

変圧器差動保護方式

Differential Current Protective System for Transformers

清水 勝 良*

Katsuyoshi Shimizu

内 容 梗 概

変圧器の差動電流保護においては、励磁突入電流のために継電器が誤動作することがあるので、この防止対策として従来から種々の方式が考案されているが、励磁突入電流は差動継電器に対しては故障電流とよく似た作用をするので、この解決には困難な問題が含まれている。

本稿ではまず励磁突入電流の性質と、故障電流との差異について述べたのち、誤動作防止装置をもった最新の差動保護方式を紹介する。

1. 緒 言

変圧器の保護に差動電流方式を適用するにあたっては、励磁突入電流による誤動作のためほかの機器の保護に比べ非常に困難な問題を含んでいる。特に高速度比率差動電流継電器では誤動作の機会が多いので、その防止対策が種々考案されている。ここには励磁突入電流の一般的な性質と誤動作防止装置をもった新しい保護方式について述べる。

2. 励磁突入電流と故障電流

2.1 突入電流

励磁突入電流は鉄心の飽和に原因するものであるから無負荷の変圧器を励磁する瞬時に発生することが特に多い。その原理的な説明は第1図に示すとおりである。すなわち、無負荷の変圧器にEなる電圧を印加するとき、定常時は ϕ なる曲線のように変化する磁束が、残留磁束を零と考えれば、Eに対する誘起電圧を生ずるために、零から増加し点線で示す曲線のように変化する。したがってその最大値は印加時の電圧位相角(θ)によつて

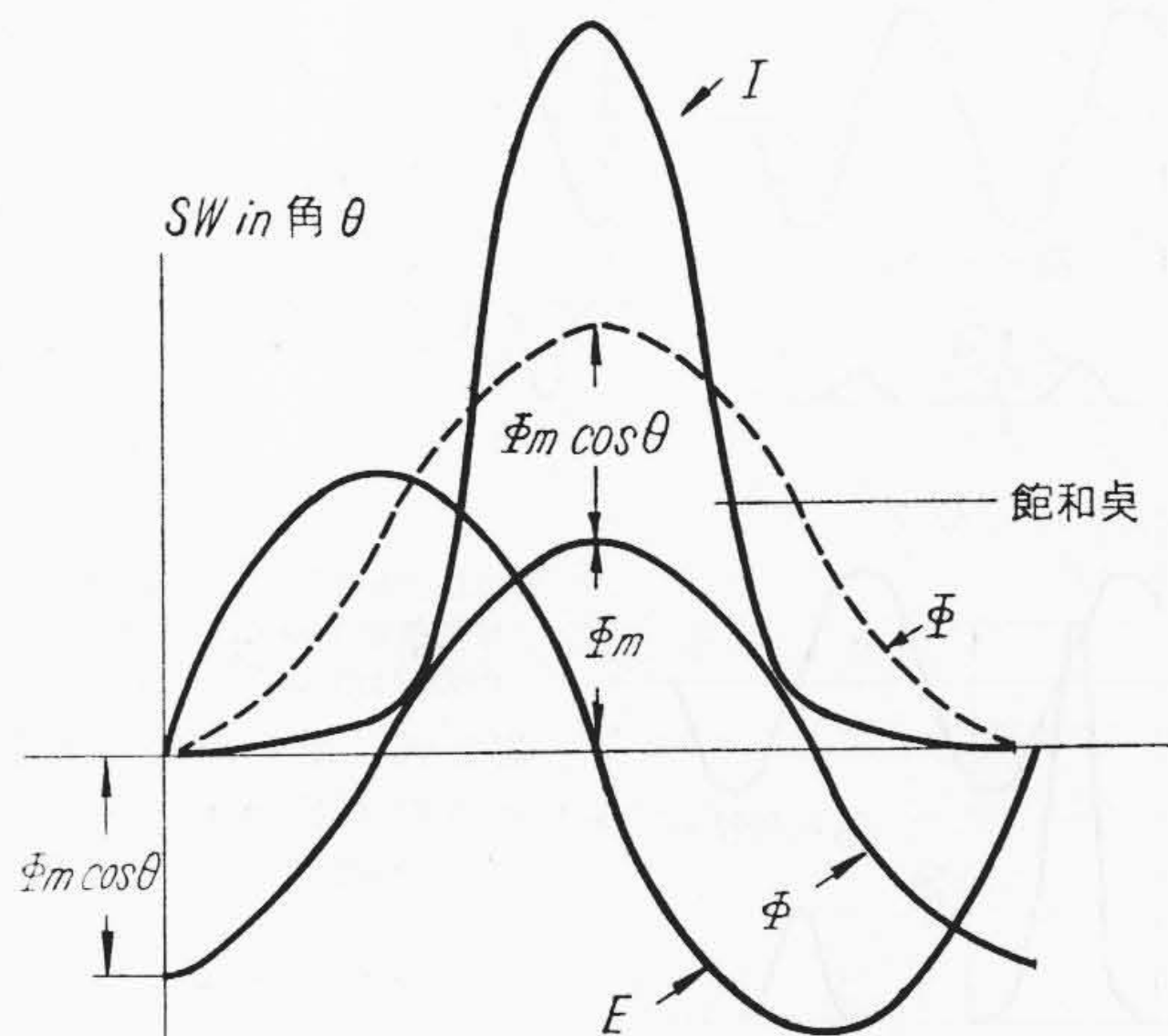
$\Phi = \Phi_m + \Phi_m \cos \theta$ Φ_m : Eに対する最大磁束となる。残留磁束を考えればその方向によつてさらにこれが加減され

$\Phi = \pm \Phi_D + (\Phi_m + \Phi_m \cos \theta)$, Φ_D : 残留磁束となるので(+)方向の Φ_D に対しては鉄心は著しく飽和する。このため励磁電流は急激に増大し突入電流となる。

2.2 突入電流の大きさ

励磁突入電流の大きさに影響する要素は種々あるが、電圧位相角(θ)と残留磁束(Φ_D)の影響が特に著しい。その他電圧(E)、最大磁束密度(B_m)、回路のインピーダンス(Z)なども影響する。理論上は $\theta=0$ 度、 180 度るとき最大となり、 $\theta=90$ 度、 270 度るとき最小となる。一方 Φ_D は(+)方向に大であるほど磁束は飽和しやすく、

