

最近,ビルや工場,商業施設などの大規化により低圧配電設備の対地静電量が増加の傾向にある.そ れに伴って対地絶縁抵抗と対地静電容量の合成による漏えい電流が増加し,漏電検出リレーや漏電遮断 器が誤動作するなどの事例が増えている.また,動力設備や照明設備へのインバータ導入が進み,ス イッチングノイズと対地静電容量によって起こる高周波無効漏えい電流の増加も誤動作を発生する要因 となっている.ここでは,そうした課題を解決するため,開発・製品化された「ベクトル理論方式」によ る測定器とリレーについて紹介する.

電気設備にとって絶縁性能の信頼性は最も基本であり、対地絶縁性能を診断するには、等価対地絶縁抵抗に起因する漏えい電流(*I*₀,)を検出することが最も有効である.

一方,ビルや工場,商業施設などの大規模化 により,低圧配線設備の対地静電容量はますま す増加の傾向にある.

その結果,対地絶縁抵抗と対地静電容量の合成による漏えい電流(*I*₀)が増加し,*I*₀の検出で動作する現状の漏電検出リレーや漏電遮断器が誤動作・不要動作し,その際,*I*₀の測定器で調査しても原因がつかめない事例が増えている.

また,動力設備や照明設備へのインバータの 導入が進み,スィッチングノイズと対地静電容 量に起因する高周波無効漏えい電流の増加も誤 動作・不要動作の発生を助長する要因につな がっている.

筆者らは、三相3線式デルタ結線と単相3線 式電路において対地静電容量や高周波無効漏え い電流に影響されにくく、正確な*I*₀、を検出可 能な「ベクトル理論*I*₀、方式(TrueR)」による測 定器とリレーを開発,製品化した.その理論と 製品について解説する.



従来の漏えい電流 I₀検出方式(以下 I₀方式) について第1図のスター結線ベクトル図とデ ルタ結線ベクトル図を用いて説明する.

 スター結線の正常時において、各相の *I*₀ が平衡していれば、*I*₀ のベクトル合成 は零となるが、S相接地のデルタ結線の正 常時においては、Sは0電位でありS相に



第1図 Υ 結線および △ 結線のベクトル図



第2図 △結線の I_{oc} および I_{or}

は *I*_{0c} が発生しない.

その結果, RとT相の二相の*I*₀により ベクトル合成は零にならない.

 ② R相とT相で大きさが等しい等価対地 静電容量成分に起因する,R相電流(以下 *I*_{0cR}),T相電流(以下 *I*_{0cT})が発生している 場合,第2図に示すようにR→T間の電 E V(R→T)∠180°の逆向きであるT→R 間の電E V(T→R)∠0°を基とした

 $I_{0c} \angle 180^{\circ} = I_{0cR} \angle 150^{\circ} + I_{0cT} \angle 210^{\circ}$ が発生する.

 R相とT相に,抵抗成分に起因するR 相電流(以下 I_{0rR}),またはT相電流(以下 I_{0rT})が単独に流れている場合,I₀はI_{0c}と I_{0rR},またはI_{0rT}の合成となる.

そして**第3図**における R 相での1線地 絡と,**第4図**における T 相での1線地絡 では, $I_0 \ge I_{0rR}$, または I_{0rT} の大きさの関 係は異なる様相を示す.

 ④ R相に1線地絡が起きた場合,第3図に おいてθの領域をa, b, cに分けて説明する.

a.
$$120^{\circ} \le \theta \le 180^{\circ}$$
の場合
 $I_0 > I_{0rR}$ $\theta = 150^{\circ}$ のときは
 $|I_{0rR}| = \frac{1}{\sqrt{3}} \times |I_0|$
b. $\theta = 120^{\circ}$ の場合
 $|I_{0rR}| = |I_0| = |I_{0c}|$
c. $60^{\circ} \le \theta \le 120^{\circ}$ の場合

$$egin{aligned} &I_0 \!<\! I_{0rR} & heta \!=\! 90^\circ \, \mathcal{O}$$
 ときは $&|I_{0rR}| \!=\! rac{2}{\sqrt{3}} imes |I_0| \end{aligned}$



第3図 R相の IorR と Ioc のベクトル合成による Io



第4図 T相の Iort と Ioc のベクトル合成による Io

例えば前記 c. で,定格動作電流が 30 mA の漏電遮断器の場合,性能は定格動作 電流×70%近くで動作するので, I_{0c} が 11 mA 発生していると, I_{0rR} が 22 mA 流れて も, I_0 は 19 mA となり,この漏電遮断器 は動作しないことが起こる.

このように R 相に地絡が起きた場合に は,不完全な漏電保護領域が存在すること になるが,一般的に I₀ > I_{0rR} と考えられて いるため, I₀ 方式の漏電遮断器でも安全と 誤解されている.

