

FM差電流キャリアリレー装置

Current Differential Carrier Relaying Equipment Using Frequency Modulation Technology

超高压系統では、大容量送電線あるいは3端子送電線が建設される気運にあるが、このような系統においては保護区間内部事故時に流入電流の一部が流出するなどの現象があり、従来適用されている位相比較キャリアリレー方式では保護が困難となる。これを解決するため、保護区間各端子の電流波形を周波数変調し、マイクロ波回線(音声帯域)で相互に伝送し合うことにより、パイロットワイヤリレー方式と同様の差電流特性を得るFM差電流キャリアリレー方式を開発した。

本方式は中部電力株式会社との共同研究により開発したもので、実用化に先立ち昭和49年3月より実系統(275kV)で実用化試験を行なった。本稿では保護リレー方式の原理と特性及び実用化試験結果について述べている。

大坪重遠* Shigetô Ôtsubo
 志賀正明* Masaaki Shiga
 杉山 釗* Tsutomu Sugiyama
 瀬尾一夫** Kazuo Seo
 野村精志** Seiji Nomura
 三木義照*** Yoshiteru Miki
 吉崎敦浩**** Atsuhiko Yoshizaki

1 緒 言

電力需要の増大に対処するため、超高压及び超々高压系統など主幹系統の拡張強化が進められているが、環境保全や用地の取得難などの社会情勢から、新しい送電線の建設が容易ではなくなっている。このため、大容量送電線や、既設送電線からの分岐による3端子送電線が建設される気運にある。これを保護の面から見た場合、内部事故が発生しているにもかかわらず流入電流の一部が流出するなど、現在主幹系統で採用している位相比較あるいは方向比較キャリアリレー方式では保護が困難となる問題の発生が予想される。このような課題を有する今後の主幹系統への適用を目的として、中部電力株式会社との共同研究により波形伝送技術を有効に活用した新原理のFM差電流キャリアリレー方式を開発した。本方式は保護区間各端子の電流瞬時値を周波数変調(Frequency Modulation: 以下、FMと略す)し、マイクロ波回線によって伝送することにより、パイロットワイヤリレー方式と同様の差電流特性を得るものである。

以下に、本リレー方式の原理と特性、雑音対策、及び実用化試験の結果について述べる。

2 電流流出現象と保護方式上の問題点

2.1 内部事故時の電流流出現象

大容量送電線や3端子送電線⁽¹⁾では、保護区間内に事故が発生しているにもかかわらず、保護区間の一部より潮流あるいは事故電流の一部が流出する現象がある。図1(a)は大容量送電線における電流流出現象を説明したもので、F点に内部事故が発生した場合でも、アーク抵抗により事故点電圧が残ると潮流が流出することがある。例えば、一例として500kV、200kmのモデル系統を設定し、試算した結果ではアーク抵抗の条件によっては潮流流出により両端の電流の位相差が120~130度程度に達する例があった。

一方、図1(b)は3端子送電線において内部事故時に事故電流の一部が流出する例で、2号線A端を開放して運用している場合、1号線B端に近い点Fに事故が発生すると同図に示すように事故電流の一部がC端より流出する。最も過酷な条件で考えれば、流出電流は流入電流の50%にも達することになる。

2.2 従来の保護リレー方式での問題点

以上のような系統に対しては、現在主幹系統の保護リレー

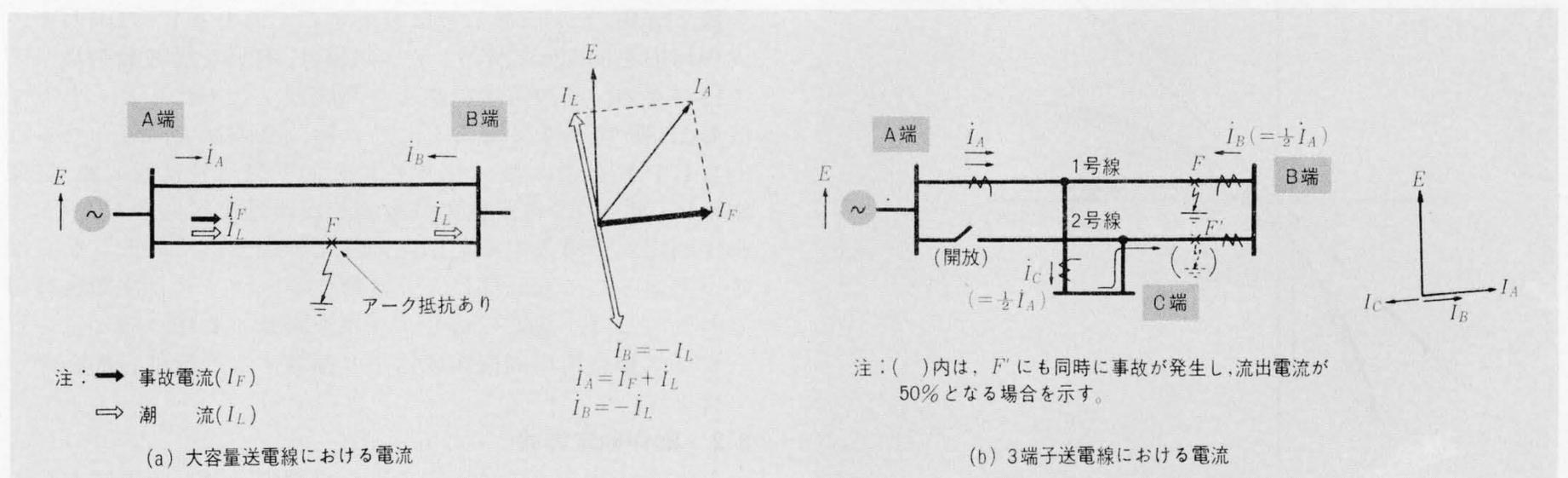


図1 内部事故時における電流流出 大容量送電線や3端子系では、内部事故時に事故電流の一部が流出し、位相比較キャリアリレー方式では保護できない場合がある。

* 中部電力株式会社設備運営室 課長 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立製作所日立研究所 **** 日立製作所那珂工場

