

送電線の異相地絡保護継電方式

Protective Relaying System for Two or Three Phases Ground Fault of Transmission Line

三 田 勝 茂* 奥 田 健 三**
Katsushige Mita Kenzo Okuda

内 容 梗 概

送電線に多重事故による異相地絡が発生した場合、保護継電器の動作が不規則となり全停を起してしまふ例がしばしばある。これに対処する方式として短絡、進相優先遮断保護継電方式を開発した。本論文には模擬送電線による異相地絡時の保護継電器の動作の検討結果と上記保護方式を紹介している。

1. 緒 言

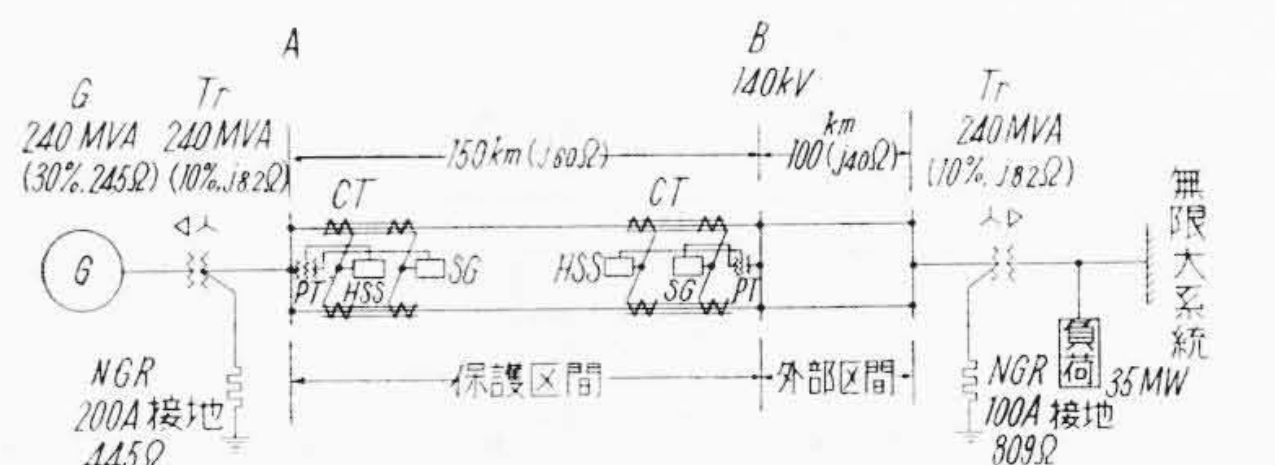
送電線に地絡事故発生時、往々にしてこれが他相の故障を誘発して2線あるいは3線の異地点、異相地絡を起し、いわゆる多重故障となる例がある。これは系統構成上、故障時他相の異常電圧上昇を起しやすい場合、一線地絡時鉄塔の電位上昇による逆閃絡、あるいは多重雷による場合など種々考えられるが、いずれにせよかかる多重故障発生時に保護継電器の動作が不規則となり全停となつた例はしばしば聞くところである。

送電線の故障保護に対しては従来から、選択短絡、選択接地保護継電方式、あるいは距離継電方式など幾多の方式が開発実施されているが、これらはいずれも単純な一地点における故障の保護を対象としたものである。それゆえ上記多重故障に対しては系統問題に対する考慮、故障の高速選択遮断などが必要であるが、さらに保護継電方式としてもこれに対処する適切な方式の開発が望まれるわけである。しかしかかる多重故障時の現象の究明と継電器の動作の解析がきわめて複雑なため問題の重要性が認識されているにもかかわらず従来まったく検討されなかつた状況で、最近に至つてようやく各方面で研究を始め⁽¹⁾、その保護方式も考案実施されるようになった。

日立製作所においてはつとに本問題を採りあげ、異相地絡に対する保護方式として、短絡、進相優先遮断保護継電方式を開発し、すでに実施⁽²⁾しているが、この機会に異相地絡時における保護継電器の動作を模擬送電線によつて解明した結果と、本保護方式の概要について紹介し、各位の御参考に供する次第である。

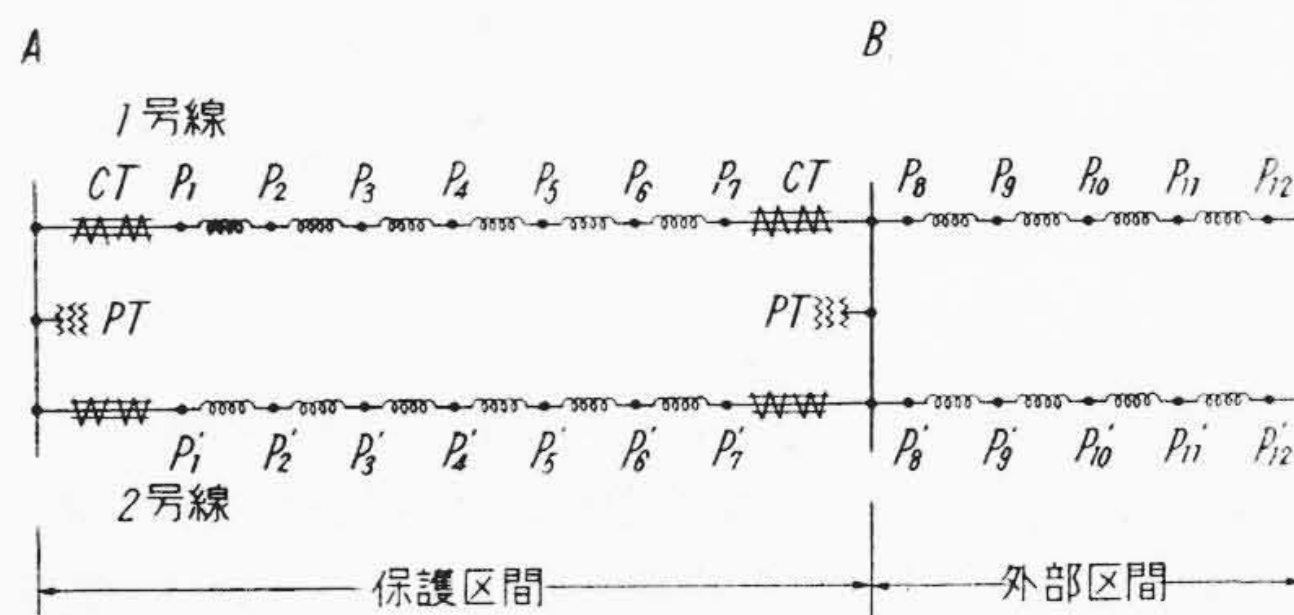
2. 異相地絡時の保護継電器の動作

一般に異相地絡時における保護継電器動作の解析は計算によつても求められるが、地絡点の相対位置、故障の



註インピーダンスは240MVA, 140kV規準

第1図 模擬系統図



第2図 地絡故障点

種類などをも考慮するときは著しく複雑となるので模擬送電線により模擬系統を構成し、各種故障を発生させ、そのときの電圧、電流の分布ならびに位相関係を求めるとともに継電器の動作をたしかめた。

