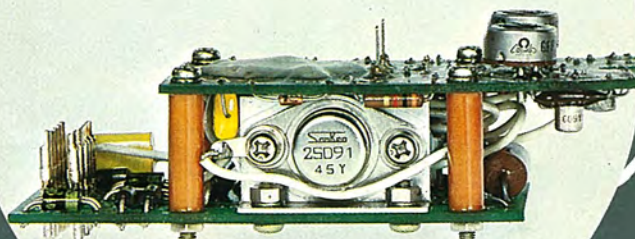


MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.50 No.7

ノーヒューズしゃ断器特集

7
1976



三菱電機技報

Vol. 50 No. 7 JULY 1976

ノーヒューズしゃ断器特集

目次

特集論文

ノーヒューズしゃ断器の新製品	牧野 節夫・山本 啓一・前田 信吾	349
電子式 NFB による低圧電路の保護協調	中山 豊・望月 義範・寺地 淳一・佐藤 進	355
低圧気中しゃ断器のアーク電圧と限流特性	久常 文之・江口 清司・笹尾 博之・村井 裕	360
漏電しゃ断器検出回路の IC 化	山本 清美・近藤 邦昭・佐藤 栄一・赤木 則夫・宮崎 行雄	364
時延形漏電リレー	新田 裕稔・吉原 孝夫・実森 俊夫	369

普通論文

大容量タービン発電機固定子コイルエンド支持系の信頼性と強度	速水 和夫・河相 成孝・八木 耕三・丸山 忠善・松倉 欣孝	379
液体ヘリウム用連続形液面計	平田 郁之・大井 紀男	384
高周波 PWM インバータ用サイリスタの開発とその応用	川上 明・石堂 道治・小田 勝啓	389
ビル防災システム	和泉 陽平・小沢 純一郎	394
長大軸系の横振動解析プログラム“MARS”の概要	川面 恵司・松倉 欣孝・村井 幸雄・青木 幸男・八木 耕三	401

FEATURING NO-FUSE MOLDED CASE CIRCUIT BREAKERS

CONTENTS

FEATURED PAPERS

New Products in the No-Fuse Line of MCCBs	Setsuo Makino et al.	349
The Use of MELNIC Electronic MCCBs in the Coordination of Low-Voltage Circuit Protection	Yutaka Nakayama et al.	355
The Arc-Voltage and Current-Limiting Characteristics of Low-Voltage MCCBs	Fumiyuki Hisatsune et al.	360
Applications of ICs to the Detection Circuitry of Earth Leakage Breakers	Kiyomi Yamamoto et al.	364
Time-Delay-Type Earth Leakage Relays	Hirotoishi Nitta et al.	369

GENERAL PAPERS

The Reliability and Strength of a System for Bracing the Stator Coil End in Large Turbine-Generators	Kazuo Hayami et al.	379
A Continuous Level-Indicator for Liquid Helium	Ikuyuki Hirata & Norio Oi	384
The Development and Applications of Thyristors for a High-Frequency Pulse-Width Modulation Inverter	Akira Kawakami et al.	389
A Fire-Security System for Office Buildings	Yohei Izumi & Junichiro Ozawa	394
The MARS Program for Lateral Vibration Analysis in Large Rotor Systems	Keishi Kawamo et al.	401

表紙

NFE 形 ノーヒューズしゃ断器

従来のノーヒューズしゃ断器は、熱動・電磁形又は完全電磁形で主として分岐回路の配線を保護するものであったが、近年は主回路しゃ断器としての使用も多く、給電の経済性・信頼性を論ずることが多い。このため各種の選択しゃ断可能なノーヒューズしゃ断器が開発されている。

写真は引外し素子を半導体化した NFE 形ノーヒューズしゃ断器《MELNIC》で、定格電流の調整が可能、三元特性付で選択しゃ断が可能、フィールドで特性の確認が可能など、数々の特長を揃えた画期的なもので、顧客にとって便利で使い易い製品として各方面から注目されている。

COVER

Type NFE MELNIC Breakers

Conventional molded-case circuit breakers—either thermal-magnetic or fully magnetic—have been used primarily in the protection of branch circuits, but in recent years they have also been used for main circuit interruption, leading to discussion concerning their economy and reliability. This has led to the development of a variety of MCCBs with a selective tripping capability.

The photo shows Mitsubishi Electric's Type NFE MELNIC MCCB, with a semiconductorized tripping element. MELNIC breakers feature adjustable rated current, 3-mode characteristics allowing selective tripping, and in-field checking of characteristics. The convenience and ease of use of MELNIC breakers has been highly rated by users.

ノーヒューズしゃ断器の新製品

牧野節夫・山本啓一・前田信吾

三菱電機技報 Vol.50・No.7・P349～354

ノーヒューズしゃ断器は、その個有の安全性を基盤とし、しゃ断容量の増大と小形化が推しすすめられてきたが、最近では他の機器との動作特性上の協調、電路保護以外の新しい分野への応用及び取付けに際しての便利さを求めて開発・改良が行われている。すなわち、配線の保護機能を基本としそのうえに“使いやすさ”が加わったノーヒューズしゃ断器が出現している。

本稿では、最近当社が使いやすさを追求して開発したノーヒューズしゃ断器の基本的性能とその応用について述べる。

大容量タービン発電機固定子コイルエンド支持系の信頼性と強度

速水和夫・河相成孝・八木耕三・丸山忠善・松倉欣孝

三菱電機技報 Vol.50・No.7・P379～383

タービン発電機単基容量増大にともない固定子コイルエンドに働く電磁力が急激に増加し、その信頼性検証が大容量化達成に重要な課題となっている。約10年前より理論解析を開始するとともに小形モデルと大容量実機で計測を行い、挙動のはあく(把握)、強度の確認に努めてきた。この基礎的研究に引き続き、2極600MW機、4極1,200MW機の実物大モデル発電機を使用した詳細な技術試験により大容量機コイルエンドの信頼性を検証したが、これらデータは将来の超大容量機にも利用できるとの確信を得た。本文では、各種試験内容を含めたこの研究の概要を紹介する。

電子式NFBによる低圧電路の保護協調

中山 豊・望月義範・寺地淳一・佐藤 進

三菱電機技報 Vol.50・No.7・P355～359

低圧電路の配線用しゃ断器において、電路の容量増大や複雑化にともなう、最大限の連続給電の機能を有したNFBが強く要求されるようになった。それにともない、短限時付NFB・3元ブレーカ・限流選択ブレーカ等が開発されてきたが、近年、電子式引外し素子を有した電子式NFB《MELNIC》が開発され、一層の選択保護協調が可能となった。本稿では、電子式NFB《MELNIC》と他の保護機器との選択保護協調について述べる。

液体ヘリウム用連続形液面計

平田郁之・大井紀男

三菱電機技報 Vol.50・No.7・P384～388

液体ヘリウムを使用する装置において、液面の位置を連続して検出することは極めて重要な基本技術である。従来の液面計には、検出精度が悪い、使用環境が限定される、較正が複雑である、検出素子に互換性がないなどの欠点があり、工業用計器として十分な機能を満たしていなかった。今回、比電気抵抗の温度依存性が極めて小さいNb-Ti合金 ($\rho_{300K}/\rho_{10K}=1.07$, $\rho_{10K}/\rho_{77K}=0.975$) を検出素子に用いて、上記の欠点をなくした連続形液面計を開発した。検出素子の標準仕様は、測定長さ400mm、外径5mm、重量20gで発熱量は液中部分は零、気中部分は0.02W/cmである。

低圧気中しゃ断器のアーク電圧と限流特性

久常文之・江口清司・笹尾博之・村井 裕

三菱電機技報 Vol.50・No.7・P360～363

低圧配電系統に使用されるノーヒューズしゃ断器の中で、電磁反発接点を設けることによって、短絡発生直後にアーク電圧を発生させ、短絡電流を限流する機種が開発されている。本文では、電磁反発形ノーヒューズしゃ断器で直列機器を保護する場合に必要なアーク電圧の上昇率について概算している。また実際にアーク電圧を発生させ、アーク電圧の上昇率に関係する因子についても論じている。

高周波PWMインバータ用サイリスタの開発とその応用

川上 明・石堂道治・小田勝啓

三菱電機技報 Vol.50・No.7・P389～393

交流電動機駆動用インバータの中で、特に注目されている高周波パルス幅変調式インバータの本格的実用化を図るため、従来なかった高耐圧、大電流容量でかつ高周波特性の優れたサイリスタが必要であった。この要求に対し、主サイリスタとして、高周波用逆導通サイリスタ耐圧：(1,400V、定格電流：400A/200A (サイリスタ部/ダイオード部)、ターンオフ時間：20 μ s、動作周波数：1kHz、形名：FR500BY-28 (仮称)、転流補助サイリスタとして、高周波パルス通電用サイリスタ (耐圧：1,800V、定格パルス電流：2,000A (パルス幅50 μ s)、ターンオフ時間：30 μ s、動作周波数：1kHz、形名：FT300BX-36、の開発に成功したので、構造、特性、応用等について報告する。

漏電しゃ断器検出回路のIC化

山本清美・近藤邦昭・佐藤栄一・赤木則夫・宮崎行雄

三菱電機技報 Vol.50・No.7・P364～368

人命保護を目的とする漏電しゃ断器の品質とその信頼性は極めて重要である。特に電子式漏電しゃ断器の電子回路部の不動作故障は重大であるので、電子回路部の信頼性を高めるために漏電しゃ断器専用的高信頼度ICの開発を行い、このICを用いたIC漏電しゃ断器の実用化に成功したので、ここに紹介する。漏電しゃ断器専用ICは定電圧回路、差動増幅回路、時延回路、シミュット回路よりなり、零相変流器と組合せが容易であると同時に十分なるサージやノイズ対策がICに内蔵されているため非常にサージ耐量が大きく、信頼性も高い。更に時延回路と差動増幅回路間に簡単な部品を追加するだけで反形も可能な汎用性のあるものである。

ビル防災システム

和泉陽平・小沢純一郎

三菱電機技報 Vol.50・No.7・P394～400

過去における大火災被害を契機とし、防災設備の強化をはじめとして防災に対する認識が世間に高まりつつある。このような状況下において当社も総合電機メーカーとしての総力を結集し、防災分野におけるさまざまな研究、開発を行っている。本文では、これらの研究、開発成果のうち、防災システム《MELNICS》及び避難シミュレーション、そして、防災問題に関する最近の動向などをからめ合わせて紹介する。

時延形漏電リレー

新田裕稔・吉原孝夫・実森俊夫

三菱電機技報 Vol.50・No.7・P369～375

最近の低圧電路の電気設備は、ビルや工場の規模の大形化、設置スペースの縮小、集中管理による無人化などの促進から、いったん事故が起きるとその被害が大きくなる傾向にある。

ここでは幹線の地絡事故に注目し、この保護の考え方、特に誤動作と分岐の漏電しゃ断装置との地絡保護協調について述べ、これに適した漏電しゃ断装置としてノーヒューズしゃ断器などと組合せて使用するのに便利な「時延形漏電リレー」について説明する。

長大軸系の横振動解析プログラム“MARS”の概要

川面恵司・松倉欣孝・村井幸雄・青木幸男・八木耕三

三菱電機技報 Vol.50・No.7・401～406

回転軸系の横振動に関し、複雑な物理現象を正確に模擬し、また数値計算に当たり長大軸系に対しても誤差の集積しない計算プログラム“MARS”を開発した。ここでは、まず軸中オーバハング、軸受据付調整高さ等特殊項目の計算法を主に説明し、次にMARSの機能、構成を紹介する。また、実際のタービン発電機軸系の固有モード、異方性軸受で支えられた場合の危険速度におけるモード円、などの計算結果を例示した。MARSは、軸要素数300、異方性軸受30個の長大軸系の振動応答が誤差なく計算できる画期的なプログラムで、今後信頼性の高い回転機的设计製作に寄与するものと考えらる。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 7, pp. 379~83 (1976)

The Reliability and Strength of a System for Bracing the Stator Coil End in Large Turbine-Generators

by Kazuo Hayami, Shigetaka Kawai, Kozo Yagi, Tadayoshi Maruyama & Yoshitaka Matsukura

The increases in unit capacities of turbine generators has resulted in a sudden increase in the electromagnetic force acting on the stator coil ends, making the evaluation of reliability an important subject. For some 10 years a program has been under way involving both theoretical analysis, and measurements using small models and large-capacity actual machines, with the objective of understanding behavior and confirming strength. In a continuation of this basic research, it has been possible to prove out coil-end reliability in detailed engineering tests involving two full-scale model generators—a 2-pole 600MW and 4-pole 1200MW unit—and it has been confirmed that the data thus obtained can be applied to the super-large machines of the future.

The article describes this research program, along with information on the various types of tests performed.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 7, pp. 384~88 (1976)

A Continuous Level-Indicator for Liquid Helium

by Ikuyuki Hirata & Norio Oi

In most cases of work involving liquid helium, continuous monitoring of the liquid level is a basic requirement. Conventional liquid-level indicators suffer from a number of defects—innaccurate detection, limitations as to permissible ambient conditions, complexity of calibration, and the fact that the detecting element cannot be replaced—which make such indicators unsatisfactory for industrial application.

A new continuous level indicator without these defects has been constructed using a detecting element of Nb-Ti wires having the extremely small resistivity ratios of $\frac{\rho_{300K}}{\rho_{10K}}=1.07$ and $\frac{\rho_{10K}}{\rho_{77K}}=0.975$.

Standard specifications of the element are: measuring length 400mm, outside diameter 5mm, weight 20g, and a heat loss in liquid helium of zero and in gaseous helium of 0.02W/cm.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 7, pp. 389~93 (1976)

The Development and Applications of Thyristors for a High-Frequency Pulse-Width Modulation Inverter

by Akira Kawakami, Michiharu Ishido & Katsuhiko Oda

Among inverters for AC-induction-motor speed control, the PWM inverter is of particular interest, but its practical application requires thyristors having a high-voltage, high-power thyristor, as well as outstanding high-frequency characteristics—a specification not heretofore available. This requirement has been met with a main thyristor of the fast-switching reverse-conducting type (tentatively designated Type FR500BY-28; rated voltage 1400V, rated current (thyristor/diode) 400A/200A, damping time 20 μ sec, operating frequency 1kHz), and an auxiliary thyristor of the fast-switching reverse-blocking type (tentatively designated Type FT300BX-36; rated voltage 1800V, rated pulse current 2000A (pulse width 50 μ sec), damping time 30 μ sec, operating frequency 1kHz). The article discusses the construction, characteristics, applications, etc. of these thyristors.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 7, pp. 394~400 (1976)

A Fire-Security System for Office Buildings

by Yohei Izumi & Junichiro Ozawa

Every major fire focuses attention on fire-prevention and on the strengthening of fire-security systems, and Mitsubishi Electric is applying its broad expertise to many aspects of research in this field.

The article presents the results of this research—the MELNICS fire-security system and means of simulating the evacuation of buildings—and discusses recent trends concerning fire-security problems.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 7, pp. 401~6 (1976)

The MARS Program for Lateral Vibration Analysis in Large Rotor Systems

by Keishi Kawamo, Yoshitaka Matsukura, Yukio Murai, Yukio Aoki & Kozo Yagi

The Mitsubishi Analysis of Rotating Shafts (MARS) program has been developed to allow accurate simulation of the complex physical phenomena affecting the lateral vibration behavior of large rotor systems, and to permit calculation for such large systems without the propagation of error. The article first explains methods for calculating shaft overhang and bearing installation adjustment height, and then describes MARS functions and structure. Calculations are given for an actual turbine-generator rotor in the stationary mode and for modal rounding at critical speed when supported by anisotropic bearings.

The MARS program permits error-free calculation of vibration response for rotor systems of 300 sections supported by 30 anisotropic bearings, and will contribute greatly to the design and manufacture of more reliable large rotating machines in the future.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 7, pp. 349~54 (1976)

New Products in the No-Fuse Line of MCCBs

by Setsuo Makino, Keiichi Yamamoto & Shingo Maeda

Mitsubishi's No-Fuse molded-case circuit breakers offer inherent advantages in terms of safety, and there have been successive increases in interrupting capacity and reductions in size. Recently, new products and improvements have been introduced with a view to providing, in addition to electric circuit protection, characteristics coordination with other equipment and applicability to new fields, along with a bonus in increased convenience in installation and use.

The article discusses the basic functions and applications of these newly developed products in the No-Fuse line.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 7, pp. 355~59 (1976)

The Use of MELNIC Electronic MCCBs in the Coordination of Low-Voltage Circuit Protection

by Yutaka Nakayama, Yoshinori Mochizuki, Junichi Terachi & Susumu Sato

The growing capacity and complexity of low-voltage wiring circuits has resulted in strong demands that their protection be handled by molded-case circuit breakers that maximize the area to which power can be supplied without interruption. This in turn has led to the development of short-time-delay MCCBs, 3-mode MCCBs (with long-time delay, short-time delay, and instantaneous tripping) and current-limiting MCCBs with a time-delay device). Further, the recent development of the MELNIC line of MCCBs, which incorporate an electronic tripping device, has made possible even more sophisticated selective trip protection coordination.

The article discusses the MELNIC breakers, and selective protection coordination with other protective devices.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 7, pp. 360~63 (1976)

The Arc-Voltage and Current-Limiting Characteristics of Low-Voltage MCCBs

by Fumiyo Hisatsune, Kiyoshi Eguchi, Hirayuki Sasao & Yutaka Murai

A new type of molded-case circuit breaker has been developed for low-voltage distribution networks. The breaker incorporates electromagnetic repulsion contacts to generate an arc voltage immediately after short circuiting and thus limit the short-circuit current.

The article presents calculations for the arc-voltage rise rate required in the series protection of equipment using this repulsion-contact breaker, and discusses factors affecting the arc-voltage rise rate based on actual generation of full arc voltage.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 7, pp. 364~68 (1976)

Applications of ICs to the Detection Circuitry of Earth Leakage Breakers

by Kiyomi Yamamoto, Kuniaki Kondo, Eiichi Sato, Norio Akaki & Yukuo Miyazaki

The quality and reliability of earth leakage circuit breakers, which protect personnel from electric shock, are of the utmost importance. Since the non-tripping of the electronic circuitry in electronic-type earth leakage circuit breakers is a particularly grave problem, a high-reliability IC has been specifically developed, and this article introduces the breaker which incorporates it.

The new IC comprises a voltage regulator, differential amplifier, time delay and Schmitt trigger circuits, and can be easily connected to a zero-phase current transformer. Measures against surge and noise are also built in, giving large surge capacity and high reliability. The addition of a simple component to the time-delay and differential-amplifier circuitry is all that is needed to produce a generally applicable type that also has inverse time-delay characteristics.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 50, No. 7, pp. 369~75 (1976)

Time-Delay-Type Earth Leakage Relays

by Hiroto Nitta, Takao Yoshihara & Toshio Jitsumori

Recently there has been a sudden upsurge in damage caused by failure of low-voltage electrical equipment due to trends toward increased building size, reduced space for installation, and use of unattended equipment owing to the spread of remote control.

The article focuses on trunk-line ground faults, discussing means of prevention—specifically protection coordination between spurious tripping and branch earth leakage interruption devices—and describing the 'time-delay earth leakage relay,' which can conveniently be used in combination with interrupting equipment for this purpose, and with molded-case circuit breakers.

ノーヒューズしゃ断器の新製品

牧野 節夫*・山本 啓一*・前田 信吾*

1. ま え が き

1934年にモールドケースとデアイオン消弧室をそなえた2極35A定格のノーヒューズしゃ断器(以下NFBと呼ぶ。)が我が国において初めて製造され、以後現在にいたるまで42年間にわたって市場の要求に応じて、定格電流範囲の拡大、しゃ断容量の増大、小形化、付属装置の充実、経済性の追求等を目的とした開発・改良がすすめられてきた。現在においては低圧電路保護のため不可欠の機器として広く使用されるにいたっているが、更に使いやすさ、他の機器との特性上の協調及び電路システムのなかの新しい役割を求めて新製品が開発されている。すなわち過負荷及び短絡を検知し引外し指令を発する部分を静止化し保護機器間の時間的協調を得るようにしたNFB(商品名《MELNIC》)、標準の外形寸法のなかに限流しゃ断機構を組み込み大しゃ断容量をもたせた100AフレームのNFB、電動機分岐回路において電磁開閉器の熱動過電流継電器との協調をとった可調整形電磁引外しのみ付NFB(JEM 1071では瞬時しゃ断式配線用しゃ断器という)、操作時間を短縮し更に小形化した電動操作装置、常用電源、非常用電源を自動的に切替えて給電を図る自動電源切替装置、非常用電源回路に使用される耐熱形NFB及び船舶の動力分電盤用差込端子台や付属装置のための新しい端子などがある。

《MELNIC》については本誌の別論文に掲載されているので割愛し、本稿では《MELNIC》以外の上記新製品とその応用について説明する。

2. NF 100-HA 形 NFB

はん(汎)用形のNFB、Sシリーズと同一外形をもち、しゃ断容量の大きいHシリーズのNFBがあるが、このうち100Aフレームだけは大きな外形で製作されていた。

このたび限流機構を装備し標準の外形寸法の100AフレームのNFB、NF 100-HA(しゃ断容量AC 460V, 50kA, 220V, 100kA asym.)を開発した。

限流機構は平行導体間の異方向電流と接点の接触点における電流集中による接点開離方向への反発力を有効に活用し、短絡電流立上がり途中において接点を開極させ限流を行わせる方式を採用している。図1.において平行導体間に働く接点開離方向の力 F_i は次式で示される。

$$F_i = 2.04 \frac{i^2}{d} (\sqrt{l^2 + d^2} - d) \times 10^{-8} \text{ (kg)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

l : 平行導体の長さ (m)

d : 平行導体の距離 (m)

i : 電流 (A)

また、電流集中による接点の反発力 F_c は

$$F_c = 1.02 i^2 \ln \frac{A}{a} \times 10^{-8} \text{ (kg)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

A : 電流 path の envelope の直径 (mm)

a : 接点の接触面積の直径 (mm), $a = \sqrt{\frac{P}{\pi H}}$

P : 接触圧力 (kg)

H : 接点材質の圧縮強さ (kg/mm²)

この F_i と F_c の和が接点を開離させる力となり、NFBの引外し機構によるメカニズムが動作する前に開極を始める。

開極直後に接点間にアークをとともうが、これを引きのばし消弧室内に移動させそのエネルギーを奪うと同時にアーク電圧を急上昇させることが限流しゃ断のため必要である。このためアークを駆動させる力を持たせている。図2.においてこの力 F は

$$F = \frac{\mu_0 i^2}{19.6} \left\{ \ln \frac{D-2r}{\sqrt{(D-2r)^2 + l^2 + l}} - \ln \frac{r}{\sqrt{r^2 + l^2 + l}} \right\} \text{ (kg)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

μ_0 : 空気透磁率

このように短絡電流立上がり初期における接点開離力と発生アーク駆動力によって限流しゃ断が行われる。NF 100-HA (100A)の接点開極開始電流は4,300Aであるがアーク電圧の立上がりのこう配によって通過電流せん(尖)頭値が定まる。限流特性を図3.に示す。短絡時に設備に加わる機械的衝撃は通過尖頭電流 i の自乗に比例しているので、短絡電流個々の尖頭値まで流さないで限流を行うことは、電気設備の損傷を最小限にする。

短絡電流による設備への熱的影響についても限流性能をもつもののほうが有利である。短絡しゃ断時には全しゃ断時間は半サイクル程度であるから、通過電流により導体内に発生する熱は外部へ逃げないで、すべて導体温度を上昇させるのに使われると考えてよい。したがって導体が銅の場合の電線の温度上昇と通過 $I^2 \cdot t$ との関係は次式で示される。

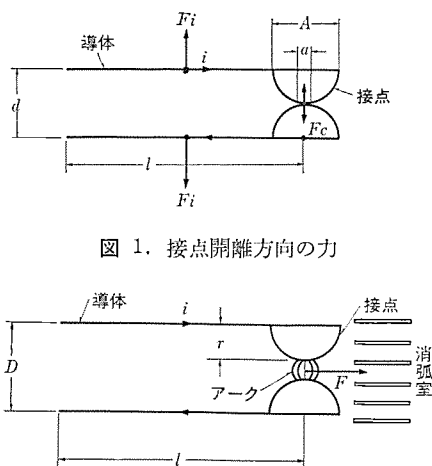


図1. 接点開離方向の力

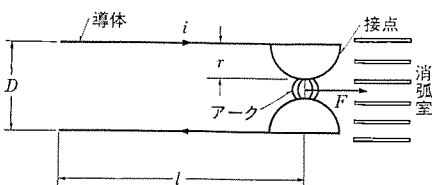


図2. アークの駆動力

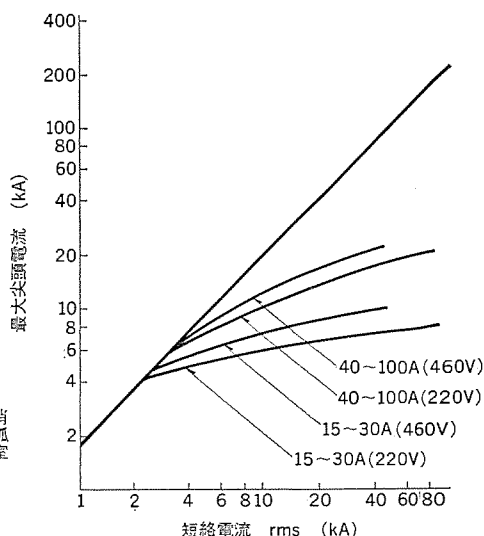


図3. NF 100-HA の限流特性

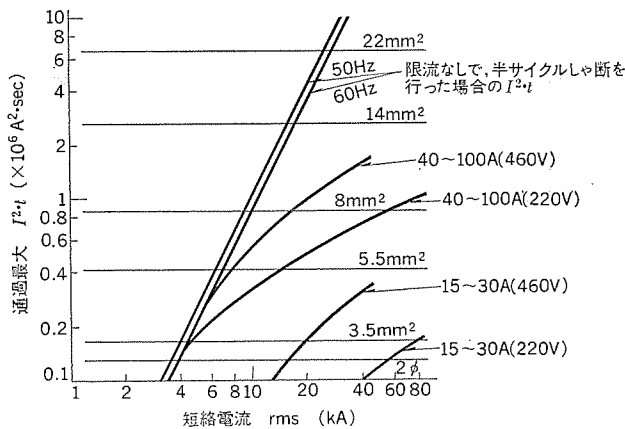


図 4. NF 100-HA の最大通過 $I^2 \cdot t$ と電線の許容 $I^2 \cdot t$

表 1. カスケードしゃ断容量

分岐 NFB	NF 100-HA	
	AC 220 V	AC 460 V
BH, BH-K, BH-P	50	—
NF 30-C, MB 30-C	5 *1	—
NF 30-S, MB 30-S	50	10 *2
NF 50-CA	100	15 *3
NF 50-S, NF 50-CA	100	15 *3

*1 定格電流 10 A 以下は 50 kA
 *2 " 10 A 以下は 7.5 kA
 *3 " 15 A 以下は 7.5 kA

$$\int i^2 dt = 5.05 \times 10^4 \times S^2 \ln \frac{234 + T}{234 + T_0} \dots\dots\dots (4)$$

S : 導体の断面積 (mm²)

T : 短絡時の導体温度 (°C)

T_0 : 定格電流通電時の導体の許容温度 (°C)

600 V ビニル 絶縁電線の場合、定格電流通電時の導体の許容温度を 60°C とし、短時間許容温度を 150°C とすると許容 $I^2 \cdot t$ が式 (4) から求められる。NF 100-HA の通過 $I^2 \cdot t$ とビニル 絶縁電線の $I^2 \cdot t$ との関係を図 4. に示す。二つの線が交わる点の短絡電流以下では完全に電線が保護されている。NFB のしゃ断容量はその設置点における短絡電流よりも大きいものでなければならないが、電線との熱的協調を考える場合には短絡電流の大きさは NFB の負荷側の電線がつぎの機器又は端子に接続される点で考えればよい。すなわち、その間の電線のインピーダンスによって小さくなった短絡電流をもとにする。

NF 100-HA を主回路に設置した場合、その限流特性により分岐回路の NFB を後備保護することができる。すなわちカスケードしゃ断方式の主回路しゃ断器としての機能をもっている。表 1. に NF 100-HA のカスケード保護能力を示す。

3. 可調整形電磁引外しのみ付 NFB

電動機分岐回路は通常 NFB と電磁開閉器の組合せにて構成される。電磁開閉器は電動機の過負荷運転又は拘束時における焼損を防ぐとともに運転電流の開閉を行う。一方 NFB は過負荷・短絡事故から電線及び設備を保護する。この場合、過負荷保護については電磁開閉器のサーマルリレーと NFB の長限時引外し特性の両方が設置されていることになるが、前者の特性のほうが後者を下回っているので電磁開閉器によって電動機と配線の過負荷保護を同時に兼ねさせることができる。このときの NFB の役割は短絡保護と電磁開閉器

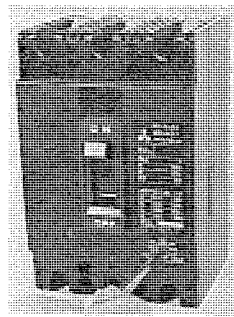


図 5. 可調整電磁引外しのみ付 NFB

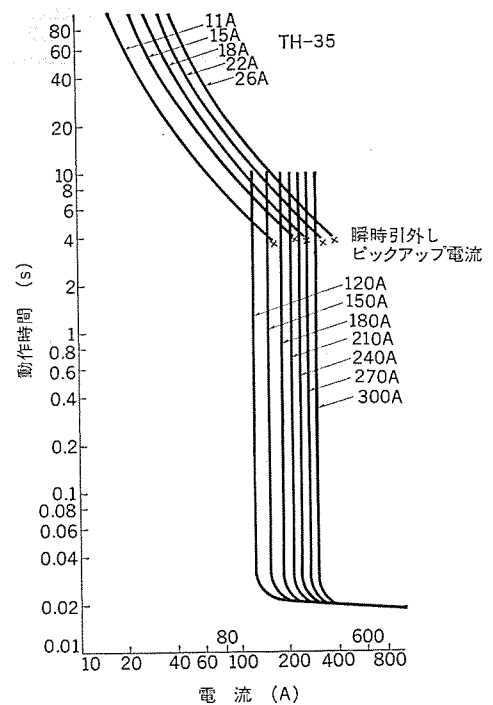


図 6. 可調整電磁引外しのみ付 NFB と電磁開閉器サーマルリレーとの協調

のサーマルリレーの保護である。この考え方にもとづいて米国 NEC (National Electrical Code) が“Motor short-circuit Protector”と呼ぶ可調整形電磁引外しのみ付 NFB を電動機分岐回路に設置することを規定している。この NFB の電磁引外しリレーにより瞬時に引外される点の最小電流値を“瞬時ピックアップ電流”というが、この電流を可調整することにより電動機に適合した種々のサーマルリレーとの協調をとることができる。

この度、我が国においても、電動機分岐回路に使用される可調整形電磁引外しのみ付 NFB, 100 A フレームが開発された。(図 5. 参照) 当社の MS 形電磁開閉器に使用している TH 形サーマルリレーは、これが動作する前にヒータが溶断する点が最小ヒータ定格電流の 15 倍 (一部小定格のもので 12 倍程度のものがある) となっており、この溶断点前に NFB の瞬時ピックアップ点に来るように設定すれば 2 者の保護協調が得られる。図 6. は 2 者間の特性を示す例であり、サーマルリレーとして TH-35 の定格の特性とこれに対応して可調整形電磁引外しのみ付 NFB 30 A 定格の特性を表している。サーマルリレーの特性はその定格の 15 倍の点に溶断点があるものとして × 印でこれを示している。TH-35 の 11 A は NFB の瞬時ピックアップ電流 120 A 及び 150 A と協調が得られることが一例としてわかる。

NFB の瞬時ピックアップ電流値は電動機の始動電流との交差をさせると同時に過負荷・短絡の全領域にわたってサーマルリレーの溶断を防ぐよう設定される。図 6. において、NFB は 30 A 1 定格で瞬時ピックアップ電流値が 120 A ~ 300 A の間 7 段階に可調整であり、1 台の NFB で TH-35 の 11 A ~ 26 A の 5 定格のおおの異なるサーマルリレーをカバーしている。したがって NFB の定格別種類は少なく済み、電磁開閉器と組合せて制御盤、コントロールセンタ等を製造する場合、NFB の手持在庫を減らして管理しやすくなる。

電動機的全負荷電流と組合せられる可調整形電磁引外しのみ付 NFB の定格及び瞬時引外し電流との関係を表 2. に示す。

表 2. 電動機の全負荷電流と可調整電磁引外しのみ付 NFB の定格電流

電動機 全負荷電流 (A)	NFB の 定格電流 (A)	AC 500 V 以下						
		瞬時引外しピックアップ電流 (A)						
		設 定 位 置 の 番 号						
		1	2	3	4	5	6	7
0.35~0.87	1	4	5	6	7	8	9	10
1.0~2.6	3	12	15	18	21	24	27	30
2.4~6.1	7	28	35	42	49	56	63	70
5.2~13	15	60	75	90	105	120	135	150
10.4~26	30	120	150	180	210	240	270	300
17~43.5	50	200	250	300	350	400	450	500
35~87	100	400	500	600	700	800	900	1000

4. 新形電動操作装置

電動操作装置を用いて NFB を遠隔操作する方式が用いられている。制御技術の発達に伴い、操作時間短縮及び信頼性の向上の要望が強くなっている。このたび開発した新形電動操作装置は次の特長を有している。

(1) 操作時間が短く、ばらつきも少ないため同期投入用としても使用できる： AB 形気中しゃ断器に組合せた場合、操作時間 0.2 秒以下、操作時間のばらつき 0.04 秒以下である。

(2) 外形がコンパクトで小形である： 電動操作装置は NFB の上面に取付けて使用し、外形は NFB と同一で従来品より小形である。

(3) 信頼性が高い： ボールねじによって電動機の回転運動を直線運動に変換して NFB のとってを操作させるため動作機構がコンパクトで信頼性が高い。また操作回路は自己保持式であるので操作スイッチは瞬時に閉じるだけで NFB の操作が確実にできる。

(4) 手動操作が簡単である： 手動の場合、直接手動操作としてを NFB の ON 又は OFF の方向に操作するだけで NFB の操作ができる。

(5) メンテナンスが容易である： 据付後も電動操作装置だけを NFB から取外すことができるので、メンテナンスが容易にできる。

これらの特長を有する新形電動操作装置の仕様を表 3. に示す。新形電動操作装置付 AB 200 形の外觀を図 7. に示す。

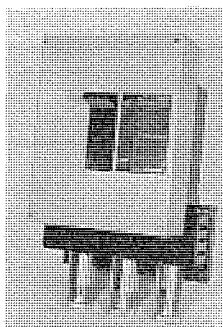
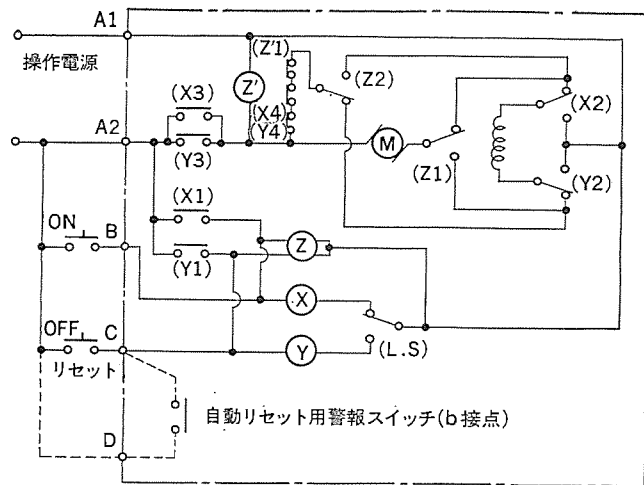


図 7. 新形電動操作装置付 AB 200 形

表 3. 新形電動操作装置の仕様

NFB の形名		AB 200	AB 400	AB 600	AB 800	NFE800	NFE1200	NFE2000
標準操作電圧 (V)		DC 100/110, AC 100/110, AC 200/220						
操 作 内 電 は 始 動 電 流 rms A	DC100/110V	1.8(4.5)	1.6(4.0)	3.8 (15.0)			7.2(22.0)	
	AC100/110V	2.1(5.0)	2.1(3.5)	6.0 (11.3)			10.0(14.1)	
	AC200/220V	1.1(2.5)	1.3(2.1)	3.2 (8.5)			5.0(7.1)	
操 作 時 間 (s)		0.2 以下						0.3 以下
以下操作時間の ばらつき (s)		0.04 以下						
操 作 回 路		自己保持式						
操 作 方 式	電 動 操 作	操作スイッチを閉じるとボールねじによって電動機の回転運動を直線運動に変換して NFB のとってを操作させる方法						
	手 動 操 作	手動操作としてを直接操作させる方式						
製 品 重 量 (kg)		20	22	33	37	29	33	96.5



しゃ断器がOFFの状態です。

1点鎖線内は電動操作機構内で結線済です。

記号説明

M：電動機の電機子、：電動機の界磁コイル XYZ'：リレーの励磁コイル Z：キーリレー励磁コイル (X1)~(X4), (Y1)~(Y4), (Z1), (Z2)(Z' 1)：各リレースイッチ (L.S)：リミットスイッチ

図 8. 電動操作の回路図

この装置は電動機の回転運動をボールねじによって直線運動に変換して NFB のとってを操作する構造となっている。このため、電動機、電動機の回転運動を直線運動に変換するボールねじ、NFB のとってを操作するブラケット、電動機を停止させるリミットスイッチ、電動機の界磁コイルの極性を変えて可逆運転するリレー、自己保持式回路用リレー、電動機制動用リレー、手動操作としてなどから構成されている。

電動機は単相直巻整流子電動機で、リレーによって界磁コイルの極性を変えて正転、逆転を行う。この回転運動はボールねじによって伝達されるが、ねじ軸とナットの間にボールを介在させてころがり接触としているため、90 %以上の高い伝達効率が得られ、回転運動から直線運動(電動操作)、直線運動から回転運動(手動操作)が容易にできる。

リミットスイッチは操作スイッチが閉じられて、NFB を ON, OFF あるいはリセットの状態に操作し終わると、リレーの励磁をとき、操作回路を開にして電動機を停止させる。このスイッチは双投形で、片方は ON, 他方は OFF 及びリセットの操作回路へ接続されている。操作回路を図 8. に示す。

ON, OFF の操作は、それぞれの操作スイッチを閉じることで操作できる。NFB が過電流によりトリップしたときには、OFF 操作スイッチを閉じてリセットする。

このように新形電動操作装置は使いやすさ、信頼性を向上したものである。

5. 自動電源切換装置

給電の連続性が強く要求される電気設備においては、常用電源の外に予備電源を持って、これらを切換えて使用することにより給電の連続性を確保する方式がとられる。KM 形自動電源切換装置は、開閉時間の短い新形電動操作式 NFB を使用したもので、常用電源の電圧の落下及び復帰に応じて常用電源と予備電源の切換えを自動的に行う装置である。この装置は次のような特長を有している。

(1) 過負荷、短絡保護も可能： NFB を使用しているので過負荷、短絡保護ができる。

表 4. 切換指令電圧と開始時間の可調整範囲

記 号	名 称	可調整範囲	動 作 説 明	標準	付属
V ₁ ~V ₃	電圧リレー	検出電圧 AC160~230V SRE-K	常用電源の電圧検出と欠相検出	○	
V ₄	電圧リレー	検出電圧 AC160~230V SRE-K	予備電源の電圧検出	○	
V ₅ , V ₆	電圧リレー	検出電圧 AC160~230V SRE-K	予備電源の欠相検出もする場合 V ₄ に付け加える		○
T ₁	TDMAタイマ	時限0.4~12秒 SRS-F	手動操作で ON にしたとき、手をとってから離れた後にシーケンスが働くように時限を設けている	○	
T ₂	TDNEタイマ	時限0.4~12秒 SRS-N	常用電源から予備電源に切換えるときに、予備電源が発生してから切換開始までの時限を遅らせる		○
T ₃	TDENタイマ	時限0.4~12秒 SRS-N	予備電源から常用電源に切換えるときに、常用電源が復活してから切換開始までの時限を遅らせる		○

(2) 信頼性が高い： 常用・予備 NFB を共に OFF にした場合、及び NFB がトリップした場合には、切換動作をしないシーケンスとしているので保守点検が安全にできる。また機械連動子を装備しているので NFB が同時に ON になることはない。

(3) 動作及び操作が確実： 電源切換時間は新形電動操作装置により 0.4 秒以下で、片一方の NFB が OFF になった後、他方の NFB が ON になる順次動作式を採用しているので確実な動作をする。切換途中で電圧が変動しても、切換動作が完了するまで切換指令信号を出さないで NFB は確実に ON 又は OFF の位置にある。自動・手動・遠隔の 3 操作ができる。遠方操作電源は常用・予備電源のいずれかを使用するので別電源は不用である。

(4) 切換指令電圧と開始時間が可調整： 電圧リレー V₁~V₆ により切換指令電圧を、タイマ T₂~T₃ により切換開始時間が任意に設定できる。この可調整範囲を表 4. に示す。

KM 形自動電源切換装置は、開閉部分に使用する NFB の定格電流によって KM 400, 600, 1200, 2000 形がある。これらの仕様を表 5. に示す。外観を図 9. に示す。この装置は開閉部と制御部 (200/220 V) から構成され、開閉部は補助スイッチ、警報スイッチを内蔵した電動操作装置付 NFB 又は デイオンスイッチを 2 台使用し、これらを機械連動子によってインタロックしている。制御部は電磁継電器、電圧リレー (V₁~V₆) 及びタイマ (T₁~T₃) から構成されている。

常時は常用電源から NFB を経て負荷へ給電する。常用電源の電圧が低下した場合、電圧リレー (V₁~V₃) が検出し、予備電源が電圧を常時発生させている場合、タイマ T₂ の時間遅れの後に常用電源用 NFB を OFF、予備電源用 NFB を ON に切換える。予備電源が自家発でかつ緊急時のみ作動させるような電源の場合、電圧リレー (V₁~V₃) が検出後、自家発電機を駆動させ、十分な電圧が発生したことを電圧リレー (V₄~V₆) が検出した後、タイマ T₂ の時間遅れの後、常用電源用 NFB を OFF、予備電源用 NFB を ON に切換える。このように常用電源の電圧が低下すると最小限の停電時間で自動的に予備電源へ切換えることができる。また予備電源により給電中に常用電源の電圧が復活した場合、タイマ T₃ の時間遅れの後、予備電源用 NFB を OFF、常用電源用 NFB を ON に切換える。これらの切換えの様子を図 10. に示す。

実際の回路への適用に当たっては、切換指令の電圧及び時間の設

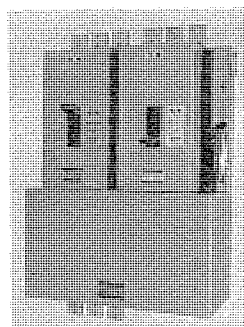


図 9. KM 形自動電源切換装置

表 5. KM 形自動電源切換装置の仕様

形 名			KM 400	KM 600	KM 1200	KM 2000	
定 格 電 圧			AC200～220V AC400～440V	AC200～220V AC400～440V	AC200～220V AC400～440V	AC200～220V AC400～440V	
構 成 ブ レ ー カ	形 名		NF 400-C	NF 600-C	NF 1200-B	NF 2000	
	定 格 電 流 A		250, 300 350, 400	500, 600	1,000, 1,200	1,400, 1,600 1,800, 2,000	
	極 数		3	3	3	3	
	定 格 し 断 容 量	JIS	AC 550V	—	—	35	75
		JEM	AC 460V	15	20	35	100
			AC 220V	25	30	50	150
	kA	NK	AC 500V	15	20	30	75
			AC 250V	25	30	42	100

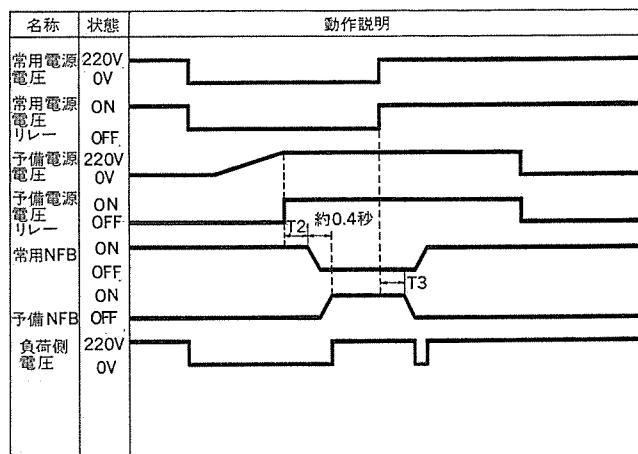


図 10. 切換シーケンスダイアグラム

定の外に、過負荷、短絡時の保護機器相互間の協調についても検討が必要であるが、ここでは割愛する。

6. 非常電源用耐熱形しゃ断器

昭和50年の消防庁告示により非常電源設備の技術上の基準が明確にされた。非常電源の種類について非常電源専用受電設備、自家発電設備、蓄電設備がありそれぞれについて設備場所及び使用可能な機器の種類が定められている。これらを表 6. に示す。告示第 8 号は耐熱性能を有する配・分電盤の基準となるもので、火災時の異常温度に対しても消防設備への通電を継続するよう、配・分電盤の耐熱構造あるいは機器の耐熱性能について定められている。非常用配・分電盤に要求される耐熱性能は、JIS A 1304 による加熱温度曲線にて 840°C、30 分であり、盤内機器は盤の断熱効果をも併せ考えることにより、上記の 1/3 加熱温度曲線に耐えることが規定されている。(図 11. 参照)

当社の実験、昭和 48 年東京消防庁の実験及び昭和 49 年日本建築

表 6. 非常電源の種類と設置場所並びに機器の種類

非常電源の種類	設置場所	機器の種類
非常電源専用受電設備 (特定防火対象物では 1,000 m ² 未満に限る)	引込口、配・分電盤 キュービクル等は規定された屋外又は受電室 その他は不燃専用室 (注 1)	耐熱形盤用機器 一般形機器 (注 2)
自家発電設備	不燃専用室	一般形機器
蓄電池設備	不燃専用室	一般形機器

上記のいずれの場合も不燃専用室から器具に至る配線は耐火配線 (注 3) とし、開閉器は不燃性の材料で作られた耐熱効果のある箱 (注 4) 又は場所に収納するものとする。

注 (1) 不燃専用室とは不燃材料で作られた壁、柱、床及び天井で区画され、かつ窓及び出入口に甲種防火戸又は乙種防火戸を設けた専用の室をいう。

(2) 不燃専用室に設置する機械器具は一般形のものであってよい。

(3) 耐火配線とは 600V ビニル電線又はこれと同等以上の耐熱性を有する電線を耐火構造とした主要構造部に埋設するか又はこれと同等以上の耐熱効果のある方法により保護すること。

ただし、M1 ケーブル又は耐火電線を使用する場合はこの限りでない。

(4) ここで指定されている耐熱効果のある箱、すなわち高圧・特高受電の低圧側の不燃専用室外にある非常用配・分電盤については、現在のところ具体的規定はないが、将来前記消防庁告示第 8 号に準じて規定されるのではないかと考えられる。

なお、告示第 8 号の適用範囲が低圧受電であるところから、およそ 50 kW 未満 (200V, 1φ・250 A, 3φ・145 A) を考えており、したがって告示 8 号に係る非常回路の配・分電盤基準でも分岐 NFB を 100A までとしている。

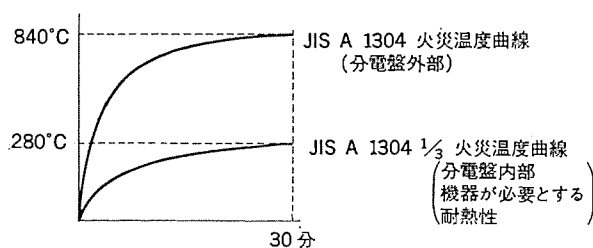


図 11. 耐熱温度

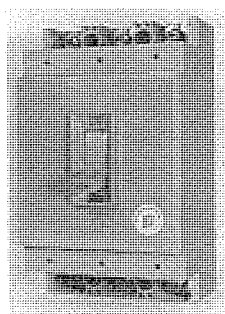


図 12. 耐熱形しゃ断器 (NF 50-CA)

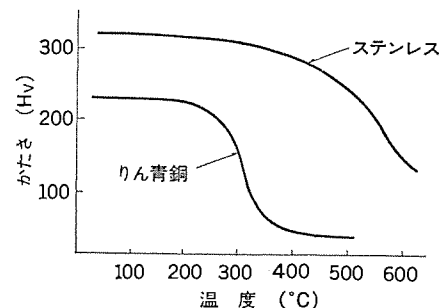


図 13. りん青銅とステンレスの温度特性

表 7. 耐熱形 NFB 一覧

形名	フレームサイズ	極数	定格電流 (A)	耐熱定格電流 (A)	定格しゃ断容量	備考
BH-K 耐熱形	30 A	2	15 20 30	10.5 14 21	AC110/220V 5,000A AC 220V 2,500A AC 265V 2,500A	建設省分電盤基準協約寸法形
NF50-CA 耐熱形	50 A	2 3	50 15 20 30 50	35 10.5 14 21 35	AC 220V 5,000A AC 460V 2,500A	
NF100-CA 耐熱形	100 A	3	75 100	52.5 70	AC 220V 7,500A AC 460V 5,000A	

表 8. 耐熱形開閉器 (DSN) 一覧

形名	定格電圧 (V)	定格電流 (A)	耐熱定格電流 (A)	開閉能力	
				最大定格電流 (A)	定格電流×1.5倍
DSN50-CA 耐熱形	AC 460	50	35	300	500回
DSN100-CA 耐熱形	AC 460	100	70	600	500回
DSN225-C 耐熱形	AC 460	225	157.5	1,350	500回

