

500kV系統用位相比較キャリア リレー装置

Current Phase Comparison Carrier Pilot Relaying Equipment for 500kV Transmission Line

500kV系統は、我が国電力系統の主幹となるものである。その送電線保護に適用される位相比較キャリア リレー装置は、従来装置にも増して、高性能化、高信頼化が要求される。また系統構成も1½CB母線方式が適用される系統もあり、これら系統構成に見合った保護方式を使用する必要がある。

このため、500kV系統用位相比較キャリア リレー装置では、今までの多数の超高压系統用装置の実績を基に装置の多系列化、1½CB母線方式における2CT合成時の誤差電流対策、位相比較継電器の対地静電容量による高調波電流対策などを実施して性能、信頼度の向上を図った。

本稿は、装置の具体的な機能及び構成について説明するとともに、約1年半にわたるフィールド テストの結果について報告する。

久保隆生* Takao Kubo
河合忠雄* Tadao Kawai
安藤 弘** Hiroshi Andô
三木義照*** Yoshiteru Miki

1 緒 言

500kV超々高压系統は、大電力系統の主幹となるためその保護継電装置としては、高性能化及び高信頼化が重要な課題である。

日立製作所では、多数の超高压系統用位相比較キャリア リレー装置の実績をもとに、装置の高性能化、高信頼化について検討を重ね、この結果、昭和48年500kV系統用位相比較キャリア リレー装置を完成し、関西電力株式会社275kV丹後幹線(猪名川変電所—新綾部変電所)で約1年半にわたるフィールド テストを実施し、良好な結果を得た。

500kV系統用位相比較キャリア リレー装置では、1½CB母線方式の場合の電流変成器(以下、CTと略す)誤差電流対策、位相比較継電器の高調波電流対策を実施し、過渡特性の

向上を図るとともに、装置の多系列化を考慮し、PCT二次回路を含めた広範囲の自動点検方式を導入することによってシステムとしての信頼性を高めた。

以下、500kV系統用位相比較キャリア リレー装置の概要及び適用上の問題点と対策、並びにフィールド テストの結果について述べる。

2 500kV系統用保護継電装置の具備条件

500kV系統は電力需要の増大に伴い、系統規模の拡大、電源の大容量化、及び遠隔化に対応して電力系統の主幹をなすものであり、系統信頼度を向上するためにこれに適用される保護継電装置も性能、信頼度の両面から系統条件と十分協調

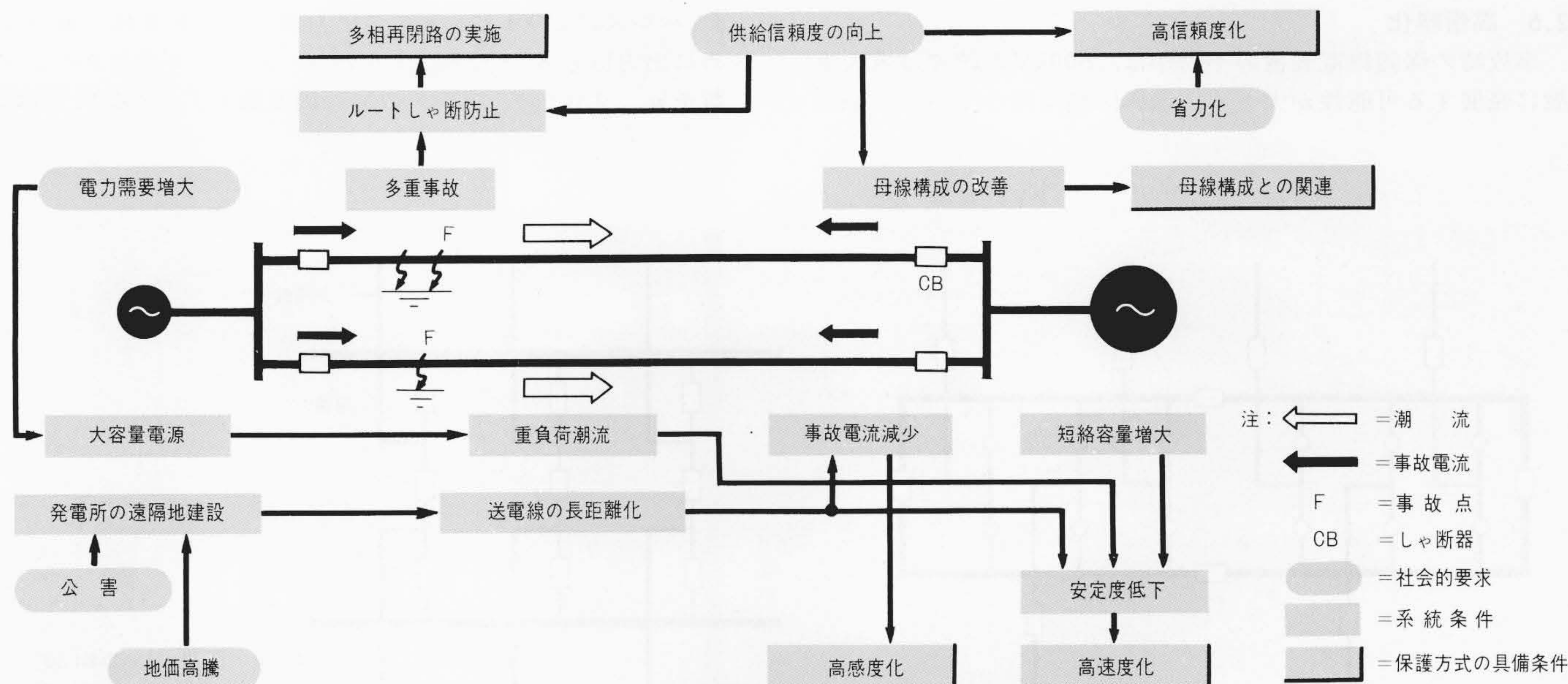


図1 500kV系統条件と保護方式上の問題点 500kV系統用保護継電装置には、(1)高速度化、(2)高感度化、(3)多相再閉路の実施、(4)母線構成への対応、(5)高信頼度化が系統条件より要求される。

* 日立製作所大みか工場 ** 日立製作所那珂工場 *** 日立製作所日立研究所

のとれた構成とする必要がある(図1)⁽¹⁾。

2.1 高速度化

公害問題、地価高騰などによる発電所の立地難から大容量電源が遠隔地に建設される傾向にあり、送電線は大容量・長距離化してくるため事故時の系統の過渡安定度余裕が少なくなっている。そのため、事故除去の高速度化により、事故時、発電機に蓄積される加速エネルギーを少なくすることができ、安定した大容量送電が可能になる。一方、保護継電装置は事故時の過渡現象に対して安定動作を確保することが絶対条件である。これらの条件より保護継電装置としては、1.5～2サイクル動作、しゃ断器の動作時間2サイクルを合わせ、仕上り3.5～4サイクルしゃ断(従来の超高压系統では5～6サイクルしゃ断)が必要である。

2.2 高感度化

輸送電力が大容量化(常時潮流で4,000～8,000A)する反面、長距離化による線路インピーダンスの増大や、アーク抵抗、塔脚抵抗などの影響により、事故電流は極めて小さくなる場合がある。従って、保護継電装置は負荷電流に比べて小さい事故電流にも応動できるように高感度化を図る必要がある。

2.3 多相再閉路の実施

500kV系統は里側外輪系を中心にして大電源、連系線が放射状に接続される構成となり、且つ大電力送電を行なうため、事故による系統分断は極力避ける必要がある。特に2回線にまたがる多重事故に対して、事故相だけを選択しゃ断して再閉路する多相再閉路方式の採用は、供給信頼度向上のための有効な手段である。そのため、保護継電方式としては、多重事故時にも確実に事故相のしゃ断ができる各相位相比較キャリアリレー方式が基本となる。

2.4 母線構成との関連

高い供給信頼度を確保するため、500kV系統では図2に示すような二重母線4ブスタイ方式、又は1½CB母線方式の適用が考えられている。1½CB母線方式の場合、保護継電装置は二組のCTの和電流で動作することになるため、二組のCTの誤差電流によって誤動作せぬよう対策する必要がある。

