

全トランジスタキャリアリレー装置

All Transistorized Carrier Pilot Relaying Equipment

狩野 精 士* 三 田 勝 茂** 黒 木 正 明**
Kuwashu Kanô Katsushige Mita Masaaki Kuroki

内 容 梗 概

従来の電磁形リレーをすべてトランジスタリレーでおきかえた全トランジスタ方向比較キャリアリレー装置を製作し、現地試験中である。本稿ではトランジスタキャリアリレーの利点、装置の概要を説明し、さらに現地試験結果について述べる。

1. 緒 言

キャリアリレー装置は重要送電線の高速度保護継電装置として広く採用されているが、本装置は送電線事故を検出する保護リレー装置と、その動作結果を相互に比較するための信号を送受信するキャリアセットからなっている。そのうちキャリアセットはもともと通信技術を基にしたもので数年前真空管回路からトランジスタ回路におきかえられ、小形化と保守の軽減にすぐれた実績を収めてきた。一方保護リレーは、従来電磁形リレーを主としていたが、これもトランジスタに変わり静止形化が試みられてきた。トランジスタ化された保護リレーは、電磁形に比べ安定な高速度動作が得られること、小消費 VA となし得ることなど多くの特長を持っているが、それだけでは十分でなく、電力系統の保護には高度の信頼度が要求される。したがって、耐サージ性はもちろんのこと、トランジスタの劣化、保守の問題などフィールドでの実績の集積が待たれていた。

今回日立製作所においてはトランジスタ保護リレーシリーズの製品化を期し、方向比較キャリアリレーを製作し、昭和 39 年 7 月より関西電力株式会社 154 kV 美濃幹線においてフィールドテストを行っている。すでに 1 年間の実績を得たわけであるが、装置の動作は納入以来きわめて好調で、今後の保護リレートランジスタ化に貴重な経験と実績を得ることができた。ここに本装置とそのフィールドテスト結果を報告し関係各位の参考に供する次第である。

2. 保護リレートランジスタ化の利点と問題点

電磁形リレーをトランジスタ化して得られる利点のおもなものは、

- (1) 可動部分がないため動作時間を速くすることができる。
- (2) 感度が高いため消費 VA が小さい。
- (3) 接点がないからチャタリングやバウンスなどの不安定動作がない。
- (4) 特殊な複合特性を比較的容易に実現できる。
- (5) 形状寸法を小形化できる場合が多い。

などであるが、この中でキャリアリレーとしてとくに大きな利点となるのは(1)と(2)である。

電磁形リレーの動作時間は故障電流の大きさの影響を大きく受けるのに対し、トランジスタリレーでは動作限界値のごく近くまで高速度動作を確保できる。さらにシーケンス論理回路もトランジスタ化して高速度動作とすることができる。原理的にはいくらでも安定に高速化できるが、外部よりのサージ電圧による動作も考慮する必要がある。

またトランジスタリレーは高感度とすることができるから、消費 VA が電磁形リレーに比べて数分の一から数十分の一に低減される

第 1 表 主要トランジスタリレー一覧表

記号	名 称	用 途	形 式	仕 様
44SI	短 絡 距 離 リ レ ー (モー特性)	短絡内部検出用	SHY-N-3K ₁	110V, 5A 3~30Ω
44SO	短 絡 距 離 リ レ ー (オフセットモー特性)	短絡外部検出用	SHY-N-2K ₁	110V, 5A 前方 3~30Ω 後方 0~6Ω
44OM	短 絡 距 離 リ レ ー (オフセットモー特性)	同期はずれ検出用	SHY-N-2K ₁	110V, 5A 前方 3~30Ω 後方 0~6Ω
64	地 絡 過 電 圧 リ レ ー	地絡故障検出用	SG-XN-1K ₁	110V 20~60V tap
67GI	地 絡 方 向 リ レ ー	地絡内部検出用	SHG-N-1K ₁	110V, 3A 0.1~1A tap
67GO	地 絡 方 向 リ レ ー	地絡外部検出用	SHG-N-1K ₁	110V, 3A 0.1~1A tap

ので、PD や CT の定格負担はかなり小さくてすむ。これらの点は、送電容量の大きい超高圧系統あるいは将来の超々高圧 500 kV 系統の保護においてきわめて重要なポイントと考えられる。

このような利点をもつ反面、トランジスタリレーとしては次のような問題点があり、これを解決することが必要である。

- (1) トランジスタの増幅特性は周囲温度の影響を受けるゆえ、リレーの温度特性が問題ないかどうか。
- (2) 入力電圧、電流回路や電源回路からサージ電圧、電流の侵入が危惧され、トランジスタリレーとして一応これに対処する設計をしてもこれら異常電圧が明確には握されていない現状で、フィールドにおいて破壊または不正動作を起こさないかどうか。
- (3) トランジスタの経年変化によって特性に大幅な変化が起こり、保護上の不都合が生じないか。また保守面でこれをどのように対処していくべきか。

これらのうち(1)項は製作上の問題であり、ほぼ解決されており問題とならない。これに反し(2)、(3)項はトランジスタリレーの開発当初の段階である現状でフィールドでの実績が少ないため解明は困難である。とくに電力系統は通信系統その他と異なりきわめて重要な責務を持つので、その保護装置に課せられる使命が重大である。

以上の諸点を考え、トランジスタ保護リレーを使用し、かつキャリアセットにもトランジスタ装置を用いた全トランジスタ方向比較キャリアリレーを製作し、これを関西電力株式会社 154 kV 美濃幹線に設置し長期のフィールドテストを行なったわけである。

