

母線保護継電方式

The Bus Bar Protective Relay System

高 林 乍 人* 三 田 勝 茂**
Hayato Takabayashi Katsushige Mita
井 上 浩** 渡 井 三 夫***
Hiroshi Inoue Mitsuo Watai

内 容 梗 概

最近、超高圧変電所あるいは新鋭発電所における母線保護は、母線故障が系統に与える影響がきわめて大きいため、重要な問題となってきた。また、系統容量の増加に伴い、故障電流が変流器定格の十数倍以上となり、かつ故障過渡時における直流分の含有は故障端変流器をはなはだしく飽和せしめ、故障の内外判別を困難にしてきた。今回、日立製作所においては、比率差動方式による新しい母線保護継電装置を開発し、150 MVA 短絡発電機を使用して故障試験を行い、実系統において考えられる最も過酷な条件においても正確な動作を行うことを確認し、東京電力北東京変電所その他に納入したのでその概要を紹介する。

1. 緒 言

最近、超高圧変電所あるいは新鋭の発電所における母線保護は、背後電力の増加とともに、故障電流が急激に大きくなり、定格電流の十数倍ないし数十倍となってきたので、きわめて重要な問題となってきた。特に外部故障では故障回線に故障電流が集中して、この回線の変流器（以下CTと略称する）は、母線につながる他回線のCTに比べて著しく飽和する結果、CT自体として経済性を考えないで、あらゆる一次電流に対して飽和しないような特別なものとしないう限り、故障流入側CTと流出側CTとの間に大きな特性差を生じ、従来の差動保護方式では、内外故障の判別が困難となってきた。

日立では、上記のような過酷な条件に対しても、標準のCTを使用して十分高速度に母線保護ができるように、同一CTの二次電流のベクトル和を動作コイルに、整流したスカラー和を抑制コイルに与える比率差動特性をもった母線保護方式を開発し、150 MVA 短絡発電機による実負荷試験で、故障電流がCT定格値の40倍以上となり、かつ故障発生時の過渡時100%直流分を含む場合にも正規動作することを確認した。

本保護方式は東京電力北東京超高圧変電所その他の重要変電所に納入され、すでに実用され好成績をあげているが、以下にその概要を述べる。

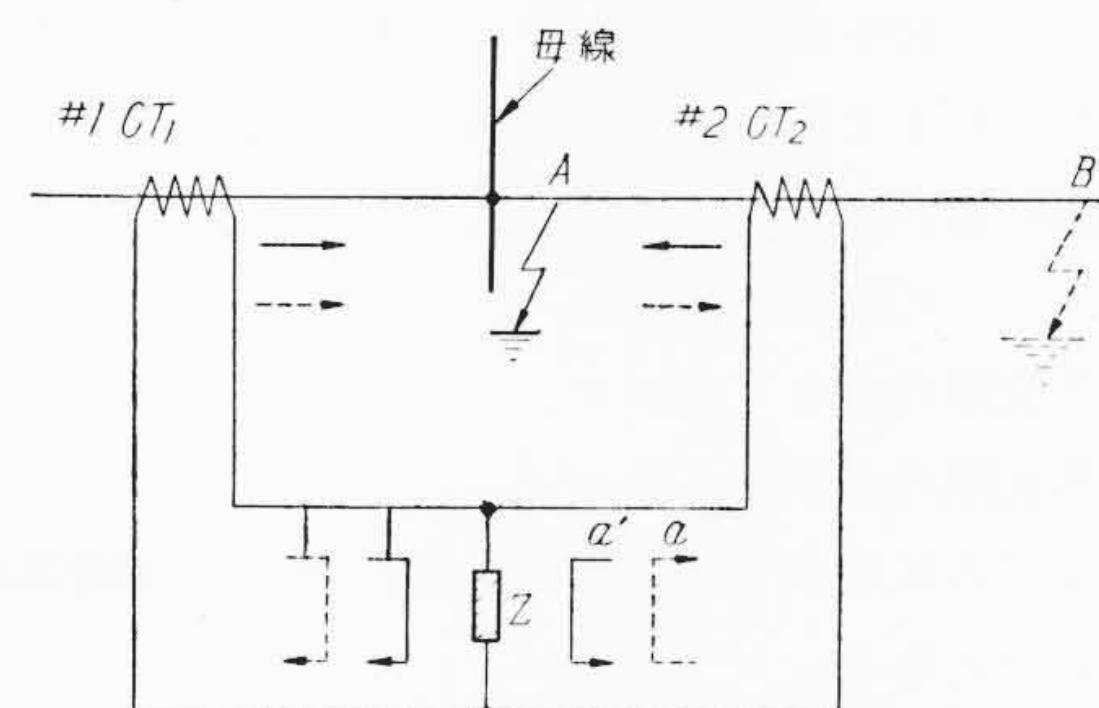
2. 母線保護方式の原理

まず、保護される母線について、単純に単相回路として扱い、多端子回路について任意の点に故障が発生したとき、健全回線のグループと故障回線のグループとにわけ、第1図に示されるように#1と#2とのCTで集約し、簡単な2端子回路として、その原理を述べる。

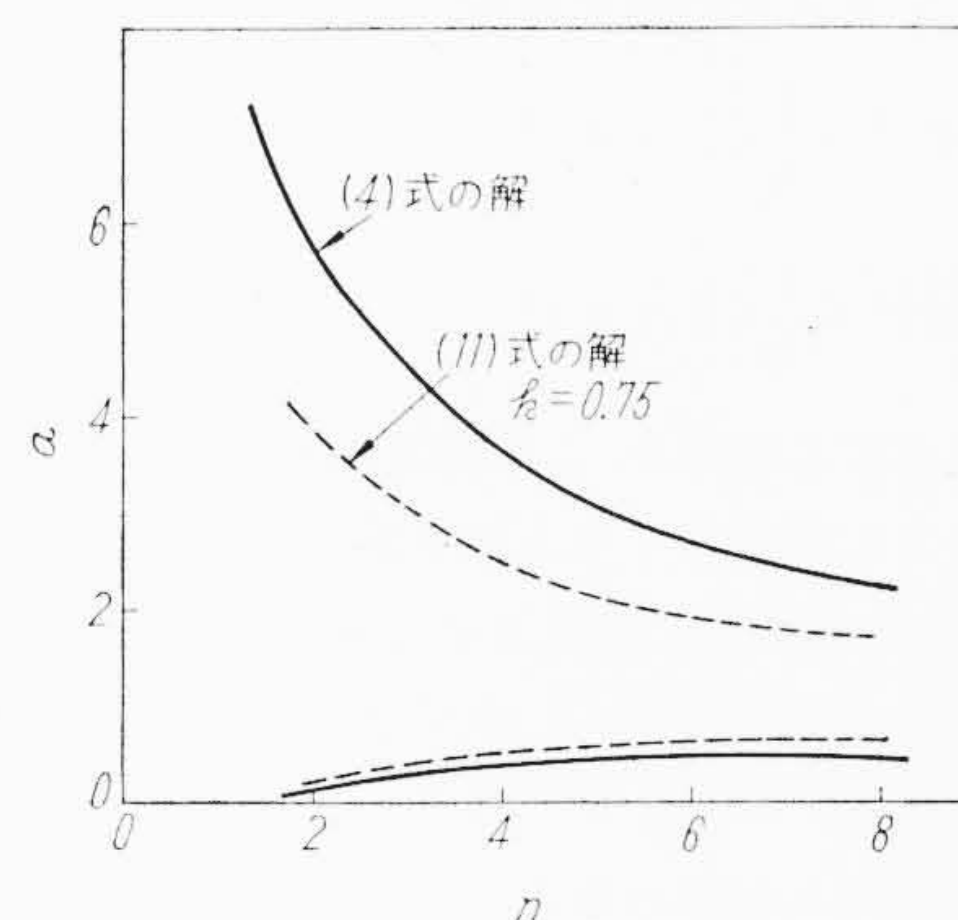
さてCTに誤差がない場合そのどちらの出力電流をも1として見ることができる。このとき故障点がAなる母線内部では、実線で電流の方向が示されるように流れ、CT₁、CT₂の差動接続されたZには、CT₁、CT₂の出力電流の和が流れる。