2.5 高信頼化

事故時の保護継電装置の不動作は、500kV系統では重大事故に発展する可能性が大きく、後備保護に頼ってはいない系統

崩壊にもつながるおそれがある。そのため、主保護の動作信頼度は非常に高いものが要求され、主保護を完全2系列化して動作信頼度を向上させる必要がある。

3 保護継電システム

以上の条件より、500kV送電線の保護継電装置は各相位相比較キャリアリレー方式を基本として構成されている。

3.1 位相比較キャリアリレー方式の基本原理

位相比較キャリアリレー方式の基本構成は、図3(a)に示すように、保護区間両端に設置された位相比較継電器により電流位相を矩形波信号に変換して、互いに伝送回線を介して伝送し、位相比較を行なうものである。内部事故時の保護区間両端の電流 I_A 、 I_B の位相差 θ_1 は、通常の場合は2線短絡のような不平衡事故時を考慮しても最大70～80度程度であり、外部事故時の位相差 θ_2 は、ほぼ180度となる。このような電流の関係から、位相比較継電器の位相特性は同図(b)に示すように、120度程度に設定している。実際には両端の電流感度協調をとる必要から、同図(c)に示すようなスライスレベルにより電流波形を矩形波信号に変換し両端のトリップ許容信号が60度以上重なった場合、内部事故と判定している。また信号伝送回線の伝送遅れによる位相誤差を補償するため、自端信号を遅延させる遅延補償回路を設けている。

(1) 遅延補償方式

位相比較継電器において、遅延補償回路は過渡現象に対する応動を決める重要な要素である。つまり事故時の電流位相の急変、高調波電流による周期の短い矩形波信号に対して、正確な遅延補償を実現しなければ位相比較時の誤差の原因となり、位相比較継電器の誤動作、誤不動作の原因となる。ところが、コンデンサの充・放電を利用したCR積分方式の遅延補償回路では遅延時間(通常数ミリ秒)以下の幅の狭い信号を正確に遅延することは原理的に困難であるため、日立位相比較継電器ではシフトレジスタを用いたデジタル方式としてこの問題を解決している。図4にデジタル式遅延補償回路の動作を示す。シフトレジスタの信号入力 S_1 はクロックパルスにより1ビットずつ出力側へシフトされ、 n パルスめに出力信号 S_2 となる。すなわち、シフトレジスタのビット数を n 、クロックパルスの発振周波数を f とすると、遅延

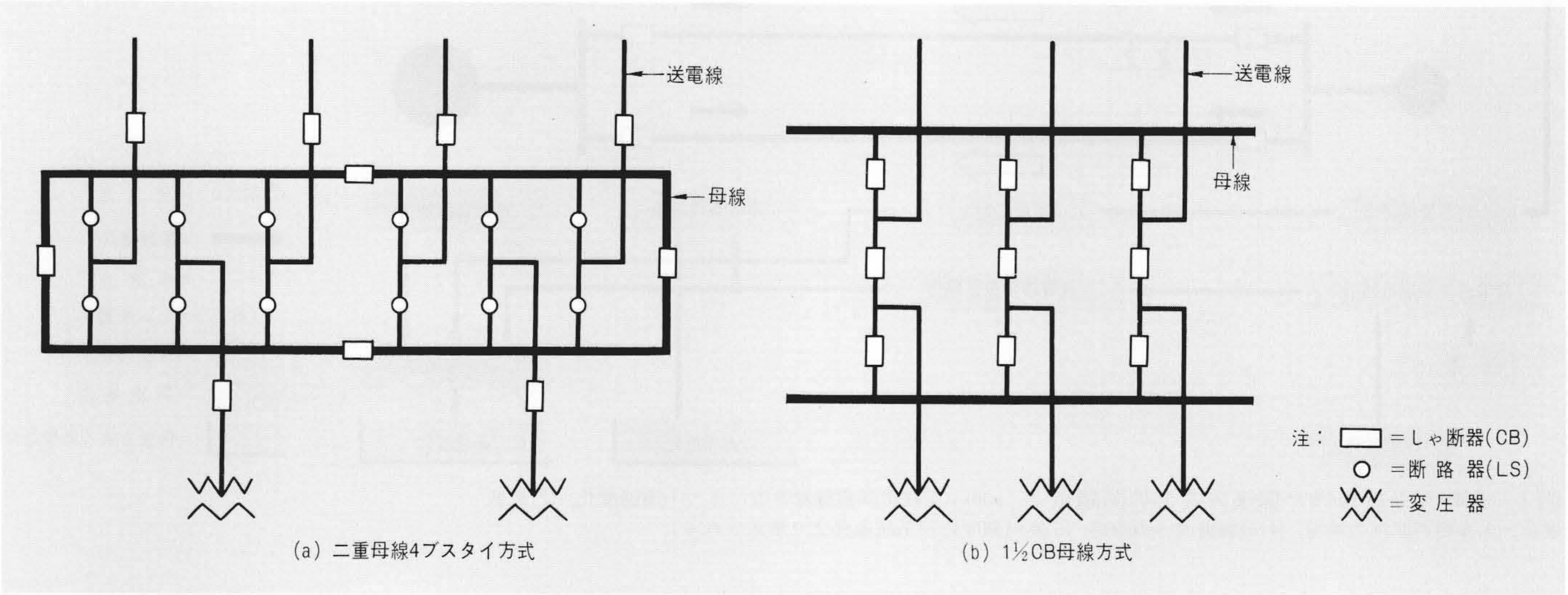
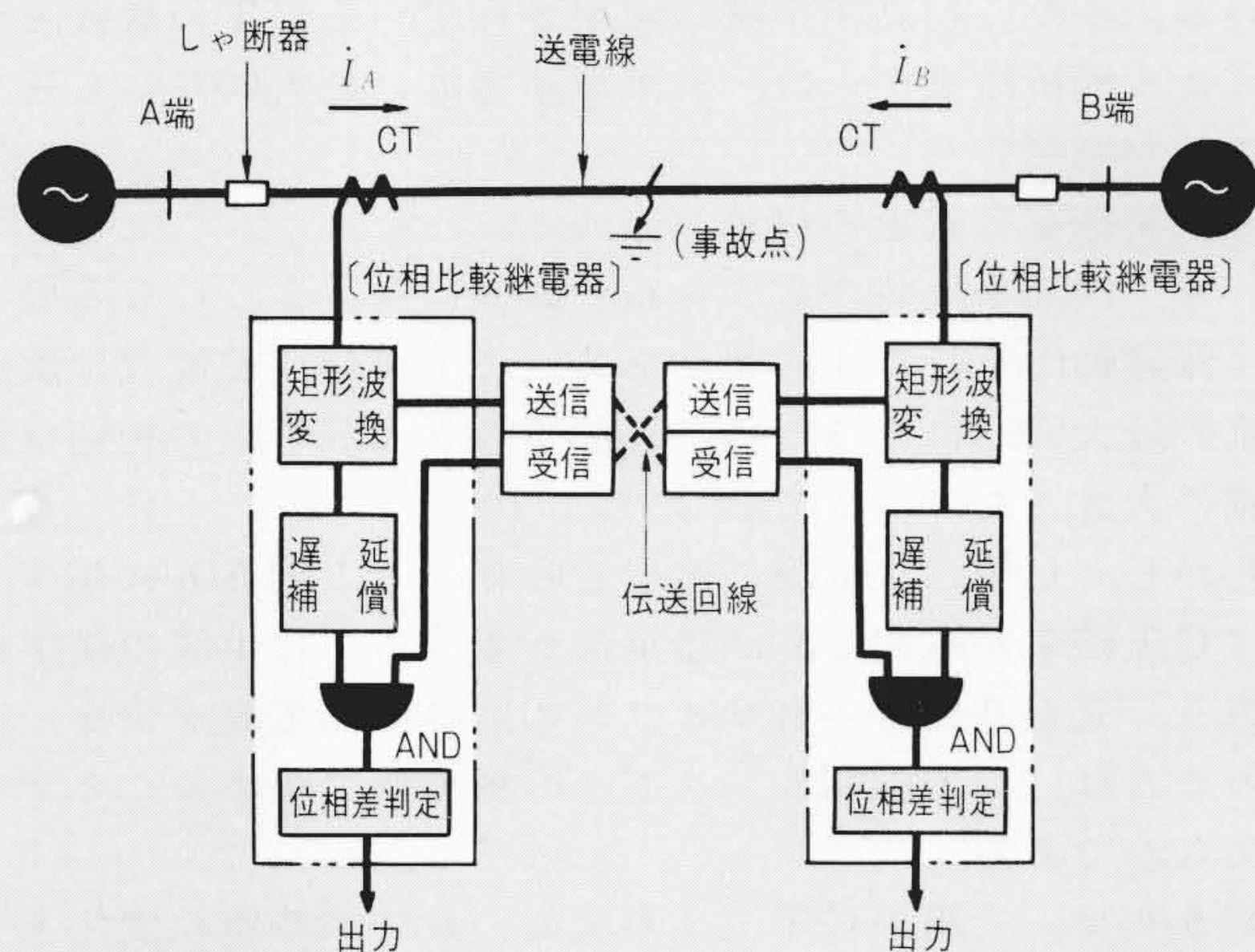
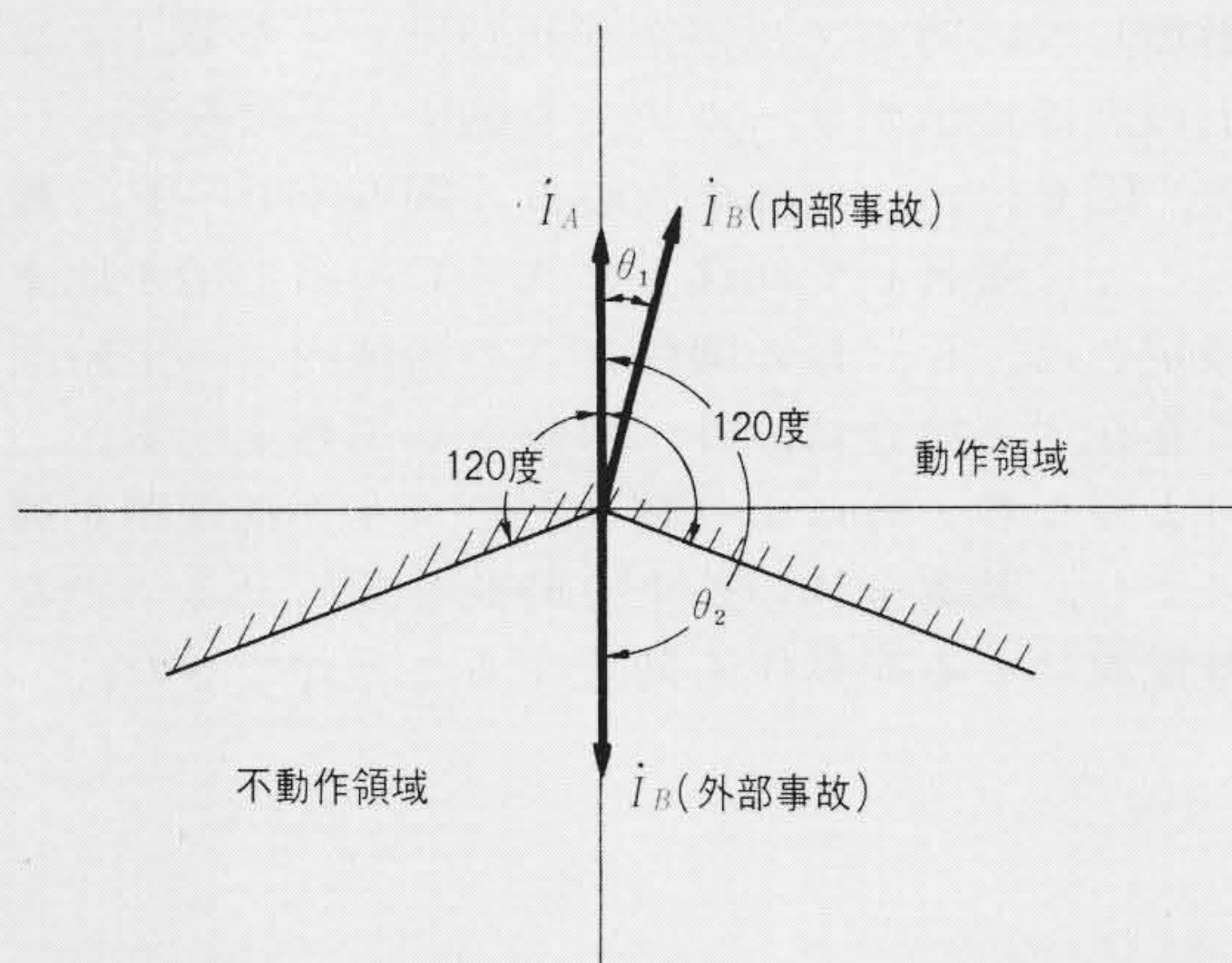


