

保護継電方式における検出端機器 (CT) の特性

Characteristic of CT in Protection Scheme

四 十 万 稔*
Minoru Shijima

I. ま え が き

保護継電方式の適用可否には検出端機器 (CT, PT またはPD) と検出器 (継電器) の有機的な結合の良否が大きな影響をもっている。

継電器単体についての開発は、トランジスタ、サイリスタなど半導体製品の進歩に伴って著しく改善され、すでに実用段階に入っているが、他方検出端機器としての変成器類にはあまり改善の努力が払われていない。

実系統における故障現象を的確に把握し、継電器への判定入力とするためには検出端機器の性能向上が継電器同様に論じなければならない。

特に、故障発生初期における過渡現象時にどのような特性を有するかが問題であり、この関係を扱った文献も最近多くなっている。^{(1)~(15)}

一次系統現象を忠実に継電器に提供し得るかということは保護継電方式全般の高信頼性、高速化解決の一課題でもある。

トランジスタ、サイリスタなど軽量、小形半導体素子は本質的にサージ、高調波異常電圧に対する許容レベルが低いから、これらの対策も考慮しなければならないし、変成器自体の忠実な変成がどの程度可能であるかは継電方式高性能化の重要な問題である。

この意味で保護継電器用計器用変成器について各種過渡特性試験を行ない、性能向上調査の一助に報告するとともに、継電器には変成器との結合において検討すべき諸点を提起したつもりである。

II. CT の過電流域特性

計測用の CT は系統の正常な場合に働くものであるが、継電器用の CT は短絡あるいは地絡など系統に故障の生じた場合に働くもので定格電流の数倍特には 20 倍を越える過電流域の特性が問題になる。すなわち

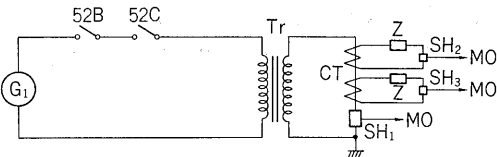
- (1) 電 流 特 性
- (2) 負 担 VA 特 性
- (3) 過渡電流変成特性

などが充分な適格性をもっていないと保護継電器用としては使用できないことになる。

最近のように超高压系統が多くなるによりCTに課せられる責務も以上の意味で過酷となりつつある。この

第1表 定 格 仕 様
Table 1. Rated specifications of CT

項 番	定格電圧 (kV)	定格電流		定格周波数 (Hz)	定格負担 (VA)
		一 次 (A)	二 次 (A)		
(a)	80.5	800-400	5	60	40
(b)	"	300-150	"	"	"
(c)	"	600-300	"	"	"
(d)	"	100	"	"	"



- G₁: 短 絡 発 電 機
- 52B: 保護用しゃ断器 (OCB)
- 52C: 投入用開閉器
- Tr: 変圧器 22-11kV/600-300V, 1,000kVA
- CT: 供 試 品
- SH₁: 分流器 5.06V/10kA および 2.19V/150kA
- SH₂₋₃: 分流器 150A/45mV 150A/60mV
- Z: 定格負担 40VA pf=0.8
- MO: 電 磁 オ シ ロ

第1図 試 験 回 路
Fig. 1. Testing circuit

第2表 結 果 一 覧 表
Table 2. Results of test

項番	CT タ ッ プ	投入波高値		0.3秒後電流		JEC-145による一次電流 (kA)	通電時間 (sec)	温度上昇 (°C)
		一次 (kA)	二次(A)	一次 (kA)	二次(A)			
			No. 1 No. 2		No. 1 No. 2			
(a)	800A/5A	80.3	137 139	35.7 199	197	34.7	1.13	8.5
(b)	150A/5A	15.1	160 166	6.48 187	193	6.5	1.19	3.5
(c)	600A/5A	77.5	188 153	25.5 208	199	26.0	1.14	6.5
(d)	100A/5A	40.7	220 —	15.7 352	—	15.5	1.15	3.0

- 注) 1) いずれも試験前後絶縁抵抗は無限度であった (1,000Vメガーで測定)。
2) 1秒通電時の平均電流は 0.3秒後の値に大体等しくなるので、一次、二次電流の関係をみるためこの値を表示した。ただし一次電流はこの実効値、二次電流はこの波高値。
3) 二次電流 No. 1, No. 2 は、二次巻線が 2 本あるものにつき、便宜上符号をつけた。

* 制技・系統技術部

観点より以下、当社短絡試験設備を用いて試験を行なった結果を述べることにする。

1. CTの過電流強度試験(その1)

供試品の定格仕様は第1表のとおりである。

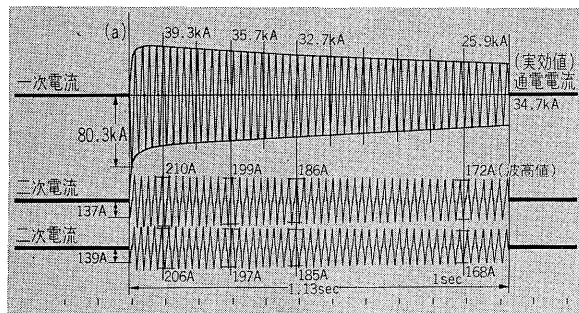
試験内容は下記のとおりで、第1図はその試験回路、第2図(a)~(d)は結果のオシログラム、第2表に結果の一覧を示す。

(1) 過電流強度および通電時間

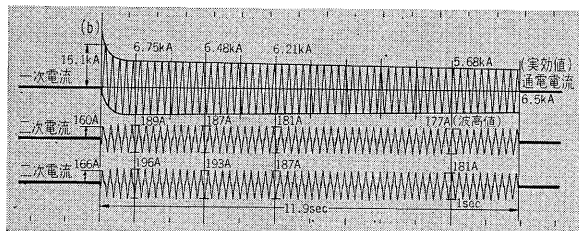
項番(d)のみ定格電流の150倍
他項番のものは定格電流の40倍
通電時間1秒

(2) 定格負担 二次負担 40 VA, pf=0.8

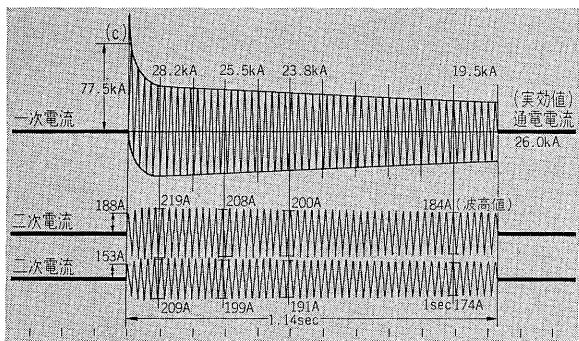
(3) 温度上昇 外部端子で測定



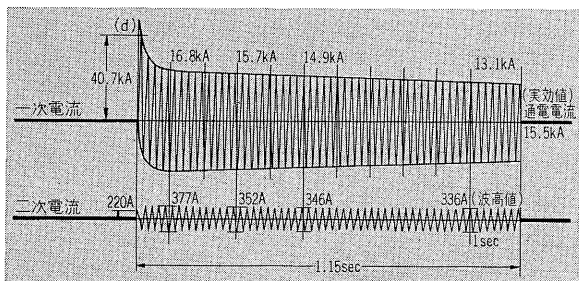
(a)



