変流器の三相接続における零相回路の特性と残留電流計算法

正員 坪内 伝次 (東芝)

正員 上西 徹 (東芝)

1. はし が き

送配電線における地絡電流（零相電流）の検出には零相変流器あるいは、変流器（CT）を3個三相接続した場合の零相回路（残留回路又は開放三角結線した三次回路）などが用いられる。

これらの検出方法は、古くから用いられているが、その特性に関する報告は零相変流器に見るべきものがあるが⁽¹⁾⁽²⁾、CTを3個三相接続したときの零相回路については、零相電流特性について見られる程度である⁽³⁾。

今回、零相回路の特性（零相電流特性、残留電流特性）を明らかにすべく、検討を行なった。特に残留電流について、その発生原因、二次負担の不平衡による影響、残留回路と三次回路の残留電流の大きさの関係、単相電流試験結果から三相電流における残留電流の推定、などを考察した。

零相変流器の特性については、すでに規格化（JEC-190, 1974）され、許容差、残留電流の限度、試験法などが明記されている。しかるに、零相回路の特性については規定がなく、組合せるCT個々について規定されている程度である。この問題はJEC-190の審議に際しても議題となったが検討不十分のため規格化は見送られている。

本文の検討結果により、それらの規格化の一つの端緒が得られたものと信ずる。しかし、三次零相回路の場合で二次負担平衡時の規格化には問題が残る。

本文に用いる主な記号は次のとおりである。

v : 電圧

I : 一次電流 (I' : 正相分・逆相分, I_0 : 零相分)

i : 二次電流 (i' : 正相分, 逆相分)

i_e : 励磁電流 (二次換算)

i_0 : 零相回路に流れる電流

i_0' : i_0 中の I_0 による成分

i_R : 残留電流

Z_B, Z_R : それぞれ二次、零相回路の負担インピーダンス

Z_{21}, Z_{31} : 二次、三次の漏れインピーダンス

Z_{B1} : Z_B と Z_{21} の和

M : 励磁インピーダンス (二次換算)

M_s : 各CTの M の算術平均値

m : M の M_s に対する片寄り分

K : 巻数比 ($K=T_2/T_1, K_1=T_2/T_3$)

a : e^{j120°

添字 a, b, c, n : 相別, n は a, b, c の一般形

添字 2, 3: 零相回路 (残留回路, 三次回路) の別

2. 特 性 式

〈2・1〉 残留回路の場合 残留回路はCT3個を第1図のように三相接続して得られる。但し、図は一次側諸量を二次側に換算して示した回路である。図より、 CT_a について次式が成立つ。

$$K v_{1a} = K I_a Z_1 - i_a M_a \dots\dots\dots (1)$$

$$v_{2a} = I_a M_a / K - i_a Z_2 = i_a Z_{Ba} + i_{02} Z_{R2} \dots\dots\dots (2)$$

一般にCTの特性を解析するには二次側のみを考察すれば十分である。(2)式より

$$I_a M_a / K = i_a (Z_2 + Z_{Ba}) + i_{02} Z_{R2} \dots\dots (3)$$

$Z_{B1a} (= (Z_2 - M_a) + Z_{Ba})$ を用いると、(3)式は次式のように書換えられる。

$$I_a M_a / K = i_a (Z_{B1a} + M_a) + i_{02} Z_{R2} \dots (4)$$

Characteristics of the Zero Phase Sequence Circuit in Three Phase Current Transformer Connection and a Method for Calculation of Residual Currents. By Denji Tsubouchi, Member & Touru Kaminishi, Member (Tokyo Shibaura Electric Co. Ltd, Hamakawasaki Works)

坪内伝次: 正員, 東京芝浦電気株式会社浜川崎工場

上西 徹: 正員, 東京芝浦電気株式会社浜川崎工場

第 1 図 残留回路の接続

Fig. 1. Connections of residual circuit.