* 日立製作所国分工場



Φ_m : 定常状態の磁束の最大値
E: 電圧
 ϕ : 磁束
I: 電流
 θ : 励磁開始時の電圧位相角

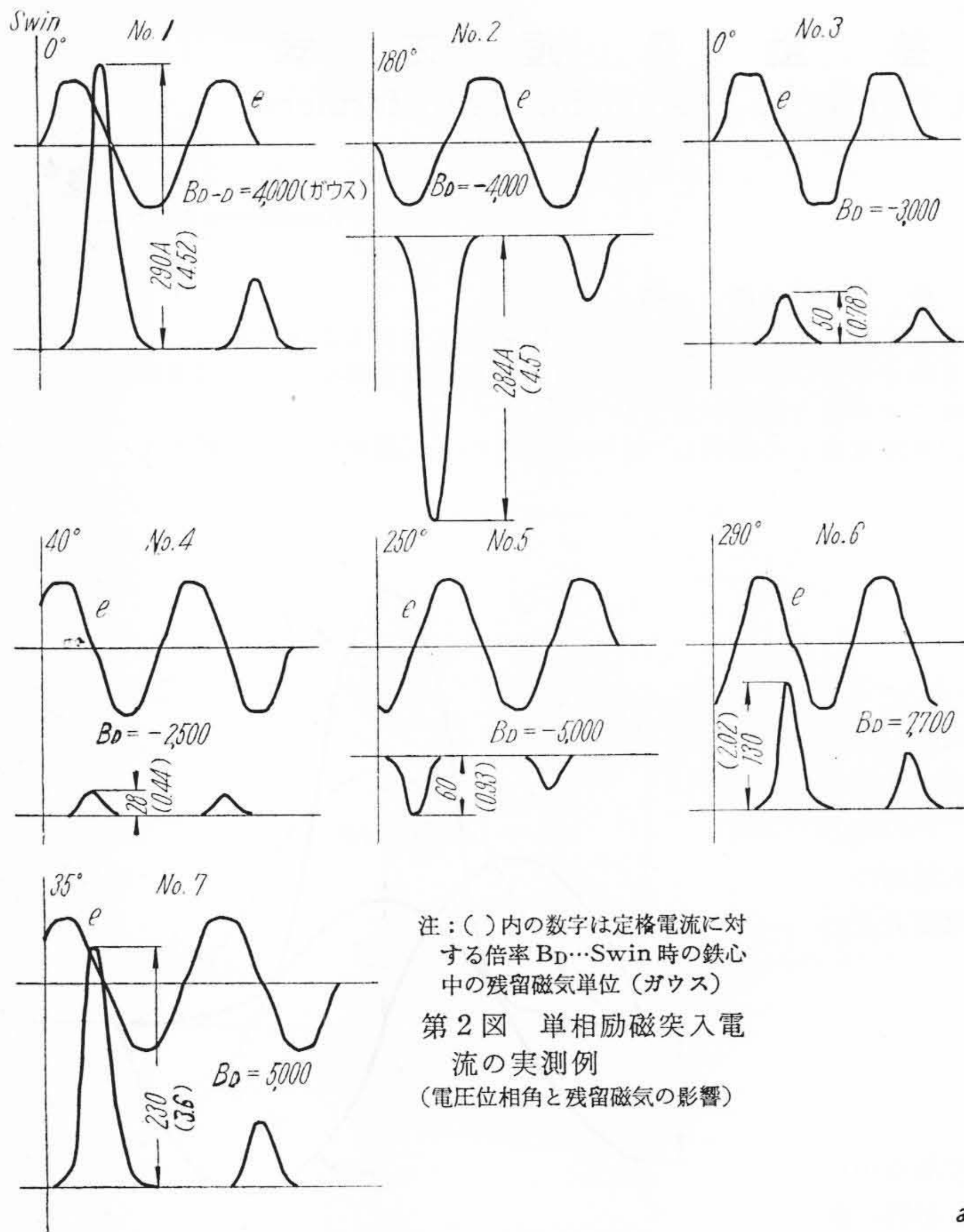
第1図 励磁突入電流説明図

(一) 方向の Φ_D は電流による磁束を打消し飽和の度を減少させる効果がある。実際の運転状態ではこの2要素が必ずしも最良の状態ではなく、また任意に制御することも不可能であるから電流値は一定しない。第2図は電圧位相角と残留磁束の影響を示す実測値である。一般に差動保護方式適用の対象となる5,000 kVA以上の変圧器については従来の実測によれば波高値で定格電流の6倍程度と考えれば十分のようである。

2.3 突入電流の波形

単相変圧器突入電流の波形は、いわゆる、半波整流波形をなしており、多量の直流分と高調波分を含んでいる(第2図参照)。各高調波の割合は第1表のようになり特に直流分と第2高調波が多く第3高調波以上は少ない。

三相変圧器では各相の電流方向は励磁開始時の電圧位相によつて異なるが、中性点非接地のY接続変圧器ある



第1表 単相変圧器励磁突入電流の波形分析値

220V 単相 10kVA 変圧器			
基 本 波	直 流 分	第 2 高 調 波	第 3 高 調 波
100	59	64.5	24.5
第 4 高 調 波	11	4.4	2.1

第2表 三相変圧器励磁突入電流波形の分析値

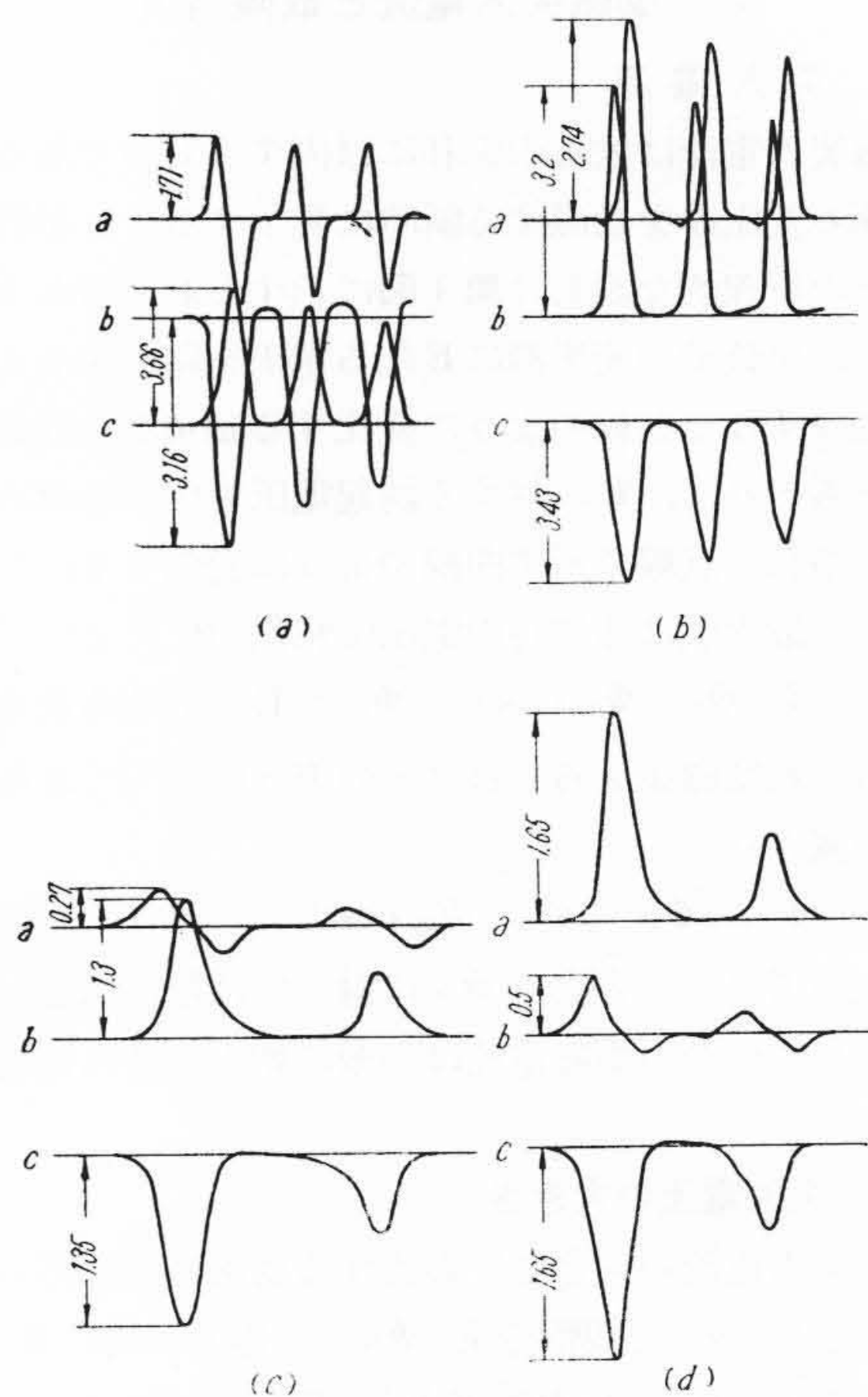
(CT 二次電流による)

