

3355 ユーザーズガイド

1. 絶縁抵抗、漏れ電流(Io)、有効漏洩電流(Ior)

絶縁劣化が生じると、感電による人身事故、漏電による火災事故等が発生するため、定期的な絶縁点検が義務付けられています。

絶縁点検で Ior 測定の世界要求はどのように高まったのでしょうか??

一般家屋の電気保守点検を例にとって歴史と市場要求について説明します。

<p>-1. 絶縁抵抗</p>	<p>電気設備の保守点検の一つとして絶縁抵抗測定をする。一般家屋では4年に一度以上の点検が義務付けられています。</p> <p>しかし、ブレーカを切らなければならない点、プライバシーの問題、留守宅が多く点検できないことが理由で、絶縁抵抗測定ができない状況になりました。</p> <p>一般家屋だけではなく、病院、工場、データセンターのような施設は停電することができないので代替点検方法が求められていました。</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>電気設備技術基準 第58条</caption> <thead> <tr> <th>電路</th> <th>絶縁抵抗</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100V</td> <td>0.1MΩ</td> </tr> <tr> <td>200V</td> <td>0.2MΩ</td> </tr> <tr> <td>400V</td> <td>0.4MΩ</td> </tr> </tbody> </table>	電路	絶縁抵抗	100V	0.1MΩ	200V	0.2MΩ	400V	0.4MΩ
電路	絶縁抵抗								
100V	0.1MΩ								
200V	0.2MΩ								
400V	0.4MΩ								
<p>-2. 漏れ電流 (Io)</p>	<p>代わりに実施されている方法が漏れ電流 (Io) 測定です。クランプ漏れ電流計 (通称リーククランプ) を使って、引き込み口で測定ができます。屋内に入ることなく、ブレーカを切らないで、絶縁抵抗測定に代わり、電気設備の保安点検ができます。</p> <p>漏れ電流 (Io) は絶縁抵抗に流れる電流を指し、漏れ電流 (Io) が大きくなると絶縁劣化していると言えます。</p> <p>ビルや工場では絶縁抵抗と漏れ電流 (Io) 測定を使い分けられていることが多いです。日々の点検やトラブル時に漏れ電流 (Io) 測定、1年に一度の定期点検は深夜に電源を止めて絶縁抵抗を測定しています。</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>電気設備技術基準・解釈 第14条</caption> <tr> <td style="text-align: center;">漏れ電流は 1mA</td> </tr> </table>	漏れ電流は 1mA							
漏れ電流は 1mA									
<p>-3. 有効漏れ電流 (Ior)</p>	<p>しかし、漏れ電流 (Io) 測定が疑問視されるようになってきました。漏れ電流 (Io) は絶縁で問題となる抵抗に流れる漏れ電流と、絶縁とは問題ないコンデンサに流れる漏れ電流の合算を測定します。</p> <p>近年、IT機器やインバータ機器が増加しています。これらの機器にはノイズ対策用のフィルタが入っており、フィルタはコンデンサで形成されています。絶縁に問題がなくても、コンデンサによる漏れ電流により、漏れ電流 (Io) が大きくなり、絶縁管理ができなくなっています。</p> <p>漏れ電流 (Io) からコンデンサによる漏れ電流 (Ioc) を分離し、絶縁抵抗による漏れ電流 (Ior) を測定して、絶縁管理をする必要があります。</p>								

