

# 変流器の過渡特性に対する一考察

## Characteristics of Current Transformer for the Fault Current

浅野次夫\*  
Tsugio Asano

### 内容梗概

回路の故障電流のように、直流分を含む過電流に対する変流器の過渡状態における特性は、高速度継電器と組み合わせる場合特に重要であることはいうまでもない。しかし変流器は鉄心を有する機器であり、その特性を明らかにすることは非常に困難である。

本文は、直流分を含む電流に対し、回路条件変流器の設計、鉄心材質などによって決まる最大磁束密度の計算式を示し、さらに二種の変流器について試験を行つた結果との関連について述べたものである。

### 1. 緒言

高速度継電器と合わせて使用される計器用変成器においては、回路の定常状態における特性よりむしろ故障発生瞬時に於ける過渡特性の方が重要であることはいうまでもない。

しかし、計器用変成器はその磁化特性が非直線性であり、また残留磁気などの影響もあるので、この過渡状態における特性を把握することは非常に困難である。

継電器との総合的な組合せ特性となれば継電器の過渡特性も問題となるのでさらに複雑で、各機器の単独特性を解明することが先決問題と考えられるので、変流器について投入時の直流分を含む電流に対する特性を測定した。以下にその結果につき述べる。

### 2. 直流分を含む電流に対する変流器の特性<sup>(1)</sup>

変流器の等価回路は第1図のように表わされる。

今変流器に残留磁気がなく、また理想的な場合として励磁電流が0であると仮定すれば、二次電流  $i_s$  は(1)式で示される。

$$i_s = -i_p \frac{N_p}{N_s} \dots \dots \dots (1)$$

鉄心中の磁束  $\phi$  は、

$$\phi = -\frac{10^8}{N_s} \int (i_s \cdot r_s + L_s \frac{di_s}{dt}) dt = -\frac{10^8}{N_s} (i_s \cdot L_s + r_s \int i_s dt) \dots (2)$$

交流分の最大値と等しい直流分を含む一次電流  $i_p$  は交流分の最大値を  $i_{pmax}$  とすれば次式で示される。

\* 日立製作所国分工場

$$i_p = i_{pmax} (\varepsilon^{-\omega R t / X} - \cos \omega t) \dots \dots \dots (3)$$

(1), (3)式より

$$i_s = -i_{pmax} \cdot \frac{N_p}{N_s} (\varepsilon^{-\omega R t / X} - \cos \omega t)$$

(2)式より

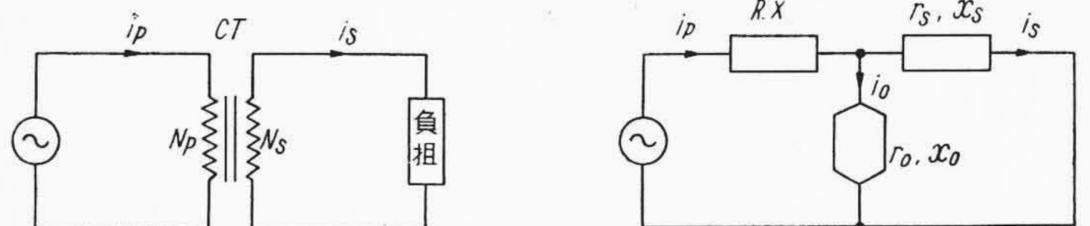
$$\phi = \frac{10^8 i_{pmax} N_p}{\omega N_s^2} \left[ (\omega L_s - \frac{X}{R} r_s) \varepsilon^{-\omega R t / X} - (\omega L_s \cos \omega t + r_s \sin \omega t) + \omega c \right] \dots \dots \dots (4)$$

(4)式で示す第2項、すなわち  $\frac{10^8 \cdot i_{pmax} N_p}{\omega N_s^2} (\omega L_s \cos \omega t + r_s \sin \omega t)$  は正弦波成分を発生するに必要な磁束変化を示す。したがって最大磁束が定常状態における磁束の波高値に対する比は

$$\frac{\left[ (\omega L_s - \frac{X}{R} r_s) \varepsilon^{-\omega R t / X} - (\omega L_s \cos \omega t + r_s \sin \omega t) + \omega c \right]_{max}}{(\omega L_s \cos \omega t + r_s \sin \omega t)_{max}} = f \left( \frac{X}{R}, \cos \phi_s \right) \dots (5)$$

