

デジタル電流差動リレー用情報伝送装置

松下 明博 千葉 峻 坂井 茂夫 小笠原賢次
(富 士 通 株 式 会 社)

1. まえがき

送電線保護リレーシステムは、送電系統の安定運用に不可欠なものであり従来より各種の判定方式を利用したシステムが実用化されてきている。しかし、近年基幹系統の大容量長距離化、多端子化等による効率的運用をはかるためには、従来の保護システムに替る、新たな判定方式に基づく保護リレーシステムが必要となってきた。

東京電力㈱では、この要求を満たすものとして、キルヒホッフの第一法則を応用した「デジタル電流差動リレーシステム」を仕様化した。本保護方式は、各端子でサンプリングした送電線電流値情報をベクトル演算することにより事故判定を行なうものであるが、本方式を採用することにより、システムを構成する信号伝送部として、次の機能の実現が必須のものとなる。

①サンプリング自動同期機能

数十km以上離れた各電気所で全く同時刻に電流値をサンプリングするための基準時刻を生成する。

②高速情報伝送機能

判定方式のデジタル化に伴ない伝送情報が1.3倍増加するが、既存のG帯域キャリアリレー用伝送路をそのまま使用する。

しかし、①に対しては、伝送路の遅延時間に影響されことなく絶対遅延時刻を一致させる必要があり、②に対しては、54kb/sの信号を使用して従来と同等の伝送品質を確保する必要がある。

筆者らは、これらの機能を満足する情報伝送装置を商用化し、更に㈱日立製作所のリレー装置と組合せ、香取線において長期実証試験を行ない、上記機能の検証を行なう事ができた。本書では、この情報伝送装置の概要と、現地実証試験の概要および検証結果について述べる。

2. システム概要

2.1 デジタル電流差動リレー保護方式について

本方式は、保護対象送電線の各端子の同時刻電流値を、キャリアリレー回線を用いて相互に伝送し、各端子で電流差動による事故弁別を行なうものである。

図2.1の様な3端子系統に於いて、

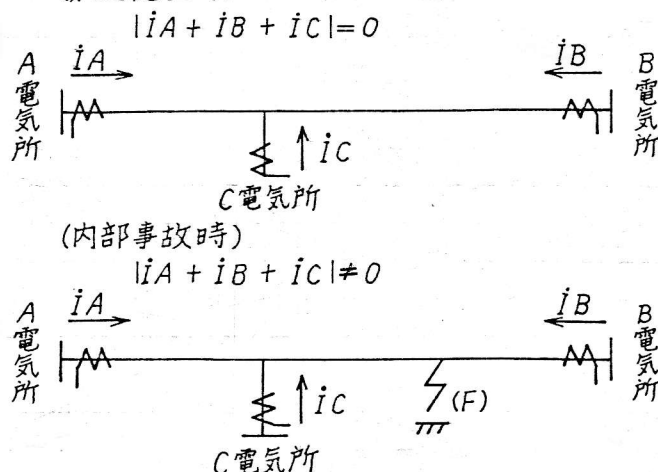


図2.1 動作原理説明図

系統健全時は、キルヒホッフの第一法則により、 $|\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C| = 0$ が成立するが、内部事故時は $|\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C| \neq 0$ となる事を判定原理としている。

2. 2 情報伝送機能の主要機能

情報伝送装置において、上記判定原理を実現するために必要な機能は、次のとおりである。

2. 2. 1 サンプルング時刻自動同期機能

各端子電流のサンプルングを同一時刻に行なわねばならないため、サンプルング時刻自動同期調整機能が必要である。サンプルング時刻同期の誤差は、サンプルング周波数 600 Hz（電気角 30° ）に対して、絶対位相差 $\pm 10\mu s$ （電気角 0.18° ）とし、判定精度に影響を与えない様になっている。また、伝送路で擾乱が発生した時も同期はずれが起こりにくくする様、保護機能を備える必要がある。

(1) 動作原理

本機能は、電気所間の信号伝送路の上り・下りの構成用品が一般的に同じであり、伝播遅延時間がほぼ等しいことを利用している。

図2.2 に示す様に、主局および従局において、特定のフレーム番号（No.0）を送信してから、相手局の同一No.のフレームを受信するまでの時間（それぞれ T_m , T_s とする）を計測する。主局は、計測値 T_m を従局へ伝送し、従局では自局計測値 T_s と受信した T_m を比較して