故障点がBなる外部故障では点線方向の電流となり、ZにはCT₁、CT₂の出力電流の差が流れ、その値は零である。

したがってCTの誤差が非常に小さいならば、この差動接続された所に過電流継電器を置いておけば、母線の内外の故障を判別し、



第1図 母線保護継電方式原理図



第2図 抑制をかけたときの変流器に許しうる誤差

内部故障のみを検出保護することができる。

しかし、CTの誤差がかなり生じる場合では、外部故障でもそれらの不平衡電流が差動回路に流れ、誤動作するおそれがある。この点について、ふたたび第1図について考え、CTは比誤差のみを生じ、位相誤差を無視すると

#1 CTの出力電流を1

#2 CTの出力電流を外部故障において a 、

内部故障において a' 、とすると

Z点に流れる電流は、内部故障のとき $(1+a')$ であり、外部故障のとき $(1-a)$ である。

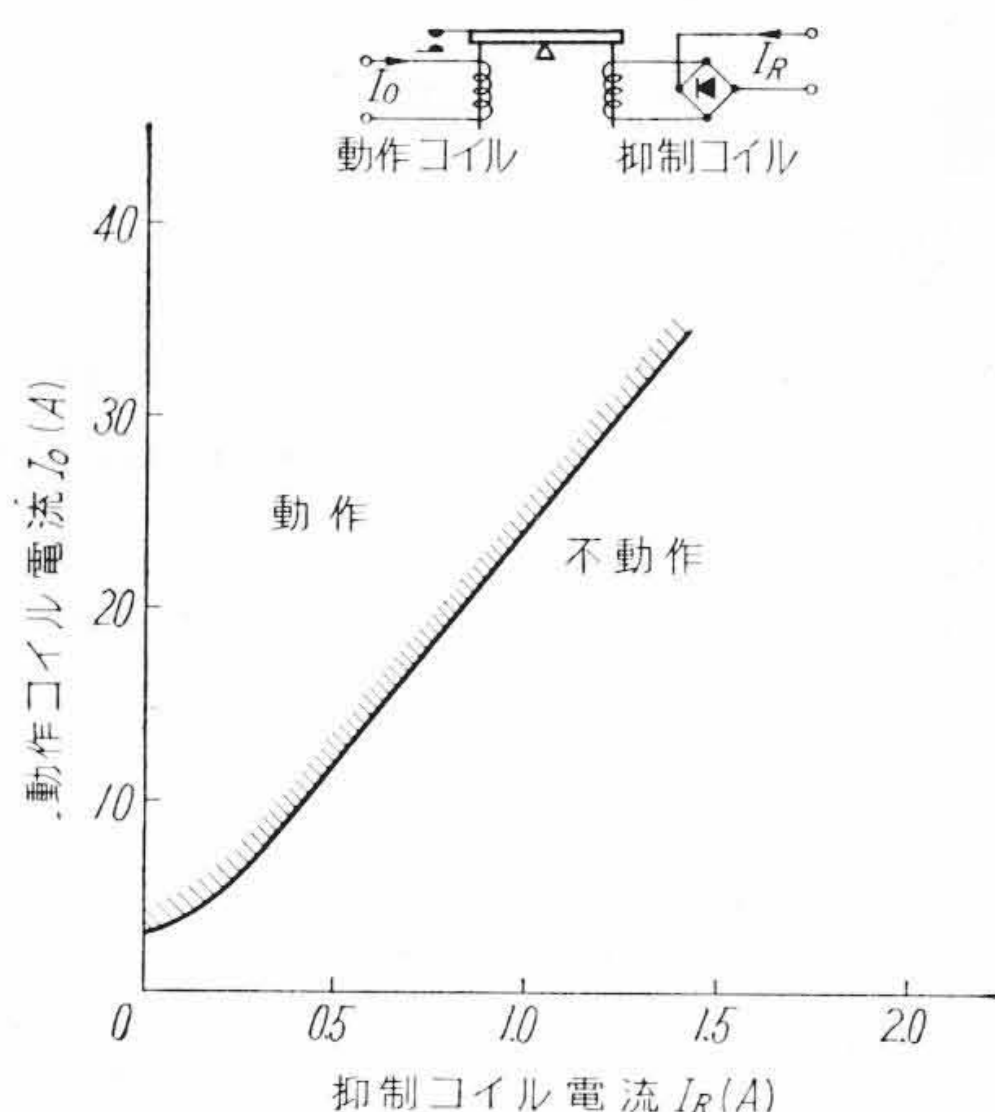
母線外部故障時における $(1-a)$ なる値は、故障電流の大きさと、CTの過渡特性によってきまるが、単なる差動方式ではこの値が、内部故障時の最低動作電流 $(1+a')$ を容易にこえることになり、あらゆる系統条件で、内外故障を判別し、正規動作させることは困難である。

ここに述べる方式は、内部故障か外部故障かの判別を各CT二次

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所国分工場

***日立製作所多賀工場



第3図 供試継電器の特性

電流のベクトル和と、整流したスカラー和との比較を利用して行うもので、スカラー和を抑制電流に、一方動作電流は、Zの点に流れる交流電流をそのまま用いるのである。

以下第1図に従い、計算式で示すと

動作コイルに流れる電流は

外部故障のとき $1 - a$ (1)

内部故障のとき $1 + a'$ (2)

また抑制コイルに流れる電流は、外部、内部に無関係に $(1 + a)$ に比例したものとなる。

継電器のトルクは電流の自乗に比例するものとし、抑制トルクの比例定数を $1/n$ とすれば、(1)、(2) 式より継電器が正規動作するためには、次式が成立せねばならぬ。

$$(1 + a')^2 > \frac{1}{n} (1 + a')^2 \quad \text{..... (3)}$$

$$(1 - a)^2 < \frac{1}{n} (1 + a)^2 \quad \text{..... (4)}$$

この条件の成立する範囲が、この継電器を適用しうる範囲である。 n をパラメータとして計算すると第2図となる。たとえば $n = 2$ のとき、(3)、(4) 式を同時に満足させる a を求めると