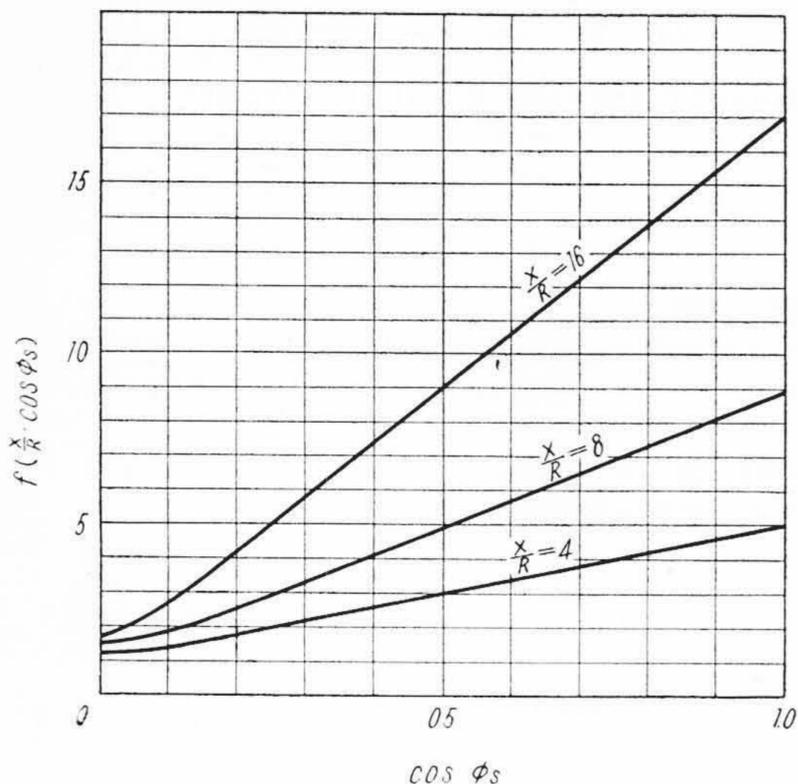
にて表わされる。

仮定のように、残留磁束がないとすれば  $t=0$  で  $\phi=0$  であるから、(5)式は次のようになる。



$r_o, x_o$ : 励磁インピーダンス  
 $R, X$ : 電源インピーダンスと一次巻線インピーダンスの和  
 $r_s, x_s$ : 二次巻線インピーダンスと負荷インピーダンスの和

第1図 変流器の等価回路



第 2 図  $f(\frac{X}{R}, \cos \phi_s)$  曲線

$$f(\frac{X}{R}, \cos \phi_s) = \frac{\left[ (\omega L_s - \frac{X}{R} r_s) \varepsilon^{-\omega R t / X} - (\omega L_s \cos \omega t + r_s \sin \omega t) + \frac{X}{R} \cdot r_s \right]_{max}}{+ r_s \sin \omega t)_{max}} \dots \dots \dots (6)$$

変流器の誤差は励磁電流  $i_0$  があるために生ずるものである。鉄心が飽和しない範囲では励磁インピーダンスがきわめて大きいので  $i_0$  も小さいが、鉄心が飽和すれば  $i_0$  が急激に増し誤差が急増する。

したがって、直流分を含む回路の故障電流を忠実に二次側に伝えるには故障電流の最大値においても鉄心が飽和しないようにすることが望ましい。この飽和を避けるためには定格電流における磁束密度の最大値を(7)式以下とすることが肝要である。

$$\frac{\text{knee-point flux density}}{m \times f(\frac{X}{R}, \cos \phi_s)} \dots \dots \dots (7)$$