$$T_m = T_s$$

$$T_m + T_s > T_r \quad (T_r \text{は} 16 \sim 20 \text{msの任意の値})$$

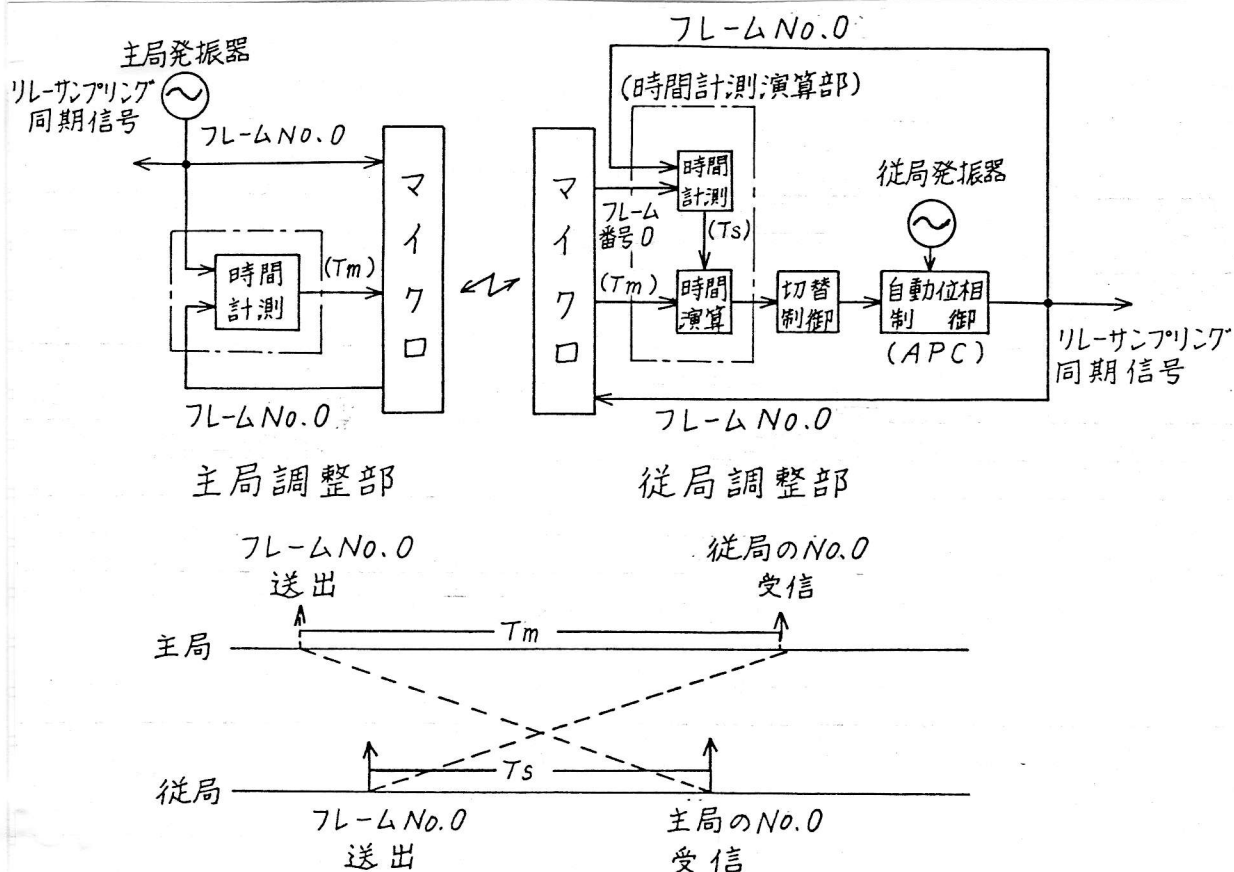


図2.2 サンプルング自動同期調整原理図

となる様に従局の位相制御回路を制御する。上り・下り回線の遅延時間が等しいため、最終的に両局のフレーム送信時刻が一致し、このフレーム信号を各局のサンプリング時刻の基準として使用することで目的を達成している。

本原理では、伝送路の遅延時間変動や伝送路を通したことにより発生するモデムのジッタが、同期誤差に影響を与えるため、実運用時の動作特性を検証することは重要な課題となる。

(2) 同期連係

サンプリング自動同期は、2局間で一方を親局とする従属同期方式である。3端子構成の場合は、図2.2 (a) に示す様に、あらかじめ親に設定されたA局にB局が従属し、B局を親局とみてC局が従属することにより、3局間の同期をとっている。

また、伝送路断等の障害時にも可能な限り同期維持をはかるため、図2.3 (b) に示す様に、B局でA局からの計測値を受信できない場合には、自動的にB局が親局となりB→C→Aの同期従属を行なえる様にしている。