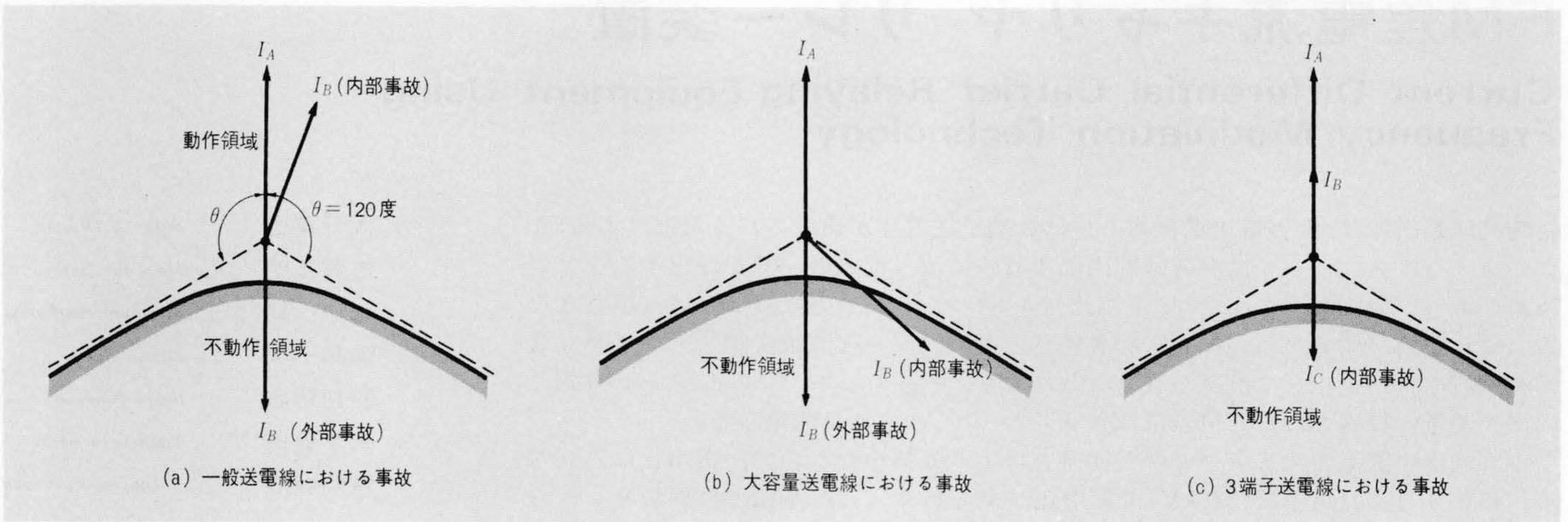


図2 位相比較継電器の特性と電流ベクトル 位相比較継電器では、内部事故時に電流流出があると位相特性上、不動作領域に電流ベクトルが入るため、保護不可能となる。

方式として適用されている位相比較、あるいは方向比較キャリアリレー方式では保護が困難となる。例えば、位相比較キャリアリレー方式において、位相比較継電器の位相特性は図2(a)のように示すことができる。通常 θ は120度⁽²⁾前後に設定されているので、両端の電流位相差がこの値以下であれば動作可能であるが、前述の大容量送電線のモデル系統における試算例のように、両端電流が130度もの位相差を生ずると同図(b)に示すように不動作となる。また、3端子送電線における事故電流の流出時は、流出電流の値によっては、同図(c)のように外部事故と判定し線路保護が不可能となる。

以上の現象を比率特性面で表現したものが図3である。通常の流出電流の影響のない内部事故時は、P又はP'点となり位相比較キャリアリレー方式(K-K'の範囲が動作領域)で保護が可能であるが、流出現象が生ずるとQ点となるため保護が不可能となる。この問題を解決するためには、現在短距離

送電線に適用されているパイロットワイヤリレー方式(同図L-L'が動作領域)と同様の差動特性を有するリレー方式が必要となる。

2.3 FM差電流キャリアリレー方式の開発

差電流特性を得るためには、各端子の電流瞬時値(大きさ)と位相)を伝送回線により相互に伝送する必要があるが、その伝送回線として従来の位相比較キャリアリレー方式と同じ伝送回線(音声帯域)を、そのまま使用できる点で有利なFM伝送方式を採用したFM差電流キャリアリレー方式を開発した⁽³⁾⁽⁴⁾。本装置の開発に際し次の点を基本的なねらいとした。

- (a) 流入電流の50%が流出しても保護できること。
- (b) 動作時間は主幹系統保護に要求される2サイクル以下とすること。

3 FM差電流キャリアリレー方式の原理

3.1 動作原理

図4(a)は本方式を3端子送電線に適用した場合の構成を示したものである。保護区間を囲む各端子では、電流の瞬時値を電流-電圧変換部I-Vで電圧信号とし、帯域ろ波器(BPF)を介し電圧-周波数変換部(V-F)に導入する。V-Fでは同図(b)の変換特性により中心周波数 f_0 を基準として、入力信号の振幅に比例した周波数信号に変換する。入力とV-F出力との波形対応を同図(c)に示す。伝送回線は、有限な周波数帯域幅⁽⁵⁾を持つため、事故電流に高次の高調波が含まれると、忠実な波形伝送ができなくなる。このため、高調波を減衰させる目的でBPFを設けた。相手端からのFM信号は周波数-電圧変換部(F-V)で電圧信号に復調し、自端電圧信号とともに、動作判定部に導入する。伝送回線での遅延は、最大となる端子を基準として遅延部により補償する。マイクロ波搬送端局との受渡しは、規定の信号レベルを調整する減衰器とインピーダンス整合用の通信変成器より構成する通信結合部を介して行なう。

3.2 動作判定方式

差電流特性としては、従来より母線保護リレー方式として実績のある、スカラー和抑制方式を基本とし、特に大電流域での変流器(CT)誤差による誤動作防止対策として比率特性の改善を図った。3端子送電線への適用を例にとれば、(1)式は従来方式による動作判定式であり、(2)式が今回採用の動作判定式である。