模擬系統としては第1図に示すように、わが国送電線の典型的と考えられるものを選んだ。すなわち中性点高抵抗接地、並行2回線2区間、亘長250 km、送電電圧140 kV、送電容量240 MVAとし、各機器の常数はそれぞれ第1図に示すとおりである。

保護継電器としては一般的な選択短絡、および選択接地継電器と距離継電器を使用し、模擬系統を第2図に示すように、保護区間および外部区間をそれぞれ8等分および4等分し、 $P_1 \sim P_{12}$, $P'_1 \sim P'_{12}$ の各点において各種地絡故障を発生させて故障時の電圧、電流分布および位相関係を求めると同時に継電器の動作を検討した。

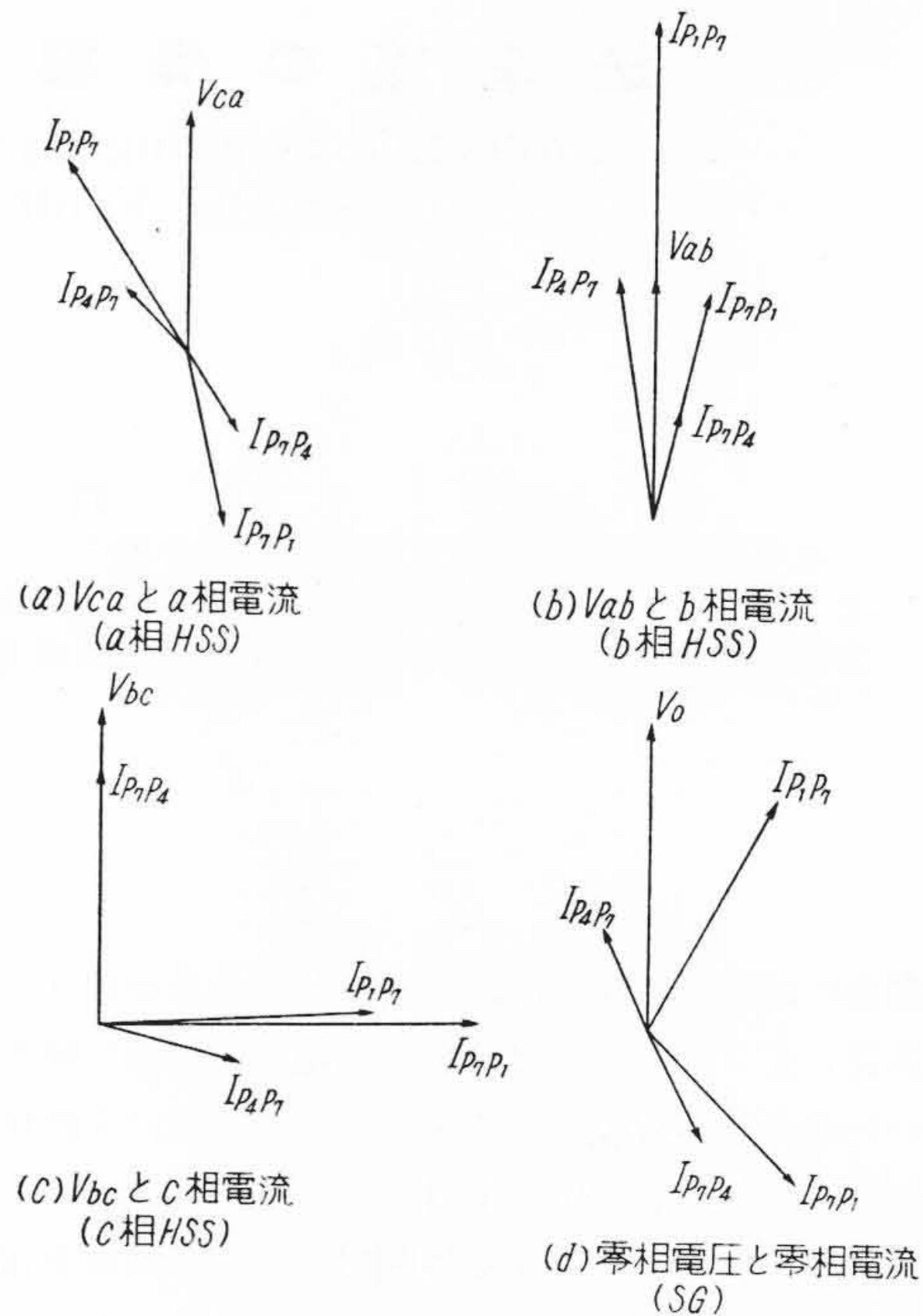
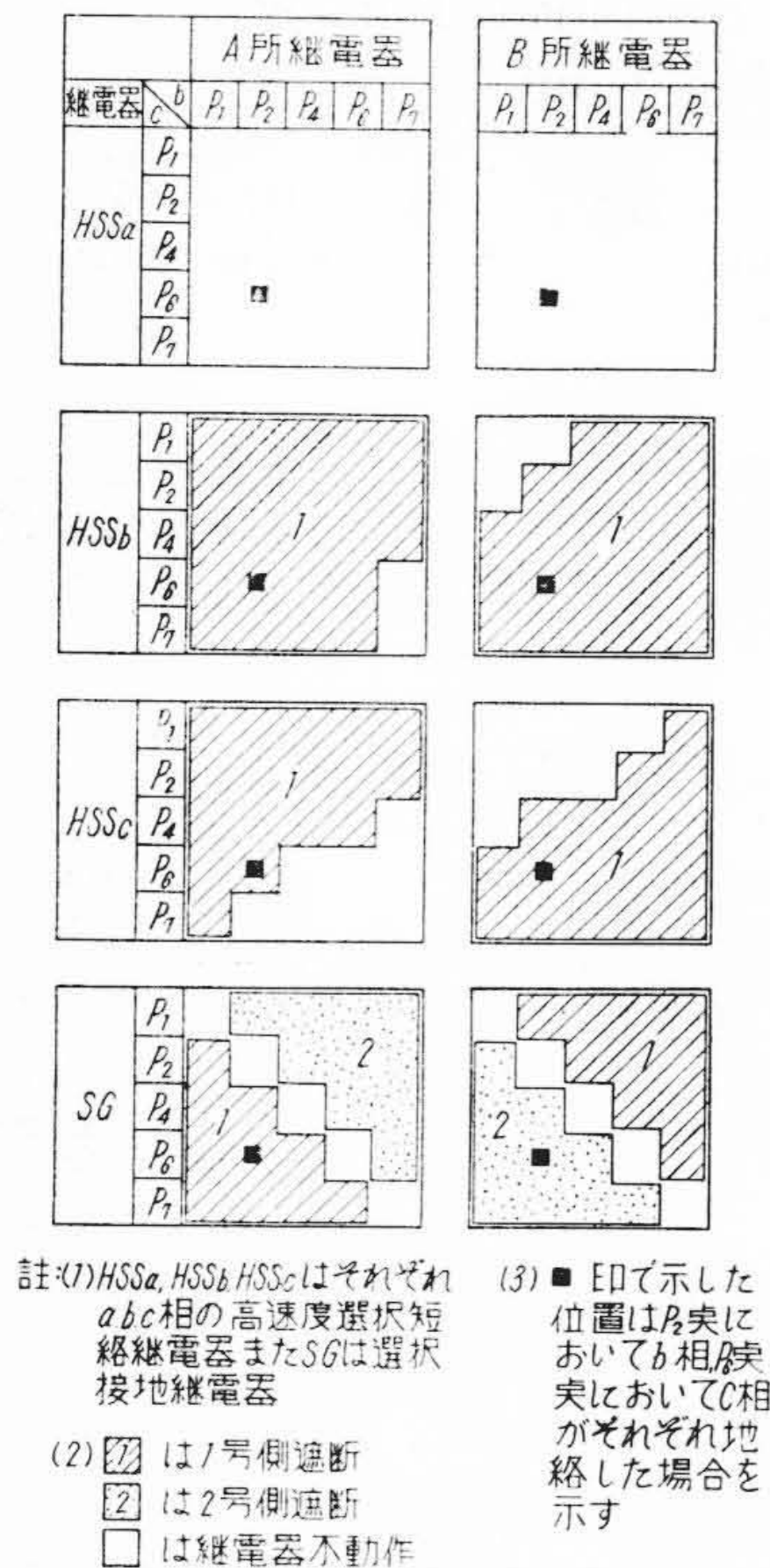
2.1 選択短絡、選択接地継電器