なお、リレー装置は、情報伝送装置からサンプリング同期信号を受けて電流値のサンプリングを行なう。

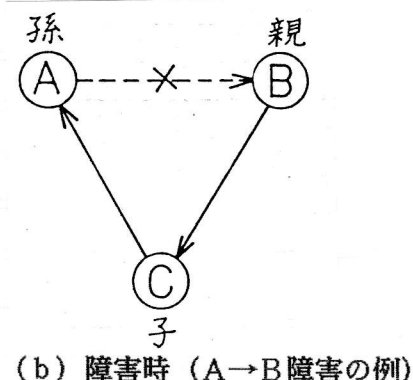
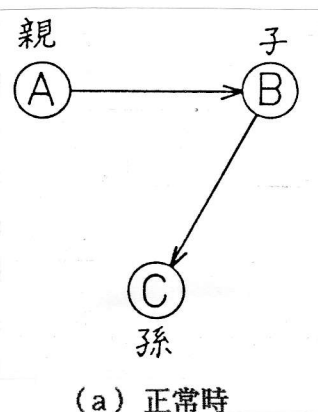


図2.3 同期連係

表2.1 伝送する情報

情報の種類	情報量	ビット数
電流瞬時値情報	1回線3相分	36
電圧位相比較情報	1回線1相分	4
機器情報	1回線3相分	*3
制御情報	4要素	*4
転送しゃ断情報	6信号	*6
フラグ情報	5要素	*5
サンプリング同期計測情報	1対向装置分	*17
フレーム同期情報	1フレーム分	19
検定情報	1フレーム分	21

注。*印の情報はマルチフレームによる低速伝送を行っている。1マルチフレーム=12フレーム

2. 2. 2 情報伝送機能

各端子間で伝送を必要とする情報を、表2.1 に示す。伝送方式は、1フレーム90ビットで構成するサイクリック伝送方式とし、伝送速度は、

$$90\text{ビット} \times 600\text{Hz} = 54\text{kb/s}$$

である。このデータを従来のキャリアリレーシステムと同じ群帯域伝送路（60～108kHz）

を使用して伝送する。

フレームフォーマットを、図2.4 に示す。

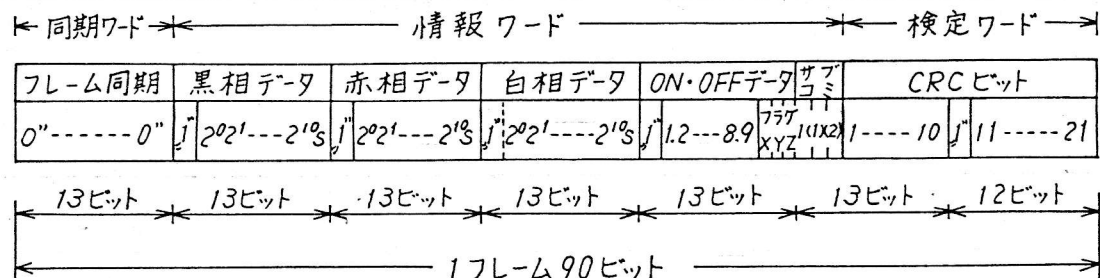


図2.4 伝送フレームフォーマット

2. 3 システム構成

図2. 5 にシステム構成図を示す。

各電気所の情報伝送装置は、通信機械室内の通信制御装置と、継電気盤室内の保護リレー装置に搭載される光インターフェイス装置から構成される。相互間の信号伝送は、電気所内の各種サージや電磁誘導の影響を受けまいよう光ケーブルによる光通信を採用し、従来システム以上の耐雑音性を持たせ信頼度を高めた。また、各電気所間の伝送路は、既存のキャリアリレー専用マイクロ回線をそのまま使用する。