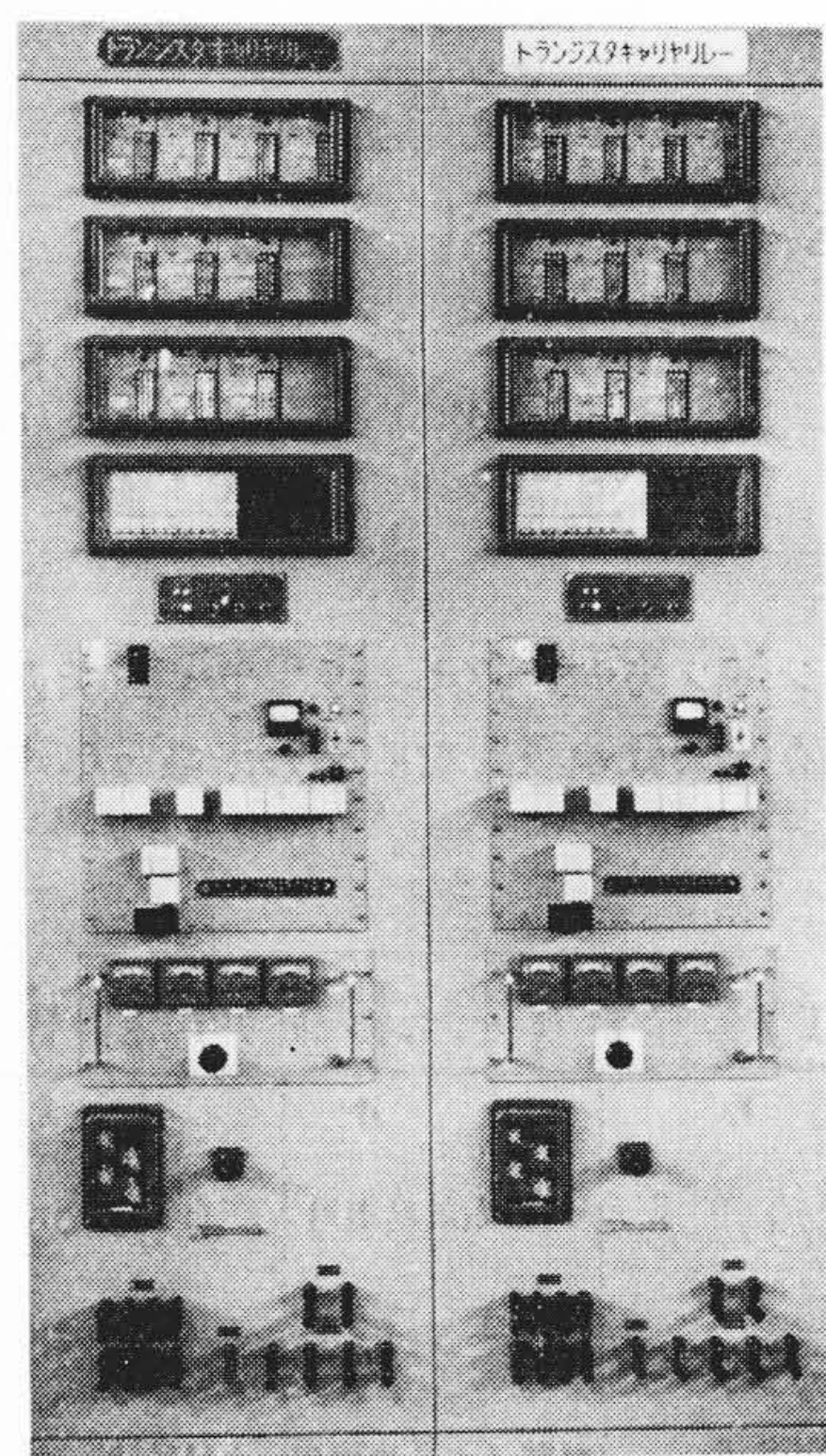
3. 全トランジスタキャリアリレー装置

3.1 装 置 の 概 要

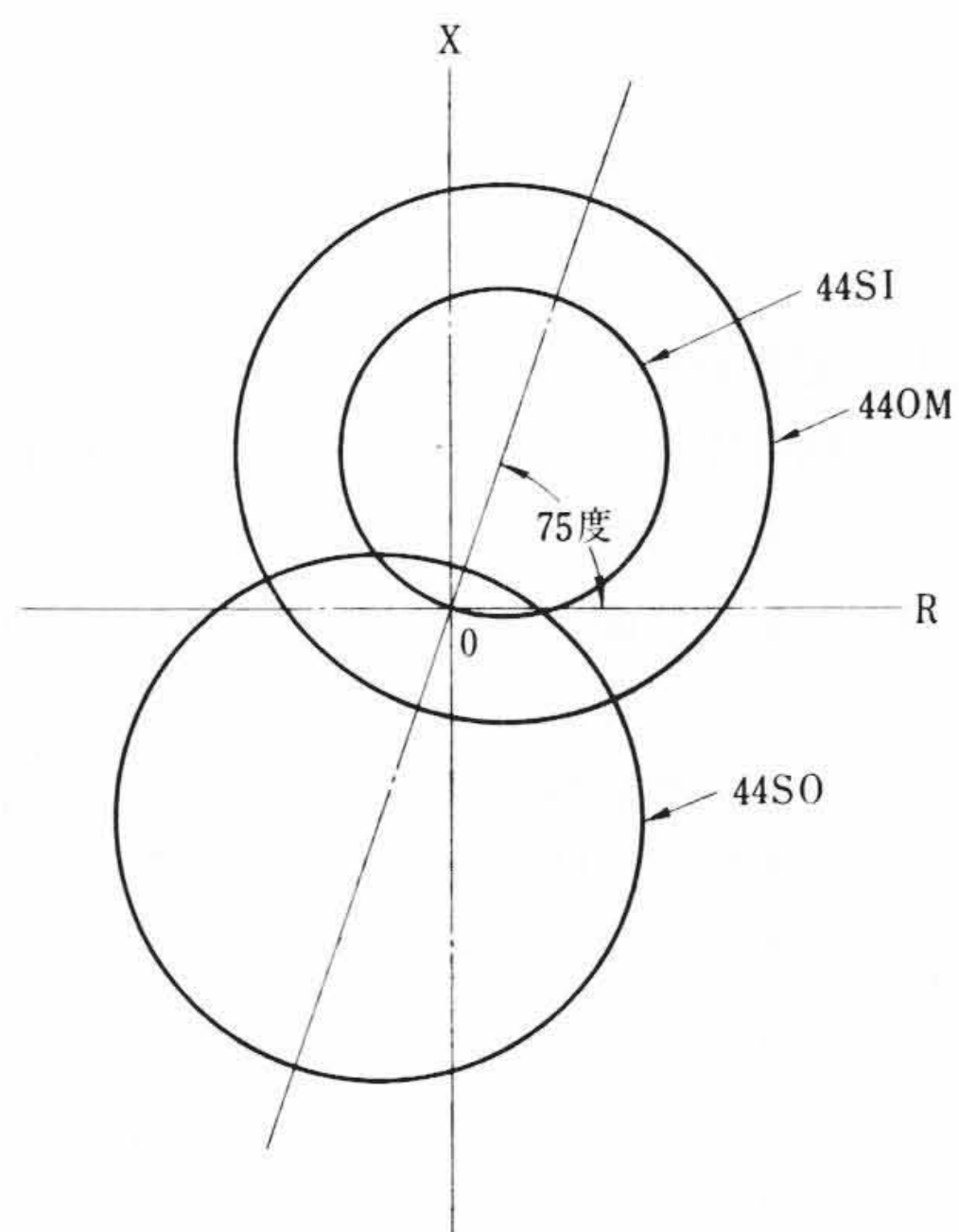
本装置は 154 kV 抵抗接地系統を対象としたので、短絡保護には距離リレー、地絡保護には電力方向リレーを用いた方向比較キャリアリレー方式とした。第 1 表は主要リレーの一覧表である。

搬送方式は、故障時送出阻止釈放方式であり、信号は非変調、±

* 関西電力株式会社
** 日立製作所国分工場



第1図 全トランジスタキャリヤリレー装置



第3図 短絡距離リレーの力率特性

150 c/s の狭帯域，単一周波式である。

また保護リレー，シーケンス補助リレー回路，キャリヤセットすべてトランジスタ化したので，これらに共通な回路電源として，所内DC110Vバッテリーを入力とするDC-DCコンバータを使用した。