(3) 式より $n > 1$ ならばよく、 $n = 2$ としたことは当然(3)式の条件を満足する

(4) 式より限界の a を求めると

$$(1 - a)^2 = \frac{1}{2} (1 + a)^2 \quad \text{..... (5)}$$

$$a^2 - 6a + 1 = 0 \quad \text{..... (6)}$$

$$a = 3 \pm \sqrt{8} = 0.17 \text{ または } 5.8 \quad \text{..... (7)}$$

(5) 式の二つの根を a_1 、 a_2 とすれば当然 $a_1 = \frac{1}{a_2}$ である。

この解を説明すると、第1図で #2 CT の出力電流が #1 CT の出力電流の 5.8 倍に変化してもこの母線保護継電器は正規動作することになる。

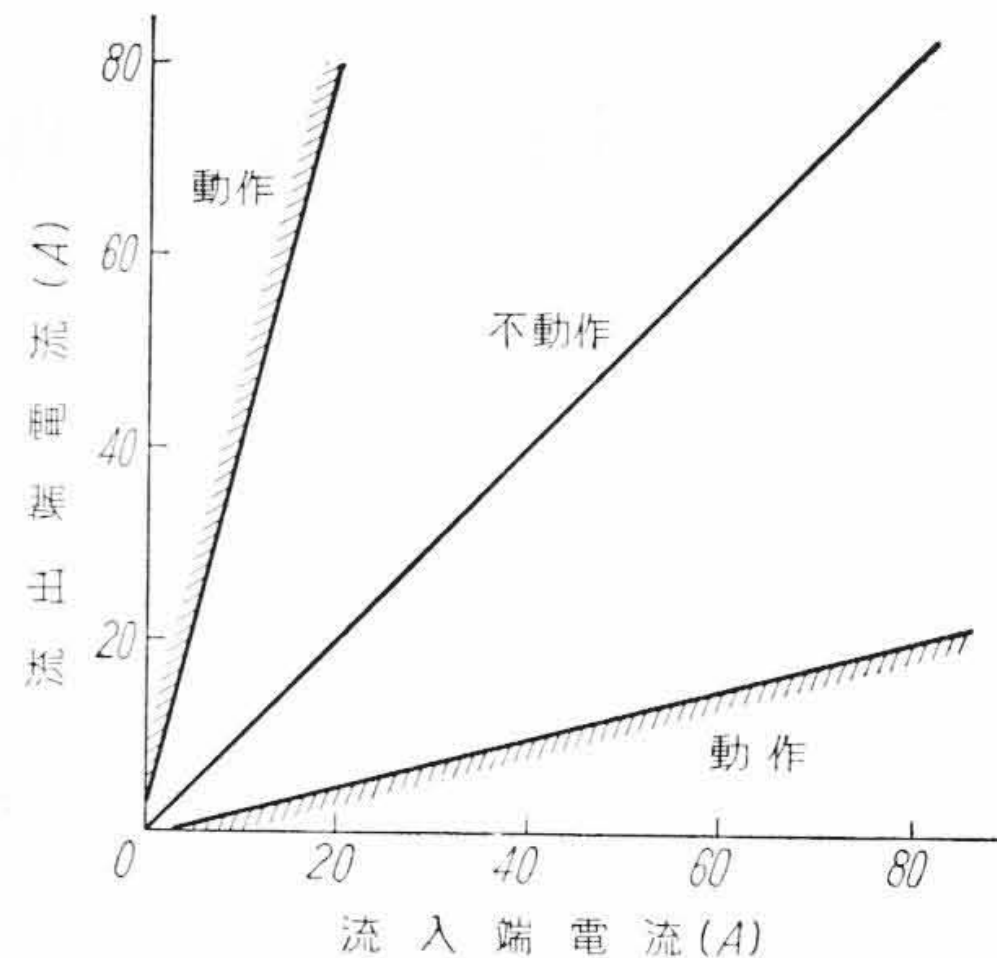
n が 1 に接近するほど、この母線保護継電器の CT に許す誤差が大きくなるが、その動作トルクと抑制トルクとの差、

$$(1 + a)^2 - \frac{1}{n} (1 + a)^2 \quad \text{..... (8)}$$

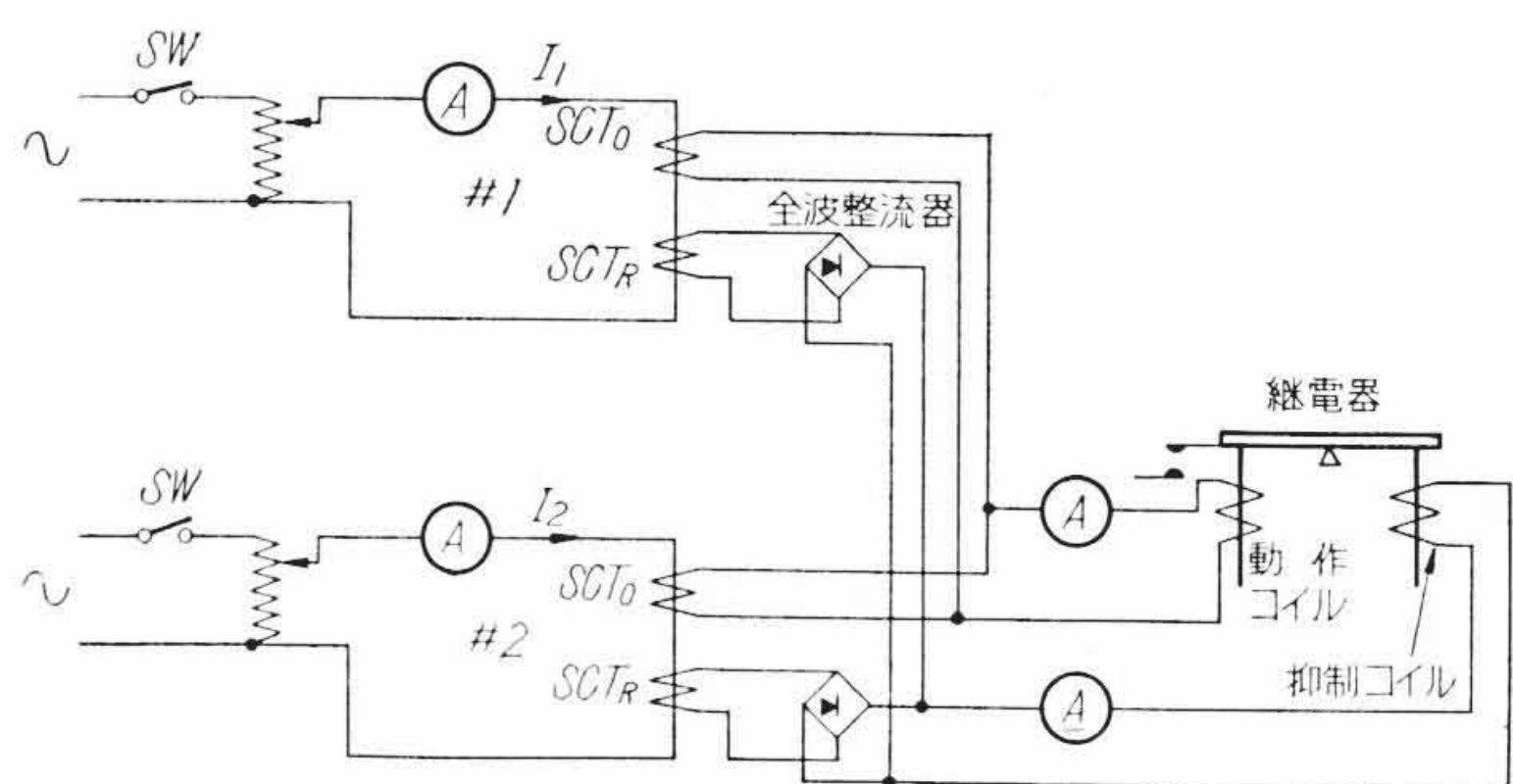
が小さくなり、動作力が弱まり継電器動作が不確実になる恐れがある。

抑制電流は各 CT 二次電流を全波整流してこれらを総合している。

この合成がうまくゆかない場合、すなわち抑制電流が $1 + a$ ならず $1 + ak$ なる場合には、(3)、(4) 式は



第4図 2端子系統(第5図)における動作特性



SCT₀ : 動作側総合変流器

SCT_R : 抑制側総合変流器

第5図 単相2端子の原理試験回路

$$(1 + a)^2 > \frac{1}{n} (1 + ak)^2 \quad \text{..... (9)}$$

$$(1 - a)^2 < \frac{1}{n} (1 + ak)^2 \quad \text{..... (10)}$$

この(10)式より a の限界を求めると

$$a = \frac{(n + k) \pm \sqrt{4nk}}{n - k} \quad \text{..... (11)}$$

となる。第2図に $k = 0.75$ の場合を点線で示した。整流電流の合成がうまくゆかないと保護範囲が狭くなるのがわかる。

3. 静 特 性

前述のように、抑制トルクとして直流を用いるので、継電器としては、直流でも交流でも同等に動作する平衡かん形の継電器を採用した。

第3図はこの継電器の動作特性を示し、母線保護装置としての比率特性は第4図に示すとおり、任意の回線数の母線で、 $\frac{\text{流入電流} - \text{流出電流}}{\text{流出電流}} = 300\%$ となるようにした。上記の特性は、普通の静特性試験として、流出入側電流値を除々に変化して測定した場合も、急にスイッチを入れて、スイッチインしたときの瞬間的動作を確めた場合も、比率特性に変化は全く見られず安定であった。第5図はこの場合の試験回路を示す。