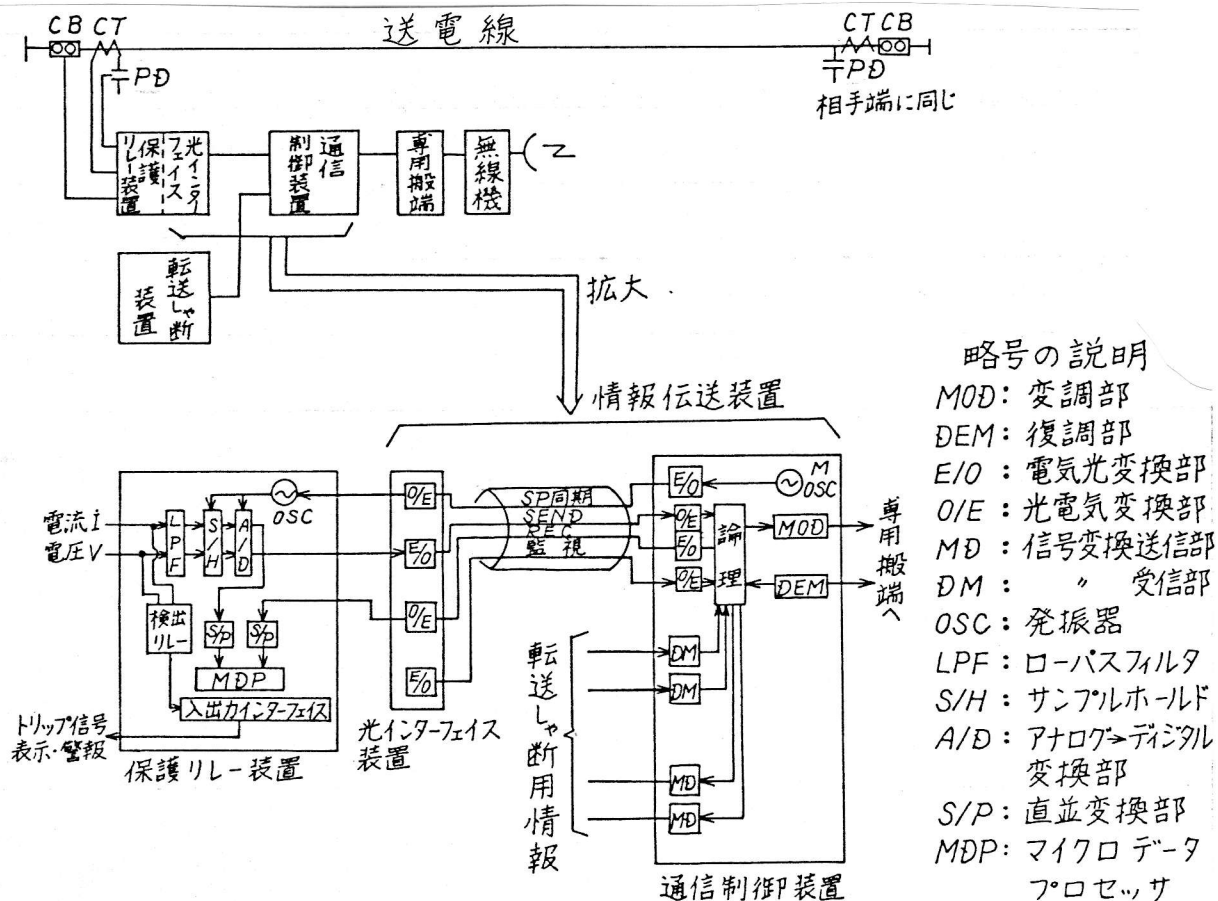


図2.5 システム構成図（2端子系で示す）

3. 情報伝送装置の概要

3. 1 特徴

系統保護システムの重要な機能を分担する本装置の開発にあたり、従来システムのノウハウを生かし、時に配慮した点は以下の通りである。

(1) 装置構成・実装方式の選択とシステム信頼性の向上

2端子形システムから多端子形システムへの拡張性、将来の伝送路のPCM化等を考慮し装置構成を基本機能単位ビルディングブロックの実装方式を採用した。更に架実装は送電線1回線毎に260mm巾の1架構成とし、一系統毎に2架並設することにより、システム間の完全分離を行ないシステムの高信頼化が図れるよう配慮した。

(2) 装置の高信頼化

プリント基板の大形化、バックボードの採用により配線接続点の減少、並びに最新のデジタル技術を駆使し、従来アナログ回路で構成していたMODEM部のクロック再生部や、位相復調部等を完全デジタル化し無調整化すると同時に、全般的な部分点数の削減により、信頼度の向上を計った。

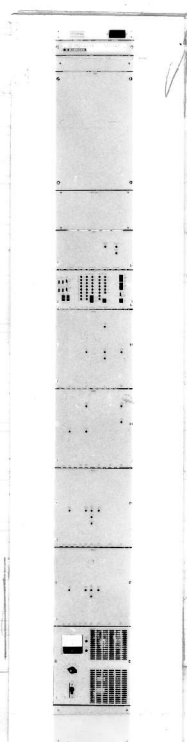
(3) 保守性の向上

装置の高性能によって保守性を損なわない様、マイクロプロセッサを用いた試験群を内蔵させ、各種伝送パターンの発生等、高機能な試験を行なうことができる。また、従来システムと同様、主要位置に切り分けジャックやモニタジャックを設け、折返し試験ができる様にした。