⑤ T相に1線地絡が起きた場合は第4図に 示すとおり、I_{0c}∠180°とI_{0rT}∠120°を合成 し、I₀>I_{0rT}である.

T相の1線地絡の場合は、I₀は常にI_{0r} より大きいのでI₀方式の漏電遮断器でも 安全と言えるが、一方では誤動作・不要動 作の問題が発生している。



第5図 I_{0r}, I_{0r}, I_{0c}の関係とθ領域(60°~180°)



R→T間の電圧V(R→T)の逆相電圧V(T→R)を基準として,漏えい電流 I_0 とV(T→R)の位 相差角(θ)から I_{0r} を求めることができる.第2 図に示したベクトル図より,V(T→R)を基準 としてベクトル図を整理すると,**第5**図になる.

 $V(T \rightarrow R)$ を基準にして、 $V(S \rightarrow R)$ は60°、 $V(T \rightarrow S)$ は120°進む. また、 $V(S \rightarrow R)$ と $V(T \rightarrow S)$ よりそれぞれ90°進みの I_{0cR} と I_{0cT} を 合成したベクトル I_{0c} は180°になる.したがっ て、 I_0 は、60°から180°の領域(θ)に発生する.

(1) *I*₀の位相角 θ

 I_{0r} を求めるうえで必要な、 I_0 の位相角度(θ) は基準電圧 $V(\mathbf{T}
ightarrow \mathbf{R})$ から求められる.

(2) *I*_{0r} と *I*_{0r} の位相の等価変換

90°を対称に±30°の位相差のある *I*_{0r} と *I*_{0r} の位相の等価変換には、次式を用いる.

 $\sin 120^{\circ} = \sin (180^{\circ} - 120^{\circ}) = \sin 60^{\circ}$

120°の I_{0rT} は上式より60°となり, I_{0rR} のベクトルに一致する.また,180°の I_{0c} は、上式から0°になり, $V(T \rightarrow R)$ の角度に重なる.同様に、 $\theta > 90°$ で120°および180°以外の I_0 も、0°から90°の位相になる.

以上により, I_0 はすべて第1象限にベクトル 表示できるので,漏えい電流 I_0 とその位相角 θ



第6図 演算後のベクトルと Ior を求める説明図

(60°≤θ≤180°)の範囲において、I₀からI₀rを 算出する.

(3) I_{0r} の算出 第6図において, $I_{0r}\cos 30^\circ = I_0\sin \theta$ $I_{0r} = \frac{I_0\sin \theta}{\cos 20^\circ}$

上式により、T相では $I_0 \ge I_{0r}$ であるが、R 相では $60^\circ < \theta < 120^\circ$ の範囲で $I_0 \le I_{0r}$ となる. 本ベクトル理論 I_{0r} 方式の特徴は、基準電圧 を $V(T \rightarrow R)$ として I_0 から I_{0r} を導き出すこと により、 I_{0c} の影響を受けることなく、信頼度 の高い I_{0r} の検出が可能となる点である.



(1) クランプ型 *I*_{or} 測定器および検出 リレーの製品仕様

本ベクトル理論 *I*₀, 方式に基づいたクランプ 型 *I*₀, 測定器と検出リレーの製品仕様を**第1表** に示す.

(2) ビルにおける人工地絡試験と実測例 某ビルの電気設備の稼働状態で,第7図に

第1表 製品仕様

製品名	I _{or} リーククランプメータ	I _{or} リーククランプメータ	I _{or} 絶縁検出リレー		
写 真					
型名	IOR100 IGR ハンディー		K6ER-ZM2-FLKA2-K		
測定方法					
特 徴	小型・軽量 CT 一体型 PC 出力機能, MΩ 表示	CT 別型, I_{0c} 表示, $M\Omega$ 表示	2ch リレー,通信機能 ロギング機能		
クランプ CT 径 〔mm〕	<pre></pre>	<i>φ</i> 40, <i>φ</i> 68, <i>φ</i> 100 (交換型)	φ 22		
サイズ[mm]	208×70×41,320 g	158×98×40,450 g	90×70×56,240 g		
電源	単4 電池×2 本	AC 電源駆動	AC 電源駆動		
測定範囲〔mA〕	$I_{0r}: 0.80\!\sim\!1\ 000$ $I_0: 0.80\!\sim\!1\ 000$	$I_{0r}: 0.1\!\sim\!300 \ I_0: 0.1\!\sim\!300$	$egin{array}{c} I_{0r} : 1\!\sim\!2\ 000\ I_0 : 1\!\sim\!2\ 000 \end{array}$		
会 社	三和電気計器	三和電気計器 SoBrain			
標準価格[円]	98 000	オープン価格	45 000		



第7図 人工地絡試験回路

示す三相 210 V 動力配線設備において,**第**2, 3表に示す4種類の測定器とリレーについて, *I*_{0r}の変動と検出値の性能を確認するため,*I*_{0r} の変動=0~100 mAの人工地絡試験を行った. **写真1**に人工地絡に用いた水抵抗器を示し,R 相,T相の人工地絡試験結果を第2,3表に示す.