(b)



(c)



(d)

第2図 過電流強度試験結果(その1)

Fig. 2. Testing results of overcurrent strength (Part 1)

(4) 絶縁抵抗測定

試験は JEC-143 に準拠し、通電電流(実効値)は JEC-145 に準拠した。

2. CTの過電流試験(その2)

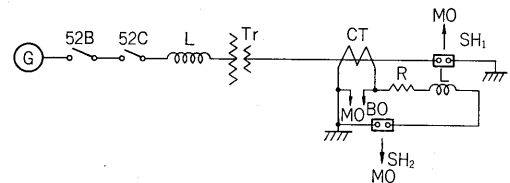
供試品定格仕様は第3表のとおりである。

試験内容は(その1)と同じ、第3図はその試験回

第3表 定格仕様

Table 3. Rated specifications of CT

項 番	一次電流 (A)	二次電流 (A)	負 担 (VA)	過電流強度
(a)	400	5	40	75倍
(b)	600	5	40	40倍



G: 三相短絡発電機 1,500 MVA
Tr: 大電流変圧器 300kVA
SH1, SH2: 電流測定用分
流器
52C: 投入用開閉器

52B: 保護用しゃ断器

測 定 項 目
(a) 主回路電流(一次電流)
(b) 二次電圧
(c) 二次電流

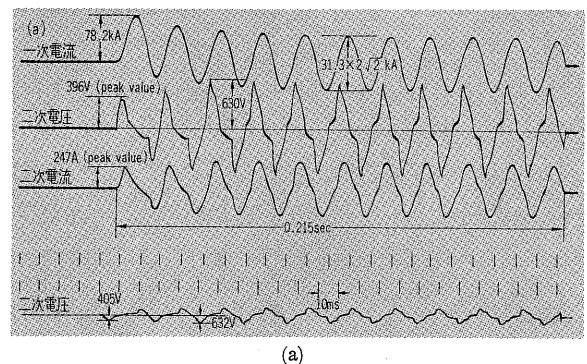
第3図 試験回路

Fig. 3. Testing circuit

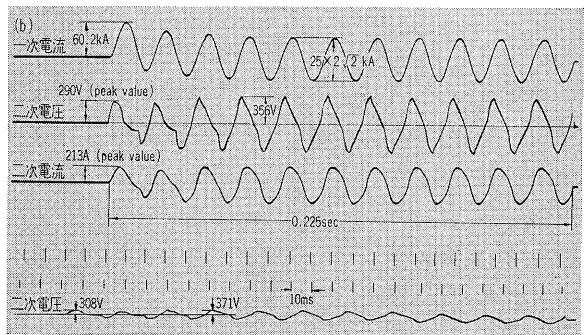
第4表 結果一覧表

Table 4. Results of test

供試品	主回路電流 (kA)	主回路電流投入 波高値(kA)	通電時間 (sec)	結 果
400/5A	31.3	78.2	0.215	外観上異常なし
600/5A	25.0	60.2	0.225	同 上



(a)



(b)

第4図 過電流強度試験結果(その2)

Fig. 4. Testing results of overcurrent strength (Part 2)

路，第4図(a)～(b)は結果のオシログラム，第4表に結果の一覧を示す。

3. CTの過渡特性試験（その1）

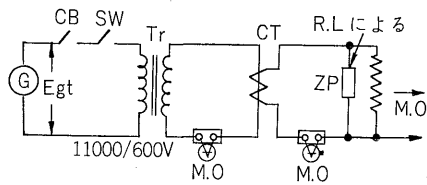
1) 供試品定格仕様

CT 2-60 形 400-200/5A 40 VA pf=0.8
O.C.C>20 O.C.S=40 倍（試験時一次400A タップ）

2) 試験内容と回路 11,000/600V

3) 試験結果

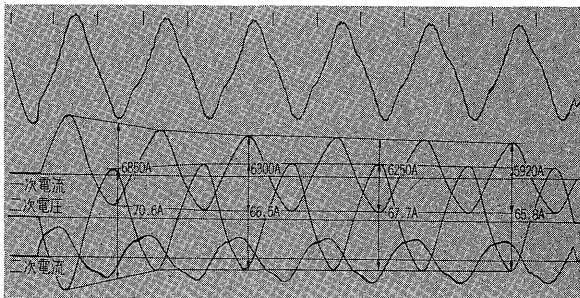
試験回路は第5図，結果のオシログラムは第6図(a)～(e)に示す。



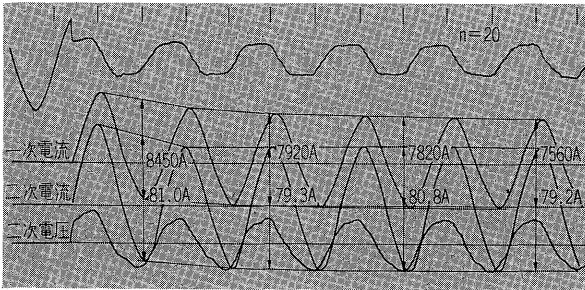
第5図 試験回路
Fig. 5. Testing circuit

- 1) 回路定数はオシログラムの直流分減衰項および上記発電機出力端電圧とから求めることができる。
2) (c) の試験前に減磁を行なう。

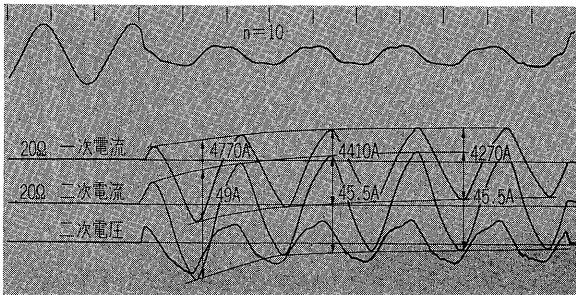
OSC. No.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
発電機端子電圧 Egt(kV)	2.24	2.75	1.56	2.74	1.60



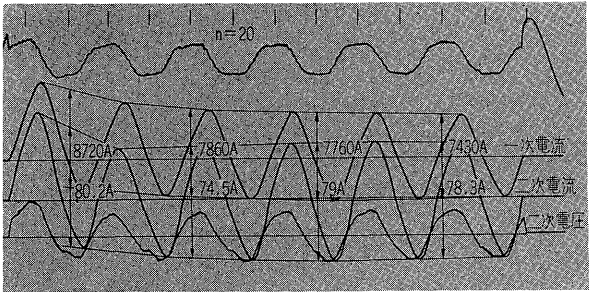
(a)