なお継電器および入力装置の数が多くなるのを避けるため、三相回路に対して1組の総合変流器(以下 SCT という)を使用し三相を単相に変換している。

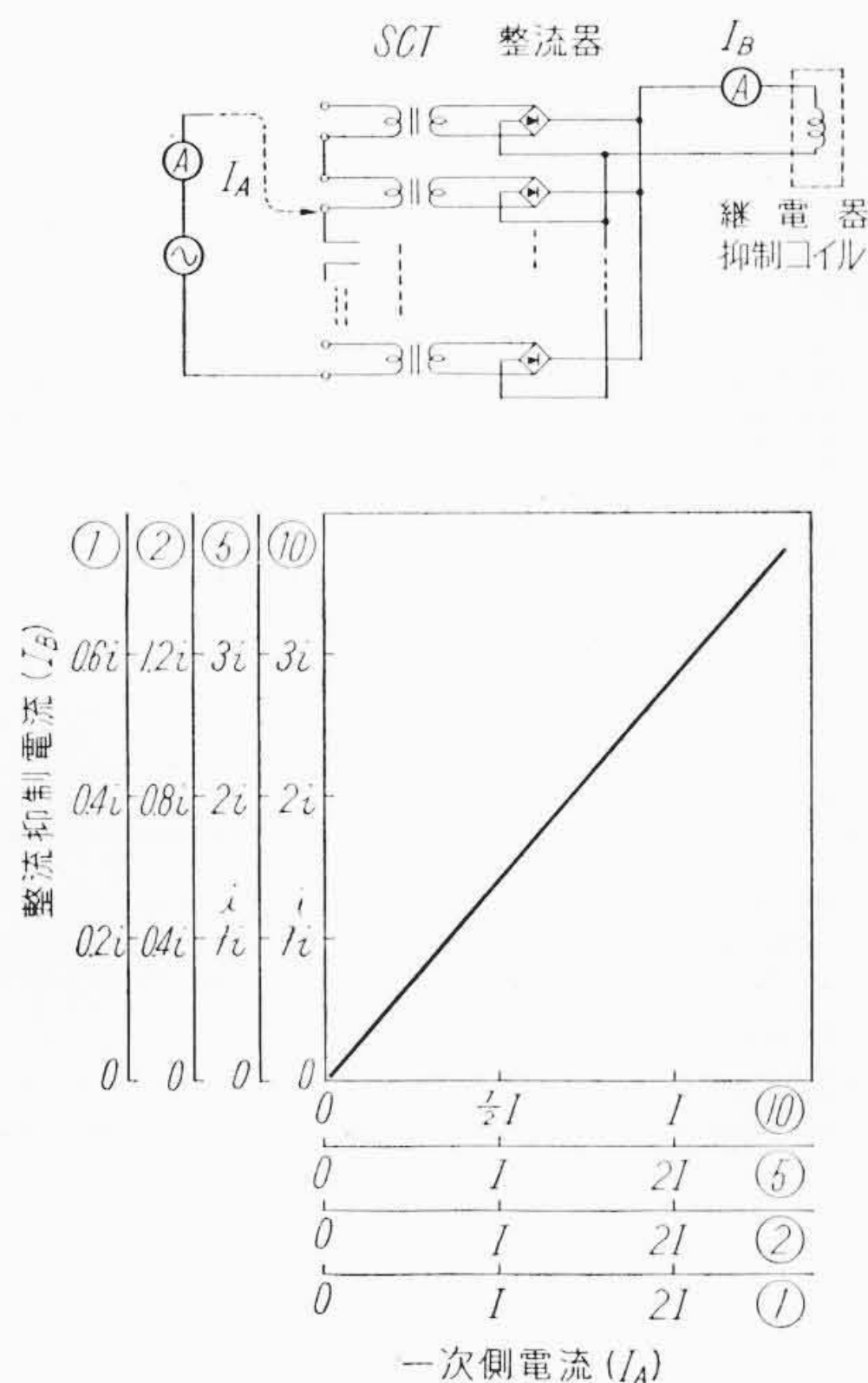
SCT は三相短絡の場合を基準として変流比を決定し、したがって継電器の感度は故障種別および故障相によって次のようになる。