センターの火災実験等によると、一般の NFB は 840°C になると鉄、黄銅等の部品以外はすべて燃焼してしまい、断熱措置を施した箱内においても内部温度が 400°C 程度になるとモールドの変形、ばねの軟化、はんだの溶融、電磁パイプのオイル漏れなどが生じ、定格電流の通電ができなくなることが判明している。また 300°C 程度であっても、一般のはんだ、ポリカーボネート、りん青銅ばね等は機能を失うことが分かっている。

このように数多くの基礎試験、実用試験を経て開発された耐熱形

表 9. ベース、カバー用材料の耐熱性能の比較

	フェノール樹脂	ポリエステル樹脂
耐熱温度 JISK 6911 (°C 2h)	160	200
長期高温放置による寸法変化 (150°C 500h)	0.6 %	0.05 %以下
発火温度 (°C)	429	486

注) 試験条件と実用状態とは異なるが比較資料としてあげた

しゃ断路の仕様を表 7. に示す。NF 50-CA 形の外観を図 12. に示す。また非常用配・分電盤の主幹開閉器用として耐熱形 NFB から引外し素子を取除いた開閉器の仕様を表 8. に示す。

耐熱形しゃ断器は必要な耐熱性能を得るため、一般品に対して次のような点を改善している。

(1) ベース、カバーの耐熱性向上: 小形 NFB のベース、カバーの材料は、一般にフェノール樹脂を使用しているが、高温時の寸法変化及び強度を考慮して、UL 規格認定品の耐熱性成形材料 (ガラス繊維入りポリエステル樹脂) を用いている。高温時の寸法変化を少なくし、密閉性を保って周囲温度に対して、NFB 内部の温度上昇を遅らせ内部機構の保持を行っている。フェノール樹脂とガラス繊維入りポリエステル樹脂の耐熱性能の比較を表 9. に示す。

(2) ばね材料の耐熱性向上: NFB のばねの中には、時限装置のオイルダッシュポット内の鉄心ばねのようにりん青銅を材料としているものがあるが、高温では硬度が低下し、ばね特性が変わり NFB の時限特性が変化する。このため高温時に変化しにくいステンレスを採用している。りん青銅とステンレスの温度特性を図 13. に示す。

(3) 高温はんだの使用: オイルダッシュポットの取付け及びふたの取付けには溶融温度の高い高温はんだを使用している。(溶融点: 普通はんだ 190°C, 高温はんだ 310°C)

(4) 熱可塑性樹脂の使用廃止: NFB の絶縁構造材料とし熱可塑性樹脂を一部使用する場合があるが、これらの樹脂は 100~200°C で軟化し、変形するため使用しない。

表 10. 仕様

適用機種	分岐回路数
NF 50・60-S・SA・CA 形	1 列 式
NF 100-CA 形	2 列 式
NF 100-E 形	1 列 式
NF 225-G 形	2 列 式
NF 400-B・H 形	1 列 式

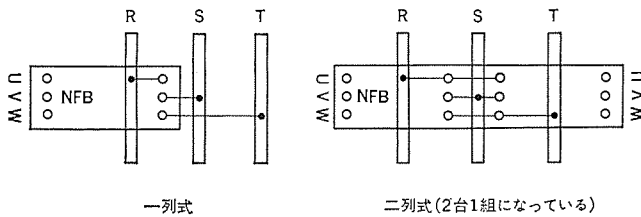


図 14. 接続例

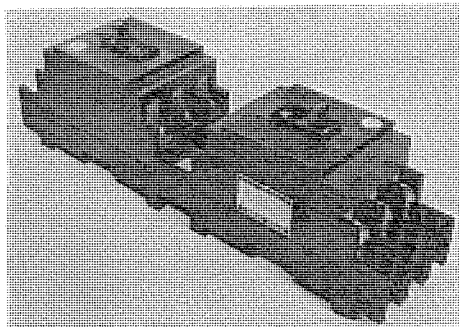


図 15. 動力分電盤用差込形 NFB

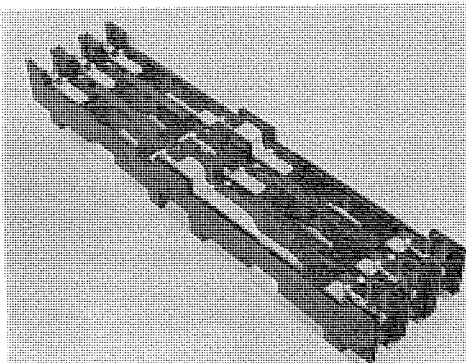


図 16. 動力分電盤用差込端子台

7. 動力分電盤用差込端子台

船舶に使用する NFB は保守点検の容易さから、配・分電盤において差込形が一般に用いられている。分電盤は負荷に近く設置されるので、外形寸法が制約され、収納機器の外形も小形化が要望される。この要望に応じて開発した動力分電盤用差込端子台の特長を次に示す。

(1) 差込形端子台構造となっているので、活線状態で NFB の交換や定格変更ができる。

(2) 端子台への電線及び導体の接続が表面からできるので、接続部の点検や増締めなどの保守作業が前面から可能である。

(3) 奥行寸法が小さいので分電盤を小形に製作できる。

分電盤の構成によって NFB を 1 列及び 2 列に並べる方式があるので、差込端子台も 1 列式と 2 列式を製作している。製作機種を表

表 11. 差込形端子の仕様

形 名	中継端子取付数
NF 60-S・SA 形	5 極 1 口付
NF 100-E・HA 形	"
NF 225-G・H 形	"
NF 400-B・H 形	5 極 1 又は 2 口付

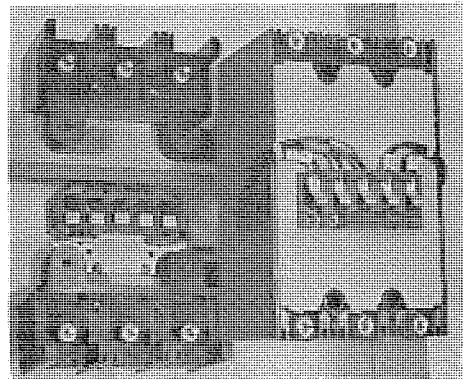


図 17. 付属装置の差込形端子

10. に、接続例を図 14. に示す。外観を図 15.、図 16. に示す。

8. 付属装置の差込形端子

NFB の動作状態を検出するため、及び遠隔制御をするために、各種付属装置を NFB の内部に組み込むことができる。(補助スイッチ、警報スイッチ、不足電圧引外し、電圧引外し装置)これらの装置のリード線は NFB 外部の中継端子に接続する方法がとられている。

表面形、裏面形等の接続方式においては、NFB の取外しの際は端子部分の締付けを外すなどの作業を要するため、付属装置の端子の取外しは特に問題とならないが、差込形 NFB の場合、NFB を取替える際に付属装置の端子の取外しを簡略化することが要望されていた。これらの要望に応じて開発した付属装置の差込形端子の特長を次に示す。

(1) 付属装置の端子を差込形にしたので、NFB の交換や点検が活線状態で安全にできる。

(2) 中継端子接続部は導電性、ばね性にすぐれた材料を使用し、更に押しばねを併用して、差込形端子は接触部にじんあい(塵埃)が入りにくい形状として接触の信頼性を上げている。

(3) NFB 本体の端子台は標準の差込形である。付属装置の差込形端子の仕様を表 11. に示す。外観を図 17. に示す。

9. む す び

以上、最近の NFB の新製品とその応用について紹介した。NFB は低圧電路の保護機器の主役として、その性能はもとより、各保護機器間の協調、使用しやすさ、取扱いやすさ、信頼性の向上等いろいろな面からの数多くの要望を解決して、製品の開発・改良を進めてきている。これからも関係方面からの要望にこたえるよう製品化する取組みを進めて、NFB の一層の発展を図りたいと考えている。

参 考 文 献

- (1) 電設工業、過電流保護の原則(昭 40-10)

電子式NFBによる低圧電路の保護協調

中山 豊*・望月義範*・寺地 淳一*・佐藤 進*

1. ま え が き

AC 600 V 以下の低圧電路の過電流保護機器として使用される配線用しゃ断器（以下 NFB という）においては、経済性が強く要求されており、ややもすると保護協調については慎重さを欠く点があったが、大工場や化学プラントや超高層ビルなどのように、電路の容量が増大したり複雑になってくるとともに、最大限の連続給電の機能を有した NFB が経済性ととも強く要求されるようになった。このために、選択しゃ断ができる短限時付 NFB・3 元ブレーカ・限流選択ブレーカ等がそれぞれ特長をもって開発されてきた。

そして、近年、過電流引外し素子として、バイメタル及び電磁石にかわって CT 及び半導体リレーを内蔵した電子式 NFB（商品名《MELNIC》、形名：NFE、以下《MELNIC》という）が開発され、より一層の保護協調が可能となったので、ここに《MELNIC》と保護協調について述べる。

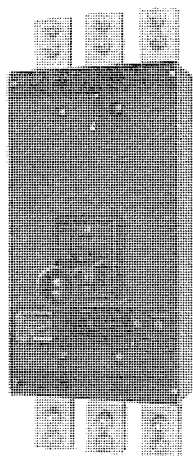


図 1. 《MELNIC》(NFE 1200 形) の外観

2. 《MELNIC》の基本的な動作と仕様

《MELNIC》は長限時引外し・短限時引し・瞬時引外し特性を有し、定格電流及び短限時引し特性が広範囲に調整できる。

つまり、定格電流は、そのフレームサイズ値の 75% から 100% まで調整できる。例えば 800 AF は 600 A から 800 A まで連続して調整できる。また、短限時引外し特性は、そのピックアップ電流値が定格電流の 5 倍から 10 倍（NFE 2000 は 3 倍から 6 倍）まで連続して調整できる。そしてその引外し時間もピックアップの設定値により自動的に 50 ms から約 400 ms（NFE 2000 は約 240 ms）に変化する。




これらの調整は、いずれも、NFB 表面のダイヤルを回すことにより簡単に得られる。基本的な仕様を表 1. に示す。

《MELNIC》の注目すべき特長は次のとおりである。

(1) 定格電流が調整できる。

負荷の増減にともなう、定格電流を増減できるので、最適な過負

表 1. 基本仕様

形 名		NFE800	NFE1200	NFE2000	
フレームサイズ		800	1200	2000	
長 限 時	定格電流可調整範囲(A)	600～800	900～1,200	1,500～2,000	
	動 作 時 間	固 定	固 定	固 定	
短 限 時	ピックアップ可調整範囲 ＜定格電流に対する倍率＞	5x～10x	5x～10x	3x～6x	
	動 作 時 間(ms)	50～400		50～240	
瞬時	ピックアップ電流値(A) (固 定)	10,000	15,000	25,000	
定 格 電 圧 (V)		550			
しゃ断容量(kA) (Asym)	AC550V	30	35	75	
	AC460V	35	35	100	
	AC220V	50	50	150	
外形寸法 mm		a	210	210	305
		b	406	406	559
		c	103	112	229

荷保護ができるほか、盤製作用の NFB 在庫や、保守の NFB 在庫などの場合に NFB の定格電流の選定のわずらわしさが無い。

(2) 短限時引外し特性を有し、しかも可調整である。

短限時調整ダイヤルを MAX. に設定すると、定格電流の 10 倍（NFE 2000 は 6 倍）でピックアップし、MIN. に設定すると定格電流の 5 倍（NFE 2000 は 3 倍）でピックアップする。また、引外し時間はピックアップに連動して変わり瞬時引外し電流値付近で次のような動作時間となる。

例えば定格電流が最大の場合に、短限時調整ダイヤルを MAX. にすると、NFE 800・NFE 1200 では約 400 ms、NFE 2000 では約 240 ms で動作し、定格電流が最小の場合に MIN. に設定すると、NFE 800・NFE 1200・NFE 2000 とも約 50 ms で動作する。

(3) 短絡電流を瞬時しゃ断し、ピックアップ電流値は固定である。

瞬時ピックアップ電流値はフレームサイズ値の 12.5 倍に固定されており、定格電流の設定値には無関係なので、分岐の NFB との選択しゃ断領域が変化しない。

(4) 制御電源が不要である。

内蔵された半導体リレーは、その動作入力を CT を介した入力のみを利用しているので、制御電源が不要であり定格電圧以下の任意の電圧に利用できるほか、サージ電圧による半導体リレー部の誤動作もなく、メグ測定も従来の NFB と同様に行える。

(5) 据付後、引外し特性がチェックできる。

《MELNIC》のカバー表面には、テストターミナルがあり、据付結線されたままの状態でも、簡単な試験装置により、その引外し特性が確認できる。

(6) 手動トリップボタンがある。

カバー表面に《MELNIC》をトリップ状態にすることができる手動ボタンがあるので、警報スイッチ回路のシーケンスチェックが簡単に行える。

《MELNIC》の動作を図 2. のブロックダイアグラムで説明する。

各相を流れる電流は CT によって最大定格電流つまり NFE 800 では 800 A、NFE 1200 では 1,200 A、NFE 2000 では 2,000 A の電

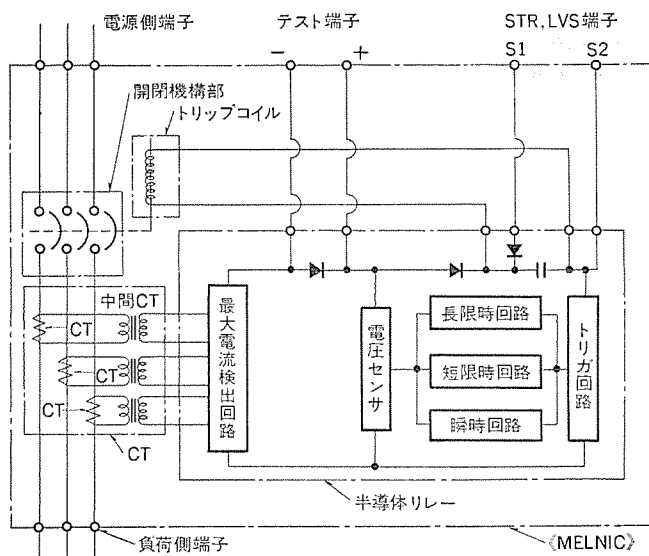


図 2. 《MELNIC》のブロック図

流が CT の 1 次側に流れているときに、CT の 2 次側には 5 A の電流が流れ、中間 CT によって 50 mA まで減衰される交流比である。

この 1 次側の電流に応じた mA オーダの電流が半導体リレーの最大電流検出回路に流入する。最大電流検出回路では各相の最も大きな電流値が検出され、全波整流された状態で電圧センサに流入する。最大電流によって生じた電圧により電圧センサが各時限回路を動作させ電流に応じた時限の後にトリガ回路からトリガ信号が出てトリップコイルを励磁させ開閉機構部を作動させて事故電流をしゃ断する。

3. 《MELNIC》と NFB の選択保護協調

NFB どちらの瞬時領域における直列しゃ断においては、一般に NFB 両方ともほぼ同時に引きはずされる。このため普通の NFB どうして主回路及び分岐回路を構成した場合、分岐回路の事故によって主回路の NFB が動作し主回路の NFB 以下の系統全体の停電が発生する可能性がある。

選択しゃ断方式とは、この欠点を除去するために採用されるもので、分岐回路の事故の場合は分岐回路 NFB が動作し主回路 NFB は依然として閉路状態を保ち、他の健全な回路には引き続き連続給電される保護方式である。

選択しゃ断方式を採用する場合に考慮すべき条件について考える。過負荷や短絡が発生すると、事故電流に応じた動作時間の後にラッチ機構がはずれ、開閉機構が働いて、接点が分離し、発生アークを消滅させてしゃ断を完了する。短絡発生後ラッチ機構がはずれる寸前までの時間をリレー時間といい、短絡発生後しゃ断を完了するまでの時間を全しゃ断時間という。

選択しゃ断方式は電流-時間特性の全領域において主回路 NFB のリレー時間が分岐回路 NFB の全しゃ断時間を上まわる場合に成り立つ。選定上、考慮すべき条件は次のとおりである。

- 主回路 NFB のリレー時間が分岐回路 NFB の全しゃ断時間より大きいこと。
- 主回路 NFB の短限時ピックアップ電流値は、分岐回路 NFB の瞬時ピックアップ電流値よりも大きいこと。
- 主回路 NFB の設置点における短絡電流はそのしゃ断容量をこえないこと。
- 分岐回路 NFB の設置点における短絡電流はそのしゃ断容量をこえないこと。また、主回路 NFB のしゃ断容量をこえない

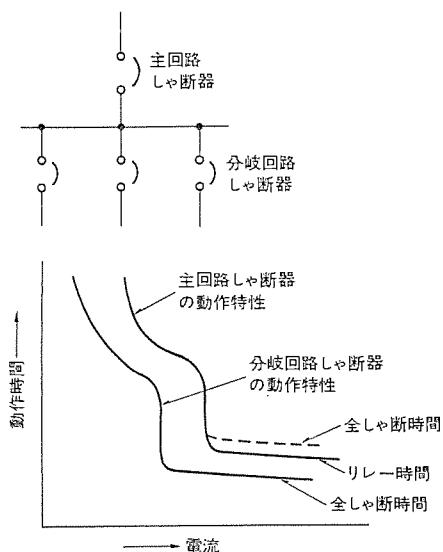


図 3. 選択しゃ断方式の動作時間の協調

こと。

さて、《MELNIC》を主回路 NFB に使用して、選択しゃ断を行う場合に、分岐回路 NFB の選定において考慮すべき点について述べる。まず、選択しゃ断可能領域を決める瞬時ピックアップ電流値について考えると《MELNIC》は過電流検出を CT を介して行い、CT の 2 次側に現れる起電力を使っているため短絡時に電路に過渡的な直流分が入っても、それによって瞬時引外し電流値は影響を受けない。なぜならば、過負荷電流付近においては、CT の 1 次電流と鉄心の磁束とは比例し、2 次電流は変流比に応じた電流となる。しかし、瞬時ピックアップ電流値付近においては、1 次電路の電流が DC 分を含まない正弦波が入ったときには 2 次電流は、ほぼ変流比に応じた電流となるが、DC 分が入った場合は、DC 分を含まない正弦波が入ったときの 2 次電流よりも小さくなり、1～2 サイクル過ぎた時点で変流比に応じた 2 次電流となるからである。

したがって、瞬時ピックアップ電流値は、電路に流れる電流の過渡的な DC 分によっては影響を受けず、電流の対称値のみを考慮すればよい。また、分岐回路 NFB に限流ブレーカを使用した場合、相対的に《MELNIC》の瞬時ピックアップ電流値が増大したことになり、選択しゃ断可能領域が拡大される。したがって、通過する電流の最大せん(尖)頭値が、《MELNIC》の瞬時ピックアップ電流値の $\sqrt{2}$ 倍以下であれば選択性が得られる。

表 2. に《MELNIC》を含めた協調用 NFB と分岐回路 NFB の選択しゃ断可能な組合せを示す。《MELNIC》以外の協調用 NFB には次のような問題点があることを認識する必要がある。

まず、一般の短限時付 NFB (瞬時引外しが無いもの(表 2. の STD 付)) の場合は、しゃ断容量が低く、使用できる回路が制限される。3 元ブレーカ(長限時-短限時-瞬時の 3 限時特性を有するもの)はこの欠点を補うものであるが、瞬時ピックアップ電流値は、《MELNIC》と相違して、過渡的な DC 分が入った場合は選択可能な領域が小さくなる。なぜならば、3 元ブレーカの瞬間ピックアップ電流値は、各極ごとに DC 分の入らない正弦波で動作するように調整されているからである。例えば、NF 1200-H (TD 付) 3 元ブレーカの場合、瞬時ピックアップ電流値は 20 kA (対称値) であり、 $\sqrt{2} \times 20$ kA の尖頭値で動作する。実際の三相短絡の場合は、過渡的な DC 分があるため、選択可能な領域は表 2. に示すように《MELNIC》

主 回 路 N F B レ シ ス タ ン ス 分岐 回 路 N F B レ シ ス タ ン ス	主 回 路 N F B レ シ ス タ ン ス 分岐 回 路 N F B レ シ ス タ ン ス	無開時付NFB				3元ブレーカ			《MELNIC》			顧客選択 ブレーカ NFU 600 (TD付) NFU 800 (TD付)		
		NF 400 - B (STD付)	NF 600-H 800-H (STD付)	NF 1000-H 1200-H (STD付)	NF 1600 4000 (STD付)	NF 600-H (TD付) NF800-H (TD付)	NF 1000-H (TD付) NF 1200-H (TD付)	NF1600 (TD付) NF4000 (TD付)	NFE 800	NFE 1200	NFE 2000			
		10	20	25	50	50	50	100	35	35	100	200		
NF30-S	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5		
MB30-S														
NF50-S	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
NF50-S														
NF.MB50-H 5A 以下	50	10	20	25	50	50	50	50	35	35	50	50		
NF100-E	15	10	15	15	15	15	15	15	11	15	15	15		
MB100-E														
NF225-G	30	10	20	25	30	10	10	30	11	17	30	200		
MB225-G														
NF400-B	35	-	20	25	35	10	10	35	11	17	30	200		
NF600-B- 1200-B	35	-	-	25	35	10	10	30	-	17	30	-		
NF100-HA	50	10	20	25	50	50	50	50	13	35	50	200		
NF225-H	40	10	20	25	40	10	10	40	11	17	30	200		
NF400-H	50	-	20	25	50	10	10	40	11	17	30	200		
NF600-H- 1200-H	50	-	-	25	50	10	10	30	-	17	30	-		
NF100-RA	50	10	20	25	50	25	25	50	13	30	50	200		
NF225-R	50	10	20	25	50	15	15	50	11	17	50	200		
NF400-R	80	10	20	25	50	10	10	50	11	17	30	200		
NF600-R NF800-R	80	-	20	25	50	10	10	30	-	17	30	200		
NFU100	200	10	20	25	50	50	50	100	35	35	100	200		
NFU225-B	200	10	20	25	50	40	40	100	20	35	100	200		
NFU400	200	-	20	25	50	10	10	100	11	17	60	200		
NFU600 NFU800	200	-	-	25	50	10	10	<table border="1"><tr><td>40</td></tr><tr><td>30</td></tr></table>	40	30	-	17	30	200
40														
30														

[illegible][illegible][illegible]

357

劣化があつてはならない。

したがって、具体的には、図 5. に示すように、PF の短時間許容特性曲線（不明な場合は、平均溶断特性曲線を電流軸で -20% したものを短時間許容特性とみなしてよい）と《MELNIC》の動作特性曲線を重ね合わせ（PF を 2 次側へ又は《MELNIC》を 1 次側へ換算する）、両者が過負荷領域でクロスしないようにする必要がある。實際上、PF と NFB の協調のとりにくい点は、図 5. に示す斜線部であり、《MELNIC》は短限時引外し特性が調整できるから、図 5. で示すとおりその設定値を下げれば容易に協調を取ることができる。これらの関係から PF の定格電流は大きいほど望ましいが、PF の定格電流は次に述べる方法で選定されるので、制限があるのはいうまでもない。

(a) 負荷定格電流の (1.5~2.0) 倍以上の定格電流とする。

(b) 2 次側短絡において、変圧器の保護のために変圧器定格電流の 25 倍の電流を 2 秒以内にしゃ断するようにする。

(c) 変圧器励磁電流で劣化なきよう短時間許容特性が変圧器定格電流の 10 倍、0.1 秒の点より右にあること。

上記(a), (b), (c)の PF の選定を考慮し、前述の《MELNIC》との良好な協調関係が保てるように具体的に選定すると表 6., 表 7. のようになる。

5. 《MELNIC》と高圧側 OCR との協調

高圧側に OCR がある場合は、低圧側の《MELNIC》は OCR と選択協調がとれなくてはならない。ここでは具体的に図 6. に示すスケルトンで検討してみる。

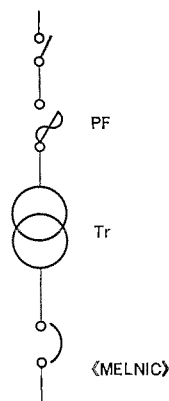


図 4. 《MELNIC》と高圧ヒューズ

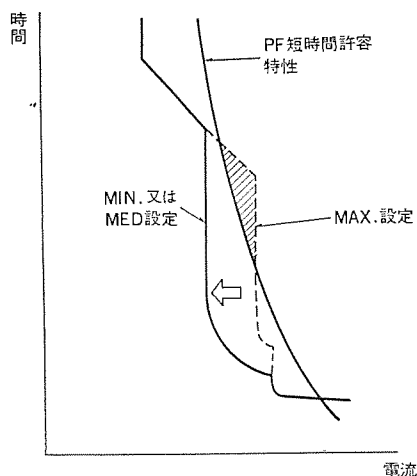


図 5. 《MELNIC》と高圧ヒューズの協調

表 6. 《MELNIC》と PF の協調

3φ1次電圧 3.3kV							
変圧器				PF	《MELNIC》		
2次電圧 (V)	変圧器容量 (kVA)	1次定格電流 (A)	2次定格電流 (A)	CL形PFの定格 (A)	形名	定格電流設定値 (A)	短限時引外し設定目盛
210	150	26.3	413	75	NFE 800	600	MIN.
	200	35	550	100	NFE 800	700	MIN.
	300	52.5	845	150	NFE 1200	1,000	MIN.
	500	87.5	1,370	200	NFE 2000	1,600	MIN.
420	300	52.5	413	150	NFE 800	600	MIN.
	500	87.5	685	200	NFE 800	800	MIN.
	750	131	1,030	300	NFE 1200	1,200	MIN.
	1,000	175	1,370	300	NFE 2000	1,600	MIN.

表 7. 《MELNIC》と PF の協調

3φ1次電圧 6.6kV							
変圧器				PF	《MELNIC》		
2次電圧 (V)	変圧器容量 (kVA)	1次定格電流 (A)	2次定格電流 (A)	CL形PFの定格 (A)	形名	定格電流設定値 (A)	短限時引外し設定目盛
210	150	13.2	413	50	NFE 800	600	MIN.
	200	17.5	550	50	NFE 800	700	MIN.
	300	26.3	845	75	NFE 1200	1,000	MIN.
	500	43.8	1,370	100	NFE 2000	1,600	MIN.
420	300	26.3	413	75	NFE 800	600	MIN.
	500	43.8	685	100	NFE 800	800	MIN.
	750	65.5	1,030	150	NFE 1200	1,200	MIN.
	1,000	87.5	1,370	200	NFE 2000	1,600	MIN.

受電側 OCR の設定は、電力会社送り出し OCR との協調を考慮してその CT 比、タップ値及びダイヤル設定が決定されるが、同時に下記の条件も考慮する。

(a) 瞬時引外し素子付の場合は、変圧器励磁突入電流で誤動作なきようその設定値は変圧器定格電流の 10 倍以上とする。

(b) 変圧器の短絡保護のため、定格電流の 25 倍の電流値で 2 秒以下で動作すること。

図 7. に 2 次側へ換算した協調特性曲線を示す。具体的な設定を述べると次のようになる。

(1) OCR の設定

定格 1 次電流は 65.5 A であるから CT 比は 150/5 A とし、限時ダイヤルは配電所の送り出し OCR との関係で、通常、定限時部分

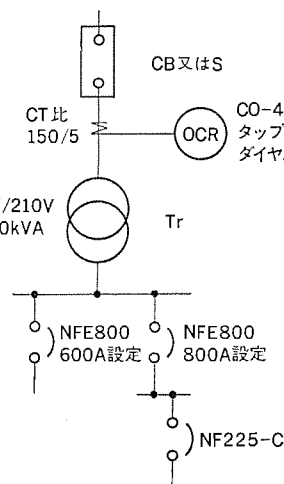


図 6. 《MELNIC》と高圧側 OCR との協調

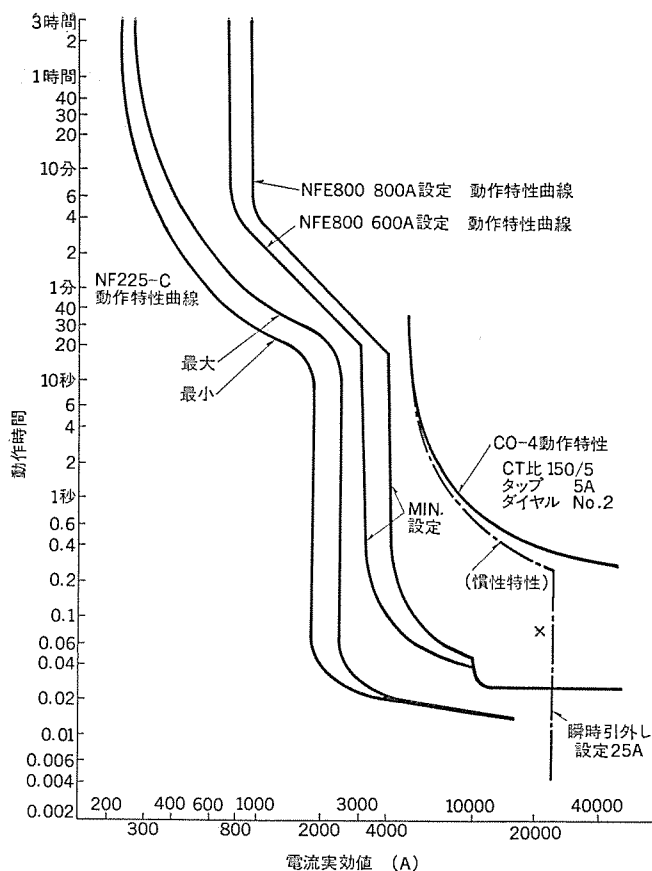


図 7. 《MELNIC》と高圧側 OCR との協調

で 0.2 秒以下、瞬時要素付の場合は 1 秒以下に設定される。ここでは三菱はん (汎) 用継電器 CO-4 においてダイヤル No. 2 の動作特性である。下位の NFB との協調の検討は慣性を含めて考える必要があるので、1 点鎖線でそれを描いてある。瞬時引外し素子の設定は上記(a)からここでは 25 A に設定してある。(図 7. で×印が定格電流の 10 倍、0.1 秒の点である)

(2) 《MELNIC》の設定

NFE 800 の 800 A 及び 600 A 設定を考えてみる。NFE 800 の短限時引外しダイヤルの設定は短限時ピックアップ電流値が定格電流の 5 倍 (MIN. 設定時) ～10 倍 (MAX. 設定時) であり、MAX. 目盛に設定すると定格電流が 600 A の時 6,000 A、800 A の時は 8,000 A となり、OCR のピックアップ値 4,710 A (2 次換算) より大きくなるので、4,710 A 以下になるようにいずれも MIN. 目盛に設定する。また、《MELNIC》は、その復帰可能特性が良好なため、瞬時引外し領域以外では、復帰可能特性は動作特性曲線とほぼ同一とみなしてよい。また、動作時間のばらつきも少ないので 1 本の線で動作特性を描いてある。

OCR と《MELNIC》の選択しゃ断領域は、OCR に瞬時引外し素子があり、その設定値が 25 A (2 次換算 23.6 kA) であるからこの電流値までとなる。また、分岐回路 NEB として、NF 225-C、225 A があると想定すると、その動作特性の最大及び最小を描くと図 7. のとおりである。《MELNIC》と NF 225-C の選択しゃ断領域は、10 kA までとなる。

6. 《MELNIC》と低圧ヒューズとの協調

《MELNIC》のしゃ断容量は、AC 460 V において 35 kA (NFE 800, 1200)、100 kA (NFE 2000) であり、スポットネットワーク方式などの大容量電源回路において、《MELNIC》のしゃ断容量が不足する場合は、低圧限流ヒューズで後備保護を行う。この場合両者の関係は、《MELNIC》の動作特性曲線がヒューズの溶断特性と過負荷電流領域でクロスすることなく、《MELNIC》が必ず先に動作するようにする。この場合にも《MELNIC》は、その定格電流及び短限時引外し特性が調整できるので協調がとりやすい。短絡電流領域では、両者の動作特性がクロスすることが必要であるが、ここで注意すべきことは、単に、このクロスポイントが《MELNIC》の定格しゃ断容量の 80% 以下にあればよいなど単純に決められないことである。つまり、後備保護の可否は、《MELNIC》を通過する電流の最大波高値、通過 I^2t 、及びアークエネルギーの分担量などにより総合的に定まる。したがって、実用にあたっては、実験で確認された組合せに限ることが肝要である。表 8. に《MELNIC》を後備保護できるヒューズとの組合せと、そのしゃ断容量を示す。

表 8. FLK 形ヒューズでバックアップした時の《MELNIC》のしゃ断容量

	(AC 460 V Asym. kA)		
	FLK 形 ヒ ユ ー ズ		
	2,000 A	3,000 A	4,000 A
NFE 800	150	150	—
NFE 1200	150	150	—
NFE 2000	150	150	150

7. む す び

低圧電路の保護協調に対する認識の高まりにつれ、各種の選択しゃ断可能な NFB が逐次開発され、ここに電子式 NFB の出現に至った。この電子式 NFB は従来の製品と比べ、定格電流可調整によりクローズプロテクションが可能、選択しゃ断可能範囲が拡大したという点で画期的なものであり、需要家にとって便利で使いやすい製品として、今後重要回路への適用が増加していくものと各方面から期待されている。

低圧気中しゃ断器のアーキ電圧と限流特性

久常文之*・江口清司*・笹尾博之**・村井裕**

1. ま え が き

一般にしゃ断器で回路をしゃ断する場合、接点の開離とともに接点間にアーキが発生し、アーキ電圧があらわれる。アーキ電圧が発生することは、回路に非線形抵抗がそう(挿)入されたことになり、アーキ電圧が発生しない場合に流れる電流(推定短絡電流)よりも小さい電流しか流れない。これを限流と称するが、もしアーキ電圧が電源電圧、回路条件によって大きく変化しないならば、電源電圧が低い回路のほうが限流されやすいことは明らかである。

このような理由から低圧配電系統に使用される気中しゃ断器では、しゃ断時のアーキ電圧による限流がみられるが、この現象をより積極的に利用する目的で電磁反発接点を有するノーヒューズしゃ断器が開発されている。電磁反発接点は回路に短絡電流が流れた場合、電磁力によって接点が急速に反発開離し、アーキ電圧によって限流するように構成されている。このようにアーキ電圧が短絡発生後急速に上昇する場合には、回路に流れる電流の波高値が制限され、直列機器及び線路の保護が確保される。このことは、例えばしゃ断容量は十分有するが限流機能を有しないしゃ断器ではたとえしゃ断に成功しても、短絡電流がそのまま直列機器に流れるために、ジュール加熱による損傷を防止できない場合があることと比較すれば、大きい意味をもっていることが分かる。

この論文では、低圧配電系統に使用される電磁反発形ノーヒューズしゃ断器について、2章でアーキ電圧による限流効果の概要を述べ、3章で具体的なモデルを用いて行ったアーキ電圧とアーキの振舞に関する実験の結果について述べる。

2. アーク電圧による限流

アーキ電圧によって限流された短絡電流の通過 I^2T 及びしゃ断器内に注入されるアーキエネルギーについて、それらがアーキ電圧の上昇速度によってどのように変化するかを検討する⁽¹⁾。

いま図1.において電源電圧の位相 θ で短絡が発生したものとし、電磁反発によって接点开離後アーキ電圧

$$V_a = At \quad \dots\dots\dots (1)$$

が発生するものと仮定する。一般に電磁反発開始電流は3kA程度であるから、短絡発生後アーキ電圧の発生までの時間は短く、これ

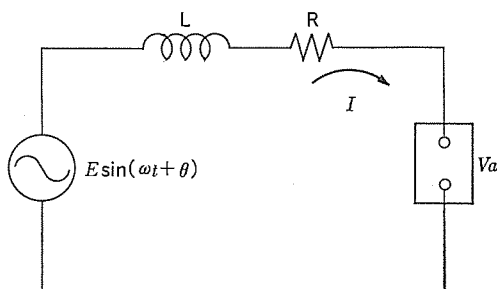


図1. 回路構成

を無視すると、回路に流れる電流は次式によって表される。

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \{ \sin(\omega t + \theta - \phi) - \sin(\theta - \phi) e^{-\frac{R}{L}t} \} - \frac{A}{R} \left\{ t - \frac{L}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\phi = \tan^{-1}(\omega L/R) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで $U = V/E$, $J = \omega LI/E$, $x = \omega t$, $a = R/\omega L$ において上の関係式を無次元化すると次のようになる。

$$U_a = \frac{A}{\omega E} x \quad \dots\dots\dots (1')$$

$$J = \frac{1}{\sqrt{1 + a^2}} \{ \sin(x + \theta - \phi) - \sin(\theta - \phi) e^{-ax} \} - \frac{A}{a^2 \omega E} (ax - 1 + e^{-ax}) \quad \dots\dots\dots (2')$$

$$\phi = \tan^{-1}(1/a) \quad \dots\dots\dots (3')$$

今、任意の通過 I^2T と同じ I^2T を持つ正弦波半波の実効値を I_e 、またそれに対応する無次元化電流を $J_e (= I_e \omega L/E)$ とすれば

$$\pi J_e^2 = \int_0^{x_0} J^2 dx \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。ここで $x_0 = \omega t_0$ で、 t_0 は短絡発生後限流された電流が最初の零点をむかえるまでの時間である。

式(2')、及び式(4)から、 J_e は、回路力率を定めると、投入位相角 θ 及び $A/\omega E$ のみの関数となる。JIS規格を考慮して力率 $\cos \phi = 0.15$ と定めて θ , $A/\omega E$ の値をかえて J_e を計算した結果を図2.

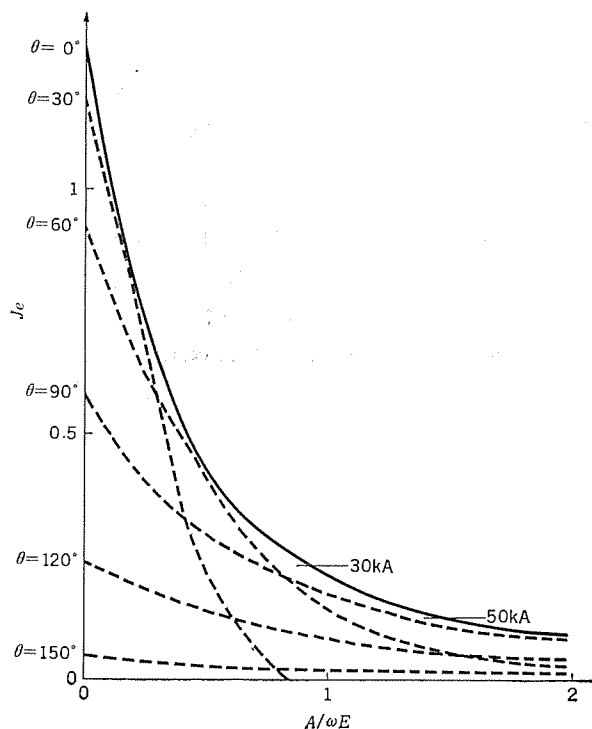


図2. J_e とアーキ電圧上昇速度

に示す。図において、破線は各位相角についての計算値、実線はその包絡線を示す。また、力率がこのように小さい場合には、 $E/\omega L$ は推定短絡電流対称分波高値 I_e とほとんど一致するので、 J_e は I_e と I_e の比を示していると考えることができる。

さて、本来ノーヒューズしゃ断器は、配線の保護を目的としているが、最近では下位の直列機器の保護も要請されるようになってきた。保護される線路及び直列機器の許容 I^2T について調べると、これらの値は定格電流 I_N と密接な関係にあることが分かる。そこで許容 I^2T に対応する I_e と定格電流 I_N との比を許容限流比 α とよぶと、線路については被覆の耐熱性から導体の最高許容温度を 160°C としたときの I_e をとり、またノーヒューズしゃ断器及び電磁接触器についてはしゃ断電流、半導体機器についてはサージオン電流をそれぞれ I_e とすれば、 α の値はおおよそ次のようになる^{(2)~(5)}。

線路 $\alpha \approx 200$

後備保護されるべきノーヒューズしゃ断器、電磁接触器
 $\alpha \approx 100$

半導体機器 $\alpha \approx 10$

例えば定格電流 100 A の電磁接触器の保護を必要とする場合には、 $I_N=100$ A、 $\alpha=100$ として、 I_e は 10 kA 以下にしなければならない。図 2. に示されている直線と包絡線との交点は、与えられた推定短絡電流の回路で、 I_e が 10 kA に限流されるに要する $A/\omega E$ の値を与えている。もし推定短絡電流実効値が 30 kA の回路だとすると、図から $A/\omega E=0.94$ となり、回路電圧 265 V (rms)、周波数 60 Hz とすれば $A=133$ V/ms を得る。また推定短絡電流が 50 kA の回路では、 $A=206$ V/ms 以上が必要なが分かる。

次に限流機能を有するしゃ断器内に注入されるアークエネルギー E_a を求める。ここで無次元化したアークエネルギーとして $W_a=\omega^2 L E_a/E^2$ を考えると W_a は次式によって与えられる。

$$W_a = \int_0^{x_0} U \cdot J dx \dots \dots \dots (5)$$

前記で I^2T を求めたと同様にして W_a を計算すると図 3. のようになる。図に示すようにアークエネルギーには極大値が存在し、アーク電圧の上昇速度いかにによっては消弧にとって過酷な場合が存在すると

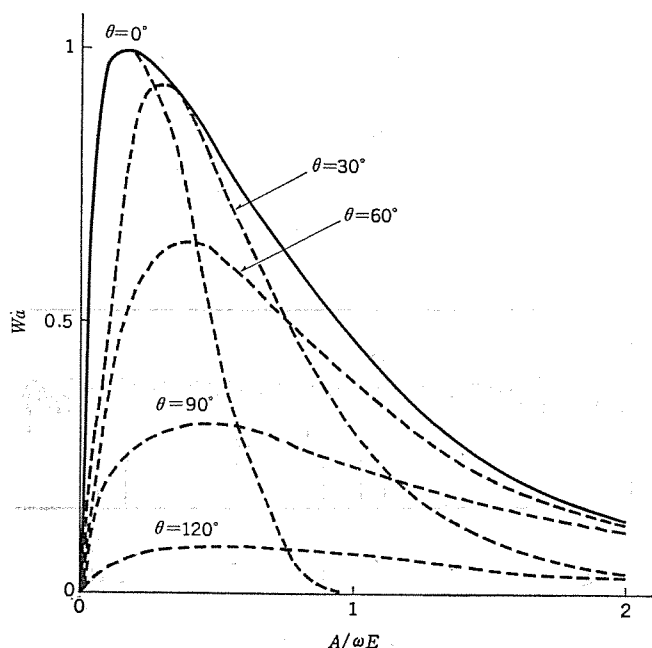


図 3. W_a とアーク電圧上昇速度

とを示している。しかし、今対象としている限流機能を有するようなし断器、例えば電磁反発式しゃ断器などでは、この極大値を越えており、前記の回路保護の観点からはもちろんのこと、しゃ断器が処理すべきアークエネルギーを小さくするという観点からもアーク電圧上昇速度を大きくすることの意義は大きい。

以上に述べたことから限流に必要なアーク電圧上昇速度の目標が明らかになったので、次に実際にアーク電圧を発生させた場合の特性について述べる。

3. 実験

3.1 実験回路及び供試モデル

実験回路は図 4. に示す LC 放電回路であり⁽⁶⁾、投入用サイリスタをターンオンすることによって供試モデルに電流が供給される。この回路の最高充電電圧である 400 V まで充電したとき、推定短絡電流波高値は 13 kA、周波数は約 60 Hz である。この回路の電源コンデンサには逆充電を防止するためにダイオードが接続されているので、電流ピーク近傍までの現象を調べた。

供試モデルは図 5. に示すように、可動接点 A 及び固定接点 B を有し、電磁反発構造となっている。反発開始電流は約 3 kA であり、通過電流がこの値以上になる電磁反発力がばねの力より大となり、可動接点 A が開離してアークが形成される。通過電流の増大とともに開極距離は増加するが、このモデルは通常の電磁反発形ノーヒューズしゃ断器と異なり、アーク電圧によって限流されて電磁反発力がばね力以下になると可動接点 A は再び元の状態に復帰する構造になっている。また供試モデルのグリッド C に使用される消弧板としては、鉄、アスベストの 2 種類を用意した。消弧板の形状も図 5. に示した。なお供試モデルの接点と直列に接続した数ターンのコイルにより、外部からアーク空間に磁界を印加することもできる。磁界の強さは最大で 3,000 ガウスである。

3.2 アークの光学的観測

供試モデルの側面に図 5. で破線で示すような長方形の観測窓をあげ、アークの状態を高速度コマ取りカメラで撮影した。図 6. (a) 及び (b) はそれぞれコマ取り写真の例及び同時に測定した電圧、電流波形を示すオシログラムである。供試モデルのグリッドは 9 枚の鉄製消弧板で

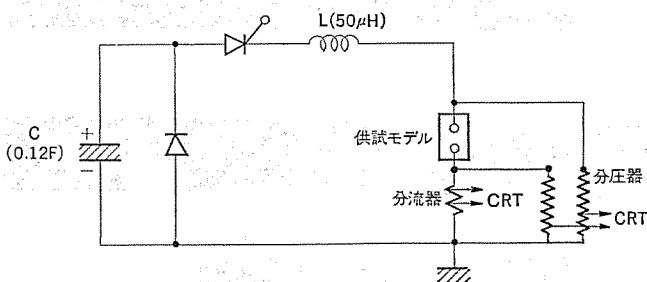


図 4. 実験回路

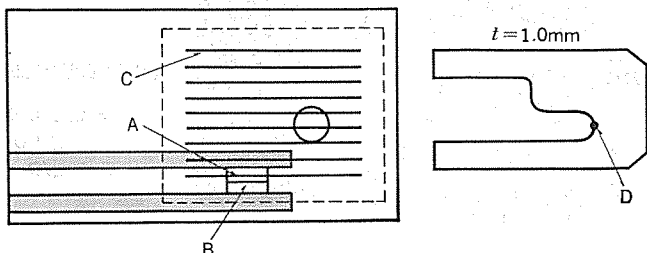


図 5. 供試モデルと消弧板の形状

構成され、外部から3,000ガウスの磁界が印加されている。コマ取り写真は上段右端から始まり下段左端に終わっている。写真の上部にあるパルス信号はフィルムのスピードを示し、パルス間隔は1msである。また上段右下端に見える信号はフィルムとオシログラムとの対応をつけるためのネオンランプの信号である。コマ取り写真とオシログラムに記されている記号について説明すると、Aはネオンランプの消滅、Bは通電開始、Cはアーク電圧の発生、Dは電流ピーク、Eはアーク電圧ピーク、Fはアーク電圧の不安定開始、Gは接点のバウシング開始、Hは再接触の各時点を示している。コマ取り写真にはアークの状態と同時に接点の位置も明りょうに示されており、発弧中の接点の働きが分かる。

同時の実験をグリッド材質が鉄でコイルがない場合並びにコイルがあってグリッドをアスベストで構成した場合及びグリッドが全くない場合についても行った。

図6. から、接点开離後アークの発光部分は急速にグリッドの中へ進入し、約1.5ms後にはその先頭部分は図5.の消弧板のD部に達していることが分かる。また陰極点、陽極点も接点から銅のアークホーンへ漸次移行してゆき、約2ms程度で移行を完了している。ところが、電圧がピークをむかえた点の約0.2ms後に再び可動子の接点が発光し、それとともに電圧が急激に減少している。グリッド間に小さな部分的に強い発光が見られるのは、開極後約1.2ms後からであるがこれらの位置は、シャ断試験後取り出したグリッド表面のスポット状の損傷の位置とよく対応しており、グリッド全体が60°C以上の高温になっている。

一方、各グリッドの片面を絶縁し、グリッドを貫通する電流が流れな

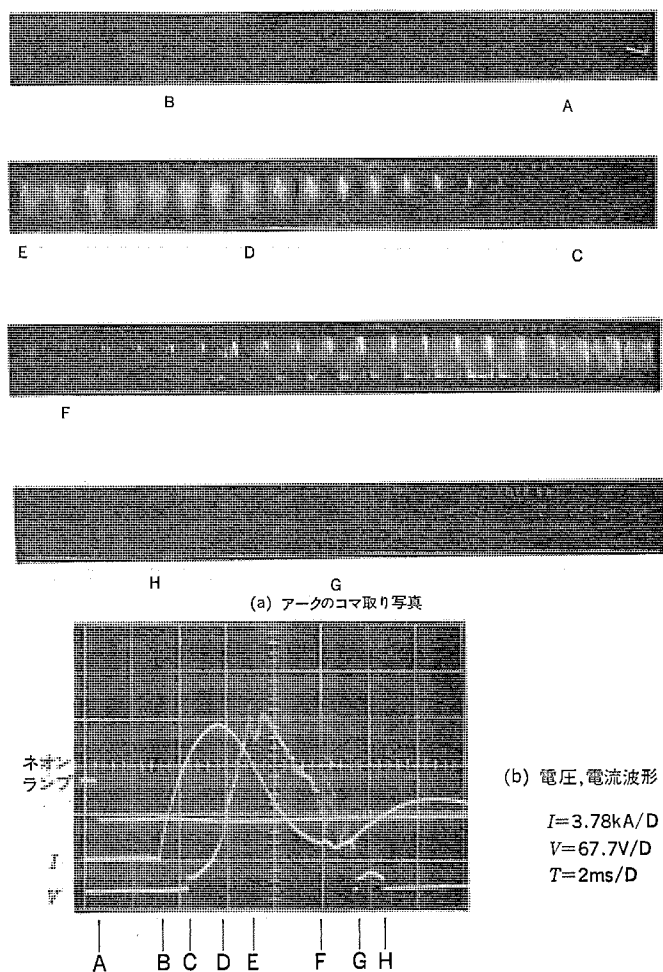


図6. アーク挙動と電圧電流波形

ようにしたものを用いて試験した場合には、たとえアーク柱がグリッド片面へ直接接触しても、損傷はみられず、温度上昇もほとんどないことから、逆に前記のように、グリッド表面に多数のスポット状の損傷があり、目立った温度上昇がある場合には、グリッドを中間電極としたシリーズアークを形成しているものと考えられる。その場合グリッドの損傷程度からみて、多量の鉄蒸気が放出され、蒸発潜熱という形でグリッドからエネルギーを取り去るとともに、鉄蒸気存在そのものがアーク空間のミクロな物性に影響を与えることが予想される。