図2 500kV系統の母線構成 500kV系統では、供給信頼度向上のため二重母線4ブスタイ方式、1½CB母線方式の適用が考えられている。

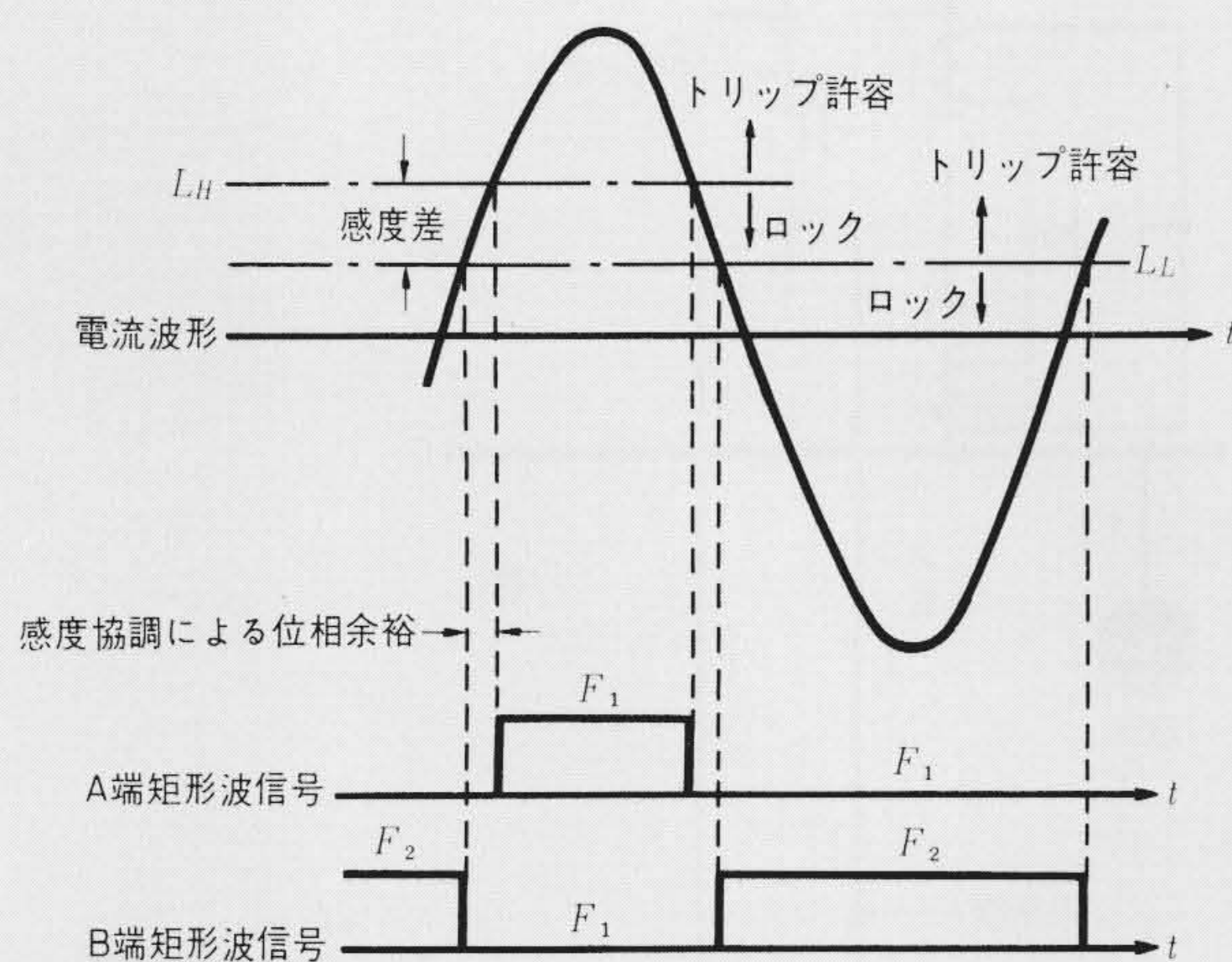


(a) 構成



注： $\dot{I}_A$ = A端事故電流
 $\dot{I}_B$ = B端事故電流
 CT = 電流変成器

(b) 位相特性



注： L_H = A端のスライス レベル
 L_L = B端のスライス レベル
 F_1 = トリップ ロック信号
 F_2 = トリップ 許容信号

(c) 矩形波変換方式

図3 位相比較キャリア リレー方式の基本原理 位相比較キャリア リレー方式は、保護区間両端の電流位相を矩形波信号に変換して比較し、内部事故を判定する。またスライス レベルにより両端の電流感度協調をとっている。

時間 T_d は、

$$T_d(\text{ms}) = \frac{n(\text{bit})}{f(\text{kHz})} \dots\dots\dots(1)$$

で表わされる。本方式によれば、矩形波信号はクロック パルス1周期分(通常数百マイクロ秒)の誤差範囲内で正確に遅延することができ、過渡時にも非常に安定した動作ができる。

