログラムの表示例を示す。

(2) シーケンスプログラムの修正と変更

シーケンスのシミュレーションやその他の結果により、シーケンスプログラムの修正や変更が余儀なくされたときにも、キーボード操作だけで容易にプログラムの修正、変更ができる。また修正、変更された内容もブラウン管上に表示されるので修正後の確認も直観的に行うことができる。

(3) 記憶内容の記録と保存

記憶部に記憶されたプログラムは、磁気テープに記録することができ、シーケンスプログラムの管理・保管が容易である。

(4) 磁気テープからのプログラムローディング

あらかじめ磁気テープに記録されたプログラムを記憶部にローディングすることができる。したがってシーケンスを変更するときも、該当するカセットテープのローディングによりプログラム全体の差替えが短時間でできる。

(5) プログラムのROM化

システムの調整が完了した最終のプログラムは、キーボード操作により自動的にROMカードにプログラムコピー(ROM化)することができる。また1度ROM化されたROMカードは、ROM消去装置を使用することにより、先にROM化されているプログラムを消去し、新しい内容のプログラムを再コピーすることができる。

5. む す び

有接点リレーによるシーケンス制御装置にかわってプログラマブルコントローラが国内外で多数発表されているが、MELMIC PAC-2システムは、従来のような「制御」だけでなく、「ソフトウェア」から「モニタリング」まで、自動化ラインを総合的、体系的に分析し、操作方法、運用システム、保全技術などを含めてシステム化するという観点から開発を行った。

このシステムは、か動率向上を重視する自動車生産ラインなどの大量生産ライン、センサやアクチュエータ類が大量かつ広範囲にわたって設置されているコンベヤ、クレーン、自動倉庫などの大規模制御ライン、工作機械などの群制御システム等を最適用途とするが、このほか、従来の有接点リレー制御盤のシーケンス動作を確認するためのリレー制御盤シミュレータとしての用途も広い。また、MSEは、か動状態に入ったラインの故障監視・検知だけでなく、か動までの設備立上がり時に使用してシーケンスプログラムのミスを迅速に発見する手段としても利用することができる。

なお、MELMIC PAC-2システムは、本文で紹介したシーケンス制御を主体とする制御のほか、算術演算やデータファイル、データの印字記録などを必要とする制御システムにも適用可能である。

このシステムの開発にあたって、種々ご指導いただいた日産自動車(株)村山工場長はじめ関係諸氏に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) G. Lapidus : Programmable Logic Controllers, Control Engineering (1971-4)
- (2) R. L. Aronson : Production Monitoring Survey-II, Control Engineering (1972-3)
- (3) R. L. Aronson : Chevrolet Saginaw, Control Engineering (1972-5)
- (4) 大久保 : ミニコンピュータによるトランスファーマシンの制御・モニタリング, 機械技術, 21, No. 5 (昭48)
- (5) 山田 : ミニコンによるトランスファーマシンの制御システム, オートメーション, 18, No. 3 (昭48)
- (6) 松村 : 専用電子計算機によるシーケンスコントロールとその問題点, 電子展望, 9, No. 2 (昭47)
- (7) 酒井, 小柳 : 自動化ライン制御機器の開発について, 日産技報, No. 9 (昭49-2)
- (8) 小柳, 松村 : はん(汎)用制御システムとその応用例, 精機学会自動組立専門委員会, 第31回研究発表会資料 (昭49-6)
- (9) 田中, 渡辺, 酒井, 小柳 : 自動車製造ラインにおけるロジックコントローラ, オートメーション, 19, No. 7 (昭49)