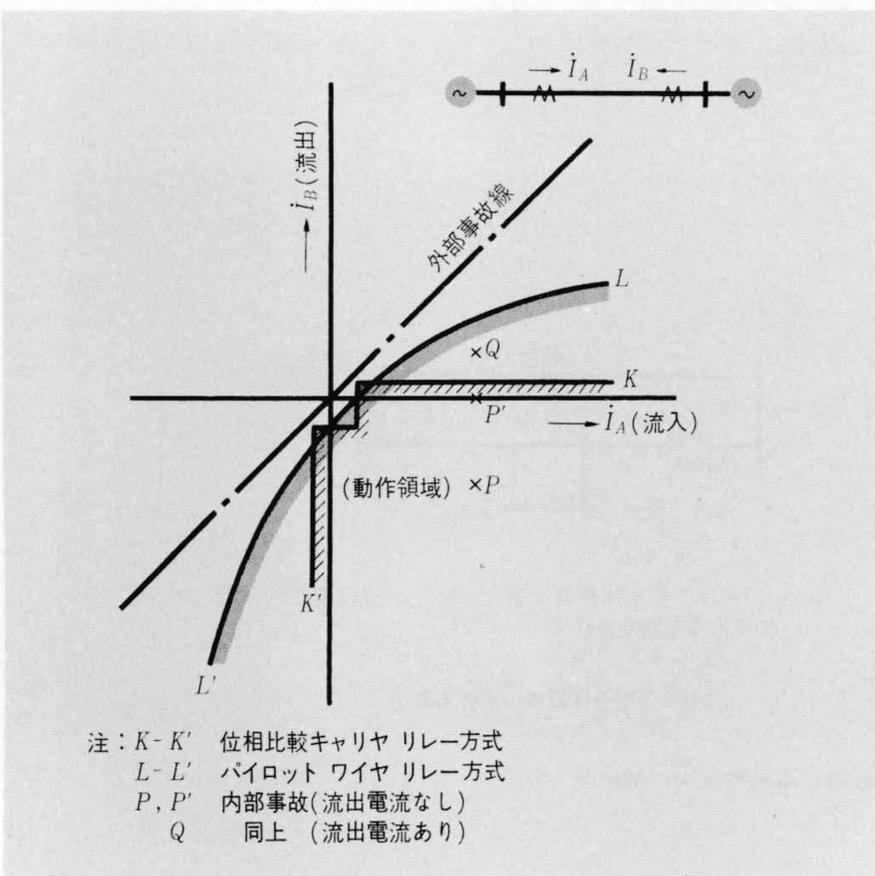


図3 従来リレー方式の比率特性 電流流出を伴う内部事故を検出するためには、比率特性上L-L'のようにする必要がある。

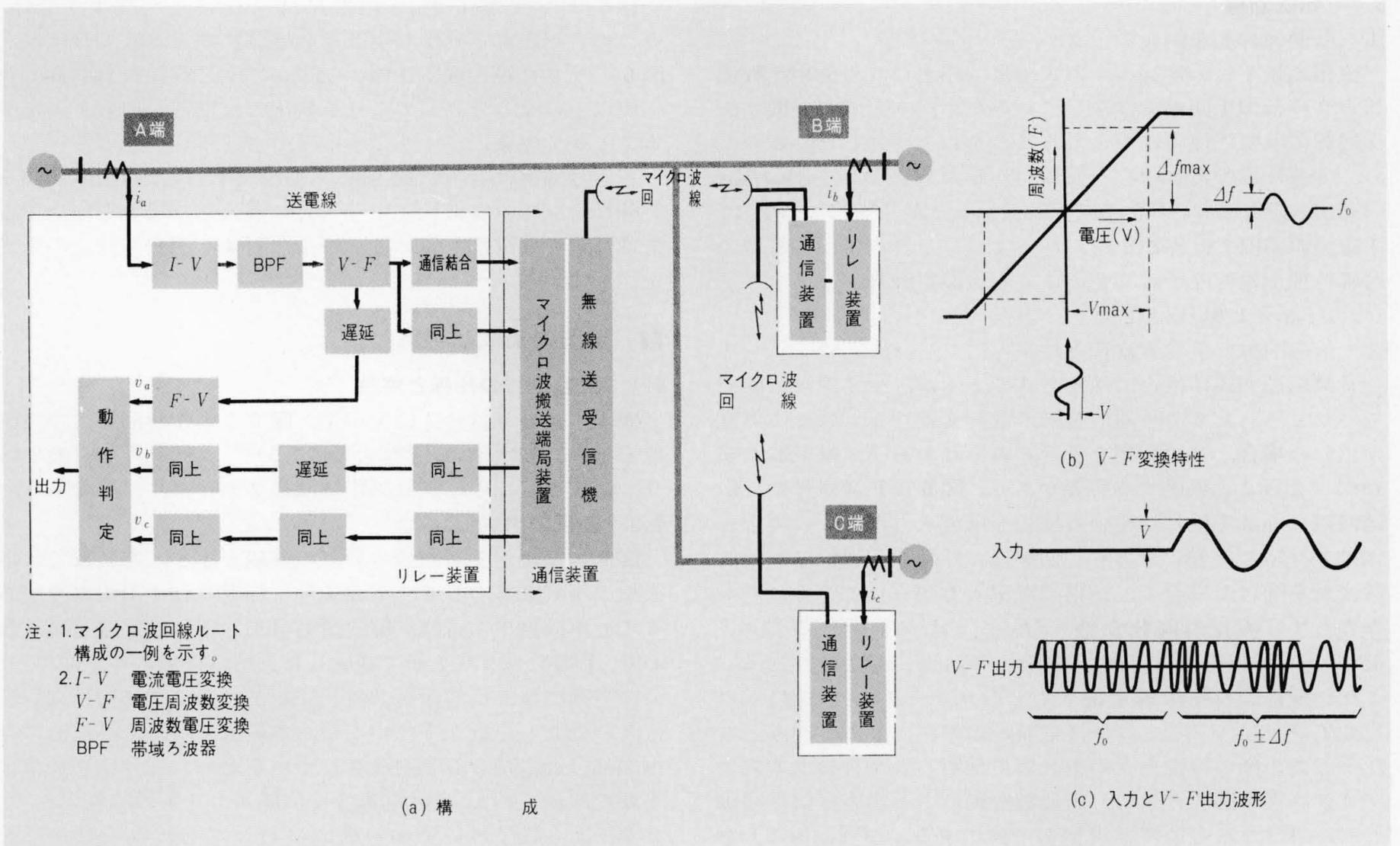


図4 FM差電流キャリア リレー方式の構成 電流波形を周波数変調して、マイクロ波回線により相互に伝送し合い、自端と対向端電流情報をもとに、所要の動作判定を行なう。