三相短絡を 1 とすれば

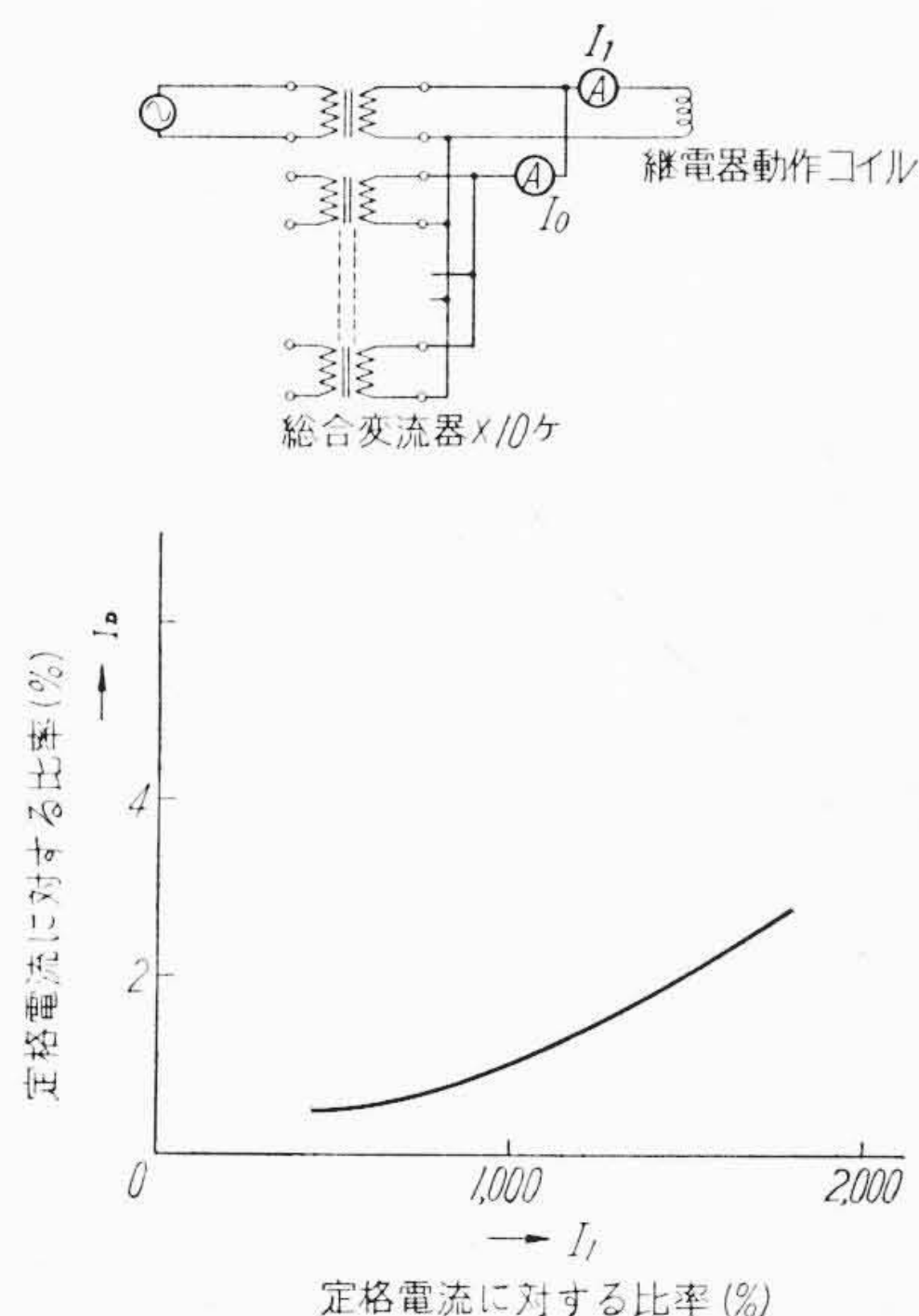
R S 相二相短絡 0.58

S T 相二相短絡 0.58

R T 相二相短絡 1.16



第6図 抑制コイル側総合変流器特性



第7図 動作コイル側総合変流器特性

なお、端子数が多くなった場合、抑制回路、動作回路とも、端子数の影響を受けないことが望ましい。

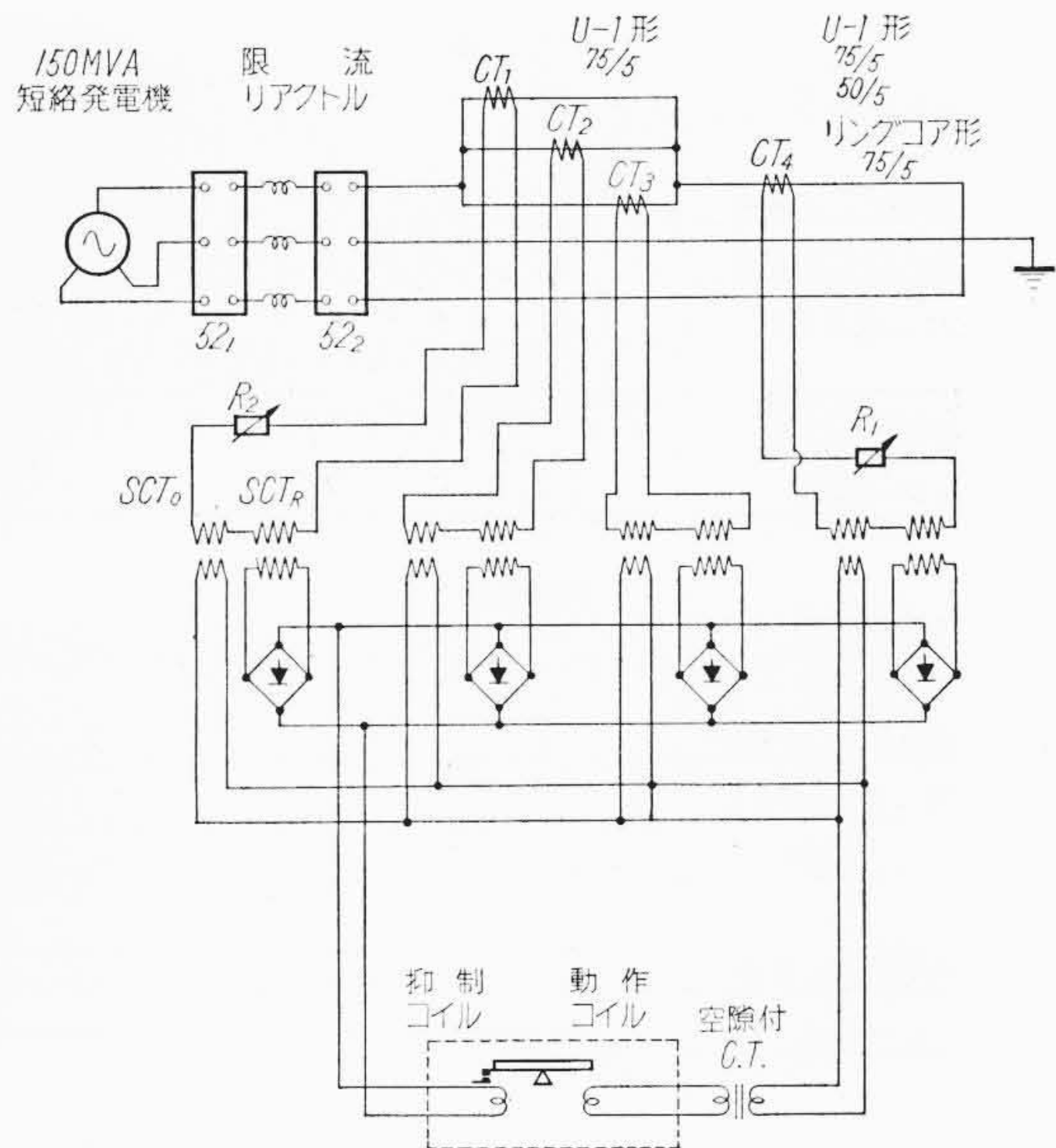
すなわち、抑制電流 $I_r \propto \sum_{k=0}^n |I_k|$

動作電流 $I_0 \propto \sum_{k=0}^n I_k$

とすれば n のいかに関係なく上式が成立することが望ましい。また休止端子がある場合、この端子のCTの二次よりの励磁インピーダンスを通しての分流が極力小さいことが必要である。

(1) SCT を 10 個用いて抑制コイルの合成電流を求めた結果を第6図に示す。SCT の二次側は 10 端子分を接続し、一次側をそれぞれ 10, 5, 2 および 1 端子として電流を流した場合で、一次電流と抑制直流電流との関係は、直線となり抑制直流電流は、ほぼ端子数に無関係に各CTの一次電流の和に比例し、抑制は理想的に行われることがわかる。

(2) 同じく SCT を 10 個用いた動作コイルの交流電流を求めた



第8図 150 MVA 短絡発電機による試験回路

結果を第7図に示す。

これは一次は 1 端子のみに電流を流し、他の 9 端子を開放した場合の分流特性を示すものである。この状態での分流効果は定格動作電流の 2,000% において、3% 以下で端子数が多くなってもほとんど問題はなく外部故障ではむしろ安全側にあるといえることができる。