(2) 動作時間の短縮

位相比較キャリア リレー方式では、原理的に半サイクルに1回しか動作判定のチャンスがないため、事故発生位相により半サイクルの見過がしを生ずる。その場合にも正波比較と負波比較で2系列化すれば、最悪でも半サイクルに1回判定チャンスをつかむことができ、動作時間を仕上り1.5サイクル以内とすることができる。従って、500kV用装置では、正波比較と負波比較の位相比較継電器により二重化している。

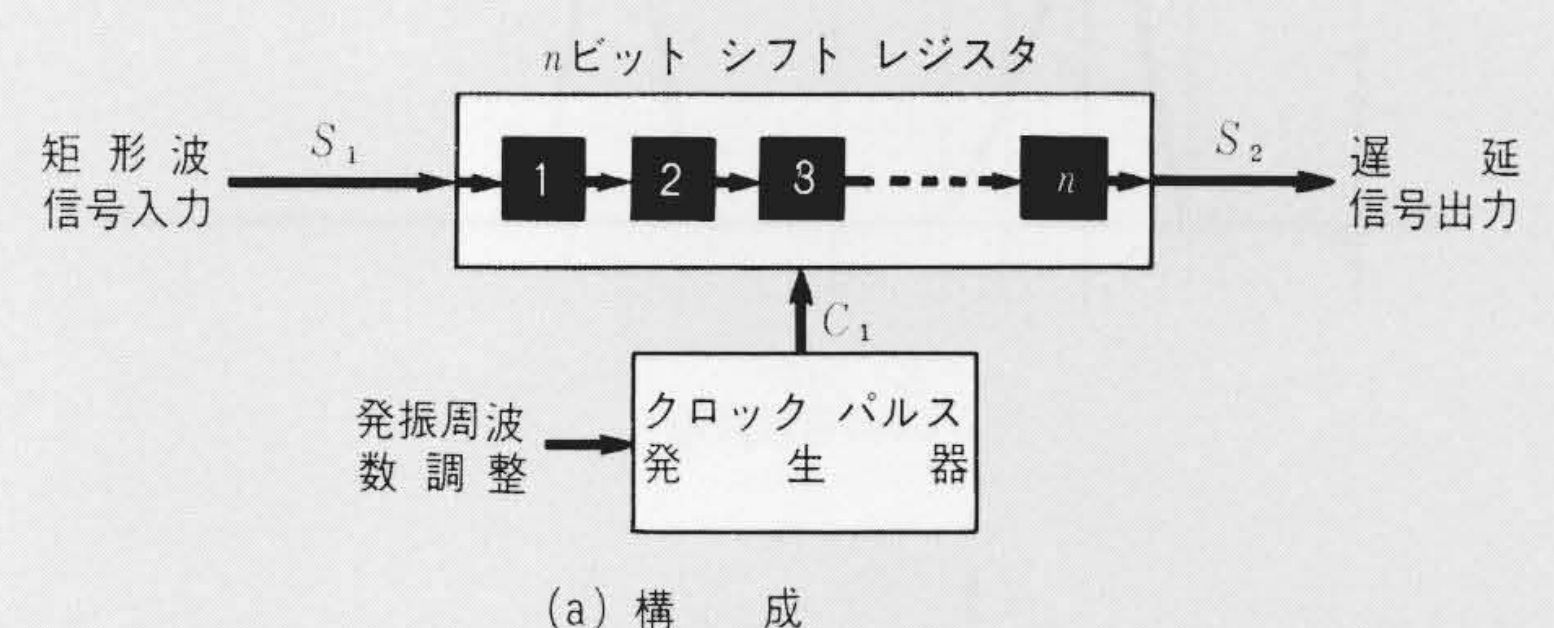
4 適用上の問題点と対策

4.1 1½CB母線方式のCT誤差電流対策

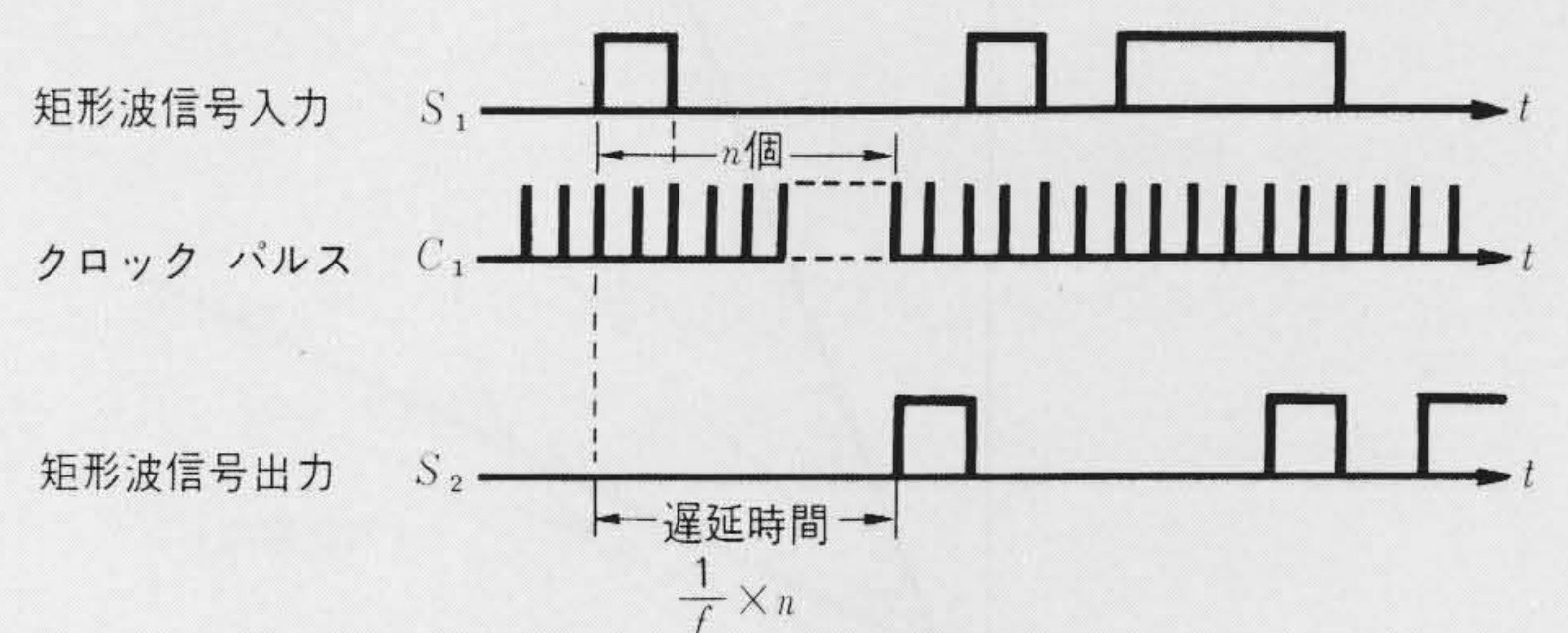
1½CB母線方式では図5(a)に示すように、各回線のCTは二組置かれ、位相比較キャリア リレー装置はその和電流により動作するため、二組のCTの特性差に基づく誤差電流 i_e によって誤動作するおそれがある。その対策は次のように実施された。

(1) CTの過渡特性

二組のCTは一般に同一仕様で製作されるため、常時潮流では誤差電流は小さく無視できる。しかし、事故が発生し大電流が通過すると、CTの特性差のほかに事故前のCTの残留磁気の相違により大きな誤差電流が流れる。



(a) 構成



注： f = クロック パルス周波数
 n = シフト レジスタのビット数

(b) タイムチャート

図4 遅延補償回路の動作 シフトレジスタにより位相信号は、クロックパルス1周期分の誤差範囲内で正確に遅延される。また、遅延時間はクロックパルスの発振周波数を変えることにより容易に調整できる。