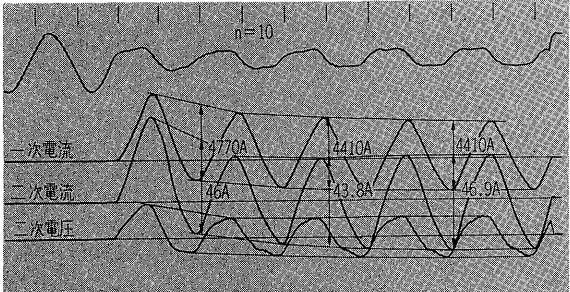
(b)



(c)

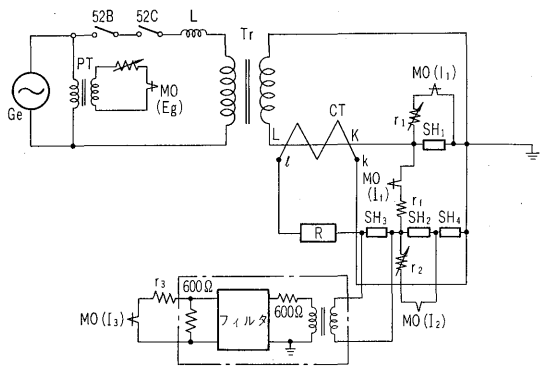


(d)



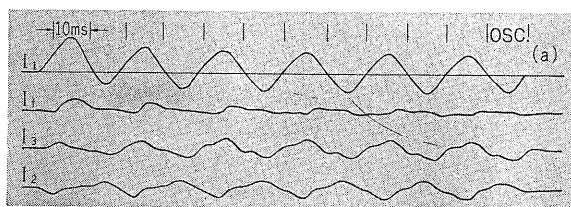
(e)

第6図 過渡特性試験（その1）
Fig. 6. Transient response of CT (Part 1)



- Ge：短絡発電機 短絡容量 100MVA
52B：保護用しゃ断器
52C：投入開閉器
L：電流調整用限流リアクトル 1.16Ω
Tr：電源変圧器 3,000kVA 11kV/300V %Z=0.8
CT：供試変流器使用タップ 200/5A
PT：計器用変圧器 11kV/110V
SH1：一次電流および励磁電流測定用分流器 0.112mΩ
SH2：二次電流測定用分流器 2.1mΩ
SH3：フィルタ出力測定用分流器 53.5mΩ
SH4：励磁電流測定用分流器 2.1mΩ
r1：電磁オシロ外付抵抗 10, 20, 45Ω
r2：電磁オシロ外付抵抗 5, 10Ω
r3：電磁オシロ外付抵抗 3kΩ
R：二次負担 1.53Ω pf=1
MO：電磁オシロエレメント
測定項目
Eg：発電機電圧
I1：一次電流
I2：二次電流
Ir：励磁電流
Is：フィルタ出力電流
主回路減衰時定数 T=30ms (OSC.(c)より求めた)

第7図 試験回路
Fig. 7. Testing circuit

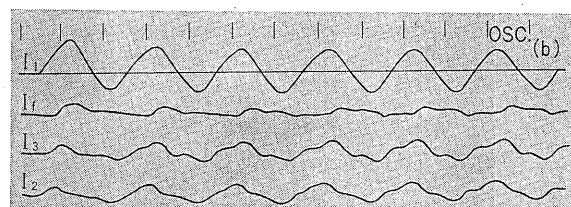


最大過渡項発生位相で投入されたもので、CTの残留磁束は不明。一次電流は標準的な定常項と過渡項の合成波形であるが、二次電流はほぼ $\frac{1}{4}$ サイクルで急減し、逆に励磁電流が急増する。これは理論的にも説明される。二次電流が零となる点で励磁電流が最大値となる。

本オシロでは二次電流の極性が逆になっている。過電流の倍率は

$$\frac{11,400}{2 \times \sqrt{2} \times 200} = 20.1 \div 20(\text{倍})$$

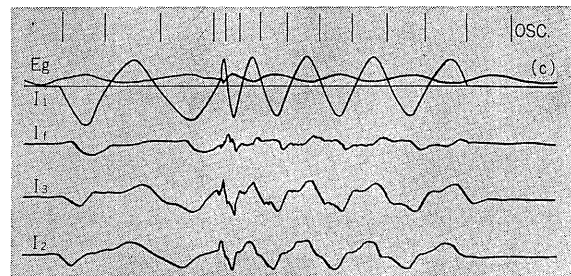
である。フィルタ出力波形もほとんど二次電流と一致している。特に波形ひずみの差は助長されていない。フィルタのおくれが多少出ている。



最大過渡項発生位相で投入されたオシロである。ただし投入に先立って※注3に記したようにCTの交流減磁を行なっていたので、残留磁束は一応零と考えてよい。過電流倍率は

$$\frac{10,300}{2 \times \sqrt{2} \times 200} = 18.1 \div 18(\text{倍})$$

である。フィルタ出力波形、二次電流波形ともに第1波が後続第2波以降とかなり異なっている。傾向はOSC(a)と同じである。

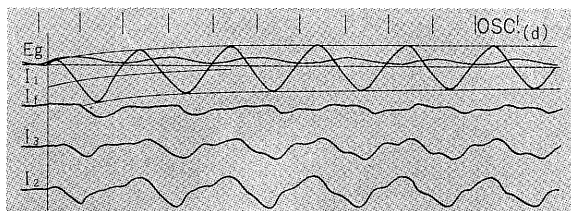


最大過渡項発生位相で投入されたオシロでOSC(b)と同一条件であるが多少位相の差がある。

第1波のみに着目して観測したものである。過電流倍率は

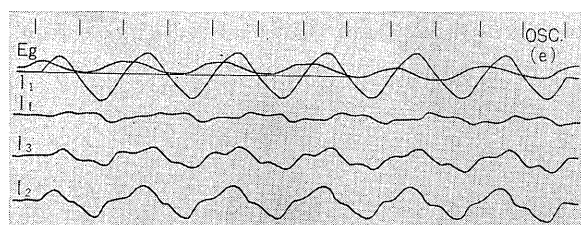
$$\frac{8,700}{2 \times \sqrt{2} \times 200} = 15.4(\text{倍})$$