3. 2 装置諸元

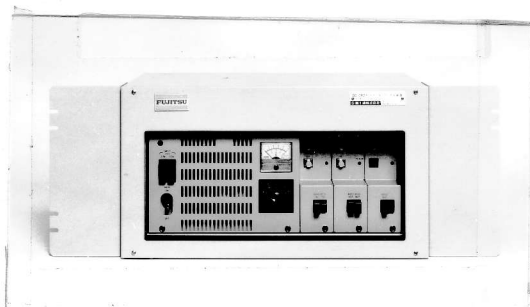
本装置の外観写真を図3.1に示す。

また、本装置の主要諸元を表3.1に示す。



(a) 通信制御装置

高さ ; 2300mm
横幅 ; 260mm
奥行 ; 225mm



(b) 光インターフェイス装置

高さ ; 250mm
横幅 ; 660mm
奥行 ; 300mm

図3.1 装置外観

表 3.1 主要諸元

4. 実証試験結果

4. 1 実証試験の概要

実証試験は、(株)日立製作所のデジタル電流差動リレー装置と組み合わせ、昭和57年 8月から昭和58年 9月までの約一年間、東京電力(株)香取線（新佐原変電所～鹿島変電所；275 KV系）で、模擬運用の形で実施した。

実証試験構成は、図4.1に示す様に、リレー装置は送電系統に合わせ、2端子構成であるが、伝送系は④、⑥、⑦の3端子系構成とし、鹿島（変）に設置したA端局とB端局の間で、多リンク伝送路を介したサンプリング同期誤差を直接測定可能な構成とした。

1. 変復調方式（FDM伝送路）

変調方式	4相差動位相変調方式
復調方式	同期検並方式
キャリア周波数	84 KHz
伝送帯域	基礎群帯域（60～ 108 KHz）
伝送速度	54kb/S

2. 誤り検定方式

フレーム同期検定

CRC検定 生成多項式は

$$(\times^7 + \times^3 + 1)(\times^7 + \times^3 + \times^2 + \times + 1)(\times^7 + \times^4 + \times^3 + \times^2 + 1)$$

3. 光伝送方式

波長0.83 μ m 帯

発光素子

発光ダイオード

受光素子

PINフォトダイオード

変調方式

RZ光強度変復調方式

4. 伝送方式

1 フレーム90ビットの

サイクリック伝送方式（図2.4 参照）

5. サンプリング同期方式

相互位相差計測による

デジタル同期方式

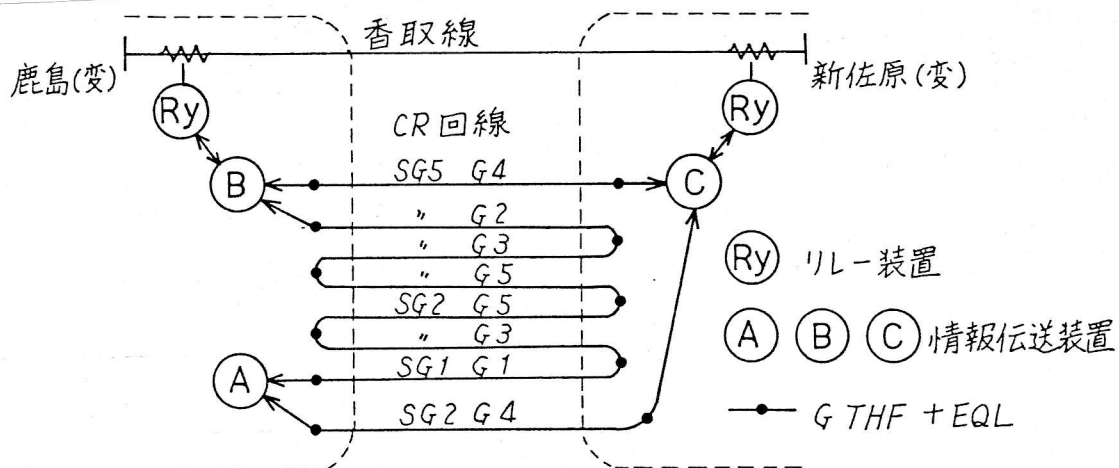


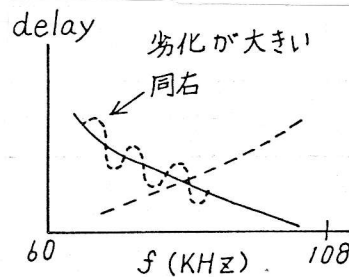
図4.1 実証試験構成の概要

4. 2 伝送路の特性について

デジタル電流差動リレーシステムでは、前述した様に従来より実用化されている位相比較方式によるデジタルキャリアリレー用伝送路をそのまま使用することを前提としている。現状のキャリアリレー用伝送路は、G4中継5スパンを回線モデルとしてCCITT 勧告等を参考に位相歪、振巾歪を規程しており、特に位相歪の大きい G THF, SG THF, SG1 およ