実際、アークが鉄グリッドの間に進入していくと、鉄蒸気がアーク空間周辺に多量に発生することは、アーク空間のスペクトル測定の結果からも確認されている。図7.は、シャ断電流せん(尖)頭値17kAの場合に、図5.の実線で示された円形の窓からの発光を分光写真機により測定した結果を示しており、(a)は、グリッドのない場合、(b)は鉄グリッドがある場合の分光写真である。図8.は分光写真のA部の相対強度分布を示したものである。図8.から明らかなように、鉄グリッドがある場合は鉄グリッドがない場合と同様に電極物質である銀や銅の吸収スペクトルが存在するだけでなく、多数の中性鉄蒸気の強い吸収スペクトルが観測される。このように、共鳴線以外でも強い吸収がみられるのは興味のあることであり、アーク空間のミクロな特性を明らかにする有力な手掛かりになるものと思われる。

3.3 アーク電圧と開極距離

3.2節の実験で得られた高速度コマ取り写真から開極距離を時間の関数として読取り、アーク電圧波形とともに示したものが図9.である。同図の場合の開極距離とは図5.の接点A、Bの中心間の距

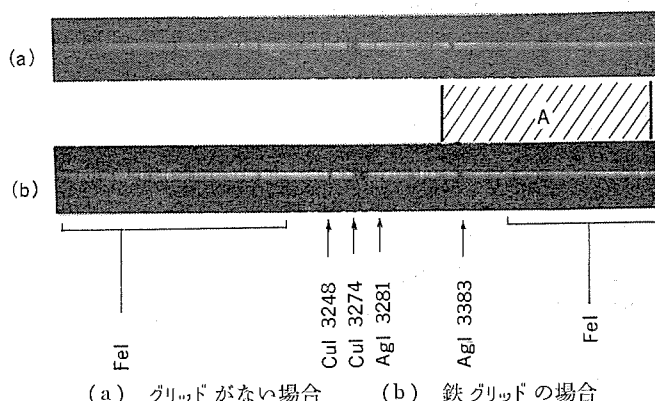


図7. 分光写真

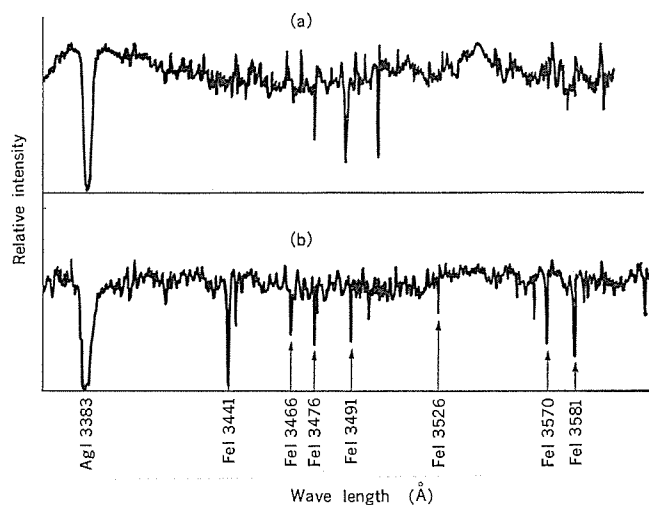


図8. スペクトルの相対強度分布

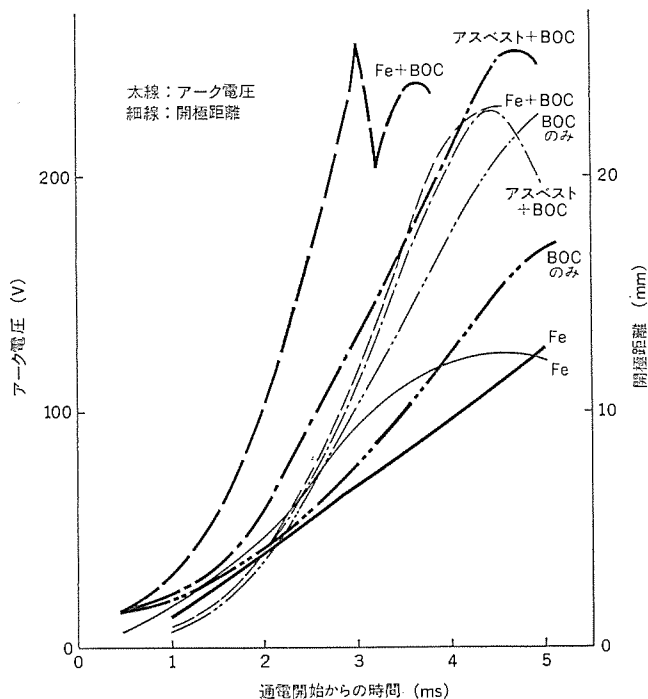


図 9. アーク電圧及び開極距離の時間的变化

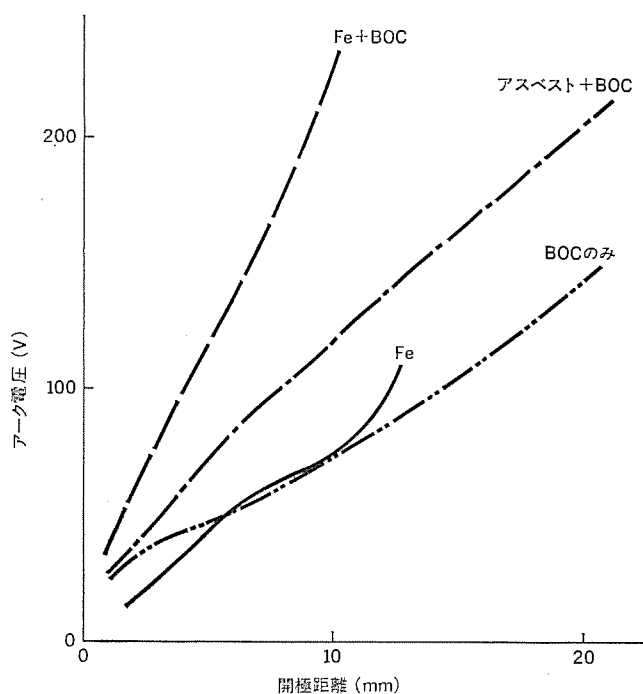


図 10. アーク電圧と開極距離

離を意味している。また図中の BOC は 3.1 節で述べた直列のコイルに電流を流して磁界を印加したことを意味している。図 10. は開極距離とアーク電圧の関係を示している。図 10. から分かるように、消弧室の条件が与えられるとアーク電圧はほぼ開極距離に比例している。このことは開極速度が大きくなれば、それだけアーク電圧の上昇速度も大きくなることを示唆している。したがって可動接点の質量を減少させること、接圧用ばねをできるだけ弱めること、磁界を加えることが可動接点の開極速度の上昇に効果があり、アーク電圧の上昇速度の増大に有効である。また図 10. はアーク空間に印

加される磁界によってアーク電圧が上昇すること、鉄グリッドは外部コイルとほぼ等価であることを示している。ただしアスベストグリッドの場合には、アークが他の場合と比較して空間に広がっていることがコマ取り写真から確認されている。この場合にはグリッドの全くない場合と磁界の強さが等しくても、絶縁物であるアスベストの効果で電圧が上昇するものと考えられる。

上に述べたように、アーク電圧の上昇速度には、極間距離及び磁界の強さが大きく関与していることが判明した。ところで図 9. の鉄グリッドの場合には、推定短絡電流実効値 9 kA の回路でアーク電圧上昇率が約 30 V/ms であった。この上昇率は図 3. ではアークエネルギー最大値近傍の値である。しかしながら推定短絡電流がより大きい回路にこのモデルを適用した場合を例にとり、電磁反発力がばねその他の抗力を無視して電流の 2 乗に比例するものと仮定すると、開極速度は電流に比例して増大する。したがって、推定短絡電流を 30 kA とすると開極速度は図 9. の場合の約 3 倍となり、磁界の効果を見捨てアーク電圧の上昇速度が開極速度だけにとすると、鉄グリッドでは 100 V/ms 程度の上昇速度が得られることになる。実際推定短絡電流が 30 kA の回路で実験したところ 112 V/ms の値を得た。したがってこの値ではアークエネルギー最大値より十分低い値でシャ断できることになる。

以上に電磁反発によって接点が開離しアーク電圧が発生する場合の光学観測を含めた実験結果について紹介したが、アーク電圧の上昇に関与する因子の究明、電流と反発接点の開極速度などが今後の課題である。

4. む す び

低圧配電系統におけるアーク電圧による限流を対象として、下位の直列機器を保護するために必要なアーク電圧上昇速度を概算した。またモデルを用いてアーク電圧上昇過程に関する実験を行い次の結果を得た。

- (1) 下位の直列機器を保護するために必要な限流特性を求め、それを実現するために必要なアーク電圧上昇速度が回路の推定短絡電流によって決定される。推定短絡電流が 30 kA の場合には 130 V/ms 以上となる。
- (2) 限流シャ断時にシャ断器に注入されるアークエネルギーはアーク電圧上昇速度の関数として与えられ極大値を有する。通常の限流機構を有するシャ断器では、十分大きいアーク電圧上昇速度を有しているので、注入されるアークエネルギーは小さい。
- (3) 実験によりアーク電圧上昇速度には、極間距離、磁界が大きく影響していることが明らかになった。100 V/ms 程度のアーク電圧上昇速度は比較的容易に実現される。接点構成の改良、磁界の活用によって今後この上昇速度を更に増加させることが期待できる。

参 考 文 献

- (1) 久常, 村井, 宮本: 昭50電気関係学会関西支部連大, G 3-17
- (2) 低圧ヒューズ適用指針, OHM p. 58 (昭45-4)
- (3) 丸池, 岡戸, 長尾: 三菱電機技報, 42, No. 9, 1,167 (昭43)
- (4) 三菱半導体ハンドブック (昭50)
- (5) 久常, 村井, 宮本: 昭50電気学会全国大会, No. 1363

漏電しゃ断器検出回路のIC化

山本清美*・近藤邦昭*・佐藤栄一*・赤木則夫*・宮崎行雄**

1. ま え が き

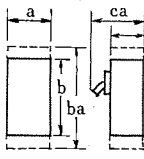
に成功したのでここに報告する。

漏電しゃ断器による感電防止効果は着実に成果をあげつつあり、そ













の有用性の認識の高まりとともに漏電しゃ断器の使用される場所は近年遂次広範囲にわたるとともに多種多様化の方向をたどり始めている。仮設現場や土木建築現場はもとより住宅、工場、造船所、ビル等その用途はきわめて広い。人命を直接的に守る漏電しゃ断器にはその性能及び品質に対しては高い信頼性が要求される。特に仮設現場や土木工事現場では漏電しゃ断器は極めて厳しい環境条件下におかれるが、かかる条件のもとにおいても数ミリアンペアから十数ミリアンペアの非常に微弱な地絡電流を確実に検出し、回路を直ちにしゃ断する性能を要求される。

このような情況から高性能、高信頼性の漏電しゃ断器の出現の要望が高まっていたので当社では、いち早く地絡検出部のIC (Integrated Circuit) 化に着手し、このたび開発

表 1. (a) IC 漏電しゃ断器仕様一覧

仕 様		形 名	過負荷・短絡保護兼用品				
			NV30-S	NV50-S	NV100-C	NV225-C	
フ レ ー ム の 大 き さ A			30	50	100	225	
相 線 式			3φ3W, 1φ3W, 1φ2W	3φ3W, 1φ3W, 1φ2W	3φ3W, 1φ3W, 1φ2W	3φ3W, 1φ3W, 1φ2W	
極 数			3	(2) 3	3	3	
定 格 電 圧 AC V			100, 200, 415	100, 200, 415	100, 200, 415	100, 200, 415	
定 格 電 流 A			15, 20, 30	15, 20, 30 (40), 50	60, 75, 100	125, 150, (175) 200, 225	
定 格 感 度 電 流 mA			15, 30	15, 30, (200)	30, 200, (500)	30, 200, (500)	
動 作 時 間 s以内			0.1	0.1	0.1	0.1	
漏 電 表 示 方 式			機械式<ボタン>	機械式<ボタン>	機械式<ボタン>	機械式<ボタン>	
定 格 し ゃ 断 容 量 kA		AC 100V	5	5	10	25	
		AC 200V	5	5	7.5	15	
		AC 415V	5	5	5	7.5	
外 形 寸 法 mm			a	90	90	105	
			b	200	200	210	240
			ba	210	210	210	251
			c	68	68	68	103
			ca	86	86	86	127
			端 子 接 続 方 式		標 準	表 面 形	線押え
準 標 準	裏 面 形	丸スタッド			丸スタッド	丸スタッド	バースタッド
	埋 込 形	丸スタッド			丸スタッド	丸スタッド	バースタッド
製 品 重 量 kg			1.3	1.3	1.5	3.2	
通 産 省 型 式 認 可 番 号 ▽41-			6111, 6521, 6130, 6522	6677~6679, 6521~ 6523, 5457, 5458 6111, 6130, 6131, 6252	8297, 6370 7625, 7626	-	
準 品 別 売 部 品	警 報 ス イ ッ チ 付 (AL)		○	○	○	○	
	補 助 ス イ ッ チ 付 (AX)		○	○	○	○	
	メグ測定スイッチ付 (MG)		○	○	○	○	
	リ ー ド 線 端 子 台 付 (LT)		○	○	○	○	
	箱 入 り	<閉 鎖 形> S	○	○	○	○	
		<防 じん 形> I	○	○	○	○	
		<防 水 形> W	○	○	○	○	
	と っ て ロ ッ ク 付 (HL)	<扇 式>	○	○	○	-	
		<キャップ式>	-	-	-	○	
	ソ ル ダ レ ス 端 子 付		-	-	○	○	
別 売 部 品	操 作 と っ て (TOTTE)	F 形	○ <51F>	○ <51F>	○ <51F>	○ <52F>	
		S 形	○ <150S>	○ <150S>	○ <150S>	○ <34S>	
	端 子 カ バ ー (TC)		標	標	標	標	
	バ ー 端 子		○	○	○	○	
	裏面スタッド<絶縁管付> (ST-IB)		○	○	○	○	
	埋 込 取 付 わ く (FP)		○	○	○	○	

(b) IC 漏電リレー仕様一覧

仕 様		形 名	ZCTと電気式自己保持リレーの分離形				
		NV-Z15B	NV-Z30B	NV-Z40B	NV-Z60B	NV-Z80B	NV-Z100B
外 観							
							
零相変流器(ZCT)穴径 mm		15	30	40	60	80	100
相 線 式		3φ4W, 3φ3W, 1φ3W, 1φ2W					
制 御 電 圧 AC V		100/200〈切換形〉, 415					
高 速 時 延	定格感度電流 mA	30, 100/500〈切換形〉, (200/500〈切換形〉)			200/500〈切換形〉		
	動作時間 s以内	0.1					
時 延	定格感度電流 mA	500					
	動作時間 s	0.15～0.5					
定格短時間電流 kA		100〈尖頭値〉					
漏 電 表 示 方 式		電気式〈ランプ〉					
リ セ ッ ト 方 式		リセットボタンを押す、又は制御電源を一度OFFにする。					
接点の保持機構		制御電源					
接 点	構 成	Ic					
	連続通電電流 A	5					
	し や 断 電 流 A				cos φ=1	cos φ=0.4	
		AC 100V			5	2.5	
		AC 200V			5	2	
DC 30V				5	2		
注、AC 400V接点は補助リレーをご使用ください。							
製 品 重 量 kg	リレー	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	ZCT	0.2	0.4	0.6	2.0	2.6	3.3

2. 仕様と特長

2.1 仕様

IC 漏電しゃ断器はビル、工場等の工業用の高い信頼性を要求される場所に最適である。表 1. に仕様を示す。

2.2 特長

従来の漏電しゃ断器の地絡検出電子回路部は単機能部品を集めて構成したディスクリート回路であるが、この電子回路部を IC とすることにより次の利点を得ることができた。

- (1) 差動増幅器を用いているので入力インピーダンスが高く、利得が高いため高感度品の製作が容易である。定格感度電流 15 mA の高感度品が 50 A フレームまで可能である。
- (2) 差動増幅方式とすることによって、増幅器の周囲温度依存性を少なくでき漏電しゃ断器の感度電流の温度特性が良好で、安定している。
- (3) 定電圧電源回路、増幅回路、時延回路、シュミット回路が IC に内蔵してあるので回路全体が小形にまとまり、安定した性能と品質が得られる。
- (4) 電子回路部の構成部品点数がディスクリート回路に比べて大幅に

少なく、地絡検出回路部の信頼性が非常に高い。

(5) IC 内の個別機能を多目的に応用できるとく多数の出力端を持っているので、高速形、反限時形並びに時延形の回路構成もできるはん(汎)用性を有する。

3. 構造と性能

3.1 地絡検出電子回路部

しゃ断機構は実績のあるクイックメイク、クイックブレイク方式の採用により、接点の溶着、消耗を防ぎ安定した通電と開閉しゃ断のできる構造となっている。

零相変流器により検出された地絡信号は電子回路部に入り、そこで増幅される。図 1. に高速形 IC 漏電しゃ断器の回路例を示す。地絡検出電子回路部の構成について述べると、まず電源回路は漏電しゃ断器の内部より取り、交流を整流して IC 内の定電圧電源へ供給している。定電圧電源を IC は内蔵しているのでラインの電源電圧の変動があっても、増幅回路やシュミット回路の動作にはほとんど影響を及ぼさない特長がある。零相変流器よりの信号は IC 内の差動増幅器に入り、そこで増幅され、シュミット回路へ伝達されて地絡電流が所定のレベルへ達するとシュミット回路が作動して、サイリスタのゲ

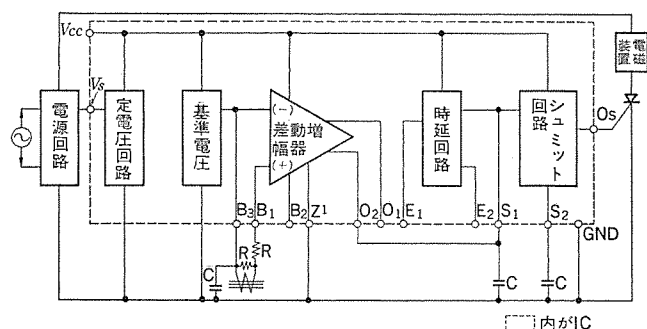


図 1. 高速形 IC 漏電しゃ断器の回路例

ート回路へ信号が送られて、サイリスタが導通する。サイリスタの導通によって、これと直列に接続されている電磁装置が駆動し、これと連動して漏電しゃ断器が回路をしゃ断する構造となっている。IC 内の機能構成は図 1. に示すとおり、定電圧電源、差動増幅回路、時延回路、及びシュミット回路より構成されているので全体的に非常に小形であると同時に、外付部品の点数が少なく従来のディスクリート回路に比べて約 1/2 に縮減できている。図 2. 及

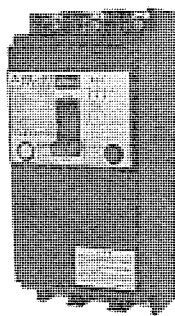


図 2. IC 漏電しゃ断器



図 3. IC 化電子回路

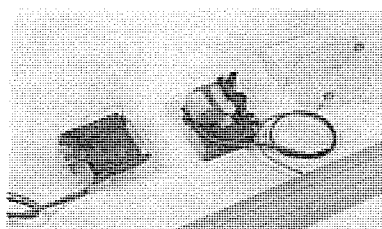


図 4. 釈放式電磁装置

3. 2 零相変流器

差動増幅器の利点である入力インピーダンスの大きいことを十分活用することにより、零相変流器の信号レベルが比較的小さくても増幅度をあげることができ、零相変流器を小形とすることができた。この結果、外部よりの電磁界の影響を少なくすることができ、大電流母線付近の磁界による誤動作に対しても有利である。

3. 3 電磁装置

形状の小さい漏電しゃ断器に内蔵する電磁装置は、小形であることとともに駆動力の小さいことが条件である。このため従来の吸引式電磁装置から釈放式電磁装置に改善することにより小形、高性能の電磁装置を得ることができた。釈放式電磁装置は温度特性の良好な永久磁石を用いて、可動片を常時吸着しておき、地絡が発生するとサイリスタが作動し、電磁装置内のコイルに電流が流れ、永久磁石の磁束の方向と逆の方向に励磁して可動片の吸着を釈放するものである。またこの方式を採用することにより比較的容易に漏電表示も可能となった。図 4. にこの電磁装置の構造を示す。

3. 4 特性と性能

3. 4. 1 周囲温度変化と感度電流

通常漏電しゃ断器の感度電流は周囲温度の変化の影響を受けて変化するが、そのほとんどは電子回路部と零相変流器の温度特性(性能)に起因している。このたび開発したデジタル IC M 54120 P は増幅部が差動増幅器となっているので半導体の持っている温度特性を互いに打消し合うように作用するので、特に温度補償用に別個の半導

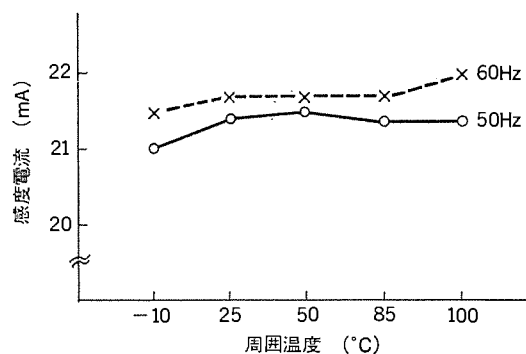


図 5. 周囲温度と感度電流

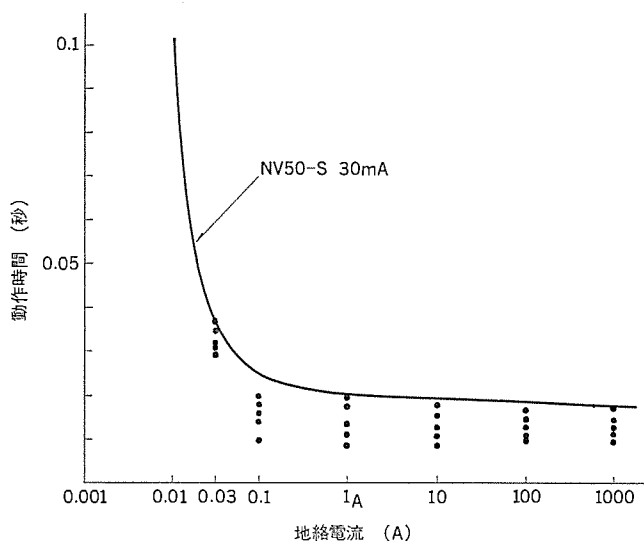


図 6. IC 漏電しゃ断器の地絡電流 - 動作時間特性

体部品を用いる必要がない。別部品を用いて電子回路の温度補償を行う場合には、その定数の選定の良否や部品定数のばらつき等により補償の精度があがらないことが多いが、M 54120 P を用いれば感度電流の温度特性は零相変流器の温度特性に負うところが大きであるので、良質な零相変流器を採用して、周囲温度変化に対する温度特性を良好とすることができた。図 5. に周囲温度特性を示す。

3. 4. 2 漏電動作時間

高速形漏電しゃ断器の動作時間は 0.1 秒以内であるとともに、繰り返し動作が安定していることなどが要求される。更に感電防止の観点から人体通過エネルギーを所定の電流・時間積以内に制限するために、大きな地絡電流が流れたときには 0.1 秒で動作したのでは不十分であり、0.05 秒程度の動作時間となることが必要である。図 6. に IC 漏電しゃ断器の動作時間特性の一例を示すが非常に安定しており、かつ高速しゃ断の結果を示している。

3. 4. 3 衝撃波不動作特性

雷サージや電路の対地静電容量による漏電しゃ断器の不要動作を防ぐ性能である衝撃波不動作性能は大きいことが望ましいことは当然である。IC 漏電しゃ断器では JIS-C 8371 等に定められている 6 kV を上回る 10 kV に耐える性能を持っているので、サージ環境の厳しい場所でも誤動作や不要動作をおこさず給電の連続性を確保することができる。

3. 5 IC 電子回路の信頼性

電子式漏電しゃ断器の回路構成の主要部品はサイリスタ、トランジスタ、ダイオード、ゼナダイオード等であるが、電子回路の信頼度はこれらのそれぞれの部品の固有信頼度とその使用個数により決まるので部品個

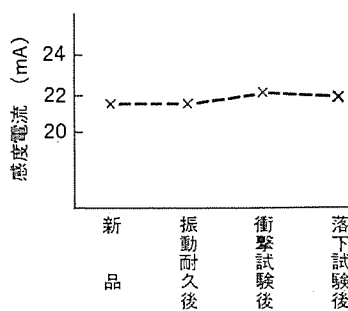


図 7. 機械的ストレスと感度変化

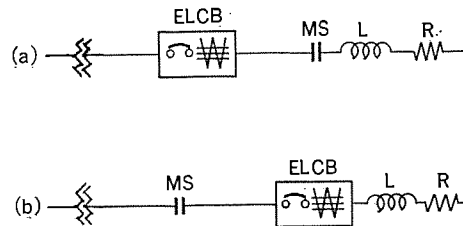


図 8. 漏電しゃ断器の開閉 サージ 耐久回路

数はなるべく少ないことが望ましい。しかし一般

にディスクリート回路では部品数は多く、したがってはんだ付個数も必然的に多くなり、電子回路としての信頼度は低くなることが多いが、ICを使用することにより部品点数をディスクリート式の約1/2に削減することができ平均故障間隔(MTBF)も大幅に大きくなり、高い信頼性を確保できた。多種の機能を一つのパッケージに集積して、IC内部で接合してあるので、接続部の信頼度向上にも非常に有利である。また回路設計にあたってはIC自体にサージ吸収回路を内蔵していることをはじめ、各部品の定格値に対して十分なるディレーティングをもって選定してあるので電子部品の固有信頼度そのものも高い。つぎに主なストレス試験の概要を紹介する。

3. 5. 1 機械的ストレス試験

(1) 振動耐久：複振幅 4 mm、振動周波数 1,000 cpm の振動を漏電しゃ断器の 6 方向におのおの 1 時間加えた。

(2) 衝撃試験：漏電しゃ断器の上下、左右並びに前後の各方向に各 5 回の衝撃を加えた。

(3) 落下試験：漏電しゃ断器を 1 m の高さより落下させた。

上記の試験の終了後感度電流へ及ぼす影響、機械的破損の有無を調査したがいずれも異常なく特性が安定していた。試験の結果を図 7. に示す。

3. 5. 2 電氣的ストレス試験

IC を含めて電子回路部へ加わる電氣的ストレス試験のうち厳しいつぎの諸試験を実施し感度電流へ及ぼす状況を確認した。

(1) テストボタン 耐久：テストボタンによる漏電しゃ断器のトリップ試験は、テスト装置自体の耐久性はもとより電子回路も毎回確実に作動することが要求される。5,000 回繰り返し操作を行い確認した。

(2) 地絡動作耐久：通常漏電しゃ断器の定格感度電流は 30 mA から数百 mA であるが、故意に 1 線地絡の状態を構成し、定格感度電流の数倍から千数百倍に相当する 50 A の過大な地絡電流を流し、零相変流器に発生した大信号を電子回路に与え、電子回路の破損、特性変化の有無をみたが IC 内のサージ吸収素子により全く異常はみられなかった。

(3) 開閉サージ耐久試験：漏電しゃ断器はライン中に設置されるので負荷機器は多種多様である。したがって発生する開閉サージも漏電しゃ断器自体が発生するものの外に、負荷機器や他の開閉器が発生するものがあるがいずれの原因によっても誤動作等があることはない。特に誘導性の負荷を開閉すると高いサージ電圧が発生し、電子回路へ大きなストレスを与えるので図 8. に示す構成で、負荷に誘導性のものを用い、開閉器の開閉の都度サージ電圧が漏電しゃ断器に加わるように接続し、これを(a)及び(b)の構成ごとに 10,000 回のサージ耐久を実施したが電源回路のアフソバが有効に作用し、IC をはじめ他の電子部品の破損はもとより、劣化や特性変化も認められなかった。IC 漏電しゃ断器は低圧で発生する系統サージには十

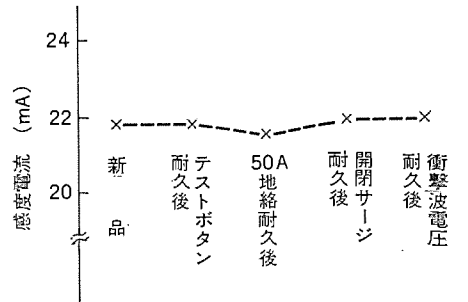


図 9. 電氣的ストレスと感度変化

分なる余裕をもって耐えることが立証できた。

(4) 衝撃波電圧耐久試験：一般の低圧系統での誘導雷サージ電圧は 6 kV 以下とみなされているので、6 kV の衝撃波電圧の連続印加による電子回路に及ぼす性能変化を確認したが全電子部品とも異常なく、試験後の感度電流のチェックにもまったく異常がなかった。図 9. に電氣的ストレス試験の終了後の感度電流の変化を示すが、各ストレスを与えた後も感度電流は安定しており、電子回路に相当の信頼度が期待でき、人命保護機器として十分なる機能と信頼性を確保できた。

4. 漏電しゃ断器用 IC M 54120 P

我が国の大半を占めている電子式漏電しゃ断器にあっては電子回路部が重要な構成部品をなす。特に信頼性の立場からみると最も関心のある部分である。この意味においても電子回路部へ使用する部品は経済性があり、かつ高品質のものが追求されていたので漏電しゃ断器に最も適した専用 IC を開発することにより成果をあげることができた。開発にあたっては次の点を配慮した。すなわち現在は高速形漏電しゃ断器が中心であるが、将来的にはニューサンストリップの防止などを考えると反限時形漏電しゃ断器が、更に系統の地絡保護協調を指向した時延形漏電しゃ断器の発展が十分予測できることから M 54120 P は、これらのいずれの特性も得ることのできる機能を内蔵させた。

4. 1 回路機能

回路構成の概要は図 1. に示すとおり五つの主要ブロックより成る。定電圧電源が IC に内蔵されているので外部電源に定電圧要素を必要とせず簡単な電源回路でよい。漏電しゃ断器の電源電圧の変動は定格電圧の +10%、-20% を考慮してある。増幅回路は入力インピーダンスが高いことと周囲温度特性に優れた差動増幅回路である。時延回路は高速形の場合には特に使用する必要はないが、反限時形や時延形の場合必要に応じて差動増幅器の信号を入力とすることができる。すなわち増幅器の出力端 O_1 及び O_2 (O_1 と O_2 は利得が異なる) と時延回路の E_1 及び E_2 の端子間に適当な定数を選ぶことにより時限回路を構成できるのである。シュミット回路は差動増幅器により増幅された信号が所定のレベルに達するまでは OFF を維持し、所定以上の地絡電流が流れると ON となり外部取出し端 O_s に信号をだす。

4. 2 外装

外装は振動、衝撃など機械的破損から保護するとともに湿度、温度等の環境条件に十分耐えるものであることが必要であることから Dual-In-Line 形のプラスチックモールドパッケージとした。またピン数は IC 内部の各機能を有効に利用するために 14 ピンとした。図 10. に外形を、図 11. に外観を示す。

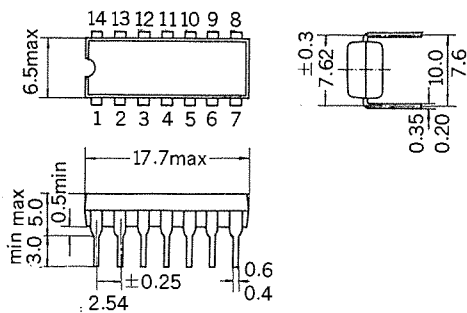


図 10. M 54120 P (プラスチックモールドパッケージ) 外形

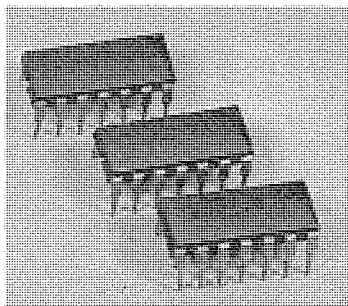


図 11. 漏電しゃ断器専用 IC M 54120 P

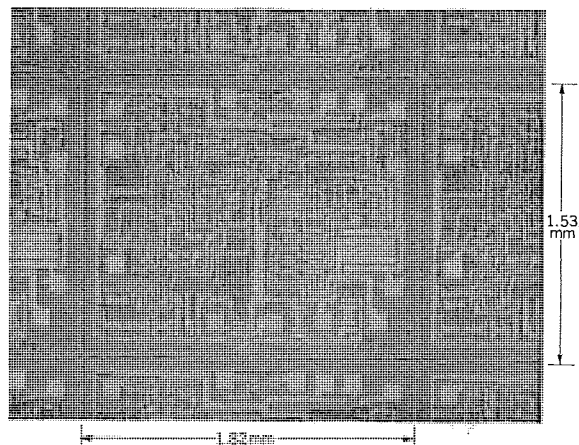


図 12. M 54120 P 内部

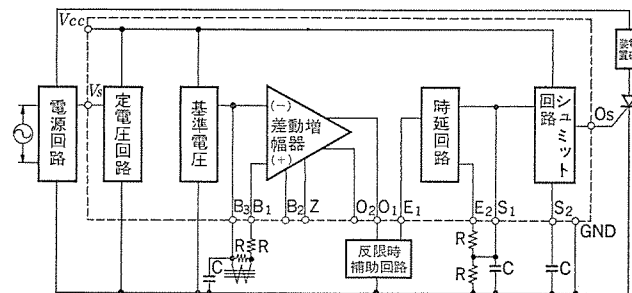


図 13. M 54120 P 応用例 (反限時形)

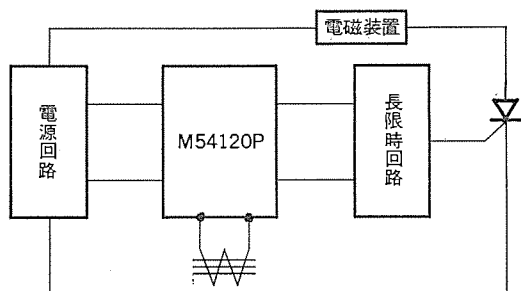


図 14. M 54120 P 応用例 (時延形)

4.3 仕様

M 54120P の主要な仕様は次のとおりである。

電源電圧 (V_s)	18~20 V
基準電圧 (V_{cc})	標準 12.9 V
電源電流	標準 3.4 mA
出力電流	標準 1 mA
ヒステリシス電圧	約 1 V
感度電圧 (シュミットが機能する入力電圧)	約 30 mV

上記の外に特に漏電しゃ断器用 IC として次の特色を有する。

- (1) 差動増幅回路には利得の異なる出力端を 2 個有しているのので目的に応じて使い分けができる。
- (2) 零相変流器よりの信号入力端子にはサージ及びノイズ吸収用の回路を内蔵しているので誤動作や破壊に対して十分な耐量を持っている。
- (3) 定電圧回路や差動増幅回路等の主要機能回路には IC 内に保護回路が構成してあるが、極めて高レベルのサージ対策用としてサージ吸収用の外部コンデンサなどが接続できる端子を有しているのだからサージに対して容易に保護対策がとれる。
- (4) 高速形回路と反限時形回路の双方が一部の外付部品を変更することで容易に得られる汎用性を有している。図 12. に M 54120 P の内部を示す。

4.4 M 54120 P の応用例

M 54120 P の応用例について 1, 2 述べる。外にも応用は可能であ

るがここでは漏電しゃ断器に関連したものをとりあげる。

図 13. は反限時形漏電しゃ断器の回路例である。反限時形の場合には定格感度電流の 4.4 倍の地絡電流までは地絡電流の大きさに応じて時延が短くなることが要求されるので増幅器は少なくともその値まで飽和してはならない。そこで差動増幅器 O_1 の端子を用いて反限時補助回路、時延回路の構成で反限時特性を得ることができる。図 15.

にその動作曲線を示す。

図 14. は時延形への応用例である。時延の時間が

短い場合には IC 内蔵の時延回路を利用することもできるが、時延回路の前端に比較器がないので反限時の傾向を示すので比較的長い時延を確実に得るにはシュミットでレベル比較を行い、シュミット回路の信号を受けて時延回路を組むと安定する。

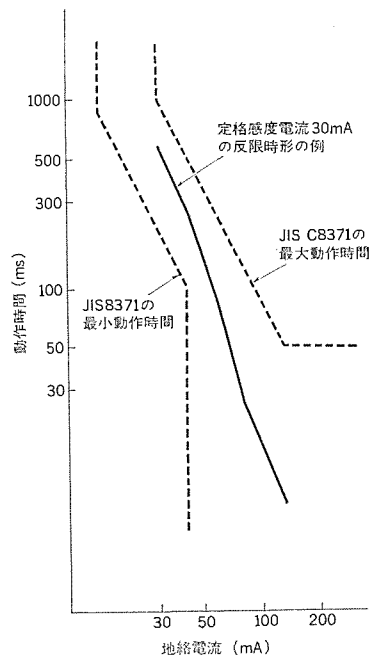


図 15. 反限時形動作特性例

5. む す び

漏電しゃ断器の普及とともに使用環境も複雑かつ厳しくなる。また漏電しゃ断器の効果が使用者の方々に認識されはじめ、電気の特権家が常駐していない場所へも広く使用されているので、漏電しゃ断器の信頼性は一段と高いものへ関心が集まってきている。すなわち故障したら取替えればよいというのではなく故障せず長寿命を保証できる製品が、使用場所のいかなを問わず人命保護を目的とする漏電しゃ断器にとっては特に大切なことである。従来の電子回路部に代えて専用 IC の開発とその実用化により一段と漏電しゃ断器の品質と信頼性の向上をはかることができた。同時に専用 IC を用いれば反限時形の実用化も可能となった。ここに発表した IC 漏電しゃ断器が需要家各位の参考になれば幸いである。なお、種々協力いただいた関係者各位に深く謝意を表する。

1. ま え が き

低圧回路の特徴は電流が大きく電圧が低いことで、そのため低圧回路の事故では過電流による回路や機器の焼損、短絡事故などが多く保護の重点も過電流しゃ断、短絡しゃ断にあった。また昭和45年ごろから労働安全の立場より感電防止用漏電しゃ断器の普及が目ざましいが、これは末端に設置しないと有効な保護が行われにくいことが指摘されている。したがって電源側に近い主回路では地絡保護が行われていないのが普通である。しかるに実際の電源側の事故としては地絡事故が多く、最近の400V配電の普及、低圧側での力率調整のコンデンサ設置等による低圧側サージの発生機会の増加はこれに拍車をかけている。我が国における接地工事の状況から零相インピーダンスはかなり大きく地絡電流もおおむね1,000A以下のものが多く、主回路の過電流しゃ断器を動作させるに至らない。しかしこれがためかえて地絡しゃ断が行われず、長時間のアーク地絡によって機器や装置に重大な損害を与えた事故例も多いものと考えられる。更に短絡事故、特にアークによる短絡事故の多くは地絡発生（サージによるアーク地絡）が発生誘因になっていると見られる。

本文では主回路の地絡保護になくはならない「時延形漏電リレー」について最近の技術進歩の成果を合わせて紹介する。

2. 地絡事故の種類

地絡事故はその原因から分類すると、絶縁劣化による漏電、サージ電圧による空間の絶縁破壊（アーク地絡）、金属地絡に分けられるが、いずれの場合も放置すれば感電事故、機器や回路の焼損、火災に至る。このうち比較的ひん度が高く保護がむづかしいのがアーク地絡であり、相間短絡事故に至る確率も高い。また回路の状態や周囲条件によっては異常電圧の発生に伴う絶縁破壊、零相大電流による信号・通信線への誘導障害、電食などさまざまな障害を引き起こす。表1.は地絡電流の大きさによりその被害状態を想定したものであり、この表に見られるようにアーク地絡は電気設備に及ぼす被害も大きく、その発生のメカニズムが複雑で原因追求もむづかしいが、多くの場合回路に発生するサージ電圧等の異常電圧がその誘因となっている。近年末端回路には労働安全上高感度漏電しゃ断器が普及し

表 1. 地絡事故による災害の種類

種 類	現 象	地絡電流の大きさ
感 電 災 害	人身が直接電路又は機器の導電部に触れたり、電動機等の絶縁劣化によって電圧が誘起しているフレームに触れ、電流が人体を通過して地絡電流が流れる	死に至る電流は数十mA以上
火 災	電線の建物貫通部の絶縁が劣化し、メタルラス等の細い、発熱しやすい導電体を通して地絡電流が流れ、導電体が加熱され、建造物が発火する	火災に至る電流は数A以上
アークによる機器の焼損	電路や機器の絶縁が局部的に破壊され、大きな地絡電流が流れると、ほとんどの場合アークが発生し、機器を焼損する	アークが発生する電流は数百A以上

たが、主回路におけるアーク地絡の被害を防止又は軽減するには、主回路に時延形漏電しゃ断器を設置するのが最もてっとり早く、またその感度電流もたかだか数A以下のもので十分効果的である。この場合高速形の一般品でもよいのであるが保護協調上時延形のもののほうがより望ましく、その有効性について次に述べる。

3. 時延形漏電しゃ断装置の必要性

地絡保護装置としては、地絡電流を検出して電路をしゃ断する漏電しゃ断装置が労働安全衛生規則、電気設備技術基準により設置が義務づけられたこともあって急速に普及している。

この漏電しゃ断装置には漏電検出部としゃ断機構を併せもった漏電しゃ断器と、漏電を検出して電氣的信号を発するだけで、ノーヒューズしゃ断器、電磁開閉器などのしゃ断装置と組合せてはじめて漏電しゃ断装置として目的を達する漏電リレーがあり、検出する地絡電流の大きさ（感度電流）、電路をしゃ断する時間（動作時間）により表2.のような種類がある。

感電・火災保護のできる高速高感度形漏電しゃ断装置を設置することが地絡保護の立場からは理想的であるが、これを幹線に使用するとニューサントリップ（誤動作）したり、末端回路で地絡事故があった場合にも全停電してしまうなどの問題が生じる場合があるから、設置に当たって十分検討する必要がある。

3.1 常時漏えい（洩）電流

電路には大地との間に静電容量、絶縁抵抗が存在し、これにより常時漏洩電流が流れている。この大きさは電路の長さや配線方法により異なり、一般の木造住宅では1mA以下であるが、大きなビルや工場になると数十mA～数百mAに達する場合がある。図1.はある超高層ビルの電気系統図を、表3.にその電路の漏洩電流を測定した結果を示す。

この常時漏洩電流の測定方法は図1.のように電路に零相変流器をそう入する方法、図2.のように開閉器をOFFにし、開閉器の負荷側の接地側電線以外を短絡し、電源側の電圧線と負荷側の間に電流計を入れて測定する簡易的方法とがある（この方法は図2.の結線であると実際より若干大きな値がでる）。

また漏洩電流の概略値を計算するために表4.に600Vビニル電線を1km配線した場合の漏洩電流を計算した例を示す。

以上のように幹線に漏電しゃ断装置を設置する場合には電路の常時漏洩電流が大きいので、一般的には定格感度電流を200mA、500mA又はそれ以上を選定する必要がある。

電気設備技術基準第14条（2項）によると低圧回路の漏洩電流は最大供給電流の1/2,000以下にしているから、定格感

表 2. 市販されている漏電しゃ断装置の種類

保 護 目 的	種 類	定 格 感 度 電 流	動 作 時 間
感 電 ・ 火 災 保 護	高速・高感度形	15, 30 mA	0.1 秒以內
	高速・中感度形	200, 500, 1,000 mA	
火 災 保 護	時 延 形		

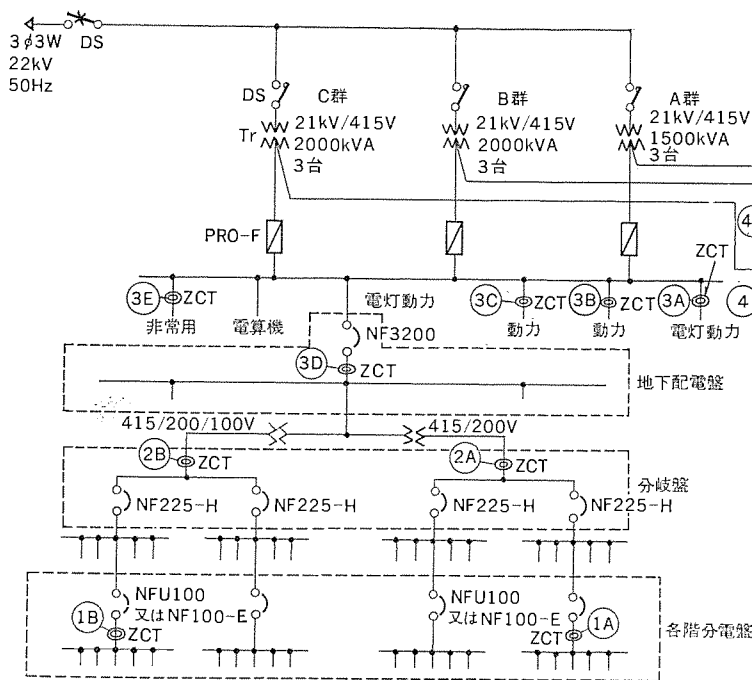


図 1. 超高層ビル の概略電気系統図 (必要箇所のみ)

表 3. 超高層ビルにおける電路の漏洩電流

盤	測定所	漏洩電流 (mA)	盤	測定所	漏洩電流 (mA)
分電盤	1A	3.5	電灯・動力用配電盤	3A	100
"	1B	1.4	"	3B	55
"	1A	3.1	"	3C	47
"	1B	1.0	"	3D	100
"	1A	2.2	"	3E	0
"	1B	14.5	"	4A	52.0
分岐盤	2B	9.0	"	4B	68.0
"	2B	3.0	"	4	130.0
"	2B	0.8			
"	2A	20.0			
"	2B	25.0			

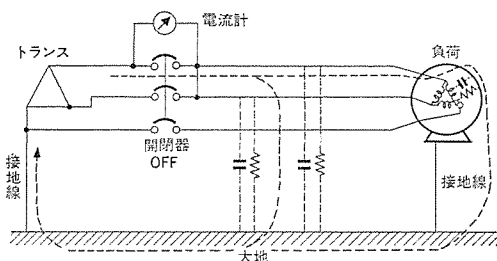


図 2. 漏洩電流の簡易測定方法

表 4. 600 V ビニル電線で 1 km 配線した場合の漏洩電流の計算例

配線工事 電線サイズ	配線電圧	鉄筋コンクリート建内のビニル管配線工事		金属管配線工事	
		200V(Δ結線)	400V(Y結線)	200V(Δ結線)	400V(Y結線)
8 mm ² 以下		1.29 mA/km	0.90 mA/km	99 mA/km	69 mA/km
14		1.42	0.99	109	76
22		1.55	1.09	119	83
38		1.74	1.22	134	94
50		1.96	1.37	151	106
80		2.20	1.54	169	118
100		2.45	1.72	189	132
150		2.70	1.89	208	146
250		3.14	2.20	242	169
325		3.28	2.30	252	176
500		3.69	2.58	284	269

表 5. 漏洩電流を供給電流の 1/2,000 以下にするための定格感度電流

最大供給電流	漏電しゃ断装置の定格感度電流
400 A	200 mA
1,000 A	500 mA
2,000 A	1,000 mA

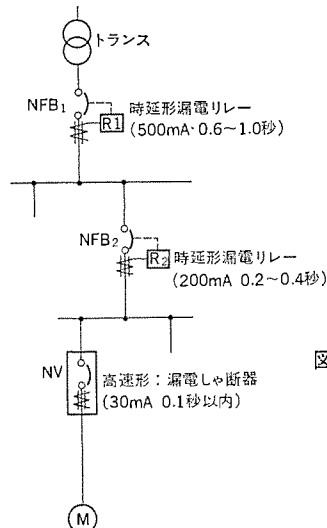


図 3. 地絡保護協調と漏電しゃ断装置の設置例

度電流を表 5. のように選ぶと漏電しゃ断装置が常時対地絶縁抵抗を監視してくれるので、動作したときだけ電路を点検すればよいことになり省力化が期待できる。

3.2 地絡保護協調

末端回路で地絡事故があるたびに幹線の漏電しゃ断装置が動作したのでは他の健全回路も停電してしまい、給電の信頼性が問題である。図 3. は漏電しゃ断装置を設置した電路の一例である。末端の分岐回路には人が電気機器に触れる機会が多く感電の危険性が高いので、感電保護の目的で高速高感度形漏電しゃ断装置 (定格感度電流 30 mA, 動作時間 0.1 秒以内) を設置し、幹線には幹線の火災保護及び分岐回路のバックアップの目的で時延形漏電しゃ断装置を設置してある。

この幹線に高速高感度形漏電しゃ断装置を設置したとすると、検出する地絡電流値が同じのため分岐回路で地絡事故が起きると幹線の漏電しゃ断装置も動作してしまう。

このためまず幹線の漏電しゃ断装置の感度電流は分岐の漏電しゃ断装置より大きいことが必要である。ではこれで十分であろうか。図 4. に高速高感度形漏電しゃ断装置 (定格感度電流 30 mA, 動作時間 0.1 秒以内) 及び高速中感度形漏電しゃ断装置 (定格感度電流 500 mA, 動作時間 0.1 秒以内) の動作時間特性を示す。これらの特性から判断すると分岐回路に接続された電気機器の絶縁が経年変化し地絡電流が徐々に増大した場合に分岐回路の高速高感度形漏電しゃ断装置が早く動作し、他の健全な回路の停電はないので問題ないが、1 線地絡事故などのように瞬時に 500 mA 以上の地絡電流が流れた場合には両方の漏電しゃ断装置が動作するおそれがある。このために幹線の漏電しゃ断装置の動作時間も遅らせる必要がある。