である。



投入位相をほぼ 30° 程度ずらして投入したもので過渡項の初期値はやや低くなっている。二次電流、フィルタ電流ともに一次電流と同じように立上りは逆方向に振れている。減磁してあるが、この程度の電流ではほぼ $\frac{1}{4}$ 波の時間内でCTは飽和している。傾向はOSC(a)~(b)に同じ。なお本オシロより求めた主回路時定数は約30msである。なお二次電流測定のためのオシロスケールを変更した。

$$\text{過電流倍率は } \frac{11,200}{2 \times \sqrt{2} \times 200} = 19.8(\text{倍}) \text{ である。}$$



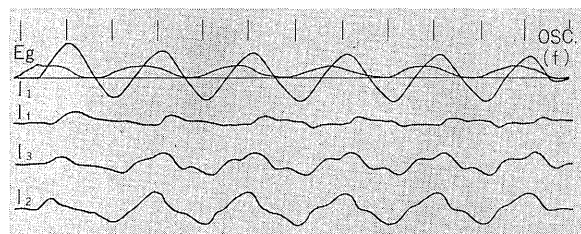
OSC(d)と同一測定条件である。ただし電源投入位相を過渡項零ならしめるように投入した最良状態である。電源電圧最大で投入され二次電流は $\frac{1}{4}$ 波で飽和している。二次電流零で励磁電流がほぼ最大に達している。

フィルタの立ち上がりはやや緩やかとなっているが遅れ時間は少ない。

過電流倍率は

$$\frac{8,300}{2 \times \sqrt{2} \times 200} = 14.6(\text{倍})$$

で測定中最小である。



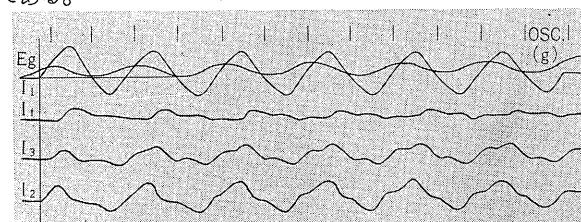
CTに直流電流を流して残留磁束を一方方向で最大とした場合で $k(+)$ はこれを示したものである(※注3参照)。

最大過渡項発生位相で投入され、 $\frac{1}{4}$ 波以下でCTが飽和している。

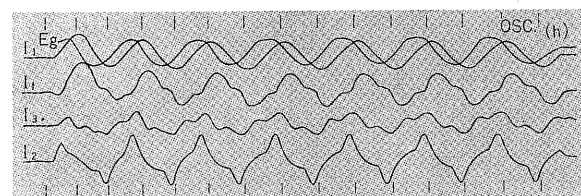
過電流倍率は

$$\frac{9,800}{2 \times \sqrt{2} \times 200} = 17.3(\text{倍})$$

である。



OSC(f)と逆に $k(-)$ としてCTの残留磁束を逆方向に最大とした場合である。過電流率は前者と同一である。この結果による限りは直流分で偏移されたCT残留磁束の大きさはあまり結果に影響しないという結論になったが交流分と過渡直流分の大きさおよび鉄心のヒステリシス特性の影響で残留磁束が無視できる結果になったと考えるべきであろう。



大きな短絡電流の場合で I_f , I_s , I_3 がいずれも極端に変形されている。飽和発生も $\frac{1}{4}$ 波以下で始まる。

過電流倍率は

$$\frac{35,000}{2 \times \sqrt{2} \times 200} \div 62(\text{倍})$$

である。

第8図 過渡特性試験結果(その2)

Fig. 8. Transient response of CT (Part 2)

第5表 結 果 一 覧 表

Table 5. Results of test

OSC No.	一 次 電 流 (I_1)				残留磁束 ※3	二次負担 (pf=1)(Ω)	二次電流スケール (I_2) A/mm(r_2)	(If) 励磁電流スケール A/mm(r_f) ※4	(Is) フィルタ出力 スケール V/mm(r_s)
	第一波高値 (kA)	実効値 (kA)※1	DC分含有率 (%)※2	スケール A/mm(r_2)					
(a)	11.4	4.92	62	4.56(10 Ω)	—	1.53	23.6(10 Ω)	1,483(100 Ω)	0.927(3k Ω)
(b)	10.3	"	43	"	減 磁	"	"	"	"
(c)	8.7	"	21	"	減 磁	"	"	"	"
(d)	11.2	5.25	60	"	減 磁	"	15.2 (5 Ω)	"	"
(e)	8.3	4.92	23	"	減 磁	"	"	"	"
(f)	9.8	"	36	"	k(+)	"	"	"	"
(g)	"	"	37	"	k(-)	"	"	"	"
(h)	35.0	15.5	57	1,825(45 Ω)	減 磁	"	"	"	"

注) ※1.2 実効値および DC 分含有率は短絡電流通電後 $\frac{1}{2}\infty$ 時点の対称分実効値および DC 分含有率で表わす。

※3 減磁は二次側より AC 150V (5.8A) まで印加し行ない、残留磁束 k(+) とは k を (+) として DC 44.6A を流し、k(-) は k を (-) として DC 44.6A を流したものである。

※4 一次電流換算のスケールである。

電流目盛はオシロ内電流値が実効値を示してある。

電圧目盛は $n=10$ 倍の場合 5.7 V/mm eff.

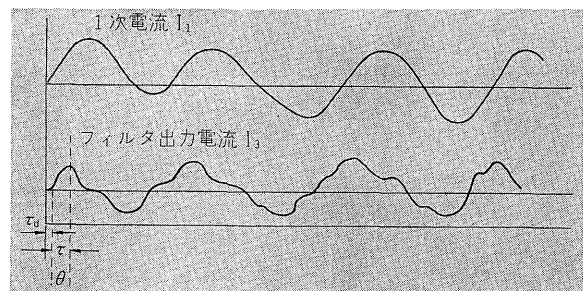
$n=20$ 倍の場合 7.6 V/mm eff.

第6表 フ ィ ル タ 効 果

Table 6. Filter effects

OSC No.	実効値 I_1 [kA]	I_2/I_1N	I_3/I_1N	τ [ms]	θ (度)	$I_3/I_1N \sin \theta$	残流磁束
(a)	4.92(2.46 n)	0.9	0.77	4.7	85°	0.78	不 明
(b)	4.92(2.46 n)	0.9	0.77	4.2	76°	0.79	減 磁
(c)	4.92(2.46 n)	1.0	0.77	3.9	70°	0.82	減 磁
(d)	5.25(2.63 n)	0.9	0.77	3.7	67°	0.83	減 磁
(e)	4.92(2.46 n)	1.0	0.7	4.0	72°	0.74	減 磁
(f)	4.92(2.46 n)	1.0	0.66	3.1	56°	0.8	k(+)
(g)	4.92(2.46 n)	0.95	1.0	5.0	90°	1.0	k(-)
(h)	15.5(7.75 n)	0.62	0.51	2.7	48°	0.68	k(-)

$$n > 10 \quad N = \frac{1}{40} \left(= \frac{5}{200} \right)$$



第9図 OSC 波形例

Fig.9. Example of wave form

フィルタ効果については試験結果より得られた波形分析により第6表のごとき結果となった。

第6表よりフィルタ出力は故障発生直後のおくれは $\tau_d \approx 2 \sim 3$ ms である。また出力波形の立ち上がりより 5 ms 以内では CT 公称変流比の 80% であり $OCC > 10 = n$ の CT であるため定格負担でも、2.5 n 倍では比誤差が 20% 位に増大していることを示している。