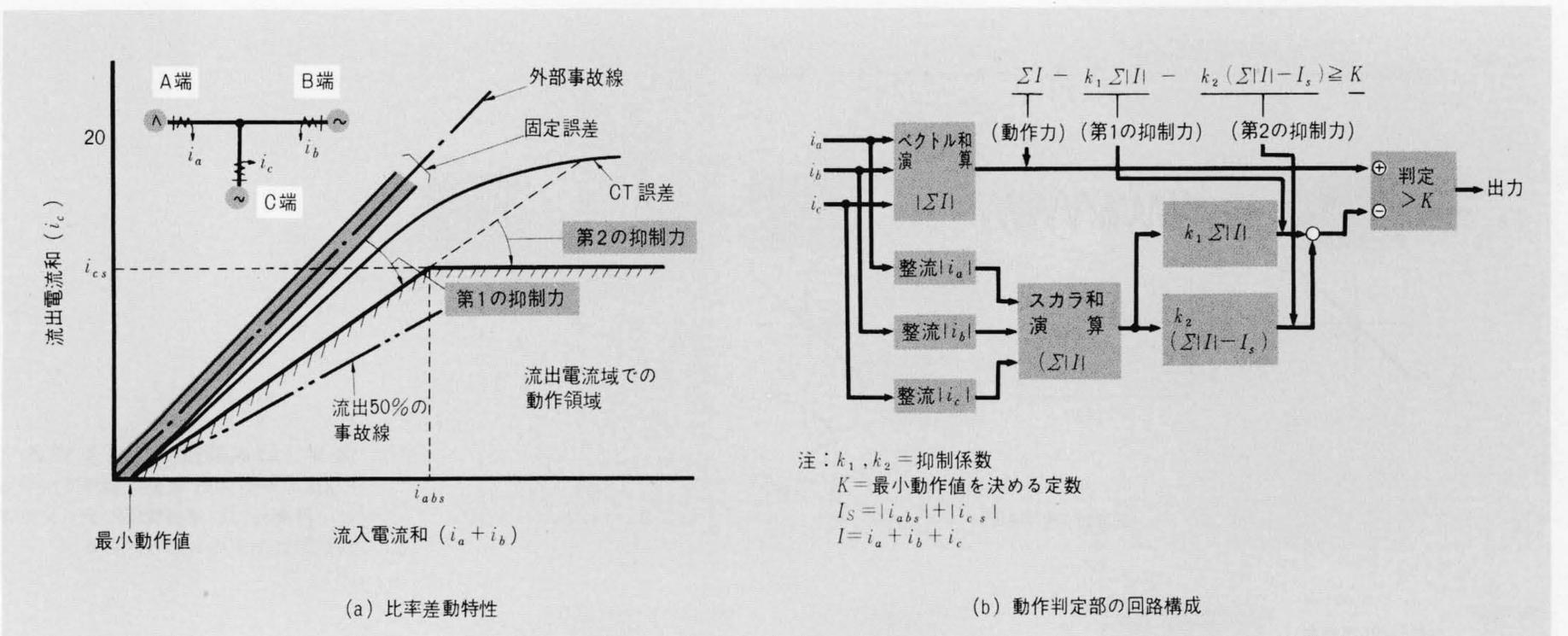


図5 継電器動作判定方式 低電流域では、抑制力を小さくすることにより流出電流域での動作領域を広げる一方、大電流域では抑制力を大きくしてCT誤差による誤動作を防止できる方式とした。

$$(i_a + i_b + i_c) - k(|i_a| + |i_b| + |i_c|) \geq K \dots \dots \dots (1)$$

k : 抑制係数, K : 最小動作値を決定する定数

$$(i_a + i_b + i_c) - \underbrace{k_1(|i_a| + |i_b| + |i_c|)}_{\text{第1の抑制力}} - \underbrace{k_2(|i_a| + |i_b| + |i_c| - I_s)}_{\text{第2の抑制力}} \geq K \dots \dots \dots (2)$$

k_1, k_2 : 抑制係数, K : 最小動作値を決定する定数
 すなわち、従来の抑制力と同等の第1の抑制力は図5(a)に示すように、回路構成上生ずる固定誤差及び小電流域でのCT

誤差を対象として係数 k_1 を決定し、更に大電流域において、CT飽和によりCT誤差が増大した場合の誤動作を防止するために第2の抑制項を導入した。(2)式における第2の抑制力はスカラー和($\sum |I|$)が一定値(I_s)以下ではゼロ、 I_s 以上では k_2 で決まる大きな抑制効果を持つもので同図に示すように大電流域では飽和特性として位相比較方式と同等の特性を実現させている。(2)式に基づく動作判定を行なうための回路構成を図5(b)に示す。

3.3 伝送回線

(1) 所要回線と変調仕様

位相比較キャリアリレー方式では一相当りの位相比較情報を音声帯域1回線で伝送しているため、本方式でも同じ伝送回線で所要の保護性能を得ることをねらいとした。このため、変調仕様である中心周波数 f_0 と最大周波数偏移幅 Δf_{max} の選定に際しては、事故電流の最大値より最小値に至るまで、所定の誤差内で直線性が得られるように、音声帯域ろ波器の遅延特性上最も遅延時間が小さい周波数1.8kHzを f_0 として選び、 Δf_{max} を1.0kHzとした。

(2) 伝送回線で生ずる雑音と対策

FM伝送方式は雑音に強い方式であるが、マイクロ波回線でのフェージング⁽⁶⁾や通信装置の電源変動⁽⁷⁾などによる外乱が生じた場合、その影響を受けるおそれがあり、継電器が誤動作しないよう考慮する必要がある。図6はFM信号が、伝送回線で外乱を受けた場合の様相を電流入力がゼロの場合を例にとり示したものである。同図は、外乱でFM信号が周波数変動を受けた場合で、送信端電流入力がゼロであるにもかかわらず、 f_0 が周波数変動 $+\Delta f_{N1} \sim -\Delta f_{N2}$ を受けるため、受信端の復調出力には雑音電圧 $+\Delta V_{N1} \sim -\Delta V_{N2}$ が生じる。これが継電器の動作判定部入力となり、 $+\Delta V_{N1} \sim -\Delta V_{N2}$ の周期 T_N と大きさによっては継電器が誤動作することが考えられる。この種の雑音を含め本装置で採用した雑音検出方式のブロック図を図7に示す。周波数変動による雑音は信号回線と別に設けた雑音監視専用回線で検出する。この回線で f_0 を常時無変調で送信していれば伝送回線で外乱が生じ信号回線のFM信号が周波数変動を受けても、 f_0 も同じように変動を

受けるので、受信部に信号用の $F-V$ と同特性の $F-V$ を設け、更に雑音判定部と動作判定部との感度協調をとっておけば、図6で生じた雑音電圧 $\Delta V_{N1} \sim \Delta V_{N2}$ が継電器誤動作に結びつく値以上になると高速でこれを検出し、継電器出力を阻止することができる。