以上のように高速高感度形漏電しゃ断装置に対し感度電流を大きくし、動作時間を遅らせたのが時延形漏電しゃ断装置で、これを幹線に設置することにより地絡保護協調がとれる。図 5. は図 3. の電路接続図にもとづく各漏電しゃ断装置の動作特性を示す。各特性とも重なったところがないことが分かるであろう。ここでもう一つ

大切なことは幹線の時延形漏電しゃ断装置 $[R_1, R_2]$ がたとえ数十 A の地絡電流が流れても動作しない最小の動作時間（慣性不動作時間）が分岐の漏電しゃ断器 $[NV]$ の動作時間以上でなければならない（図 5. の中で点線で示した特性）ことである。

3.3 給電の信頼性

幹線の地絡保護をすることは大切であるが、漏電しゃ断装置がたびたび動作したのでは給電の信頼性がなく実用上問題となる。この点

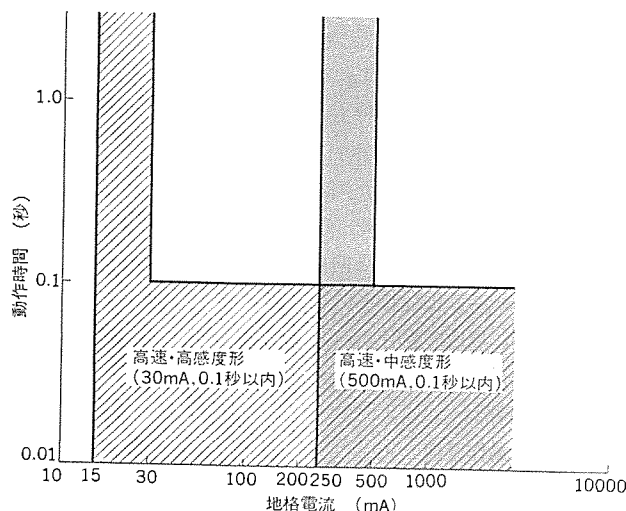


図 4. 高速形漏電しゃ断装置の動作時間特性

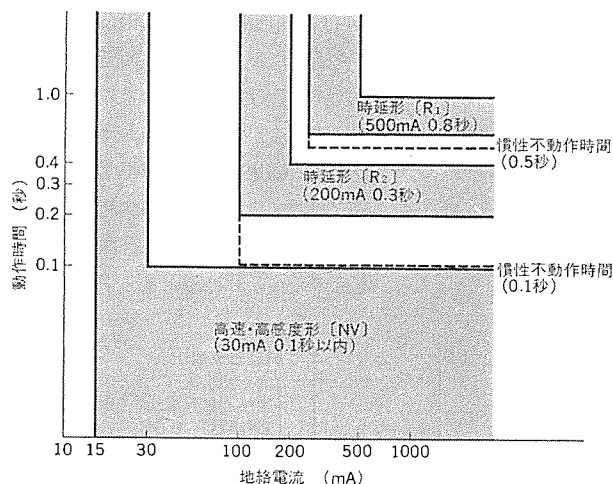


図 5. 図 3. の各漏電しゃ断装置の動作時間特性

時延形漏電しゃ断装置は高速形漏電しゃ断装置に比べて次に述べるような特長がある。

(1) 前述のように高速高感度形漏電しゃ断装置より定格感度電流が大きく、動作時間が遅いから、分岐の漏電しゃ断装置と地絡保護協調がとれる。

(2) 特性上からはたとえ数十 A の地絡電流が慣性不動作時間以内流れても動作しないから、電路において瞬間的な地絡電流が流れても動作する心配がない。

(3) また後述のように動作時間を遅らせる時延回路をもっているため高速形漏電しゃ断装置に比べて対サージ性能、平衡特性が優れているから、誘導雷、開閉サージ又は電動機、変圧器、溶接機などの始動時の突入電流により誤動作する心配がない。

以上のように高速形漏電しゃ断装置に比べて給電の信頼性が非常に高いので、幹線の地絡保護用としては時延形漏電しゃ断装置を使用されることを推奨する。

4. 三菱時延形漏電リレーの概要

三菱時延形漏電リレーには既に発表しているように、定格感度電流及び動作時間が固定式の時延形漏電リレーを製作しているが、この度、多段の地絡協調の可能な定格感度電流及び動作時間が切換式の時延形漏電リレーを試作し、種々の性能試験を行ったのでその結果を紹介する。

4.1 仕様と特長

定格感度電流及び動作時間が固定式と切換式の時延形漏電リレーの仕様を表 6. に、外観を図 6., 図 7. に示し、その主な特長を次に述べる。

4.1.1 固定式時延形漏電リレーの特長

(1) NV-ZB 形、漏電リレーと同一外形寸法であり、リレー本体がコンパクトで取付面積が小さく盤や箱に内蔵するのに最適である。

(2) 取付ピッチは三菱制御用継電器 SR シリーズ (SR 形電磁継電器, SR 形タイマ, SR 形リードリレー) と全く同一である。

(3) 零相変流器は電線貫通穴 15~100φ までシリーズ化し、三相 3 線式の場合 30~1,000 A 回路の広範囲に使用できる。

(4) 制御電源を別電源又はしゃ断装置の電源側からとると、漏電表示灯が点灯する。また、制御電源をしゃ断装置の負荷側からとるとして回路をしゃ断すると同時に制御電源も切れるようにすると自動リセットするので操作が簡単になる。

表 6. 三菱時延形漏電リレー仕様一覧

種 類	ZCT の貫通穴径 (mm)	三相 3 線の通電容量 (A)	相・線式	定 格 電 圧 (V)	感 度 電 流 (mA)	動 作 時 間 (秒)	慣性不動作時間 (秒)	定 格 過 電 流 (kA)	内蔵接点構成及び定格
固 定 式	15	33	単相 2 線 単相 3 線	100/200 (切換) 400 (固定)	500 (固定)	0.15~0.5 (固定)	0.1	100 (せん頭値)	1c 連続通電電流 5 A しゃ断電流容量 (PF: 0.4) AC 100 V 2.5 A AC 200 V 2 A DC 30 V 2 A
	30	135							
	40	260							
	60	560							
	80	760							
	100	1,140							
切 換 式	15	33	三相 3 線 三相 4 線	100/200 (切換) 200/400 (切換)	200/500 (切換) 500/1,000 (切換)	0.2~0.4/0.6~1.0 (切換)	0.1/0.5	100 (せん頭値)	1a, 1c 連続通電電流 7 A しゃ断電流容量 (PF: 0.4) AC 200 V 7 A AC 400 V 2 A DC 30 V 6 A DC 200 V 0.3 A
	30	135							
	40	260							
	60	560							
	80	760							
	100	1,140							

注) 通電容量は 600 V 架橋ポリカーポル単心 (CV) で配線したときの許容電流を示す。

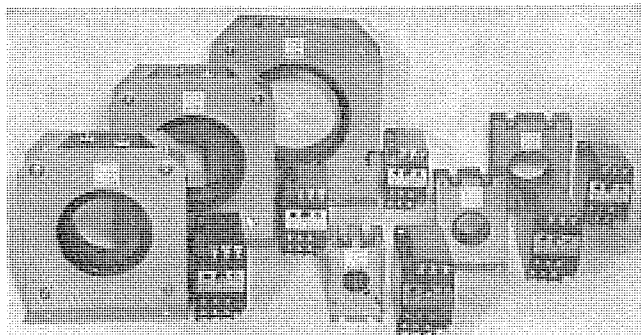


図 6. 固定式時延形漏電 リレー

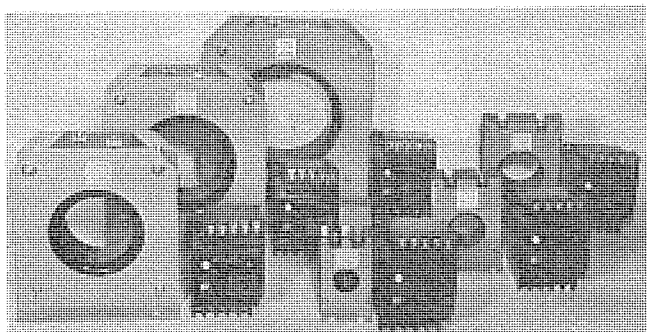


図 7. 切換式時延形漏電 リレー

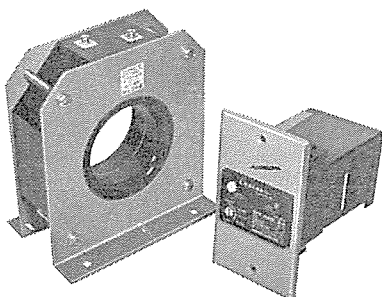


図 8. 切換式時延形漏電 リレー (埋込形)

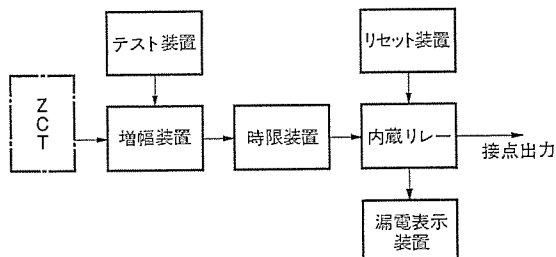


図 9. 時延形漏電 リレーブロック図

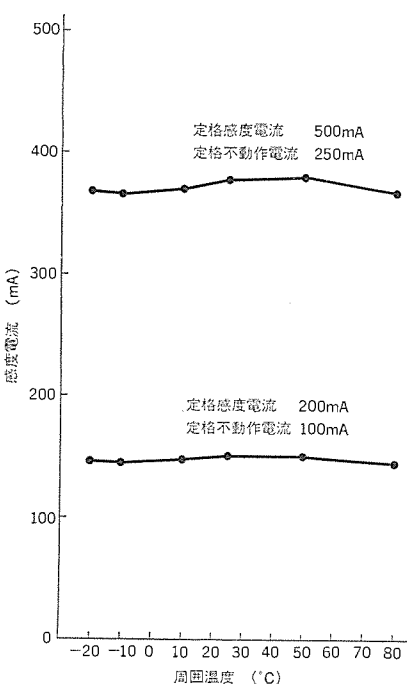


図 10. 切換式時延形漏電 リレーの感度電流 - 温度特性

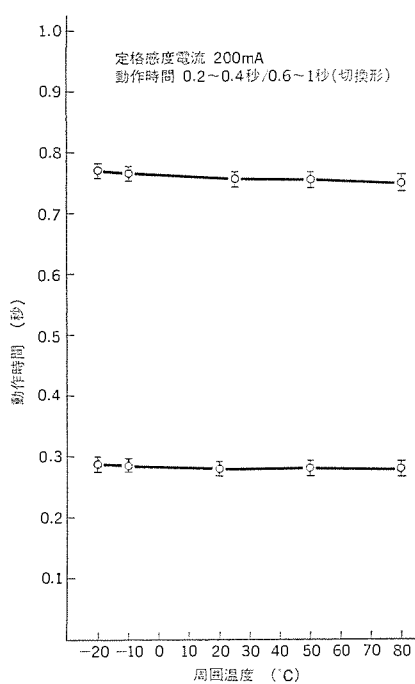


図 11. 切換式時延形漏電 リレーの動作時間 - 温度特性

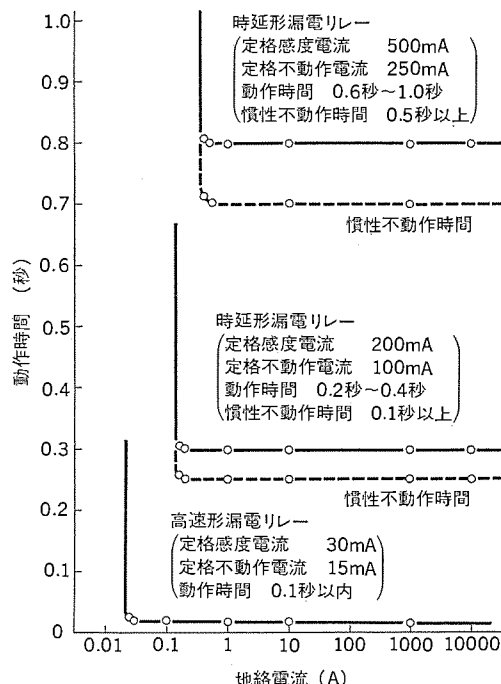


図 12. 切換式時延形漏電 リレーの動作時間特性

(5) 慣性不動作時間が 0.1 秒なので、高速形漏電しゃ断装置（動作時間 0.1 秒以内）との協調がとれる。

4. 1. 2 切換式時延形漏電リレーの特長

(1) 内蔵接点の定格容量が大きいので、AC 400 V 用あるいは DC 200 V 用回路にも使用できる。

(2) 内蔵接点は 1 a, 1 c 付なのでノーヒューズしゃ断器や電磁開閉器を組合せて動作させると同時に別の警報回路、その他の制御回路が構成できる。

(3) 漏電表示装置は機械式であり、動作後制御電源が切れても漏電表示は残り地絡箇所の発見が容易である。リセット操作はリセットボタン（漏電表示兼用 ボタン）を押すことにより、リセットできる。

(4) 定格感度電流と動作時間が連動して切換わるので、1 個の切換スイッチを操作することにより簡単に設定でき、多段の地絡保護協調がとれる。

(5) NV-ZB 形漏電 リレー と同じように、零相変流器は貫通穴 15 ~ 100 φ までシリーズ化している。

(6) 表面形、埋込形兼用 リレー である。表面形 リレー にフラッシュプレート（表面取付板）を取付けると簡単に埋込形となる。埋込形の外觀は図 8. を参照。

4. 2 構造と動作原理

三菱時延形 リレー は図 9. の ブロック 図に示すように、零相変流器、増幅装置、時限装置、内蔵 リレー、テスト 装置、漏電表示装置、リセット 装置から構成されている。時延形漏電 リレー は高速形漏電 リレー に時限装置を付加した構成になっている。時延形漏電リレーの動作原理は電路が健全な場合往路電流と帰路電流が等しいため、零相変流器に発生する磁束は互いに打消し合って零相変流器の 2 次側に電圧は誘起されないが、電路に地絡が発生すると往路電流と帰路電流のベクトル和は零とならず、大地を通

って流れる地絡電流により、零相変流器に磁束が発生し、2次出力として電圧が誘起される。地絡電流が数百mA流れたときの2次誘起電圧は数十mV～数百mV程度である。この微小信号を増幅装置で次段の時限回路を動作させるのに十分な大きさの信号を増幅する。時限回路は抵抗(R)とコンデンサ(C)の積分回路により構成されている。零相変流器の微小信号を増幅した交流信号はRC積分回路に加えられ、一定の時間積分回路は充電され、設定時間が過ぎるとスイッチング素子を動作させる信号を出し、スイッチング素子に連結している内蔵リレーを駆動する。外部にはこの内蔵リレーの接点信号がでている。また動作すると、それに連動し、固定式時延形漏電リレーでは表示灯が点灯され、切換式時延形漏電リレーではリセットボタンが突出する。

4.3 特性と性能

三菱時延形漏電リレーはノーヒューズしゃ断器などと組合せて使用される関係上種々の特性・性能が要求される。

次に切換式時延形漏電リレーの諸特性・性能を述べる。

4.3.1 温度特性

周囲温度による感度電流変化は電子部品の温度特性、零相変流器の出力変化により左右されるが、熱感応素子を使用して温度補償回路を構成し、零相変流器の出力変化に応じた温度補償がなされているため、常規使用状態として考えている $-10\sim+50^{\circ}\text{C}$ の範囲における感度電流変化は小さい。周囲温度変化による感度電流の特性の一例を図10.に示すが、 $-10\sim+50^{\circ}\text{C}$ の範囲では変化幅が非常に小さく、 $-20\sim+80^{\circ}\text{C}$ の範囲においても実用上の問題はないと考えられる。しかし電子部品の寿命、配線されるビニル電線の耐熱性を考えて 50°C 以下で使用することが望ましい。周囲温度による動作時間の特性の一例を図11.に示すが、電子部品の温度変化を考慮して電子回路を構成しているため変化幅は小さく $-10\sim+50^{\circ}\text{C}$ で数%である。

4.3.2 地絡電流-動作時間特性

地絡電流と動作時間の関係を図12.に示す。三菱時延形漏電リレーの動作時間は地絡電流の大きさにかかわらず、ほぼ一定となっているし、慣性不動作時間もほぼ一定になっている。このため定格感度電流と動作時間を適当に選択することにより完全な地絡保護協調が得られる。

また図12.には高速形NV-ZBの地絡電流-動作時間の特性を参考として記載している。これにより3段階の地絡保護協調回路を構成することができるが分る。

4.3.3 過電流特性・平衡特性

零相変流器の1次導体に、短絡電流のような異常な過電流が流れた場合、その電磁反発力による零相変流器の損傷、異常な誘起電圧による電子回路の破壊等が考えられるが、零相変流器のケースは強化プラスチックで構成されその側面を鉄製の側板で強固に補強しており、100kAの過電流に耐える構造になっている。また電子回路の入力部にはサージ吸収素子を使用しており、過電流による影響が電子回路部に及ばない構成となっている。平衡特性は零相変流器のサイズにより異なるが通電容量の15～20倍の平衡不動作電流をもち、ノーヒューズしゃ断器の瞬時動作領域は定格電流の7～15倍であることから判断して、時延形漏電リレーを組合せても問題ない。また、この平衡不動作電流は高速形漏電しゃ断装置より相当大きいので、電動機、変圧器、溶接機などの始動時の突入電流により誤動作する心配がある場合には三菱時延形漏電リレーを使用するとよい。

4.3.4 耐サージ特性

一般にサージは雷サージ等系統から侵入するものと電磁開閉器、ノーヒューズしゃ断器などで負荷電流をしゃ断したり、投入時のチャタリングで発生する開閉サージ等自己及び近接機器より侵入するものがある。雷サージに対しては電子回路が破損しないことはもちろん誤動作もしない対策がなされている。開閉サージに関しては電路には対地静電容量があり、常時漏洩電流があると発生する開閉サージは非常に大きな値となる。例として、図13.のような回路で定常電流値 I_0 と過渡電流値 i の比を求めてみる。なおこの回路は22mm²の電線50mの往復電路に相当する。図13.(b)の i_m 、 τ_0 の計算式は次式で与えられる。

$$i_m = \frac{\sqrt{ZE}}{\sqrt{\frac{L}{C}}} = \frac{R}{\sqrt{(4L/C) - R^2} \arctan \frac{\sqrt{(4L/C) - R^2}}{R}}$$

$$\tau_0 = \frac{ZL}{\sqrt{4L/C - R^2} \arctan \frac{\sqrt{(4L/C) - R^2}}{R}}$$

これらに図13.(a)の数値を入ると

$$i_m = 1.26 \text{ A} \quad \tau_0 = 3.5 \mu\text{s} \text{ となる。}$$

図13.(a)の定常漏洩電流 I_0 は $R \ll \frac{1}{\omega C}$ 、 $\omega L \ll \frac{1}{\omega C}$ であるから

$$I_0 = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \approx \omega C E = 0.754 \text{ mA}$$

$$i_m/I_0 = 1,670 \text{ となる。}$$

この例で分かるように対地静電容量が0.01μFで漏洩電流0.76mAしか流れていない電路でも電路条件によっては1.26A(1,670倍)も流れることが分かる。このように対地静電容量は開閉サージに大きな影響を及ぼすので定格感度電流の選定にあたっては対地静電容量による漏洩電流を考慮に入れなければならない。三菱時延形漏電リレーにはサージ吸収回路、時限回路を内蔵しているので耐サージ性能が非常によいから、上記の開閉サージはほとんど吸収し、誤動作には至らない。時延形漏電リレーのサージ吸収能力の限界を得るため、図14.に示す連続サージ試験を行った。

試験方法は負荷電流をいろいろ変化させながら抵抗R(対地絶縁抵抗に相当)、又はコンデンサC(対地静電容量に相当)により漏洩電流を流した状態で電磁開閉器を1秒間に16回入、切し連続的に2,000

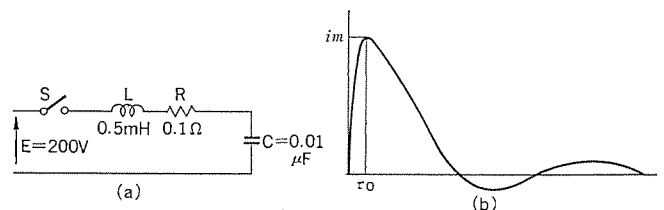


図13. コンデンサ投入電流

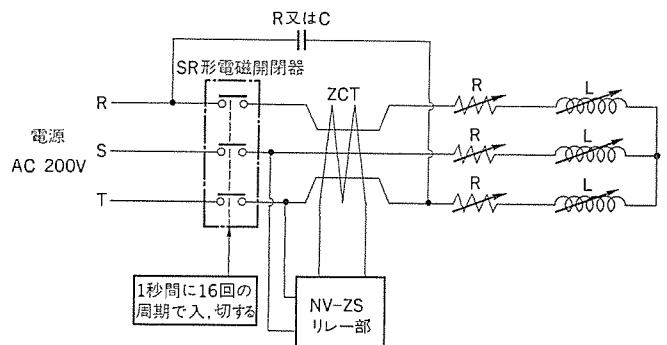


図14. サージ試験回路

表 7. 漏洩電流 - 定格感度電流選定表

漏 洩 電 流 mA		定 格 感 度 電 流 mA
高 速 形	時 延 形	
20	40	200
50	90	500
100	180	1,000

～3,000 V のサージを発生させ、誤動作しない漏洩電流を求めた。試験結果によると対地絶縁抵抗による常時漏洩電流が定格不動作電流値（保証している動作しない最小の地絡電流値で、定格感度電流の 50 %）でも誤動作することはないが、対地静電容量による常時漏洩電流がある場合は発生するサージが非常に大きくなるため、絶縁抵抗による漏洩電流に比べて耐サージ性能が悪くなる。表 7. に連続サージ試験により、誤動作する心配のない対地静電容量による常時漏洩電流と定格感度電流選定の一覧表を示す。表には比較のため高速形漏電リレーの試験値も記載しているが、時延形漏電リレーのほうがサージ吸収能力が大きいため高速形漏電リレーよりも誤動作しない漏洩電流の値が大きくなることが分かる。

時延形 NV-ZS は表 7. によると定格感度電流は常時漏洩電流の約 5 倍に選定すれば、サージに対し誤動作する心配はないが、実用の回路においては漏電リレーへ 2,000～3,000 V のサージが 1 秒間に 16 回の繰り返し周期で進入することはまれであるので、ビル、工場などでは定格感度電流は常時漏洩電流の 2～3 倍の値に選定すればよいと思われる。なお漏電リレーには誘導線など単発のサージが侵入する場合があるので、三菱時延形漏電リレーは JIS に規定されている衝撃波耐電圧試験衝撃波不動作試験（6 kV の正負単発サージ電圧印加試験）を行い、電子回路部、その他の機構部に異常がなく、誤動作もしない性能を有することを保証している。

5. 使用例

地絡保護装置として時延形漏電リレーを使用するほうが高速形漏電リレーより有利な場合は

- (1) 幹線にノーヒューズしゃ断器などと組合せて設置して分岐の漏電しゃ断装置との地絡保護協調をとる場合
 - (2) 負荷までの回路長が非常に長いなどして誤動作の心配がある場合
 - (3) 回路をしゃ断しては困るので警報だけを出したい場合
- などがある。以下にこれらの点について三菱時延形漏電リレーを使

用した例を述べる。

5. 1 地絡保護協調をとる場合

時延形漏電しゃ断装置としては、当社には表 8., 図 15. のような NV-S・H 形及び NVF 形漏電しゃ断器と、表 6. のような漏電リレーがある。

漏電リレーを使用するほうが便利な例としては次の場合がある。

- (1) 長年の実績で種類が豊富で選定の自由度の大きい三菱ノーヒューズしゃ断器と組合せて回路に最適な方法ができる。
- (2) 既設のノーヒューズしゃ断器に漏電リレーを組合せる場合
- (3) 漏電リレーの零相変流器は盤の裏側に、リレーはとびらに取付けるなどして盤の取付面積を少なくしたい場合

次に切換式時延形漏電リレーとノーヒューズしゃ断器を組合せた接続例を図 16. に示す。地絡電流により内蔵リレーの a 接点が動作し、これに直列に接続されたノーヒューズしゃ断器の電圧引外し装置 (SHT) に電気信号を与えてノーヒューズしゃ断器をトリップさせる。同時に内蔵リレーのもう一つの a 接点信号によりブザーなどによる警報を出すことができる。一方、リセットボタンが突出し漏電表示する。地絡事故回路修復後ノーヒューズしゃ断器を再投入する場合にはまず漏電リレーのリセットボタンを押し、ノーヒューズしゃ断器をリセットして再投入すること。

図 17. は固定式時延形漏電リレーとノーヒューズしゃ断器を組合せた接続例を示す。漏電表示はランプを使用しているので漏電リレーの制御電源を図のようにノーヒューズしゃ断器の電源側からとると地絡事故によりランプが点灯する。リセットする場合はリセットボタンを押すこと。一方制御電源をノーヒューズしゃ断器の負荷側からとると漏電表示ランプは点灯しないが自動的にリセットされるメリットがある。

以上のような三菱時延形漏電リレー、漏電しゃ断器を使用した例を

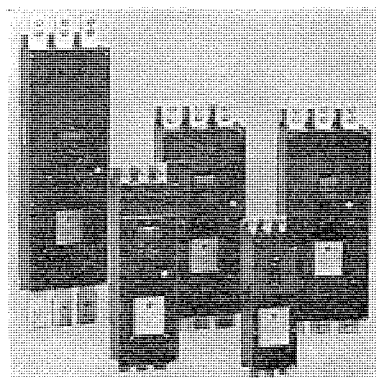


図 15. 時延形漏電しゃ断器 NV-S・H シリーズ

表 8. 三菱時延形漏電しゃ断器仕様一覧

仕 様 \ 形 名		NV100-S	NV100-H	NV225-S	NV225-H	NV400-S	NV400-H	NV600-S	NV600-H	NV800-S	NV800-H	NVF 1000-S	NVF 1000-H	NVF 1200-B	NVF 1200-H
フレームの大きさ (A)		100		225		400		600		800		1,000		1,200	
極 数		3													
定 格 電 圧 (V)		200/415 (切換形)											100/200 (切換形), 415		
定 格 電 流 (A)		15, 20, 30, (40) 50, (60), 75, 100		125, 150, (175) 200, 225		(250), 300 (350), 400		500, 600		(700), 800		1,000		1,200	
定格しゃ断 電流 kA	AC 200 V	20	100	40	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100
	AC 415 V	15	50	30	40	35	50	35	50	35	50	35	50	35	50
定格感度電流 (mA)		500													
動 作 時 間 (秒)		0.15~0.5													
慣性不動作時間 (秒)		0.1													
外 形 寸 法 (mm)	幅	105		140		210		210		210		280		280	
	長 さ	310		417		482		613		613		720		720	
	奥 行	98		136		136		133		184		186		186	

表 9. 図 17. に対する三菱漏電しゃ断装置の適用

記 号	種 類	定 格 感 度 電 流		動 作 時 間	製 作 可 能 な 最 大 通 電 電 流
NV-R ₁	切換式時延形漏電リレー	500 mA	1,000 mA	0.6~1.0 秒	3φ 3 W で約 1,000 A (1 次導体付で 2,000 A)
NV-R ₂	切換式時延形漏電リレー	200 mA	500 mA	0.2~0.4 秒	
	固定式時延形漏電リレー		500 mA	0.15~0.5 秒	
NV ₁	時延形漏電しゃ断器 (NV-SH, NVF)		500 mA	0.15~0.5 秒	1,200 A
NV-R ₃ NV-R ₄	高速形漏電リレー (NV-ZB)	※ 30 mA	200 mA	0.1 秒以内	3φ 3 W で約 1,000 A (1 次導体付で 2,000 A)
NV ₂	高速形漏電しゃ断器 (NV-C)	※ 30 mA	※ 200 mA	0.1 秒以内	400 A
	高速形漏電しゃ断器 (NV-SH, NVF)				1,200 A

注) ※の定格感度電流は機種によっては製作できない場合があります。詳細はカタログを参照願います。

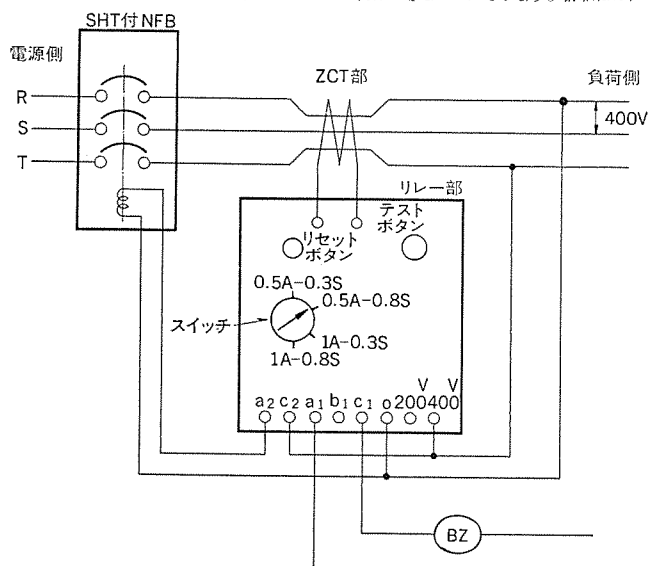


図 16. 切換式時延形漏電 リレー と NFB の接続例

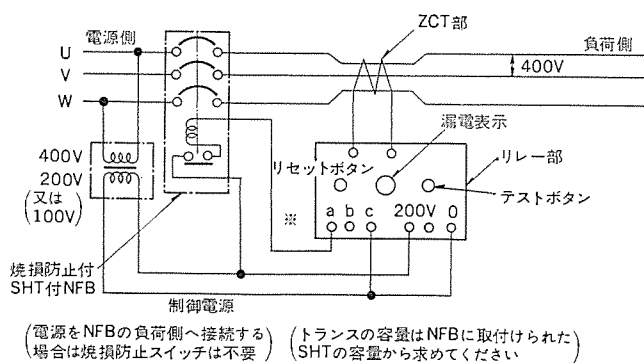


図 17. 固定式時延形漏電 リレー と NFB の接続例

図 18. の電路にもとづいて表 9. に示す。それぞれの動作時間特性は図 4. に示すようになり地絡保護協調がとれる。

5.2 誤動作の心配がある場合

三菱時延形漏電 リレー の性能は高速形漏電 リレー に比較して対サージ性能、平衡特性が優れているから

(1) 負荷までの電路が長くて漏洩電流が多くても表 7. に示すように高速形より誤動作しにくい。

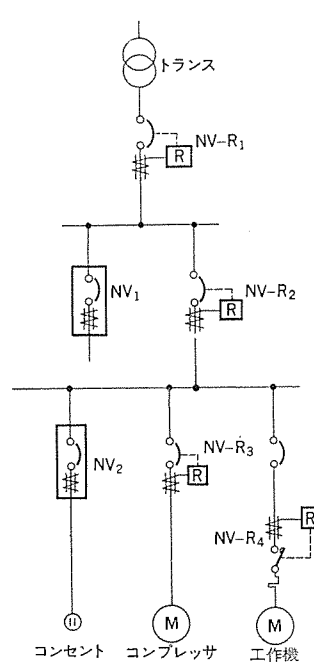


図 18. 漏電しゃ断装置の設置例

(2) 電動機、変圧器、溶接機などの突入電流による誤動作の心配がない。

(3) 電路において瞬間的地絡事故があっても動作する心配がない

など、給電の信頼性が高い。

5.3 警報を出したい場合
地絡事故が起きてもその電路をしゃ断することにより安全上及び生産上の多大な損害を与えるので警報を出したい場合は、警報が出るまでの時間が 0.1 秒でも 1 秒でも実用上の問題はないと思われるので、前述のように誤動作の心配の少ない時延形漏電 リレー のほうがよい。

6. む す び

ここでは低圧電路の幹線の地絡保護に適した時延形漏電 リレー を紹介してきた。これで漏電しゃ断装置に新しい製品がそろい、需要家各位にとって便利になったことと思われる。漏電しゃ断装置の設置はただ単に電気安全のためでなく、人命の保護、電気大災などから財産を守ることに通じるので使用にあたっては十分な保守点検を行う必要がある。

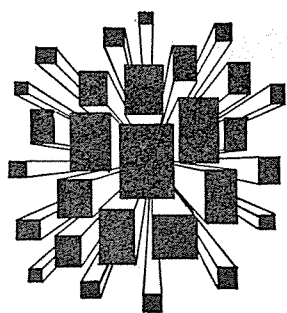
今後更に適用場所の拡大につれて提起されるであろう新しい要求に対する製品の開発に努力し、漏電しゃ断装置の普及に努めたい。

終わりにあたりご協力いただいた関係各位に深謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 通商産業省：電気設備の技術指針
- (2) 武田、河野：三菱電機技報, 47, No. 6 (昭 48)
- (3) 三菱配電機器レポート, No. 10

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1066809	暖冷房機	小原 英一・石塚 幹夫	1067793	多段式反射鏡	八 木 正・古白川信孝
1067118	圧力緩衝装置	板倉 信郎・大 藪 勲	1068051	ミシン	{松本久志・谷口 諄次 市川 昌次
1067119	充電用交流発電機の制御装置	平 田 毅	1069138	監視装置	長町恒資・三谷俊次
1067120	プッシュプル形トランジスタ電動機	藤 井 学	1069139	液体封入形回転電機	{有働 星一・生原春夫 高井一三・生駒 鉄郎 広田秀雄・鳥井睦男
1067121	脱水機	高沢 正二	1069140	位相比較母線保護鎖錠装置	江田 伸夫
1067122	最大需要電力計	相田 利光・桜井五十次	1069141	電気アイロン	小 川 昇・荒 木 勲
1067123	スピーカ	赤松 昌彦	1069142	貫通導体引込装置	山本 慧実
1067124	テープレコーダ用のカウンタ	吉川 英之	1069143	口出線の封止固着構造	{武田克巳・林 正之 元木 義明
1067125	発熱体	{町原義太郎・日比野浩一 近藤 正司・市村伸男	1069144	冷蔵庫	織田隆嗣・西郷 勝
1067126	パネル交換形温水器	馬淵 公作・宮崎 昭信	1069145	扉の両開き装置	田 中 毅
1067127	樹脂封止形制御電極付半導体装置	赤 桐 行 昌	1069146	スプリングクラッチ	清瀬 信吾・木村 英雄
1067128	ドラム回転式洗濯機の定位置停止装置	祖父江晴秋	1069147	線符号座	高江国雄・古賀 信孝
1067129	斜走エレベータの扉装置	新保 松 夫	1069148	電磁接触器の再投入防止装置	瀬戸 正徳
1067130	ダムウェータのかごの戸のしめ忘れ防止装置	兼 松 豊・徳田 泰弘	1069149	電磁開閉器	茂手木良夫・森 光 広
1067131	車両用変圧器	久保田和男	1069150	電磁接触器	長尾 良章
1067132	マンコンベアの手すり装置	若 園 武久・上岡 照雄	1069151	開閉器	長尾 良章・渋川 弘一
1067133	プリント基板接続装置	西谷 芳久・三橋 康夫	1069152	電気部品の接続装置	元木 義明
1067134	棒材のつり上げ用保持装置	成和 敏夫	1069153	端子部固定装置	{町原義太郎・日比野浩一 近藤 正司・市村伸夫
1067135	溶接機の点弧装置	大島 征一・山下 信三	1069154	始動電動機用電磁スイッチ	森 下 瞭
1067136	機関点火時期調整装置	才田 敏和・佐藤 吉信	1069155	冷蔵庫の卵棚装置	小泉 鉄一・戸塚 次郎
1067137	内燃機関点火装置	高橋 一智・日野 利之	1069156	エミッタ・フォロウ回路	岡田 康則
1067138	換気口の風雨防止カバー	林 悦二・千藤 正明	1069157	クラッチモートルにおけるクラッチブレーキ 摩耗調整装置	小林 孝生
1067139	電流検出器	杉 本 弘	1069158	冷蔵庫	西郷 勝・田 中 毅
1067140	引出し形継電器の接続機構	山内 成周・阪上 正幸	1069159	熱処理装置	上田 時芳
1067141	内燃機関点火装置	日野 利之・高橋 一智	1069160	ビレット自動取出し装置	喜多村弘明・浅沼 博
1067142	機関点火用信号発生装置	浅山 喜明	1069161	印刷回路板保持装置	遠藤 正和
1067143	内燃機関点火装置	高橋 一智	1069162	電子部品の成形加工装置	北 村 守・森 田 豊
1067144	プリント基板組体	室野 允良	1069163	冷蔵庫	西郷 勝
1067145	内燃機関点火用信号装置	桃 山 勉	1069164	軸受装置	鈴木 好弘
1067146	カートリッジ保持装置	佐内 幸治	1069165	直接水冷式すべり軸受装置	山 本 明
1067147	接点封入素子装置	山田 健司	1070730	消火液投下装置	宇 川 彰
1067148	シーズヒータ	{日比野浩一・市村伸男 遠藤 清・宇佐美 忠	1070731	考課記録表	{三木彬嗣・山田 博 坂井 雷太
1067149	誘導電動機	前川 善六・高野 博夫	1070732	プラズマジェット発生装置	小村 宏次
1067150	吸排気形換気扇	鈴木 欽三	1070733	エレベータ設備計画用計算尺	長谷川典利
1067151	高周波加熱装置	小林 協三	1070734	電気掃除機	細野 孝雄
1067152	換気扇	穴戸 幸男	1070735	磁気記録再生装置	川辺 貞信
1067153	換気装置	牛越 康徳	1070736	電気掃除機	武井 久夫・加藤 悟
1067154	電止レンジの保護装置	池田 宏司	1070737	スイッチング回路	伯井 俊彦
1067155	超電導コイル装置	八代 睦穂・佐藤 浩司	1070738	電気掃除機のちり落とし装置	加藤 悟・田山 勇
1067789	冷却器	高田 弘明	1070739	防水形ラジオ受信機	洲崎 晃司・和田庄次
1067790	冷却器	石川 喜孝・高田 弘明			
1067791	電気掃除機	武井 久夫・南日 国伸			
1067792	送風機の防音装置	品川 博昭			



特許と新案

遠方監視制御装置 (特許第 759571 号)

発明者 村川 亮 三

最近、遠方監視制御装置は隣接変電所の連絡しゃ断を行うものとして種々の方式が考えられているが、この主目的を満足するとともに反転表示信号によって装置自体の機能をチェックするようにしたものも出現している。すなわち複数の被制御対応機器、個々の対応状態を記憶する記憶回路とこれらの対応状態が変化したことをそれぞれ記憶する記憶回路を設け、これらの記憶状態を制御所でサイクリックに監視し、そのいずれかの記憶状態が連絡しゃ断条件を完成したとき、連絡しゃ断指令を放出する。

一方反転表示試験時にはこれらの連絡しゃ断指令の放出をロックするとともにすべての記憶回路の記憶状態を反転させて装置の機能をチェックするものである。

従ってこのチェックするために反転表示試験中に各記憶回路の記憶状態に反転表示試験によらない連絡しゃ断条件ができたとしても反転試験項目選択を解除し、上記ロックを解かないことには連絡しゃ断指令は放出されない。

この発明はこの不都合を解決したもので、図 1.、図 2. に示すように被制御対応機器の対応状態を示すパルス信号 P11~P13, P21~P23 に、これらの信号を数個あてまとめた群を識別するパルス信号 G1, G2 と監視制御中か反転表示試験中かを示すパルス信号 F1, F2 を付加するようにしたものであり、図 1. は監視制御中のパルス

信号を、図 2. は反転表示試験により反転したときのパルス信号を示している。

すなわち各機器の対応状態をパルス信号 P11~P13, P21~P23 幅の長短で表し、監視制御中か反転表示試験中かをパルス信号 F1, F2 幅の長短でそれぞれ表している。

一方各群の識別はパルス信号 G1, G2 幅の長短で表しており、このパルス信号 G1, G2 幅は反転表示試験に切換えたときも変わらない。このようにこの発明は各機器の状態を表示する信号に反転表示試験中であることを表示する信号を加えたことで速やかに、かつ自動的に連絡しゃ断指令放出を可能としたものである。

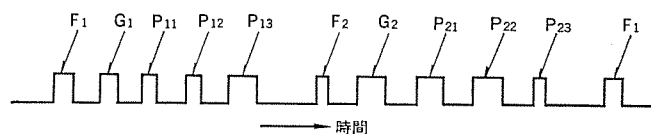


図 1

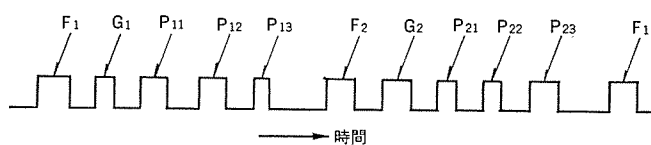


図 2

データブロックのエラー検出装置 (特許第 796606 号)

発明者 山下 陽 司

この発明はデータブロックのエラー検出装置の改良に関するものである。

電子計算機用磁気テープ装置において、磁気テープにデータを記録しようとするとき、磁気ヘッドと磁気テープとが何らかの原因で、分離することにより生ずるデータのドロップアウトまたは記録直前に通常行われる消去動作の阻害による未消去領域の残存を検出し、再生時の障害を減少させたデータブロックのエラー検出装置を提供するものである。

従来行われてきたデータブロックのエラー検出方法においては記録ヘッドと再生ヘッドとの間げき(隙)が定在することによって生ずる記録系と再生系の動作開始から終了に至る時間領域に関して存在する相互関係を定量的に検査することができないという欠点を有していた。

この発明は上記従来の欠点を除去したもので、データの最少単位で

あるビットの複数個を時間的に並列な 1 個のデータのけた(桁)として扱い、上記データの桁の任意の複数個が時間的に直列にかつ連続的に集合したものを 1 個のデータブロックとして扱い、1 個のデータブロックを構成するデータの各桁を 1 桁ずつ逐次記録媒体に記録したのち一定時間を隔てて逐次再生することにより、そのデータが正しく記録されたか否かを検査する機能を具備した記録再生装置において、一つのデータブロックの始端及び終端に関し、それらが記録動作時刻から起算した再生されるべき時間領域を設定する装置と、それらが実際に再生された時刻が上記時間領域内にあるか否かを検定し、もしその領域内に無かった場合、これを検出し、データブロックのエラーとして表示するためのエラー出力回路を有する装置を設けたものである。

同一水系発電所群の自動出力配分装置 (特許第 766466 号)

発明者 小林 倫明・合田 啓二・石井 清隆

この発明は、おのおの調整池を有し、かつ同一水系に直列に存在する複数の発電所の出力を配分する自動出力配分装置に関するものである。

同一水系に複数接続した発電所がある場合、これら発電所群に指令された出力を各発電所に出力配分し、各発電所が協調して出力する必要がある。上記出力配分が適切でなければ、特定の調整池のみの水位が上(下)限に達して発電所群の一括運用に支障をきたしてしまうことになる。

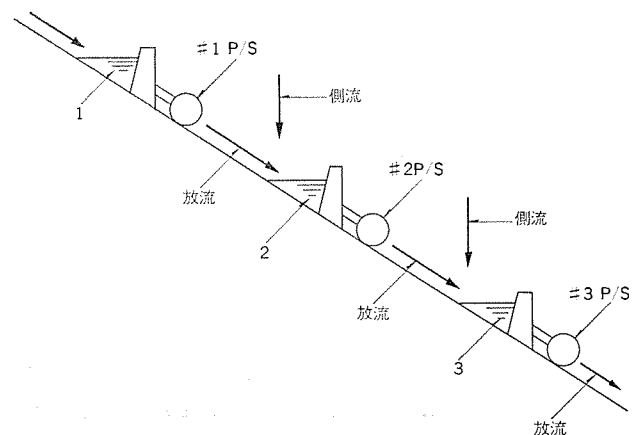
この発明は、このような実情にかんがみてなされたものであり、図はこの発明を適用する対象水系の一例を示している。

以下、図を参照しながら略説すれば、第1発電所(#1P/S)、第2発電所(#2P/S)、第3発電所(#3P/S)の各出力総和は言うまでもなくこれら発電所群に指定された出力でなければならない。そして、この発明の装置は、これら出力の各発電所に対する配分を次のように行う。

すなわち、#1P/Sの出力は第1調整池(1)へ流入する総水量に対応した出力とし、#2P/Sの出力は第2調整池(2)へ流入する、#1P/Sの放流、及び側流を総和した、いわゆる第2調整池(2)に流入する総水量に対応した出力とする。また、#3P/Sの出力は、

#2P/Sの場合と同様に第3調整池(3)に流入する総水量に対応した出力とする。

つまり、各調整池(1)~(3)の流入量に対応して各発電所に出力配分するから、各調整池(1)~(3)の水位をほぼ一定に保ち、発電所群が有効に協調運転できる。



データブロックのエラー検出装置 (特許第 796605 号)

発明者 鈴木 雅弘・山下 陽司

この発明はデータブロックのエラー検出装置の改良に関するものである。

電子計算機用磁気テープ装置において、磁気テープにデータを記録しようとするとき、磁気ヘッドと磁気テープとが何らかの原因で分離することにより生ずるデータのドロップアウト、または記録直前に通常行われる消去動作の阻害による未消去領域の残存を検出し、再生時の障害を減少させたデータブロックのエラー検出装置を提供するものである。

すなわち、データの最少単位であるビットの複数個を時間的に並列な1個のデータのけた(桁)として扱い、上記データの桁の複数個を時間的に直列にかつ連続的に集合したものを1個のデータブロックとして扱い、1個のデータブロックを構成するデータの桁を1桁ずつ逐次記録媒体に記録し、記録媒体に記録されたデータの桁を記録のあと一定時間後に逐次再生し、正しく記録されたか否かを部分的に検査する機能を具備した記録装置において、この発明では、一つのデータブ

ックの始端及び終端に位置するデータの桁のいずれか又は両方をそれぞれの桁の記録時に記録するための貯蔵装置と、上記一つのデータブロックの記録動作が始動されたあと、初めて再生されたデータの桁及び再生系においてあらかじめ定められた一定時間を経過してもなお新たなデータの桁が再生されないことを以って判定される最終のデータの桁のいずれか又は両方がそれぞれ再生されたときに、上記貯蔵装置に記録時に記憶したデータブロックの始端及び終端に位置するデータの桁と比較する装置と、この比較装置においてデータブロックの始端及び終端のいずれか又は両方のデータの桁の内容の完全なる一致が得られない場合にエラー検知信号を発生する装置とを設けるようにしたものである。

これにより、記録ヘッドと再生ヘッドとの間げき(隙)が定在することによって生ずる記録系と再生系の動作開始から終了に至る時間領域に関して存在する相互関係を定量的に検査することができる。

大容量タービン発電機固定子コイルエンド支持系の信頼性と強度

速水 和夫*・河相 成孝*・八木 耕三*・丸山 忠善*・松倉 欣孝**

1. ま え が き

タービン発電機単機容量の増大はめざましく、冷却効果改善など各種技術開発を重ね、その達成に努めてきた。

当社では火力用として 500 MW 機 3 基、600 MW 機 3 基、原子力用として 826 MW 機 3 基を既に納入し、最近 4 極 1,175 MW 機 2 基 (図 1.) を製作完了した。これら大容量機の製作に際しては各種技術成果を十分反映させ、据付中の 3 基を除き全機とも順調に運転中である。

本文ではこれら開発項目の中で固定子コイルエンドに働く電磁力に対する技術成果を対象としてとりあげる。

大容量化にともない、固定子コイルエンドに働く電磁力も飛躍的に大きくなり

(1) 突発短絡時の強大な過渡的電磁力に対する強度

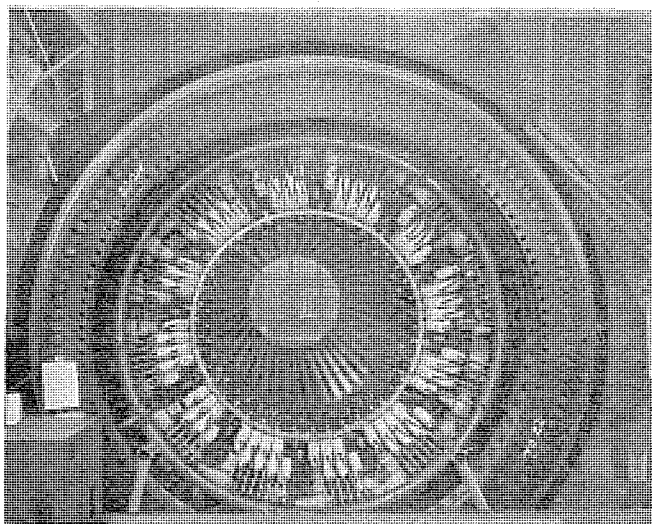


図 1. 原子力用 4 極 1,175 MW タービン発電機の固定子コイルエンド

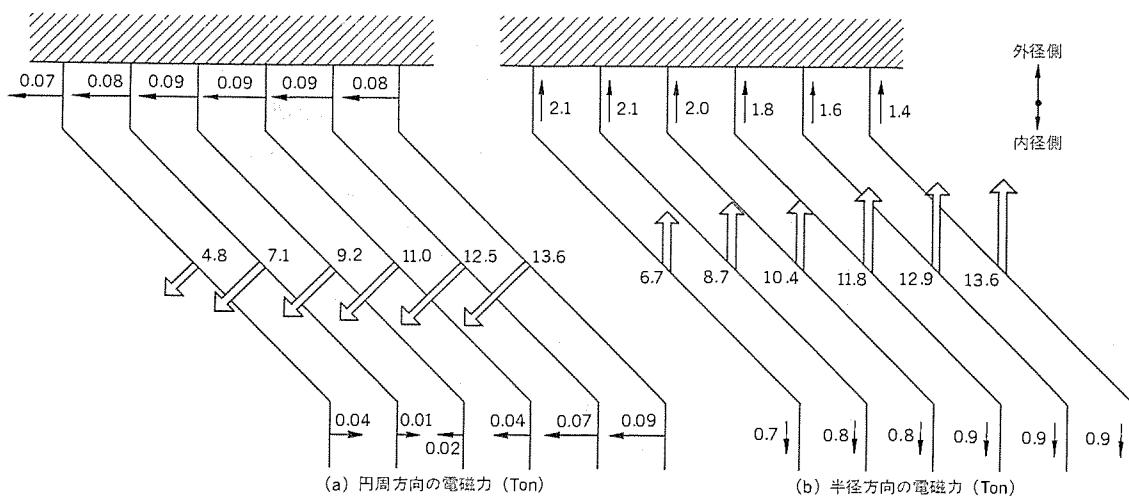


図 2. 670 MVA タービン発電機三相突発短絡時のコイルエンド電磁力

(2) 定常運転時の比較的小さな繰り返し電磁振動力に対する強度が重要な問題となる。約 10 年前に、この問題の研究、開発に着手し理論解析、各種モデル試験、実機試験に引き続き 2 極 600 MW、4 極 1,200 MW の実物大モデル発電機を使った詳細な研究試験により検証した結果、大容量機用コイルエンド新標準方式を確立したので、本文でその研究、開発内容の概要を紹介する。