当社の登録実用新案

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1036317	冷蔵庫箱体	吉田 匡一	1034996	電気温水器の両面パネル装着装置	宮崎昭信・馬淵公作
1036318	送受切換装置	奥野幸彦	1034997	電気温風機	野畑昭夫・慶野長治 後藤完二
1036319	イオンレーザ管	宮沢淑子・谷口靖子	1034998	電気温風機	野畑昭夫・慶野長治 後藤完二
1036320	半導体装置	山本 勇	1034999	は(把)手取付装置	慶野長治・後藤完二
1036321	内燃機関点火装置	千葉聖一	1035000	二重料金制電力利用の蓄熱暖房器	須田 洋・藤田喜助
1036322	密閉形電動圧縮機	田中 満・大日方興信	1035001	石油ストーブ	杉内 豊・鷺巢 勇
1036323	密閉形電動圧縮機	元場邦彦	1035002	温風機のルーバ角度調節装置	慶野長治・後藤完二
1036324	レーザ装置	伊藤 尚・藪内賀義	1035003	回転体の位置検出装置	小林孝生
1036325	高周波加熱器の電源回路	池田宏司	1035262	開閉器の消弧装置	岡戸弘行
1036326	直熱形陰極	小坂橋正康・佐野金治郎	1035420	遅延回路の制御装置	大西熊一・中村信弘
1036327	コッククロット形直流高電圧電源	上田和宏・酒井陸夫	1035421	遅延回路の制御装置	大西熊一・中村信弘
1036328	定トルク締付ボルト	河原泰祐	1035422	半導体装置	鉄野治雄
1036329	直線形石油燃焼装置	加藤栄一	1035423	そう(挿)入形水素密度計	高田 守
1036330	角加速度あるいは加速度のデジタル測定装置	壺井芳昭	1035524	電気掃除機	武井久夫・加藤 悟 南日国伸
1036331	リアクトルの冷却構造	黒田義隆・武内邦臣	1035525	冷蔵庫の庫内灯制御装置	田中 毅
1036332	窓用換気扇の包装箱	吉村 勉	1035526	石油ストーブ	小木曾明男
1036333	蒸発器	中島 勇	1035527	冷蔵庫きょう(筐)体	林 八郎
1036334	冷蔵庫の送風装置	早川孝紹	1035528	空気調和機	鈴木太八郎・野田富士夫
1036335	冷蔵庫	小西 勝	1035529	空気調和機の取付装置	西沢敏造・野田富士夫
1036336	石油ストーブの燃焼筒	杉内 豊・斎藤 勝	1035530	空冷凝縮器の導風装置	渡辺 進・小林靖夫
1036337	車両用暖房装置	藤井 学・本田嘉之	1035531	空気調和装置	木ノ内達夫・渡辺 進
1036338	車両用暖房装置の制御装置	藤井 学・本田嘉之	1035532	空気調和機	大石建治・海野 賢
1036339	自動車用暖房装置における制御装置	藤井 学・本田嘉之	1035533	空気調和機の送風機取付装置	鈴木太八郎・関口 浩
1036340	自動車用暖房装置	藤井 学・本田嘉之	1035534	空調機	大石建治
1036341	給水器	三宅良明・前中和義	1035535	冷暖房装置	岩崎善彦
1036342	車体傾斜角制御装置	亀田康幸	1035536	空気調和装置	鈴木太八郎
1036343	車体傾斜装置	亀田康幸・北岡 隆	1035537	熱交換空調換気装置	内山隆夫・坪 清秋
1036344	列車	亀田康幸	1035538	冷暖房給湯装置	岩崎善彦
1036345	車体傾斜角検知装置	亀田康幸	1035539	冷暖房給湯装置	岩崎善彦
1036346	強制車体傾斜制御装置	山田健司	1035540	ダクト	吉野昌孝・白金 温
1036347	傾斜角度指令装置	亀田康幸	1035541	電気加湿器	町原義太郎・近藤正司 上原幹夫・宇佐美 忠
1036348	直線形石油燃焼器	小林恵治・清水 誠	1035542	壁貫通形のヒートポンプ空気調和機	三浦 隆・藁科公彦
1036349	導体の機械的接合法	片山敬一	1035543	電気加湿器	町原義太郎・近藤正司
1036300	パルス状態識別回路	高瀬明生	1035544	風向表示器付ルーバ	藤井 学・太田 誠
1036453	直線形石油燃焼装置	加藤栄一	1035545	空気調和機	桑沢宏康・大堀正春
1036624	電気加湿器	根岸宣匡・市村伸男	1035546	電気加湿器	根岸宣匡・市村伸男
1036625	電気加湿器	根岸宣匡・市村伸男	1035547	空気調和機の自動風向変更装置	藤井 学・太田 誠
1034990	静圧測定装置	中田省三・金川 勝	1035548	集じんフィルタの係止装置	鈴木太八郎
1034991	包装用バンド	菅井俊郎・木下弘昭	1035549	熱交換空調換気装置	内山隆夫・坪 清秋
1034992	蓄熱暖房器	須田 洋・桜井信捷 藤田喜助	1035550	空気調和装置のキャビネット	鈴木太八郎
1034993	蓄熱暖房器	須田 洋・桜井信捷 藤田喜助	1035551	空気調和機	鈴木太八郎
1034994	蓄熱暖房器	須田 洋・桜井信捷 藤田喜助	1035552	空気調和機	鈴木太八郎
1034995	電気温水器の両面パネル	赤羽根正夫・馬淵公作			