2. 問題点、市場要求

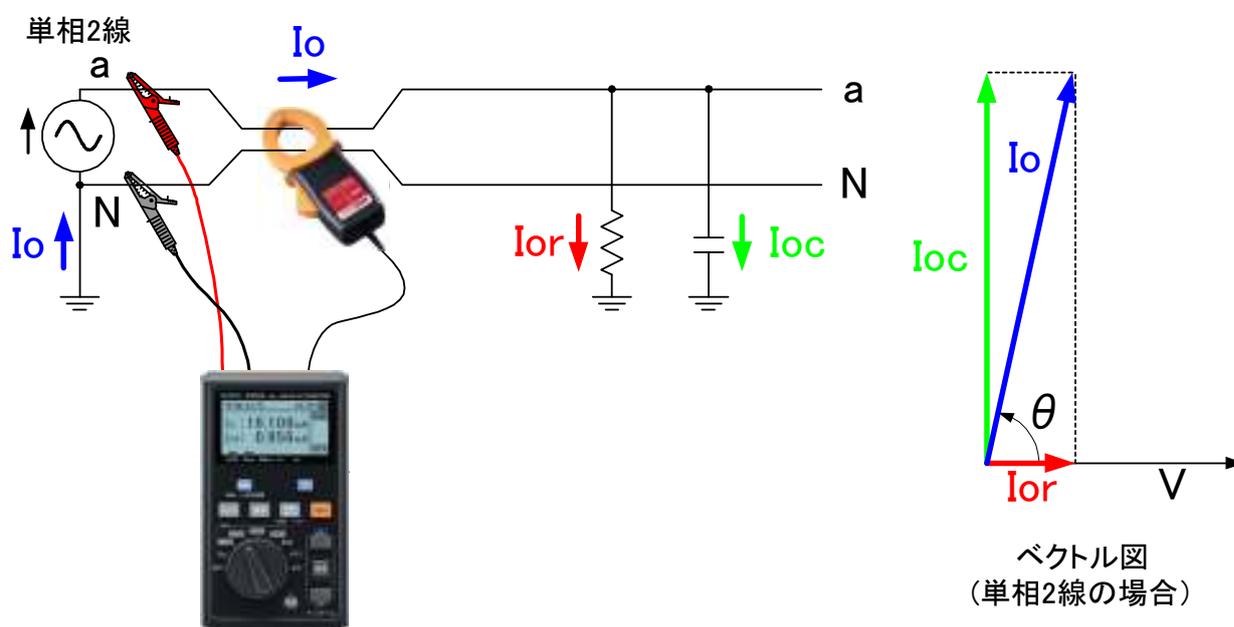
-1. 問題点

従来の漏れ電流測定 I_o はコンデンサ成分が少なければ、抵抗成分の漏れ電流 I_{or} とほとんど同じ値を示します。しかしコンデンサ成分が大きくなれば一致せず、コンデンサ成分を除去する必要があります。

漏電遮断器は I_o を感知して動作します。よって、コンデンサ成分の漏れ電流が多い回路では誤動作します。工場や病院なら度々遮断器が落ちることは好ましくないため、漏電警報器に付け替える対策をしています。漏電遮断器は I_o を感知して遮断しますが、漏電警報器は警報するだけのものです。漏電遮断器のような形をしていて、ボリュームで警報の閾値を設定できます。遮断はしなくなりますが、警報は度々鳴る。少しずつ閾値を上げて、最終的には漏電警報器を無効化してしまいます。これは漏電遮断器がない回路と同じになり危険な状態となります。

よく考えなければならないことは、漏電を判定するための I_o には二種の漏れ電流、コンデンサ成分が含まれているということです。二種の漏れ電流に振り回され、安全性が損なわれることとなります。

漏電警報器の代わりに絶縁監視装置を導入する場合があります。これは漏電警報器より高価なもので、 I_{gr} という I_{or} と原理上同じ値で漏電を判定します。最近 I_{or} で判定する漏電ブレーカも発売されています。



-2. 用語説明

漏えい電流 (I_o) : クランプ漏れ電流計の測定値です。 I_{or} と I_{oc} のベクトル和になります。 I_{oc} の影響が小さければ I_o と I_{or} が同程度です。

有効漏えい電流 (I_{or}) : I_o の中で抵抗を介して流れる漏れ電流です。電気設備の保守点検で、絶縁抵抗の代わりに測定されなければならない漏れ電流です。

無効漏えい電流 (I_{oc}) : 容量成分を流れる漏れ電流です。漏れ電流で保守点検するとき悪影響を及ぼす電流です。

-3. そもそもコンデンサ成分とは??