2. 固定子コイルエンドに働く電磁力

コイルエンド振動挙動を検討する際にはコイルエンドに作用する電磁力を正確にはあく(把握)する必要がある。ここでは、この電磁力の計算手法の概略と計算結果と実測の比較について述べる。

2.1 磁界分布の計算

定常運転時あるいは三相突発短絡時に固定子コイルエンドに作用する電磁力の計算手段としては、既に発表された野村の方法⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾を用いている。この方法においては、タービン発電機の端部領域における磁界分布は、磁気スカラーポテンシャルの概念から誘導されたラプラスの方程式を差分方程式により数値計算することによって算定され、端部領域における鉄体境界のすべてを単純化することなく考慮することができる。

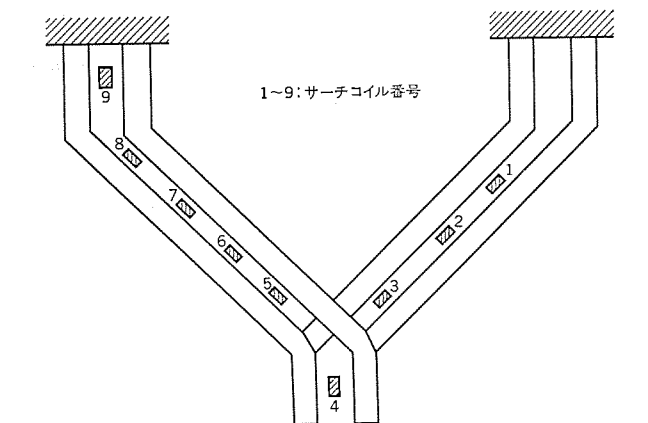
2.2 電磁力の分布

コイルエンドにおける電磁力の分布については、例えば文献(2)に詳述しているが、これをスロット出口直線部、インボリュート部、及び端部直線部に分けて示せば、図 2. のようになる。図 2. は三相突発短絡時の値であり、定常運転時の電磁力は、これらの 1~1.5 % 程度となる。

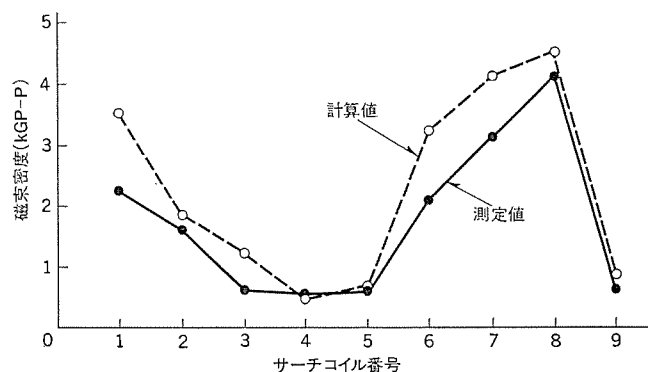
4 極機においては、ポールピッチが小さくポールあたりのアンペアターンが小さいため電磁力は小さい。また 2 極機のコイルエンド振動モードが 4 節点形であるのに対して、4 極のそれは 8 節点形であるために振動振幅も少ない。

電磁力の計算値の検証として、実機のコイルエンドにサーチコイルを取

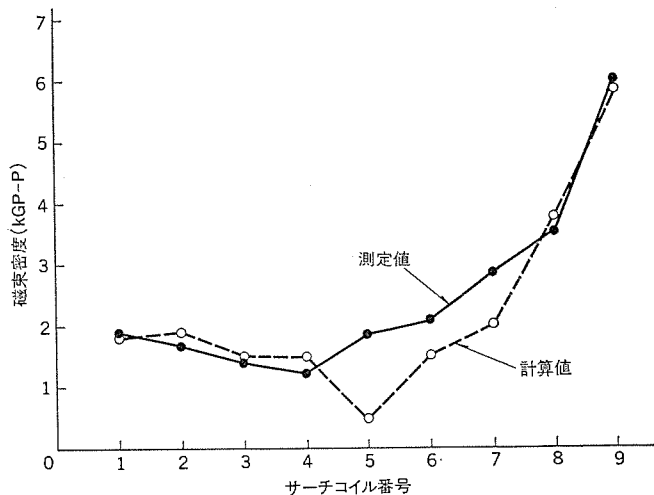
付け、作用する磁束密度を測定する方法を用いた。図 3. は当社の機械で実施した測定の一例であり、計算値と実測値の良好な一致がみられる。



(a) サーチコイル 配置



(b) 半径方向磁束密度分布



(c) 円周方向磁束密度分布

図 3. 224 MVA タービン 発電機 20 % 電圧三相突発短絡時の磁束密度分布

3. コイルエンド支持方式

発電機単機容量の増大にともなう電磁力の急激な増加によって、固定子コイルエンドに要求される強度も大きくなってきた。特に(1)突発短絡時の強大な電磁力に対する強度、(2)定常運転時の繰返し振動に対する強度が重要な問題である。前者の問題に対しては、現在理論解析により電磁力が、かなり正確に把握できるため、構造研究と工場試験における実機の短絡試験データを基にして解決することができる。しかし後者に関しては、発電機の長期運転における信頼性にかかわる問題であるため対策並びに検証が、それほど容易ではない。特に最近この問題が重要視され⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾、文献(7)にも、数台の発電機で、コイルエンド支持系のゆるみに起因して、繰返し電

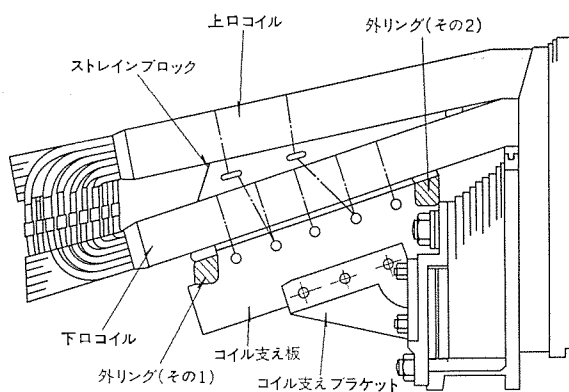


図 4. 中容量機用 コイルエンド 支持方式

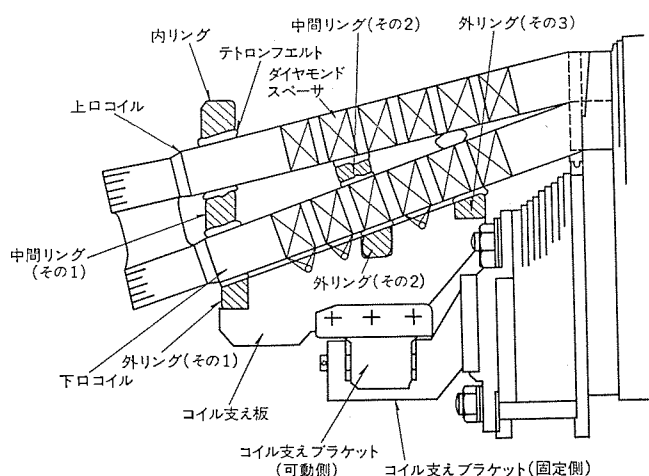


図 5. 新 コイルエンド 支持方式

磁振動力により絶縁が損傷を受け、コイル巻直しを実施した例が報告されている。当社では、各種部分モデル試験、実機計測を基にして大容量機用コイルエンド新標準方式を開発してきたが、最終的に 2 極 600 MW 及び 4 極 1,200 MW の実物大モデル発電機による検証試験を実施し、定常運転時の

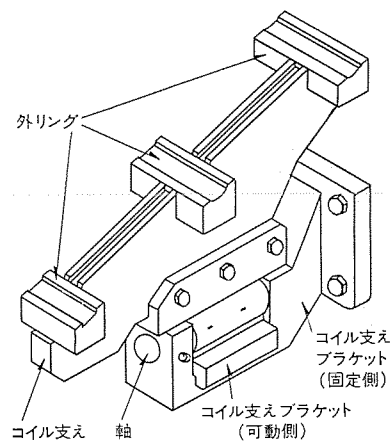


図 6. 軸方向可動機構

電磁力の繰返しに対しても十分信頼性のある構造であることを確認した。図 4. に従来から中容量機以下に採用している支持方式を、図 5. に新しく開発したコイルエンド支持方式を示す。新コイルエンド支持方式の主な特徴は次の点である。

(1) 軸方向可動機構

コイルと鉄心の熱膨脹差によるコイルエンドへの影響を軽減するために、軸方向には自由に動ける構造にしている。軸方向に対しては拘束されないが、半径方向、円周方向に対しては、突発短絡時の電磁力に十分耐えるように設計している。図 6. に構造を示す。

(2) 中間リング

上下コイル間の相対的な動きを拘束するために、レジンリングをそう(挿)入して、コイル間の締結を強固にしている。中間リング(その 1)

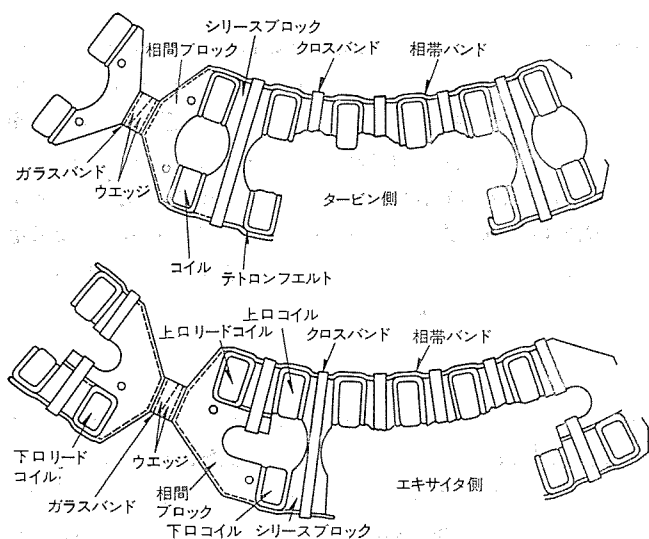


図 7. 相帯バンド方式

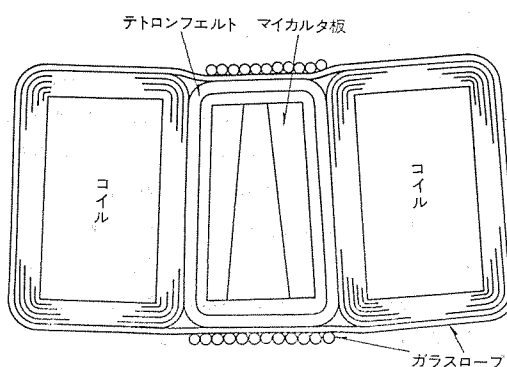


図 8. クロス しばり法

には、スリットを入れて、組立時に、リングに円周方向張力を与え、下口コイル全体を外径側に押し付ける構造とした。

(3) 内リング

中間リング同様、スリットを入れ、組立時に張力を与え、上口コイルを中間リングに押し付ける構造にしている。外リング、中間リング、内リングによって、コイルエンド全体は、一体の円錐を構成している。

(4) 相帯バンド方式

図 7. に示すように、コイルエンドの隣接するコイル間にマイカルタブロックを挿入し、1 相帯を一括して、レジにしたしたガラステープで締結する。隣接する相帯間には、テープのついたウェッジを挿入し、円周方向に張力を与え、コイルエンドを一環構造にしている。

(5) クロス しばり

図 8. は、コイルエンドのインボリュート部での断面を示す。このクロスしばりは、ゆるみの少ない締結方式として開発したもので、クロスに掛けたガラスロープによって、先に巻いたガラスロープの張力を増加させ、締結度を増す方式である。

(6) ガラスバンド

コイルエンドのリング間、例えば、内リングと中間リング、内リングと外リング間には増締機構も備えたガラスバンド締結方式を採用する。図 9.

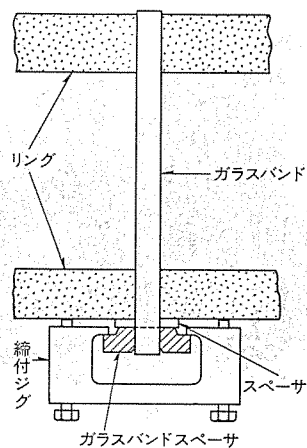


図 9. ガラスバンド 締結方式

にその概略図を示す。組立時には、ジグを用いて締付張力をコントロールする。長期運転中に絶縁物の枯れによって、締付けが緩和された場合、定検時などに簡単に増締めができ、再び正規の締結度を維持することができる。

4. 試験・計測

4.1 部分モデルを用いた試験

定常運転時の小さい振幅の繰り返し振動に起因する、各部の疲労、ゆるみを考慮したコイルエンド支持方式を設計するためには、銅素線の疲労強度、相対振動と応力の相関、ガラスロープ等絶縁材を用いた締結部のゆるみなどのデータを十分に把握しておく必要がある。これら基礎データ把握のため支持系各構成要素単体で検証を実施してきた。ここにその代表的な試験結果を紹介する。

4.1.1 銅素線の疲労強度

コイルエンド各部の銅素線は、定常運転時の電磁振動によって繰り返し応力を受ける。このため長期間運転に対しては、銅素線に生ずる応力は、疲労強度以下になるように設計しなければならない。図 10. に銅の疲労試験による応力-繰り返し数曲線を示す。

4.1.2 コイルエンドモデル剛性試験

上下コイル間の相対変位とシリーズつなぎ部の応力の相関関係を把握するために、実物大コイルエンドモデルによる剛性試験を実施した。図 11. に試験方法を示す。この関係を利用すれば、実機における上下コイル間の相対変位を計測することによって、シリーズつなぎ部に発生する応力を把握することができる。

4.1.3 コイルエンドバインド部引張り試験

インボリュート部の隣接するコイル間の締結には、従来から、ガラスロープを使用しているが、大容量機になると、コイルに働く電磁力も大きくなり、従来のバインド法よりも、ゆるみの少ない方法の開発が必要となる。この目的で開発されたのがクロスしばり法であり、従来の方法とクロスしばり法の締結度の比較を図 12. に示す。図からクロスしばり法では締結度が著しく増していることが分かる。

4.2 実機試験

各構成要素の特性は、部分モデル試験によって、把握できるが、コイ

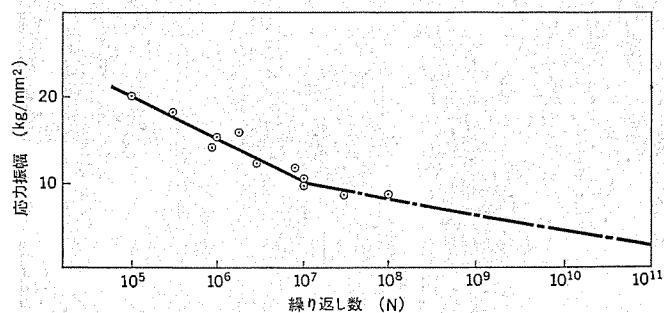


図 10. 銅素線の応力-繰り返し数曲線

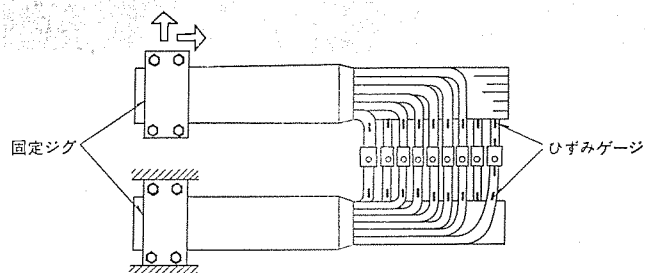


図 11. コイルエンドモデルの剛性試験

ルエンドの構造は、複雑で、しかも大部分が絶縁材で構成されているため、構造上のデータのばらつき、構成要素間の相互干渉については実機で、コイルエンド全体の振動挙動を観察しなければ、把握できない。この意味で、大容量機については、工場試験時に、コイルエンドの振動計測、応力計測を実施し、データの集積に努めてきた。最近計測を行った大容量実機の振動振幅は、 50μ (両振幅) 以下であり、4. 1. 2 項の関係から換算した応力は、極めて小さく疲労に対しても十分余裕のある構造であることを確認した。

4. 3 モデル発電機による検証試験

電磁力の理論解析、支持系各構成要素の部分モデル、及び、実機を使用した試験結果を基にして、大容量機用コイルエンド新支持方式の開発を進めてきたが、最終的には、温度、電流の変化による影響、ばらつきの範囲を含めてコイルエンド全体の振動挙動を更に詳細に把握するために、600 MW 級、1,200 MW 級モデル発電機2台を製作し、検証試験を実施した。

4. 3. 1 モデル発電機の構造

モデル発電機は、コア長を縮小した以外は、実物大の寸法で設計製作した。コアは、コイルを支持するのに必要最小限の長さとした。600 MW 級モデル発電機の、一端のコイルエンドは、従来の標準方式、他端は、新コイルエンド

支持方式である。また1,200 MW 級モデル発電機は、一端は、新コイルエンド支持方式、他端は、将来の超大容量機用として、全く新しい思想を取り入れた支持方式を適用している。モデル

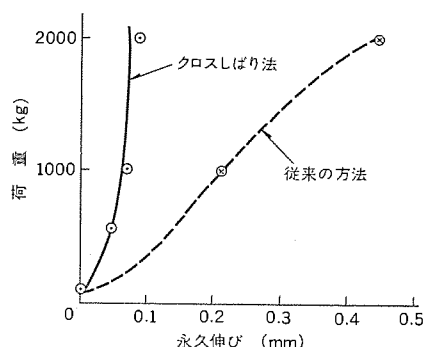


図 12. 荷重と永久伸びの関係

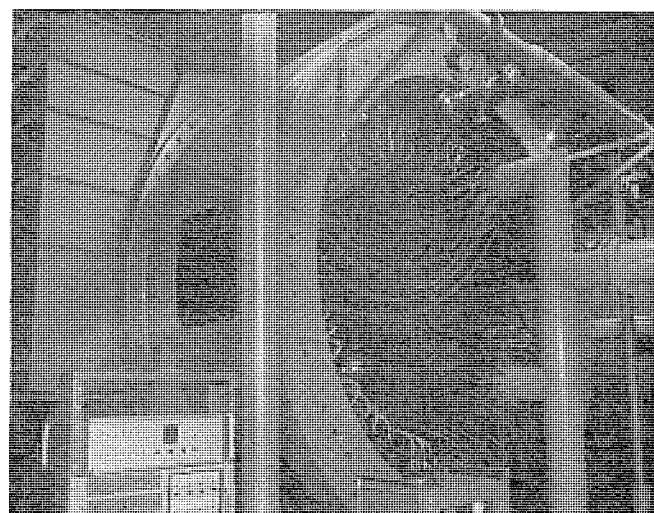


図 13. 1,200 MW モデル 発電機

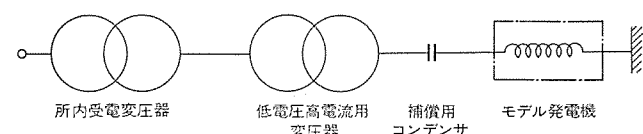


図 14. 通電設備

発電機のコイルエンドには、振動計測用加速度計、ひずみゲージ、変位計、温度計測用測温素子、磁束計測用サーチコイルを取付け、データ処理用コンピュータに直結し、オンラインシステムで各種試験を実施した。図 13. に 1,200 MW モデル 発電機の コイルエンドを示す。これらのモデル発電機には、連続通電試験を実施するため、外部から電力を供給する大電流通電設備 (図 14.) が必要となり、7,500 kVA 大電流低電圧変圧器と、モデル発電機のインピーダンスを補償するための約 80,000 kVA のコンデンサバンク (図 15.) を設置した。

4. 3. 2 諸試験

(1) 疲労に対する検証

図 16. に、コイルエンド各部の振動挙動を示す。半径方向動きと円周方向動きを同時に表現したもので、各点の振動軌跡をあらわしている。上下コイル間の相対変位は、約 50μ 以下である。4. 1. 2 項の相対変位と応力の相間を利用して、換算した応力値は、 0.5 kg/mm^2 以下であり、銅素線の $10''$ 回疲労強度 2.0 kg/mm^2 に対しては、4 倍以上の安全率を持っている。

(2) 支持部材の締結度

図 17. に運転周波数 (120 Hz) におけるコイルエンドの振動モードを示す。2 極機では、だ(楕)円モード (4 節点モード) 4 極機では、ヒトデ形モード (8 節点モード) が顕著にあらわれている。また 600 MW モデル発電機のコイルエンド軸方向の振動モードを調べたのが図 18. である。A, B, C 3 断面とも、長軸の方向が一致した楕円モードを示していることから、コイルエンドは、全体が一体の円錐として振動しており、レジリング、相帯バンド等の各支持構成要素によるコイルエンドの一環化が十分堅固になされていることが分かる。

(3) コイルエンドの構造上のばらつき

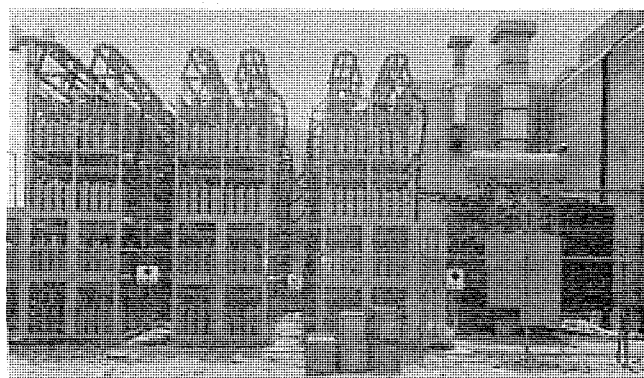


図 15. コンデンサバンクと大電流変圧器

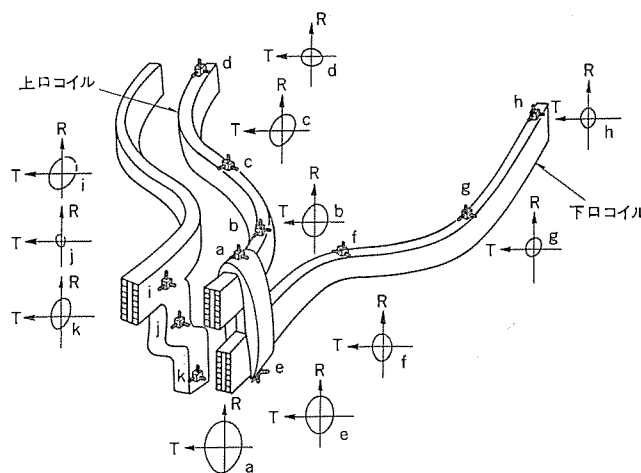


図 16. 各部振動挙動 (600 MW モデル 発電機)

コイルエンドの構造は、複雑で、しかも大部分が絶縁材で構成されているため、構造上ある程度のばらつきは避けることができない。したがって計測したデータの精度を把握するには、構造のばらつき程度を正確に知る必要がある。この意味で、上下コイル全数について計測を行った結果、ばらつきは約20%以下であり、絶縁物を主体とした締結方式としては、非常に小さい値である。

(4) コイルエンド振動に及ぼす温度の影響

図19.に温度と振幅の関係を示す。図から温度上昇に従って、振幅は減少する傾向にあるが、顕著ではないことが分かる。

(5) 電流変化と振幅の関係

図20.に電流変

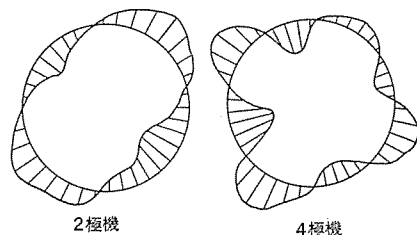


図 17. 120 Hz における コイルエンド 振動 モード

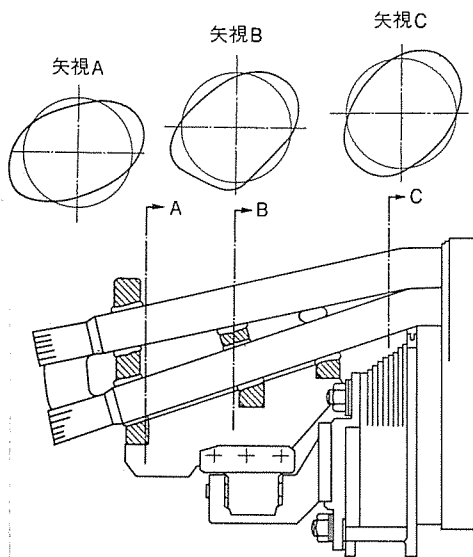


図 18. コイルエンドの振動モード (600 MW モデル 発電機)

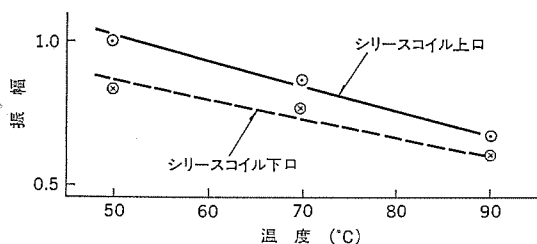


図 19. 温度と振幅の関係 (600 MW モデル 発電機)

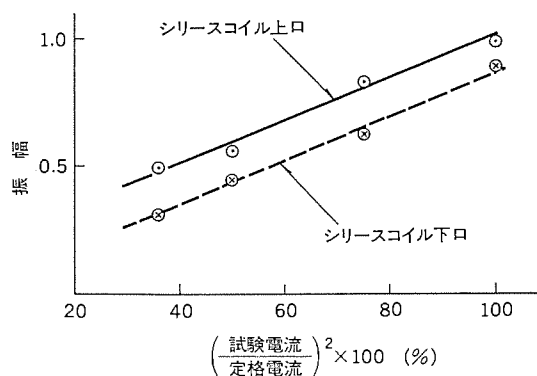


図 20. 電流と振幅の関係 (600 MW モデル 発電機)

化に対する振幅の関係を示す。図から振幅は電流の2乗に比例することが分かる。

5. 新支持方式の実機への適用

当社の大容量機用コイルエンド新支持方式は、以上述べたように十分な信頼性を持つことを検証してきたが、各部支持構造を実機に適用する場合には、コイルエンドの電磁力解析を行い、対象機の電磁力レベルに応じた支持系とする必要がある。一般に2極機においては、コイルエンドが長く、発生する電磁力も大きいため、500 MW クラス以上の大容量機には、新支持方式の全構造を採用する、4極機は、2極機に比較して電磁力が小さく、コイルエンドが短い等、振動挙動に影響を及ぼす条件が有利であるため、新支持方式は、1,000 MW を超える超大容量機に採用する方針である。図21.は、2極600 MW 機に適用した新コイルエンド支持方式を示す。

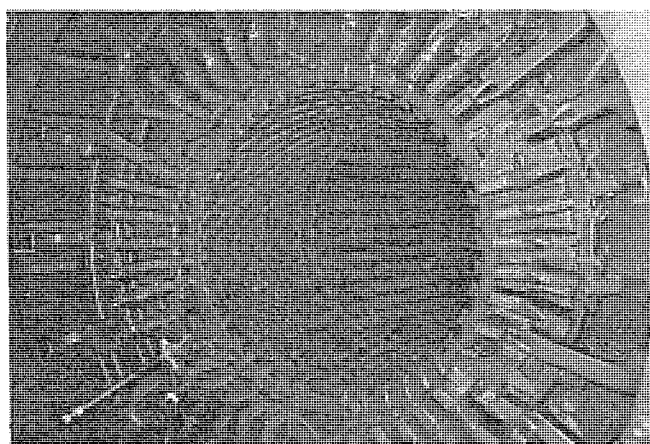


図 21. 新コイルエンド支持方式を適用した2極600 MW タービン発電機

6. む す び

大容量タービン発電機のコイルエンド支持方式に関する一連の研究開発は、長期間の基礎的研究成果を踏まえ、実物大モデル発電機2台による総合技術試験を頂点として一段落した。現在の標準方式は、これらの研究によりその信頼性を検証されたが、当社では、引き続き別の角度から、この分野における基礎的及び、実際的な研究を続行中である。例えば各種のコイルエンド支持系の全要素を力学系の定数として電子計算機プログラム中に組み込みその全体振動挙動を数値計算する試みなどがそのひとつである。これらは別に稿を改めて紹介する。なお、この研究には、社内外の多くの諸氏のご協力があったので、ここに深く謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 野村：電学誌，91，No. 2，155 (昭46-2)
- (2) 野村：三菱電機技報，46，No. 10，1,129 (昭47-10)
- (3) T. Nomura：IEEE, Summer Meeting, Paper, No. 71-CP-PWR
- (4) V. J. Vickers：PROC. IEE, 121, No. 11 R, November, 1974, IEE Reviews.
- (5) C. H. Holley, et al.：IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-89, No. 8, November/December (1970)
- (6) C. A. Bucci, et al.：Transaction Paper 71 TP 51
- (7) R. Hawley, et al.：Electrical Times, 16, July (1970)

液体ヘリウム用連続形液面計

平田 郁之*・大井 紀男**

1. ま え が き

超電導現象の応用は実験用 マグネット から磁気浮上列車・超電導発電機・MHD 発電・核融合炉などの超電導機器へと広がりつつある。これらの機器に用いられている超電導 マグネット は 4.2 K の液体ヘリウムに浸されて運転される。運転中、クライオスタット内の液体ヘリウム量を一定に保っておかなければならない。このために、液面の位置を連続して検出する液面計が必要となった。また、ヘリウム液化機や貯蔵容器などの低温機器内の液量検出のためにも液面の位置を連続して検出する液面計が必要である。このように、液体ヘリウムを使用する装置において、液体ヘリウム量すなわち液面の位置を連続して検出することは極めて重要な基本技術である。しかし、工業用計器として使用に耐える連続形液面計は実用化されていなかった。

従来、液面計としてクライオスタット内に垂直に張られた超電導線(バナジウムやタンタル)の抵抗変化から液面を検出する方法が用いられていた⁽¹⁾⁽²⁾。すなわち、バナジウムやタンタルの臨界温度はそれぞれ 5.3 K と 4.3 K であるから、液に浸されている部分は超電導状態(S)、気中の部分は常電導状態(N)になることを利用して、検出素子の電気抵抗の値から液面の位置を検出する方法である。これらの材料の臨界温度は液温(4.2 K)に接近しているから、液の移送時や大量消費時更にはクライオスタット移動時などのように容器内の温度こう配が絶えず変動する場合、液面よりかなり上の位置までS状態になり、液面の正確な位置を示さない。また、容器内の圧力上昇によって液温が高くなるから、圧力変動の大きい場所での使用にも制約を受ける。更に、これらの超電導線の臨界磁場は数百～数千 Gauss であるから、高磁場を発生する超電導機器には使用できない。これらの欠点を改良したものに臨界磁場が 80～90 kG、臨界温度が約 10 K の Nb-Zr 合金を用いた液面計があった⁽³⁾。Nb-Zr 合金の臨界温度は高いので、液面よりかなり高い位置までS状態になり、正しい液面の位置を示さない。これを防止するため、超電導線に適当な電流を流し、その自己発熱によって線の上端に発生した N 領域を液面の位置まで伝ば(播)させる方法が用いられていた。すなわち、液による冷却は気体による冷却の数十～数百倍になることを利用している⁽⁴⁾⁽⁵⁾。この連続形液面計の設計・製作・こう(較)正・測定を容易にするには、液面の高ささと抵抗の関係が直線関係を示すことが要求される。このためには、超電導線の比電気抵抗が温度に関係なく一定であることが必要である。しかし、一般に用いられている Nb-Zr 合金や Nb-Ti 合金などの超電導線の比電気抵抗の温度依存性は極めて大きい。このため、液面の高ささと抵抗の関係が直線関係を示さなくなり、液体ヘリウムを用いて較正しなければならなかった。

著者らは比電気抵抗の温度依存性が極めて小さい Nb-Ti 系超電導線を用いることにより、だれにでも容易に使え、液体ヘリウムを用いて較正する必要のない実用タイプの連続形液面計を開発した。

2. 動作原理

前章で述べたように超電導線に発生した N 領域の伝播を利用する。すなわち、図 1. に示すように超電導線に流す電流 I を適当に選ぶと、ヒータによって発生した超電導線上端の N 領域が液面まで伝播し、気中部分は N 状態、液中部分は S 状態が実現する。これは、電流 I による自己発熱によって線材の温度が高くなるが、気中では冷却が悪いために臨界温度を越えて N 状態になり、液中では冷却が良いので S 状態を維持するためである。図 2. に示すように、一定の冷却条件のもとにある超電導線に電流を流したときの電流-電圧特性には三つの特異点 I_c 、 I_p 、 I_r が存在する。 I_c は臨界電流値と呼

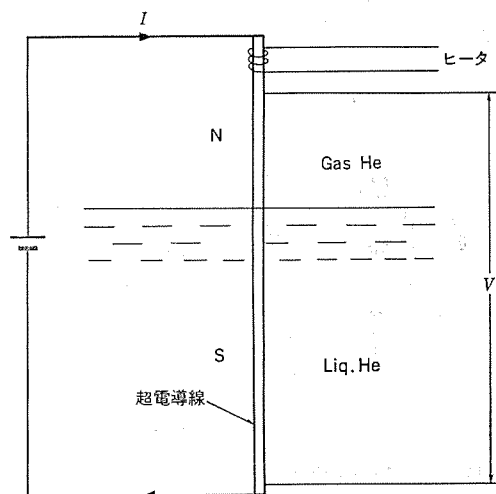


図 1. 液面計の原理

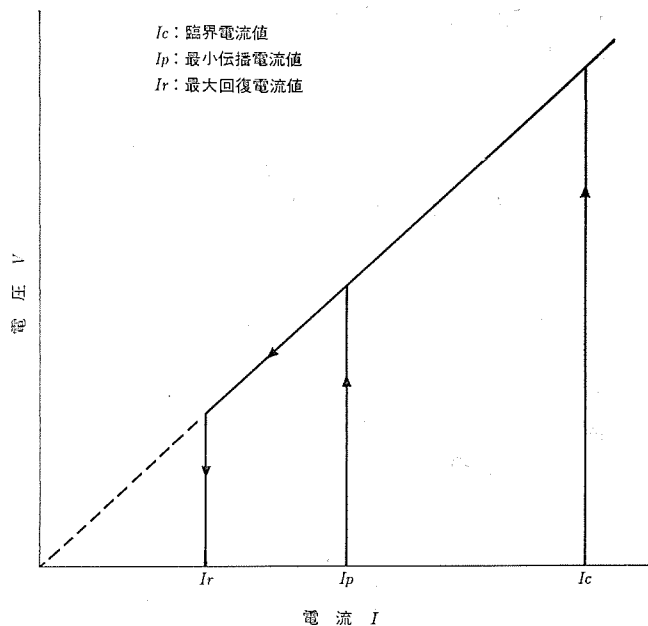


図 2. 超電導線の電流-電圧特性

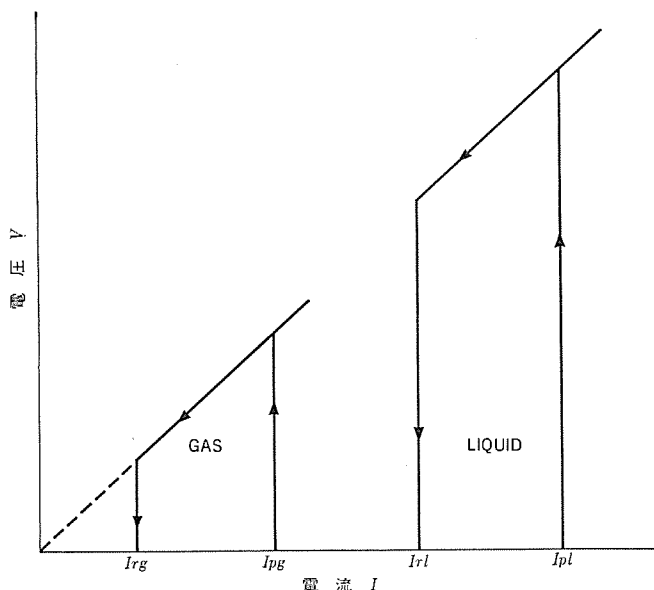


図 3. Gas He 及び Liq. He 中における超電導線の電流 - 電圧特性

ばれ、温度によって決まる超電導線固有の値である。この電流値で超電導線全体が N 状態になる。 I_p は最小伝播電流値と呼ばれ、 I_p と I_c の間の電流値では何らかの原因で超電導線の一部に N 領域が発生すると、ジュール発熱が冷却より大きいので、N 領域が伝播拡大し線全体が N 状態になる。 I_r は最大回復電流値と呼ばれ、これ以下の電流値では、たとえ N 領域が発生したとしても冷却がジュール発熱よりも大きいので温度が下がり S 状態に復帰する。超電導線から液体ヘリウムへの熱伝達はヘリウムガスへの熱伝達より大きいから、液中及び気中の I_c 、 I_p 、 I_r の間には次の大小関係が成り立つ (図 3.)。

$$I_{rg} < I_{pg} < I_{rl} < I_{pl} < I_{cg} < I_{cl}$$

ここで g 及び l は気中及び液中を表す。

液面計として使用するためには、液中では S 状態、気中では N 状態が実現しなければならない。したがって、超電導線に流す測定電流 I は

$$I_{pg} < I < I_{rl}$$

に設定しておけばよい。超電導線の比電気抵抗に温度依存性がなければクライostat 内に垂直に張られた検出素子に発生する電圧は気中に露出している線の長さに比例する。したがって、液面の高さと出力電圧は直線関係を示し、電圧の値から液面の位置を直読することができる。

3. 検出素子

3.1 超電導線

検出素子に用いられる超電導線に要求される性質として

- (1) 比電気抵抗の温度依存性が小さい
- (2) 比電気抵抗が大きい
- (3) 磁気抵抗効果が小さい
- (4) 臨界磁場が高い

などがある。一般に、金属の比電気抵抗は結晶格子の乱れの原因となる不純物原子及び格子欠陥の影響を受ける⁽⁶⁾。著者らは、酸素やその他多くの不純物を含み、強加工された Nb-55 at % Ti 合金線

表 1. 各種超電導線の諸特性

試料	A	B	C	D
項目				
組成	Nb-55 at % Ti	Nb-25 at % Zr	Nb-60 Ti-5 at % Ta	Nb-60 at % Ti
最終処理	強加工	熱処理	熱処理	熱処理
線径 (mmφ)	0.14	0.25	0.25	0.038
抵抗 R_{77} (Ω/cm)	0.53	0.049	0.027	7.8
比抵抗 ρ_{77} (μΩ・cm)	83	24	12	86
抵抗変化				
ρ_{300}/ρ_{10}	1.07	1.54	2.66	1.30
ρ_{300}/ρ_{77}	1.05	1.38	1.92	1.17
ρ_{10}/ρ_{77}	0.975	0.895	0.720	0.893
I_{rl} (mA)	300~350	1,200~1,300	1,600~1,700	65~80
I_{pg} (mA)	140~150	800	1,100	35
測定電流 I (mA)	200	1,000	1,300	50
出力電圧 V (V/cm)	0.11	0.049	0.035	0.39
臨界温度 (K)	~9	~10	~9	~9
臨界磁場 (kG)	~120	~80	~120	~120

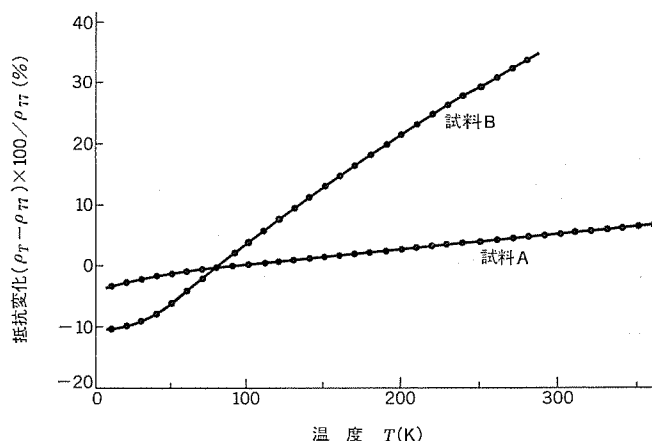


図 4. 比電気抵抗の温度依存性

(試料 A) の比電気抵抗の温度依存性が極めて小さいことを見つけた。この試料の諸特性を他の試料例 B・C・D と比較して表 1. に示す。 ρ_{300} 、 ρ_{77} 、 ρ_{10} はそれぞれ 300 K、77 K、10 K における比電気抵抗を表す。 I_{rg} は気中での最大回復電流値、 I_{pl} は液中での最小伝播電流値、 I は最適測定電流値、 V はそのときの 1 cm 当たりの出力電圧である。試料 A と B の比電気抵抗の温度依存性を図 4. に示す。試料 A の抵抗変化は 300 K から 10 K への温度変化に対してわずかに 7%、77 K から 10 K への温度変化に対しては 2.5% で、他の試料に比べて著しく小さい。超電導マグネット用線材として一般に用いられている試料 B・C・D の抵抗変化は 77 K と 10 K の間で 10% 以上にもなり、検出素子の材料としては適さない。試料 B・C・D は臨界電流値を増すために伸線加工後熱処理が施されている。このため、加工ひずみがとれて抵抗の回復が起こり温度依存性が大きくなったものと考えられる。 I_{pg} と I_{rl} を求めるには図 1. に示す状態で電流 - 電圧特性を測定すればよい。一例として、試料 D についての測定を図 5. に示す。領域 I は気中の一部にも S 領域が存在

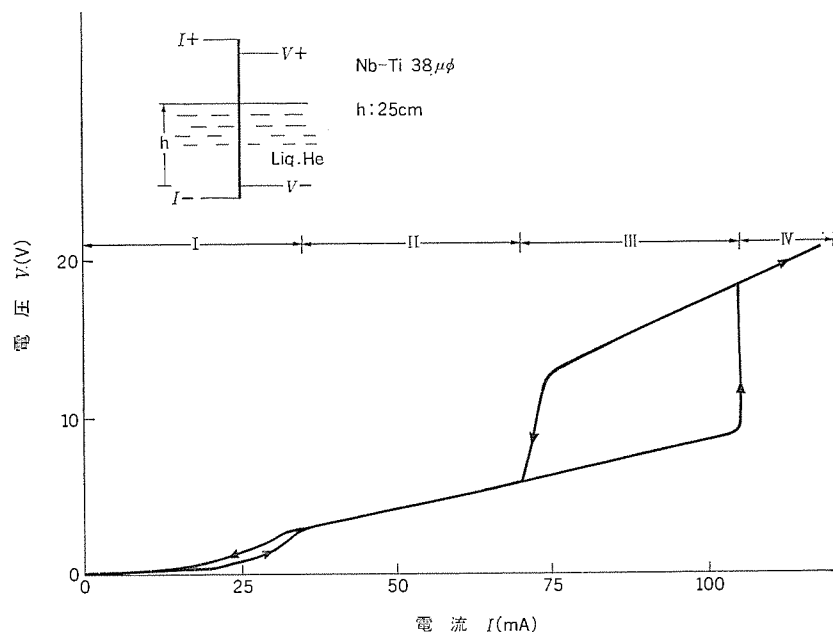


図 5. 試料 D の電流 - 電圧特性

する状態、領域Ⅱは N 領域が気中のすべての部分に広がった状態、領域Ⅲは N 領域が液中の一部にも広がった状態、領域Ⅳは N 領域が線全体に広がった状態を示す。測定電流 I は冷却環境の変化に対する安定性、発熱量、自己発熱による温度上昇などを考慮して $I_{p0} < I < I_{r1}$ の間で最適な値に設定すればよい。例えば、試料 A では 200 mA、試料 B では 1 A、試料 D では 50 mA となる。

液面計は超電導 マグネット などの高磁場内で用いられることが多いので磁気抵抗効果による電気抵抗の変化が問題になる⁽⁶⁾。試料 A 及び B の 77 K における磁気抵抗効果を調べた。15 kG の磁場の印加に対して抵抗変化は 0.1 % 以下であった。Y. Shapira らも Nb-Ti 合金線に 10 K で 80~105 kG の磁場を印加したときの抵抗変化は 1 % 以下であると報告している⁽⁷⁾。したがって、今回用いた試料の磁気抵抗効果による抵抗変化は無視できる。

表 1. に示した特性から試料 A が液面計の検出素子に適していることがわかる。すなわち、比電気抵抗及びその温度依存性、磁気抵抗効果などの基本的性質が優れているだけでなく、測定電流 200 mA 及び出力電圧 0.1 V/cm は極めて扱いやすい値となっている。これらのことから試料 A を液面計の検出素子に用いることにした。

3.2 検出素子の構造

検出素子の標準仕様を表 2.、構造を図 6.、外観を図 7. に示す。外径 5 mm、内径 4 mm の保護管（ステンレス又はガラスエポキシ製）の中に超電導線を張った簡単な構造になっている。素子の長さは使用ひん度の最も多い値 400 mm に設定したが、要求に応じて任意の長さに設定できる。上端には常電導の芽を発生させるためのマンガニ製ヒータを直列に巻き、電流・電圧リードとともにガラスエポキシ製端子にアラルダイトで固めてある。ヒータの容量は約 0.01 W である。パイプの両端には液体ヘリウム の流路のために穴があけてある。

3.3 検出素子の動作特性

測定電流 200 mA における検出素子（測定長 400 mm）の電気抵抗は 300 K で 21.6 Ω、77 K で 20.7 Ω、そして 10 K では 20.2 Ω である。この検出素子を測定電流 200 mA で動作させたときの液面の高さ h と出力電圧 V の関係を図 8. に示す。 h - V 特性は完全な直線関係を示している。

表 2. 検出素子の仕様

項 目	仕 様
全 長	410 mm
測 定 長	400 mm
直 径	5 mm
重 量	20 g
電 気 抵 抗	
300 K	21.5 Ω
77 K	20.5 Ω
10 K	20.0 Ω
発 熱 量	
ヒータ	0.01 W
液中部分	0 W
気中部分	0.02 W/cm

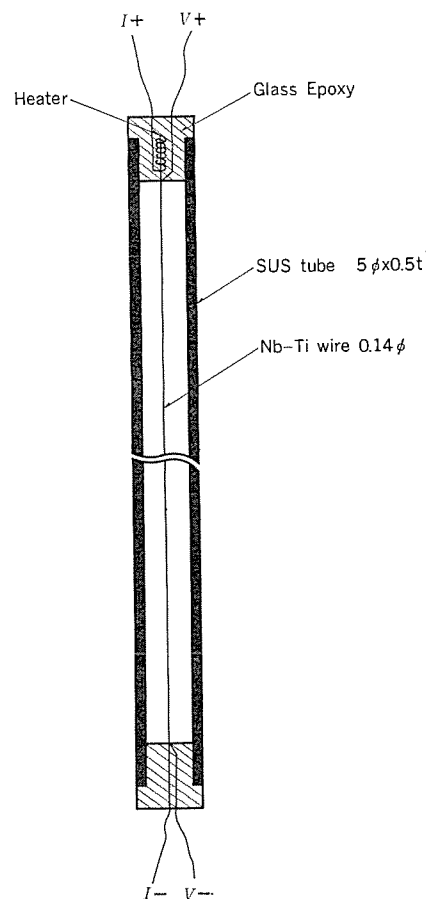


図 6. 検出素子の概略図

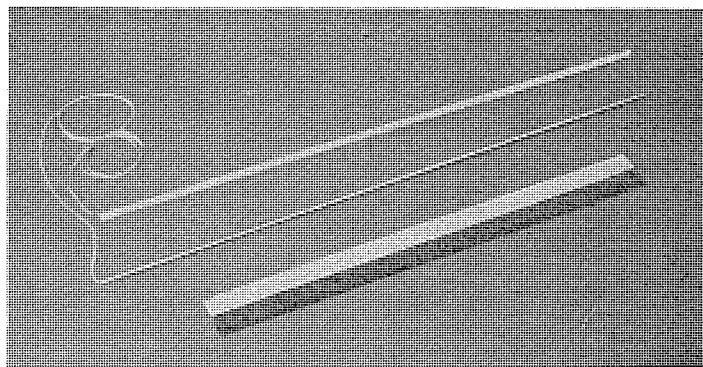


図 7. 検出素子の外観

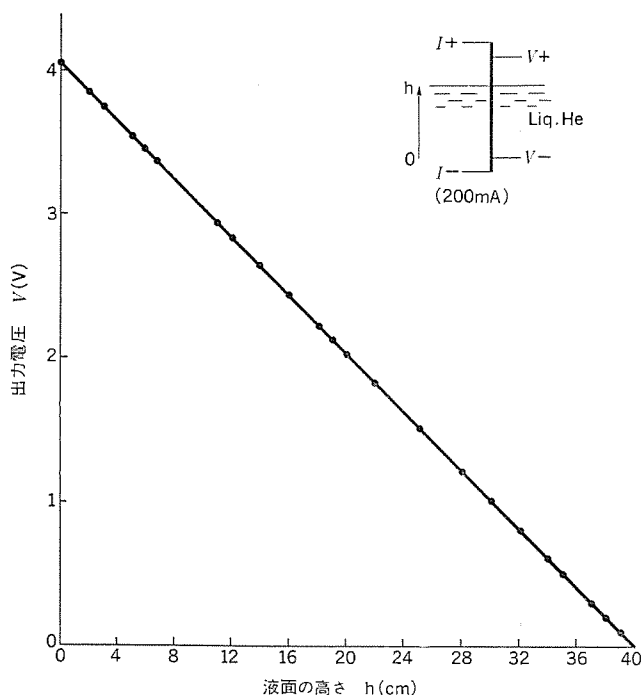


図 8. 検出素子の出力特性 (測定電流 200 mA)