選択短絡継電器として高速度型のKRV型QW式(力率特性25度遅れ、30度進み電流接続)、選択接地として

* 日立製作所国分工場

** 日立製作所日立研究所

第 1 表 保護区間内，1 号線で b, c 相地絡時の継電器の同時動作範囲



註. $I_{P_1 P_7}$ は $P_1 P_7$ 突にて故障発生 (第 1 表参照) 時の電流を示す

第 3 図 保護区間内，1 号線で b, c 相地絡時の継電器に加わる電圧，電流

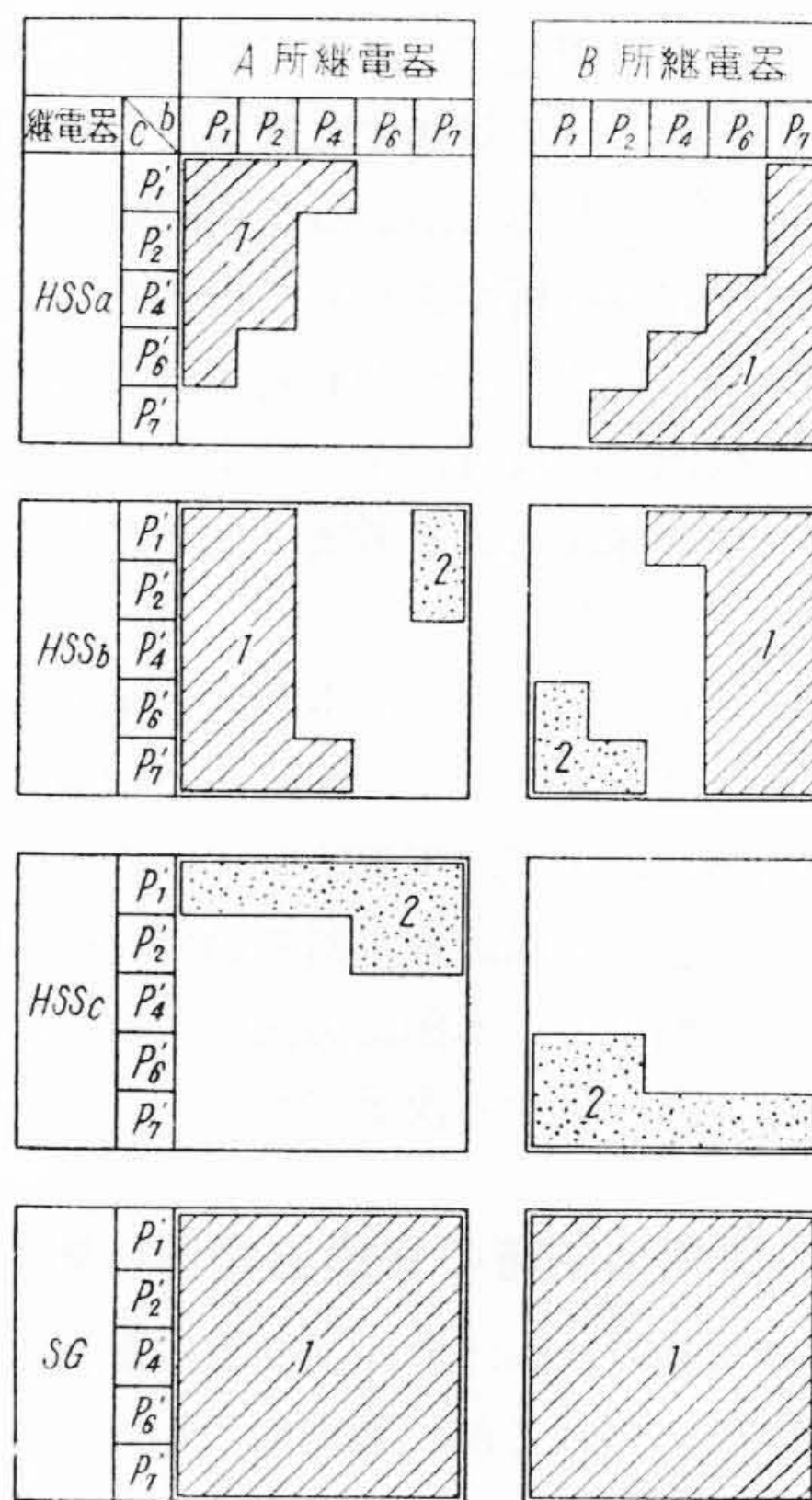
誘導円板型の IG 型 WXL₁₁ 式 (力率特性 10 度進み) を用い，前者は短絡および 2 線地絡，3 線地絡故障に対し保護区間の 85% までを十分選択保護できるように整定し，また後者も一線地絡時，同様に 85% までを選択できるように整定して試験を行つた。