66kV 三相12,000kVA 変圧器		
	第 1 波	第 6 波
基 本 波	100	100
直 流 分	62	13
第 2 高 調 波	50	62
第 3 高 調 波	9.4	11.5
第 4 高 調 波	5.4	8.4

いは△接続変圧器では2相は方向相反する整流波形となり、1相はこの和電流となるから必ずしも整流波形にはならない。単相変圧器3台を三相接続した場合も実験によれば三相変圧器と同様の波形となる。直流分、高調波分の割合は単相変圧器に相似しているが第3高調波が著しく減少している。また実際にはCT二次電流を利用するが、CTを介することにより各高調波の減衰の度合が異なるので第1波と第n波の高調波の百分率が変わってくる。第3図は三相変圧器励磁突入電流のCT二次側における実測値第2表はその分析値の一例である。

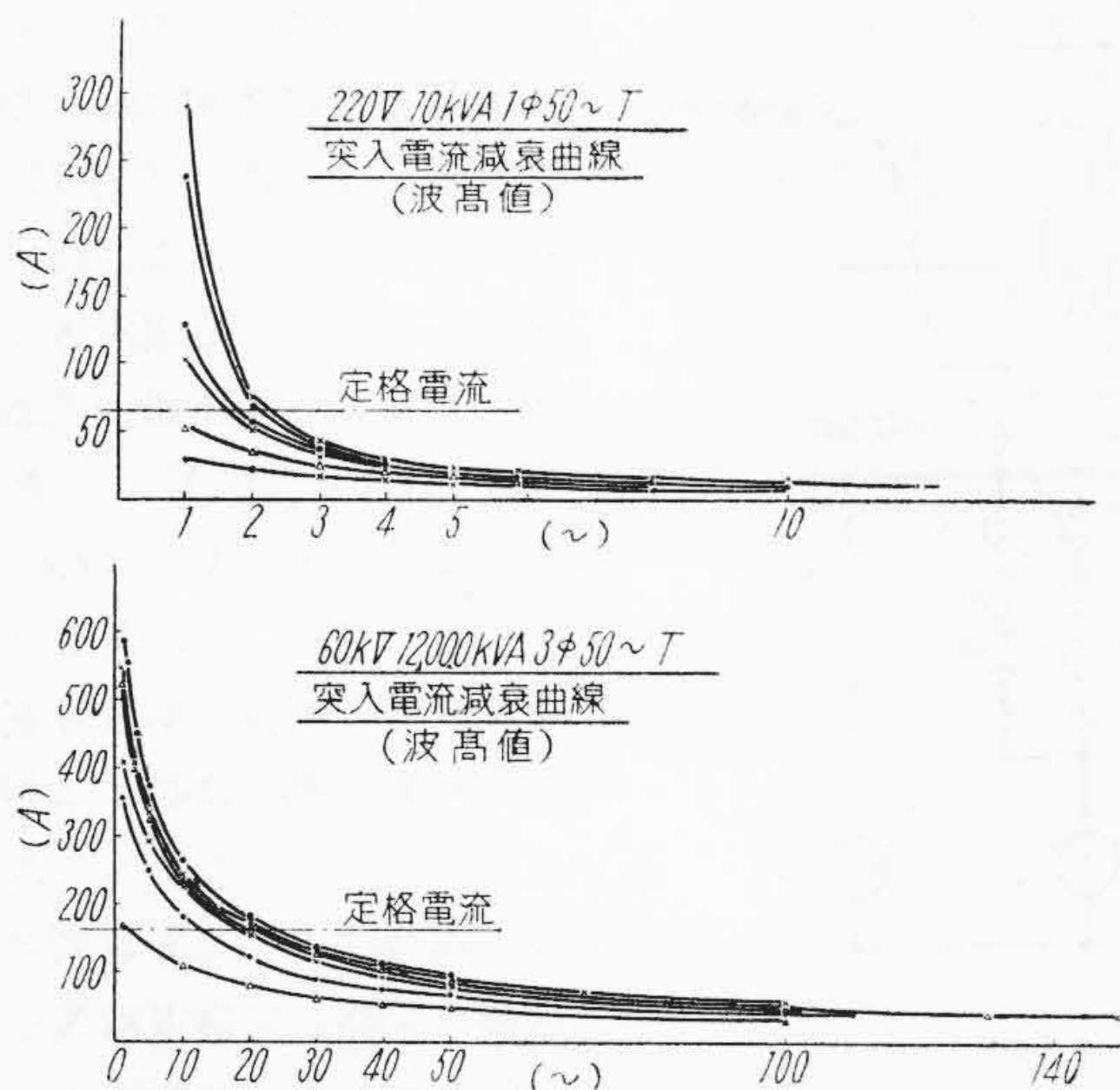
2.4 突入電流の減衰

励磁突入電流は抵抗などによる損失のため漸次減衰するがその速さは変圧器によつて異なり、同一の変圧器でもその連繫している系統の状態によつて変わるので、場合によつてまちまちである。巻線のインダクタンスが時間とともに変化するので時定数で表わすことはできないが空心と考えた巻線の時定数が大きい変圧器の方が減衰時間は長くなる。また並列運転される変圧器の数が多い系統ほど減衰がゆるやかになる。第4図は減衰の実測例であるが、この場合大型変圧器では平常値になるのに4秒



a, b 三相変圧器励磁突入電流 (Y-Δ) (数字は定格電流に対する倍率)
c 単相変圧器を三相接続 (Δ-Δ) したときの励磁突入電流
d 単相変圧器を三相接続 (Δ-Y) したときの励磁突入電流