CT_b, CT_c についても同様に

$$\left. \begin{aligned} I_b M_b / K &= i_b (Z_{B1b} + M_b) + i_{02} Z_{R2} \\ I_c M_c / K &= i_c (Z_{B1c} + M_c) + i_{02} Z_{R2} \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

又、第 1 図より

$$\left. \begin{aligned} I_a + I_b + I_c &= I_0 \\ i_a + i_b + i_c &= i_{02} \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

且つ、

$$\left. \begin{aligned} M_s &= (M_a + M_b + M_c) / 3 \\ M_a &= M_s + m_a \\ M_b &= M_s + m_b \\ M_c &= M_s + m_c \end{aligned} \right\} \dots (7)$$

と置く。このとき次の関係がある。

$$m_a + m_b + m_c = 0 \dots (8)$$

この $|m_a|, |m_b|, |m_c|$ は 3 個の CT の励磁インピーダンスのばらつきを示し、一般の CT では $|M_s|$ に比較して小さい。

(4), (5) 式の両辺の和をとり、(6), (7), (8) 式の関係を用い整理すると次式を得る。なお以下の式においては、例えば $\sum i_n Z_{B1n} = i_0 Z_{B1a} + i_b Z_{B1b} + i_c Z_{B1c}$ のように表わすものとする。

$$\left. \begin{aligned} I_0 M_s / K &= i_{02} (M_s + 3 Z_{R2}) + \sum i_n Z_{B1n} \\ &\quad - \sum (I_n / K - i_n) m_n \end{aligned} \right\} \dots (9)$$

一般の CT においては、(4), (5) 式より

$$\left. \begin{aligned} I_n / K - i_n &= i_{en} = (i_n Z_{B1n} + i_{02} Z_{R2}) / M_n \\ &\quad \doteq (i_n Z_{B1n} + i_{02} Z_{R2}) \\ &\quad \times (1 - m_n / M_s) / M_s \end{aligned} \right\} \dots (10)$$

(10) 式より $\sum (I_n / K - i_n) m_n$ を求め、且つ $m_n < M_s$ ゆえ $(m_n / M_s)^2$ の項を省略、(8) 式により

$$\sum (I_n / K - i_n) m_n = \sum i_n Z_{B1n} m_n / M_s \dots (11)$$

(11) 式を (9) 式に代入整理すると

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_0 M_s}{K} &= i_{02} (M_s + 3 Z_{R2}) \\ &\quad + \sum i_n Z_{B1n} \left(1 - \frac{m_n}{M_s} \right) \end{aligned} \right\} \dots (12)$$

一方、 $i_n = i_n' + i_{02}/3$ 、又、一般に $i_n' \doteq I_n' / K$ とおけるから、これらを用いて (12) 式は次式のように書き替えられる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_0 M_s}{K} &= i_{02} \left\{ M_s + 3 Z_{R2} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{3} \sum Z_{B1n} \left(1 - \frac{m_n}{M_s} \right) \right\} \\ &\quad + \sum \frac{I_n'}{K} Z_{B1n} \left(1 - \frac{m_n}{M_s} \right) \end{aligned} \right\} \dots (13)$$

又、 $I_0 / K - i_{02} = i_{e2}$ とおくと (13) 式より

$$\left. \begin{aligned} i_{e2} M_s &= i_{02} \left\{ 3 Z_{R2} + \frac{1}{3} \sum Z_{B1n} \left(1 - \frac{m_n}{M_s} \right) \right\} \\ &\quad + \sum \frac{I_n'}{K} Z_{B1n} \left(1 - \frac{m_n}{M_s} \right) \end{aligned} \right\} \dots (14)$$