本試験の結果,ベクトル理論 *I*₀,方式(TrueR) は,負荷設備の運転状態の変動においても5 mA以下程度の微地絡電流を短時間で検出し, 表示することが確認できた.





ビル,工場やショッピングセンター,マンショ ンなどの大規模化により,配線設備の等価対地 静電容量は増加の傾向にある.

その要因には配線路の長距離化やノイズ対策 用フィルタの設置増加などがあるが,その結果, 低圧回路の地絡保護対策に,

- 地絡保護協調が困難となった
- •漏えい電流警報発生が多くなった

	オムロン(リレー)		三和電気計器(測定器)		SoBrain(測定器)		他社(測定器)	
人上地絡៕ 〔m4〕	ベクトル理論 I _{or} 方式(TrueR)						I _{or} 方式	
(IIIA)	I ₀	I _{0r}	I _o	I _{or}	I _o	I _{or}	I ₀	I _{0r}
5	14	11.9	14.7	14.3	15.4	13	14.3	$9 \sim 13(11)^*$
10	16.7	17.5	17	18	18.1	17.9	16.2	15.8
20	21.5	26.2	24.1	26.4	23.5	26.8	22.9	26
30	31.1	36.5	41.2	36.11	32.2	36.9	32.2	36.1
40	40.3	45.3	41.2	47	39.8	44.9	40.1	45.9
50	39.8	55.2	49.9	55.5	48.9	54.1	50.6	56.9
100	98	105.1	98.5	109.9	95.2	100	98.7	106.3

第2表 R相の人工地絡における I₀ と I₀,の測定値

〔単位:mA〕

第3表 T相の人工地絡における Ioと Iorの測定値

〔単位:mA〕

	オムロン(リレー)		三和電気計器(測定器)		SoBrain (測定器)		他社(測定器)		
人上地紹旭 〔m4〕	ベクトル理論 I _{or} 方式(TrueR)							I _{or} 方式	
(IIIA)	I _o	I _{or}	I _o	I _{or}	I _o	I _{or}	I _o	I _{0r}	
5	19.2	11.3	19.6	14	19.4	13	8.9	3~8 (5.6)*	
10	23.7	18.1	23.2	19.2	24.3	18.9	23	$14\!\sim\!16^*$	
20	41.7	26.5	33.3	29	33.4	28.7	33.3	25.9	
30	41.2	26.5	42	38.8	41.7	37	42	35.6	
40	50.8	36.5	51.8	48.7	50	46.6	51.7	35.6	
50	61.1	55.5	62.5	59.8	61.1	56.1	62.6	55.5	
100	110.5	106.3	112.6	109.7	108	105	111.8	106	

*表示に変動が見られた.

• 漏電遮断器が不要動作した

などの問題点が生じている.

本ベクトル理論 I_{or}方式漏えい電流検出技術 により、デルタ3線式(S相接地)、単相3線式、 単相2線式配線において、配線路の対地静電容 量の影響を受けることなく、次の効果が期待で きる.

- 本方式のリレー,測定器を採用すること により,電気設備の正確な漏えい電流と地 絡電流を検出することが可能となる
- ② 低圧回路の地絡保護において対地静電容量による健全回路の廻り込み電流(I₀)の検出を回避できるので、地絡事故回路だけを検出するという信頼度の高い地絡保護が可能となる

以上,本技術が低圧回路の漏えい電流検出技 術の向上に役立つことを期待している.

文 献

- (1)電気設備学会誌「ベクトル理論による Igr 検
 出方式の信頼性」, Vol. 29, 論文, pp. 57~
 64, 2009 年
- (2)電気学会産業応用部門大会(東京)「低圧回路の漏電検出技術」,2010年
- (3)電気設備学会 全国大会「ベクトル理論 I₀, 方 式による低圧回路の漏電検出技術」, 2010 年
- (4)電気情報社 電気現場技術「ベクトル理論 I_{or} 方式リーククランプメータ・I_{or} 100」, Vol.
 49,第572巻,2010年

職業能力開発総合大学校

(*1 ナカノ	ヒロノブ)
(*2 フルヤ	カズヒコ)
(* ³ タナカ	マサヒデ)
カシラモト	カズヨリ)
	(^{*1} ナカノ (^{*2} フルヤ (^{*3} タナカ カシラモト