第3図 三相変圧器励磁突入電流波形

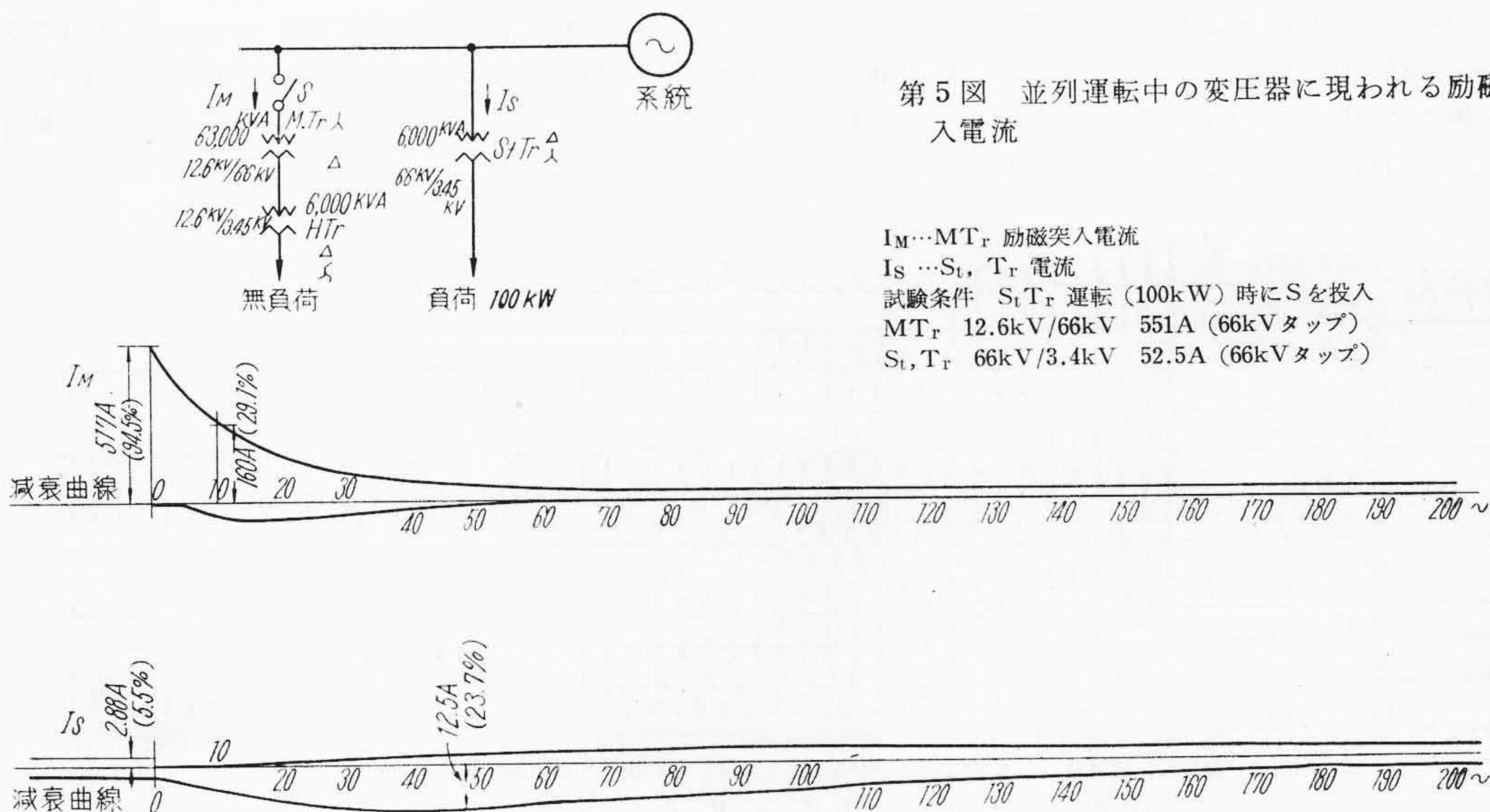


第 4 図 励磁突入電流の減衰曲線

以上かかっている。

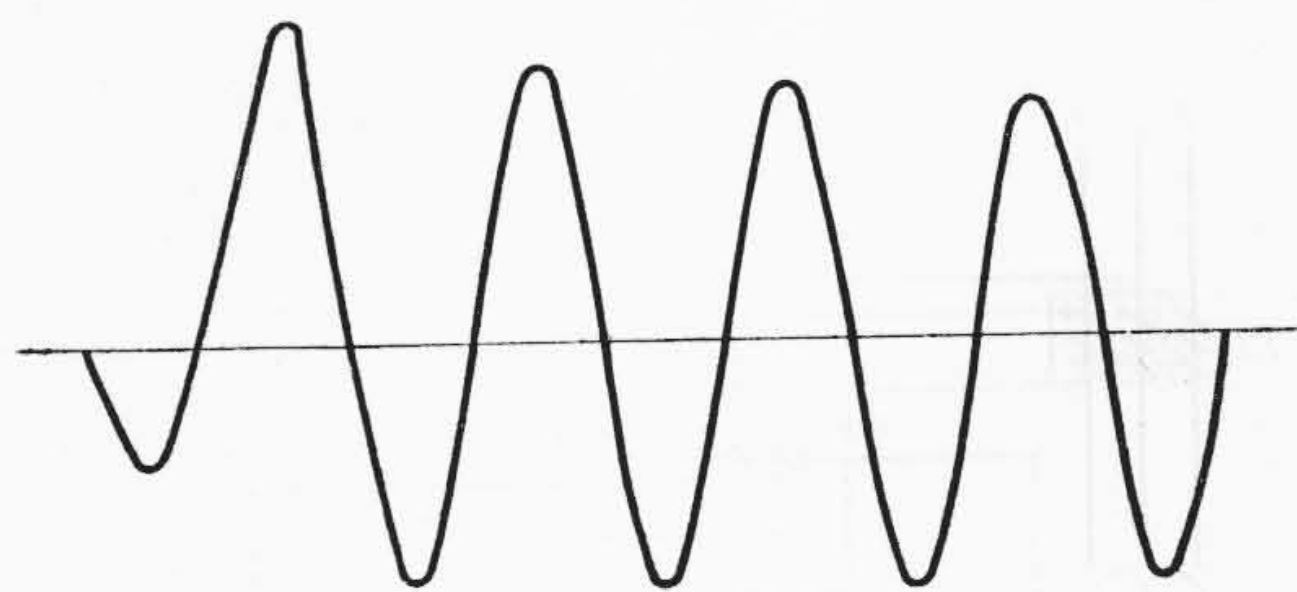
2.5 並列運転時の突入電流

2 台以上の変圧器を並列運転するとき、一方が負荷をとつている状態で、他方を母線に接続すれば、負荷中の変圧器にも突流を生ずる。この場合の突流は回路の抵抗が大きいとき、並列変圧器の容量が異なり負荷中の変圧器容量が特に小さいとき、あるいは並列変圧器の数が少ないときなどに大きく生ずる。負荷中の変圧器に生ずる突流は巻線の時定数のため徐々に増加し、ある時間後最大値に達しふたたび減衰する。第 5 図は実測値の一例である。この場合は電流が最大値に達するのにいずれも 1 秒前後を要している。