2.1.1 保護区間内，同一回線内の 2 線異相地絡

第 2 図に示す模擬系統 1 号線の $P_1 \sim P_7$ までの各点において，b, c 相の異相地絡を発生させた場合の高速選択短絡継電器 (以下 HSS と称す) および選択接地継電器 (以下 SG と称す) の同時動作範囲は第 1 表に示すとおりである。これより明らかなように，この場合 HSS は正規動作を行うのに対し，SG は故障点の位置により動作が異なる。すなわち進み相である b 相の地絡点，遅れ相の c 相の地絡点より継電器設置点に近い場合には故障回線を選択するが，この逆の場合には健全線である 2 号線側を誤選択する。

第 3 図に故障時，継電器に加わる電圧，電流の位相関係を示したが，同図 (b) より明らかなように故障点のいかにかわらず故障相の継電器である b 相 HSS に加わる電圧，電流の位相関係はあまり変化せず，したがって b 相 HSS は正規に動作を行うのに対し，零相電圧と零相電流は同図 (d) に示すように故障点の位置により大幅に位相が異なり，このため SG が 1 号

第 2 表 保護区間内，1 号線 b 相，2 号線 c 相地絡時の継電器の同時動作範囲

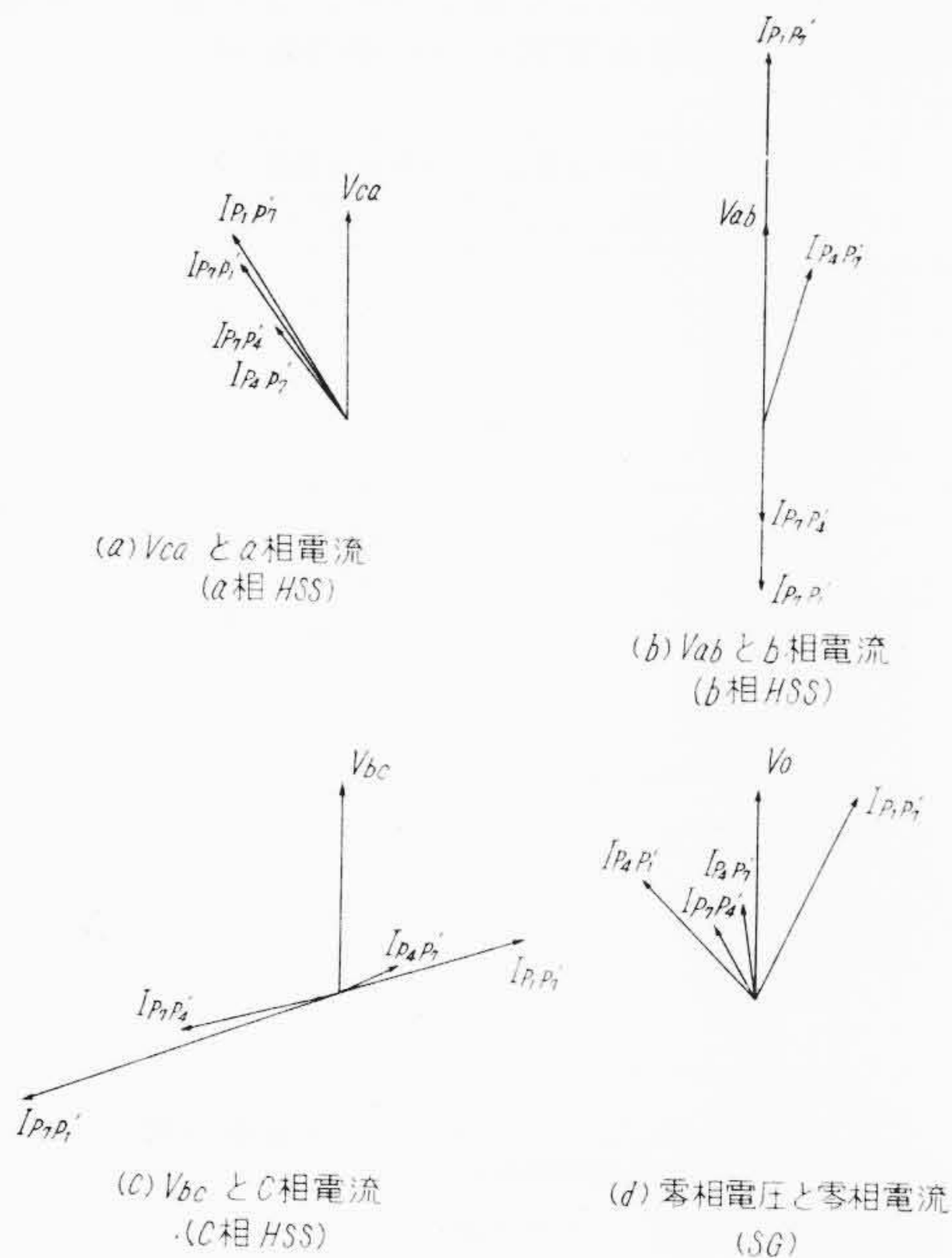


註は第 1 表に同じ

第3表 保護区間内1号線a相, 2号線b, c相 (ただし同一地点) 地絡時の継電器の同時動作範囲

		A所継電器						B所継電器					
継電器	bc	P ₁ P ₂ P ₄ P ₆ P ₇						P ₁ P ₂ P ₄ P ₆ P ₇					
		P ₁ '	P ₂ '	P ₄ '	P ₆ '	P ₇ '		P ₁ '	P ₂ '	P ₄ '	P ₆ '	P ₇ '	
HSSa	P ₁ '												
	P ₂ '												
	P ₄ '	1											
	P ₆ '												
	P ₇ '												
HSSb	P ₁ '												
	P ₂ '												
	P ₄ '												
	P ₆ '												
	P ₇ '												
HSSc	P ₁ '												
	P ₂ '												
	P ₄ '												
	P ₆ '												
	P ₇ '												
SG	P ₁ '												
	P ₂ '												
	P ₄ '												
	P ₆ '												
	P ₇ '												