各信号回線には瞬断検出部のほか、信号周波数帯域(0.8~2.8kHz)以外の周波数が信号入力に混入した場合を検出する帯域外雑音検出部も設けて、雑音に対する誤動作防止の徹底を図っている。

4 装置の構成と適用

4.1 主継電器の仕様と特性

表1に主継電器の仕様を示す。図8に動作時間特性の実測値を示す。整定値の150%入力では1.5サイクル動作が可能であり、装置としての仕上り動作時間は2サイクル以下である。

4.2 装置の構成

図9に2端子1対向分の装置の外観を示す。本装置では事故検出用継電器として、電源条件に影響されず流出電流があっても事故検出が可能な電流補償付不足電圧継電器を組み合わせ、1端局当たり1面で構成した。特に従来のキャリアリレー方式では、信号伝送装置を介してマイクロ波搬送端局装置との受渡しを行っていたが、本装置では、主継電器に変復調部、通信結合部を内蔵させているため、信号伝送装置は不要である。また、主継電器の受信部ユニットの着脱のみで、2端子、3端子のいずれの構成に対しても、同一装置を適用できるので装置の標準化が容易となり、増設にも対応しやすい。

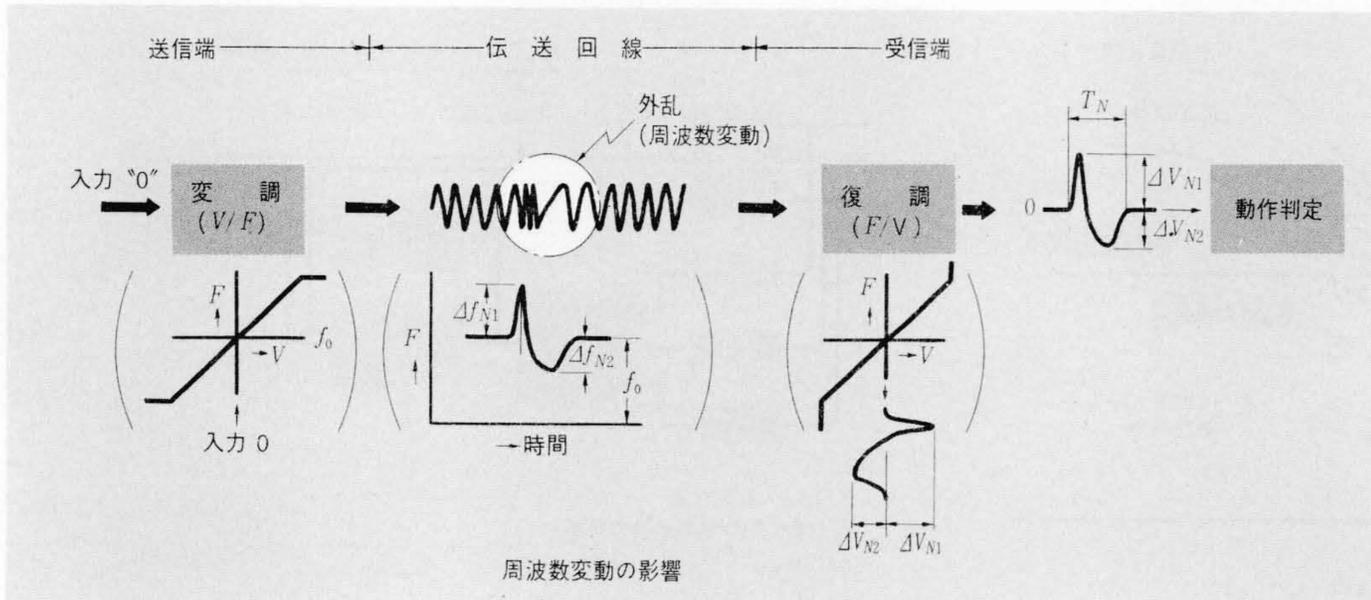


図6 伝送回線で生ずる雑音
FM信号が周波数変動や瞬断を受けると、復調出力に雑音電圧が生じ、継電器が誤動作するおそれがある。

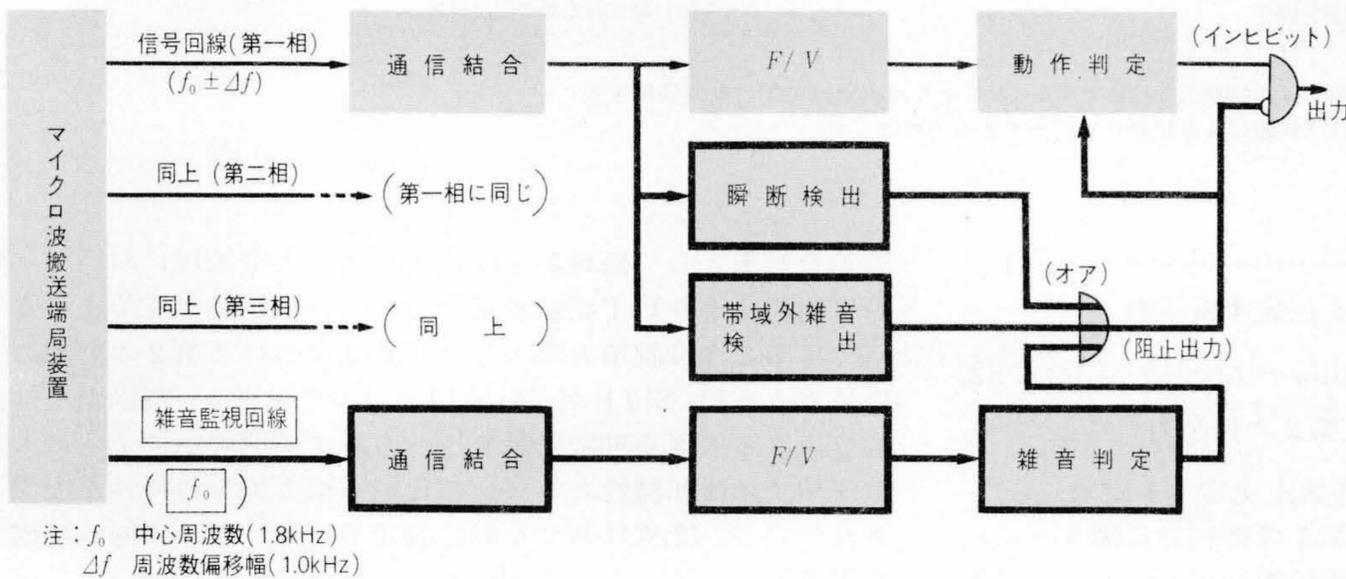


図7 雑音検出の回路構成
各信号回線と雑音監視専用回線により、継電器にとって有害な雑音を検出し、誤動作を防止している。図中太わく□で示すブロックが雑音検出部である。