第1図は本装置2端局分で，キャリヤセット，DC-DCコンバータも同一盤に実装してある。

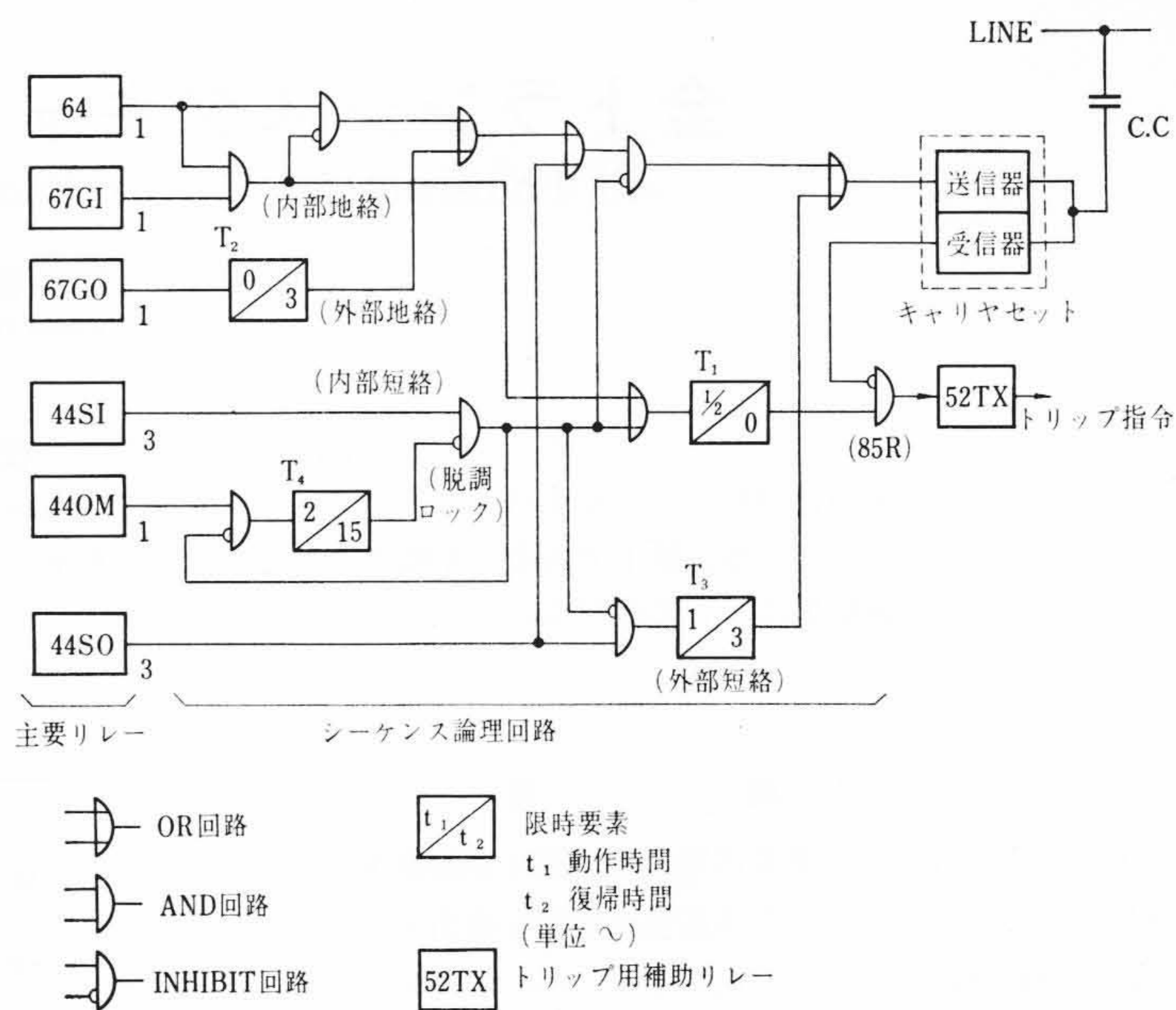
3.2 装置の動作

第2図は本装置1端局分の構成を示すブロック図であり，送電線の両端に同じ装置が設置される。

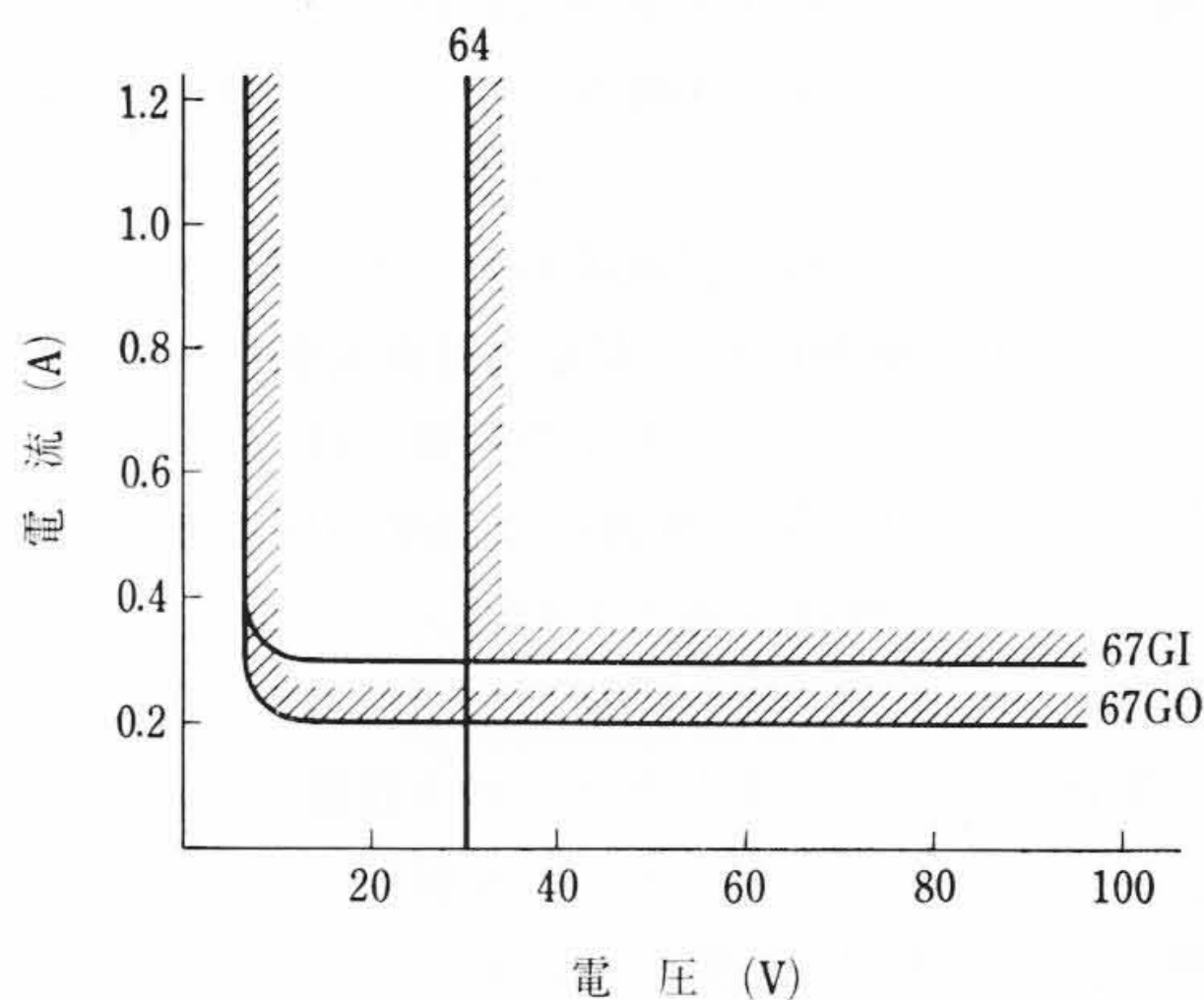
(1) 短絡保護および同期はずれ時のロック

短絡距離リレーの力率特性は第3図に示すように44SIはモータ特性44OM，44SOはオフセットモータ特性であり最大感度力率角は75度である。外部方向リレー44SOはキャリヤ送信用，内部方向リレー44SIはキャリヤ送信阻止とトリップ制御用，また44OMは44SIと組み合わせて同期はずれ時のロック用である。なお44SOは外部至近点事故で確実に動作を続けるため原点を包む特性としているので，区間内事故でも動作することがあるが，44SI動作を優先させキャリヤ送信は阻止される。