(13), (14) 式は残留回路の特性式である。

〈2・2〉 三次回路の場合 三次回路は第 2 図のように三次巻線を開放三角結線して得られる。但し、図は一次、三次回路の諸量を二次側に換算して示した回路である。図より CT_a について次式を得る。

$$K v_{1a} = K I_a Z_1 - (i_a + i_{03}/K_1) M_a \dots (15)$$

$$\left. \begin{aligned} v_{2a} &= (I_a / K - i_{03}/K_1) M_a - i_a Z_2 \\ &= i_a Z_{Ba} + v_{R2} \end{aligned} \right\} \dots (16)$$

$$K_1 v_{3a} = (I_a / K - i_a) M_a - K_1 i_{03} Z_3 \dots (17)$$

$$I_a / K = i_a + i_{03}/K_1 + i_{ea} \dots (18)$$

又、図の回路より

$$\left. \begin{aligned} I_a + I_b + I_c &= I_0 \\ i_a + i_b + i_c &= 0 \\ v_{3a} + v_{3b} + v_{3c} &= i_{03} Z_{R3} \end{aligned} \right\} \dots (19)$$

第 2 図 三次巻線の接続

Fig. 2. Connections of tertiary windings.

第4図 I_0 と I' の位相差を変えた場合の i_{02} , i_{03} の軌跡

Fig. 4. Loci of i_{02} and i_{03} when the phase differences between I_0 and I' are changed.

i_{02} , i_{03} はほぼ I_0 に比例する。負担 2Ω (50 VA 相当) ではその比例性はあるが大きさは小さくなる。その傾向は巻数の少ない i_{03} の方が大きい。又、これらの特性傾向は二次負担の大きさ、種々の組合せにおいても同様である。

第4図は(29)式の状況を大きく示すため、 I_0 の小さい領域で I_0 と I' の位相を 360 度変化させて測定した結果であり、 i_{02} , i_{03} の軌跡がそれぞれ i_{R2} , i_{R3} を半径とする円となっている。図中 i_{02} , i_{03} は $I'=0$ の場合の値である。この図で i_{03} の頂点は i_{R3} の円の中心より大きく離れており鉄心予磁化の影響がよくわかる。なお、第3図では不明確であるが、第4図から

I_0 の小さい領域では I_0 と I' の位相によって i_0 は異なった値をとり、 I_0-i_0 特性は種々の曲線となることが知られる。

〈3・2〉 残留電流特性 残留電流は I_0 を含まない I , すなわち I' を流した場合に零相回路に流れる電流のことで、その式は(27), (28)式より $I_0=0$ において得られる。すなわち

$$i_{R2} = -\frac{\frac{1}{M_s} \sum \left(\frac{I_n'}{K} \right) Z_{B1n} \left(1 - \frac{m_n}{M_s} \right)}{1 + \frac{3Z_{R2}}{M_s} + \frac{1}{3M_s} \sum Z_{B1n} \left(1 - \frac{m_n}{M_s} \right)} \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$i_{R3} = \frac{K_1}{3} \frac{\frac{1}{M_s^2} \sum \left(\frac{I_n'}{K} \right) Z_{B1n} m_n}{1 + \frac{K_1^2}{3M_s} (Z_{R3} + \sum Z_{B1n})} \quad \dots\dots\dots (31)$$

上式より、残留電流の発生原因は、 i_{R2} の場合 Z_{B1} の不平衡と m の存在、 i_{R3} の場合 m の存在であることが知られる。それらの大きさは、 I' , m , Z_{B1} 及びその不平衡度の大きい程、又 M_s , 零相回路負担が小さいほど大きくなる。

特に、 i_{R2} は Z_B の不平衡によっても発生する点が注目される。しかも一般 CT では m/M_s は小さい(試料では 0.2 以下)から i_{R2} はほぼ Z_B の不平衡度で左右されるとみてよい。

次に、前記試料による実験結果を示す。第5図は各種負担の組合せによる i_{R2} , i_{R3} の測定結果である。 i_{R2}

第5図 二次負担の組合せによる i_{R2} , i_{R3} の大きさ

Fig. 5. Magnitude of i_{R2} and i_{R3} with the various secondary burdens.