ここに  $m = \frac{\text{最大故障電流}(i_{pmax}/\sqrt{2})}{\text{定格電流}}$

knee-point flux density = 飽和点で励磁電圧が10%増したとき、励磁電流が50%増す磁束密度を考える。

すなわち、一次回路の定数  $R, X$  および二次回路の力率角の函数である  $f(\frac{X}{R}, \cos \phi_s)$ , 最大故障電流, および鉄心の材質が決まれば定格電流における磁束密度を求めることができ、これ以下とするように一次巻数, 鉄心寸

法を決めねばならない。 $f(\frac{X}{R} \cos \phi_s)$  を(7)式から求めたものが第2図である。

### 3. 試験結果

2項で述べたように、直流分を含む故障電流に対して良好な特性をもたせるためには、最大磁束密度に対しても鉄心が飽和しないようにすることが望ましい。飽和の程度が特性に及ぼす影響をしらべるため、現在標準としている二種の変流器に対して比較試験を行つたので、その結果につき述べる。実際の故障状態においては一次電流は定格電流付近から跳躍して故障電流に移るが、工場試験としてはこのような電流を流すのが困難であるので、電流0から投入したときの状態で試験を行つた。

#### 3.1 供試品

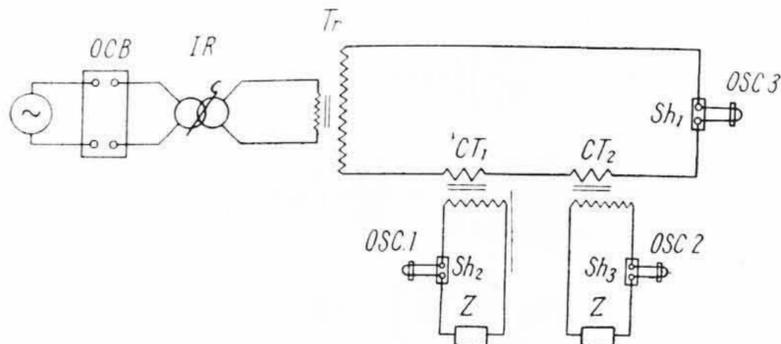
供試品としては下記に示す仕様の乾式および碍子型変流器を使用した。

- (1) 乾式変流器 定格電圧.....3.45kV  
一次電流.....50A  
二次電流.....5A  
定格負担.....40VA  
過電流定数.....>5  
周波数.....50/60c/s
- (2) 碍子型変流器 定格電圧.....69kV  
一次電流.....50A  
二次電流.....5A  
定格負担.....40VA  
過電流定数.....>20  
周波数.....50c/s