すなわち CT が飽和開始前で検出端機器の総合誤差は $OCC > 10$ とした CT で 2.5 n まで、短絡電流を流すと 20% の比誤差が生ずることを示している。

また、本フィルタ（基本波、第2、第3高調波用低域

4. CTの過渡特性試験（その2）

供試品定格仕様は下記のとおりである。

モールド形 CT 400-200/5A 40VA

23kV OCS 27kA $n > 10$, 1.0 級

試験内容は下記のとおりで第7図はその試験回路、第8図(a)~(h)は結果のオシログラム、第5表は結果の一覧を示す。

過電流の大きさ、直流分の大きさ、残留磁束の有無などの CT の過渡電流変成特性に及ぼす影響を測定する。

短絡発電機は 100 MVA 11 kV で電源変圧器により降圧され低圧 300V 側に短絡大電流を流し、本回路にそう入された供試変流器の一次電流、二次電流および励磁電流の波形を観測し、第3高調波を越える高次調波のフィルタを、供試変流器二次回路に接続してフィルタ出力電流波形も併せて観測した。OSC(c)~(h)には発電機電圧も測定に加えた。

なお本試験において電源変圧器の変圧比 11,000/300 = 36.7 に合わせるため、分流器 $SH_1 = 0.112 m\Omega$, $R = 1.53 \Omega$, pf = 21.0, $SH_2 = 2.1 m\Omega$, $SH_3 = 53.5 m\Omega$, $SH_4 = 2.1 m\Omega$ とし

$$SH_1 : SH_2 + SH_4 = 0.112 : 4.2 = 1 : 37.5$$

がほぼ変圧比 36.7 : 1 の逆比になるよう選定した。

したがって試験回路図でわかるように I_f 測定素子には CT が飽和した場合に $I_1 - I_2 = I_f \div I_1$ に比例する波形が観測されることになる。

主回路時定数は測定されたオシロより求めてほぼ $T = 30$ ms (OSC(d) 参照) となっており超高圧系統で 50~60 ms の時定数に比べて減衰が約 2 倍の速さとなっている。

フィルタ) は良好な特性をもち、故障発生よりの時間おくれは最大で約 3 ms 以下であった。

5. 154 kV 級 CT との等価性について

電気機械の保護設計などに必要となる変流器の過渡電流変成特性は最近大分関心がもたれ、研究も多数あるが、鉄心の飽和という複雑な現象が介入するため定量的に満足できるものは皆無である。

この変成特性解明の一方法として、実験的検討が考えられる。いく種類かの変流器について電流値、直流分時定数、二次負担などを変えた測定を行ない、これから一貫した、法則性を見出す方法は大電流を繰り返し通電するという実験の困難さと経済性の点で実現がむずかしい。実験が比較的簡単に行なえる電流の小さい変流器について得られた結果から実用性のある変流器の特性を推定することができるものか検討してみる。

変流器の類似法

変流器の二次回路について次の方程式が得られる。

$$10^{-8} \cdot N_2 \frac{d\phi}{dt} = i_2 r_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで $\phi = N_2 \phi$ (二次の共通磁束との鎖交数)

N_2 = 二次のターン数

ϕ = 一次と二次に共通な磁束数

i_2 = 二次電流 [A]

r_2 = 二次回路の抵抗 [Ω]

L_2 = 二次回路、漏れインダクタンス [H]

t = 時間 [sec]

式(1)を積分すると

$$\frac{\phi}{10^8} = \int \frac{r_2}{N_2} i_2 dt + \frac{L_2}{N_2} i_2 + \frac{\phi_0}{10^8} \quad \dots\dots\dots(2)$$

となる。ここで積分定数は残留磁束に比例したものである。鉄心に作用する起磁力が一次アンペアターンから二次アンペアターンを引いたものに等しいことから次の関係式が得られる。

$$N_2 i_2 = N_1 i_1 - \frac{hl}{0.4\pi} \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここで i_1 = 一次電流 [A]

N_1 = 一次のターン数

$\frac{h}{0.4\pi}$ = 鉄心に作用する起磁力 [AT/cm]

l = 鉄心の平均磁路長 [cm]

一次と二次巻線に対する共通磁束は

$$\phi = A \cdot B \quad \dots\dots\dots(4)$$

と書ける。ここで

A = 鉄心断面積 [cm^2]

B = 磁束密度 [line/ cm^2]

式(3)、(4)を式(2)に代入すると、負担の効果を含めた変流器の動作を決定する一般式が得られる。

$$\frac{A \cdot B}{10^8} = \int \frac{r_2}{N_2^2} \left(N_1 i_1 - \frac{hl}{0.4\pi} \right) dt + \frac{L_2}{N_2^2} \left(N_1 i_1 - \frac{hl}{0.4\pi} \right) + \frac{A \cdot B_0}{10^8} \quad \dots(5)$$

この両辺を $r_2 l / N_2^2$ で割ると次式が得られる。

$$\frac{N_2^2 A \cdot B}{r_2 l \cdot 10^8} = \int \left(\frac{N_1 i_1}{l} - \frac{h}{0.4\pi} \right) dt + \frac{L_2}{r_2} \left(\frac{N_1 i_1}{l} - \frac{h}{0.4\pi} \right) + \frac{N_2^2 A \cdot B_0}{r_2 l \cdot 10^8} \quad \dots(6)$$

第7表 CT 比較表

Table 7. Comparison of CT

POS.	CT	定 格 仕 様	過電流 i_1 (A)	巻 数 一次 二次 N_1 N_2	平均磁路 長 l (cm)	鉄心断面 積 A (cm^2)	二次抵抗 r_2 (Ω)	二次インダ クタンス L_2 (H)	$\alpha = \frac{AN_2}{r_2 l}$	$\beta = \frac{L_2}{r_2}$	$\frac{N_1 \cdot i_1}{l}$	備 考
1	140号	1,200/5A 40VA 1.0級 $n > 20$ 40倍	8,100	2 478	128	36	2.21	14.56×10^{-8}	2.9×10^4	6.58×10^{-8}	439	
2	140号	1,200/5A 100VA 1.0級 $n > 10$ 40倍	28,100	2 478	128	36	4.13	19.15×10^{-8}	1.56×10^4	4.64×10^{-8}	439	
3	20号 モールド 形	400-200/5A 40VA 1.0級 $n > 10$ 27kA [OS C(b)]	4,920	4 159	63	23	1.782	1.39×10^{-8}	0.52×10^4	0.782×10^{-8}	313	過電流は 200Aタップ
		同 上	6,910	4 159	63	23	0.319	2.1×10^{-8}	2.91×10^4	6.58×10^{-8}	439	POS.1と等 価にした場合