4. 150 MVA 短絡発電機による過渡特性試験

この母線保護継電装置の実際の系統における故障発生過渡時における特性を明らかにするため、150 MVA 短絡発電機を用い第8図のような試験回路で試験を行った。

すなわち、流入端 3 端子、流出端 1 端子よりなる母線を模擬し、

流入端側CTは 形式 U-1 75/5A

流出端側CTは 形式 U-1 75/5A

形式 U-1 50/5A

リングコア形 75/5A

第1表 150 MVA 短絡発電機による過渡試験記録

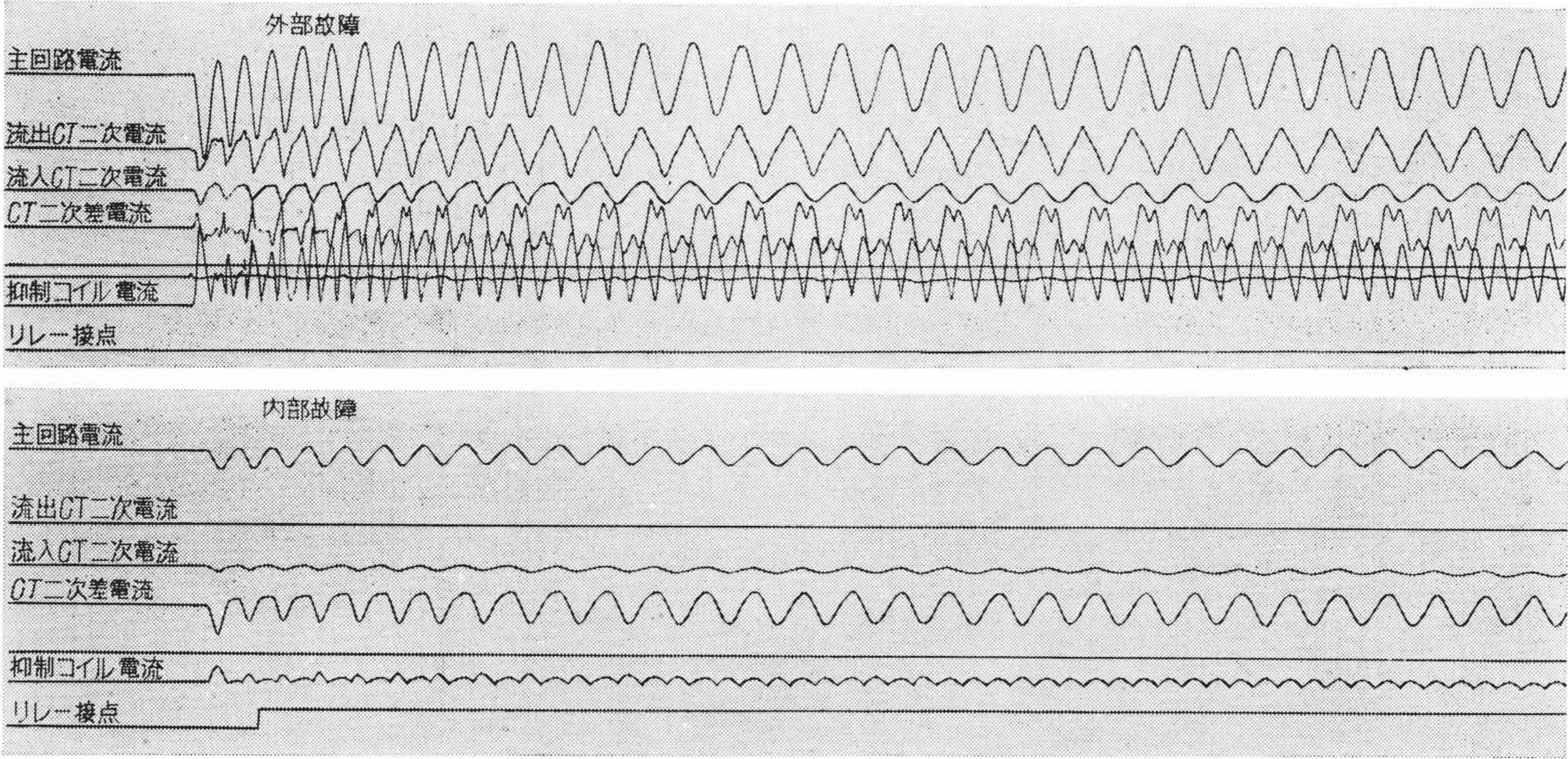
試 #	流出側CT	故障電流(実効値) A	投入位相角	リレー動作	摘要
A-5	U-1 75/5A	過渡値 1760 定常値 (1430)	0°(直流分最大)	不動作	外部故障
A-6	U-1 75/5A	1730 (1390)	0°	不動作	外部故障
A-13	U-1 75/5A	2140 (1480)	0°	不動作	外部故障
A-15	U-1 75/5A	2280 (1480)	90°(直流分最小)	不動作	外部故障
A-18	Ring Core 75/5A	2170 (1420)	0°	不動作	外部故障
A-19	Ring Core 75/5A	2100 (1450)	0°	不動作	外部故障
A-21	U-1 50/5A	2210 (1420)	0°	不動作	外部故障
A-24	—	420 (360)	0°	動作	内部故障
A-25	—	1770 (1400)	0°	動作	内部故障

試 #	流出側CT	故障電流(実効値) A	投入位相角	流出側CT回路VA	流出側CT回路VA	リレー動作	摘要
B-5	U-1 75/5A	過渡値 630 定常値 (520)	0°	120 VA	R	不動作	外部故障
B-6	U-1 75/5A	645 (520)	0°	115	L	不動作	外部故障
B-19	U-1 75/5A	2080 (1650)	0°	80	R	不動作	外部故障
B-21	U-1 75/5A	2050 (1660)	0°	120	R	不動作	外部故障
B-23	U-1 75/5A	2100 (1670)	0°	115	L	不動作	外部故障