註は第1表に同じ



註は第3図に同じ

第4図 保護区間内, 1号線b相, 2号線c相地絡時の継電器に加わる電圧, 電流

線側に動作したり, 2号線側に動作したりすることがわかる。

以上より同一回線内における異地点異相地絡時には, 従来の選択保護継電方式では SG による健全線の誤遮断を行う場合が起りうる。

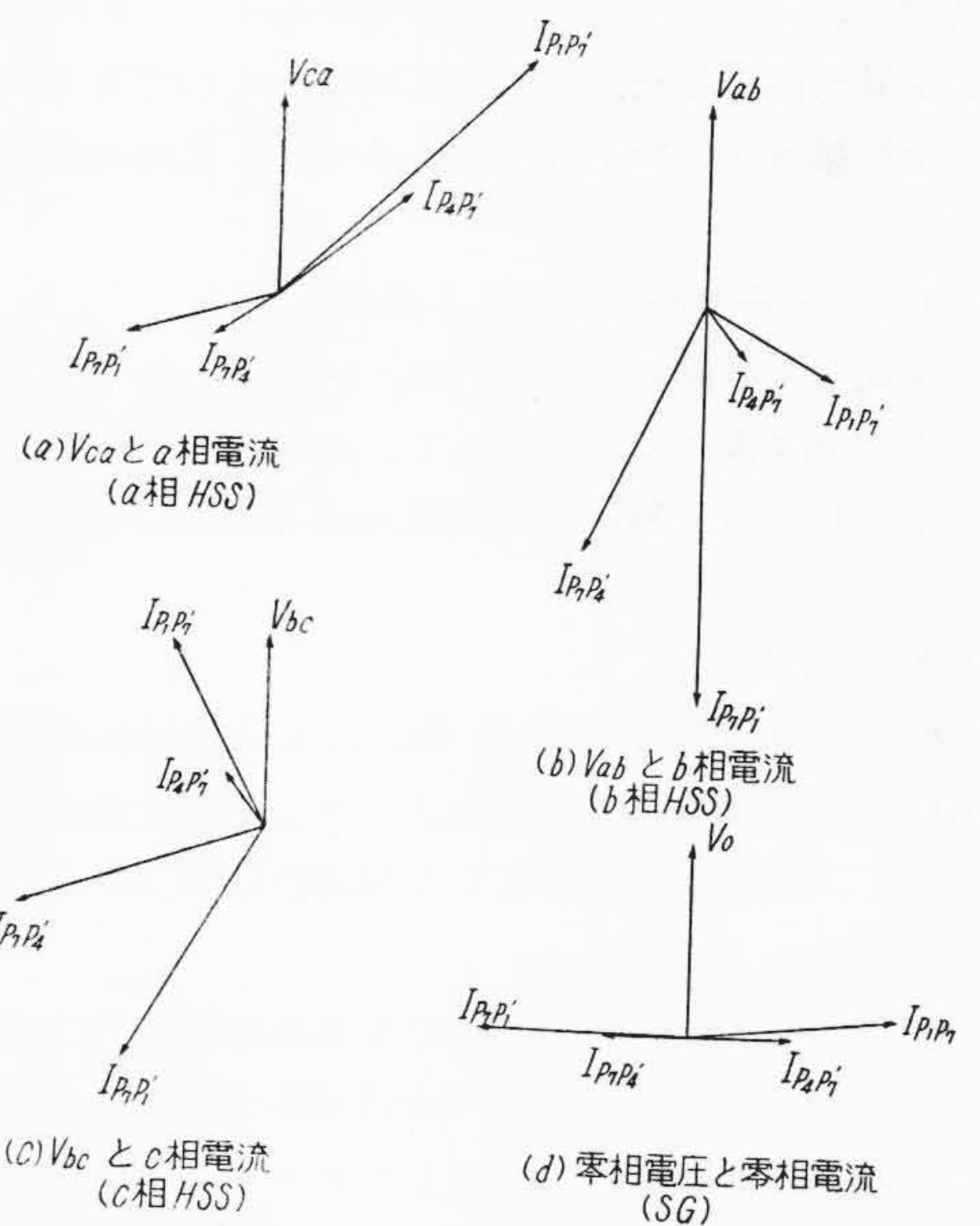
2.1.2 保護区間内他回線にまたがる2線異相地絡

地絡点が保護区間内の1号線と2号線とにまたがり, 1号線側b相, 2号線側c相で地絡を生じた場合の継電器の同時動作範囲は第2表に示すとおりで, この場合は前記同一回線内のときと異なり, ある範囲内の故障に対し, a相HSSは1号, c相HSSは2号が動作するのに対し, b相HSSは1号動作のときと, 2号動作のときとがある。一方SGはいかなる場合においても1号が動作する。

第4図に故障時に継電器に加わる電圧, 電流の位相の変化状況を示したが, 同図(b)より, 故障相の継電器であるb相HSSに加わる電圧, 電流の相差角が故障点により大幅に変化し, このため1号が動作したり, 2号が動作したりすることが明らかである。それゆえこの場合, 地絡点の組合せにより1号線のみ遮断の場合と, 1, 2号両回線遮断の場合とが起る。

2.1.3 保護区間内, 他回線にまたがる3線地絡

1号線側a相, 2号線b, c相 (ただしb, c相の地絡点は同一地点) の3線地絡のときのHSSの同時動作範囲は第3表に示すとおりで, この場合において



註は第3図に同じ

第5図 保護区間内1号線a相 2号線b, c相 (ただし同一地点) 接地時の継電器に加わる電圧, 電流

も2号線のみ遮断と, 1, 2号両回線遮断の二つの場合を生ずる。一方SGはA所においては2号線側を選択するのに対し, B所においては1号線側を選択する

第 4 表 保護区間内 1 号線で a 相，区間外で c 相地絡時の継電器の同時動作範囲

継電器	A 所継電器	B 所継電器
	P_1, P_4, P_7	P_1, P_2, P_7
HSSa	P_8, P_{10}, P_{12}	
HSSb	P_8, P_{10}, P_{12}	
HSSc	P_8, P_{10}, P_{12}	
SG	P_8, P_{10}, P_{12}	

註は第 1 表に同じ

場合と，2 号線を選択する場合がある。これは A 所および B 所側の零相回路の相異によるものである。

なお第 5 図に継電器に加わる電圧，電流の位相関係を示す。

2.1.4 区間内外にまたがる異相地絡

区間内 1 号線において a 相，区間外において c 相地絡時は第 4 表に示すとおりで，この場合 HSS は正規動作を行うが，SG は健全線である 2 号線を遮断する場合がある。

2.2 距離継電器

電力方向継電器 KHV 型 QC 式と，距離継電器 AZ 型 QC 式よりなる距離継電方式においては，系統構成を同一とし，距離継電器の整定を保護区間の 80 % とした場合，下記のようになる。

(1) 保護区間内一回線の 2 線異相地絡時，継電器からみたインピーダンスは遠方地絡点における単純な 2 線地絡時の継電器からみたインピーダンス値にほぼ等しく，継電器設置端子から遠方地絡点までの距離が継電器の整定インピーダンス内にあれば動作し，正確に故障回線を選択する。

(2) 保護区間内一回線にまたがる 2 線，3 線地絡時は両地絡点が継電器設置端子に接近し，故障相間の電圧が低下，また故障電流が増加し，継電器からみたインピーダンスが小となれば継電器は動作する。