区間内事故のときは，両端で44SIが動作するから両端ともキ



第2図 全トランジスタキャリヤリレー方式説明図



第4図 地絡リレーの感度特性

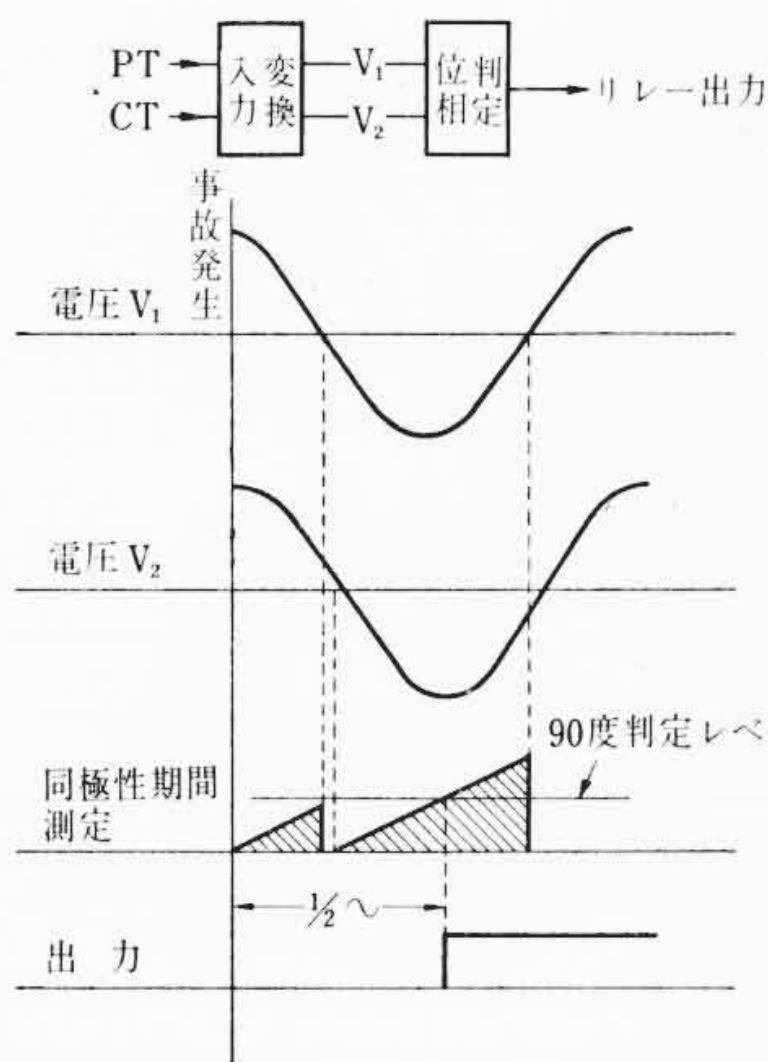
ャリヤ受信がなくなり，第2図に示す Inhibit 回路 85R の出力により補助リレー 52TX が動作し，遮断器のトリップ指令を行なう。また区間外事故時には，いずれか1端の外部方向リレー 44SO が動作しキャリヤ送信を続け，両端の遮断器のトリップを阻止する。さらに短絡優先方式を採用しているので，短絡リレーが動作したときは地絡リレーの動作に無関係に短絡リレーのみで判定を行ない，地絡リレーによる誤動作を防止している。

同期はずれ検出は，44OM と 44SI との動作時間差を検出することにより行なわれる。これが第2図の T_4 の動作時間2 $\sim$ 以上であると同期はずれと見なして44SIの出力をロックする。この検出時間は，従来の電磁形リレーの場合4 $\sim$ としているが，トランジスタリレーでは動作時間が短くかつ安定であるからこれを2 $\sim$ に短縮できた。そのため同期はずれのすべり速度が比較的早い場合も検出でき，誤動作防止の性能が向上された。

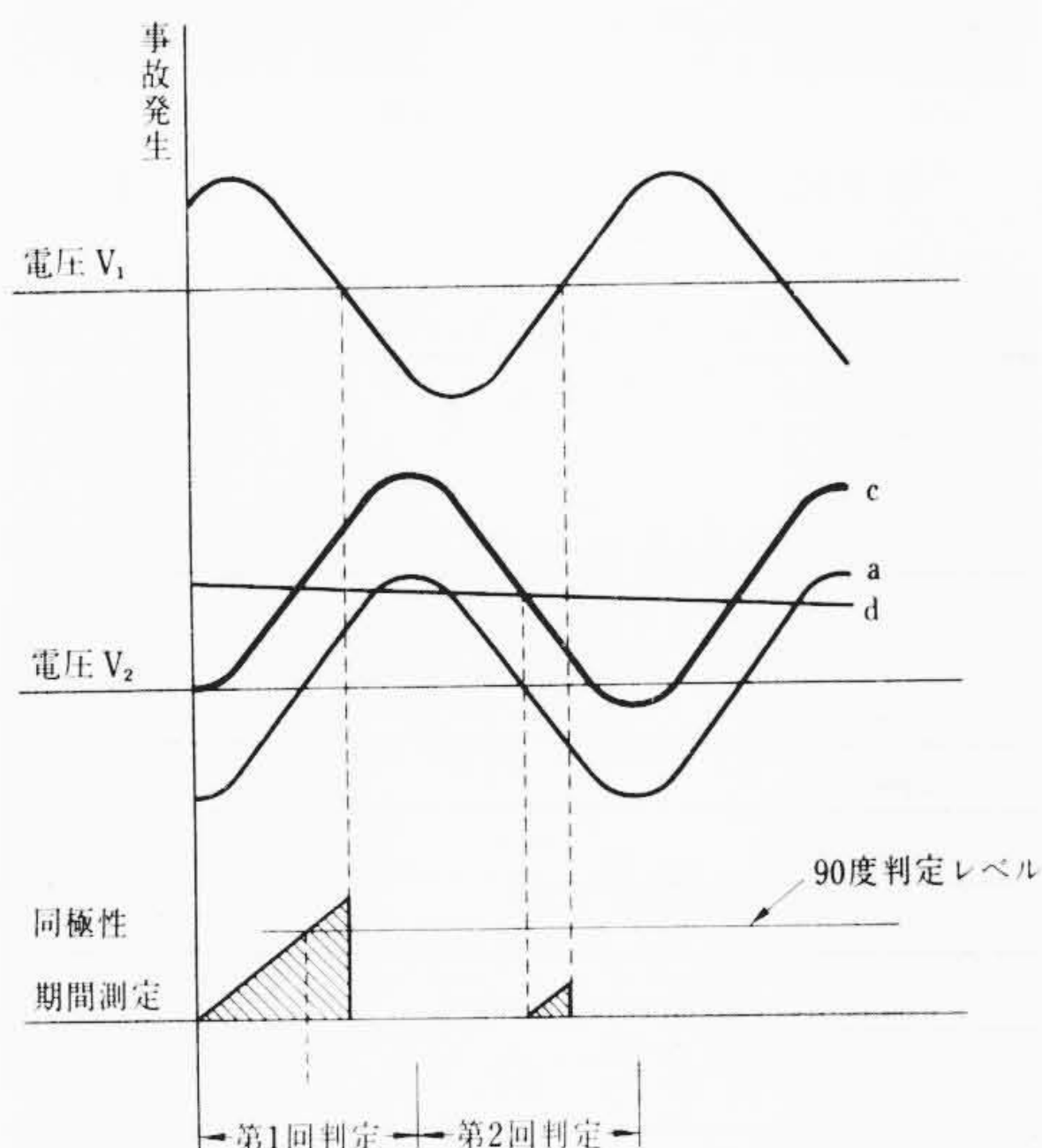
(2) 地絡保護

地絡保護リレーは，故障検出リレー64と内，外部方向リレー67GI，67GOよりなっており，64はキャリヤ送信とトリップ制御用，67GIはキャリヤ送信阻止とトリップ制御用，また67GOはキャリヤ送信継続用として使用される。これらのリレーの感度特性は第4図に示すとおりで，67GOが67GI+64より高感度となるように整定される。