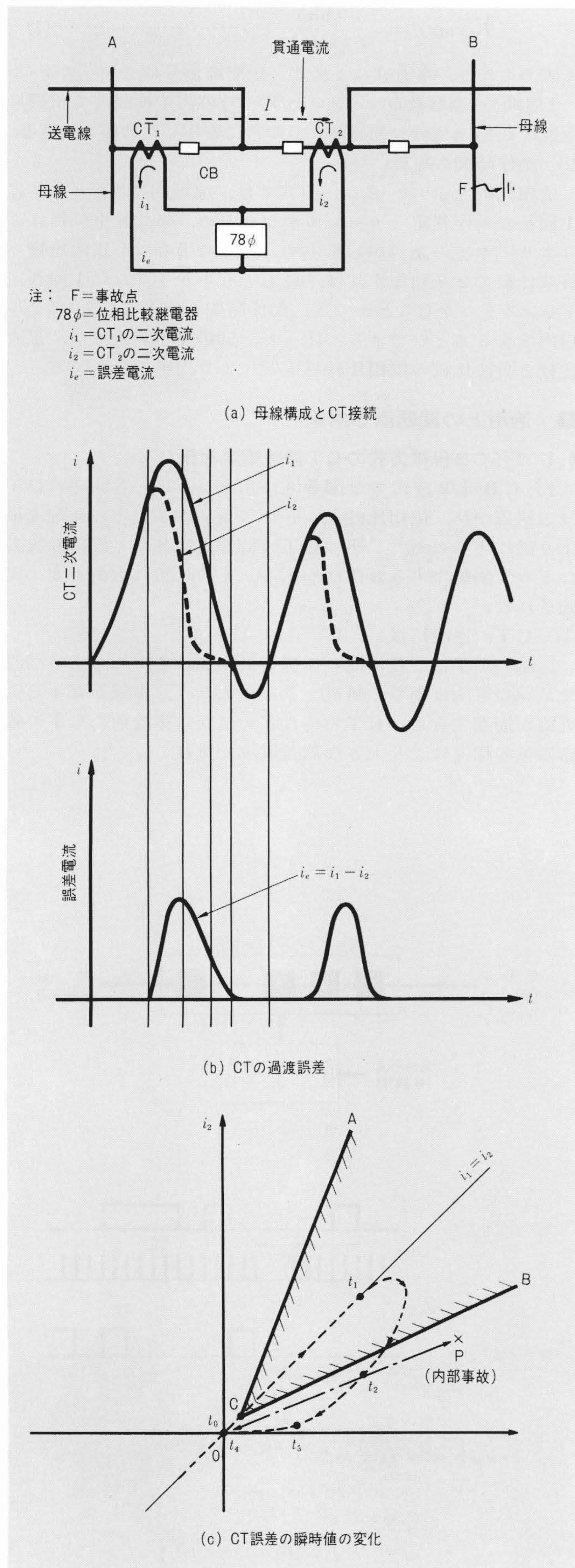


図5 1 1/2 CB母線方式におけるCT誤差対策 外部事故時に大きな貫通電流が流れると、CT₁とCT₂の残留磁気の相違により、過渡的に大きな誤差電流 i_e が流れる。

同図(b)は通過電流に対するCTの過渡誤差の波形モデルを示したもので、CT₂が極端に飽和して大きな誤差電流が生じている。また、超高圧系統に使用されているCTの数式モデルによる解析結果からは、過渡誤差電流は最大60%にも達することが判明した。

(2) 保護継電方式上の対策

一方、内部事故時の電流分布が図6に示すようになる場合は、保護動作を行なう必要がある。この場合、差電流は流入電流の最大50%になるため、外部事故と内部事故の判別は差電流の大きさだけではできない。

しかし、CT二次電流の波形を吟味すると図5(b)に示すようにCT磁束が飽和して誤差電流が生ずるのは半波の後半分であり、立上り部分の1/4サイクルの間は誤差電流が少ない。このことは、CT飽和が二次電圧の積分値で決まることから明らかである。

図5(c)は、二組のCT二次電流 i_1 、 i_2 の瞬時値の変化をプロットしたものである。事故発生後 t_0 から t_1 の間では誤差はほとんど無いため、 $i_1 = i_2$ の線上を移動し、それ以降 i_2 の誤差が増加し t_4 の時点では誤差が再びゼロとなる。すなわち、同図上の点線で示すローカス上を動くことになる。

一方、図6に示す内部事故時は、図5(c) 0-Pの線上を往復することに着目して同図上にA-C-Bで示す比率差動特性を設定した。 i_1 、 i_2 の関係がこの領域内に一定時間以上継続して存在する場合は、外部事故として判定する。

このような考え方により開発したロック継電器を適用することにより、装置全体の仕上り時間を遅らせることなく確実に誤差電流による誤動作を防止することができた。

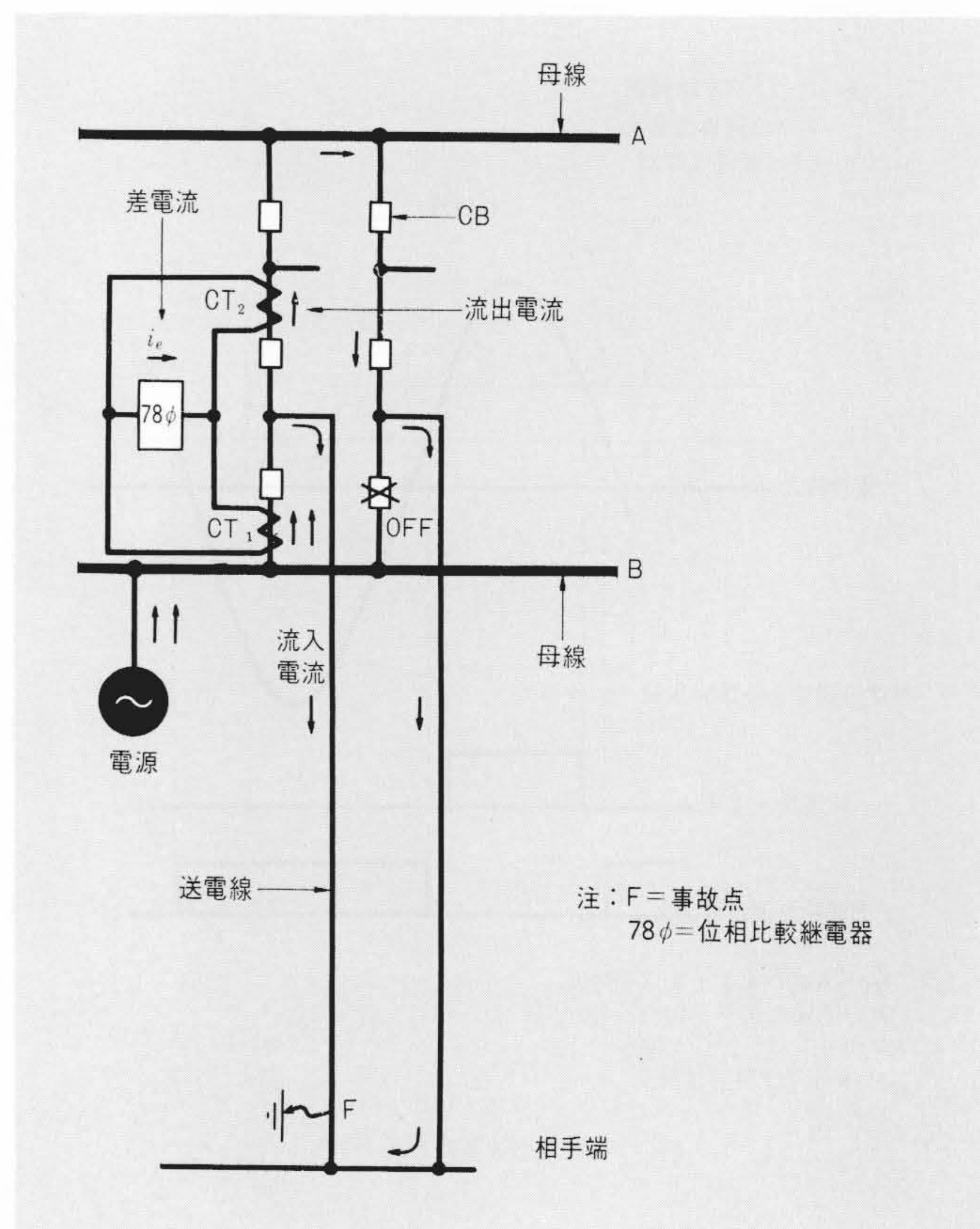


図6 内部事故時の電流分布 内部事故時にも差電流 i_e が流れる場合があり、外部事故の検出は差電流だけにより判定することはできない。

4.2 位相比較継電器の高調波電流対策

500kV系統用保護継電装置は、系統のどのような過渡現象に対しても安定した動作をする必要がある。位相比較継電器においては、事故発生直後、あるいは回復時に発生する高調波成分を含んだ電流波形による影響が大きな問題となる。

(1) 高調波電流による影響

図7に示すように、外部事故が発生し事故電流がA端より流入してB端より流出する通常の場合には、A、B端矩形波信号は、トリップ許容信号 F_2 がスライスレベル L_H 、 L_L の整定差により決して重なることはなく、位相比較継電器の動作条件である60度重なりを検出するおそれはない。

しかし、図7に示すように高調波電流が重畳すると F_2 信号はスライスレベル付近で高調波により幅の狭いパルスが発生する。このパルスの周波数が伝送回線の伝送能力を超えると、相手端で受信するときには連続信号として検出され、誤動作の原因となることが考えられる。このときの誤動作限界は、図7のA端とB端の矩形波信号の F_2 部分が幅の狭いパルスにより60度以上重なるまで広がったときであり、この広がり的大小は事故電流、高調波電流の含有率、周波数、及び位相比較継電器のスライスレベルの整定により決まる。