注： f_0 中心周波数(1.8kHz)
 Δf 周波数偏移幅(1.0kHz)

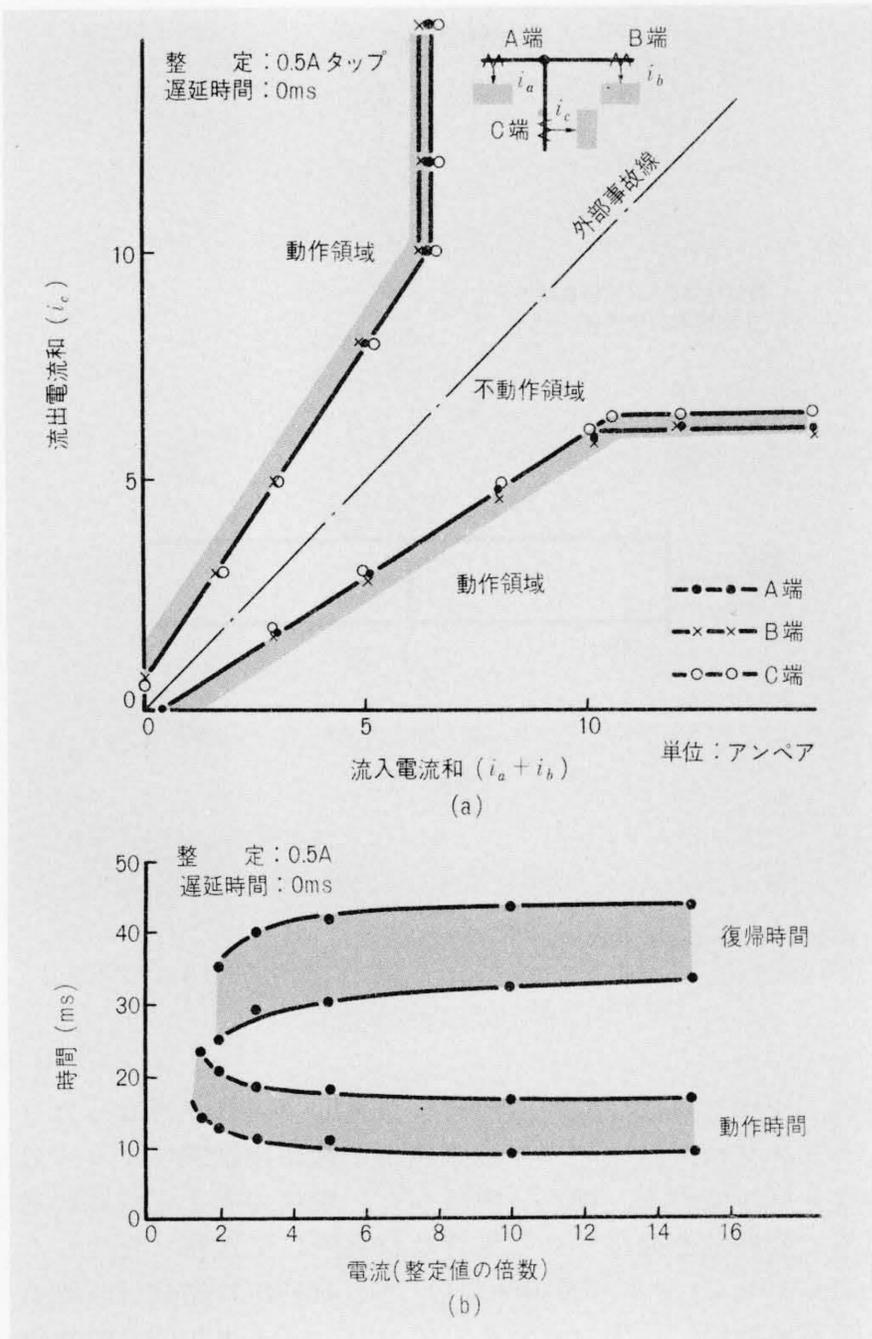


図8 主継電器の特性(実測値) (a)は事故電流の50%流出でも動作可能とし、大電流域では飽和特性としてCT誤差の影響を受けない特性としている。また、(b)は整定値の150%入力にて1.5サイクル動作を満足させている。