区間内で地絡事故が発生すると，両端で64が動作するが，同時に64GIも動作してキャリヤ送信を阻止するので両端ともキャリヤ受信がなくなり，85R出力により52TXが動作しトリップ指令



第5図 直接位相比較形リレーの動作時間



第6図 直流分を含んだ波形におけるリレー動作

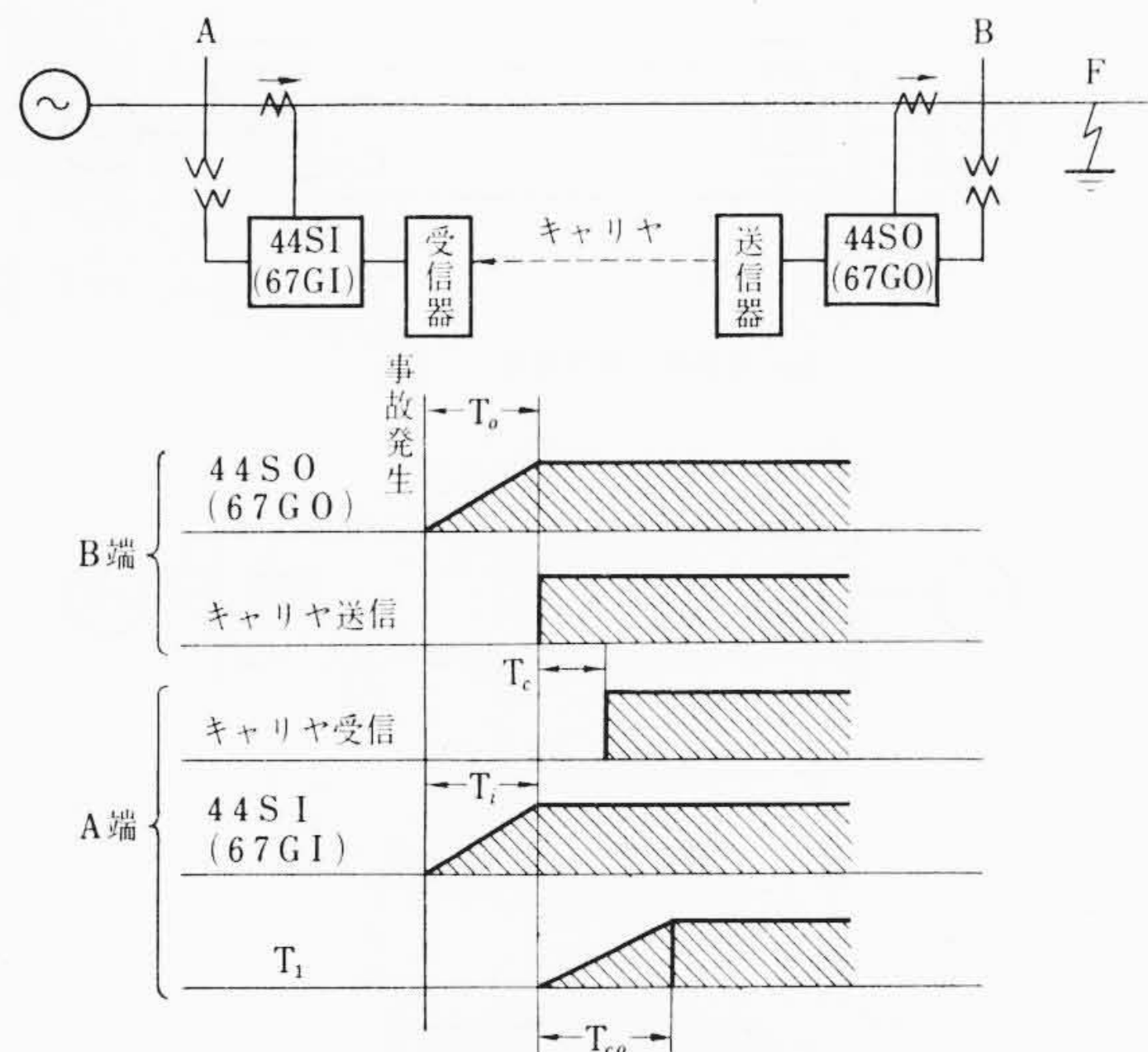
する。区間外事故では、64のほかいずれか1端の外部方向リレー 67 GO が動作するのでキャリア送信を続け、両端遮断器のトリップを阻止する。

3.3 トランジスタキャリアリレーの動作時間

(1) リレー単体動作時間

各リレーの動作原理は、第5図に示すように直接位相比較形⁽²⁾であり、PT, CT よりの入力を合成して得る二つの電圧 V_1, V_2 が同極性にある期間が電気角90度以上のとき動作する。したがって動作判定に必要な時間は90度(1/4)であるが、故障発生時の電圧位相角が第5図に示すような場合には、最初の測定では90度にわずかに達せず、次の測定で90度に達し、この場合には動作時間は約1/2となる。すなわちトランジスタリレーの動作時間は一般に1/4~1/2となる。

以上は事故発生直後の過渡状態で入力に直流分を含んだ場合を考慮していない。第6図は V_2 が交流分 a に直流分 d が重畳して太線 c のようになった場合を示し、交流分 a と V_1 の位相関係ではリレーが動作しないが、直流分 d が重畳した c の場合は最初の測定のみで判定すると動作する。これを防ぐためには、1/2内の正負両半波とも動作判定したときリレーが動作するようにする必要があり、その具体的な方法として出力に1/2の限時を追加している。なおこれは内部方向リレーのみに行ない、キャリア送信に使用する外部方向リレーはむしろ動作時間を短くすることが重要であるため限時を追加しない。したがって内部方向リレーの動作時間は3/4~1となる。



第7図 方向比較キャリアリレーの時間協調

(2) 外部事故時の時間協調とトランジスタキャリアリレーの動作時間

第7図は外部事故時の各端のリレー動作およびキャリア送受信の時間関係を示す。いまB端外部F点で事故が発生すると、B端の外部方向リレー 44 SO (または 67 GO) が動作し、キャリア送信してA端の内部方向リレー 44 SI (または 67 GI) による引きはずしを阻止する必要がある。したがって外部方向リレーの動作時間 T_0 、キャリア伝送時間 T_c 、またA端の内部方向リレーの動作時間 T_i とすると、

$$T_i > T_0 + T_c \dots\dots\dots (1)$$

を満足する必要がある。しかし一般にはこの関係が成立しないため、逆に内部方向リレーの動作による引きはずしに時間おくれ T_{c0} をつけ、

$$T_i + T_{c0} > T_0 + T_c \dots\dots\dots (2)$$

を満足するようにしている。ここで T_{c0} を動作協調時間と呼んでおり、第2図に示す限時要素 T_1 がこれに当たる。

一方区間内事故が発生した場合も引きはずし回路が完成するには $(T_i + T_{c0})$ の時間を必要とし、これがキャリアリレーの動作時間を決定する。(2)式において、一般に $T_i \geq T_0$ と考えてよいから、 $T_{c0} \geq T_c$ であればよい。 T_c はキャリアセットの受信帯域幅に逆比例し $\pm 150 \sim$ 程度では約1/4であるから、 T_{c0} は余裕1/4をみて1/2とすれば十分である。