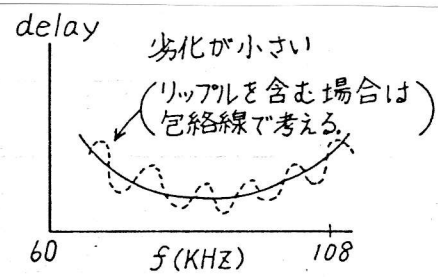
び SG3変換部について位相等化を行っている。（＊文献1）

伝送路を構成する場合には、高速データ伝送であるため群遅延歪特性が重要である。従



(a) 非対称位相歪 (片ながれ)

強い



(b) なべ底形位相歪

図4.2 位相歪の形態

来キャリアリレー用として考えると同様に（＊文献2）

「使用されるモデムが4相変調方式であり、変調波のスペクトルが帯域の中心付近（84 kHz）より両側にはほぼ対称形であることから、図4.2の様に、なべ底形の位相歪とし、非対象な（片ながれ）位相歪にしない事」

の注意を払った。更に、実回線の場合は、できるだけマージンを持った特性となる様に、多中継回線が必要な場合は、SG中継の採用・使用群No.の組合せにより位相歪を小さくすることが望ましい。

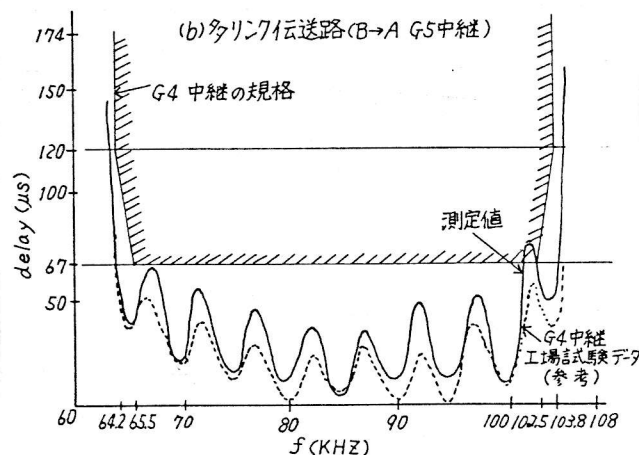
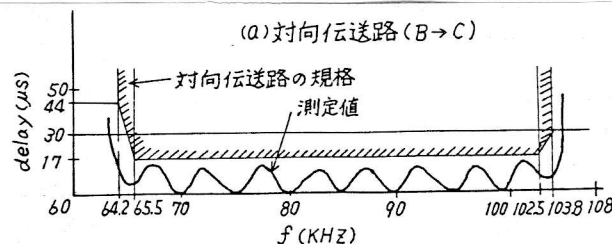


図4.3 試験伝送路位相歪特性

今回使用した伝送路の遅延歪特性は、図4.3に示すとおりであり、多リンク伝送路については標準モデルに近い特性であるといえる。

なお、本システムにおける符号伝送速度は、従来システムの42kb/sに比べ54kb/sと約1.3倍であり、図4.4に示す様にそのラインスペクトルはGTHFの通過帯域外まで広がったものと

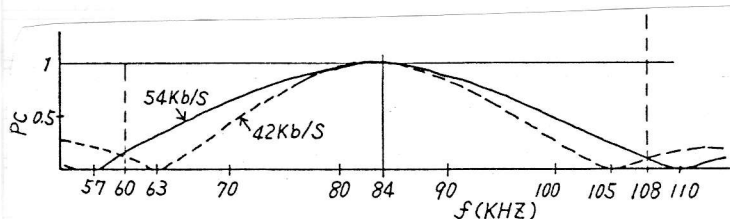


図4.4 位相変調波ラインスペクトル

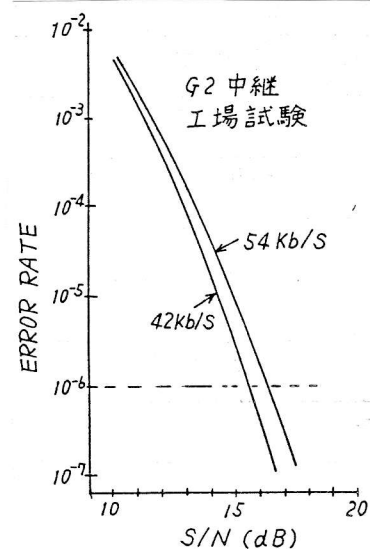


図4.5 エラーレート比較

なる。この為、既存伝送路を使用した場合の符号誤り率特性の評価が必要となる。工場における多リンク試験データでは、図4.5 の様にG 2 中継時 10^{-6} 点で S/N 1 dB程度の差異が認められたが、後述の伝送誤り試験結果からみて実用上問題ない範囲と思われる。