第6図 i_{R2} , i_{R3} の電流特性
Fig. 6. Variations of i_{R2} and i_{R3} with the primary currents.

第7図 i_{R2} , i_{R3} の零相負担特性Fig. 7. Variations of i_{R2} and i_{R3} with the zero phase burdens.

は負担平衡の場合に小さく、不平衡度が大きくなると i_{R2} も大きくなる傾向がわかる。しかし、 i_{R3} はそれ程明確でない。又三相（正・逆相順）電流、単相電流それぞれの値の間にも一定の傾向はない。これらは組合せる CT によって定まるものである。

第6図は電流特性で I' に比例することがわかる。第7図は零相回路の負担特性で i_{R2} はその影響が小さいが、 i_{R3} は大きい。傾向としては負担の増加で減少する方向にある。

〈3・3〉 i_{R2} と i_{R3} の関係 組合せる3個の CT は一般に同一設計のものであるから、各 CT の Z_{2l} , Z_{3l} は等しいとみてよい。いま、平衡負担の場合における i_{R2} , i_{R3} を (30), (31) 上より導出すると次式となる。

$$i_{R2} = \frac{Z_{B1} \sum I_n' m_n}{K M_s (M_s + 3 Z_{R2} + Z_{B1})} \quad \dots\dots\dots (32)$$

$$i_{R3} = \frac{K_1}{3} \frac{Z_{B1} \sum I_n' m_n}{K M_s \{M_s + K_1^2 (Z_{R3}/3 + Z_{3l})\}} \quad \dots\dots\dots (33)$$

この両式において、分母の $(3Z_{R2} + Z_{B1})$ と $K_1^2 (Z_{R3}/3 + Z_{3l})$ が等しいか、 M_s に対して無視できる値であれば、 i_{R2} , i_{R3} との間には次の関係がある。

$$i_{R3} = (K_1/3) i_{R2} \quad \dots\dots\dots (34)$$

前記試料の測定結果から、 i_{R3} の値を (34) 式により i_{R2} に換算し、 i_{R2} の測定値と比較すると第1表のようになり、ほぼ一致することがうかがえる。この結果は、平衡負担であること及び、 Z_{R2} , Z_{R3} に条件があるが、次項に述べる誤差試験結果などから計算される i_{R2} より i_{R3} の大きさが推定できることを示し有用である。

〈3・4〉 残留電流と零相分電流との比 継電器と

第1表 i_{R2} と i_{R3} の関係Table 1. Relations between i_{R2} and i_{R3} .

通電 CT ($i' = 5A$)	二次負担 (VA) $CT_a - CT_b - CT_c$	i_{R3}		i_{R2}
		実測値 (mA)	二次換算値* (mA)	実測値 (mA)
CT_a CT_b CT_c (3相)	10-10-10	14.7	4.2	4.0
	20-20-20	22.0	6.3	5.7
	40-40-40	37.5	10.7	10.1
CT_a CT_b (単相)	10-10-10	21.5	6.1	6.8
	20-20-20	32.1	9.1	9.8
	40-40-40	52.4	14.9	15.7

*: (34) 式で換算 ($K_1 = 200/19$)

組合せ I_0 の検出感度を上げようとする場合問題となるのは i_{R2} と i_{02}' あるいは i_{R3} と i_{03}' の比である。いま、(27)~(29)式から、これらの比を求めると次式となる。

$$\left. \begin{aligned} i_{R2}/i_{02}' &= \sum I_n' Z_{B1n} (1 - m_n/M_s) / I_0 M_s \\ i_{R3}/i_{03}' &= \sum I_n' Z_{B1n} m_n / I_0 M_s^2 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (35)$$