#### 3.2 試験回路および試験方法

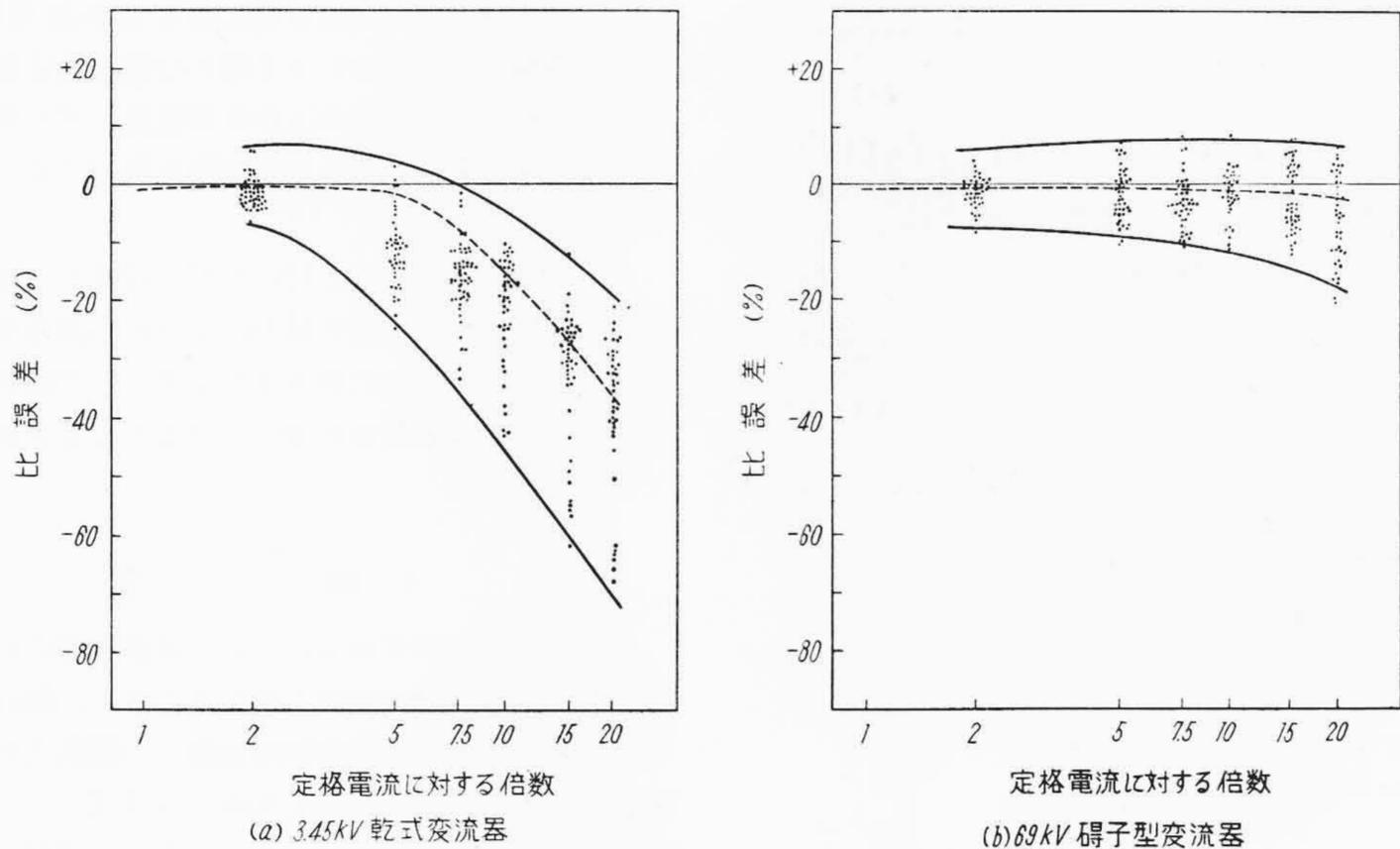
第3図に示す回路で、供試品(1)および(2)を直列にして一次電流およびそれぞれの二次電流を電磁オシログラムにて撮影した。

電流の調整は誘導電圧調整器にてあらかじめ電圧を調整して規定の電流を流すようにし、一次側に挿入した油

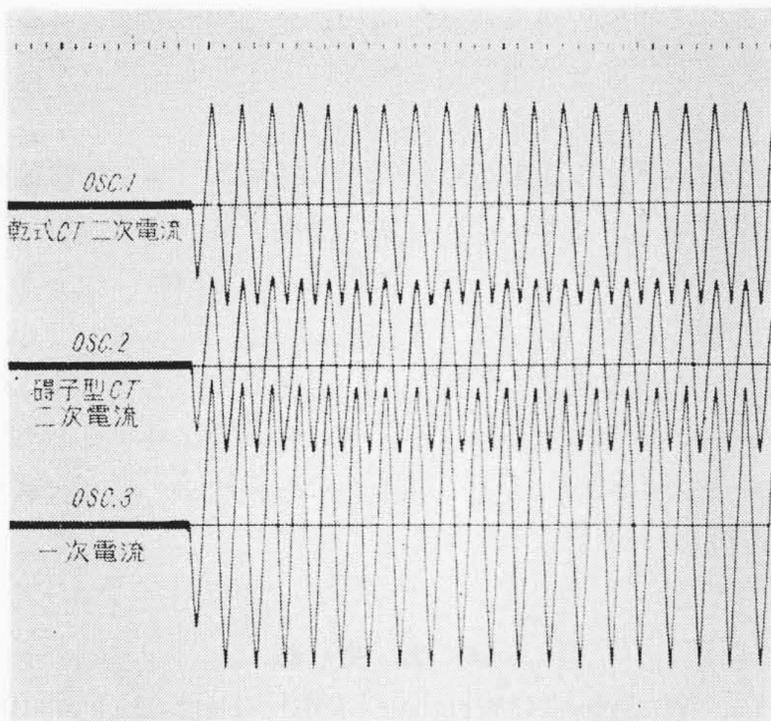


- CT<sub>1</sub>: 3.45kV 乾式変流器
- CT<sub>2</sub>: 69kV 碍子型変流器
- Z: 負担 40VA pf 0.8
- Sh<sub>1</sub>~Sh<sub>3</sub>: 電流測定用シャント