第 5 図 並列運転中の変圧器に現われる励磁突入電流

I_M ... $M T_r$ 励磁突入電流
 I_S ... S_t, T_r 電流
 試験条件 $S_t T_r$ 運転 (100kW) 時に S を投入
 $M T_r$ 12.6kV/66kV 551A (66kV タップ)
 S_t, T_r 66kV/3.4kV 52.5A (66kV タップ)



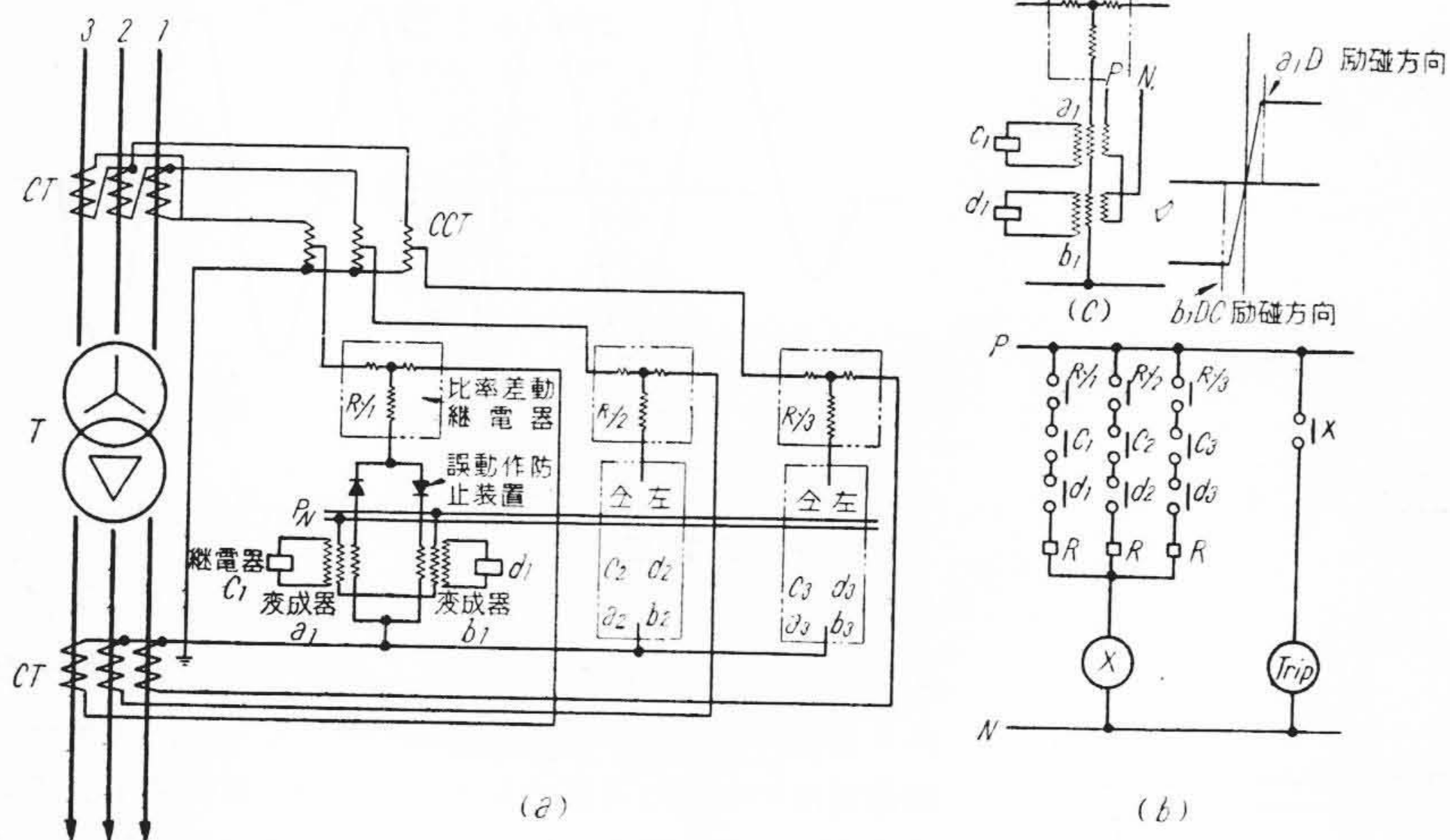
第 6 図 故障電流波形の一例

2.6 故障電流

巻線の部分短絡時の短絡電流は励磁側巻線に対する短絡巻線の相対位置によつて変化し励磁側巻線から最も離れた巻線の両端部分の短絡電流が最小となる。1 ターン短絡電流の実測は困難であるが、小型の模擬変圧器による実測値からの推定では完全短絡のときは電源側で定格電流の 70 % 以上になる。短絡電流は一般に初期には直流分を含んでいるがその波形はほぼ正弦波をなしている。第 6 図は模擬変圧器による巻線の 10 % 部分短絡電流波形の一例である。

3. 誤動作防止装置をもつた新保護方式

この方式は励磁突入電流の特殊な波形を利用したもので、第 7 図はこの方式の説明図である。図に示すように各相とも主継電器と誤動作防止装置からなつている。主継電器は高速度比率差動継電器で、誤動作防止装置はその差動回路に入っている。差動電流は極性の相反する整流器でおのおの半波に分けられ、変成器 a_1, b_1 の一次側に接続される。 a_1, b_1 は特性の相等しい変成器で直流励磁巻線を有しおのおの逆方向に飽和するまで励磁さ