(注) 1) 二次抵抗、二次インダクタンスは内部および負担の二次回路全体の値を示す。
 2) 過電流 28,100A はしゃ断容量 7,500MVA に相当する。
 実系統における 154kV 系の短絡容量 (三相对称しゃ断容量) を 7,500MVA とすると短絡電流 $= \frac{7,500\text{MVA}}{\sqrt{3} \times 154\text{kV}} = 28,100\text{A}$ となる。
 実用される CT 定格を 1,200-2,000/5A, $n > 20$, 100VA 1.0 級とすると $\frac{28,100}{1,200} = 23.4 > 20 (= 11.7n)$ となる。
 $\frac{28,100}{2,000} = 14.05 < 20 (= 0.7n)$
 試験に使用した CT は 20 号モールド CT で 400-200/5A, $n > 10$, 40VA 1.0 級 $\frac{4,920}{200} = 24.6 > 10 (= 2.46n)$
 であり、200A タップに対して $\frac{5,250}{200} = 26.25 > 10 (= 2.63n)$
 $\frac{10,500}{200} = 52.5 > 10 (= 5.25n)$
 $\frac{15,500}{200} = 77.5 > 10 (= 7.75n)$
 となり、かなり過酷な条件であったことは上記値と比較して充分わかることである。

ここで $\alpha = AN_2^2/r_2l$ [ターン²・cm/ Ω]

$$\beta = \frac{L_2}{r_2} \quad [\text{H}/\Omega = \text{sec}]$$

とすれば式(6)は次のようになる。

$$\alpha B = 10^8 \int \left(\frac{N_1 i_1}{l} - \frac{h}{0.4\pi} \right) dt + \beta \cdot 10^8$$
$$\left(\frac{N_1 i_1}{l} - \frac{h}{0.4\pi} \right) + \alpha B_0 \dots\dots\dots (7)$$

この式から $N_1 i_1/l$, α , β , B_0 および鉄心の特性が同じなら変流器鉄心磁束密度の動作は同じになることがわかる。

[注](1) AIEE Transaction Vol. 61, 1942, pp. 280~285

以上の考察から、変流器が過渡電流を変成する際の鉄心磁束密度の変化のみに着目すれば、四つの因子があることになる。鉄心飽和後の二次電流は問題にせず、飽和開始あるいは終了を知りたい場合には、鉄心磁束密度の変化を知れば充分と考えられる。

ここで当社の 140 号 CT と 20 号モールド CT の一例について示すと第 7 表のようになる。

これを比較した場合、たとえば第 7 表の POS.1 の

CT のと等価にするためには、20 号モールド CT の二次負担を $0.067 + j0.223[\Omega]$ とし過電流の実効値を 6,910 A にすればよいことがわかる。

今回実施した 20 号モールド CT では 1.53Ω の純抵抗負担とした場合であり、POS.1 と比較した場合には負担が大きすぎることになる。ただし、これは逆に過電流的に過酷な状態であるといえることができる。

III. CT の二次側移行電圧

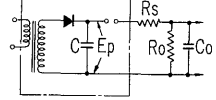
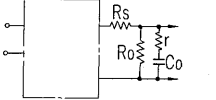
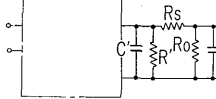
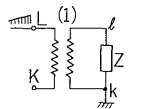
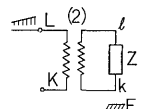
最近の傾向として保護継電器にはトランジスタおよびサイリスタを使用した半導体継電器が多くなり需要は増大することが予想される。

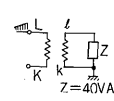
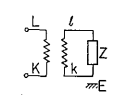
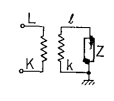
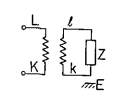
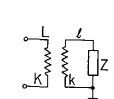
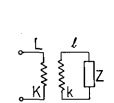
半導体継電器はある値以上の電圧を加えると破壊する致命的欠陥をもっており、したがって CT 二次側に接続されるこの種継電器が一次側の開閉サージまたは衝撃波 (インパルス) の値によって破壊することも予想されるので CT の二次側へ、どの程度異常電圧が移行するかを調査した。

供試品定格仕様は下記のとおりである。

第 8 表 試 験 結 果 (その 1)

Table 8. Test results (part 1)

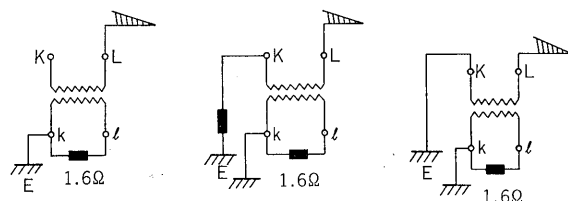
3.6kV プチルゴムモールドCT CB6-6 形												
①	試験内容	アナライザ試験による二次側への移行電圧調査測定一次側印加波形 $T_f=0.2\mu\text{s}$, $1.0\mu\text{s}$, $200\mu\text{s}$ の3種類 $0.2\times 40\mu\text{s}$ (開閉サージ) $1.0\times 40\mu\text{s}$ (開閉サージ) $200\times 1,000\mu\text{s}$ (開閉サージ緩波頭)										
②	供試品形式	プチルゴム モールドCT CB6-6 形 (3,000/5A, 40VA)										
③	試験回路	(1) $0.2\times 40\mu\text{s}$  $C: 0.1(\mu\text{F})$ $E_P: 310\text{V}$ $R_S: 150(\Omega)$ $R_0: 880(\Omega)$ $C_0: 200(\text{pF})$ (2) $1\times 40\mu\text{s}$  $R_S: 150(\Omega)$ $R_0: 880(\Omega)$ $C_0: 2,500(\text{pF})$ $r: 15(\Omega)$ (3) $200\times 1000\mu\text{s}$  $C': 0.6(\mu\text{F})$ $R': 4.5(\text{k}\Omega)$ $R_S: 2(\text{k}\Omega)$ $R_0: 30(\text{k}\Omega)$ $C_0: 0.5(\mu\text{F})$										
④	供試品の結線	(1)  (2) 										