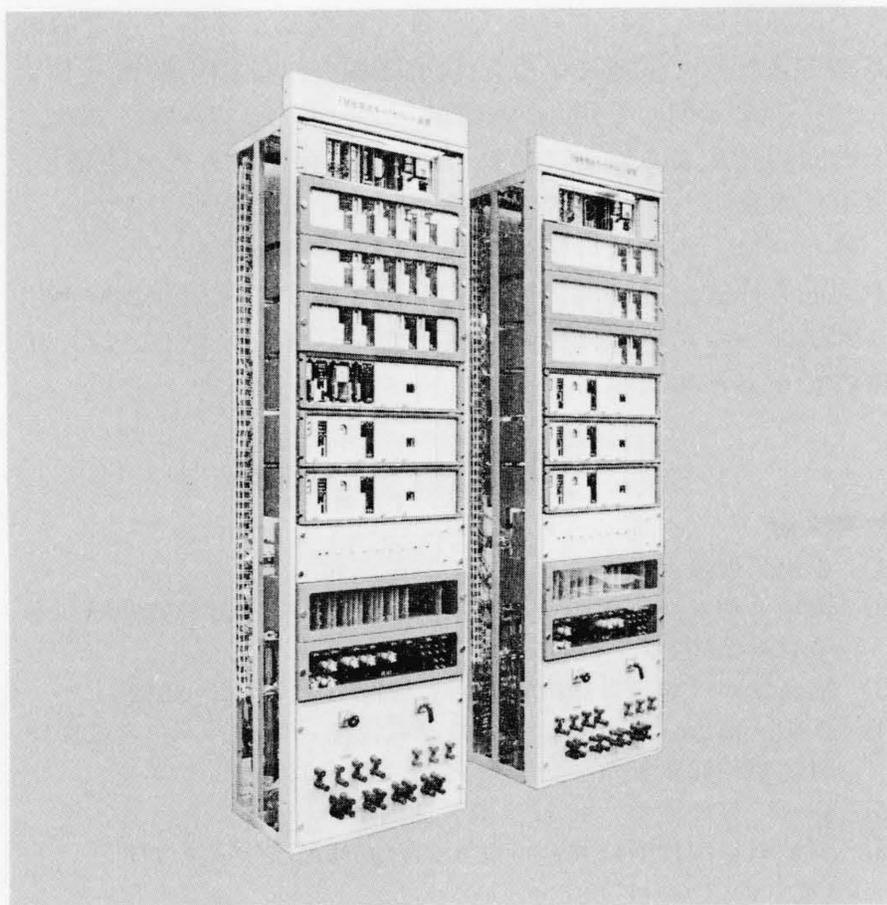


図9 FM差電流キャリア リレー装置 変復調部は主継電器に一体化している。電流補償付不足電圧継電器を事故検出用として組み合わせ、1端局1面で構成している。本写真は2端子送電線1対向分を示す。

表1 主継電器の仕様 大容量送電線及び3端子送電線の保護が可能な仕様としている。

No.	仕様	仕様
1	型式	SD-N-100K3
2	定格	5A
3	整定範囲 (タップ値)	0.5A, 1.0A, 2.0A
4	特性	(1) 比率特性 <p>注：目盛は整定値の倍数を示す。</p>
		(2) 動作時間：整定値の150%入力にて1.5サイクル以下
5	信号伝送方式	周波数変調方式：中心周波数(副搬送周波数) $f_0=1.8\text{kHz}$ 最大周波数偏移 $\Delta f_{\text{max}}=1.0\text{kHz}$
6	通信装置との インタフェース	(1) 送信レベル：標準-8dBm但し、-8~31dBm間 1dBステップで調整可能
		(2) 受信レベル：標準0dBm、最小受信レベル-22dBm 受信レベル変動 $\pm 10\text{dB}$
		(3) 受渡しインピーダンス：600 Ω ±20%平衡
		(4) S/N(副搬送波受信レベル/雑音)：20dB以上

4.3 適用

本装置の適用限界は、事故電流、潮流、充電電流など系統条件やCTの特性などの諸条件で異なるが、大略の目安として、次のように設定することができる。

(1) 最小検出感度

送電線定格電流の10%程度。但し、区間内充電電流が無視できない場合には、これによって誤動作しないよう余裕を見込んだ整定が必要である。

(2) 最大事故電流

外部事故時の最大通過電流は整定値(最小動作値)の20倍まで許容可能。この数値は今後計画される主幹系統では十分な値と考えられる。

(3) 内部事故時の許容流出電流

流入電流の50%以下。

5 試験結果

工場試験により、種々の詳細試験を行ない、その性能を確認した後、実際の伝送回線と接続した場合の問題点、特に雑音の影響や系統事故に対する装置の応動を検証するため、昭和49年3月より中部電力株式会社高根北部幹線(275kV、亘長84km)で実用化試験を行なった。図10は工場試験において3端子送電線を模擬し、50%流出を伴う事故を発生させたときの動作オシログラムを示す。各端子とも動作時間(トリップ指令)は19msで2サイクル以内の仕様を満足している。昭和50年3月までの1年間における系統事故は内部事故1回、外部事故26回⁽⁸⁾でいずれも正規動作、正規不動作の実績を得た。