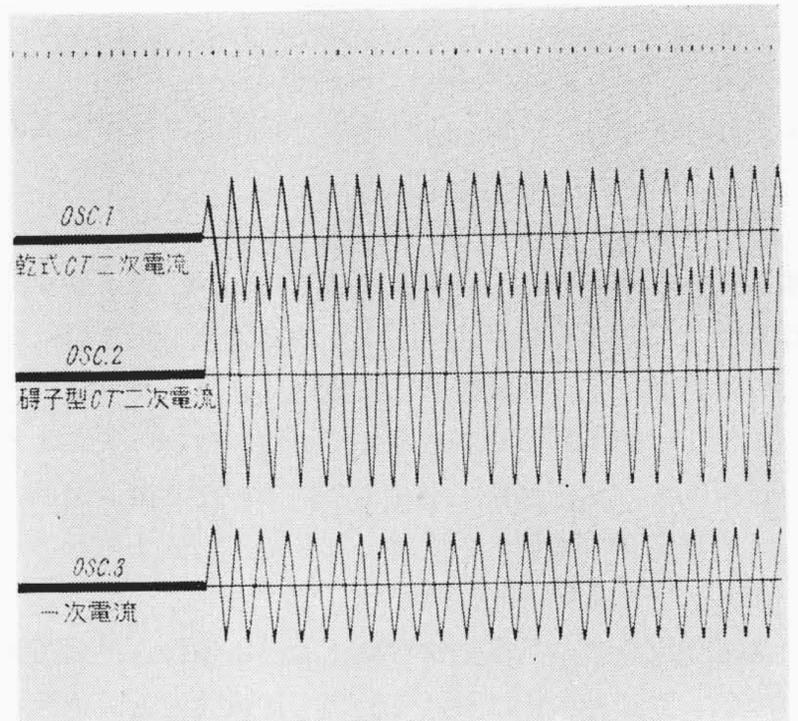
第 3 図 試 験 回 路



第4図 過電流過渡状態における変流比誤差



第5図(a) 一次電流 100A 過渡状態におけるオシログラム



第5図(b) 一次電流 750A 過渡状態におけるオシログラム

入遮断器を投入して電流を0から急激に流すようにした。

一次電流の値は、定格値の1, 2, 5, 10, 15, 20倍とし、投入位相の制御が困難なため試験回数を多くし、各倍数に対し10回ずつ撮影した。

### 3.3 結果および検討

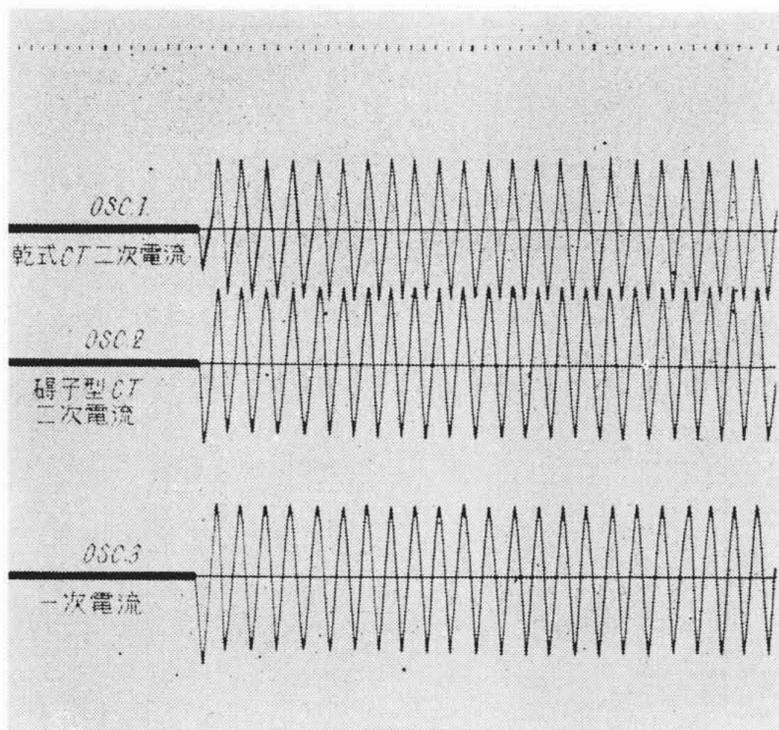
オシログラムの波形より、投入後第1~5半波の波高値に対する比誤差を計算した。それらをすべて集約した結果が第4図である。図中(a)は乾式変流器、(b)は碍子型変流器に対するもので両者に相当の差があることが明らかにわかる。