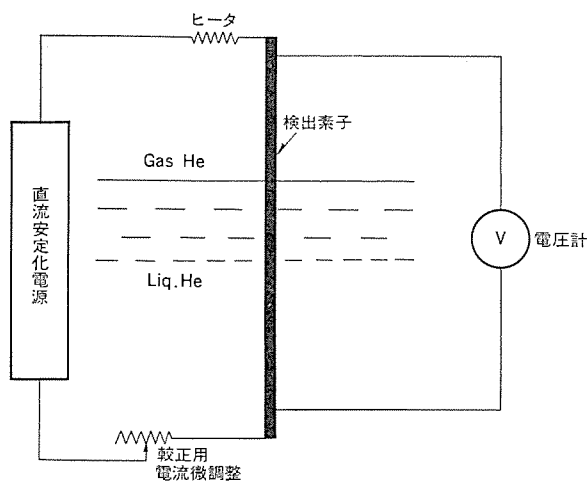


図 9. 液面計の測定回路

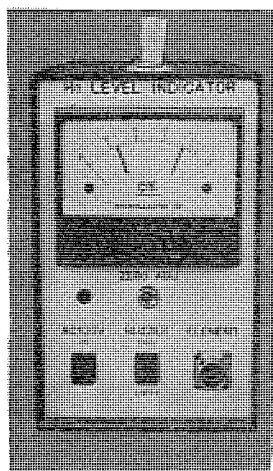


図 10. 液面計の外観

表 3. 液面計本体の仕様

項 目	仕 様
測 定 電 流	DC 200 mA
メー タ	液面の高さを直読
電 源	AC 100 V
較 正	測定電流の微調整により行う R. T, Liq. N ₂ , Liq. He のどの点でも較正ができる
外 形 寸 法	120 W×200 H×280 L
重 量	4 kg

3. 4 液面計本体

液面計本体に要求される性質として

- (1) 較正が容易である
- (2) 検出素子に互換性がある
- (3) 軽量・小形である

などがある。

検出素子の液面の高さ と出力電圧が直線関係にあること、測定電流を 200 mA を中心として 150 mA から 300 mA の間で任意に設定できること、検出素子ごとに全体の電気抵抗が変わっても（線の長さや太さのばらつきにより若干の変化が生じる）抵抗変化 R_{300}/R_{10} , R_{300}/R_{77} , R_{10}/R_{77} は一定であることを利用し、上記の要求を満たす計測器を製作することができる。測定回路を図 9. に、外観を図 10. に示す。フルスケール 5 ボルトの直流メータの零ボルトを 40 cm に、4 ボルトを 0 cm にしてその間を等間隔に目盛り、4.1 ボルトを LN₂, 4.3 ボルトを R. T に目盛りしておけば素子交換時の較正は測定電流の微調整だけで行える。すなわち、室温で較正する場合には針が R. T を示すように、液体窒素で較正するときには針が LN₂ を示すように電流調整をするだけでよい。液体ヘリウム中では針が既知の任意の液面を示すように電流調整をするだけで較正が行える。このように素子を交換したときの較正を室温で行うことができ、高価な液体ヘリウムを必要としない。計器には液のたまりすぎ、減りすぎを知らせるために、任意の液面に設定できる警報ブザーがメタリレー形式で取り付けられている。計器の仕様を表 3. に示す。

4. 動作特性

連続形液面計の動作例を図 11., 図 12. 及び図 13. に示す。図 11. は ガラス 製の デュワー ビンに検出素子を取付け、液化機から液体ヘリウムを移送していくときの液面計の指示を示す。トランスファチューブの液の出口付近の悪環境下においても調子よく動作している。このときクライオスタット内で素子を上下させたときの指示の変化が図 12. に示されている。液面の速い動きにも十分に追従し、液面の微小振動をも検知している。図 13. は大形超電導マグネットを励磁する際、液面をモニタした動作例である。高磁場中で長時間にわたり安定した動作を示している。新しく開発された連続形液面計は国鉄の超電導磁気浮上試験車に装備され、十分に機能をはたしている。現在、多くの検出素子が種々のクライオスタットや超電導装置に取付けられ、液面のモニタとして使われている。

5. む す び

比電気抵抗の温度依存性の極めて小さい Nb-Ti 合金線を用いることにより、工業用計器として十分使用に耐える液面計を製作するこ

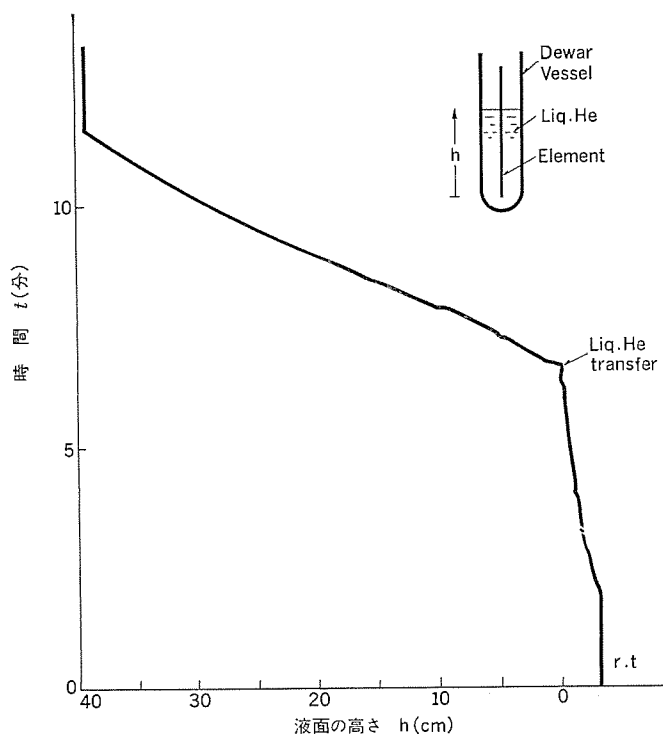
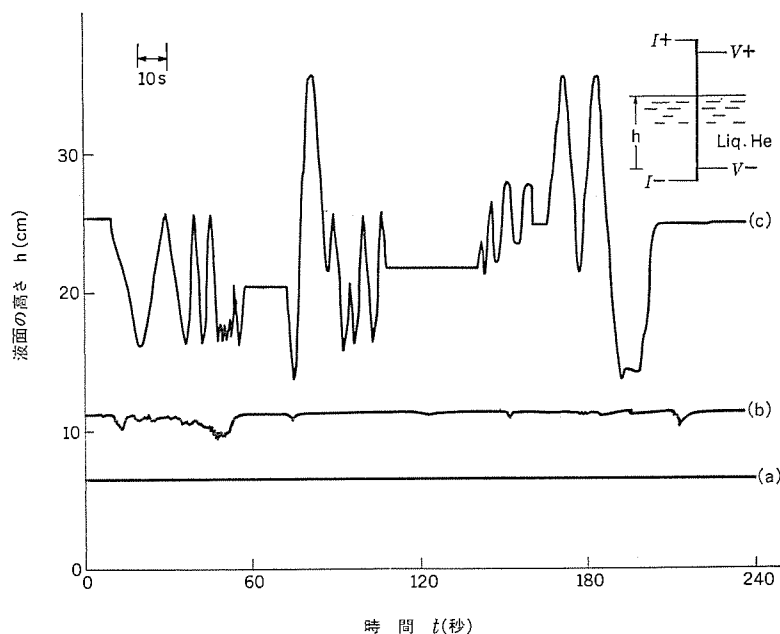


図 11. 液面計の動作特性



- (a) 静止状態
- (b) 液面が微小振動している状態
- (c) 液面が大きく変化している状態

図 12. 液面変化に対する応答性

とができた。その特長は

- (1) 較正に液体ヘリウムを必要としない
- (2) 数十 kG までの高磁場内でも使える
- (3) 温度変化の激しい環境下でも正確に動作する
- (4) 検出素子に互換性がある
- (5) 検出精度がよい (1 mm 以下)
- (6) 液面変動への追従が速い
- (7) 操作が容易

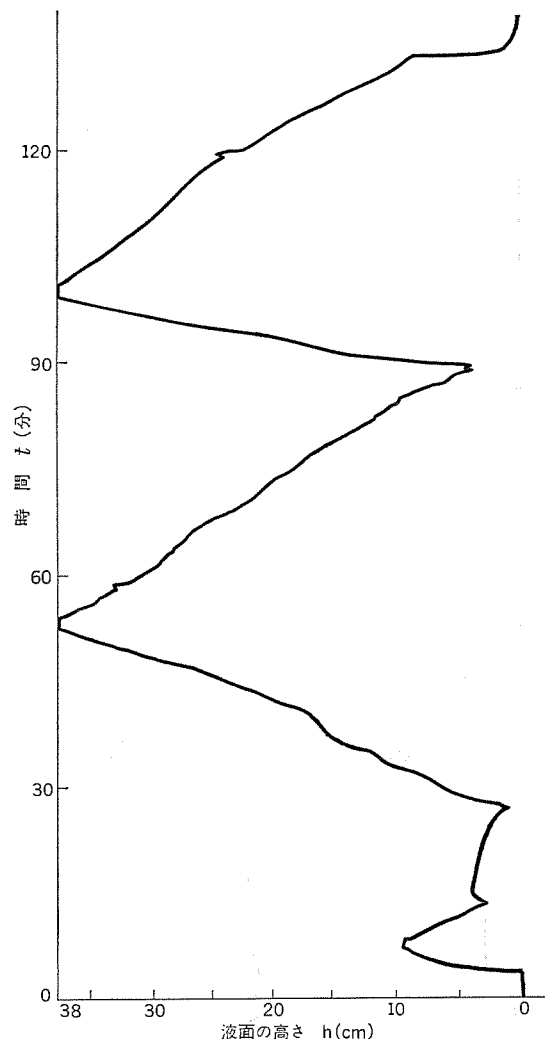


図 13. 磁場中における液面計の動作特性

- (8) 軽量・小形で、構造が簡単である。

この液面計によって、単に静止液面の検出だけでなく、磁気浮上列車や超電導発電機などのように動いているクライオスタット内の複雑な液面の動きをとらえて、液の動きを解析することが可能となった。

今後、この連続形液面計は液化機・貯蔵容器・クライオスタットなどの液体ヘリウムを用いる低温機器及び磁気浮上列車や超電導発電機などの超電導機器に欠くことのできない計器として常備されるものと思われる。

(昭和 51-4-1 受付)

参 考 文 献

- (1) J. R. Feldmeier and B. Serin : Rev. Sci. Instrum. 19, 916 (1948)
- (2) K. Takiguchi, et al. : J. J. A. P. 9, 547 (1970)
- (3) 石塚ほか : 低温工学, 3, 131 (昭 43)
- (4) 平田ほか : 低温工学, 3, 120 (昭 43)
- (5) 平田ほか : 低温工学, 3, 221 (昭 43)
- (6) 平田ほか : 低温工学, 5, 24 (昭 45)
- (7) Y. Shapira : Phys. Rev. 140 A, 1638 (1965)

高周波PWMインバータ用サイリスタの開発とその応用

川上 明*・石堂 道治**・小田 勝啓**

1. ま え が き

従来、切削機械、繊維機械、鉄鋼用圧延機等の可変速動力源には直流電動機が用いられてきた。しかし最近、高価な上に保守が煩雑な直流電動機に代わり、安価で堅ろうな交流電動機を用いる方式が多く使用されるようになってきた。その理由は交流電動機駆動用インバータの改良開発が活発に行われるようになり、大容量化、高周波化が進められてきたからである。中でも高周波パルス幅変調式インバータ (High Frequency Pulse Width Modulation Inverter, 以下“HFPWMインバータ”と略称する) は、高性能化、回路構成簡素化の上からその本格的実用化が期待されている。

HFPWMインバータは図1.(a)に示すように従来の180度通電形(同図(b))に比べ1周期の期間を細分化している($f_c/f_o=3\sim6$, f_o : 出力周波数, f_c : 搬送周波数, f_o が250 Hz程度までの用途が多いので, f_c は最高で1.5 kHzにもなる)ため高調波成分が減少し、基準波形により近い出力波形が得られ、制御性能が向上するという特徴をもっている。このような回路に使用されるサイリスタには次のような特性が要求される。

- (1) 高周波 (1 kHz 以上) での特性が優れていること。
- (2) 主サイリスタは、高耐圧 (1,400 V 以上) でかつターンオフ時間が短い (20 μ s 以下) こと。また HFPWMインバータではマクムレ式インパルス転流回路等の高周波形の転流回路を用いるため主サイリスタは逆導通形が望ましい。
- (3) 転流補助サイリスタは大電流パルス通電能力 (パルス幅; 50 μ s, 周波数; 1 kHz で 2,000 A 程度) を有しかつ高耐圧 (1,800 V 以上) であること。

しかしよく知られているようにこれらの要求項目の中で、ターンオフ時間を短くすることと高耐圧化、大電流容量化 (高周波) を図ることは相反することであり⁽¹⁾、従来これらの要求をすべて満足するサイリスタの実現が困難であった。

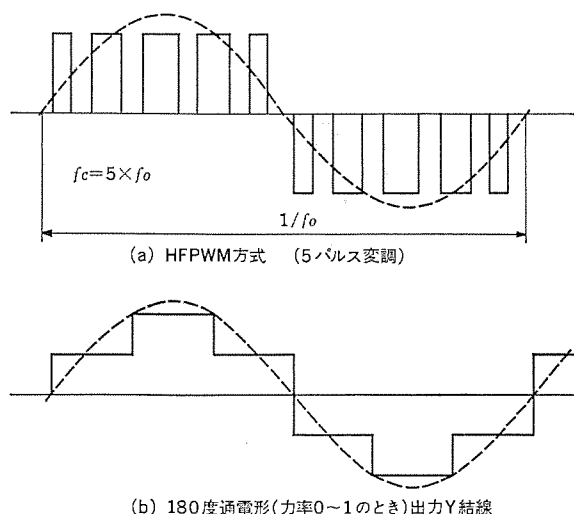


図1. インバータ方式の出力波形

これに対し、今回、上記用途に適合した主サイリスタ及び転流補助サイリスタとして、従来素子を更に高耐圧化、高周波化 (スイッチング損失の低減) した、高周波用逆導通サイリスタ (1,400 V, 400 A/200 A, 20 μ s, 1 kHz, 形名; FR 500 BY-28 (仮称以下略す)) と、高周波パルス通電用サイリスタ (1,800 V, 2,000 A (パルス幅; 50 μ s), 30 μ s, 1 kHz, 形名; FT 300 BX-36) の開発に成功し、HFPWMインバータをはじめ各種インバータ、チョッパへの実用化のめどを得たので、両サイリスタの構造、特性、応用について報告する。

2. 構造と特性

2.1 高周波用逆導通サイリスタ (FR 500 BY-28)

この素子は従来の高速スイッチング逆導通サイリスタ FR 500 AX-24 (耐圧: 1,200 V, 電流容量: 400 A (サイリスタ部)/150 A (ダイオード部), ターンオフ時間: 30 μ s) に比べ、耐圧を 1,400 V, ダイオード部電流容量を 200 A, ターンオフ時間を 20 μ s 以下にして特性定格の向上をはかり、更に 1 kHz 以上の高周波で大電流を制御できるように高周波特性と転流能力を大幅に改善したものである。

2.1.1 構造

逆導通サイリスタは逆方向の電圧阻止能力が不要であるため陽極側にも短絡エミッタ構造を設けることができるので同一耐圧をもつ逆阻止サイリスタに比べて高比抵抗ベース層を薄くすることができる。したがってその分だけオン電圧を下げて電流容量を増すか、ターンオフ時間をより短縮することができる⁽²⁾。我々はこの利点を積極的に利用し、(1) N_B 層の中のアノード側に n^+ 層 (高不純物濃度層) を設けて $p-n-n^+$ 構造とする、(2) 補助サイリスタを内蔵させる、ことにより FR 500 AX-24 と同じ Si ウエハ直径のままでターンオフ時間の短縮、高耐圧化、大電流化及び高周波化を同時に実現した。

一般に $p-n-n^+$ 構造では p^n 構造に比べて n 層 (低不純物濃度層) の厚みを薄くし空乏層幅の伸びをおさえて同一耐圧を得ることができる。図3.の実線は $p-n-n^+$ 構造において所定の耐圧を得るための n 層の厚み (W_n) と n 層の比抵抗 (ρ_n) の関係を示したものである。

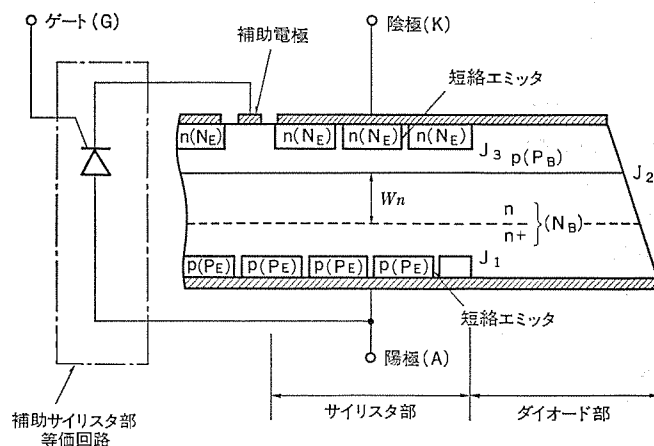


図2. 高周波用逆導通サイリスタ (FR 500 BY-28) の基本構造

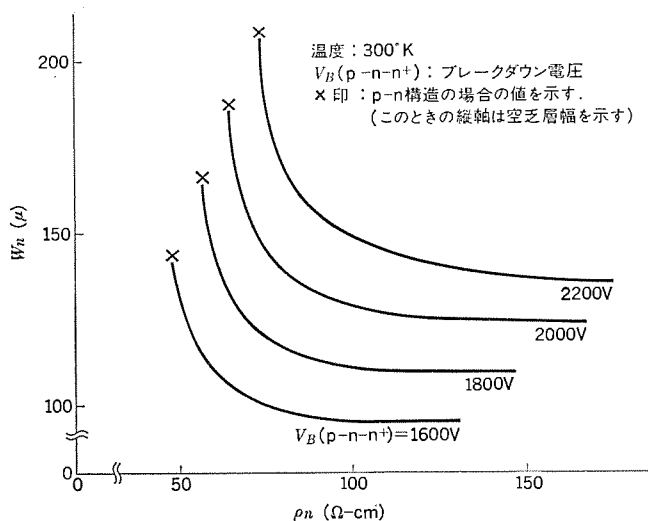


図 3. p-n-n⁺ 構造における n 層の厚み (W_n) と n 層の比抵抗 (ρ_n) の関係

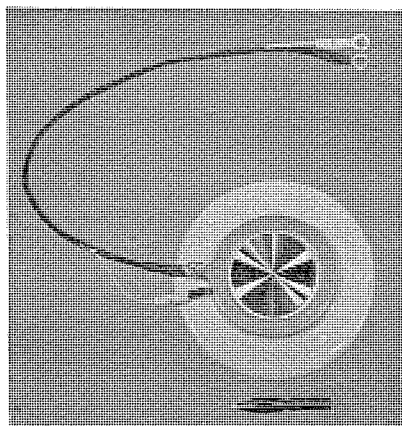


図 4. 高周波用逆導通サイリスタ FR 500 BY-28 (1,400 V, 400 A/200 A, 20 μ s, 1 kHz) の外観

同図の×印は p-n 構造で p-n-n⁺ 構造の場合と同一の耐圧を得るための ρ_n と空乏層幅 (ここでは W_n で示している) を示したもので、各耐圧パラメータの実線と連続した関係にある。この図から p-n-n⁺ 構造で ρ_n を若干高くして W_n を大幅に減少させることが可能であることがわかる。FR 500 BY-28 では W_n を従来素子の 2/3 以下にしており、その分だけターンオフ時間の短縮とオン電圧、逆方向電圧降下を低くすることができる。更に重要なこととして、 W_n の減少がターンオン電流のひろがり速度を高めるので、スイッチング損失を小さくし、 di/dt 耐量を向上させることができる。

一方この素子では、補助サイリスタ部のターンオン電流を主サイリスタのトリガが電流として帰還するいわゆる増幅ゲート機能をもたせて初期ターンオン領域の面積を広げるようにし、スイッチング損失を更に低減させている。図 4. に FR 500 BY-28 の外観を示す。

2. 1. 2 特 性

表 1. に FR 500 BY-28 の主要定格、特性 (暫定) を示す。

次に高周波特性に関連した事項について述べる。

(1) ターンオフ時間: ターンオフ時間 (t_q) の温度依存性の代表例を図 5. に示す。

(2) 過渡オン電圧: 高周波通電能力の目安となる過渡オン電圧を、FR 500 BY-28 と FR 500 AX-24 について比較した結果を図 6. に示す。これによれば、FR 500 BY-28 は FR 500 AX-24 に比べて

表 1. FR 500 BY-28 の主要定格特性一覧 (暫定)

項 目	記 号	規格値	単位	条 件
1. ピーク繰り返しオフ電圧	V_{DRM}	1,400	V	—
2. ピーク非繰り返しオフ電圧	V_{DSM}	1,550	V	—
3. 平均オン電流	$I_T(AV)$	400	A	$f=60\text{Hz}$, $\theta=180^\circ$, $T_J=85^\circ\text{C}$
4. 平均逆電流	$I_R(AV)$	200	A	$f=60\text{Hz}$, $\theta=180^\circ$, $T_J=85^\circ\text{C}$
5. サージオン電流	I_{TSM}	7,000	A	$f=60\text{Hz}$, 1 サイクル非繰り返し
6. サージ逆電流	I_{RSM}	4,000	A	$f=60\text{Hz}$, 1 サイクル非繰り返し
7. 臨界オン電圧上昇率	di/dt	500	A/ μ s	$V_D=700\text{V}$, $I_{TM}=800\text{A}$, $I_G=1.5\text{A}$, $dI_G/dt=1\text{A}/\mu\text{s}$
8. オン電圧	V_{TM}	2.5	V	$I_{TM}=1,250\text{A}$, $T_J=125^\circ\text{C}$
9. 逆電圧降下	V_{RM}	2.5	V	$I_{RM}=1,250\text{A}$, $T_J=125^\circ\text{C}$
10. オフ電流	I_{ORM}	50	mA	$V_D=1,400\text{V}$, $T_J=125^\circ\text{C}$
11. 臨界オフ電圧上昇率	dV/dt	300	V/ μ s	$V_D=700\text{V}$, $T_J=125^\circ\text{C}$
12. ターンオフ時間	t_q	20	μ s	$I_{TM}=400\text{A}$, $V_D=700\text{V}$, $T_J=125^\circ\text{C}$
13. ゲートトリガ電圧	V_{GT}	3.0	V	$V_D=6\text{V}$, $T_J=25^\circ\text{C}$
14. ゲートトリガ電流	I_{GT}	200	mA	$V_D=6\text{V}$, $T_J=25^\circ\text{C}$
15. 転流時臨界逆電流下降率	$(di/dt)_c$	125	A/ μ s	$I_{RM}=2,000\text{A}$, $V_D=700\text{V}$, $t_w=50\mu\text{s}$, $T_J=125^\circ\text{C}$
16. 熱抵抗				
サイリスタ部	$R_{th(j-f)I}$	0.05	$^\circ\text{C}/\text{W}$	接合-フィン間
ダイオード部	$R_{th(j-f)II}$	0.10	$^\circ\text{C}/\text{W}$	接合-フィン間
17. 圧接強度	—	1,800	kg	推奨値 1,500kg
18. 接合温度	T_J	-40~125	$^\circ\text{C}$	—

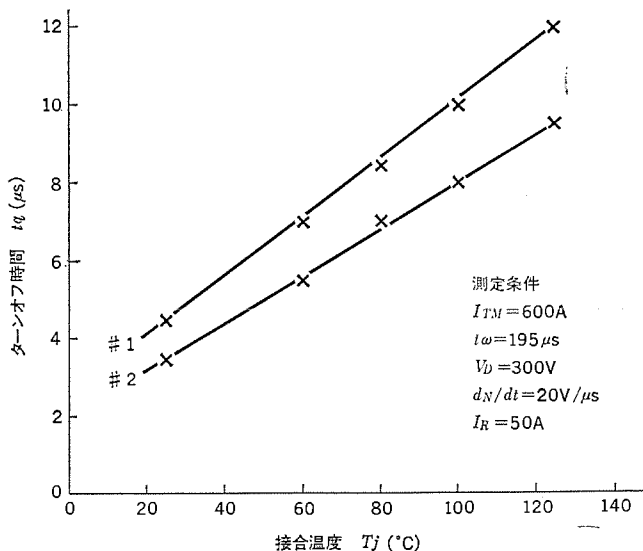


図 5. FR 500 BY-28 のターンオフ時間の温度依存性

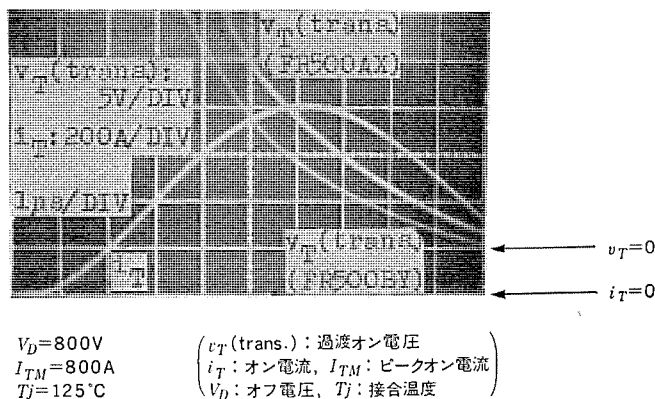


図 6. FR 500 BY-28 と FR-500 AX-24 の過渡オン電圧の比較

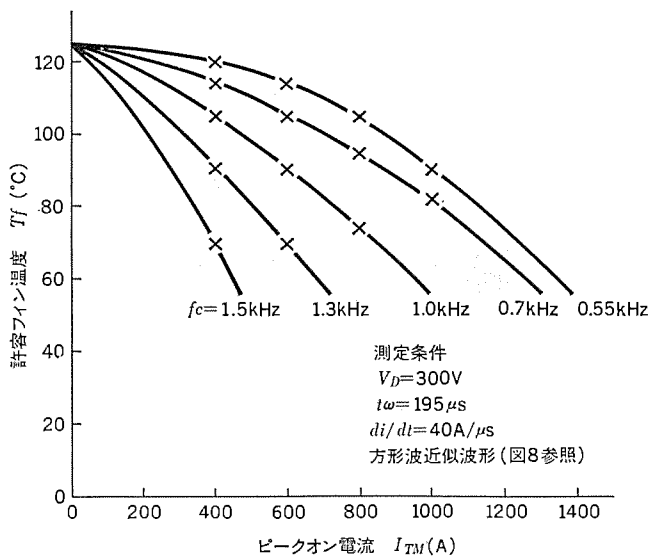


図 7. FR 500 BY-28 の許容フィン温度に対するピークオン電流

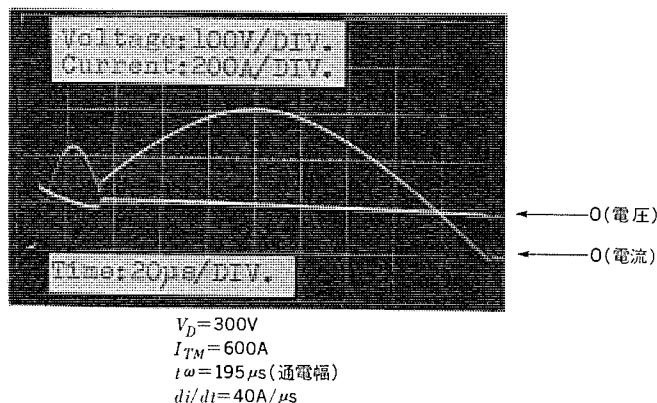


図 8. 方形波近似した通電電流波形

耐圧が高くターンオフ時間が短いにもかかわらず過渡オン電圧が低く、高周波特性がすぐれていることがわかる。

(3) 高周波通電能力： ターンオフ時間の接合温度依存性を基準にして求めた許容フィン温度 (T_f) とピークオン電流 (I_{TM}) の関係を図 7. に示す。この測定結果は図 8. に示す波形 (方形波近似波形, $di/dt=40$ A/ μ s) の電流を流した場合のものであり、これから実使用時の方形波の場合を推定すると、 $f_c=1.3$ kHz の条件では $T_f=70^\circ\text{C}$ において I_{TM} 600 A 程度の電流を流すことができるといえる。この値を HFPWM インバータでの許容出力電流に換算すると 400 A rms ($f_0=250$ Hz, $f_c=1.25$ kHz) になる。

(4) 転流能力： 応用上の要求を考慮してダイオード側にピーク電流 2,000 A 以上の正弦波電流 (幅: 50 μ s) を通電しても転流失敗が生じないことを確認した。

2.2 高周波パルス通電用サイリスタ (FT 300 BX-36)

この素子は VVVF インバータの転流補助サイリスタとして従来の一般用大電力サイリスタ FT 300 AM-36 (耐圧 1,800 V, 電流容量 300 A) の性能に加えて、ターンオフ時間を 30 μ s 以下に短縮し、しかも 2,000 A 以上 (パルス幅 50 μ s) の大電流パルスを 1 kHz 以上の高周波で通電できるようにしたものである。

サイリスタに高周波で幅の狭い大電流パルスを通電するとスイッチング損失が全損失の大部分を占めるようになり電流容量の低減を余儀なくされる。したがってこのような用途に十分な素子性能をもたせるには、初期ターンオン領域の拡大とターンオン電流のひろがり時間

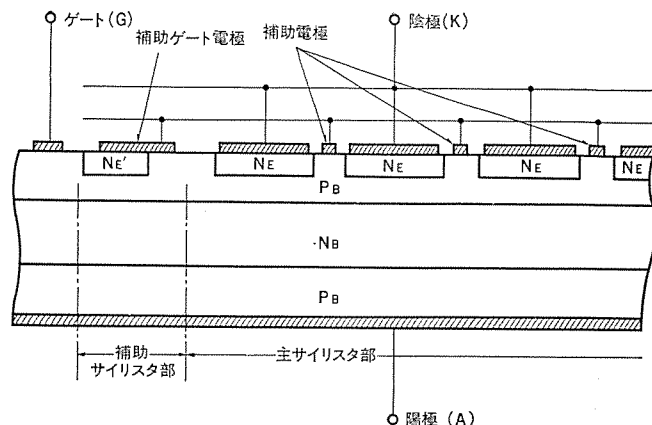


図 9. 高周波パルス通電用サイリスタ (FT 300 BX-36) の基本構造

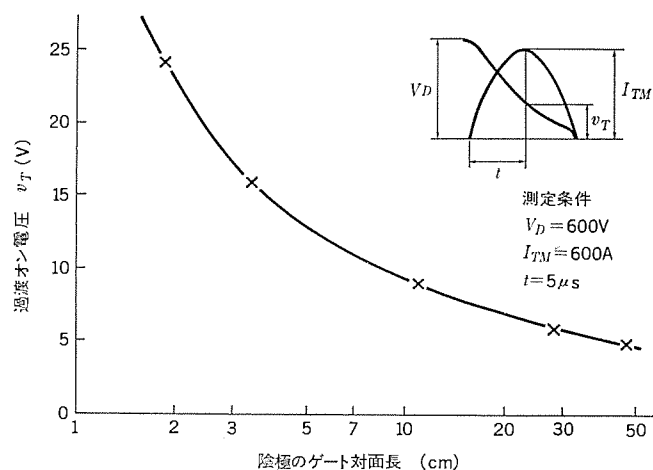


図 10. 過渡オン電圧と陰極のゲート対面長の関係

の短縮をいかに実現してスイッチング損失を減らすかが最も重要な課題になる。

2.2.1 構造

FT 300 BX-36 では、FR 500 BY-28 と同様に補助サイリスタを内蔵して増幅ゲート機能をもたせるとともに、陰極の中に補助電極を複雑に組入るように配置して初期ターンオン面積を増大させ、ターンオン電流が全カソード領域へ広がる時間を極力短縮させて陰極面積利用率を高めたことを特徴としている。その基本的構造を図 9. に示す。

一般に陰極の補助ゲート電極及び補助電極に対向する面の長さ (以下ゲート対面長と記す) を長くすることは図 10. に示すように過渡オン電圧の低減、すなわちスイッチング損失を小さくする効果があるが⁽³⁾、長くなるほど全対面長を均一にターンオンさせることが困難になる。FT 300 BX-36 ではゲート対面長を約 250 mm と長くし、独自のゲート機構を取り入れて全対面長の均一なターンオンを可能にしている。図 11. に FT 300 BX-36 の外観を示す。

2.2.2 特性

表 2. に FT 300 BX-36 の代表的定格、特性 (暫定) を示す。

次に高周波特性に関連した事項について述べる。

(1) 過渡オン電圧： 図 12. は FT 300 BX-36 と同一 Si ウエハ径、同一耐圧をもつ FT 300 AM-36 における過渡オン電圧を比較したものである。この測定結果によれば、FT 300 BX-36 の過渡オン電圧が FT 300 AX-36 の場合に比べて大幅に低くなっている。

一方スイッチング損失を、FT 300 BX-36 と従来の高速スイッチングサイ

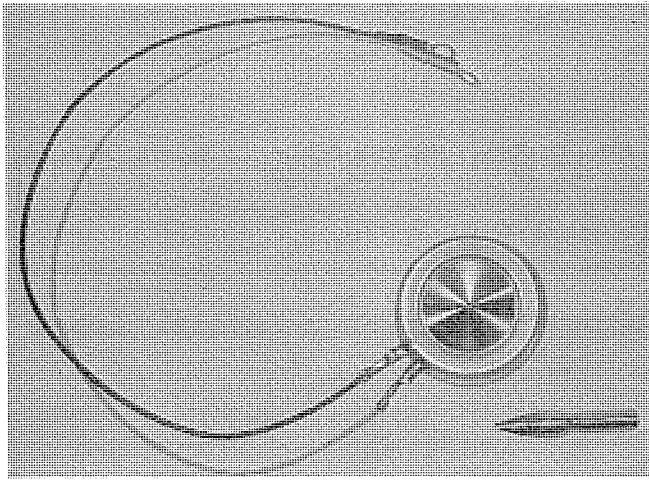


図 11. 高周波パルス通電用サイリスタ FT 300 BX-36 (1,800 V, 2,000 A (パルス幅: 50 μ s), 30 μ s, 1 kHz) の外観

表 2. FT 300 BX-36 の主要定格特性一覧 (暫定)

項 目	記 号	規格値	単位	条 件
1. ピーク繰り返し逆電圧	V_{RRM}	1,800	V	—
2. ピーク非繰り返し逆電圧	V_{RSM}	1,900	V	—
3. ピーク繰り返しオフ電圧	V_{DRM}	1,800	V	—
4. ピーク非繰り返しオフ電圧	V_{DSM}	1,900	V	—
5. ピークオン電流	I_{TM}	2,000	A	$f=1.25\text{kHz}$, $t\omega=50\mu\text{s}$, $T_j=75^\circ\text{C}$
6. サージオン電流	I_{TSM}	4,000	A	$f=60\text{Hz}$, 1 サイクル非繰り返し
7. 臨界オン電流上昇率	di/dt	500	A/ μ s	$V_D=900\text{V}$, $I_{TM}=1,000\text{A}$, $f=60\text{Hz}$
8. オン電圧	V_{TM}	3.5	V	$I_G=1.5\text{A}$, $di/dt=1.0\text{A}/\mu\text{s}$, $I_{TM}=940\text{A}$, $T_j=125^\circ\text{C}$
9. オフ電流	I_{DRM}	50	mA	$V_D=1,800\text{V}$, $T_j=125^\circ\text{C}$
10. 臨界オフ電圧上昇率	dN/dt	300	V/ μ s	$V_D=900\text{V}$, $T_j=125^\circ\text{C}$
11. ターンオフ時間	t_q	30	μ s	$I_{TM}=1,000\text{A}$, $V_D=900\text{V}$, $T_j=125^\circ\text{C}$
12. ゲートトリガ電圧	V_{GT}	3.0	V	$V_D=6\text{V}$, $T_j=25^\circ\text{C}$
13. ゲートトリガ電流	I_{GT}	200	mA	$V_D=6\text{V}$, $T_j=25^\circ\text{C}$
14. 熱抵抗	$R_{th(j-f)}$	0.09	$^\circ\text{C}/\text{W}$	接合-フィン間
15. 圧接強度	—	1,100	kg	推奨値 900kg
16. 接合温度	T_j	-40 ~ 125	$^\circ\text{C}$	—

リスタ FT 300 AX-24 (耐圧 1,200 V, 電流容量 300 A, ターンオフ時間 30 μ s) について比較した結果を図 13. に示す。この結果から FT 300 BX-36 は FT 300 AX-24 に比べて、耐圧が高いにもかかわらず、パルスオン損失が小さく高周波パルス通電用素子として優れていることがわかる。

(2) 高周波パルス通電能力: FT 300 BX-36 についてその許容フィン温度とピークオン電流の関係を示したものが図 14. である。同図にみられるごとく、 $f_c=1.2\text{kHz}$ のとき $T_j \leq 75^\circ\text{C}$ で $I_{TM}=2,000\text{A}$ ($t\omega=50\mu\text{s}$) を通電することができる。このことは 1,000~1,500 A 程度の負荷電流が流れている場合の主サイリスタを転流させることができることを意味している。

(3) ターンオフ時間: FT 300 BX-36 についてターンオフ時間の温度

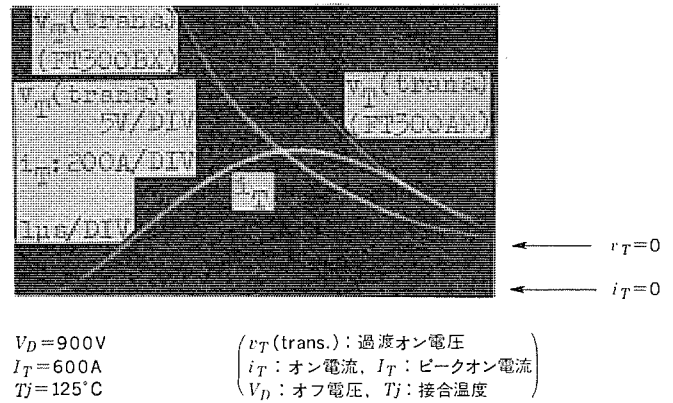


図 12. FT 300 BX-36 と FT 300 AM-36 の過渡オン電圧の比較

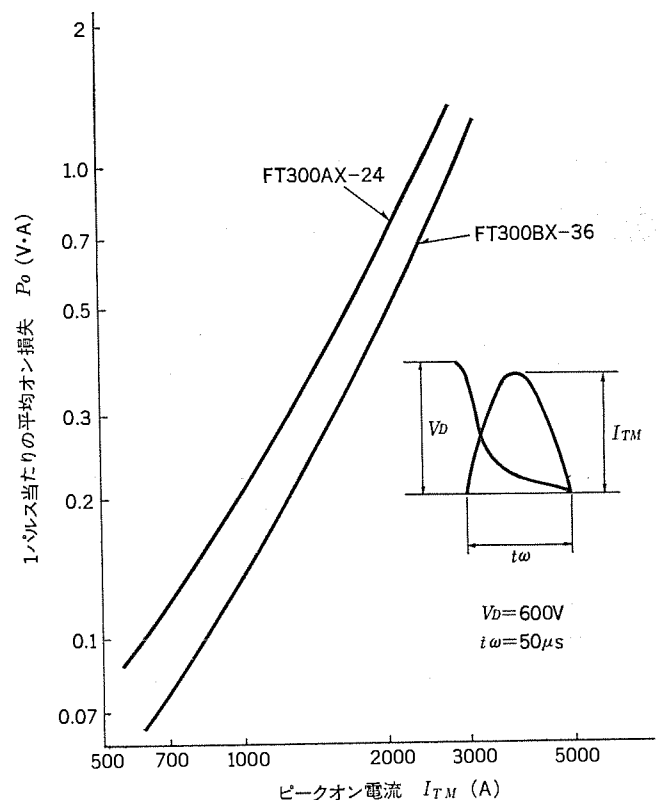


図 13. FT 300 BX-36 と FT 300 AX-24 のパルスオン損失の比較

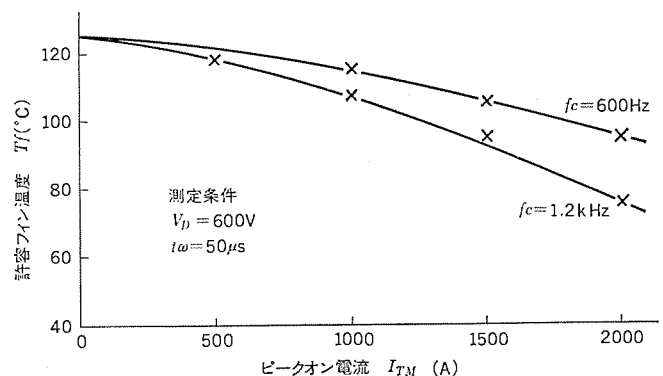


図 14. FT 300 BX-36 の許容フィン温度に対するピークオン電流

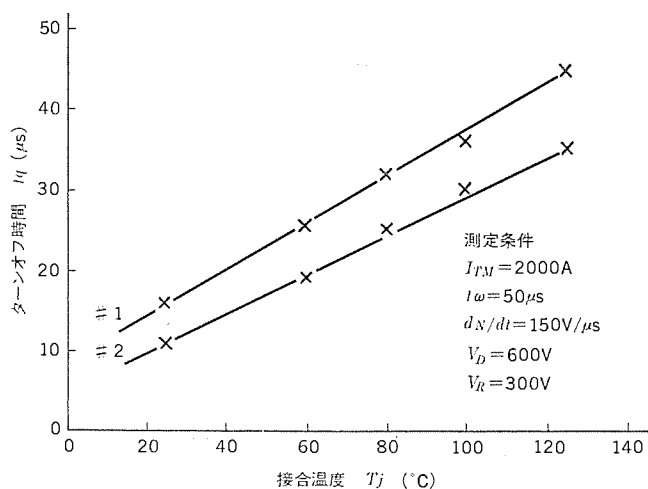


図 15. FT 300BX-36 のターンオフ時間の温度依存性

依存性の代表例を図 15. に示す。この結果は実使用に即してパルスターンオフの条件で測定したものであるが、パルスターンオフでなく EIAJ に基づく広幅パルスで測定したターンオフ時間 (t_q) は $t_q \leq 30 \mu s$ を十分満足している。

3. 応 用

FR 500 BY-28 と FT 300 BX-36 は HFPWM インバータに使用することを目的として開発されたサイリスタであり、特に出力周波数の高いインバータに適した性能を有している。

HFPWM インバータとしては特に当社応用機器研究所で開発された TC 転流 (Transfer Current Commutation) 方式を使用したインバータ⁽⁴⁾が注目されている。その基本回路を図 16. に示す。この回路の動作説明については割愛するが、この回路に FR 500 BY-28 と FT 300 BX-36 を使用した場合に実現可能なインバータの定格を推定すると表 3. のようになる。また、HFPWM インバータにしない場合は出

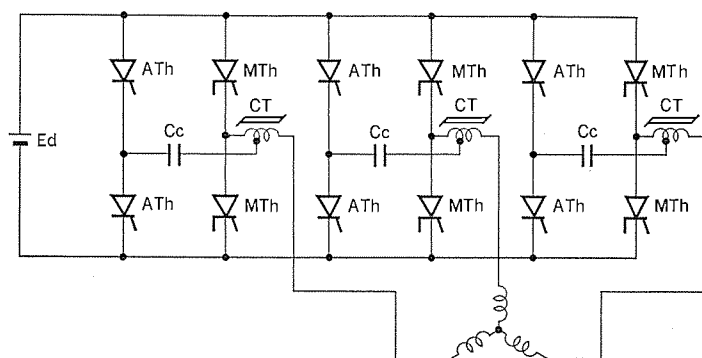


図 16. TC 転流方式を用いた高周波パルス幅変調式インバータ

表 3. 本開発素子による HFPWM インバータの実現可能な定格 (推定)

項 目	単相インバータ	三相インバータ
出 力 周 波 数	250 Hz	250 Hz
搬 送 波 周 波 数	1.25 kHz	1.25 kHz
出 力 電 圧	440 V rms	440 V rms
出 力 電 流	400 A rms	400 A rms
最 大 出 力 容 量	180 kVA	300 kVA

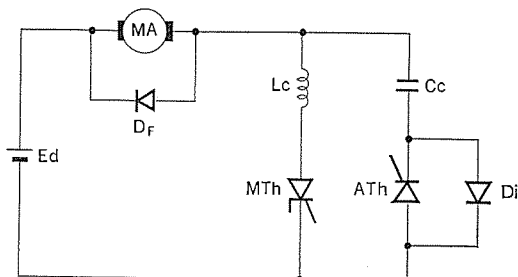


図 17. インパルス転流によるチョップ回路

力周波数が約 1 kHz で表 3. に示した値と同じ程度の出力容量を有するインバータの製造が可能になる。

更にこの開発素子は単にインバータだけでなく、例えば図 17. に示すようなチョップ回路などにも広く応用できるものと期待される。

またこれらの応用分野において、従来実用化が困難と考えられていた出力周波数 400 Hz~1 kHz の周波数帯においてもその性能を遺憾なく発揮できるものと考えられる。

4. む す び

高周波パルス幅変調式インバータの主・転流補助サイリスタとして開発された FR 500 BY-28 と FT 300 BX-36 の構造・特性・応用について述べた。

これらのサイリスタはいずれも高耐圧、大電流容量を維持したまま高周波特性を著しく向上させたものであり、HFPWM インバータをはじめ高周波動作を必要とする各種インバータ、チョップの分野で実用化されるものと期待される。

参 考 文 献

- (1) 船川ほか：三菱電機技報，45，No. 4，486 (昭 46)
- (2) 岡ほか：三菱電機技報，45，No. 4，471 (昭 46)
- (3) 岡ほか：三菱電機技報，44，No. 5，692 (昭 45)
- (4) 赤松ほか：三菱電機技報，47，No. 3，321 (昭 48)

1. ま え が き

最近の都市構造の高密度化及び大都市への人口の集中化は著しく、さまざまな社会問題を投げ掛けつつある。なかでも防災問題に対する世間の関心は、大災害を招いた幾多の火災が契機となり、次第に高まってきた。この傾向は日本だけでなく、ソウルの大然閣ホテル、ニューヨークの貿易センタービル、サンパウロの再度にわたるビル火災などを通じて、世界的にも共通しており、火災の未然防止あるいは被害を最小限にくい止める手段の開発は急務とされている。

本文では防災問題に関する動向と当社の防災に関する研究及び開発成果の中から次の2点を取り上げ、ここに紹介する。

(1) 防災システム《MELNICS》

(2) 避難誘導 シミュレーション

いったん火災が発生した場合に被害を最小限にくい止めるためには、火災を早く発見し拡大防止の処置を行うこと、そして人を安全に逃がすことが肝要である。これを実現するためのシステムが《MELNICS》であり、避難誘導シミュレーションは、《MELNICS》に避難誘導機能を付加する上で不可欠な研究である。

2. 防災における最近の動向

最近10年間の火災件数及び被害額などの推移は図1.⁽⁴⁾に見られるように、昭和48年まで、毎年増加の一途をたどってきた。

一方では最近の建築資材の質的变化に伴い、火災の進行状況、被

害状況も変わり、高度成長下の公害が大きな社会問題となったのと同様に、ビルの高層化、過密化にともなう災害の怖さが、人々の防災に対する認識を高め、消防法、建築基準法といった法的規制も大火災発生ごとに次第に強化されてきている。

現在までに判明している火災拡大と避難不成功の原因を多くの高層ビル火災事例及び火災実験研究などから分析した結果、表1.⁽²⁾に示す問題点が明らかになった。要するに

- (1) 火災の早期発見と通報
- (2) 迅速な初期消火
- (3) 確実な排煙、しゃ煙、防煙
- (4) 安全な避難とその誘導

が実現できれば、火災の拡大を防ぎ、多数の犠牲者を出すことなく被害を最小限にくい止めることができたはずである。これら四つの項目をより確実なものにするため、次に掲げるさまざまな提案がなされている⁽³⁾⁽⁵⁾。

- (1) 火災の早期発見に関連する事項
 - (a) 火災感知器単体の誤失報対策
 - (b) 煙・ガス濃度、温度などのアナログ量トレンド監視、あるいは段階的監視による火災覚知確度の向上
 - (c) 煙、ガス、温度など異種感知器あるいは同種感知器の組合せによる火災情報冗長性と火災覚知確度の向上
- (2) 消火に関する事項
 - (a) 素人でも容易に操作可能な屋内消火せん(栓)の改良・開発
 - (b) 高層ビルなどにおけるスプリンクラー配管内水圧均等配分化
 - (c) 計算機に代表される情報処理装置あるいは高価な事務機器類に対する無被害消火方式の採用
- (3) 排煙、防火、防煙、しゃ煙などに関する事項
 - (a) 館内加圧方式、廊下加圧方式の検討
 - (b) 煙の挙動解析、煙の挙動予測手法の研究
 - (c) 消煙機器の研究・開発
- (4) 避難に関する事項
 - (a) スパイラルシュタあるいは緩降機その他避難に供する設備の採用
 - (b) 避難誘導制御システム(避難方向の指示)の開発
 - (c) 避難時における群集流解析
 - (d) 避難方向を指示する器具類の開発
- (5) 防災設備に関する評価方法