(35) 式において、 $m/M_s < 1$ であるから同一条件に對しては i_{R2}/i_{02}' より i_{R3}/i_{03}' の方が負担条件にもよるが一般的に小さく有利である。しかし、平衡負担の場合には

$$\begin{aligned} i_{R2}/i_{02}' &= i_{R3}/i_{03}' \\ &= Z_{B1} \sum I_n' m_n / I_0 M_s^2 \quad \dots\dots\dots (36) \end{aligned}$$

となり両者に差異はなくなる。

又、これらの比は、 I_0 一定の場合、巻数比に無関係に I' が増加すると大きくなる。すなわち、適用上は好しくない方向であり、定格電流が大きい場合には、 I_0 の検出感度を下げる必要が生ずることを意味する。

第2表 i_{R2}/i_{02}' と i_{R3}/i_{03}' の値Table 2. Values of i_{R2}/i_{02}' and i_{R3}/i_{03}' .

二次負担 (VA) $CT_a - CT_b - CT_c$	正 相 順		逆 相 順	
	i_{R2}/i_{02}'	i_{R3}/i_{03}'	i_{R2}/i_{02}'	i_{R3}/i_{03}'
10-10-10	0.03	0.04	0.06	0.06
20-20-20	0.05	0.05	0.09	0.08
40-40-40	0.08	0.09	0.13	0.12
10-20-10	0.03	0.04	0.06	0.06
10-20-20	0.06	0.04	0.01	0.07
10-20-40	0.17	0.02	0.13	0.09
10-40-10	0.14	0.07	0.15	0.08
20-20-40	0.13	0.03	0.12	0.10
20-40-40	0.11	0.05	0.02	0.11
40-10-40	0.27	0.06	0.24	0.11

注: 1) $I' = 5A$ (3相)

2) I_0 を 25 AT ($i_{02}' = 0.124A$, $i_{03}' = 0.42A$ 相当) として計算

前記試料についてこれらの比を計算し、第2表に示す。この表からも上述のことが十分理解できる。

4. 残留電流の試験

〈4・1〉 試験法 残留電流を求めるには、次の方法がある。

(i) 直接測定

(ii) 間接測定

(イ) 誤差測定結果より計算する。

(ロ) 励磁特性より計算する。

(iii) 単相電流による試験結果より三相電流における値を計算する。

(i) 直接測定について

CT 3個を正規に接続し、負担、電流など与えられた条件で i_{R2} , i_{R3} を直接測定するもので、最も正確な方法である。試験法については特に問題となることもないので省略する。但し、大電流 CT の場合には三相の試験電源を得ることに困難な場合がある。

(ii) 間接測定について

(イ) 誤差試験結果より計算する場合 まず、 i_{R2} について、(6)式より $I_0=0$ のときは次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} I_a + I_b + I_c &= 0 \\ i_a + i_b + i_c &= i_{R2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (37)$$

一般に、CT では $i_{en} = I_n/K - i_n$ の関係があるから、(37)式より

$$i_{R2} = -(i_{ea} + i_{eb} + i_{ec}) \dots\dots\dots (38)$$

CT 個々の誤差 ($\delta = \epsilon + j\theta$) は $(Ki_e/I) \times 100(\%)$ で与えられるから、(38)式より(39)式を下記のように右辺で割る。ゆえに

$$i_{R2} = -(I_a \delta_a + I_b \delta_b + I_c \delta_c) / 100 - K \dots (39)$$

となり、 i_{R2} が求められる。

i_{R3} の計算は、平衡負担 (Z_{B1}) で、 $(3Z_{R2} + Z_{B1})$ と $K_1^2(Z_{R3}/3 + Z_{B1})$ が等しいか、 M_s に対して十分小さい場合 (以下 i_{R3} の特殊条件と言う) にのみ、(34)、(39)式を用いて可能である。