(2) 高調波電流の対策

このように、高調波電流による幅の狭いパルスの発生は伝送回線の伝送能力の限界のために問題となる。そのため、高次の高調波成分は図8に示すように位相比較継電器の入力回路にフィルタ効果をもたせて減衰させ、矩形波成形回路への影響を防止するようにしている。

その入力回路の等価回路を示したのが図8(b)であるが、C

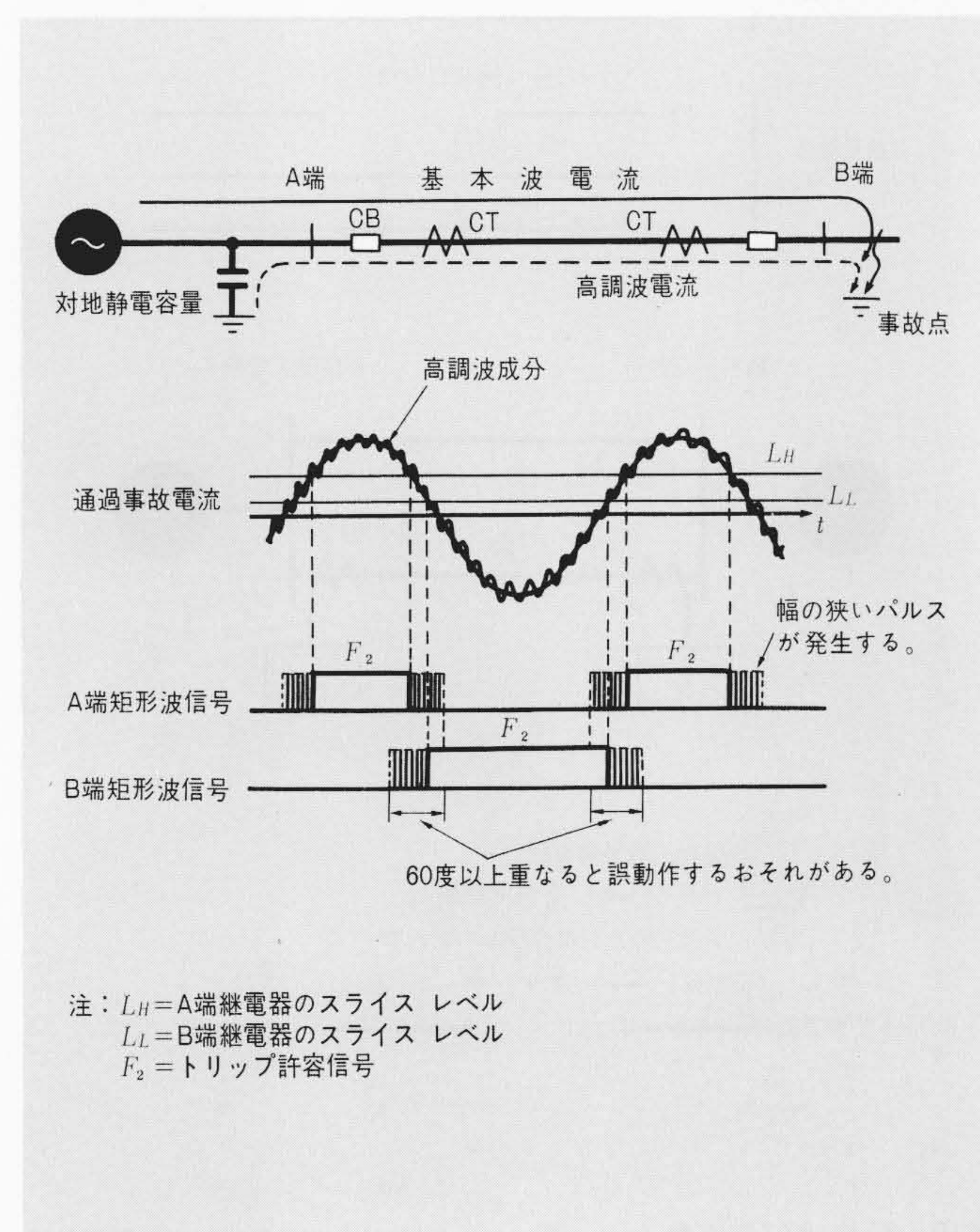


図7 高調波電流の影響 高調波電流により、スライスレベル付近の矩形波信号に幅の狭いパルスが生じ、信号伝送回線の伝送能力を超え、正しい位相比較ができないおそれがある。

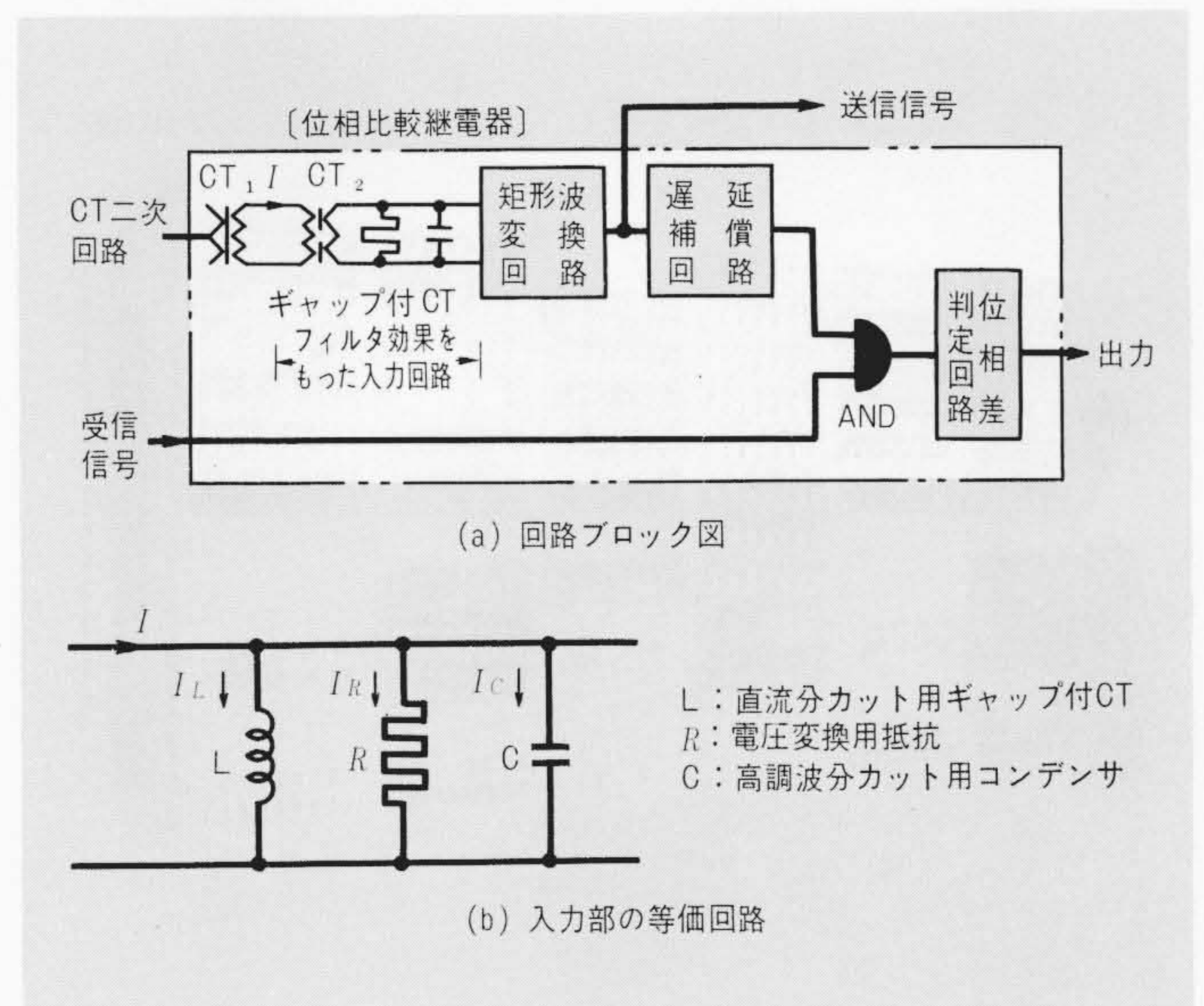


図8 位相比較リレーの入力部構成図 高調波成分は、位相比較継電器の入力回路部のフィルタ効果により減衰させ、矩形波変換回路への影響を防止する。

の値の選択によっては、動作時間遅れ、位相誤差、ギャップ付CTの L 分との共振による不正動作の原因となる。そこで、実系統における高調波成分の含有率、信号伝送装置の伝送能力を検討した結果、約10kHz程度以上の周波数成分に対して十分な高調波減衰特性をもたせればよいと考え、模擬送電線による試験を実施しその有効性、及び上記のような不具合のないことを確認した。