ある建物の防災設備による安全性向上の定量的評価方法の研究、こうした問題を解決する一つ的手段として防災設備のシステム化が提唱されている。防災システムは、現場に居合わせた人達、防災センターの監視員、消火や誘導に当たる人達と機械や建物の構造が複雑に絡み合ったシステムだけに、その計画は慎重な検討を行った上でシステム化を図る必要がある。すなわち①防災センターで人によって行われる監視・確認・伝達・操作の作業を分析し、②より集約された情報に整理する。③いたずらに自動化を図るのでなく機械化のほうが好ま

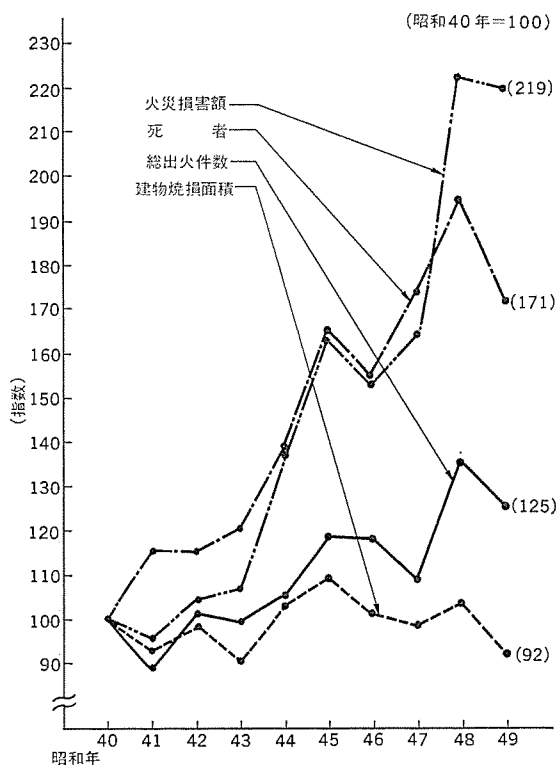


図1. 火災の傾向 消防白書(昭50年)より

表 1. 火災拡大と避難不成功の原因と問題点

原因		問題点とその分析		原因		問題点とその分析	
火災拡大の原因と問題点	消防法	初期消火の不成功	(1) 発見の遅れ (2) 消火器の不備 (3) 自動火災報知設備の不備 (4) 自動消火設備の不備 (5) スプリンクラのしゃへい物による効果低下	消防法	避難誘導設備と誘導者の不備	(1) 誘導灯の不備、避難器具の不備 (2) 方向指示制御方式（風向、煙方向、出火場所等の条件による自動方向指示制御）の開発の必要性 (3) 建物管理者の責任	
		通報の遅れ	(1) 通報者心理混乱による遅れ (2) 発見遅れによる通報不能 (3) 自動通報設備の不備 (4) 自動火災報知設備の不備		火災報知設備とそのアラームの不備	(1) 設備故障 (2) アラーム方式の改良	
		多量の煙による消火活動の不能	(1) 現場排煙の困難性 (2) リモコン排煙の必要性 (3) 消煙技術開発の必要性		非常放送設備とその運用の不備	(1) 設備故障 (2) 運用管理の不徹底 (3) 自動放送の必要性 (4) 正確な情報はあくとその伝達の必要性	
		防火設備の不備	(1) シャッター、防火ダンパ等の不備 (2) シャッター、防火ダンパ等の不適正配置		避難口、方法等の不備	(1) 避難口、とびら開錠の不備 (2) 避難通路、階段の不備	
		排煙設備の不備	(1) シャッター、ダンパ等の耐熱、熱伝導性の弱点 (2) シャッター構造（くぐり戸、郵便受）の弱点 (3) 建築上の不備（シャッター取付工事とその近傍の防火性） (4) エスカレータ回り、天井、シャッターの不備 (5) 消防法、建築基準法の不統一による煙感知器の不適正配置、連動システム信頼性向上の必要性 (6) 排煙設備自動操作方式（シーケンス）の開発必要性		煙、ガス等による避難不能	(1) 排煙ダクト、空調ダクト共用の問題 (2) 排煙口ダンパの不完全性による問題 (3) 排煙ファンの不備 (4) 空調ダンパ区画、自動切換排煙方式の開発必要性 (5) 消煙方式開発の必要性 (6) シャッター方式開発の必要性	
	建築基準法	空調系ダクト、ファンなどによる煙、熱気の拡散	(1) 大規模ダクト式空調による煙と熱気流の拡散（ユニット式空調ならその被害は少ない） (2) 火災時空調操作方式の開発必要性	人間心理	パニック状態	(1) パニックにおける人間心理は、必ずすみへすみへと逃げる人間行動を起こす (2) パニックにおける人間心理は、人の多勢いる方へ向く (3) 火災そのものより、パニックによる災害が大きい (4) オフィスビルの80%は、内部の様子を知っているが、ホテルあるいは百貨店での客のパニックは大きい（オフィスビルとホテルビルにおける避難誘導方式の相違点と重要性）	

注) ○印は中央防災センター監視、制御すべき項目

しい処理についてだけ自動する。④時間的余裕のない処理は可能な限り合理化する。⑤災害時に複数の防災センター保安要員が各自に与えられた作業分担を誤りなく迅速に遂行できるよう運営面の検討を行う、といった内容に集約される。

仮りに設備に多額の投資を行ってもその維持管理、防火管理、あるいは防災センターの運営管理が適切に行われないと建物の防災性能の向上は望めない。この点での見直しが最近大きくクローズアップされている。

3. 防災システム《MELNICS》の機能

3.1 システム開発の構想

ビルの大形化、高層化、都市の高密度化、法的規制強化などの社会情勢の変化に伴い、ビル在館者数の増加、防災設備の数量増加、多様化、ビルの多目的使用、模様替えひん度の増大などの傾向が顕著であり、防災関連情報量の増大、火災危険度増大、火災現象の多様化・複雑化、被害程度の増大といった現象が表面化してきている。こうした背景から火災被害を最小限に食い止めるための原則つまり、早く火災を発見し、処置を迅速に行い、在館者を安全に避難させるためには、防災設備のシステム化は不可欠である。

《MELNICS》開発に当たり設定した目標と内容を図 2. に示す。

(1) 人間系のバックアップ

非常時における人間（防災センター保安要員・在館者・消防隊など）の判断を援助するシステムであること、そのために防災センターにおける中央集中監視制御方式を採用する。防災センターに与える情報は、生情報を判断しやすい形に加工し表示装置も CRT などを導入し人間工学的なマンマシンインタフェースとする。防災センターでの操作に関し

慮する。

(3) 日常有効利用性

災害時だけでなく、正常時でも防災センター設備を使用して、システムの日常有効利用性を高めるようにする。そのために防災センター保安要員に対する訓練教育などの機能をシステムに組み入れる。

(4) 防災センタースペースの縮小

建物空間の効率的利用の点から、機器のコンパクト化、デジタル伝送方式の採用など情報伝送方式の合理化などにより機器の専有スペースの縮小を図る。

(5) 柔軟性

建物の規模によるシステム機能構成の相違、増改築、間仕切変更に対する拡張性、変更可能性などを容易にする。

なお《MELNICS》は建物規模に合わせてモデル化がされている。モデル 30 は小規模建物用、モデル 100 は中規模建物用、モデル 350 は大規模建物用である。

3.2 システム構成

《MELNICS》を中心とする防災センター及び防災端末機器との関連を図 3. に示す。同図は火災の状況変化（出火→潜在期→成長期→最盛期→鎮火期）に応じてどの防災機器が作動し、防災センターとどのようなやりとりをしながら火災に対する処理を行ってゆくかを説明している。また図 4. に《MELNICS》の機器構成を示す。

3.2.1 総合操作盤

防災センターにおいて火災情報を集中監視制御するための装置で、表示部、操作部に大別される。（図 5.、図 6. 参照）

表示部には最大 1,000 種類の建物平面図・設備系統図などを CRT 画面に検索表示する装置、建物フロア単位で防災設備の作動を集約

ても操作スイッチ類の合理化、集約化を図るとともに、短時間内に処理の必要なもので機械化、自動化の可能な機能については極力これを推進する。また防災センター保安要員の誤判断、誤操作の解消と肉体的、心理的負担の軽減を図るために論理判断装置を採用する。
(2) 信頼性・保守性の向上
機器単体の信頼性を増すとともに論理判断装置から一定時間間隔ごとに主要機器の信頼度、安定度監視を行いシステム全体としての信頼性向上を図る。また設備機器を日常使用することにより、機器正常動作を確認できるようシステム機能を考える。一方機器のユニット化により保守性の向上を図る。機器故障のバックアップも考

表示するマトリックス表示灯、集約表示灯がある。また、キャラクタ表示装置、ITVモニタ装置なども組み込む。操作部には遠方制御をはじめとする操作のための各種リクエストスイッチ、非常電話、内線電話、局線電話、インタフォン、非常放送レピータがある。記録用タイプライタは総合操作盤近傍にある。

3. 2. 2 論理判断装置

マイクロコンピュータ機能を有する装置で、CPU部、メモリ部、プロセス入出力制御部、周辺機器制御部などより構成され、①火災信号入力処理、②総合操作盤への表示処理、及び操作に対する処理、③火災の論理判断制御、④感知器との連動制御、⑤画像表示処理、⑥防災監視員との対話処理、⑦誤操作判定などの諸機能を有する。

3. 2. 3 伝送装置

ビル内に多数散在する防災端末設備からの情報収集及び防災端末設備への制御信号送出において、信号点数が多い場合、ケーブル集約の目的で伝送装置を用いる。伝送中央装置は論理判断装置の近傍に、伝送端末装置はビル内随所に設置し、各防災端末機器と接続する。伝送装置は建物規模、防災端末機器点数、防災端末機器の平面的散在の程度などを総合的に判断し最適の機種を

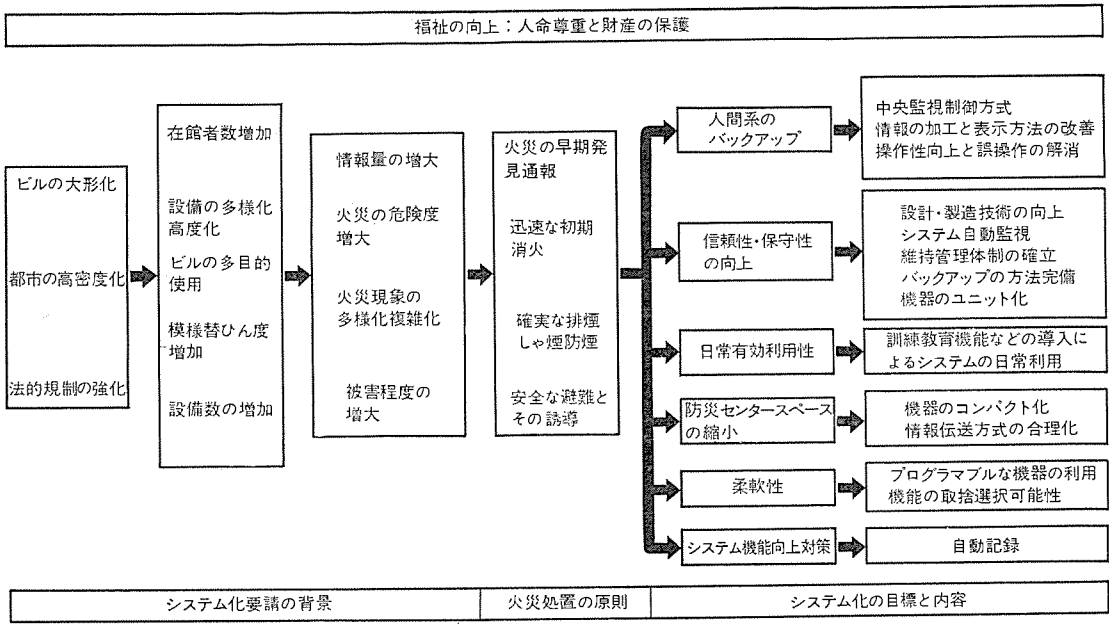


図 2. 防災システム化の背景と目標

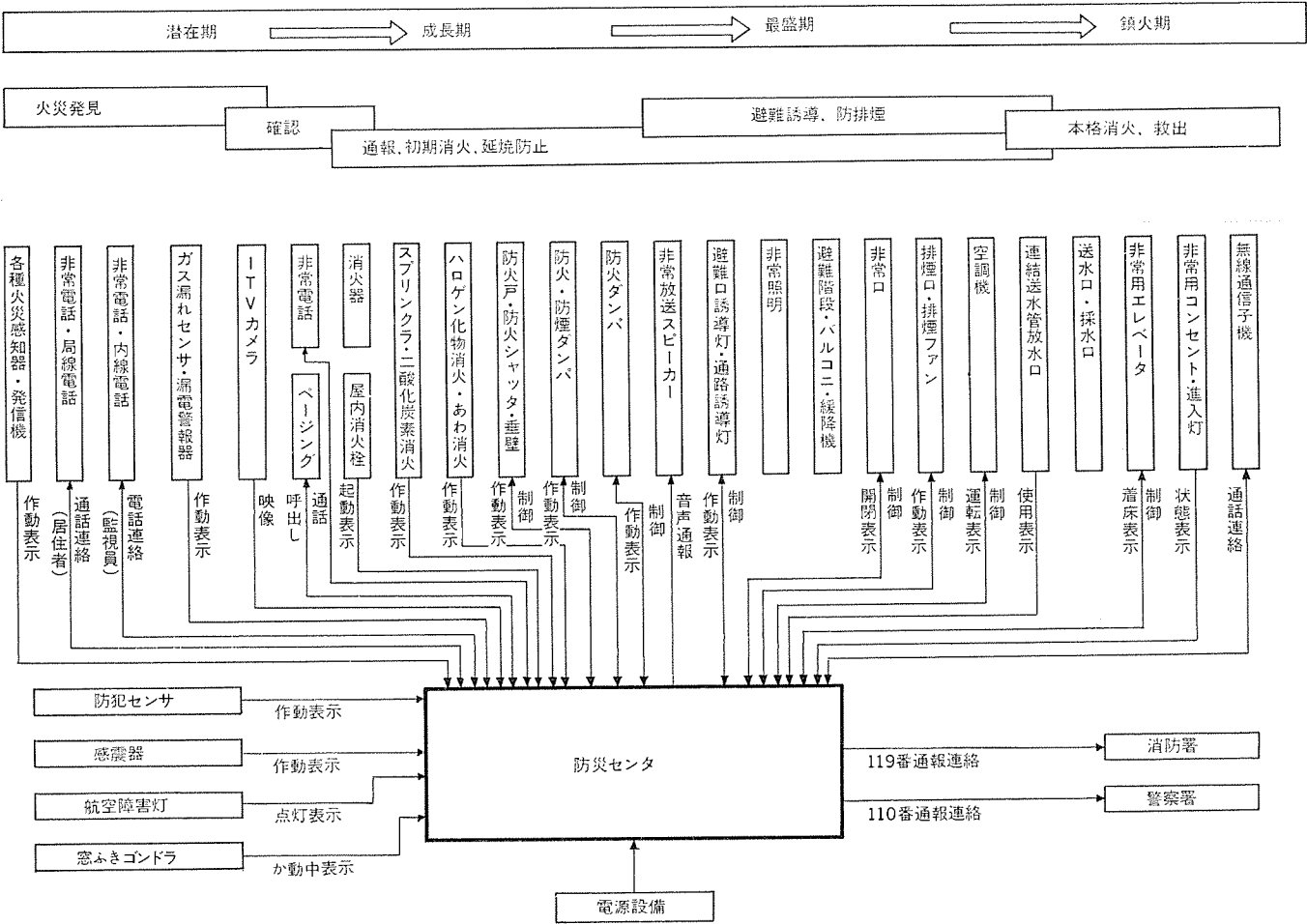


図 3. 防災システム情報フロー

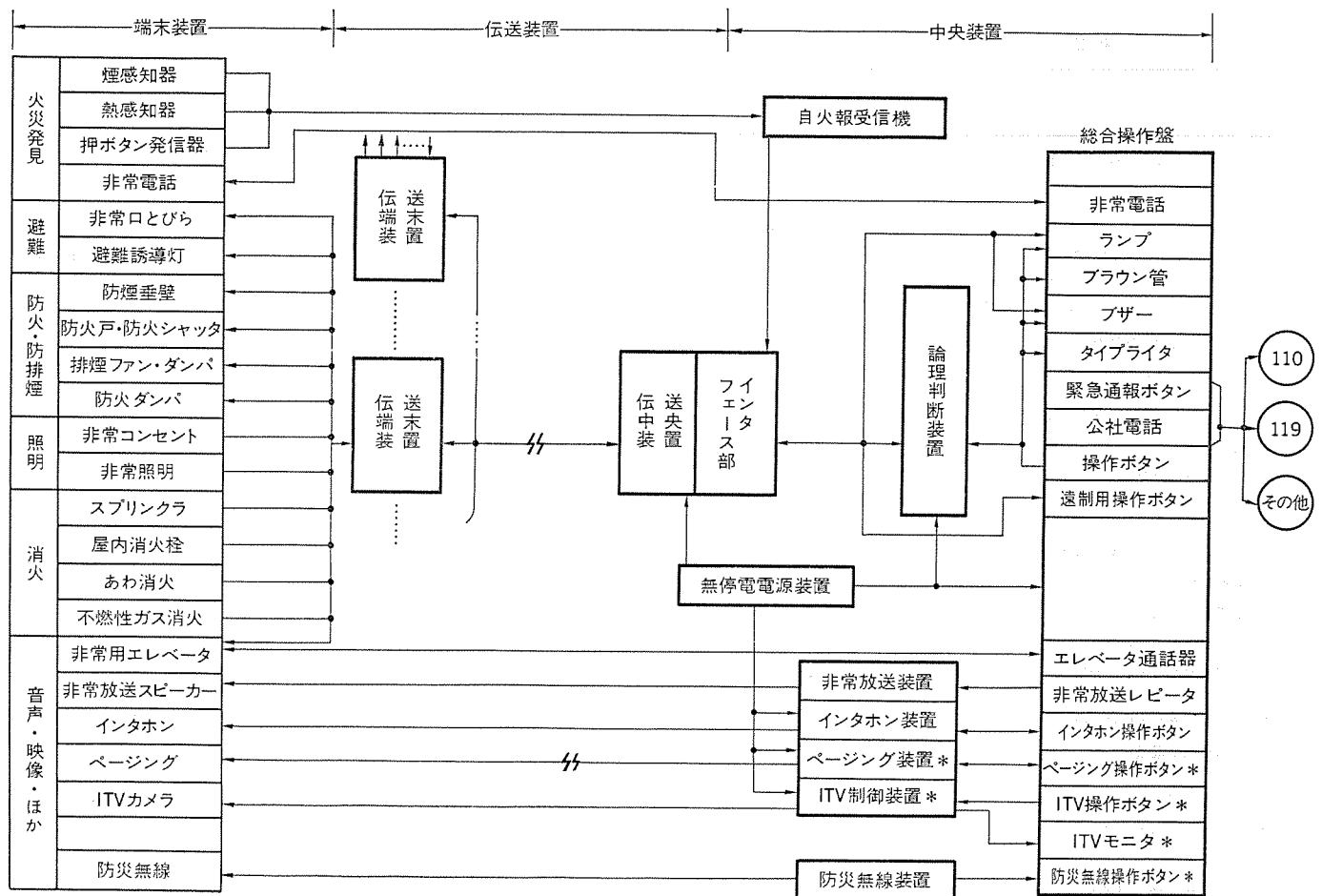


図 4. 《MELNICS》システム構成例（*印はオプション）

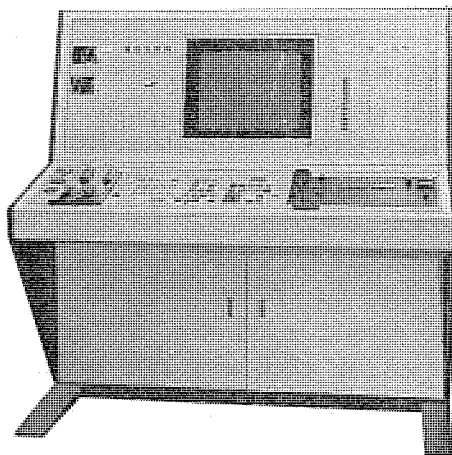


図 5. 総合操作盤

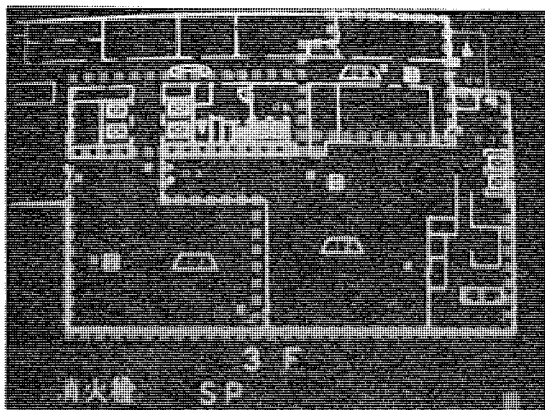


図 6. 画像表示装置表示例

選択できるようになっている。

3. 2. 4 自動火災報知設備

受信機の移信信号を論理判断装置に取り込むようになっており、R形受信機、P形受信機のいずれも接続可能である。

3. 2. 5 非常放送装置

館内に非常放送を行うための装置であるが、レピータ装置は総合操作盤に収納される。

3. 2. 6 電源装置（無停電電源装置）

停電時に非常用発電装置が安定か（稼）動するまでは、バッテリーなどにより無停電を確保できるような電源装置である。

3. 2. 7 その他オプション機器

以上の諸機器の外、建物用途、規模などによっては、ページング装置、ITV装置、集音マイク、無線通信補助設備なども必要に応じて設備されることがある。

3. 3 機能

《MELNICS》の30、100、350の各モデルが標準的に持つ機能をまとめたものが表2.である。表中各機能を監視機能、制御機能、記録機能、管理機能に分類し、以下に説明する。

3. 3. 1 監視機能

(1) 火災報知設備発報時（図3.、図6.参照）

火災報知時に火災報知受信機の発報信号を受けると論理判断装置は総合操作盤の画像表示装置上に火災発生階の建物平面図を写し出し、火災報知警戒区域を赤色スポットで囲みフリッカさせると同時にフロア単位、機種別の集約表示を行う。建物平面図は、フロア全体図面、分割詳細図面を持っており、まず大づかみな情報を全体図面で表示し、

表 2. 機 能 一 覧

	機 能	《MELNICS》 シリーズモデル			関連する端末機器
		30	100	350	
火 災 発 見	1. 火災発生場所の表示 (地区窓)	○	○	○	煙感知器, 熱感 知器
	〃 (ブラウン管画像表示)		○	○	発信機
	〃 (キャラクタ表示)			○	スプリンクラ
	〃 記録 (タイプライタ)		○	○	消火装置
	〃 警報 (ブザー)	○	○	○	非常電話
避 難・誘 導	2. 火災発生場所覚知度の向上		○	○	
	3. 火災感知の傾向監視			○	
	1. 非常放送内容, 放送系統の自動選択		○	○	避難誘導灯 非常口 非常放送
防 火・防 排 煙	2. 避難誘導灯の方向指示		○	○	
	3. 非常口の自動解錠		○	○	
	1. 設備の作動区画の表示, 警報, 記録	火災発見と同じ			排煙ダンパ, フ ァン
	2. 火災感知器との連動制御 (論理判断装 置経由)	○	○	○	防火戸
	3. 設備の予測制御		○	○	防火シャッター
照 明	4. 防災センターからの手動遠隔制御	○	○	○	防煙ダンパ
	5. 空調機器の火災時自動停止	○	○	○	防火ダンパ
消 火	1. 非常コンセント給電監視		○	○	非常コンセント
	2. 非常照明給電監視		○	○	非常照明
	1. 設備作動区画, 系統表示, 警報, 記録	火災発見と同じ			連結送水管 スプリンクラ 屋内消火栓
	2. 消火用水レベル監視		○	○	あわ消火 ハロン, 不燃性 ガス
そ の 他 音 声・映 像	3. ポンプ類始動・停止監視		○	○	
	4. ポンプ類手動遠隔制御操作		○	○	
	1. 非常用エレベータの自動呼もどし制御		○	○	非常用エレベ ータ 非常放送
	2. 一般エレベータの管制運転指令		○	○	インターホン
	3. インターホン通話	○	○	○	非常電話
	4. 非常電話	○	○	○	ページング
	5. ページング	○	○	○	
	6. ITV カメラ自動選択, VTR 自動始動 記録		○	○	ITV カメラ
管 理	7. 防災無線 (主として地下街)			○	防災無線
	8. 非常放送音声編集			○	
	1. 防災監視員の訓練, 教育		○	○	キャラクタディ スプレー 画像表示装置
	2. 日常点検事項の指示		○	○	シミュレータパ ネル
	3. 防災シミュレータパネルによる模擬火 災訓練		○	○	タイプライタ
	4. 防火シャッターの自動開閉			○	ライトペン
	5. 防火ダンパの日常開閉			○	
	6. 可燃物貯蔵所管理, 火点管理		○	○	
	7. 可燃物持込管理			○	
	8. 保守点検の自動化 (予防保全)		○	○	
	9. 防災設備の状況日報, サマリ			○	
	10. 館内入場者のカウント及び入場制限			○	
	11. ガス漏れ時の電気回路シャ断			○	
	12. 模様替工事の防火管理			○	
	13. 巡回監視記録			○	

その後監視員が必要に応じ詳細図面を選択し詳細な火災情報をはあく(把握)できるようになっている。同時に警報音発生, タイプライタ記録も行う。

(2) 消火設備作動時

スプリンクラのアラーム弁信号, ポンプ作動信号により総合操作盤上に画像で作動系統表示する外, フロア単位, 機種別の集約表示を行う。

(3) 非常電話による通報時

非常電話により火災場所が判明したときはその警戒区域番号をキー入力すると以後(1)の火災報知設備発報時と同様の処理を行う。

(4) 防火, 防排煙設備作動時, 非常口開閉時

防火・防排煙, シャ煙装置が作動した時, あるいは非常口が開閉した時には, それらの機器作動検出機構からの信号を受け取り, 総合操作盤画像表示装置上に該当フロアの平面図を写し出し, 機器作動位置及び状態をスポット表示し, フロア単位の集約表示をマトリックス表示する。なお論理判断装置から自動制御信号が送出された場合は機器作動応答信号が返ってくるまではスポットはフリッカする。

(5) 非常放送時

非常放送中の階をマトリックス表示する。

(6) 空調設備

排煙設備作動時には空調設備を停止しなければならないが, その状態確認を画像平面地図上スポット表示, マトリックス表示, 集約ランプ表示などで行う。

(7) その他

非常エレベータ基準階着床完了, 非常電源使用中, 漏電火災警報器作動などをランプ表示する。

以上の機能についてはタイプライタ自動記録がなされるが, オプションとしてキャラクタディスプレイ装置を採用すると, タイプライタ印字内容と同じ内容の情報と画像表示, マトリックス表示, 集約ランプ表示に対する補足的な情報も表示でき, 防災センター監視員の災害状況把握をより高めることができる。

3. 3. 2 制御機能

(1) 防災機器遠方制御操作

総合操作盤上の機器選択用押しボタンスイッチ, データ入力用テンキースイッチ, リクエストスイッチなどの操作により, 防火防煙, 排煙設備, 消火ポンプ類, 空調設備などの発停遠方操作, 非常エレベータ呼もどし, 非常口開閉遠方操作などを行う。

なお遠方制御が行われた場合には画像表示装置への平面図表示とスポットフリッカ表示を行い, 機器作動応答信号が入るとフリッカは常時点灯に変わるとともにマトリックス表示, 集約ランプ表示される。記録は制御信号送出時, 応答信号入力時それぞれ行われる。上記以外にもランプ点灯試験, 火災試験指令, 画像表示装置画面選択, 自動制御開始指令, 火災確認, 火災鎮火指令, 非火災報処置指令, 電話・インタフォンによる通話, 非常放送操作, 消防・警察への緊急通報の外 ITV カメラ選択・操作, ページング操作, 無線通信補助設備操作などの諸機能も実施できる。

(2) 論理判断装置による自動制御

火災時における制御は, 火災の状況に即応したものでなければならない。したがってその制御内容は建物用途, 規模, 設備種類などによりその都度一番適切な方式, 内容にしなければならない。例えば, 火災状況を3段階のレベルに分類し, 各レベルに応じて制御内容を決定する方法が考えられる。

(a) レベル1: 防災センター監視員による火災の未確認状態, 又は論理判断装置に火災情報は入力されているがまだ本火災と判定し得ない状態における自動制御

(b) レベル2: 防災センター監視員により火災であることが確認された状態, 又は論理判断装置に火災情報が入力され, 本火災と判定し得る状態 (ただし火災の初期段階) における自動制御

(c) レベル3: 防災センター監視員により火災であることが確認

表 3. ランク別自動制御内容の一例

ランク	ランク判定条件	制御内容
ランク1	○自火報信号(1警戒区域) ○消火栓ポンプ始動ボタン信号のうち一つ又は両方	○非常エレベータ呼もどし ○消火栓ポンプ始動 ○非常放送(1)(火災階, 直上階) ○ITVカメラ選択(オプション)
ランク2	○自火報信号(2警戒区域) ○自火報受信機信号(1警戒区域) ○スプリンクラ作動信号(1警戒区域)のうち一つ以上	○空調停止(火災階, 直上階) ○防排煙制御(" ") ただし制御はフロア単位 ○防火戸, 防火シャッター(" ") ただし制御はフロア単位 ○非常口解錠(" ") ○非常放送(3)(" ") ○非常放送(2)(火災階, 直上階以外の階) ○避難誘導制御(全フロア)
ランク3	○自火報信号(3警戒区域以上) ○スプリンクラ作動信号(2警戒区域)のうち一つ又は両方	○防排煙制御(全フロア) ○防火戸, 防火シャッター(" ") ○非常口解錠(" ") ○空調停止(" ") ○非常放送(3)(" ") ○避難誘導制御(全フロア)

注) 非常放送(1), (2), (3)は放送内容が3種類あることを示す

されており, かつ初期消火不可能と判断された状態, 又は論理判断装置に火災情報が入力され, 情報内容から大規模火災あるいは火災の拡大状態であると判断し得る状態における自動制御。

これら三つのレベルにおける自動制御内容の具体例を表3.に示す。論理判断装置から防災端末機器への制御信号送出時, 及び制御に対する機器作動応答信号入力時には, 総合操作盤表示部に端末機器の作動系統, 作動位置, 作動状況が建物平面図上表示, フロア単位集約表示として行われ, タイプライタ記録も自動的に行われる。

3.3.3 管理機能

システムの日常有効利用性を高めかつ防災センターの運営管理を円滑に行う目的のための機能である。

(1) 監視員に対する訓練・教育

災害時に防災センターの監視員が迅速・適切な処置を行えるよう, 日頃から十分な訓練をしておく必要がある。訓練の内容としては, 機器操作, 火災時における防災機器の作動順序把握などがあるが防災センター内の論理判断装置, 画像表示装置(ライトペン付), 総合操作盤を中心に防災センター監視員の訓練を行う。この機能は機器を実際に使用して行うため, 機器動作チェックも兼ねることができ, システム信頼性向上のためにも有効である。

(2) 日常点検事項の指示

日々の点検事項を画像表示装置に写し出し, 点検漏れを防止するとともに訓練の一役も担う。上記機能以外にも保守点検の自動化, 防災設備状況日報・サマリ, 可燃物・火点管理, 模様替工事中箇所管理, 巡回監視記録, ITVによる入場者把握, ガス漏れ検出などといった機能, 及び防犯監視などがある。

3.4 ビル総合管理と防災システム

従来, 受変電設備, 空調設備などの設備管理と, 防災・防犯監視などの保安管理との2本立ての管理体制をとることが多かったが, ビル内の情報の一括管理への傾向, 省力化などの面から, 両管理を1本化し, 広くビル総合管理としてとらえてゆく傾向が顕著である。当社も過去十数年間にわたるビル総合管理システムの実績があるが, 前述のように, 防災管理機能を含めた総合ビル管理システムの受注例が最近多くなってきた。

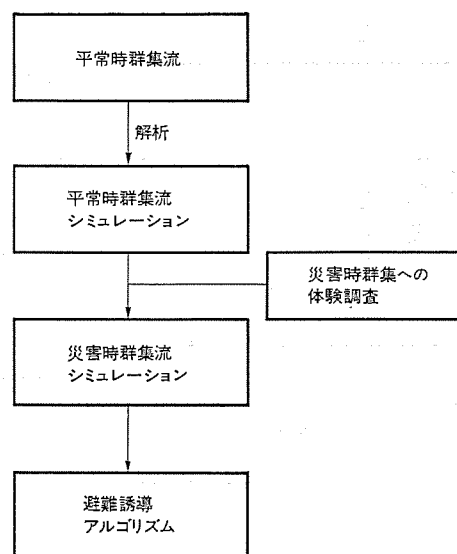


図 7. 避難誘導アルゴリズムの作成

4. 避難誘導とシミュレーション

火災時に, 避難群集を安全な場所に誘導することは, 防災システムの重要な目的である。しかし現在では, 異常時の群集心理の解析が難しく, 火災時に群集がどのような行動をするかほとんどわかっていない。このため, 必要性は認識されていても避難誘導方法の確立は難しい。

そこで図7.に示すように, 平常時の群集流シミュレーションを行い, これに実際の火災体験群集に対する調査の結果を検討し, 合わせたものを火災時群集流シミュレーションとし, 避難誘導アルゴリズムを作るのが妥当であろう。ここでは, その前段として, 平常時の群集流シミュレーションについて紹介する。

さて, 群集流に影響を及ぼす要素としては, (1)建築上の要素, (2)歩行者各人の要素の二つがあり, これらが複雑に関連し合っ群集流を構成する。この二つの要素は更に次のように分けられる。

(1) 建築上の要素

- (a) 通路
- (b) 階段
- (c) 交差点(T字路等も含む)
- (d) 案内, 誘導の有無

(2) 歩行者各人の要素

- (a) 性別, 年齢
- (b) 通行目的
- (c) 時間の余裕
- (d) 心理的要素(災害時の群集流特性に影響する)

群集流シミュレーションとしては, 歩行者各人の歩行状態は考慮せず, 歩行者全体の諸量を平均化して考える。マクロ的シミュレーションと, 歩行者各人の, 追い越し, 対面回避等を考慮した, ミクロ的シミュレーションがあるが, ここでは, 後者のミクロ的シミュレーションをとり上げる。

4.1 群集流シミュレーション

群集流の要素の内, (1)の建築上の要素については通路幅, 交差点の形状(T字路, 四差路等), 階段こう配として考え, (2)の歩行者各人の要素は, 各人に希望速度(VH), 希望方向(VD)を与え, (a), (b), (c)の要素をこの二つで表す。

各人の歩行状態を決定する要素としては, 同一方向者の追い越し, 右・左折者の追い越し, 対面者の回避, 追い越し不可能な時の減速,

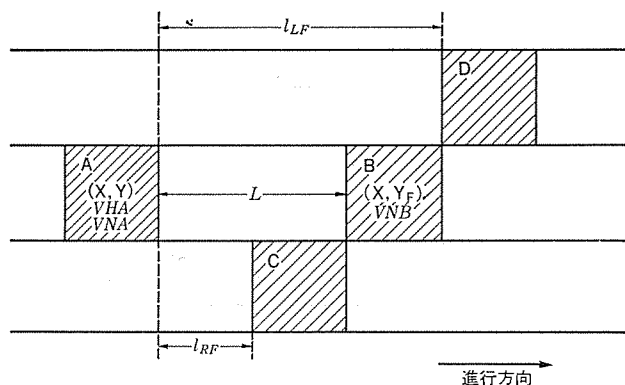


図 8. 追い越しの条件

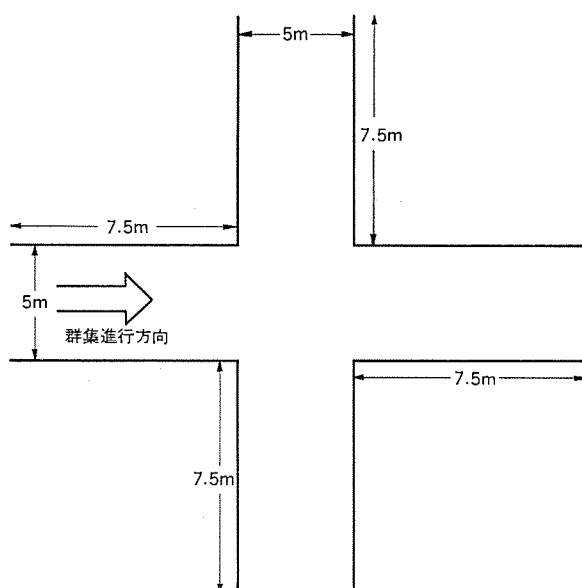


図 9. 交 差 点

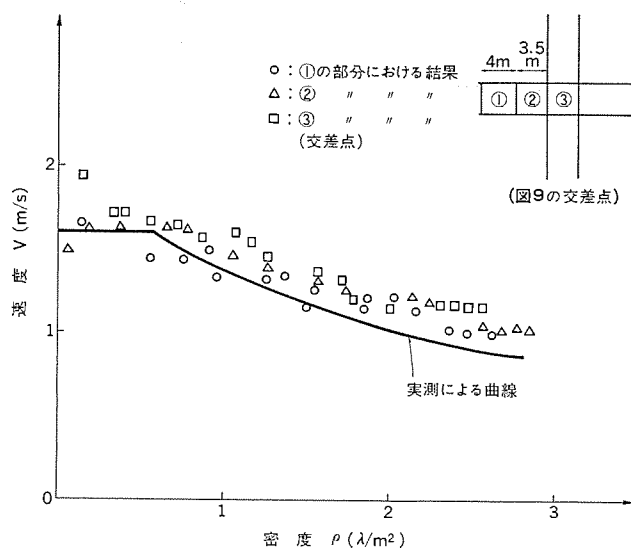


図 10. 密度—速度曲線

回避不可能な時の減速の五つが考えられるが、ここでは、これらの内、同一方向者の追い越し、追い越し不可能な時の減速の二つについてシミュレーションの方法を述べる。残りの三つの要素のシミュレーションについてはこの二つの応用として考えられる。

4. 1. 1 追い越し

今、図 8. のように、点 (X, Y) に A が居て、その希望速度を

VHA 、現行速度を VNA 、A の前方 L の所に B が居て、その現行速度を VNB とすると、 $VHA > VNB$ の時、A は B を追い越そうとする。しかし、右側レーンにおいて C がおり、しかも $L > l_{RF}$ の時は右側へは追い越せない。 $(L < l_{RF}$ の時は追い越す) そして、左側レーンにおいて、前方 l_{LF} に D がおり、 $L < l_{LF}$ の時左側に追い越す。対面回避も同様に考えるが、日常の経験より、追い越しの際は、右側レーンを優先、対面回避の際は左側レーンを優先とする。

4. 1. 2 減 速

追い越しにおいて、左・右両レーン共に追い越せない時、衝突を避けるため、減速しなければならない。今、速度 $v_R(t)$ で歩いている歩行者の前方を、 $v_{R+1}(t)$ の速度の歩行者が歩いているとすると、 $(t+\tau)$ 時の速度は次式で表される。

$$v_R(t+\tau) = v_R(t) + \lambda(v_{R+1}(t) - v_R(t))$$

λ は、速度—密度曲線 ($v = \lambda/\rho$, v : 速度, ρ : 密度) の λ に相当し、このシミュレーションでは、 $\lambda = 1.3$ と仮定した。

4. 1. 3 シミュレーションの結果

歩行者各人に、希望速度、方向を任意に与え、図 9. のような交差点におけるシミュレーションを行った結果が図 10. に示す速度密度曲線である。結果は、ほぼ実測曲線と一致しており、交差点に近づくほど相対的に、平均速度が増している。このことは、交差点に近づくにつれ、右・左折、直進者が、グループ化していることを表している。

この群衆流シミュレーションに、心理的要素(災害時)を数式で扱える変数におきかえて組み入れ、災害時群衆流シミュレーションを行い、この結果を基にして、効果的な避難誘導アルゴリズムを作ることができる。このようにして開発されたアルゴリズムを使い、《MELNICS》に避難誘導機能を付加することができる。

5. む す び

本文において述べてきた《MELNICS》、避難誘導シミュレーションなどによりシステム化への試みはようやく緒についた段階である。防災システムの性能評価実績はまだなく、かつ防災に関する我々の周辺状況は今後も流動的であって、システム化を最終的なものにするための研究課題は数多く残されている。このような状況下において、《MELNICS》をより洗練されたシステムへ完成するための努力は継続してゆくつもりである。

防災設備はビルの運営、保安管理の一要素として今後とも重視されることは衆目の一致するところであるが、一般の生産プロセスと異なり、投資効果に対する評価の困難な防災設備については、ややもすれば一般の認識が不十分な面が見受けられる。今後は、既に述べたように防災設備が安全性にどの程度寄与するかと言った評価方法、システム化の見直しなどの検討を行ってゆく。

最後に防災システムの研究、開発に関し日ごろご指導いただいている諸賢方に謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 今出：安全・防災システムと計画 (昭 50)
- (2) 今出、和泉：電気学会誌 93, No. 6 (昭 48)
- (3) 池見、小沢：三菱電機技報, 48, No. 11 (昭 49)
- (4) 消防庁編：消防白書 (昭 50)
- (5) オーム社：OHM, 62, No. 13 (昭 50)
- (6) 中村、吉岡、稗田：歩行者流動モデルとそのシミュレーション、人間工学, 10, No. 3 (昭 49)

長大軸系の横振動解析プログラム“MARS”の概要

川面恵司*・松倉欣孝*・村井幸雄**・青木幸男***・八木耕三+

1. ま え が き

タービン、発電機、誘導電動機など大形回転機において、危険速度や不釣り合い共振応答などは、その安全運転のために古くから設計者にとって最大の関心事であった。事実、計算機が出現する以前から、危険速度を筆算で計算する Rayleigh 法や Stodola 法が考案され、実際の設計に適用されていた。したがって計算機が実用可能になった時点で、これらの計算が計算機にとって換わられたのは当然の帰結であり、計算機に適した計算法、例えば Myklestad-Holzer 法⁽¹⁾が開発され、また軸系をより精密に、例えば Millar⁽²⁾によって従来単純支持とされていた軸受部が油膜のばねと減衰とで模擬される、などのためにより正確な現象予測が可能になった。当社においても、昭和 30 年代中頃より軸振動解析プログラムが開発され⁽³⁾⁽⁴⁾、実際の設計者に有用な情報を提供し、信頼性の高い製品の製作に寄与してきた。

一方、回転機の単機容量は増大の一途をたどり、例えばタービン発電機軸系では昭和 48 年に 600 MW 級機（2 極）が運転を開始し、数年後に 1,200 MW 級機（4 極）が運転されようとしている。これらの大形発電機軸系では全軸長が 50 m 以上に及び、最大の軸受スパンは約 13 m に達している。通常軸径は材料強度等の制約から極端に太くできないので、軸受スパンの増大で軸は相対的に細長く、したがって振動しやすくなることは否めない。このような背景のもとに、設計時点で振動低減対策を施す上にも、危険速度や不釣り合い共振応答などの振動挙動を従来以上に正確に詳しく予知することが必要になってきた。

このためには次の二つの障壁をのりこえねばならない。その一つは軸系をより精密に模擬することである。従来の計算では⁽³⁾⁽⁴⁾次の 3 点が模擬されておらず問題として残されていた。

(1) 軸受油膜は、通常垂直方向と水平方向とでばね、減衰定数が異なり、更に垂直方向に荷重を加えると軸中心が水平方向にも動くと言った、いわゆる水平垂直相互干渉特性も持っている。

(2) 大形の機械では、フレームなどの軸受支持構造物が相対的に柔らかくなりその影響を無視できない。(1)(2)項については、Lund⁽⁵⁾、菊地⁽⁶⁾が検討している。

(3) タービン発電機ロータでは巻線の端部を押さえるためにリティニグリングが取り付けられており、これは軸上における一種のオーバハング構造になっている。

第 2 の障壁は計算精度をいかに高めるかである。伝達マトリックス法は計算機の記憶容量が節約できるので、軸振動計算に適するが演算誤差の生じやすい方法といわれている。Koenig らは計算精度の改善法を考案し⁽⁷⁾⁽⁸⁾、一応の成果をえた。しかし長大軸系では軸受数が 11 軸の分割数が約 250 にも達するが、これだけの大規模な軸系を軸受の異方性をも考慮して、解を発散させることなく解きえた例は報告されていない。

以上の事情に鑑み、上記の欠点をすべて除去した長大軸系振動解

析プログラム“MARS” (Mitsubishi Analysis of Rotating Shafts) を計画し、この度成功のうちに開発を完了したので、計算法とプログラムの概要などについて紹介する。

2. プログラム MARS の機能

このプログラムの作成にあたって、次の点を基本方針とした。

- (1) 振動系を正確に模擬する。
- (2) 計算精度の向上をはかる。
- (3) 危険速度、不釣り合い共振応答などの振動現象だけでなく、回転機の設計に必要な情報、すなわち長大軸系の静たわみ、現地での軸系据付時の軸受中心調整高さ、をも同時に計算する。
- (4) インプット、アウトプットを工夫しだれにでも使いやすいプログラムを作る。

MARS の主な仕様を表 1. に示す。

表 1. “MARS” の主な仕様

項 目	内 容
計 算 法	改良伝達マトリックス法
計 算 項 目	○軸系の自重及び任意集中荷重による静たわみ ○軸受据付調整高さ（カップリング部の曲げモーメント、せん断力を零にする） ○危険速度と固有モード（軸受部で単純支持及びフレキシブル支持の場合） ○軸上の任意不釣り合い、任意一定加振力、軸の初期曲がりによる振動振幅応答（周波数特性、振動モード）
模擬可能な物理現象	○ジャイロ効果 ○軸のせん断曲げ効果 ○軸中オーバハング ○複雑な軸受特性（油膜軸受の異方性、水平垂直方向相互干渉特性、モーメント軸受特性、軸受支持構造物の振動特性、（1 自由度振動系で模擬）
計 算 結 果	軸の変位、傾き角、断面の曲げモーメント、せん断力、曲げ応力
計算結果の表示	リスト、プロット（ボード線図、モード図、3 次元表示モード図）
制 限 条 件	○軸 要 素 数 最 大 300 ○軸 受 数 最 大 30 ○カップリング数 最 大 30

3. 計 算 方 法

3.1 危険速度と振動応答の計算

振動特性として次の項目を計算する。

- (1) 危険速度と固有モード。
- (2) 軸上任意の箇所へ働く下記外力や外乱に対する振動振幅と位相、曲げモーメント及びせん断力(a)不釣り合い、(b)一定の大きさの正弦波加振力、(c)軸の静的な曲り。

水平に据付けられた長大軸系を、例えば段付部など軸系の特徴が変化する箇所でいくつかの軸要素に分割し、これを集中質量と質量のない弾性ばり、及び軸受系で代表させる。このような Myklestad はりで模擬された軸系に伝達マトリックス法を適用する。解析に先だち、

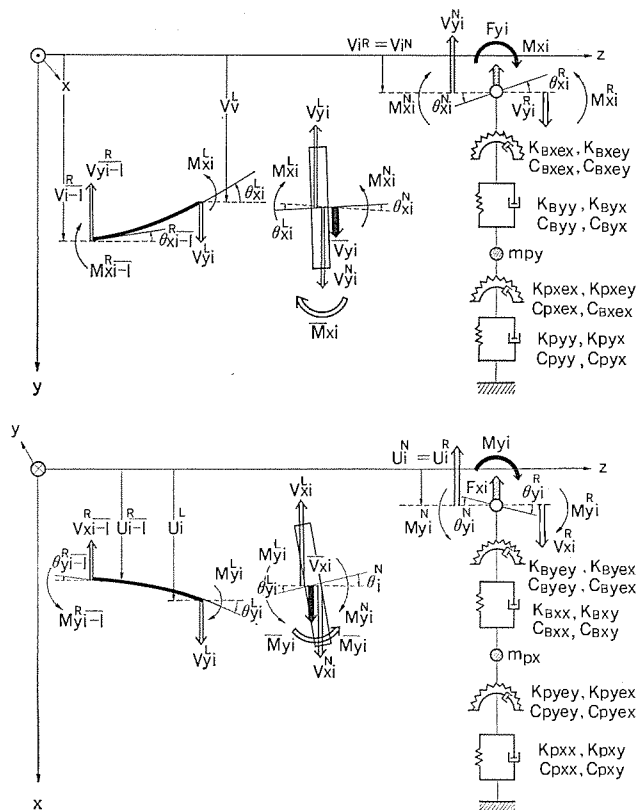


図 1. 軸要素とロータ系の座標

- (1) ロータの断面は対称で、曲げ剛性に方向性がないとする。
 - (2) 軸材の内部まさつを無視する。
 - (3) 曲げ振動とねじり振動との連成を無視する。
 - (4) 油膜と軸受支持構造物の振動特性を、減衰効果をも含む 1 自由度振動系で模擬する。
 - (5) 油膜と軸受支持構造物とを異方特性とし、水平垂直方向の相互干渉特性を考慮する。
 - (6) 軸の並進方向の軸受反力だけでなく、傾きに対して発生する軸受の反モーメントをも考慮する。
- などの仮定をもうけた。