なお図中点線で示した曲線は定常状態になった時の誤差をオシログラムより求めたもので、過電流定数が乾式で $>5$ 、碍子型 $>20$ であることが裏づけされている。

オシログラムの代表的な例を第5図に示す。

3.2項で記したように、ある故障電流に対して過渡時でも飽和しないようにするための定格電流における磁束密度の値は、一次回路の $R, X$ 、二次回路の力率角 $\cos \phi_s$ および飽和磁束密度(knee-point flux density)によって決まる。

今回の試験では、定格電流における磁束密度がわかっているの逆(7)式から



第 5 図(c) 一次電流 1,000 A 過渡状態におけるオシログラム

$$m = \frac{\text{飽和磁束密度}}{B_R \times f \left( \frac{X}{R}, \cos \phi_s \right)}$$

ここに  $B_R$ : 定格電流における最大磁束密度を求めれば,  $m$  が飽和しない程度の故障電流の定格電流に対する倍数となる。

この  $m$  の値を試験回路の  $R, X$  変流器の定数, および第 2 図から求めると, 乾式変流器では 1.4, 碍子型変流器では 4.7 となるがこれは直流分が交流分の波高値に等しい場合で, 今回の試験では直流分はオシログラムでわかるように約 50% であるので, これから (6) 式により計算するとそれぞれ約 2.1 および約 7 となり第 4 図に示した誤差範囲の増加する位置とほとんど一致することがわかる。

第 4 図点線で示した定常状態における特性と, 誤差範囲で示した過渡状態における特性を比較すると, 過渡状態においてはるかに小さい電流で誤差が増大する傾向にあることがうかがわれる。したがって過電流定数は過電

流における特性の一応の目安にはなるが過渡特性を問題にする継電器と組み合わせる際には過電流定数のみでなく, ある程度回路定数および故障電流の値を推定して, この時でも飽和せぬような変流器を選定することが必要であろう。

一方変流器の例では, 特に良好な特性を得るためには飽和磁束密度の高い鉄心材料, すなわち異方性珪素鋼帯を使用するか, 鉄心の断面またはアンペア回数を増して定格電流における磁束密度を下げることも必要になってくる。

#### 4. 結 言

以上, 二種類の変流器について過渡状態における比誤差特性試験を行い, 特性の悪化する点と, 鉄心が飽和点に達する過電流の倍数を回路定数との関係式によつて求めた場合との比較を行つて大体一致することを確かめたが, 実験の種類も少なく, 測定条件にも問題は残されている。

変流器の過渡時の変流比誤差が一般の製品でどの程度のものであるかは, 継電器側からみて相当重要なことであるので今後もこの種の試験を行つていきたいと考えている。

今回の試験の結果からみると回路定数, および変流器の設計諸元がわかれば, 特性の悪化する一次電流値の推定はできるが, この場合の比誤差は測定値にばらつきが多く判断しにくい。

さらに残留磁気の影響など今後究明すべき点は多く残されているとは思われるが, 一応の試験結果をまとめてみたものであり, 大方の御参考になれば幸と思う次第である。

#### 参 考 文 献

- (1) W. Gray, A. Wright: PIEE (Part II) Vol. 100, 223(1953)