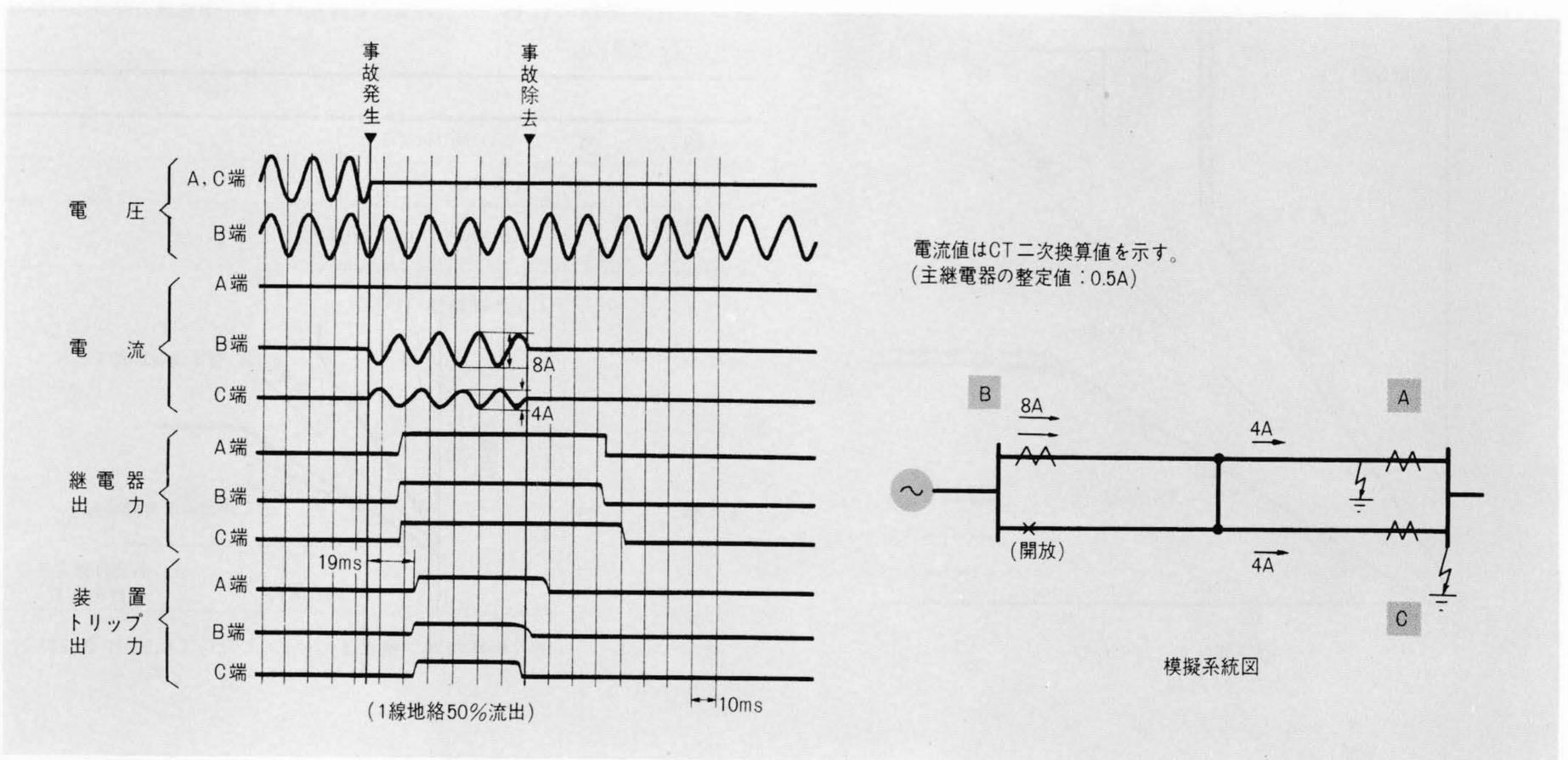


図10 動作オシログラム 3端子で50%流出を模擬して試験した場合の動作オシログラムである。動作時間19msであり、2サイクル以内の目標仕様を満足している。

図11は、実系統において通信機電源を急変させることにより、周波数変動を発生させ、雑音検出機能の検証を行なった場合のオシログラムである。これに示したように一般に周波数変動は各相とも同時に生じており、共通に設けた雑音監視回線によって雑音検出及び阻止出力は確実にこなわれている。

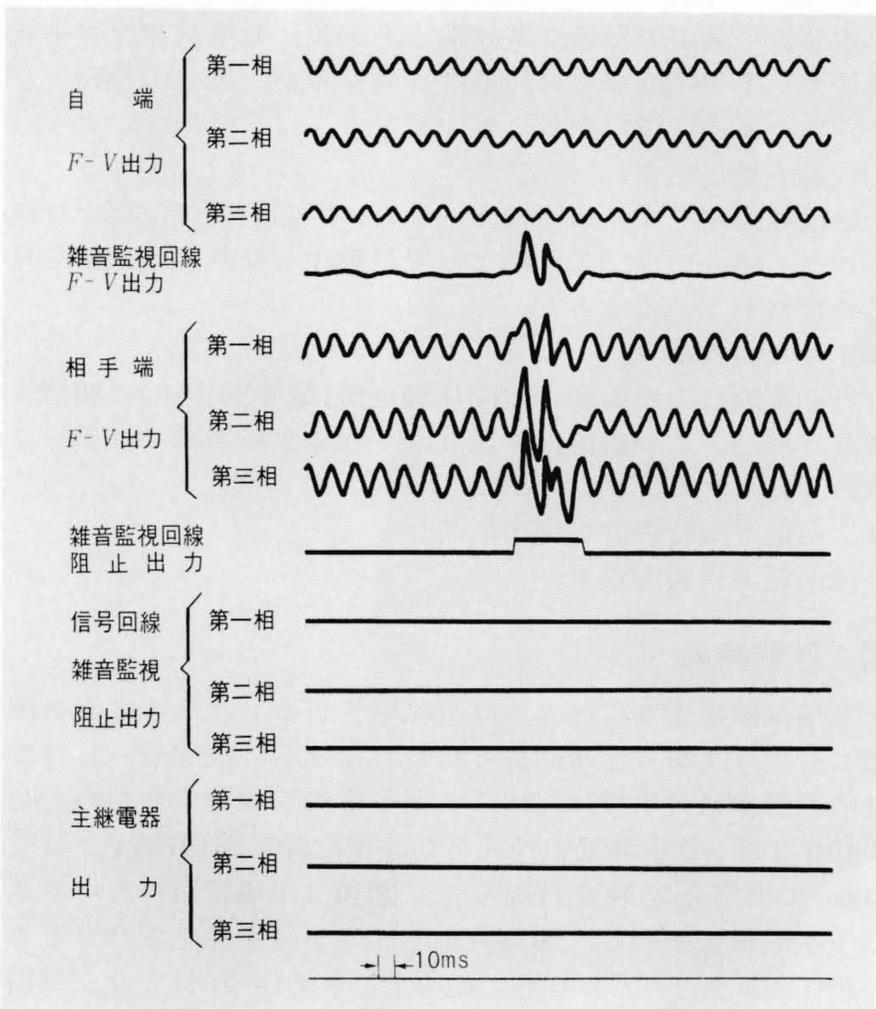


図11 FM雑音に対する応動確認オシログラム 周波数変動が各相とも同時に生じており、共通に設けた雑音監視回線により雑音検出及び阻止出力が確実にこなわれている。

更に、マイクロ波回線の導波管に減衰器を入れて行なったフェージング模擬試験⁽⁸⁾や無線機現用予備切換試験により、急激なレベル変動や、繰返し瞬断など、現状で考えられる伝送回線での外乱を発生させた場合及び実際に伝送路に発生したフェージングノイズや瞬断に対して、誤動作に結び付く雑音を確実に検出し、出力を阻止しており、過去1年間の動作実績でもその有効性が検証できた。

6 結 言

以上述べたように、本方式は位相比較キャリアリレー方式で保護困難とされていた大容量送電線及び3端子送電線の保護方式として最適であり、伝送回線も、位相比較キャリアリレー方式と同じ帯域(音声帯域)が使用可能である。また、伝送回線で生ずる雑音に対し、新しい雑音検出方式を開発し、実用化試験においてその有効性を確認することができた。

終わりに、本装置の開発に際し御指導、御援助いただいた中部電力株式会社の関係各位、特に現地での実用化試験運用に御尽力いただいた同社岐阜支店の関係各位に対し、厚く感謝の意を表わす次第である。

参考文献

- (1) 中山「保護継電システム」p. 116, (電気書院)
- (2) 瀬尾「超々高圧送電線保護技術の進歩」電気計算臨時増刊号第41巻第507号, p. 167
- (3) 福島ほか「搬送保護継電方式」特許公報 昭43-2982
- (4) 太田, 杉山, 三木ほか「FM差電流キャリアリレーの試作検討」昭和49年電気学会全国大会, No. 1035
- (5) 森永「移動通信」p. 17 (電子通信学会編)
- (6) マイクロ波技術研究会「マイクロ波通信工学」p. 178 (電気通信協力)
- (7) 道下, 川井「レクチプレックス」信学誌Vol. No. 1, p. 30
- (8) 太田, 杉山, 野村ほか「FM差電流キャリアリレー装置」昭和50年電気学会全国大会, No. 1073