第 5 表 保護区間内 1 号線で b 相，2 号線で c 相地絡時の A 所距離継電器の同時動作範囲

継電器	1 号線継電器	2 号線継電器
	P_1, P_2, P_4, P_8, P_7	P_1, P_2, P_4, P_8, P_7
Zab	P_1, P_2, P_4, P_8, P_7	
Zbc	P_1, P_2, P_4, P_8, P_7	
Zca	P_1, P_2, P_4, P_8, P_7	

註：(1) Zab, Zbc, Zca はそれぞれ ab 相，bc 相，ca 相の距離継電器を示す

(2) [1] は 1 号側遮断

[2] は 2 号側遮断

□ は不動作

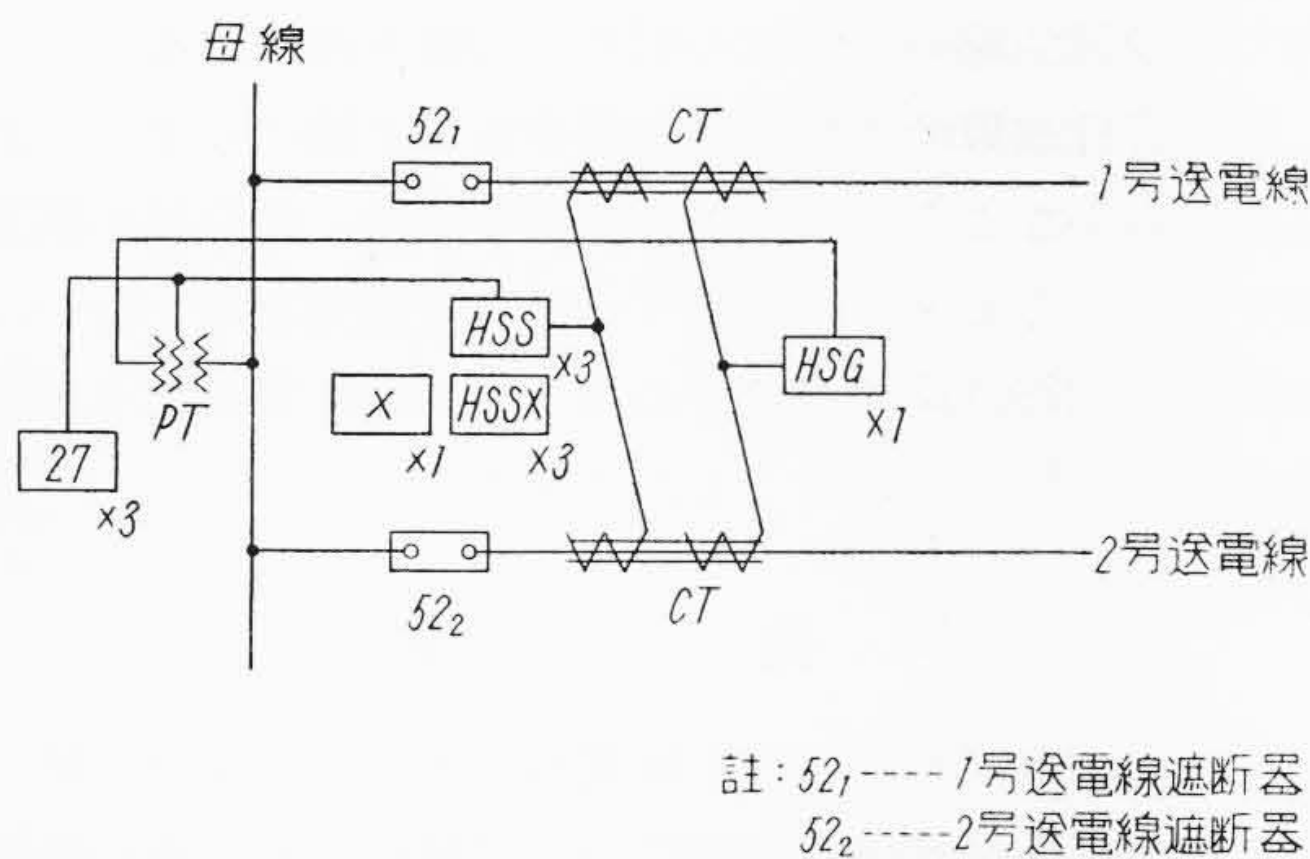
第 5 表に 2 線地絡時の継電器の同時動作範囲を示す。これより明らかなように，片回線遮断と，両回線同時遮断の場合があり，また保護範囲は 50 % 程度となる。

(3) 区間内外にまたがる 2 線地絡の場合においても，途中電力の流入端子がない場合には (1) とほぼ同様となる。

以上各種保護継電器の異相地絡時における動作について述べたが，上記故障のほか，同一回線内の同一相 2 地点を含む 3 線地絡，他回線にまたがり，かつ同一相 2 地点を含む 3 線地絡，A, B 両所の遮断器が直列遮断を行う場合などについても試験を行つた。これらより結論としていえることは，選択短絡，選択接地両方式において，前者はおおむね正動作を行うが，後者は健全線の誤遮断を起すことがあり，これは継電器の力率特性のみでは防止し得ない。また距離継電器においては，その動作はほぼ確実であるが，回線間にまたがる異相地絡に対してはその保護範囲がせばめられるということである。

3. 短絡，進相優先遮断保護継電方式

以上述べたように異相地絡時の保護方式として，上記検討結果をもとにし，短絡，進相回線優先遮断による保護継電方式が開発された。本方式は異相地絡時，故障相および故障種類の判別を行つて引外し回路を形成させるようにし，誤遮断を防止するとともに，一回線を優先遮断し，これにより他回線の地絡事故の消滅を狙うとともに，爾後の保護は単独送電時の保護方式によるものである。