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1035553	空気調和機の集じんフィルタ案内装置	鈴木太八郎	1036311	巻線形誘導電動機の起動装置	大窪純治
1035554	空気調和機	鈴木太八郎・高橋克己	1036312	半導体装置	半谷公弘
1035555	冷房または暖房装置	岩崎善彦・渡辺靖	1036313	半導体装置	川上弘二
1035712	デジタル式制御装置	渡部優・山内信治	1036314	密閉電動圧縮機	大石善堂
1036112	電気温水器	{東邦弘・赤羽根正夫 根岸宣匡	1036315	電子装置の液冷暖装置	{杉本盛行・大島征一 榎本歳和
1036113	コンデンサ電動機の制動装置	太田誠	1036316	自動列車制御装置	走井貞雄
1036114	断熱管	松尾清	1036317	冷蔵庫箱体	吉田匡一
1036115	蒸発器扉のガスケット取付装置	丸山哲朗・石倉正男	1036318	送受切換装置	奥野幸彦
1036116	接着剤塗布装置	中田省三	1036319	イオンレーザ管	宮沢淑子・谷口靖子
1036111	ワッシャ	松尾昇	1036320	半導体装置	山本勇
1036299	三極形配線用しゃ断器	長谷川清博	1036321	内燃機関点火装置	千葉聖一
1036300	パルス状態識別回路	高瀬明生	1036322	密閉形電動圧縮機	田中満・大日方興信
1036301	アーク溶接装置	{鶴飼順・平松正毅 平塚秀雄・梶野幸男	1036323	密閉形電動圧縮機	杉山陸・元場邦彦
1036302	回路しゃ断器	長谷川清博・藤井保	1036324	レーザ装置	伊藤尚・藪内賀義
1036303	凍結防止器	{赤羽根正夫・馬淵公作 宮崎昭信	1036325	高周波加熱器の電源回路	池田宏司
1036304	エレベータのかご内器具取付装置	水野幸臣	1036326	直熱形陰極	小坂橋正康・佐野金治郎
1036305	エレベータのかご室	八木信郎	1036327	コッククロフト形直流高電圧電源	上田和宏・酒井睦夫
1036306	携帯用歯治療器	丸山泰	1036328	定トルク締付ボルト	河原泰祐
1036307	回路しゃ断器	長谷川清博・大島義久	1036329	直線形石油燃焼装置	加藤栄一
1036308	ワイヤストリップ	細谷一彦	1036330	角加速度あるいは加速度のデジタル測定装置	壺井芳昭
1036309	静電給合形固定記憶素子	南部元	1036331	リアクトルの冷却構造	黒田義隆・武内邦臣
1036310	衣類乾燥機	{町原義太郎・三ヶ田文彦 上原幹夫・鶴谷嘉正	1036332	窓用換気扇の包装箱	吉村勉
			1036333	冷蔵装置	中島勇
			1036334	冷蔵庫の送風装置	早川孝紹
			1036335	扉冷蔵庫	小西勝