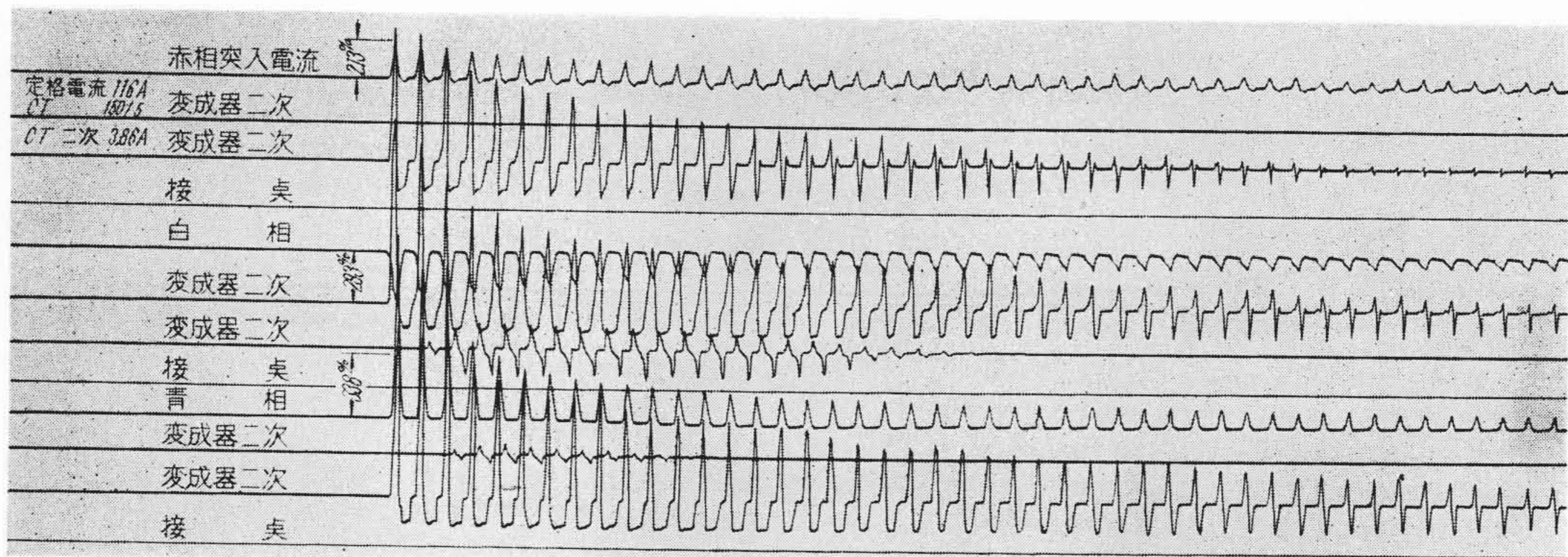
第7図 変圧器保護継電方式説明図

れている。 c_1 , d_1 は変成器 a_1 , b_1 の二次電圧によつて動作する継電器である。励磁突入電流のような半波整流波形の電流に対しては、その極性によつて一方の変成器、たとえば a_1 が励磁されるから、直流励磁をこの電流によつて打消される方向に加えておけば、 a_1 鉄心の磁束は飽和の状態から急激に減少するので、 a_1 の二次側に電圧を誘起し継電器 c_1 が動作する。一方 b_1 には電流は流れないかまたはごくわずかであるから継電器 d_1 は動作しないので突入電流によつては c_1 , d_1 が同時に動作することはない。故障電流のように正弦波に近い電流に対しては a_1 , b_1 はいずれも半波に2分された電流が流れるので整定感度以上になれば c_1 , d_1 はともに動作する。このようにして励磁突入電流と故障電流を判別するが、三相変圧器では、励磁突入電流が第3図のように1相は整流波形にならないこともあるので、各相の継電器接点を第7図(b)のように接続し、並列回路のうち2回路以上が閉路しなければ継電器Xが動作しないよう

できる。変成器鉄心は角形特性のものを使用しているから第7図(c)のように接続し整流器を省略することも可能である。この新方式は現在試作品により実際の変圧器について各種のテストを続けているので動作の一例をオシログラムによつて示す(第8図)。図は上から赤相差動電流、変成器 a_1 二次電圧、 b_1 二次電圧、 RY_1 , c_1 , d_1 を直列に接続した接点回路、以下白相、青相が同順になつてゐる。この場合定格負電流の300%程度の突入電流がでており、高速度比率差動電流継電器は各相とも動作しているが誤動作防止装置により並列3回路はともに閉路しないので遮断器のトリップは阻止されている。

4. 結 言

変圧器の差動保護は励磁突入電流のために継電器の誤動作が特に問題となつており従来いくたの誤動作防止方式が考えられているがそれぞれ一長一短があるので新方式の開発には関係者の不断の努力が続けられている。こ



接点回路は主継電器、継電器 c , d の接点と直列接続してある、この場合主継電器は各相とも動作している

第8図 新方式実験オシログラムの一例

こには最近開発した新方式について概要を紹介し御参考に供した次第である。

参 考 文 献

(1) Blume 編 Transformer Engineering

(2) T. AIEE: 1951 p. 1733~40
(3) T. AIEE: 1937 p. 989~994
(4) AIEE: April 1957 p. 87~95