(ロ) 励磁特性より計算する場合 i_{R2} は与えられた負担、電流条件における各 CT の励磁電流から、(38)式により求められる。これは(イ)項と同じである。この他に、与えられた条件における励磁特性から M_s , m_n を求め、(30)式により計算できる。この場合には励磁特性を位相を含めて十分な精度で測定することが必である。

i_{R3} は(イ)項と同様、 i_{R3} の特殊条件の場合のみ計算し得られる。

(iii) 単相試験結果より三相時の値の計算 上記の直接測定において、三相大電流電源が得られない場合には、単相大電流による試験 (CT 2 個の組合せで 2~3 回) 結果から三相電流における i_{R2} , i_{R3} が計算できる。

今、(30)式において

$$\begin{aligned} Q &= -1/K \{M_s + 3Z_{R2} \\ &\quad + \sum Z_{B1n} (1 - m_n/M_s)/3\} \\ A &= Z_{B1a} (1 - m_a/M_s) \\ B &= Z_{B1b} (1 - m_b/M_s) \\ C &= Z_{B1c} (1 - m_c/M_s) \end{aligned}$$

とおくと、三相平衡電流 (I') のとき次式となる。

$$i_{R2} = I'Q(A + a^2B + aC) \dots\dots\dots (40)$$

一般に $m_n/M_s \ll 1$ であり、又、平衡負担の場合に M_s , m_n/M_s はほぼ一定とみられるから、 Q , A , B , C はほぼ定数と考えてよい。このような形の式においては単相電流試験結果より三相電流時の i_{R2} が計算できる⁽²⁾。

すなわち、 CT_a - CT_b に単相電流 (I') を流したときの残留電流を i_{RA} , CT_b - CT_c , CT_c - CT_a のときそれぞれ i_{RB} , i_{RC} とすると、平衡三相電流 (I') のときの残留電流は次式で与えられる。なお、単相試験の場合においても各 CT の二次側は与えられた条件で三相接続して置く必要がある。

$$\left. \begin{aligned} \text{正相順の場合} \quad i_{R2} &= i_{RA} - a i_{RB} \\ \text{逆相順の場合} \quad i_{R2} &= i_{RA} - a^2 i_{RB} \end{aligned} \right\} \dots\dots (41)$$

次に、 i_{RA} , i_{RB} , i_{RC} の大きさのみが測定されたときは、それらのうちの最大 (例えば i_{RA}) を基準とし、 $b = i_{RB}/i_{RA}$, $c = i_{RC}/i_{RA}$ を用いて次式で計算できる。

$$\begin{aligned} i_{R2} &= i_{RA} \{ (1/\sqrt{2}) \{ (1 + b^2 + c^2)/2 \\ &\quad \pm \sqrt{3} \sqrt{4b^2c^2 - (1 - b^2 - c^2)} \} \}^{1/2} \\ &\dots\dots\dots (42) \end{aligned}$$

上式で、 i_{R2} に2つの値が得られる。これは I' の正相順と逆相順の値である。しかし、何れが正相順の値かは不明である。一般に i_{R2} はその2値のうち大きい方が必要であり、相順の区別は必要ない。

i_{R3} の場合も平衡電流、平衡負担の場合には(40)式と全く同じ形となり、(41)、(42)式により計算できる。

上記(i)~(iii)の方法により、前記試料の i_{R2} , i_{R3} を計算し、実測値と比較した結果を第3表に示す。この結果から、 i_{R2} 及び三相平衡電流、平衡負担における i_{R3} は何れの方法によっても実測値とほぼ一致することがわかる。参考として、表中(第3表下3行)に i_{R3} の不平衡負担における値を試算して示したが何れも実

第 3 表 i_{R2}, i_{R3} の計算値と実測値Table 3. Measured and calculated values of i_{R2} and i_{R3} .