⑤ 試験結果	印加 波形	結線	オシ 番号	V/div		$\mu\text{s}/\text{div}$	測定点	二次移行電 圧% 検出波 Peak/印加 波 Peak
				印加 波	検出 波			
	$T_f=200\mu\text{s}$ $T_t=1,000\mu\text{s}$		3-4	100	5	100	k-l	1.62
			3-6	100	5	100	k-l	3.85
	$T_f=1\mu\text{s}$ $T_t=40\mu\text{s}$		3-9	100	5	10	k-l	1.72
			3-10	100	5	10	k-l	3.95
	印加 波形	結線	オシ 番号	V/div		$\mu\text{s}/\text{div}$	測定点	二次移行電 圧% 検出波 Peak/印加 波 Peak
				印加 波	検出 波			
$T_f=0.2\mu\text{s}$ $T_t=40\mu\text{s}$		3-12	100	5	1	k-l	2.7	
		3-14	100	5	1	k-l	3.95	

※上記において二次側を接地しない場合、l-E 間のみ測定したが k-E 間には l-E とほとんど同一であったため省略した。

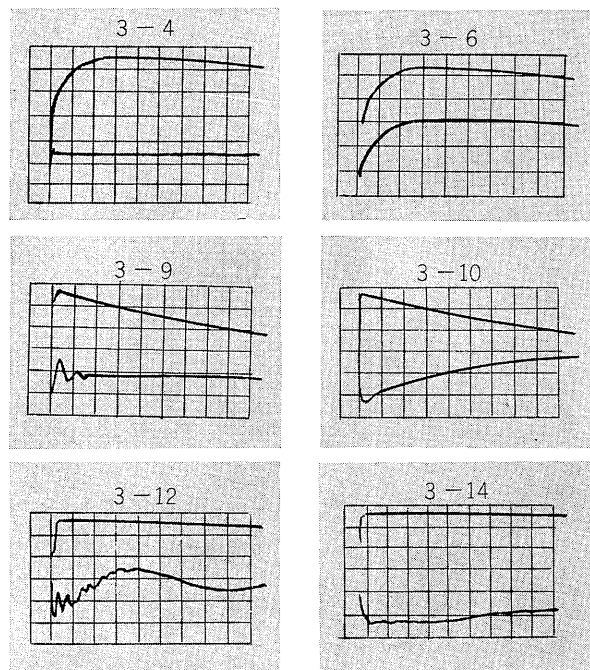
- (1) 3.6kV プチルゴムモールドCT : CB6-6 形
3,000/5A 40VA
(2) 油入CT : CT2-60 形 400-200/5A 40VA
(3) 油入形CT : KCTSO 913/100 形 400/5A 100VA

試験内容としては絶縁階級に対応した異常電圧を一次側へ印加し、二次側へ移行する電圧を測定した。特にCTの場合にはさらに一次端子間の発生電圧がCT自身の設計上でも必要なので、アナライザ試験も実施した。



測定箇所
K-E 間, L-E 間, K-L 間, k-l 間

第 10 図 CT の結線および測定箇所
Fig.10. Connection of CT and measuring point



第 11 図 アナライザ試験オシログラム
Fig.11. OSC of analyzer test

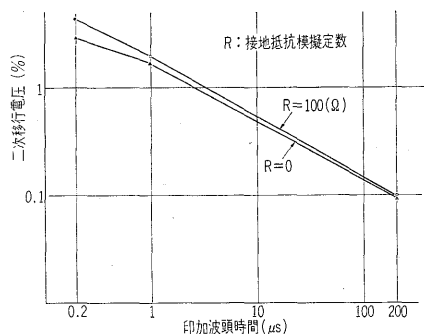
第 9 表 試験結果 (その 2)

Table 9. Test results (Part 2)

3.6kV プチルゴムモールドCT CB6-6 形		⑤ 試験結果	印加波形	結 線	移行電圧 (%)	測定点	オシログラム	
① 試験内容	アナライザ試験による二次側への移行電圧調査測定 一次側印加波形 $T_f=0.2\mu s, 1.0\mu s, 200\mu s$ の 3 種類 0.2×40 μs (開閉サージ) 1.0×40 μs (開閉サージ) 200×1,000 μs (開閉サージ緩波頭) (その 1) では接地抵抗を考慮せず直接接地したが (その 2) では接地抵抗集中抵抗を挿入し試験を行ないその影響を比較した。						波 形	検出条件
② 供試品形式	モールドCT CB6-6 形(3,000/5A) 40VA		0.2×4.0 μs		4.5	k-l		100 V/div 5 V/div 1 μs /div
③ 試験回路	(1) 0.2×40 μs $C: 0.1(\mu F)$ $R_s: 150(\Omega)$ $R_0: 1.2(k\Omega)$ $E_p: 310(V)$ $C_0: 200(pF)$ (2) 1×40 μs $R_s: 150(\Omega)$ $R_0: 1.2(k\Omega)$ $C_0: 2,500(pF)$ $r: 15(\Omega)$ (3) 200×100 μs $C': 0.5(\mu F)$ $R_s: 1.2(k\Omega)$ $R_0: 10(k\Omega)$ $R': 4.5(k\Omega)$ $C_0: 0.05(\mu F)$	同上	3.0	k-l		100 V/div 5 V/div 2 μs /div		
		R=0						
		1×40 μs	同上	2.0	k-l		100 V/div 5 V/div 2 μs /div	
		R=100 Ω						
		同上	1.7	k-l		100 V/div 5 V/div 2 μs /div		
		R=0						
④ 供試品の結線	Z: 40 VA R: 接地抵抗 (第 3 種接地相当) 最大許容値として 100 Ω の集中抵抗を挿入	200×1,000 μs	同上	0.1以下	k-l		100V/div 1V/div 200 μs /div	
		R=0, R=100						

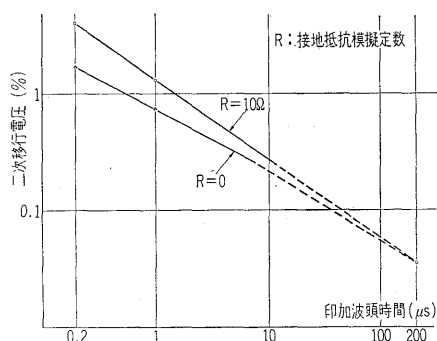
注) 1. 移行電圧% = $\frac{\text{検出波 Peak}}{\text{印加波 Peak}} \times 100$

2. 緩波頭 (200×1,000) 印加は R=0, 100 Ω とともに検出波に変化なし。



第 12 図 モールド CT : CB6-6 形移行電圧特性

Fig. 12. Transfervoltage characteristic of mold CT type CB 6-6



第 13 図 油入CT : CT2-60

Fig. 13. Transfer voltage of CT type CT 2-60

第 11 図は第 8 表⑤におけるアナライザ試験結果のオシログラムである。

試験結果 (その 2) は第 9 表のとおりである。

第 12 図は結果 (その 1), (その 2) をまとめて示したものである。

試験結果 (その 3) を第 10 表に示す。

[CT2-60 形油入CT]