注：(1) 流入側CTはU-1 75/5Aのみとする

(2) 故障電流過渡値は第1波目を示し()内は定常値を示す

(3) 試験回路は第8図参照



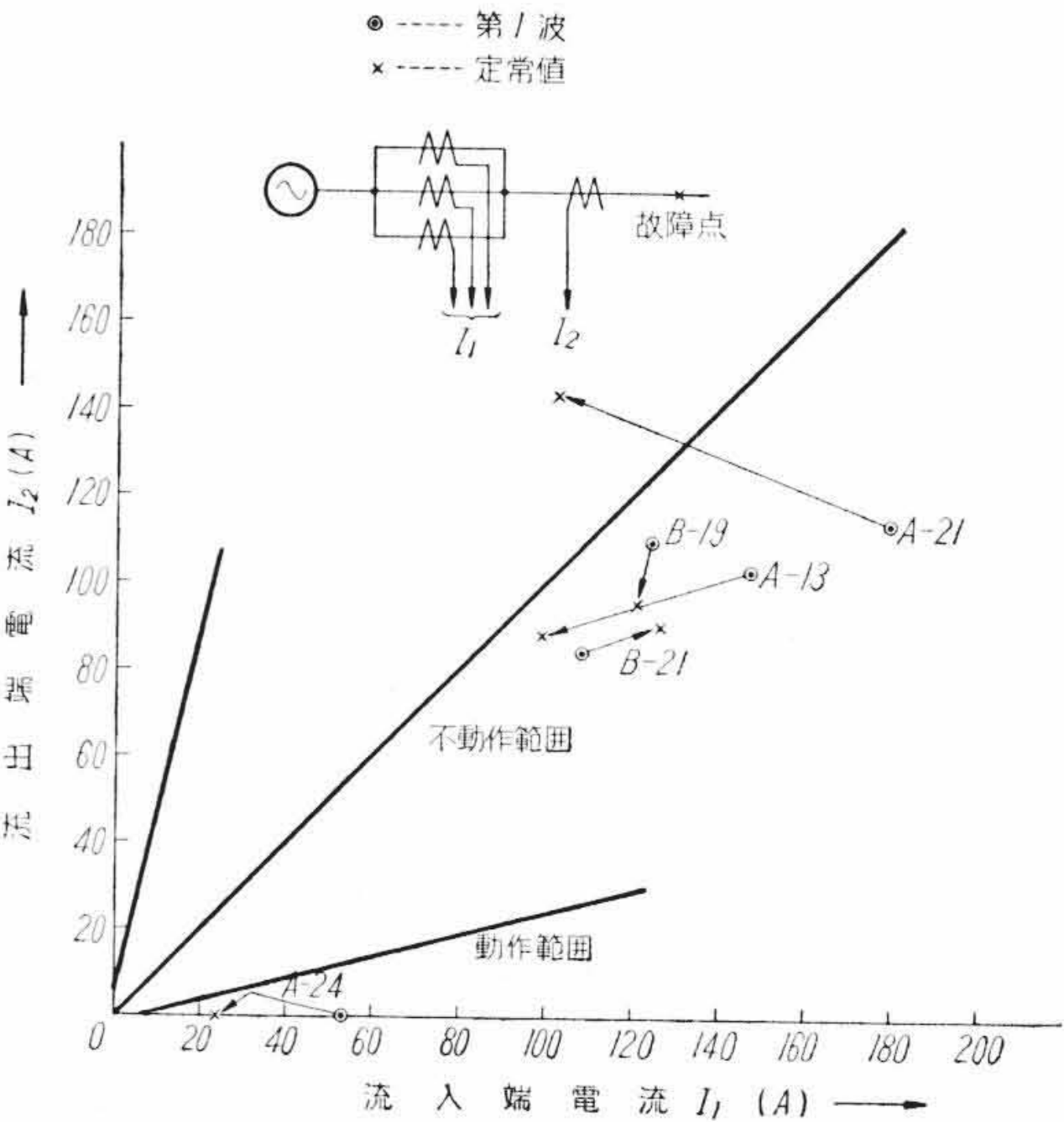
第9図 動作オシログラムの一例

の3種類を切換え使用，CTの種類による影響をもみた。また故障電流の直流分を抑制するため，故障発生用投入スイッチの位相角制御を行い，直流分最大（投入電圧位相角0°目標）および最小（投入電圧位相角90°目標）の場合について試験を行った。

その代表的オシログラムは第9図のようであり試験記録の一部を第1表に示す。

試験は初め正規の状態外部故障相当の過渡電流（流出端において）1,700～2,200A（CT定格電流の22～30倍）で行ったが，投入位相角の影響，すなわち直流分の影響はなく正規動作し，また内部故障相当の過渡電流420～1,770Aでは確実に動作している。

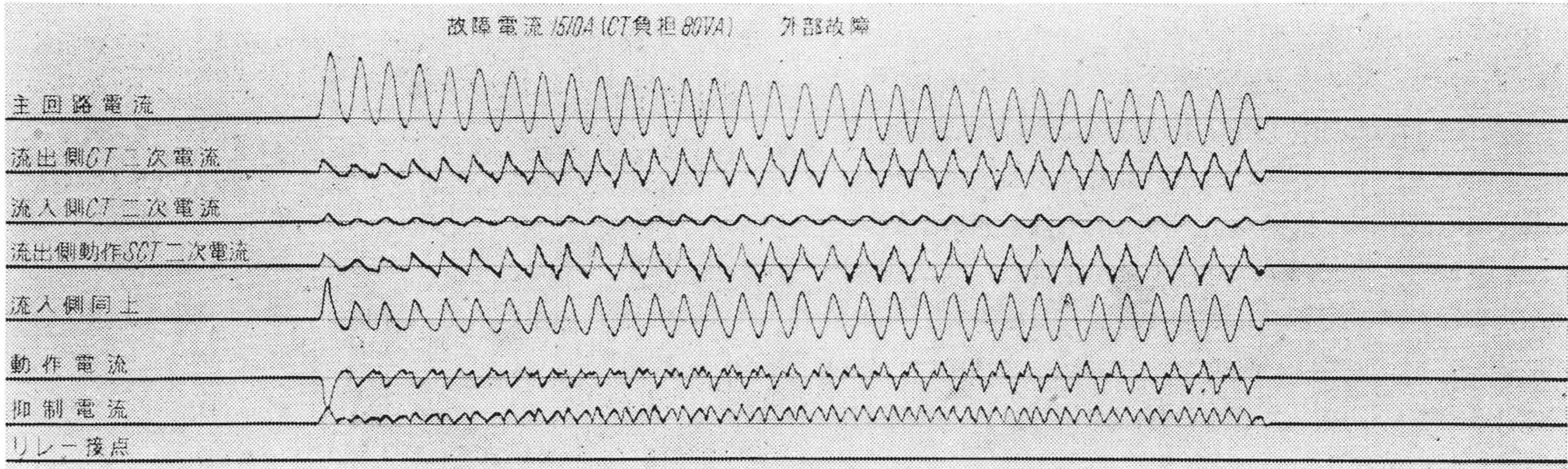
さらに流出端のみ50/5AのCTを用いて試験した。このような変流比の異なるCTを使用するときは，実際には補正回路をおくが条件を過酷にするため，ここではそのままとした。故障過渡値2,210A（CT定格の44倍の電流）で正規動作をしている。