4. 3 サンプリング時刻同期の誤差

情報伝送装置の同期系は、図4.1 に於いて、A端局を主局に設定し、

A (親) → B (子) → C (孫)

の構成とし、A～B間のサンプリング同期信号の同期誤差を直接測定した。

上記構成で、例えば伝送路障害により B端局が受信異常となった場合は、B端局が主局となるように制御して

B (親) → C (子) → A (孫)

の同期関係を維持する様に動作する保護シーケンスを有している。(障害復旧後は初期状態に復帰する。)

A～B間の同期誤差は、瞬時における変化も見のがさぬ様にマイコン制御の自動記録装置により、全実証試験期間にわたり 1時間 (18万サンプル) ごとにその最大位相差を記録する方法により、長期の特性を観測した。

図4.6 に各月ごの最大位相ずれをプロットしたものを示す。図は最大ずれの値を示し、通常の位相偏差は振巾の中心付近に分布している。この結果、若干のバラツキが見られるものの、全体としては、きわめ安定に自動同期が行われている。また、全実証期間中の最大誤差は、 $\pm 1.875 \mu\text{s}$ であった。伝送路を通さずに直接接続した時の同期誤差が $\pm 0.8 \mu\text{s}$ であったことから、多リンク伝送路の影響による誤差の増大は、約 $1 \mu\text{s}$ であることが分った。しかし、この場合でも、目標値 $\pm 10 \mu\text{s}$ を十分に満足するものである。