第6図 短絡，進相優先遮断保護継電方式スケルトンダイアグラム

第6表 短絡時の高速度差電圧継電器動作

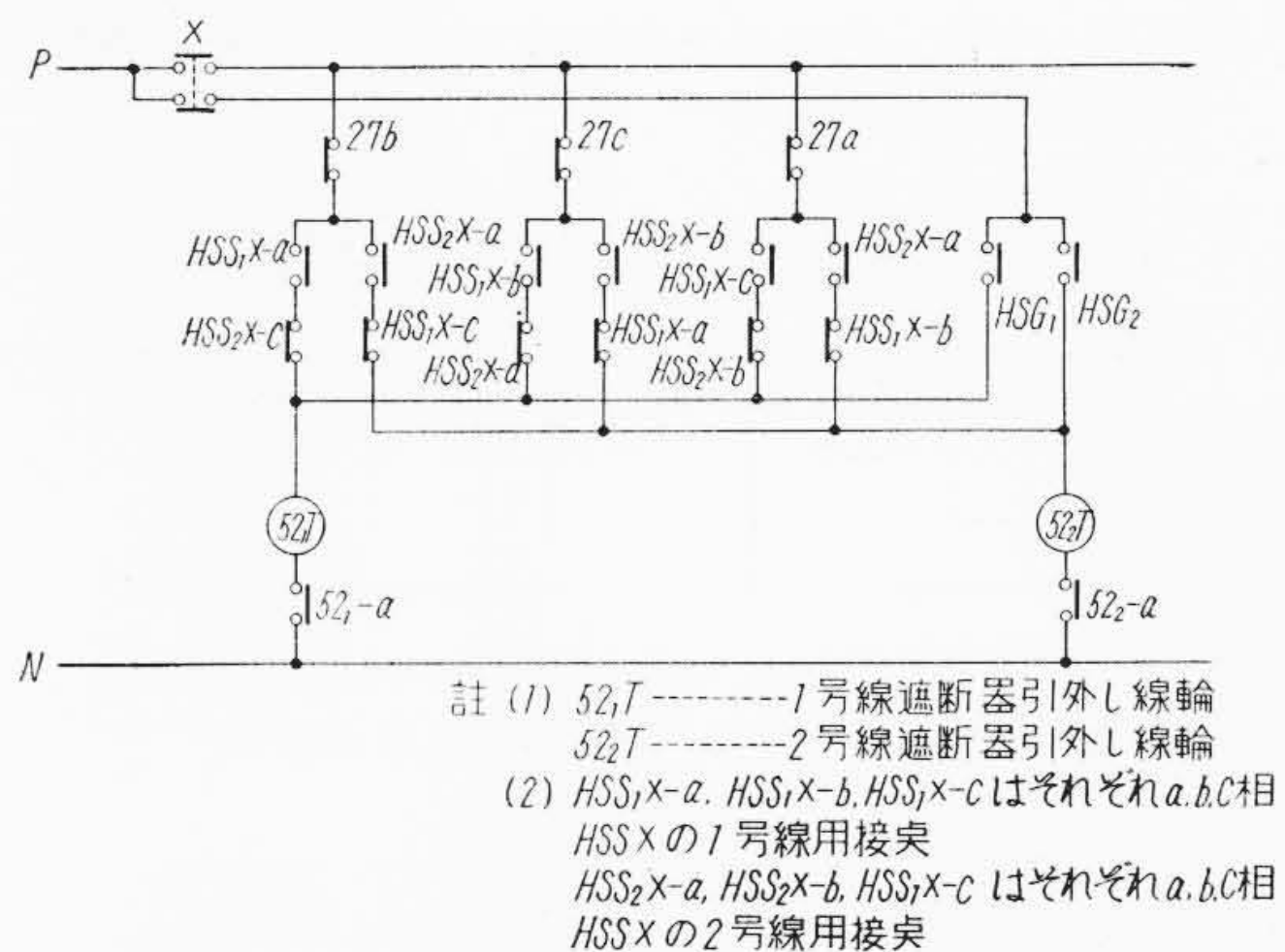
高速度差電圧継電器	短 絡 相		
	a-b	b-c	c-a
27A (V _{ab} ~V _{bc})	○	○	×
27B (V _{bc} ~V _{ca})	×	○	○
27C (V _{ca} ~V _{ab})	○	×	○

○ ----- 継電器動作
× ----- 継電器不動作

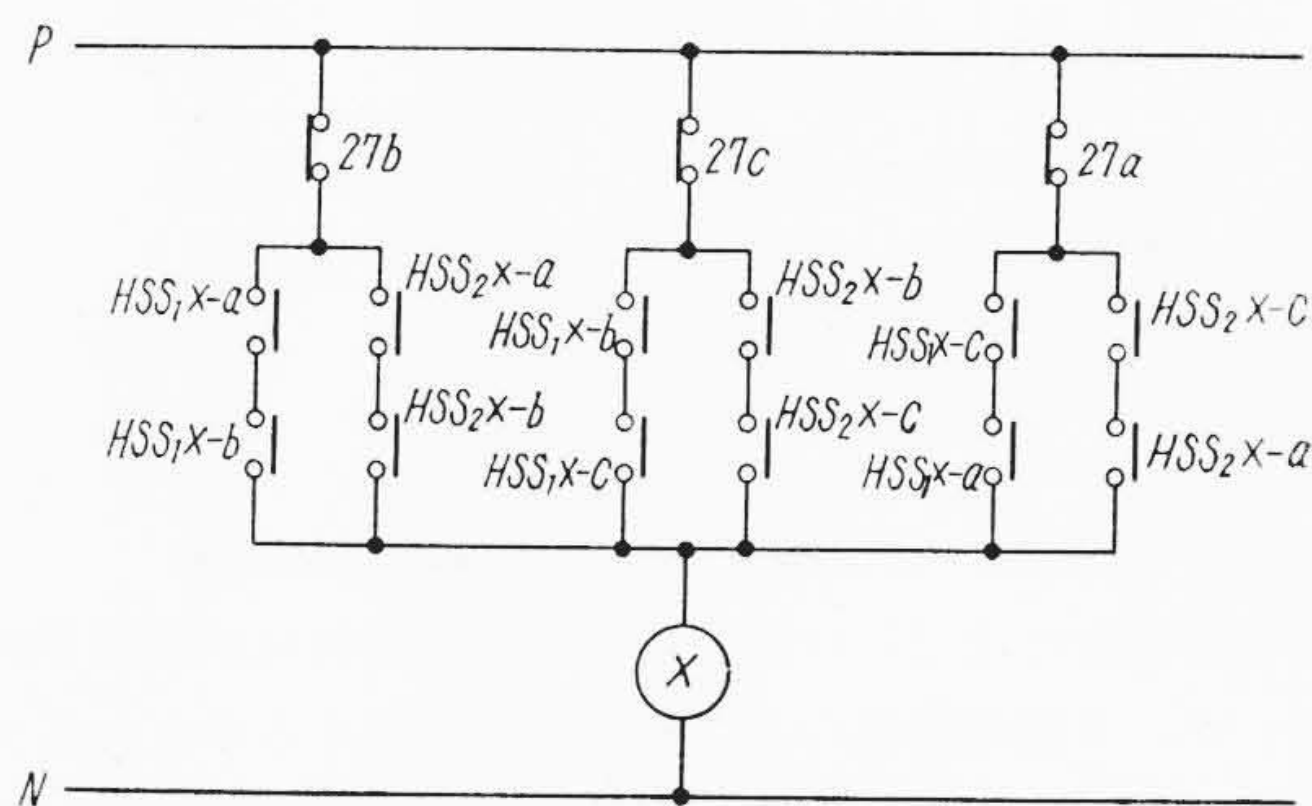
の動作は下記のようなのである。

- 単一な故障に対しては従来と同様の保護を行う。
- 保護区間内における同一回線内の異相地絡に対しては SG をロックし，HSS により故障回線を遮断する。
- 保護区間内，2回線にまたがる2線異相地絡時においては HSS をロックし，SG により進相回線を遮断する。
- 保護区間内における3線地絡時には HSS により短絡回線を優先遮断する。
- 区間内外にまたがる2線異相地絡時は進相回線を優先遮断する。