5 フィールドテスト

以上のような検討結果をもとに、500kV系統用位相比較キャリア リレー装置2端局分を製作し実系統での応動を検証するため、関西電力株式会社の協力のもとにフィールドテストを実施し、その性能を確認した。

5.1 装置の構成

本装置の主な仕様は次のとおりである。

- (1) 主保護
 - A系列：正半波各相位相比較キャリア リレー方式
 - B系列：負半波各相位相比較キャリア リレー方式
- (2) 後備保護(A系列のみ)
 - 方向比較キャリア リレー方式
 - 短絡、地絡距離継電方式
 - 零相過電流継電方式
- (3) 再閉路方式
 - 高速度多相再閉路方式(A、B系列)
 - 低速度三相再閉路方式(A系列のみ)
- (4) 伝送路
 - マイクロ波回線 5チャンネル×2(予備1)
- (5) 信号方式
 - マイクロ波伝送FS方式
- (6) 動作時間
 - 2サイクル以内(1系列にて)
- (7) 自動監視付
- (8) その他

1½CB母線方式によるCT誤差電流対策及びしゃ断器不動作対策回路を実装

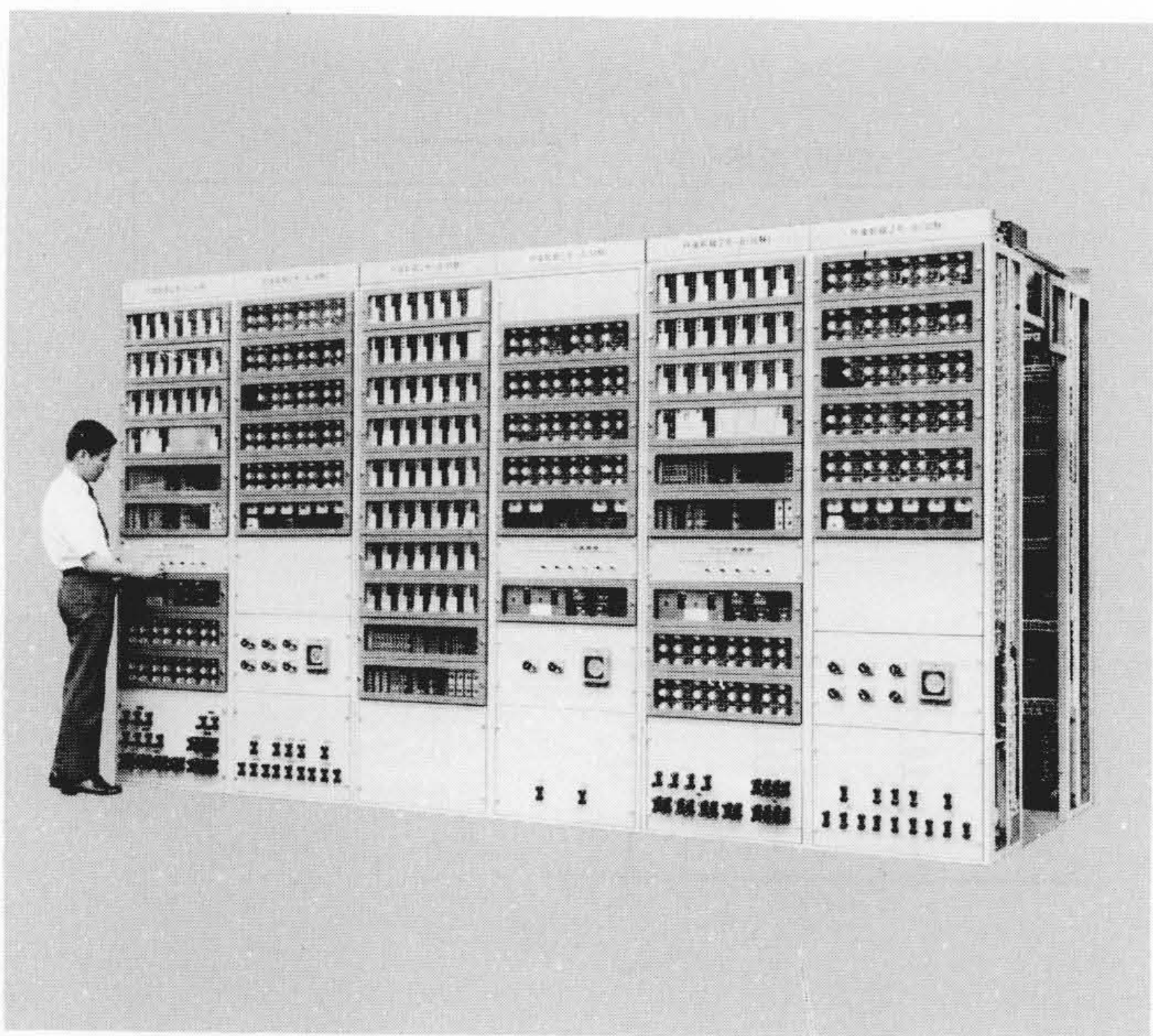


図9 500kV系統用位相比較キャリア リレー装置 A系列主保護2面、後備保護2面、B系列主保護2面の計6面で、1端局分を構成している。主保護には、しゃ断器不動作対策回路を実装している。

図9に、本装置の1端局分の構成を示す。装置はA、B系列による2系化及び自動監視方式の適用により高信頼化を図っている。

5.2 フィールドテスト結果

フィールドテストは、昭和48年8月より約1年半にわたって関西電力株式会社275kV丹後幹線2号線(猪名川変電所—新綾部変電所)で実施された。その結果、

- (1) 内部1線地絡事故：2回発生。いずれも正規動作
- (2) 外部1線地絡事故：5回発生。いずれも正規不動作であった。外部事故はいずれも隣接区間の事故である。図10は内部事故時の様相を示すオシログラムの一例である。しゃ断器引はずし指令は、事故発生後A系列装置は約17ms、B系列装置は約13msで出ており、位相比較継電器を正波比較と負波比較で2系列化した効果が現われている。