- 1) 緩波頭波 ($200 \times 1,000 \mu s$) を印加した場合は, 二次側への移行分はほとんど零である。これは $200 \mu s$ 程度の立ち上がりでは, すでに静電移行ではなく, 電磁的な結合をしていると考えられ, 結線図から明らかなように一次側他端開放で印加しているため, 二次側への誘起電圧は零となる。

なお, $200 \mu s$ では周波数にして $1.25 kHz$ となる。

- 2) 油タンクの接地をはずすと, $0.2 \times 40, 1 \times 40 \mu s$ の各波についてみる限り, かなり移行電圧が増大する (シールドの効果がなくなる)。

- 3) 接地抵抗を集中定数として, そう入しているため, 実際の分布的な接地抵抗とは異なり, かなり, 検出電圧が大きくなっているものと思われる。したがってこの試験結果そのものが実際使用状態で発生するとは考えられず, ほぼ最大としてみても良いと考える。

試験結果 (その 4) は第 11 表に示す。

第 10 表 試験結果 (その 3)

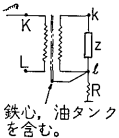
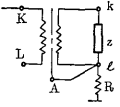
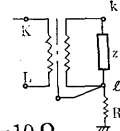
Table 10. Test results (Part 3)

油入CT		CT2-60 形
① 試験内容	結果 (その 1) (その 2) に同じ	
② 供試品形式	油入CT	CT2-60 (400-200/5A) 40VA
③ 試験回路	結果 (その 2) モールドCTに同じ	
④ 供試品の結線		

⑤ 試験結果		CT2-60 形			
印加波 形	結 線	移行 電圧 (%)	測定点	オシログラム	
				波 形	検出条件
$0.2 \times 40 \mu s$		3.9	k-l		100 V/div 10 V/div $2 \mu s/div$
	同 上 R=0	1.7	k-l		100 V/div 5 V/div $2 \mu s/div$
	同 上 (接地線Aをはずす) R=10Ω	17.7	k-l		100 V/div 20 V/div $2 \mu s/div$
$1 \times 40 \mu s$		1.3	k-l		100 V/div 2 V/div $2 \mu s/div$
	同 上 R=0	0.74	k-l		100 V/div 2 V/div $2 \mu s/div$
		6.6	k-l		100 V/div 20 V/div $2 \mu s/div$
$200 \times 1,000 \mu s$	同 上 R=0	3.7	k-l		100 V/div 10 V/div $2 \mu s/div$
		0.05 以下 ≒ 零	k-l		100 V/div 0.5 V/div $200 \mu s/div$

注) 1. 移行電圧%とは $\frac{\text{検出波 Peak(max)}}{\text{印加波 Peak}} \times 100$

第 11 表 試 験 結 果 (その 4)
Table 11. Testing results (Part 4)

油入 C T		kCTSO 913/100 形				
①	試 験 内 容	(その 1), (その 2), (その 3) に同じ				
②	供試品形式	油入 C T kCTSO 913/100 形 (400/5A,100V A)				
③	試 験 回 路	(その 2), (その 3) に同じ				
④	供試品の結線	 Z : 100 VA R : 接地抵抗 集中抵抗10Ωを挿入 鉄心、油タンク を含む。				
⑤ 試 験 結 果	印加波 形	結 線	移行電 圧 %	測 定 点	オシログラム	
					波 形	検出条件
	$0.2 \times 40 \mu s$	 k=10Ω	5.2	k-l		100 V/div 10 V/div 1 μs/div
		同 上 R=0	4.3	k-l		100 V/div 10 V/div 1 μs/div
	$1 \times 40 \mu s$	 R=10Ω	3.9	k-l		100 V/div 10 V/div 2 μs/div
		同 上 R=0Ω	3.5	k-l		100 V/div 10 V/div 2 μs/div
	$200 \times 1,000 \mu s$	同 上 R=10, R=0	0.05 以下 ÷ 零	k-l		100 V/div 1 V/div 200 μs/div

IV. む す び

計器用変成器の過渡変成特性として本号では C T を中心として述べた。次回は P T を中心として報告する予定である。

参考文献

(1) Gerhard Rosenberger : Stromwandler für neuzeitlichen Netzschutz.
Siemens Z. 1966 H. 1, S. 18~23

(2) Rudolf Zahorka : Das Verhalten von Stormwandlern bei Einschwingvorgängen.
AEG-Mitteilungen 56 (1966) 3. S. 209~215

(3) Rudolf Zahorka : Das Verhalten von Stromwandlern bei Einschwingvorgängen mit Gleichstromgliedern unter Berücksichtigung der Sättigung.
AEG-Mitteilungen 57 (1967) 1. S. 19~27

(4) Rudolf Zahorka, Von Hans Hermann Bay, Walth Halama, Johannes Hermann Noeller : Verhalten von Stromwandlern und Distanzschutzrelais bei Kurzschlussströmen mit Gleichstromglied.
ETZ-A Bd. 88 Jg 3 März (1967) H. 5, S. 113~120

(5) Hans Petry : Strom- und Spannungswandler für Schnellen Netzschutz.
Elektrizitätswirtschaft. Jg. 67 (1968) H. 7, S. 167

(6) J.W. Hodgkiss : The Behaviour of Current Transformers Subjected to Transient Asymmetric Currents and the Effects on Associated Protective Relays.
CIRGE (1960) 329

(7) Von Hans Klinger : Meßwandler als Betriels Mittel
Siemens Z.
September 1966 H. 9, S. 667~672

(8) R.G. Bruce, A. Wright : Remanent Flux in Current-Transformer Cores.
Proc. IEE, Vol. 113, No. 5 May 1966 pp. 915~920

(9) D.E. Marshall, P.O. Langguth : Current Transformer Excitation under Transient Conditions.
Transaction A.I.E.E. October 1929 pp. 1464~1474

(10) 森本・井上・和田 : 変流器の過渡特性
電力 Vol. 50, No. 4 (41 年 4 月) pp. 34~41

(11) C. Concordia, C.N. Weygant, H.S. Shott : Transient Characteristics of Current Transformers during Faults,
Transaction A.I.E.E. May 1942 61, 281

(12) 石川・藤木 : シャ断器投入時における高圧 C T の異常電圧発生現象
電力 Vol. 47, No. 3 (38 年 3 月) pp. 40~44

(13) W.P. Lewis : Effect of Transients on E.H.V. Protection Part. 1
Electrical Times, 19 January, 1967 pp. 83~86

(14) W.P. Lewis : Effect of Transients on E.H.V. Protection Part. 2
Electrical Times, 26 January, 1967 pp. 132~134

(15) W.P. Lewis : Effect of Transients on E.H.V. Protection Part. 3
Electrical Times. 2, February 1967 pp. 180~182



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。