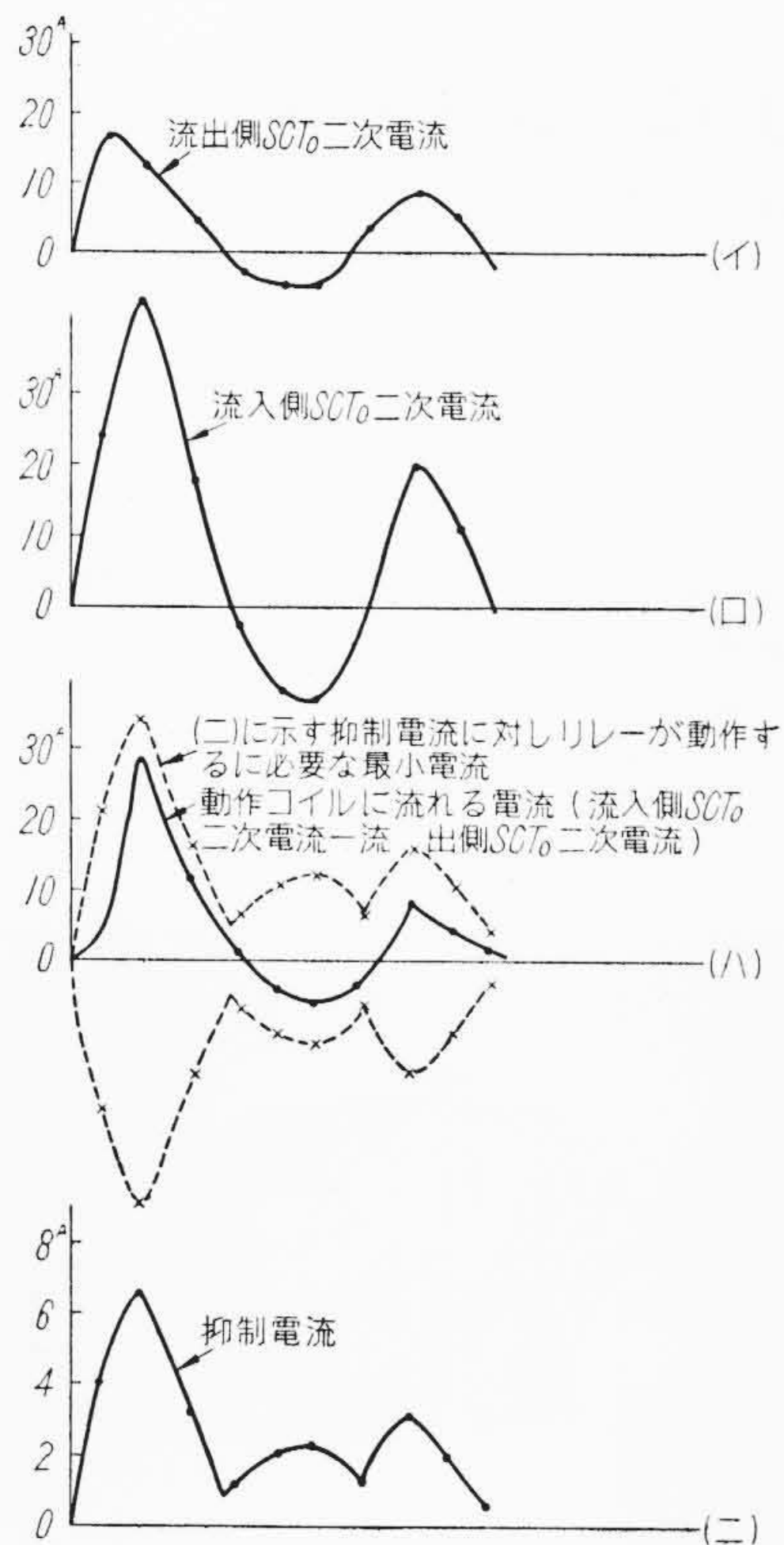
第10図 故障測定点と比率特性との比較

第 2 表 150 MVA 短絡発電機による 過渡特性試験記録 (1A形継電器)							
試 号	CT	故障電流(実効値) A	投 入 位相角	流出側CT 回 路 vA	流出側そ う入負担	リレー 動作	摘 要
1	U-1 75/5A	1,040	0°	40VA	R	不動作	外部故障
2	U-1 75/5A	1,570	0°	40VA	R	不動作	外部故障
3	U-1 75/5A	1,530	0°	40VA	R	不動作	外部故障
4	U-1 75/5A	1,070	0°	40VA	R	不動作	外部故障
5	U-1 75/5A	1,610	0°	40VA	R	不動作	外部故障
6	U-1 75/5A	550	0°	40VA	R	動 作	内部故障
1'	U-1 75/5A	1,510	0°	80VA	R	不動作	外部故障
2'	U-1 75/5A	2,050	0°	80VA	R	不動作	外部故障

さらに 75/5A の CT を用いた場合，二次負担を 120 VA（定格 40 VA の 3 倍）にし，負担が抵抗 R の場合およびリアクタンス L の場合について，外部故障電流 2,000 A 以上の試験を行ったが安定に正規動作している。



第11図 動作オシログラム (外部故障)

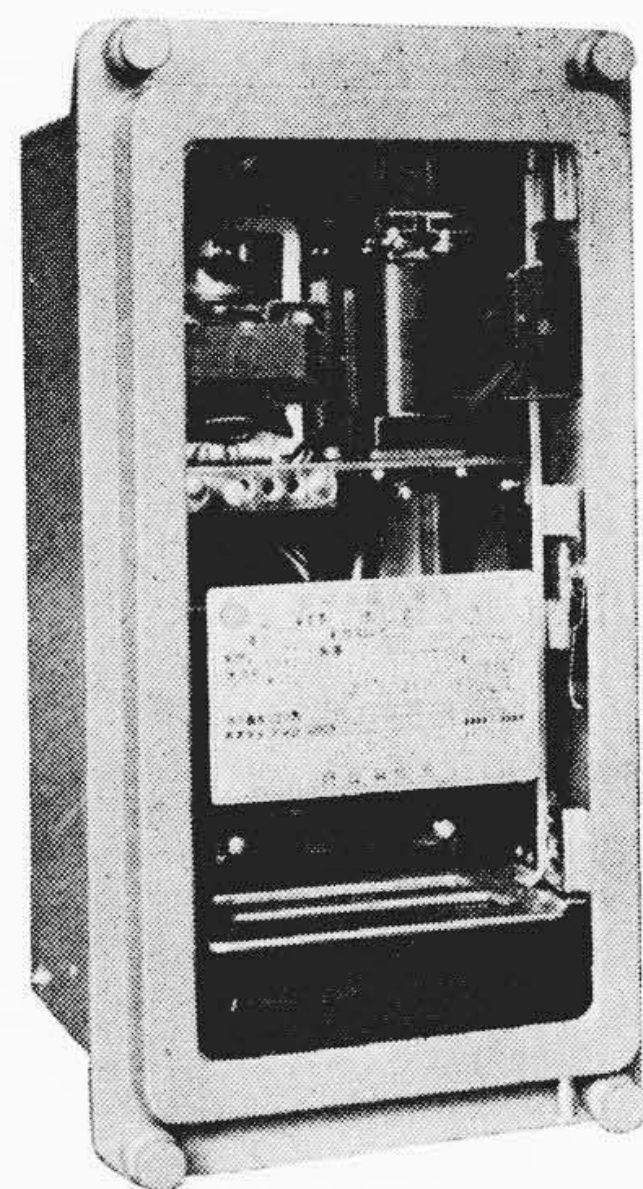


(故障発生初期を示す)
第12図 動作オシログラム

C Tの負担を増加することにより、それだけC Tの励磁電流が増加し、C Tは飽和する方向にむかうから、この試験は定格値の約80倍相当の過電流試験になるといってもよいであろう。

第10図は上記の過渡時における流出入端電流と、リレーの比率特性の関係を示したもので故障電流が、100%直流分を含んで、しかもC T比が75/5、50/5Aと異なる場合でもなお十分余裕のあることを示している。

第2表は東京電力株式会社北東京変電所納の母線保護継電装置について150 MVA 短絡発電機を使用し、流入端9回路流出端1回路とし、内外故障の試験をした結果である。この場合、投入位相角0°(直流分最大)でC T負担を80 VAとし、故障電流はC T定格の27倍で異状なく正規動作をしている。なお、このときリレーは1 A形であるのでC T二次にはそれぞれ5/1Aの補助C Tをそう入した



第13図 ADB形D₁式母線保護継電器

ため試験はさらに過酷なものとなった。

第11図は故障電流を定格電流の20倍とし、C T二次負担を80 VAとした場合の外部故障試験のオシログラムである。

第12図は第11図の故障発生初期の部分を拡大したものであり、故障発生第一波の立上り瞬時においてはC Tはまだ飽和していないため、差電流はほとんど零に近く、電流が漸次立上るに従ってC Tの飽和のため差電流は大きくなり、内側へ曲った曲線を描いて急激に上昇している。一方抑制電流は流出入電流が相加わり、高い上昇率で立上り動作を完全に抑制している。また第一波の後半においては、流出側C Tと流入側C Tの飽和度の相違に基づく位相差が見られるが、このような位相の相違があると、抑制電流のほうは第12図(ハ)(ニ)の曲線に示すように零点になることがない。一方動作電流のほうは零点を通過しており、誤動作は完全に防止されている。第13図は本継電器ADB形D₁式母線保護継電器の外観を示す。

5. 結 言

以上、新しく開発された母線保護方式について、その概要を述べたが、超高圧変電所はもちろん、新鋭の発電所の系統容量増加に伴う短絡電流の増加あるいは回線数の増加があっても本方式によってその母線保護は十分達成することができるものと信じている。終りに、本方式の開発に対して種々ご指導いただいた東京電力株式会社石田係長ほか関係各位に深くお礼申しあげる。

訂 正

本誌別冊 No. 36 超高圧機器特集号(昭和35年5月発行)中に次のような誤りがありましたので訂正いたします。

訂 正 箇 所	誤	正
p. 37	第2図の図面(ただし説明は正しい)	p. 39の第10図の図面を入れる
p. 39	第10図の図面(ただし説明は正しい)	p. 37の第2図の図面を入れる