6 結 言

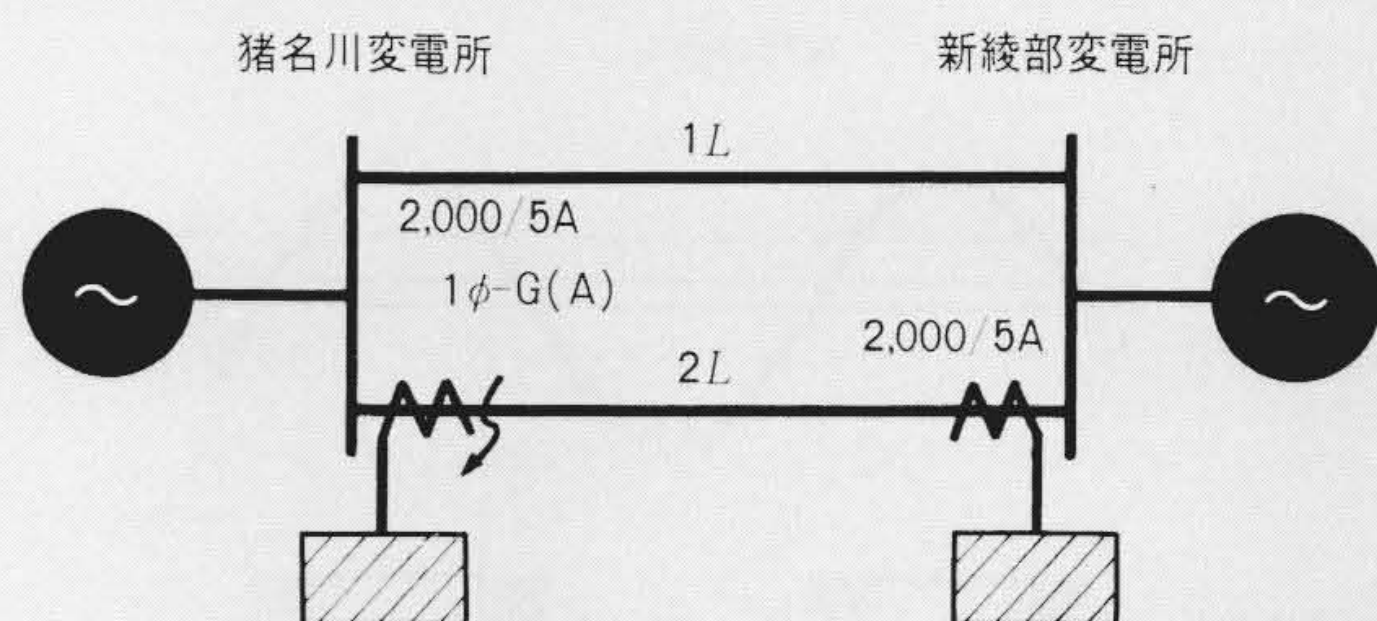
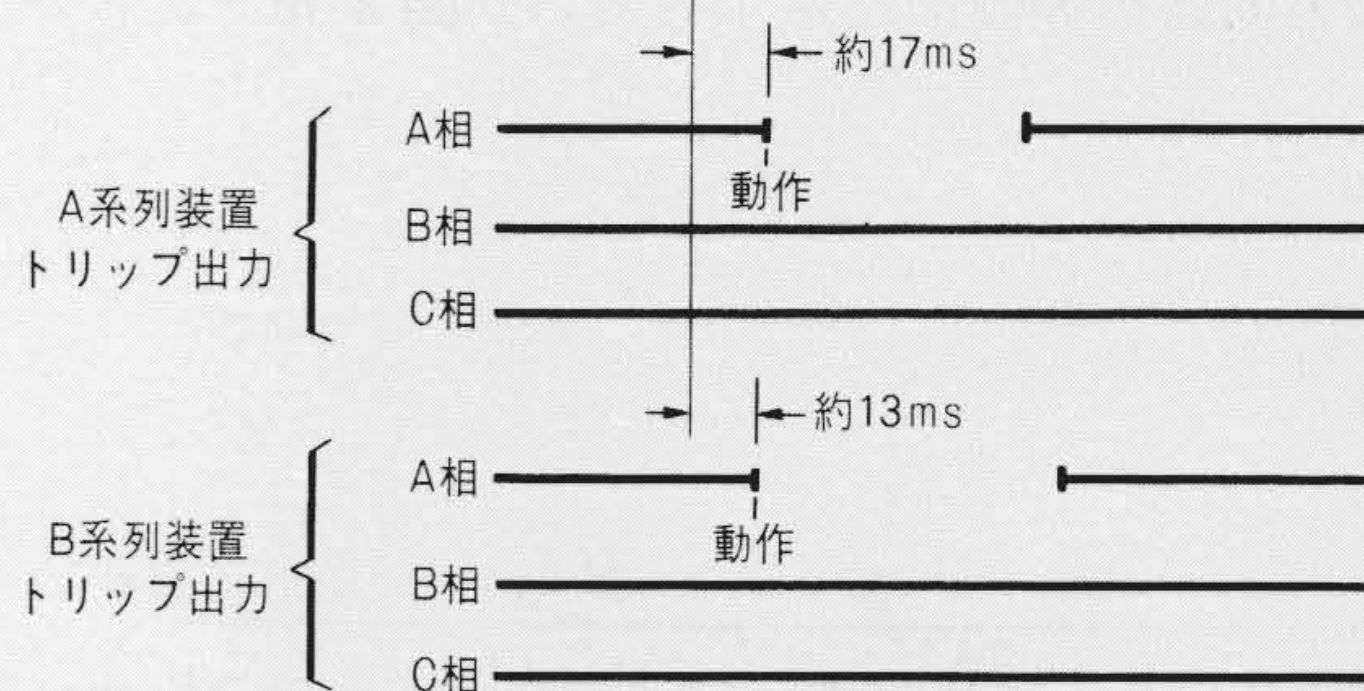
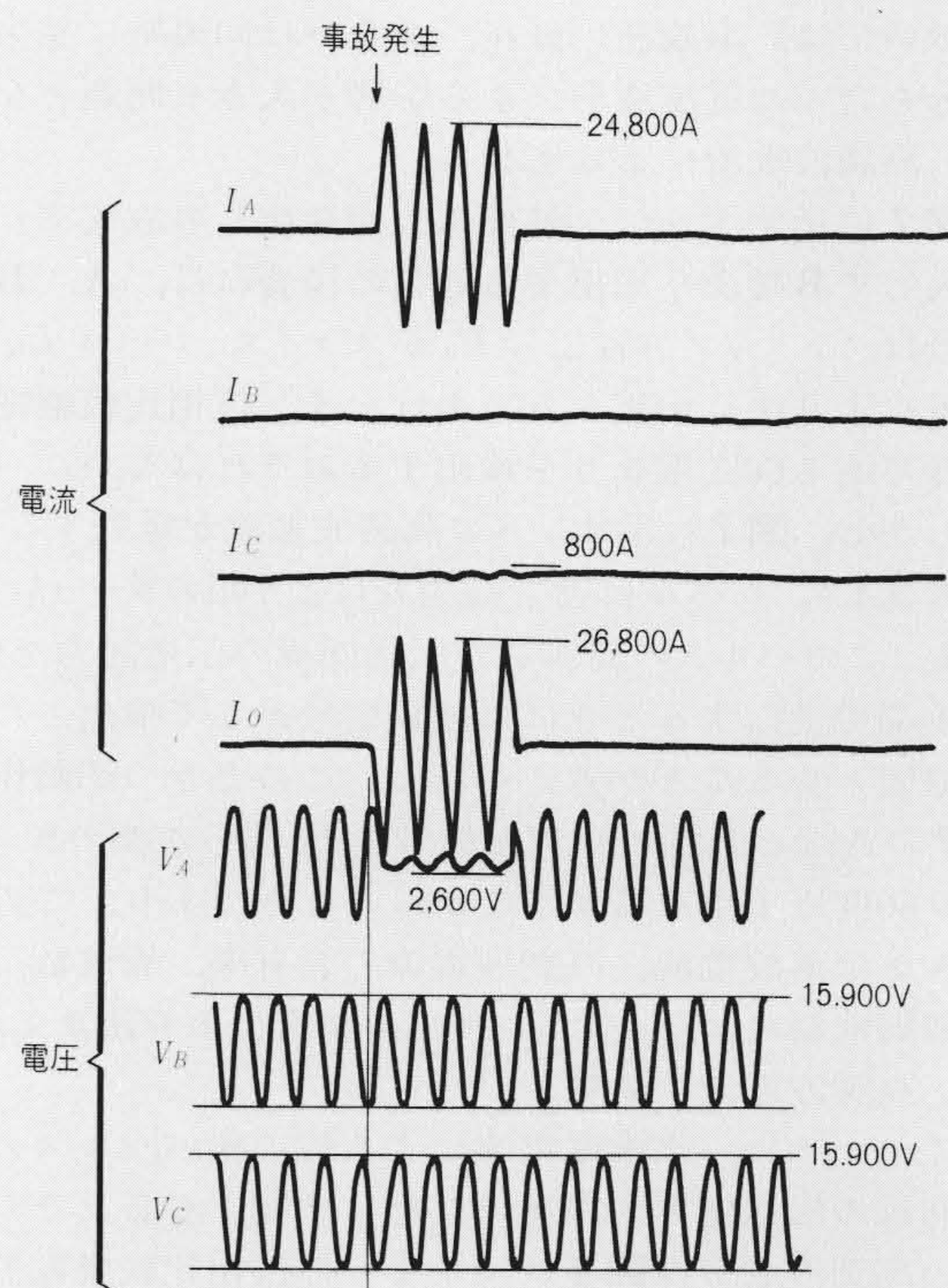
以上述べたように、500kV系統用位相比較キャリア リレー装置は、1½CB母線方式のCT誤差電流対策や位相比較継電器の高調波電流対策を実施し、系統の過渡現象に対しても安定した動作をしており、系統の安定度向上、供給信頼度向上に効果が大いと考えられる。

また信頼度の向上については、システムの多系列化、自動監視方式の適用など、積極的な信頼度向上策を実施⁽²⁾しており、装置の誤動作、誤不動作の防止、更には保守点検の省力化に大きな効果を上げている。

最後に、装置の開発に当たって種々御協力及び御指導をいただいた電力会社の関係各位、特にフィールドテストに際して多大の御尽力いただいた関西電力株式会社の関係各位に対し厚く感謝する次第である。

参考文献

- (1) 瀬尾「500kV系統の保護継電方式」日立評論56, 221 (昭49-3)
- (2) 瀬尾「最近の保護継電装置におけるエレクトロニクス化の動向」日立評論57, 325 (昭50-4)



注1: 1φ-G=A相—線地絡事故

■ = フィールドテスト装置

2: トリップ出力のオシログラムの読み方

(不動作) — (動作) — (不動作)
トリップ出力

図10 動作オシログラム フィールドテスト中に発生した内部事故時のオシログラムである。トリップ指令A系列装置約17ms、B系列装置約13msで出ており、負波比較のB系列装置の位相比較継電器が速く動作したことを示している。