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 49 No. 7 自家用変電機器

特集論文

- 自家用受配変電設備の近代化
- 最近の中央監視制御方式
- 受変配電系統の保護方式
- 受電用変圧器
- 自家用特高開閉装置
- 高低圧開閉装置及び機器

普通論文

- 関西電力(株)奥多々良木発電所向け 500 kV 640 MVA 変圧器
- 500 kV ガス絶縁変電所用ガスしゃ断器の輸送試験
- 変電所周辺の騒音計算
- 保護継電器自動試験装置

三菱電機技報編集委員				三菱電機技報 49 巻 6 号		昭和 50 年 6 月 22 日 印刷
						昭和 50 年 6 月 25 日 発行
委員 長	松岡 治	常任委員	三輪 進	定価 1 部 300 円 (送料別) 無断転載を禁ず		
副委員長	神崎 遼		吉山裕二	編集兼発行人	松岡 治	
"	武藤 正	委 員	飯田春吉	印刷者	高橋 武夫	
常任委員	伊藤一夫		大田重吉	印刷所	東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地	
"	宇佐見重夫		粕谷一雄		大日本印刷株式会社	
"	北川和人		久保博司	発行所	東京都千代田区丸の内 2 丁目 1 番 2 号 (〒100)	
"	祖父江晴秋		熊本 永		三菱電機エンジニアリング株式会社内	
"	塚本信雄		橋爪 基		「三菱電機技報社」Tel. (03) 218 局 2494	
"	久松章三		林 昇寿	発売元	東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地 (〒100)	
"	日野雅行		(以上 50 音順)		株式会社 オーム社書店	
"	本間吉夫				Tel. (03) 291 局 0912, 振替口座 東京 20018	
6 号特集担当 堀内勝彦						

N E W S F L A S H

DH-C(電流形インバータ)シリーズ 1号機完成

交流電動機の周波数制御による可変速装置として、DIAHERTZER-V(DH-V、電圧形インバータ)シリーズを発売して以来、その性能の優秀さ、高信頼性が認められ好評を博しています。今回、その経験を十分生かして、特に堅牢で安価な誘導電動機の可変速制御に最適なインバータとしてDIAHERTZER-C(DH-C、電流形インバータ)シリーズの1号機を完成し発売開始しました。DH-Vシリーズが交流電動機のグループ運転に適しているのに対し、DH-Cシリーズは誘導電動機の単機運転に優れた特性を発揮します。

特 長

① 過酷な使用に耐える

電流制御が容易にできるので、負荷短絡などの過酷な使用に対しても装置の安定な動作を保障できる。

② 頻繁な加減速、逆転が可能

簡単な回路構成で回生制動ができるので、大きなGD²の負荷に対しても加減速、逆転を頻繁に行なうことができる。

③ 高い周波数まで制御可能

当社が開発した独自の転流回路により高周波数化に成功した。DH-C標準シリーズの最大周波数は250Hzである。

④ 高効率

転流回路の高速化によって安定性の向上を図ることができたので、安定性確保のためのダミー負荷は不要となりより高効率となった。

⑤ 高信頼性

耐ノイズ性の向上、部品の厳選、品質管理体制の確立により高信頼性を得た。

DH-Cシリーズの仕様

形 式	DH-C50	DH-C125	DH-C250	DH-C500	DH-C750	DH-C1000
入 力 電 源	3相200V±10% 50/60Hz		220V±10% 60Hz		3相 400V±10% 50/60Hz 440V±10% 60Hz	
瞬時電圧降下	補償あり 50% 1s					
瞬 時 停 電	補償あり 60ms					
出 力	容量(kVA)	5	12.5	25	50	75 100
	電流(A)	15	37	73	145	109 145
	電圧(V)	3 相 200				3 相 400
過 負 荷 耐 量	200% 30s (150% 1min)					
周 波 数 上 限	250Hz					
周 波 数 精 度	最高周波数に対し±0.1%／±10℃					
電 圧 / 周 波 数	定トルク範囲で一定(補正可)					
出力電圧変動率	±5%(10%～100%負荷変動)					
負 荷 力 率	0～0.9(遅れ)					
周 囲 温 度	0～40℃					