また、図4.7 に示す様に、伝送

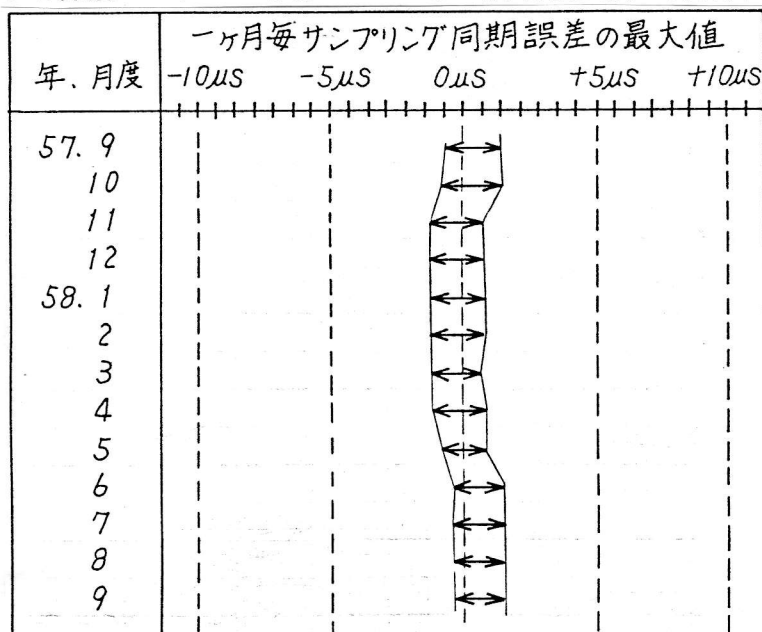


図4.6 サンプリング同期誤差

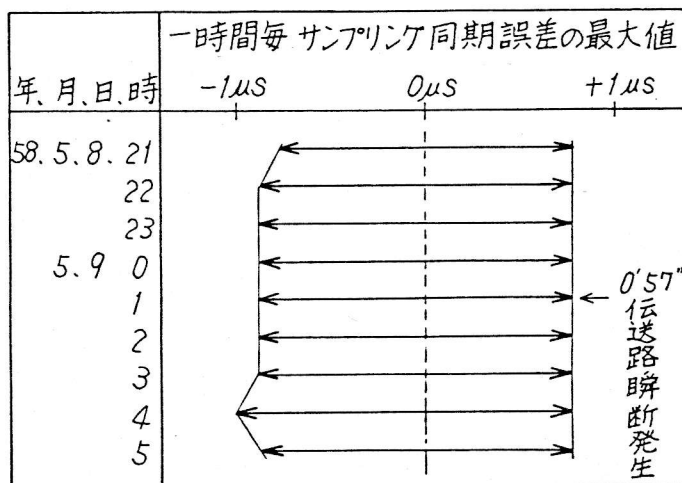


図4.7 伝送路障害時の同期誤差例

鹿島 (変) で16秒瞬断が発生

路上で16秒にわたるかなり長期のバースト誤りが発生した場合も、影響を受けることなく同期保護シーケンスが正常に動作していることを実証できた。

4. 4 伝送誤りについて

情報伝送機能を検証するために、各受信部の検定不良数を1時間毎にカウントして記録した。結果を以下に示す。

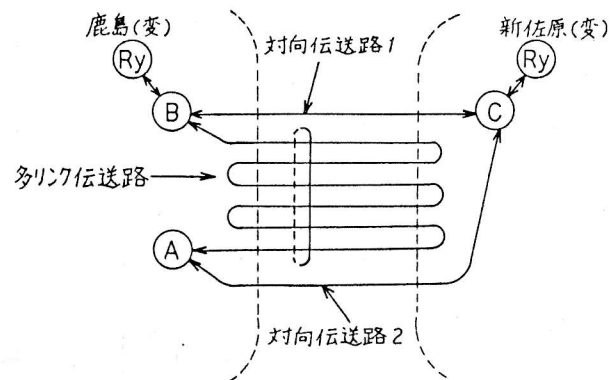


図4.8 試験伝送路

表4.1 伝送誤り

区 間		エラーレイト	伝 送 誤 り の 分 析
対向 伝送路 1	C → B	2.8×10^{-12}	測定時間約 9000Hのうちエラー発生があった時間は C → Bは 2回 (エラー 5ヶ) B → Cは 1回 (エラー10ヶ) で良好なエラー特性である。
	B → C	5.6×10^{-12}	
対向 伝送路 2	C → A	2.7×10^{-11}	測定時間約 9000Hのうちエラー発生があった時間は C → Aは 9回 うち 1回が29ヶのエラーで総 エラーの半分をしめているが良好なエラ ー特性である。 A → Cは44回とC → A に比べ多かった為、 試験期間途中で、試験系全体の見直しを 行なったが、原因は特定できなかった。
	A → C	3.9×10^{-10}	
多リンク 伝送路	A → B	1.5×10^{-9}	測定時間約 9000Hのうちエラー発生があった時間は A → Bは約 8% (約730H) B → Aは約81% (約730H) であり定常的なエラー発生が見られた。これは、 伝送路遅延歪に起因するエラーである。
	B → A	3.5×10^{-8}	

注 A → B, A → Cは固定パターンを送信している。

今回の多リンク伝送路で、 $A \rightarrow B$ 、 $B \rightarrow A$ でエラーレイトが異なったのは、伝送する符号パターンの違いが主要因である。

伝送するパターンは、試験構成上から、次の様になっている。

$A \rightarrow B$: 固定的パターン (入力固定パターン)

$B \rightarrow A$: ランダム性パターン (潮流のサンプル出力)

伝送パターンの違いにより、位相変調波出力のスペクトルが異なるが、固定的パターンの伝送では線的スペクトルが多くなり、かつその拡がりがランダム符号に比べ少なく、伝送路による帯域制限の影響も小さくなる。この傾向は、位相歪など伝送路特性がきびしい程大きくなる。したがって、今回の試験では、他リンク伝送路を通した場合のみ表われ、他の伝送路を通した場合にはその差は見られなかった、と考えられる。

今回の実証試験により、伝送路の評価基準である 1×10^{-7} のエラーレイトについては、すべての回線でこれを満足できることが確認できた。

この結果、多リンク伝送路についてG 4中継5スパンの標準モデルまでは十分実用可能と考えることができるが、4. 2項で述べた様に、伝送路を構成する場合は、従来システムと同様、帯域内の位相歪特性がなるべく平坦となる様、SG中継等を組み合わせることが望ましい。

5. まとめ

超高圧、多端子送電系に適したデジタル電流差動リレー用情報伝送装置を開発し、フィールドでG 5中継6スパン伝送路を使用し実運用状態を模擬した試験を行うことにより、目標としていた下記の特性を検証することができた。

①サンプリング自動同期機能では、システム規格 $\pm 10 \mu s$ に対し、 $1/5$ 以下の $\pm 1.875 \mu s$ 以下と十分に小さな値であった。更に伝送路攪乱時にも安定に同期を維持することができた。

②情報伝送機能では、G 4中継5スパンの標準モデルに近い伝送路に於いて 1×10^{-7} のエラーレイトをクリアすることができた。

なお、保護リレーシステムとして、58年7月に雷発生による外部事故時の正規不動作を確認することができた。

今後、本システムの実用により、高圧化・広域化する送電線の系統保護に十分寄与することができると思われる。

最後に、本装置の開発および実証試験を行なうにあたり、多大の御指導および御協力を頂いた、東京電力㈱、日立製作所、および当社関係者に、厚くお礼を申し上げます。

文献1. 東京電力㈱、超高速データ伝送に関する研究報告書 昭和48年3月

文献2. 電子通信学会、通信方式研究会資料 CS72-4 (1972-04)

原稿受付 昭和59年2月3日