したがってキャリアリレーとしての動作時間は

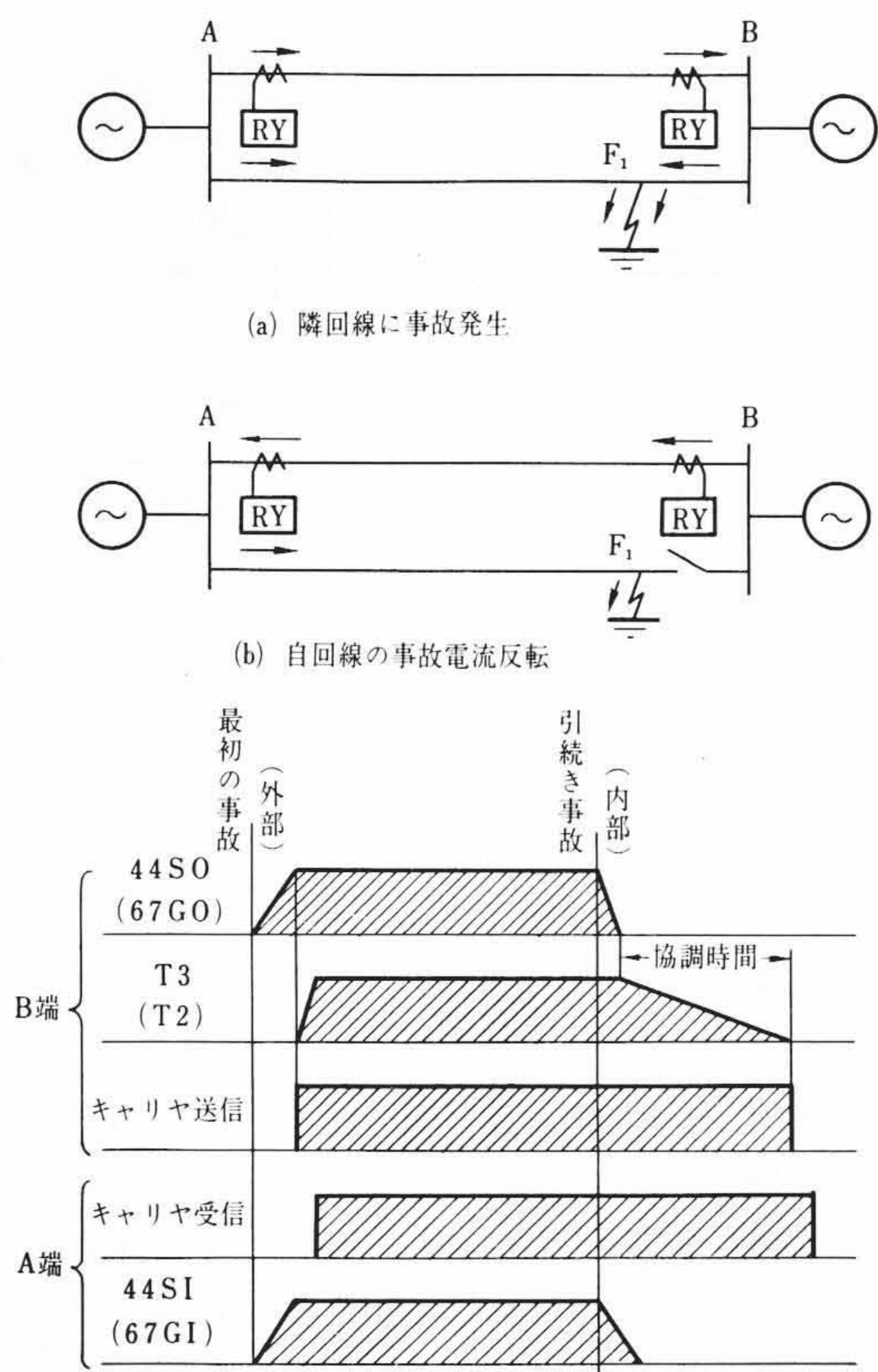
$$T_i + T_{c0} = \left(\frac{3}{4} \sim 1 \right) \sim + \frac{1}{2} \sim = 1.25 \sim 1.5 \sim$$

となる。この動作時間は両端の故障電流の大きさにほとんど影響を受けず、安定な高速度動作を行なう。

なお遮断器トリップ用の出力として、SCRのように無接点式にする代わりに接点式補助リレーを用いる場合は、その動作時間0.5をみる必要がある。したがってこの場合のキャリアリレー動作時間は1.75~2となり、従来の電磁形リレーを使用したキャリアリレー方式に比べ、1以上の動作時間短縮がなされたことになる。これは遮断器の遮断時間を1短縮するのに必要な技術的努力と比較すればその効果の大きさがわかる。

(3) 電流反転時の協調

平行2回線の場合、第8図(a)に示すように隣回線に事故発生したあと隣回線の片端たとえばB端がA端より少し早く遮断して(b)に示すように短時間自回線の事故電流が反転することがある



第8図 事故電流反転時の協調

が、このときB端の外部方向リレーの復帰がA端の内部方向リレーの復帰より早ければAB間にはキャリヤ受信がなくなるので誤まって内部事故判定する。このため第8図に示すようにいったん外部方向リレーが動作すればその復帰後しばらくの間キャリヤ送信を継続し、相手端内部方向リレーが復帰する時間を十分見越して送信を止める。第2図に示す限時要素 T_2 は地絡保護、 T_3 は短絡保護時の本協調時間をとるためのものである。この復帰協調時間は電磁形リレーの場合10程度であるが、トランジスタリレーでは動作、復帰時間が高速安定であるため3に短縮できた。これにより1回の事故における全キャリヤ制御時間が短縮されるので、引続き事故発生時のキャリヤ送信停止、トリップ指令の時間も大幅に短縮できる。