(単位: mA)

	二次負担の組合せ (VA)	実 測 値*		誤差測定結果より計算		励磁特性から(30), (31)式により計算		単相試験結果から計算			
								正 相 順		逆 相 順	
		正相順	逆相順	正相順	逆相順	正相順	逆相順	(41)式による	(42)式による	(41)式による	(42)式による
i_{R2}	CTa-CTb-CTc										
	10-10-10	4.0	7.8	4.3	7.2	4.2	6.8	3.4	4.1	8.8	7.7
	20-20-20	5.7	11.3	5.1	10.4	5.7	9.8	5.3	7.1	12.2	10.5
	40-40-40	10.1	16.2	9.8	14.3	10.5	15.8	9.4	11.2	17.8	16.0
	10-20-40	20.8	15.8	21.2	15.9	20.6	17.0	21.2	20.5	15.6	17.8
	20-20-40	16.8	14.9	17.3	15.2	15.9	11.3	16.7	19.6	15.2	12.3
i_{R3}	20-40-40	13.5	2.0	13.5	3.0	13.2	3.4	13.6	14.3	1.9	2.5
	10-10-10	14.7	23.6	14.3	24.0	14.0	22.5	12.9	14.0	25.0	23.7
	20-20-20	22.0	32.6	20.1	34.7	21.0	32.7	23.8	23.9	32.3	30.3
	40-40-40	37.5	50.9	32.7	47.6	35.0	52.7	38.5	41.0	53.3	48.0
	10-20-40	7.3	37.2	—	—	19.3	48.0	15.2	10.3	48.4	45.0
	20-20-40	13.9	40.1	—	—	12.2	52.7	10.6	11.6	45.2	46.4
	20-40-40	22.8	46.1	—	—	18.8	45.5	26.2	28.2	52.9	50.4

*: $I = 5\text{ A}$ (三相) $Z_{R2}, Z_{R3}: 0.01\Omega$

測値と一致していない。これは次の理由によると考えられる。すなわち、不平衡負担のときは v_{R2} (第 3 図参照) が大きく生じ、これが三相電流の場合と単相電流の場合で異なり、 M_s, m の値を変化させるためと思われる。

なお、第 3 表右欄の単相試験結果から計算した場合の相順の区別は実測値と比較し、推定して示したものである。

5. む す び

CT 3 個を三相接続し、その残留回路あるいは三次巻線を開放三角結線した回路で構成する零相回路について、零相電流特性、残留電流特性を解析した。その結果次のことが明らかとなった。

零相電流特性は、零相二次電流と残留電流のベクトル和となる。且つ予磁化鉄心を用いた CT のような特性を示す。

残留電流の発生原因は、CT に関しては使用状態における各 CT の励磁インピーダンスのばらつきによる。特に、 i_{R2} の場合には、二次負担の不平衡も大きな発生原因となり、これが i_{R2} の大きさを決定する最大の要因ともなわれる。一般使用の場合には二次負担に極端な不平衡はないと思われるが、できうる

限り平衡するよう図ることが望ましい。

零相回路負担の影響は巻数の少ない i_{R3} の方がうけ易い。

二次負担が平衡し、零相回路負担が一定条件にある場合には、 i_{R2} と i_{R3} の間に巻数比に関する一定の関係がある。

i_{R2} は間接測定により十分に求められるが、 i_{R3} は二次平衡負担の場合以外は簡単に求められない。

i_{R2} は単相試験結果から三相の場合の値を計算によって求めることができる。 i_{R3} の場合のそれは二次負担平衡の場合に限られる。与えられた CT (鉄心) において、一次巻数の変更により定格一次電流を大きくすると、一定の I_0 に対する残留電流の比が小さくなり場合によっては継電器の I_0 設定を大きくする必要が生ずる。

以上の結果が、零相回路の適用上、保護継電器の電流設定、あるいは規格化の場合などに役立てば幸である。

(昭和 50 年 9 月 2 日受付, 同 51 年 6 月 30 日再受付)

文 献

- (1) 坪内: 電試研報 No. 664 (昭 41-7)
- (2) 西野・坪内: 電学誌 87, 2017 (昭 42-10)
- (3) 池田: 昭 29 電気三学会連大 No. 77