第6図は本方式のスケルトンダイアグラムで，主保護継電器としては従来同様，高速度選択短絡継電器 (HSS) と高速度選択接地継電器 (HSG) あるいは選択接地継電器 (SG) を用い，故障種別の判別を行うため高速度補助継電器 HSSX を使用する。また故障相の判別には各相の差電圧により動作する CDV 型 QT 式高速度差電圧継電器 27 (0.5~動作) を用いている。2線異相地絡時における 27 の動作は第6表に示すとおりで，たとえば b，c 相 2線地絡時は，a 相および b 相の 27A，27B 動作し，V_{ca}，V_{cb} の差電圧による c 相の 27C は不動作となる。



第7図 短絡，進相優先保護継電方式引外し回路



註は第7図(2)に同じ

第8図 短絡，進相優先保護継電方式引外しロック回路

第7図は本方式の引外し回路で，各種故障発生時の動作は下記のようなになる。

3.1 区間内同一回線での2線異相地絡時

たとえば1号線 b 相，2号線 c 相の地絡を考えると，27A，27B 動作，27C 不動作となり，第7図の HSS-b による引外し回路を確保する。

一方第8図に示す引外しロック回路において，27C の接点につらなる b 相，c 相の HSS はともに1号側に動作するゆえ，Xリレー動作し第7図の HSS の引外し回路を確保するとともに SG をロックし，かくて故障回線の1号側のみを遮断し，SG による健全線の誤遮断を防止する。

3.2 区間内，2回線にまたがる異相地絡

たとえば1号線 b 相，2号線 c 相地絡を考えると，やはり 27C 不動作にて，b 相の保護回路が確保されるが，第8図において HSS は1号側，2号側ともに b，c 相が不動作ゆえ，Xリレー不動作となり，HSS による引外し回路はロックされ，SG によつて進相回線である1号線を優先遮断し，2号線の保護については，単独時の保護継電器による。

第 7 表 短絡，進相優先保護継電方式による各種故障時の同時保護範囲

#1	P_1	P_2	P_4	P_6	P_7
P_1	■	■	■	■	■
P_2	■	■	■	■	■
P_4	■	■	■	■	■
P_6	■	■	■	■	■
P_7	■	■	■	■	■

(a) 区間内一回線で 2 線異相地絡

#1	P_1	P_2	P_4	P_6	P_7
P_1	■	■	■	■	■
P_2	■	■	■	■	■
P_4	■	■	■	■	■
P_6	■	■	■	■	■
P_7	■	■	■	■	■

(b) 区間内他回線にまたがる 2 線異相地絡

#1	P_1	P_2	P_4	P_6	P_7
P_1	■	■	■	■	■
P_2	■	■	■	■	■
P_4	■	■	■	■	■
P_6	■	■	■	■	■
P_7	■	■	■	■	■

(c) 区間内他回線にまたがる 3 線異相地絡

(#1は1相 #2は同一地處に
おける他の2相)

区間内	P_1	P_2	P_4	P_6	P_7
P_8	■	■	■	■	■
P_9	■	■	■	■	■
P_{10}	■	■	■	■	■
P_{11}	■	■	■	■	■
P_{12}	■	■	■	■	■

(d) 区間内外にまたがる 2 線異相地絡

3.3 区間内，2 回線にまたがる 3 線異相地絡

この場合には 27 の動作による故障相判別が期待されないが，2 線地絡側の HSS は 2 個動作するゆえ，X リレー動作し，HSS による引外し回路が形成される。また第 7 図の引外し回路において，HSS₂-c 動作，HSS₁-b 不動作により 2 号側遮断器，すなわち短絡側を優先遮断する。

3.4 他区間にまたがる 2 線地絡

この場合には 3.1 の時と同様，27 による故障相判別を

行つて故障回線の遮断器の引外し回路を確保する。

以上各種故障時の継電器の動作を第 7 表に示す。これより明らかなように，かかる異相地絡時，健全線の誤遮断を防止するとともに，まず一回線の優先遮断を行い，他回線の地絡故障の消滅をねらうと同時に整然たる継電器の動作を行わしめることができる。

4. 結 言

以上異相地絡時における継電器の動作，および短絡，進相優先遮断保護継電方式について述べたが，異相地絡現象自体についてもさらに究明される必要があるとともに，一回線優先遮断のほか回線に及ぼす影響についても今後の研究にまつものである。また本保護継電方式自体としても，第 7 表から明らかなように，必ずしも短絡相が優先されない故障範囲を残しており，実用的にはほぼ満足できるとしてもまだ完璧とは考えられない。しかしながら異相地絡の問題は機器の保護，電力サービスの向上という観点から今後ますますその重要性を増すことと考えられ，われわれとしても本問題に対する研究を今後も続けたいと考えており，この点から，本文が関係者各位の御参考になれば幸と考える次第である。

終りに臨み，本方式の開発に種々御指導を賜つた中部電力株式会社系統技術課加藤氏に対し深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 電力技術研究所主催，継電方式委員会資料 No. 247, 248, 257
- (2) 三田：日立評論 38, 755 (昭 31—6)

- ◎数種のオーステナイト系耐熱合金の高温機械的性質
- ◎18-8 ステンレス鋼熔接棒被覆剤中の Si の挙動
- ◎ダイキャストダイス鋼 DAC および DBC の空冷処理に硬度，変形率および高温機械的性質について
- ◎双物鋼の靱性に及ぼす熱処理の影響
- ◎真空熔解した Cr-Mo 鋼 (SCM 2) の諸性質について
- ◎大型鍛鋼品の内部亀裂の性状について

- ◎鍛鋼焼入ロールの製造について
- ◎マレブル用白銑ガス成分について
- ◎黒心可鍛鉄の第二黒鉛化機構の研究
- ◎黒心可鍛鉄の汚水に対する耐蝕性について
- ◎鉄鉄熔解に関する二，三の考察
- ◎鉄鉄熔湯のガス含有量の変動要因について
- ◎球状黒鉛鉄の耐摩耗性に及ぼす主要元素の影響
- ◎強力導電用 Cu-Cr-Ti 三元素合金の研究
- ◎Al 青銅に関する研究 (第 1 報)