N 個に分割された前記の軸要素のうち、第 i 番目の軸要素の右側のセクションの振動状態を、たわみ、傾き、曲げモーメント、せん断力をそのコンポーネントとする状態ベクトル、

$$\{z\}_i = \{u, \theta_y, M_y, -V_x; -v, \theta_x, M_x, V_y\}_i^T \quad (1)$$

であらわす。図 1. に分割された軸要素と、その座標系を示す。減衰などによる振動の位相遅れを複素数で表現すると、式(1)は複素ベクトルになる。状態ベクトル $\{z\}_{i-1}$ と $\{z\}_i$ との間には次の関係が成立する。

$$\{z\}_i = [E]_i \{z\}_{i-1} \quad (2)$$

ここで、 $[E]_i$ は軸要素の物理諸定数によって決まる 9 行 9 列の伝達マトリックスで、この成分も複素数である。

軸要素は、軸の曲げ、軸の慣性効果、軸受系の特性をそれぞれ代表するはり要素 $[E_s]$ 、慣性要素 $[E_r]$ 、軸受要素 $[E_b]$ の 3 種に分類できる。これらは軸要素の長さ、直径、密度、ヤング率、軸受ばね定数、減衰定数などで定まるが、 $[E_s]$ $[E_r]$ については文献⁽⁴⁾、 $[E_b]$ については文献⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾に詳しく記したのでここでは省略する。仮定(4)～(6)によってモデル化された軸受系を図 2. に示す。ここでは、軸受系の並進運動だけについて記したが、軸の傾きに対する反モー

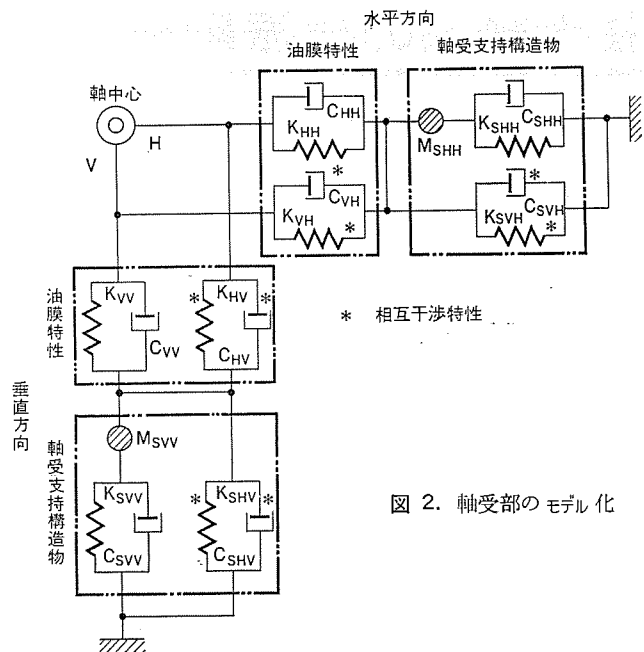


図 2. 軸受部のモデル化

メントに関しても、同一の形式でばね減衰系を定義して理論に導入した。したがって $[E_b]$ は非常に複雑なマトリックスになっている。

全軸系の両端の状態ベクトルに関して、式(2)より次式をうる。

$$\{z\}_N = [E]_N [E]_{N-1} \cdots [E]_2 [E]_1 \{z\}_0 = [E]_{\text{total}} \{z\}_0 \quad (3)$$

ここで、たわみ、傾きからなる変位ベクトルを $\{w\}$ 、曲げモーメント、せん断力からなる内力ベクトルを $\{f\}$ とすると、式(3)は、

$$\begin{Bmatrix} w \\ f=0 \\ 1 \end{Bmatrix}_N = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \tilde{e}_1 \\ e_{21} & e_{22} & \tilde{e}_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{\text{total}} \begin{Bmatrix} w \\ f=0 \\ 1 \end{Bmatrix}_0 \quad (4)$$

と書換えうる。 e_{11} 、 e_{12} 等は軸径など、軸の物理定数と回転数 Ω とで決まる定数マトリックスで、特に外力 F_x 、 F_y などが働かないか、あるいは静的な初期曲がりが存在しなければ \tilde{e}_1 、 \tilde{e}_2 は零になる。軸系をモデル化すると常に軸端は自由で、したがって $f_0 \equiv f_N \equiv 0$ で、

$$[e_{21}]\{w\}_0 = -[\tilde{e}_2] \quad (5)$$

をうる。

軸の危険速度は外力が存在しないとき、すなわち $\{\tilde{e}_2\} = 0$ のときの式(5)の解であり、これは

$$\Delta(\Omega) = |e_{21}| \equiv 0 \quad (6)$$

となる Ω を求めて計算できる。 $\Delta(\Omega)$ は一般に Ω の高次多項式になるから、これを解析的に解くのは困難で、普通は Ω をさまざまな値に変化させて試行錯誤的に根を求める。長大軸系の場合には $\Delta(\Omega)$ の曲線は複雑になり近接根があらわれやすくなるので、根をとりこぼしなく求めるには特別な工夫が必要である。すなわち MARS では危険速度の探索指定区間を細分して、その r 番目の回転数 Ω_r などに対し、 $\Delta(\Omega_{r-1})$ 、 $\Delta(\Omega_r)$ 、 $\Delta(\Omega_{r+1})$ を計算する。 $\Delta(\Omega_r) \times \Delta(\Omega_{r+1}) < 0$ の場合には、 Ω_r と Ω_{r+1} の間に必ず根が存在するので線形内挿法によりこれを求める。また $|\Delta(\Omega_r)|$ が $|\Delta(\Omega_{r-1})|$ 、 $|\Delta(\Omega_{r+1})|$ のいずれよりも小さい場合には Ω_{r-1} と Ω_{r+1} の間に根の存在する可能性があり、この間を更に細分して根を探すなど、綿密な注意を払って根のとりこぼしを防いでいる。

任意の回転数 Ω における不釣合おもり、一定加振力又は静的軸曲がりに原因する振動応答は、通常式(5)を解き、軸の左端の状態ベクトルを求めた後、あらためて式(2)に従って順次各セクションの状態ベクトルを導びいて計算する。しかしこのいわゆる通常法では、軸要

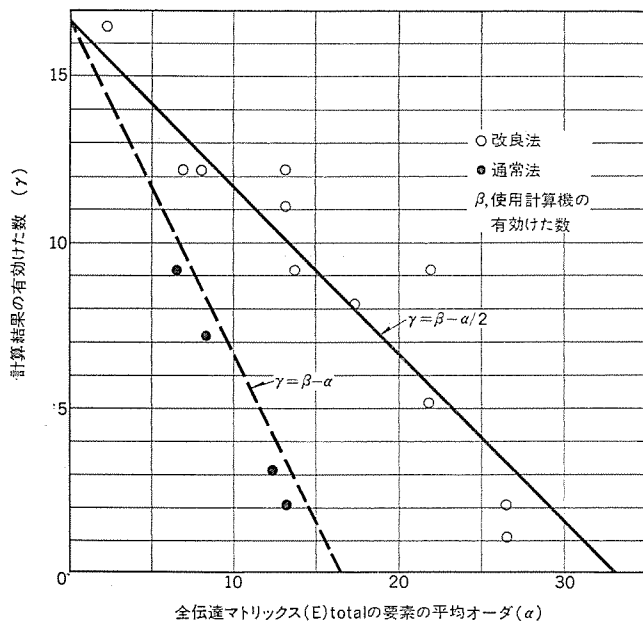


図 3. 計算結果の有効けた数 (モデル・ロータ)

素数と軸受数が増加すると誤差が累積してしばしば物理的に意味のない解になる。誤差は、

- (I) 式(3)のマトリックスの乗算
- (II) 式(5)の連立方程式を解く計算
- (III) 式(2)による各セクションの状態ベクトルの計算

の各プロセスで発生し伝ば(播)してゆく。そこで、 $[E]_{\text{total}}$ の計算時に軸の両端から同時に乗算を始めてマトリックスを処理するなど、プロセス(III)を省略する改良伝達マトリックス法⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾を考案したところ、計算誤差を格段に少なくすることができた。図3.にこの状況を示す。軸要素数、軸受数の増加により $[E]_{\text{total}}$ の各要素の平均オーダー α も大きくなってゆくが、この場合計算結果の有効けた数は減ってくる。改良法は通常法よりも減少の割合が少なく、有効けた数が2倍に改善されていることが分かる。MARSには改良法を採用したので、軸受異方性を考慮した大規模な軸系に対しても、解を発散させることなく振動応答が計算できる。

3.2 軸中オーバハングの扱い方

タービン発電機のリテニングリングなどは回転軸上で軸中オーバハング、すなわちブランチ構造になっている。ここではこの扱いについてやや詳しく述べる。分岐点での状態ベクトルを図4.に示したように左側と右側とに分けて記す。この場合式(2)の状態方程式 $\{z\}_i^L = [E]_i \{z\}_{i-1}$ は、内力ベクトル $\{f\}$ と変位ベクトル $\{w\}$ 及びこれに対応する伝達マトリックス $[E_{JK}]_i$ を用いて次の形に書き直すことができる。

$$\begin{Bmatrix} w \\ f \\ 1 \end{Bmatrix}_i^L = \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} & \bar{E}_1 \\ E_{21} & E_{22} & \bar{E}_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_i \begin{Bmatrix} w \\ f \\ 1 \end{Bmatrix}_{i-1} \quad \text{..... (7)}$$

一方、支線の左端、右端の状態マトリックス $\{z^B\}_0$ 、 $\{z^B\}_i$ の間に

$$\begin{Bmatrix} w^B \\ f^B \\ 1 \end{Bmatrix}_i^L = \begin{bmatrix} E_{11}^B & E_{12}^B & \bar{E}_1^B \\ E_{21}^B & E_{22}^B & \bar{E}_2^B \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{\text{total}} \begin{Bmatrix} w^B \\ f^B \\ 1 \end{Bmatrix}_0 \quad \text{..... (8)}$$

が成立する。支線の端の境界条件は自由であるから $f_0^B=0$ となる。また分岐点で

$$\{f\}_i^L + \{f^B\}_i^L = \{f\}_i^R, \quad \{z\}_i^L = \{z^B\}_i^L = \{z\}_i^R \quad \text{..... (9)}$$

をうる。式(7)~(9)で $\{f\}_i^L$ 、 $\{w\}_i^L$ 、 $\{f^B\}_i^L$ 、 $\{z^B\}_i^L$ 、 $\{z^B\}_0$ 、 $\{f\}_i^R$ 、 $\{w\}_i^R$ の7個と $\{f\}_{i-1}$ 、 $\{w\}_{i-1}$ の2個の合計9個のベクトル

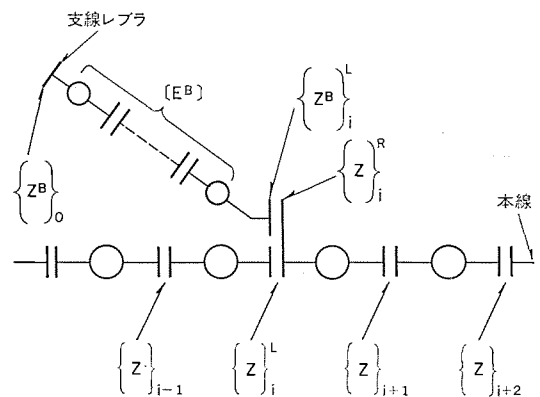


図 4. 軸中オーバハングのモデル化

が未知量である。これに対し、式(7)~(9)を分解すると7個の方程式がえられるので、7個の未知量はすべて $\{f\}_{i-1}$ 、 $\{w\}_{i-1}$ の関数として書き下すことが可能になる。このうちで、 $\{f\}_i^R$ 、 $\{w\}_i^R$ が重要で、

$$\begin{Bmatrix} w \\ f \\ 1 \end{Bmatrix}_i^R = \begin{bmatrix} E_{11}^* & E_{12}^* & \bar{E}_1^* \\ E_{21}^* & E_{22}^* & \bar{E}_2^* \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} w \\ f \\ 1 \end{Bmatrix}_{i-1} \quad \text{..... (10)}$$

をうる。ここで $[E_{11}^*]$ 、 $[E_{12}^*]$ などは、

$$\begin{Bmatrix} E_{11}^* \\ E_{12}^* \\ E_{21}^* \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} [E_{11}] + [E_{12}^B][E_{22}^B]^{-1}[E_{21}] \\ [E_{12}] + [E_{12}^B][E_{22}^B]^{-1}[E_{22}] \\ [E_{21}] \end{Bmatrix} \quad \text{..... (11)}$$

の形式のマトリックスである。式(10)により軸中オーバハングは、軸中オーバハングのない1本の軸に組みこまれてしまうことになり、従来の伝達マトリックス技法が軸中オーバハングの存在する系についてもそのまま適用可能になる。軸中オーバハング上の状態ベクトルは、分岐点の状態ベクトル $\{z^B\}_i^L$ を計算したのち、これをもとに式(2)に従って軸中オーバハングを逆にたどってゆけば順次計算ができる。

3.3 軸の静たわみと軸受中心調整高さの計算

MARSでは、全軸受の水平線からの高さが与えられると、軸の自重による静たわみが計算できる。計算法はPestel-Leckie⁽¹¹⁾の方法に準拠した。

一方、タービン発電機軸系など信頼性が要求される回転機では、数個の高圧タービンロータや受電機ロータをフランジカップリングで強く結合している。通常このカップリングにはねじりトルクの外に、軸系全体の静たわみと関連して曲げモーメントとせん断力が働く。そこで現実には機械の据付時にこれを極力小さく抑えるよう軸受の高さを調整して据付けている。以下にカップリング部で曲げモーメント、せん断力を零にするような軸受高さの計算法について述べる。全軸系において、軸受及びカップリングの総数を m 、 n とし左側から順に番号をつける。それぞれの軸受の中心高さ h_r が作るベクトルを $H = \{h_1, h_2, \dots, h_m\}^T$ 、それぞれのカップリングに働くモーメント及びせん断力 M_i 、 V_i が作るベクトルを $M = \{M_1, M_2, \dots, M_n\}^T$ 、 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}^T$ で定義すると次式をうる。

$$\begin{Bmatrix} M \\ V \end{Bmatrix} = AH + B \quad \text{..... (12)}$$

ここで A 、 B は、軸系の寸法等物理定数のみで決まる未知量である。全軸受に単位量の軸受中心高さ H を与えた時の曲げモーメント M_i せん断力 V_i 等を計算し、この結果を用いて式(12)の A 、 B を定める。

まずすべての軸受中心高さを零、すなわち $H=0$ の場合の M 、 V

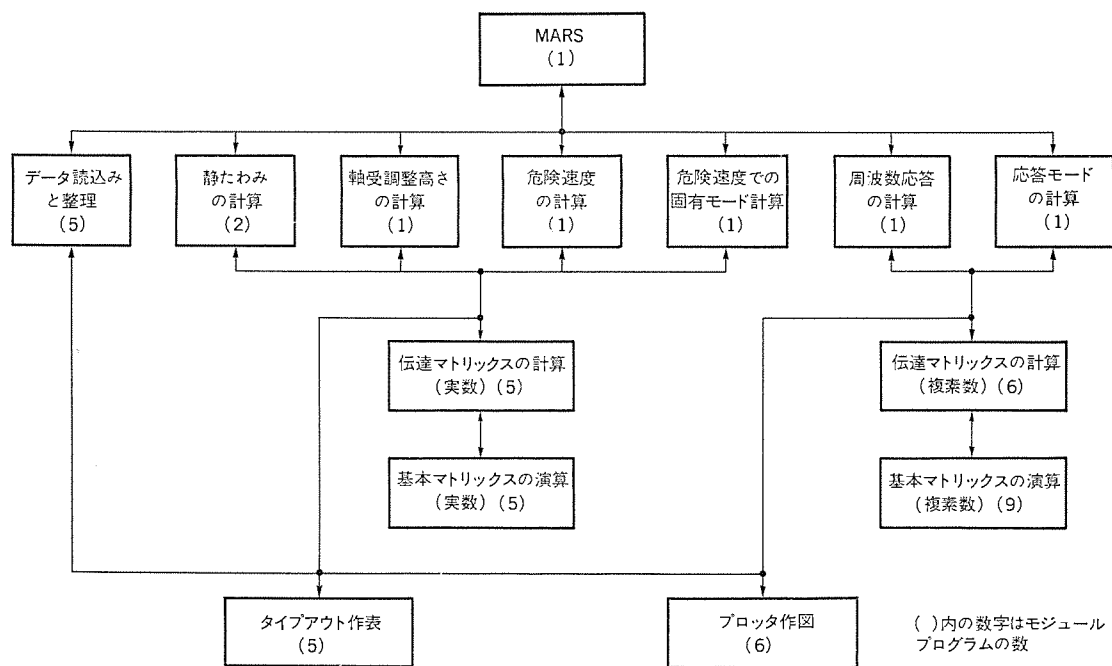


図 5. “MARS” の構成

を計算する。式(12)で明らかのように $B = \{M, V\}_{H=0}^T$ である。次に、 H として $h_1=1, h_2=h_3=\dots=h_m=0$ と置き、再び M, V を計算する。この結果で、 $\{M, V\}_{h_1=1}^T - B$ が A の第1列の成分に当たる。全く同様に、 h_2 のみを1、 h_3 のみを1と繰り返してゆけば A の第2、第3列の成分が求まり、最後に A はすべて明らかになる。カップリングに働く曲げモーメント、せん断力を零にする軸受中心高さ H は、上で得た A, B をもとに次式で計算される。

$$H = -A^{-1}B \dots \dots \dots (13)$$

4. MARS の 構 成

プログラムの構成を図 5. に示す。伝達マトリックス処理など全計算に共通する部分をまとめ、徹底的にモジュール化をはかったので、計算項目が豊富な割にはプログラムは単純になった。

複素数演算の主要部は10進30けたの精度で計算しており、改良伝達マトリックス法の採用とあいまって、軸要素数、軸受数が多く回転数の高い軸系に対しても誤差なく計算ができる。計算及びデータ処理が多岐にわたるため、一概に計算時間を定義で

きないが、ある特定の回転数で不釣合振動応答を計算するのに軸要素1個当たり数 ms (IBM 370 級計算機の場合) を要し、これが一応の目安である。

5. 計 算 例

代表的な計算項目について、計算例を示す。

図 6. は 600 MW 級の大容量タービン発電機軸系の静たわみの一例である。この規模のタービン発電機系では、高圧、中圧、2個の低圧タービン、発電機及び励磁機の合計6個のロータが順にフランチカップリング

で強く結合され、その全長は 50 m にも達する。図 6. (a) は総数 11 個の軸受を同一水平線上に並べた場合のロータの静たわみで、この場合ロータは複雑な形状に曲がっている。図 6. (b) はカップリングに働く曲げモーメントとせん断力が零になるように軸受高さを調整した例で、ロータ系は1本の懸垂線状になっている。実際のタービン発電機軸系は現地で綿密に調整され、図 6. (b) のような形状で据付けられている。

この長大軸系の1、5次の危険速度と固有モード計算例を図 7. に示す。たて軸の最大値が1になるように正規化している。この規模の軸系では定格速度以下に十数個の危険速度が存在するが、油潤滑軸受の減衰効果が働いているため、危険速度を乗り越すことに全く

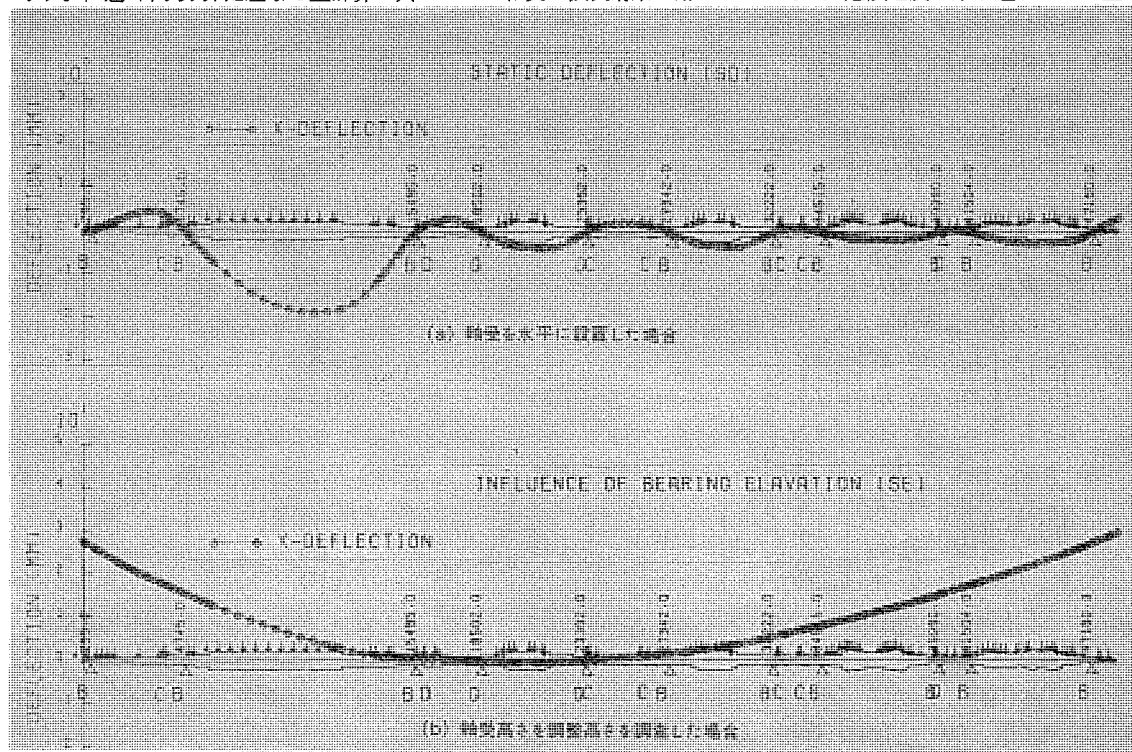


図 6. 長大軸系軸据付時の静たわみ計算例

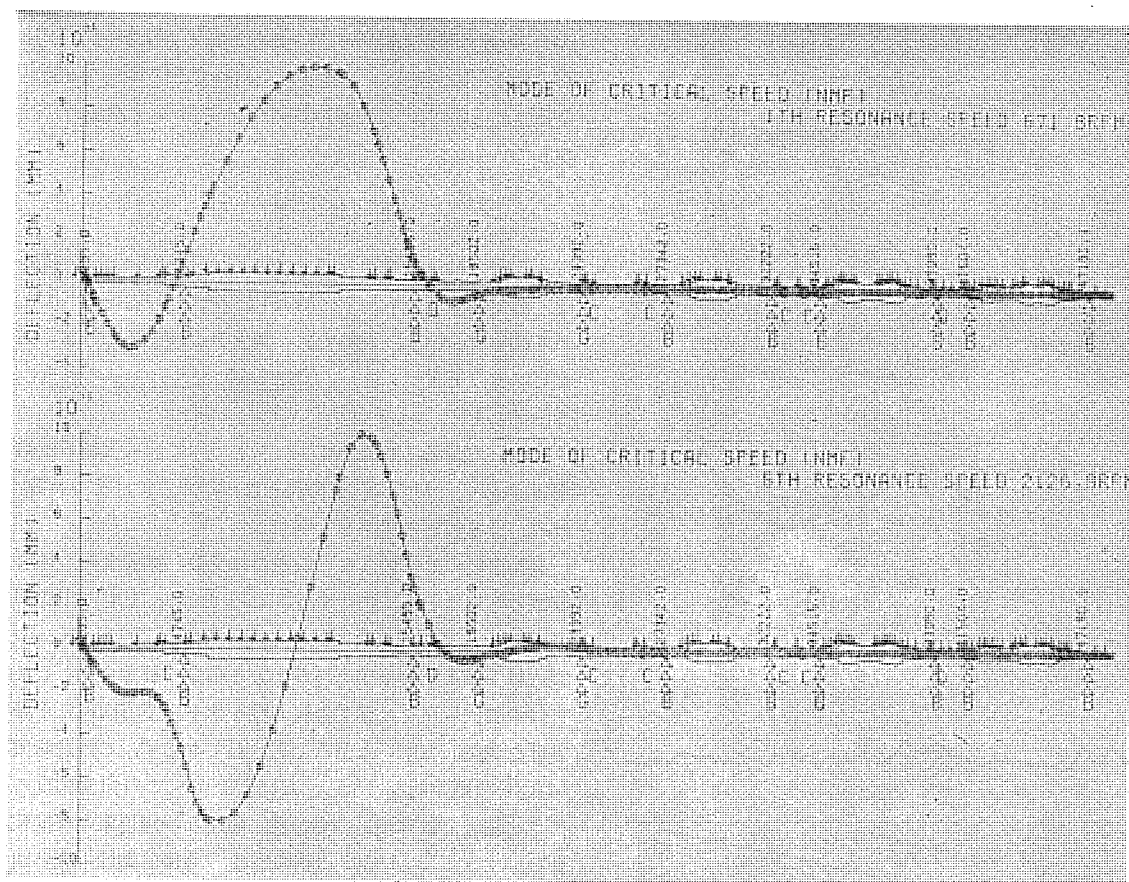


図 7. 長大軸系の固有モード計算例 (1, 5次)

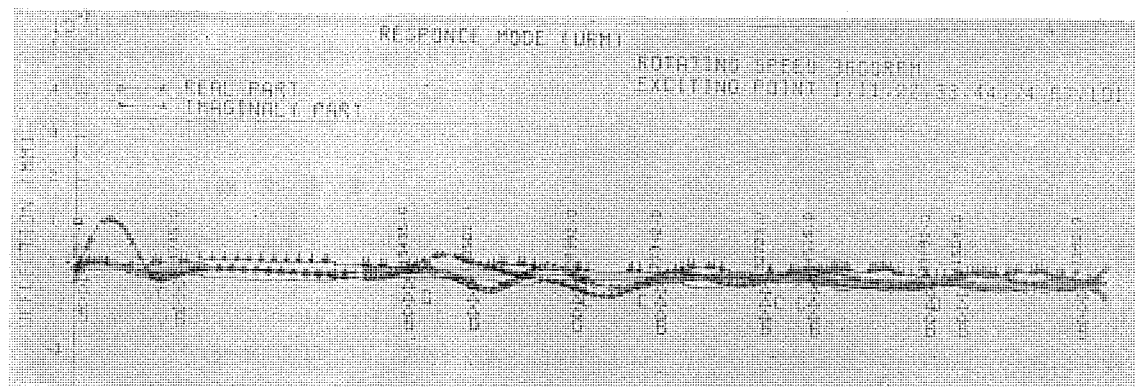


図 8. 長大軸系の不釣合振動応答の計算例

問題はない。

図 8. は軸上に分布して 9 個の不釣合おもりをとりつけたときの振動モードである。系に減衰が存在するため、不釣合と同相の振動

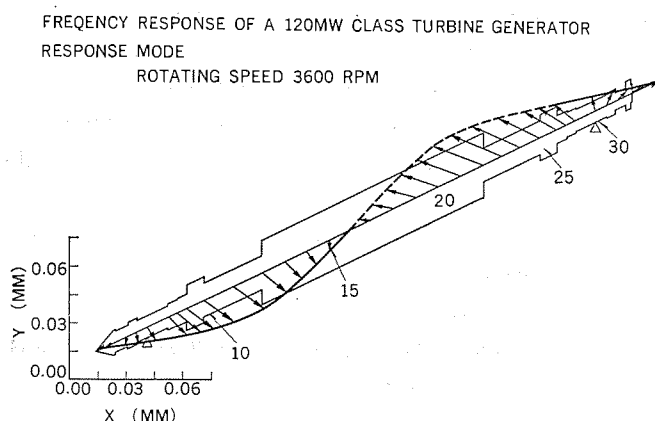


図 9. 振動モードの 3 次元表示例

の異方性や水平垂直相互干渉特性がモード円の形状を乱すことがあり、モード円の性質をあらかじめ正しく掌握しておく必要がある。

FREQUENCY RESPONSE OF A 120MW CLASS TURBINE GENERATOR
FREQUENCY RESPONSE Y-DIRECTION OBSERVATION POINT=18
FORCE POINT (ACCUMULATIVE NUMBER)=1, 10, 16, 26

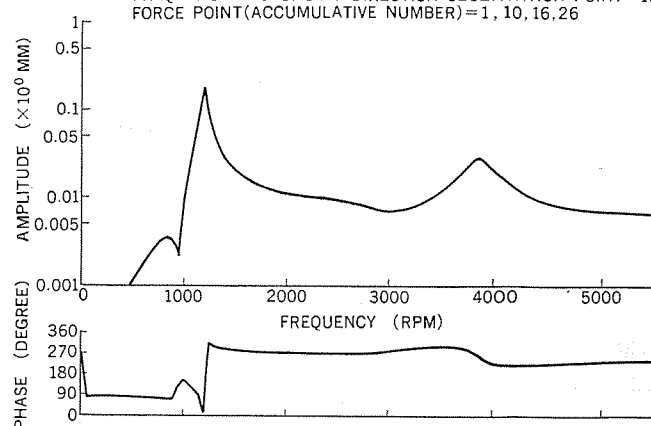


図 10. 振動振幅の回転数特性

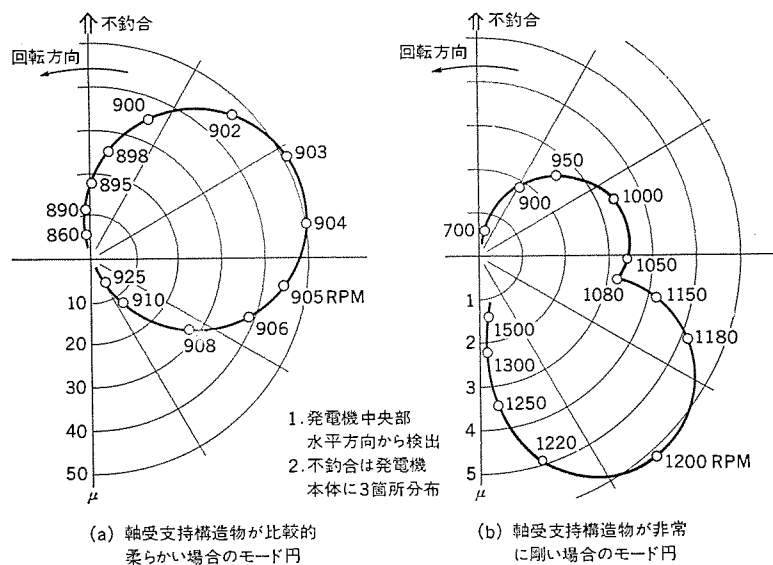


図11. タービン発電機，1次危険速度におけるモード円の計算例

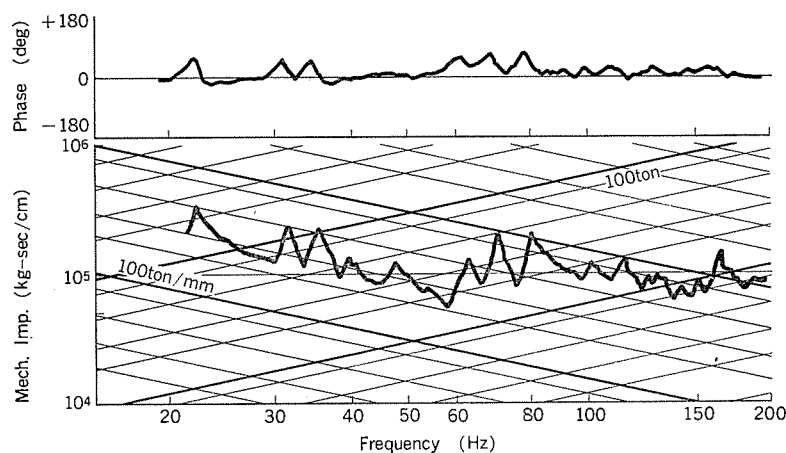


図12. タービン発電機，軸受支持構造物の機械インピーダンス測定例

MARSはこの問題にも有力な情報を提供する。図11.(a)は軸受支持構造物の剛性が油膜の剛性と同程度の場合のモード円を計算してプロットした例で，典型的な円を描いている。これに対し，支持構造物の剛性が油膜のそれに比べ非常に硬い場合のモード円を図11.(b)に示す。軸受油膜の異方性が効いて，垂直方向と水平方向の危険速度が別々にあらわれ，モード円にこぶが見えている。また不釣合おもりに対する振動の位相は，本来 90° であるべきところがこれよりも大きくなるなど，現象が複雑になっている。

先にタービン発電機のリテニングリングは軸中オーバハングになっていると記した。ここでは計算例を略すが，この部分の固有振動数は180 Hz以上と高く，定格速度近辺では全く剛体として振舞い，特に振動的に問題のないことを確認した。

以上の振動応答計算には，図2.に示すように数多くの軸受部定数が必要である。そこで軸受油膜部のばね，減衰定数，水平垂直相互干渉特性等については別途解析プログラムを開発した⁽¹³⁾。また軸受支持構造物については工場，現地において機械インピーダンスを数多く測定しており，これらのデータから振動特性を読みとっている。図12.は中容量タービン発電機のブラケットに油圧加振器をとりつけて機械インピーダンスを測定した例で，使用周波数領域で等価ばね定数が約

300 t/mm，等価重量が約30 tであることがわかる。これらの物理定数が正しく評価されて始めてMARSの機能が発揮されるので，この種の基礎的なデータをも積極的に収集している。

6. む す び

以上に長大軸系振動解析のための伝達マトリックス法の概要を，通常の伝達マトリックス法に含まれない特殊部分，すなわち軸中オーバハングの扱い方，軸受中心調整高さの計算法などに重点を置いて述べ，改良伝達マトリックス法の優秀性を例示した。

これらの理論，数値計算法にもとづいて，長大軸系振動解析プログラム“MARS”を開発したが，ここではその特徴，構成，計算例等の概略をも紹介した。

振動振幅の計算精度は，軸系の軸受数，軸要素数，軸回転数の増加とともに悪化する。このプログラムを用い10,000 rpm以上の高速回転数において，11軸受，250セクションの長大軸系の不釣合振動応答が十分な精度で解きえた。これだけの長大軸系を，軸受の異方性や水平垂直方向相互干渉特性を考慮して解いた例は公表されておらず，この意味でMARSは画期的なプログラムと言えよう。この計算精度の高さに加え，計算項目の多様性，豊富な物理現象の模擬性，使いやすさ等，MARSの諸機能は，今後信頼性の高い回転機的设计製作に寄与するものと信ずる。

なお，このプログラムの開発と数値計算に当たっては，三菱重工(株)より各種の定数を提供していただき，また社内関係者多数の協力をえたことを付記し，ここに感謝する。

(昭和51-4-13受付)

参 考 文 献

- (1) N. O. Myklestad: Fundamentals of Vibration Analysis, 273 (1956)
- (2) D. F. Millar: Jour, Appl, Mech, 20, 167 (1953)
- (3) 甘粕: 三菱電機技報, 37, 1,020 (昭38)
- (4) 平野, 松倉: 三菱電機技報, 40, 1,625 (昭41)
- (5) J. W. Lund & F. K. Orcutt: Trans, ASME. Ser B, 89, 785 (1967)
- (6) 菊地: 機械学会論文集, 72, 1,556 (昭44)
- (7) E. C. Koenig: Trans, ASME. Ser E, 28, 585 (1961)
- (8) T. G. Gunther & D. C. Lovejoy: Trans. ASME. Ser E. 28, 591 (1961)
- (9) K. Kawamo, Y. Matsukura, T. Inoue: 1975 Joint JSME-ASME Appl. Mech. Western Conference, 113 (1975)
- (10) 井上, 川面, 松倉: JSSC. 9. マトリックス構造解析発表論文集, 371 (昭50)
- (11) E. C. Pestel & F. A. Leckie: Matrix Methods in Elastostatics, 169, McGraw Hill, 1963.
- (12) 例えば, 白木ほか: 三菱重工技報, 11, 4, 1 (昭49)
- (13) 菅波, 増田, 山本, 佐野: 機械学会関西第50期定時総会講演論文集, 13 (昭50)

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
1070740	のり養殖網干し出し装置	{大久保貫一・木名瀬武男 織井勝雄	1072549	電気掃除機のちり落とし装置	{増田 三郎・福田 興司 小池 利男
1070741	内燃機関の点火時期調整装置	才田 敏和	1072550	電気掃除機	南日 国伸
1070742	機関点火系シミュレーターにおける 進角特性表示装置	朝日 美之	1072551	電気掃除機	{武井 久夫・加藤 悟 南日 国伸
1070743	内燃機関点火装置	才田 敏和	1072552	ガス温風機	野間口 有
1070744	断続器	大西 正義	1072553	ラッチ付きリレーを使用した操作 装置	茂手木良夫・河村 紀一
1070745	機関着火用配電器の配電キャップ 取付装置	林 正博・山根 恒夫	1072554	放電灯用安定器	森本 俊一・山本 広二
1070746	半導体基体圧着用毛管	山本 勇・辻 哲朗	1072555	電気掃除機	武井 久夫・柳 道治
1070747	機関点火用断続器	大西 正義	1072556	内燃機関の点火時期変更装置	浅山 嘉明
1070748	内燃機関点火装置	三木 隆雄	1072557	冷蔵庫等の卵棚装着装置	小西 勝・河村伊佐夫
1070749	内燃機関点火装置	高橋 一智	1072558	掃除機	武井 久夫
1070750	内燃機関点火装置	日野 利之	1072657	機関用点火装置	達富康夫・才田 敏和
1070751	機関用点火回路	才田 敏和	1073819	発電機電圧制御装置	{平田 毅・岩木 良之 森下 光晴
1070752	内燃機関点火装置	三木 隆雄・高橋 一智	1073979	輸送体位置遠隔表示装置	白石 和男
1070753	観賞槽	鶴谷 嘉正・根岸 宣匡	1073980	屋根の融雪装置	{奥田 文一・町原義太郎 鶴谷 嘉正
1070754	機関点火時期調整装置	才田 敏和	1073981	レコードプレーヤーのターンテーブル駆 動装置	{諏訪 寧・三瓶 富雄 結城 吉之
1070755	窓用換気扇の取付枠	鈴木 欽三	1073982	回転方向検出装置	池田 勝敏
1070756	半導体基体圧着用毛管	谷口 重雄・辻 哲朗	1073983	位相差変化率検出回路	熊野 昌義
1070757	高周波加熱調理器	小林 協三・津森 昭弘	1074834	けい光灯器具	藤原 三男
1070758	発振器	熊野 昌義	1075137	電気掃除機	加藤 悟・相河 富雄
1071139	電気掃除機	加藤 悟・南日 国伸	1075138	周波数通倍回路	太田 堯久・高橋 武敏
1071140	指向性スピーカ装置	鈴木 英男	1075139	電動発電機	広田 秀雄
1071519	電気機器の絶縁耐圧試験装置	猪崎 国男	1075140	密閉形電動圧縮機	越桐 喜一・渡辺 征三
1071520	浮袋つきおもり	田嶋 尚志・河島 清	1075141	カム接触器	桜田 武
1071521	戸の安全装置	宮城 晃・寺園 成宏	1075142	スイッチ装置	新川 成美
1071522	のり養殖網干し出し装置	田嶋 尚志・大久保貫一	1075143	半導体装置	大館 光雄
1071523	のり養殖網干し出し装置	{大久保貫一・木名瀬武男 織井勝雄・河島 清	1075144	押釦スイッチの開閉状態表示装置	辻 幹夫
1071524	のり養殖網干し出し装置	大久保貫一	1075145	冷風装置付 マンコペヤ	杉村 洋二
1072535	時限装置	渡辺 史郎・鈴木 修	1075146	電磁ポンプ	井上 修・鈴木 良三
1072536	電動機の運転表示装置	渡辺 進・知久 道明	1075147	帯電防止用 ブラウン管	太田 勝啓
1072537	半導体制御整流素子の保護装置	{山本 勇・飯田 隆彦 杉本 盛行・小嶋 鈴夫	1075148	高温排気ガス用排気扇	炭竈 忠一・牧野 寿彦
1072538	誘導電動機の起動装置	{堀田 滋矩・酒井 亜男 元木 知春	1075149	高温排気ガス用排気扇	炭竈 忠一・牧野 寿彦
1072539	半導体取付構造	{岡本 勝義・黒原 章和 野原 久幸・佐藤 伸一	1075150	半導体直接発振器	角田 登
1072540	プッシング	岸田 光弘・沢野 幸雄	1075151	パルススイッチ	元木 義明
1072541	高電圧機器用圧力容器	今滝 満政・丹羽 春美	1075152	パルススイッチ	元木 義明
1072542	電気掃除機の収じん装置	加藤 悟・南日 国伸	1075153	固定ヘッド式磁気円板記憶装置	東山 昇
1072543	UHF 同調装置	岩村清志郎・秋本 克幸	1075154	リードスイッチの制御装置	大津 一男
1072544	自動車用加速検出装置	才田 敏和	1075155	交流発電機の電圧制御装置	加来 政博
1072545	エレクトロスラグ溶接用消耗ノズル	長尾 義文・干石 栄	1075156	回転整流装置	安東 徳治
1072546	可動テープガイド装置	中島 治	1075157	引出し形継電器のスイッチ機構	阪上 正幸
1072547	磁気記録再生装置	中島 治	1075158	水位調整装置付電気ガパン	周藤 精二
1072548	トランジスタ取付装置	吉田 茂夫	1075159	プログラム制御装置	酒井 靖夫・清水 賢一
			1075160	電気スイッチ	渡辺 睦夫・石田 秀樹

当社の特許

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
765377	ヒューズの切換装置	大津 一男	768300	カード読み取り装置	三上 晃一・村田 厚
765378	二重封止無極放電ラップ	{ 近藤 倫正・渡辺 勢夫 佐竹 正章・田中 利二	768301	荷電粒子ビーム利用装置	上山 喜司・安永 政司
765379	保護継電装置の点検回路	鈴木 健治	768302	屋根の融雪装置	近藤 正司・市村 伸男
765380	方向性物体の供給案内装置	川口 克二	768303	半導体装置	柴田 浩・加藤 忠雄
765381	半導体装置	西岡 直	768304	不純物を添加した酸化亜鉛膜の製造方法	大西 勝・伊吹 順章
765382	3相誘導電動機	篠原 芳男・前原 利昭	768305	酸化亜鉛膜の製造方法	大西 勝・伊吹 順章
765383	低温性のよい混合ガス	矢野 勇・猪熊 章	768306	酸化亜鉛膜の製造方法	{ 大西 勝・伊吹 順章 吉沢 達夫
765384	レーザ溶接装置	谷口 一郎・樋口 隆一	768307	プラズマ電子銃装置	上山 善司・安永 政司
765385	放電加工用電極の製造方法	{ 荒井 伸治・片寄 文隆 井藤 治彦・浅名 義久	768308	プラズマ電子銃	上山 善司・安永 政司
765386	放電加工機の電極制御装置	佐藤 国彦・石川 倫康	768309	転相制御装置	{ 山田 郁夫・木下 裕道 熊野 昌義
765387	移送装置	松野 博朗・菊地 太一	768310	密閉形三相電動圧縮機	新井 毅博
765388	被加工物固定装置付外部センター	原 廣忠・横瀬 豊司	768311	遠方監視制御装置	島田 政次士
765389	マーキング装置	斉藤 豊	768312	金属ハロゲン化物入り水銀ランプ	{ 竹田 俊幸・土橋 理博 若林 正雄
765390	キナロン環含有エポキシ樹脂の製造法	西崎 俊一郎・森脇 紀元	768313	インバータの並列運転方式	細野 勇
765391	歯形クラッチ	佐久 真熙	768314	パルススイッチ	元木 義明
766449	複母線分割保護装置	阪上 正幸・辻倉 洋右	768315	ジェットポンプ	板谷 芳之・伊藤 義樹
766450	冷凍装置	酒井 誠記	768316	冷却装置	野沢 勇・倉本 達男
766466	同一水系発電所群の自動出力配分装置	{ 小林 倫明・合田 啓二 石井 清隆	768317	スイッチ装置	元木 義明
768298	自動過渡安定度監視装置	国方 敏行・羽根田 博正	768318	超音波障害物検知器を備えた無人操縦車	梶野 幸男・田中 武司
768299	PNPN半導体装置	清水 潤治・中田 仗祐			

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 50 No. 8

普通論文

- 予混合炎の速度論的解析
- 静的コンタクトにおける接触抵抗と接触力の関係
- サッシ表面処理ラインの計算機制御
- マイクロプロセッサの保護リレーシステムへの応用
- 簡易形座席予約端末装置
- 低真空形電子ビーム溶接機用棒状熱陰極電子銃
- エポキシ FBC 絶縁母線
- 三菱煙道ガス測定器 SA-401 形
- 制御用計算機のアナログ入力における雑音とその対策
- 水分分散絶縁ワニスの安定性に及ぼす化学組成と表面電荷の影響

三菱電機技報編集委員

委員長	小原 敬助	常任委員	茶谷 三郎
副委員長	松岡 治	"	平林 庄司
"	後藤 正之	委 員	村上 卓弥
常任委員	武藤 正	"	神谷 友清
"	佐々木 二郎	"	熊本 永
"	葛野 信一	"	橋爪 甚
"	伊原 総三郎	"	吉田 太郎
"	北川 和人	"	久保 幸正
"	三矢 周夫	"	戸田 哲雄
"	清田 浩	"	藤永 敦
"	阿部 修	幹 事	本間 吉夫
"	武田 克己	"	三田村 和夫
"	福家 章		
		7号特集担当	牧野 節夫

三菱電機技報 50 巻 7 号

昭和 51 年 7 月 22 日 印刷
昭和 51 年 7 月 25 日 発行

定価 1 部 300 円 (送料別) 無断転載を禁ず

編集兼発行人 松岡 治
印刷者 高橋 武夫
印刷所 東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地
大日本印刷株式会社
発行所 東京都千代田区大手町 2 丁目 6 番 2 号 (〒100)
菱電エンジニアリング株式会社内
「三菱電機技報社」 Tel. (03) 243 局 1785
発売元 東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地 (〒100)
株式会社 オーム社書店
Tel. (03) 291 局 0912, 振替口座 東京 20018

ニューフラッシュ

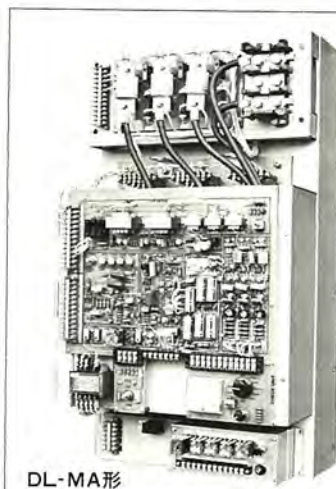
NEW DIAROL

はん用可変速装置シリーズ (DL-MA・DL-SB形サイリスタレオナード)

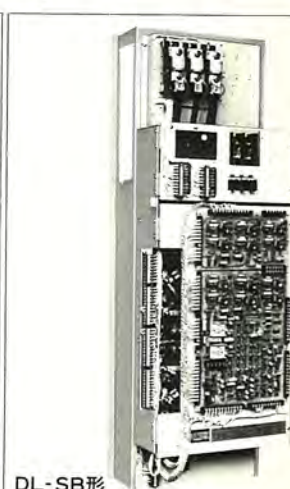
三菱はん用可変速装置シリーズに、新開発のDL-MA形とDL-SB形のサイリスタレオナードが加わりました。これにより、三菱はん用可変速装置シリーズは、従来の小容量DIAROLシリーズ(0.2kW~7.5kW)と合せて、その機種も0.2kWから150kWまで、また一方方向制御に両方向制御と豊富になり、一般工業での直流モータルの使用を容易にすると同時に応用分野をさらに広げました。

特長

- 前面保守のユニットタイプですから取扱いが容易です
- 主回路と制御回路は絶縁されていますので並列運転が容易に行えます
- 自動弱め界磁制御の併用が容易です
- 主回路がトランスレス方式ですから軽量で、据付面積も小さくて済みます
- 正逆インタロック回路を内蔵していますので応答性が高く、安定した正逆転ができます(DL-SB)
- 電流ループ内蔵で起動時のショックがなく、モータの整流も良好です



DL-MA形



DL-SB形

●主な定格および仕様

項目	形名	DL-MA		DL-SB	
電 源		AC200/220V	AC400/440V	AC200/220V	AC400/440V
適用モートル		5.5～75kW	11～150kW	2.2～75kW	11～150kW
整 流 方 式		三相全波混合ブリッジ		三相全波純ブリッジ可逆	
過 負 荷 耐 量		150% 1分間			
電 流 制 限		定格電流の100～200% 可調整			
速度制御範囲		1:50 定トルク		1:100 定トルク	
速度変動率		1%		0.4%	
周 圍 温 度		－5～50℃			

HDモータ (低回転・高トルク 直結駆動直流モータ)

HDモータ(High Torque Low Speed Direct Drive Motor)は、永久磁石式直流サーボモータの商品名であり、数値制御装置「MELDASシリーズ」を初め、工作機の送り用直結駆動モータとして開発されたものです。

従来のギヤドライブの送り機構からギヤを省略できるので、送り精度の向上、機構および保守の簡略化、騒音の低減が可能です。熱容量は大きく、過負荷でも容易に焼損しないため激しい反復運転や短時間負荷運転に耐えられます。また、永久磁石構造なのでモータの外径が小さく、スペース制限の厳しい工作機主軸用としても注目されています。容量は7.5kWまであり、オプションとしては電磁ブレーキ付、オイルシール付、タコジェネ付を用意しています。



1.5kW タコジェネ付
HDモータ

●主な定格および仕様

定 格 出 力 (kW)	0.75	1.5	2.2	7.5
定格トルク (kg-cm)	7.3	146	214	731
定格回転数 (rpm)	1000	1000	1000	1000
定 格 電 圧 (V)	63	83	120	134
定 格 連 続	連続	連続	連続	連続
外 径 寸 法 (mm)	177	177	177	260
形 式	全閉自冷	全閉自冷	全閉自冷	強制空冷