新 案 の 紹 介

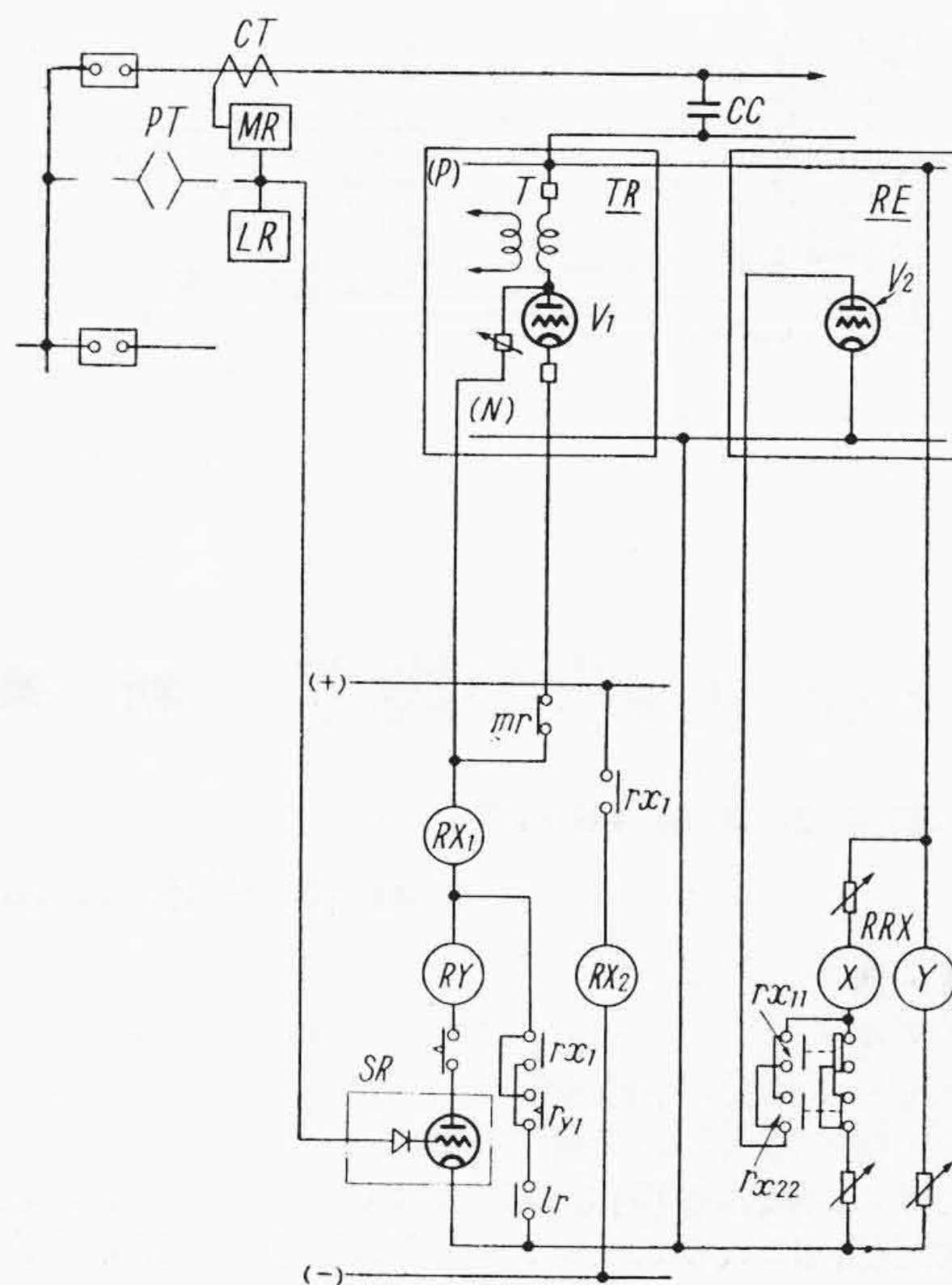


実用新案第 449397 号

川 井 晴 雄 ・ 滝 田 武 夫

搬 送 保 護 継 電 発 信 制 御 装 置

故障時送出阻止釈放式保護継電装置により送電線の保護区間内の故障を消滅せしめるに際しては故障選択性能の向上もさることながら作動の高速度化がまずもって最緊要事とされる。この新案は以上の点にかんがみてなされたもので、この種の継電装置では最も高速度作動を期待しうるものの一つである。図中 MR は主継電器（自区間内故障に反応して送出中の搬送電流を阻止する）LR は補助低電圧継電器（自他区間を問わず接続系統上の故障に反応する）SR は故障検出継電器で格子制御放電管型に構成され、これには PT の二次電圧によつて常時充電されている蓄電器および放電抵抗などの格子制御電圧発生電網を実際は付設し、常時は負偏倚により不作動であるが故障生ずるやその負偏倚は取り除かれて即時に作動するように構成される。V₁ は発信用増幅管、V₂ は受信管で電源 (P) (N) 間に接続され V₁ の陽極回路には信号用変圧器 T の線輪を接続する。RX₁, RY, RX₂ などは補助継電器で mr は MR の常時閉路接点である。この考案の要点は継電器 SR, RY, RX₁ を直列とし、さらに主継電器 MR の接点 mr を介して発信管 V₁ を直列とし、これを作動電源 (P) (N) 間に接続したことである。そしてこのようにすることによつて継電器 SR の瞬時応動とともに発信管 V₁ を即時に作動電源の電圧下におきもつて最も急速に作動しうるようにした点にある。すなわち管 V₁ は (P) (N) 電源に接続されながら常時は放電管 SR によりその陽極回路を断たれているが、故障が発生して放電管 SR が瞬時作動するや、その陽極電流はそのまま管 V₁ の陽極電流として管 V₁ を作動せしめることになるので SR の始動に次ぐ V₁ の作動はきわめて迅速でたとえば 0.2~0.3 サイクル程度の高度なものである。それというのもこの考案では故障のとき継電器 MR, LR, SR の三者はいつせいに動作状態におかれて三者はめいめいに動作しはじめ SR 最先に動作して管 V₁ をして発信させ次に LR 動作して SR を短絡し、その短絡回



路を通して V₁ を発信し続け最後に故障が自区間であるとの判定により MR 動作完了して mr を開いて V₁ の発信を止めるという順序によるからであつて、最も急速を要する故障応動の当初に各継電器が順を追つて逐次的に動作するような従来のこの種の装置では故障発生と発信開始の間の中間時遅がどうしても 1 サイクル以下に縮めることができなかったのであるが、それに比べて格段の進歩をとげたものである。(宮崎)