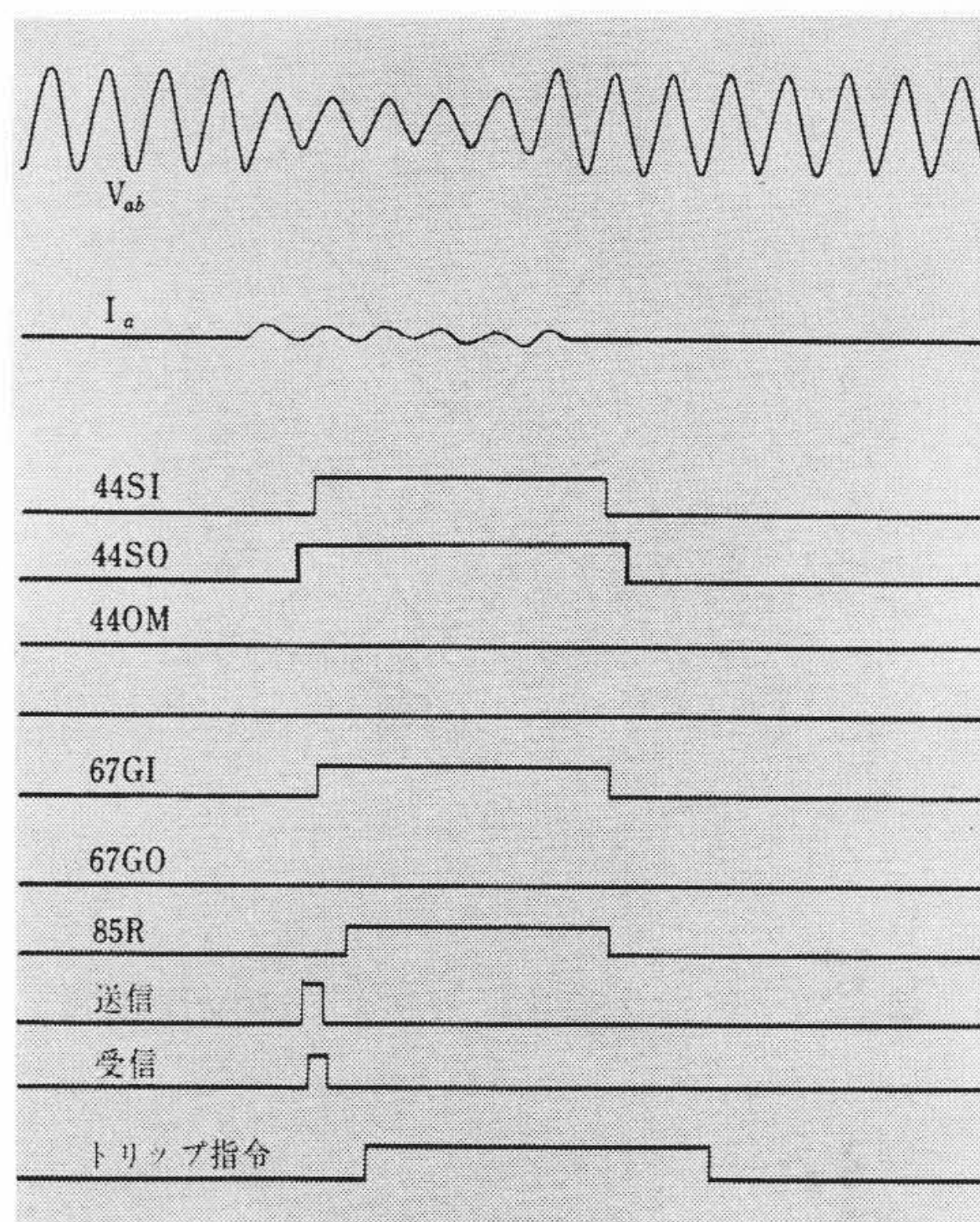
3.4 温度特性、耐サージに対する考慮

トランジスタリレーにおけるトランジスタは、増幅作用としてでなくスイッチ作用として使用し、温度変化の影響を受けない。したがってとくに複雑な温度補償回路を設けることなく、安定な温度特性を得ることができた。

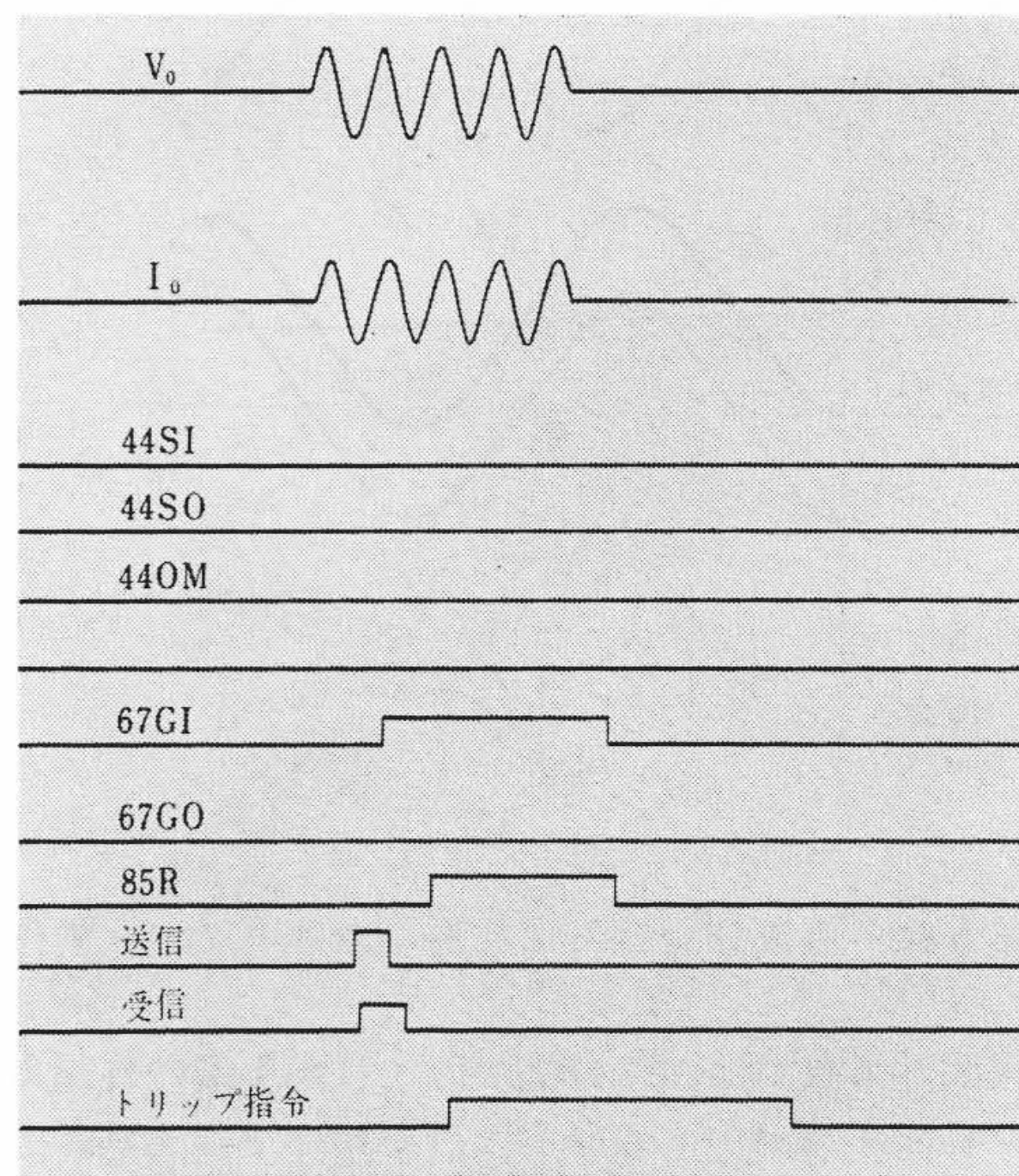
サージに対しては、その侵入経路が種々あるのでそれぞれの回路で対策を行なっている。まずPT、CT回路より侵入するサージは、トランジスタリレーの入力回路にリミッタおよびフィルタをおき、これに吸収させてトランジスタ回路に過大入力があるのを防止している。またサージに対するリレー動作は、直接位相比較形の原理により必ず90度の積分を行なうので問題はない。次に電源装置の入力からはいる逆サージについては入力回路に逆方向のストップを接続しサージの侵入を防止している。

3.5 消費 VA

トランジスタリレーでは入力電圧、電流は単に信号として利用されるので、電磁形リレーより安定に低負担とすることができる。その結果消費VAは定格値でCT回路4.5VA、PT2次回路9VA、PT3次回路1.6VAとなり、これらの値は同一リレー方式を電磁形リ



第9図 動作オシログラム例



第10図 動作オシログラム例

ーによった場合に比べCT回路で1/5、PT回路は短絡リレーが1/5、地絡リレーが約1/20に減少する。

4. 試験結果

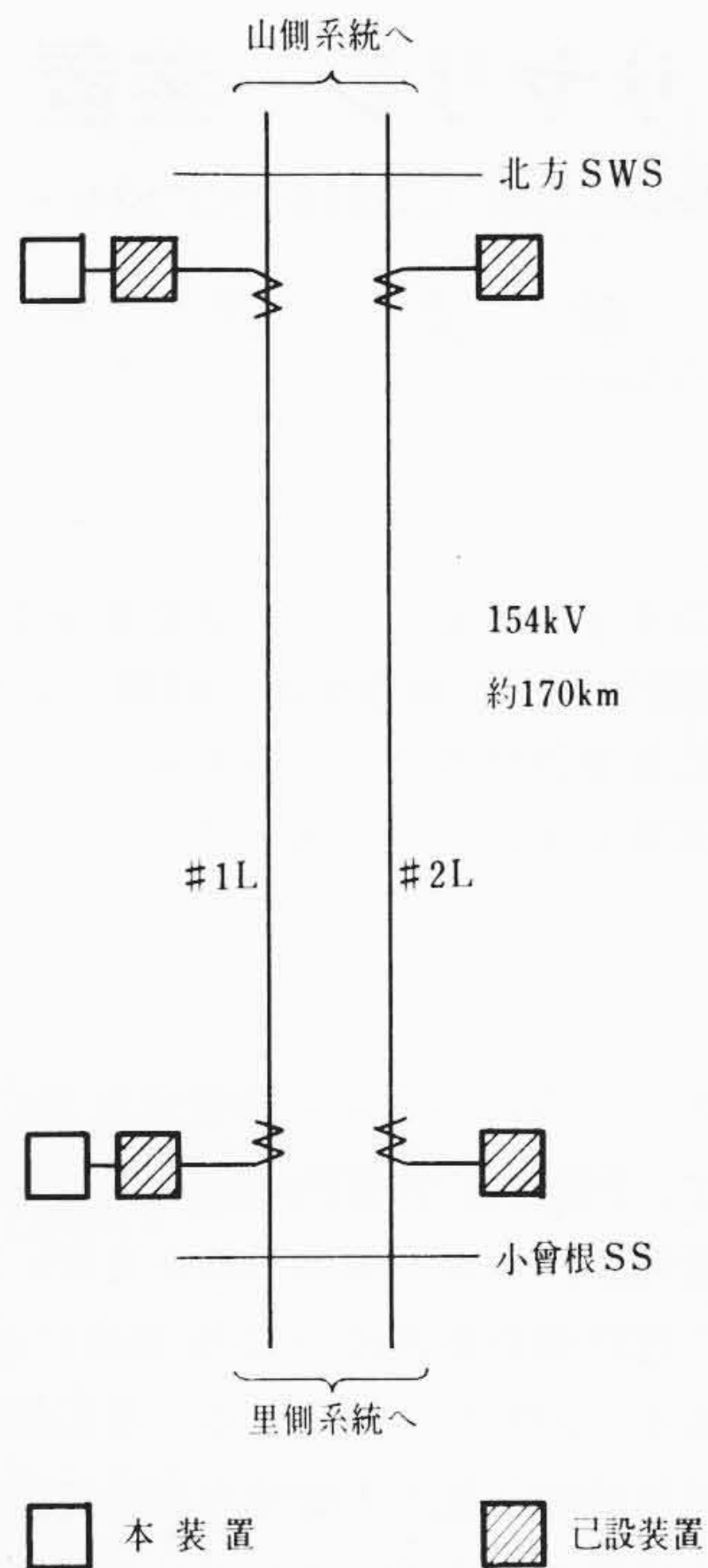
本装置は完成後工場において種々の面から詳細な試験を行ないその性能を確認した後、昭和39年7月より関西電力株式会社美濃幹線において長期実用試験を行なっている。

4.1 工場試験

(1) 温度、耐サージ試験

温度試験はまず主要リレー、シーケンス論理回路それぞれについて $-10 \sim +40^\circ\text{C}$ の範囲で行ない、特性がまったく安定していること、さらに $+50^\circ\text{C}$ においてもリレー動作にはとくに問題ないことを確認した。またキャリヤリレー装置全体を温度槽に入れ、 $-10 \sim +40^\circ\text{C}$ にわたって総合動作試験を行なったがいずれも正規動作に支障がなかった。なお本装置はゲルマニウムトランジスタを用いたトランジスタリレー、シーケンス論理回路であるが、最近ではシリコントランジスタを使用しているため、さらに 60°C まで特性を安定にすることができる。

耐サージ試験では、リレーのPT、CT入力回路および電源装置



第11図 現地試験の保護系統

の入力回路に4,500Vインパルス標準波形を印加して装置の異常のないことを確めた。

(2) 模擬送電線による動作試験

本装置は、工場の大容量模擬送電線に組み合わせ、故障種類、故障点などを変えて詳細な動作試験を行なった結果、すべて所期どおりの動作を行なった。第9図は区間内2線地絡事故時の動作オシログラムで片端分を示す。事故発生後44SOがいったん動作してキャリア送信するが、続いて44SI動作して送信を停止し、相手端も送信停止するので受信がなくなり85R出力が出てトリップ指令している。第10図は区間内1線地絡事故時の動作オシログラム例である。67GI動作により両端とも送信を停止して同様にトリップ指令を行なっている。トリップ指令所要時間はいずれも2～以内となっており、高速度動作が確認された。

4.2 長期現地試験結果

工場試験により装置の性能を確かめ得たが、装置の信頼性と保守上の問題点を確かめるため、現地で長期にわたり実用試験を行なった。すなわち本装置を第11図に示す関西電力株式会社美濃幹線(154kV 北方SWS～小曾根SS間約170km)1号線に接続し、昭和39年7月から試験中である。本系統には電磁形リレーによるキャリアリレー装置が設置されているので、本装置の動作は遮断器トリップによらず表示のみで確認することにした。

昭和40年6月までの1年間の動作実績は第2, 3表に示すとおりである。区間内事故は第2表のように8回発生しているが、いずれも両端とも正規に動作表示を記録している。事故種類は2回線にま

第2表 区間内事故動作実績

区間内事故種類	発生回数	正動作回数	誤不動作回数
No. 1 L 1線地絡	3	3	0
No. 1 L 1線地絡 No. 2 L 1線地絡 (同相)	2	2	0
No. 1 L 1線地絡 No. 2 L 1線地絡 (異相)	2	2	0
No. 1 L 1線地絡 No. 2 L 2線地絡 (異相)	1	1	0
計	8	8	0

第3表 区間外事故不動作実績

区間外事故種類	発生回数	正不動作回数	誤動作回数
1線地絡	29	29	0
2線または3線事故	17	17	0
事故種類不明	3	3	0
計	49	49	0

たがる複雑なものが多く、リレー動作表示は1線地絡事故に対しては67GI, 64, 2線または3線事故に対しては44SIとなっており、所期どおりの結果である。区間外事故は第3表のように計49回発生しているが、いずれも不動作で問題ない。

また装置自身、運転開始後1回の事故もなくまた部品などの劣化による特性変化も認められず、信頼性の高いことが実証されつつある。

5. 結 言

以上全トランジスタキャリアリレー装置およびその長期フィールドテストについて述べたが、本装置は従来の電磁形リレーによるキャリアリレーに比べ1～短い2～で安定な高速度動作をする。かつ低負担、小形の点ですぐれている。1年間にわたるフィールドテスト結果も良好で信頼性の高いことが実証されつつある。なおさらに1年間のフィールドテストが予定されている。

今後わが国においては500kV超々高圧送電の実現が期待されるが、この超々高圧系統の保護にはPCTの負担制約はもちろん、超高速保護が要求されるものと考えられる。この意味から必然的にトランジスタキャリアリレーの使用が検討されることと思うが、この意味で本装置のフィールドテスト結果が技術の進歩に貢献することがあれば幸いである。

終わりに臨み、本装置の現地試験に際し種々ご援助をいただいた関係各位に対し厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 村上：日立評論 42, 862 (昭 35-8)
- (2) 抜山, 三木：日立評論 47, 1942 (昭 40-12)