特 許 の 紹 介



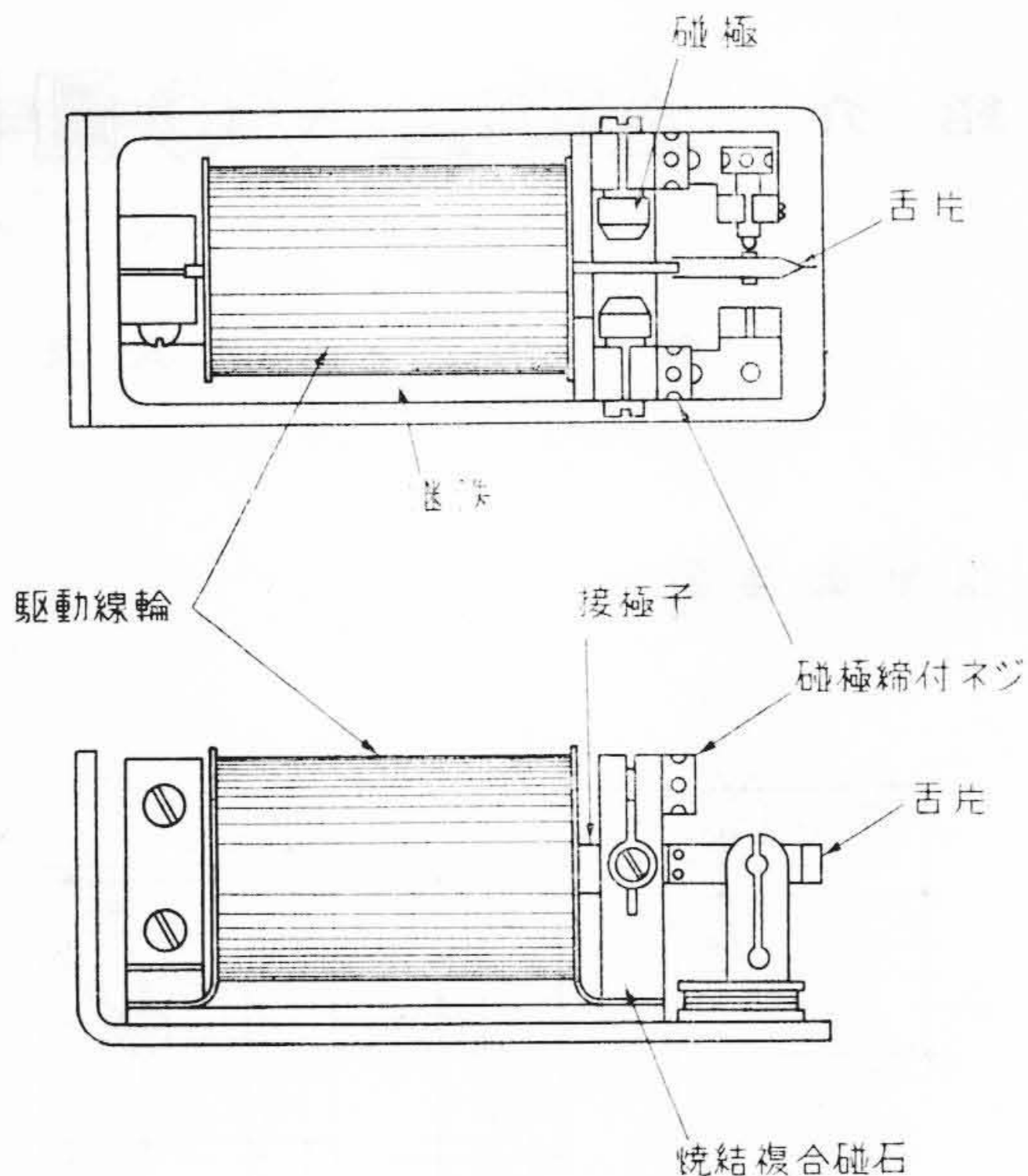
特 許 第 224180 号

有 極 継 電 器

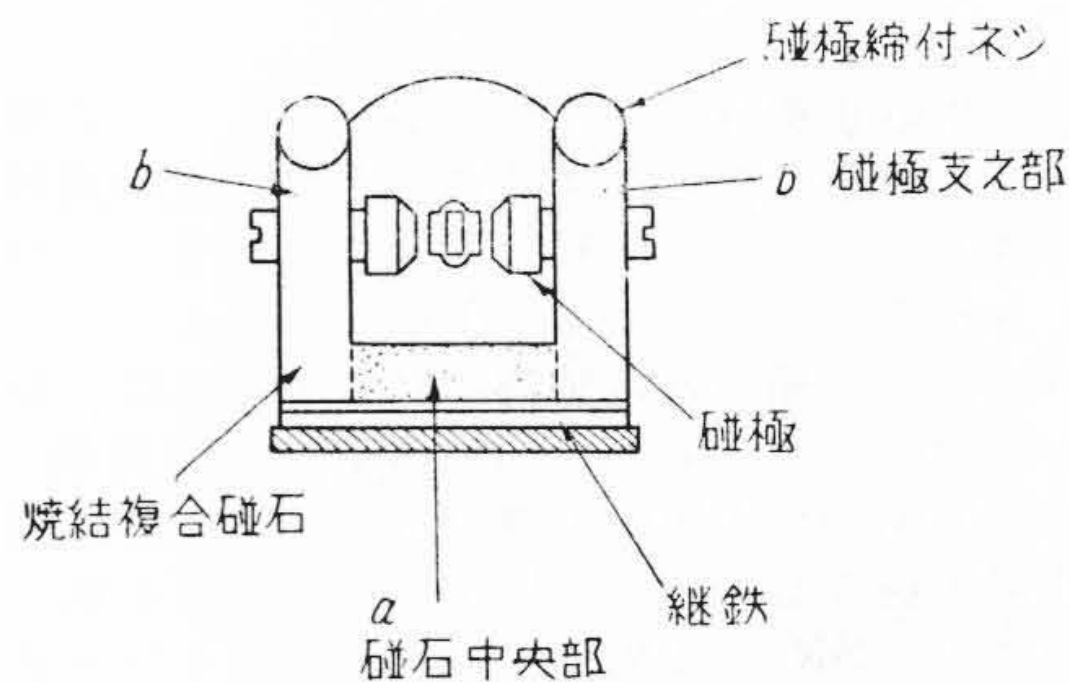
二 見 二 郎 ・ 三 井 忠 夫

従来の橋絡型有極継電器の磁石は鍛造磁石であり、形状は馬蹄形で大きく、かつ寸法および角度を精密に製作することがむづかしいばかりでなく、継鉄は平板よりプレス打抜後複雑な曲げ加工により磁極ささえ部および磁石取付部を形成させるため、加工後の継鉄の焼鈍におい

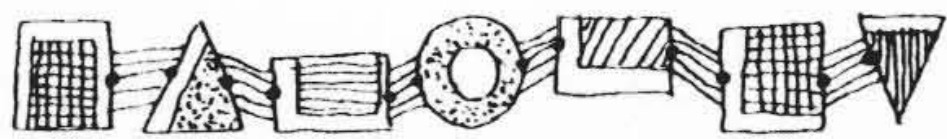
て寸法、角度が狂いを生じまた取付の際ひずみが入り磁性が低下するなどの種々なる欠点がある。本発明はこのような欠点を解決するために磁気回路と磁石と高導磁率材とを焼結して直結した焼結複合磁石により形成した有極継電器において駆動線輪の巻枠の取付部を磁気分路の直列磁気抵抗に共用するようにしたものである。すなわち磁石は中央部aが磁石部で両端の磁極ささえ部b, b'が高導磁率材料よりなる複合磁石であるために磁石aより発生する直流磁束が容易に通過するようになり、交流磁束は高導磁率材料b, b'の部分をとおり交流磁気抵抗の大きい中央部aの磁石部を通過することがなく交流磁束の減少を生ずることが少く能率を向上せしめ得る。また磁極ささえ部b, b'と磁石部aとが一体となることにより磁極取付孔の寸法および角度は精密に磁極ささえ部b, b'に設けることができ、機構的に精度を向上することができる。(高木)



第 1 図



第 2 図



新 案 の 紹 介



実用新案 第 465738 号

回 転 体 端 部 に お け る 炭 塵 侵 入 防 止 装 置

亀 井 茂 樹 ・ 飛 知 和 友 明

構 造

ダブルチェンコンベヤにおいて回転体(リタンプーリ)を支持する軸受の軸受箱に、上方から下方にいくにしたがつて幅を増大した突縁を設ける。

突縁に回転体の環状凹部をはめこみ、上部では突縁を環状凹部内に入りこませ、下部では突縁を環状凹部の外側に突出させる。

作用、効果

図はこの考案の装置をダブルチェンコンベヤのリタンプーリに実施した状態を示す。

スクレーパによつて運ばれた石炭はリタンプーリ部分で下に落される。したがつてリタンプーリの上側には石炭が積まれ下側は一応空隙と考えられる。突縁の上部は環状凹部の内側にあるから、その部分では炭塵は突縁と環状凹部との隙間に侵入しにくい。突縁の下部では石炭が溝内をすべり落ちてくるが、突縁が環状凹部から外側に出ているので上部と同様炭塵は隙間に侵入しにくい。

またリタンプーリの回転中、環状凹部は常に突縁に対して出入してこすり合っているから、万一環状凹部の内面に炭塵が付着しても外部へかき出される結果となり内

部への侵入が防止される。

(富田)