インバータ機器は自身から出る高周波ノイズを大地に逃がすために大地間にコンデンサ接続しています。コンデンサは低周波では絶縁、高周波になると導通という性質を持つので高周波ノイズだけを大地に逃がすことができます。このコンデンサは意図的に大地に接続されている重要な機能です。このコンデンサがなければ高周波ノイズを撒き散らす結果になります。

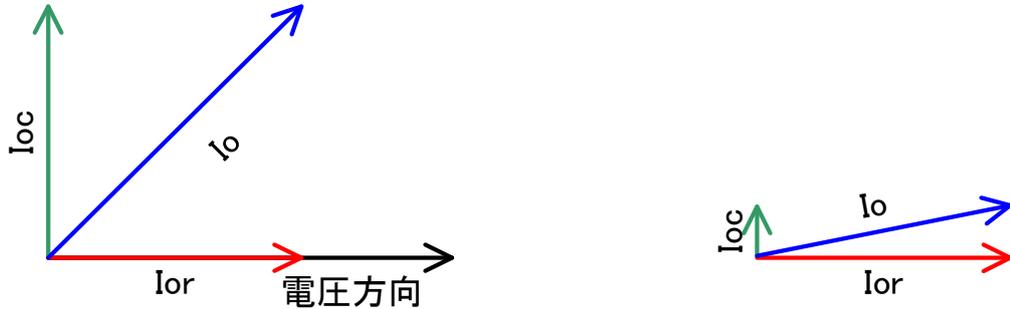
ノイズに敏感な電気機器は電源の入力部にノイズカットのためのフィルタがあります。コンピュータや測定器、精密機器に入っています。このフィルタはコンデンサからなります。このコンデンサも意図的に付けられた重要な機能です。

これらのコンデンサ以外にも電線の容量成分があります。漏れ電流測定するときに、このようなコンデンサ成分が合算として問題になります。インバータ機器や IT 機器が増えればコンデンサ成分が増える結果となります。

-4. I_o は I_{or} と I_{oc} のベクトル和

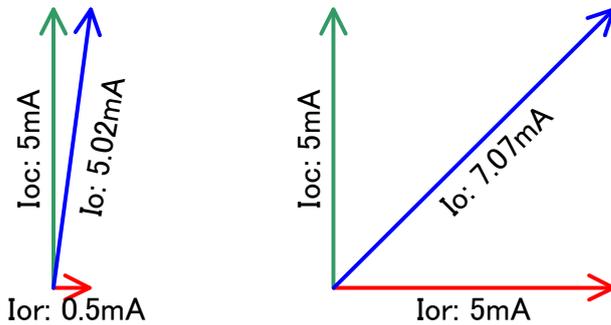
I_{or} は電圧と同位相です。 I_{oc} はコンデンサ成分ですので I_{or} と比較して 90° 位相がずれます。 I_o は I_{or} と I_{oc} を足し算して測定しているのでベクトル和になります。

昔は I_{oc} が小さかったので I_{or} は I_o とほぼ同じと考えられてきました。 I_{oc} の増加により I_o と I_{or} はかけ離れたものになり I_o を測定しても、絶縁状態を示す I_{or} がわからなくなります。



ここで I_{oc} 成分の多い電路で I_o を使って絶縁状態を判定することの怖さを知るための例をあげます。 I_{or} が 0.5mA 、 I_{oc} が 5mA の工場を考えます。このとき I_o は 5.02mA です。もし絶縁劣化があって、 I_{or} が上昇したことを考えます。しかし、 I_{or} の上昇は I_o で判定しようとしても I_{oc} の影に隠れて誤差程度にしか現れません。漏れ電流は負荷の大きさにより変化するので、 I_o 測定だけなら判断を誤るかもしれません。 I_o で判定すると定常状態と感じても実は絶縁劣化が進んでいる場合があります。

下記例で、漏電遮断器、漏電警報器の設定を I_o だけで判断すると、電気設備の安全性を誤診することがわかります。 I_{or} で判断すると絶縁劣化に関する漏れ電流がはっきりとした値の違いが表れます。



I_o	I_{or}	I_{oc}
5.02mA	0.5mA	5mA
5.10mA	1mA	5mA
5.39mA	2mA	5mA
7.07mA	5mA	5mA

I_{or} が 0.5mA から 10 倍の 5mA になっても I_o は 1.4 倍しかありません。

-5. 市場要求をまとめると

1. I_{or} が正確に測定できる
 - * ノイズの多い工場環境でも測定できる
 - * 正確に 1mA を測定できる
2. 絶縁抵抗測定、漏れ電流測定のように簡単に絶縁管理をしたい
 - * 簡単な操作
 - * 現場向けのコンパクトサイズ

3. 安全設計

チェックポイント

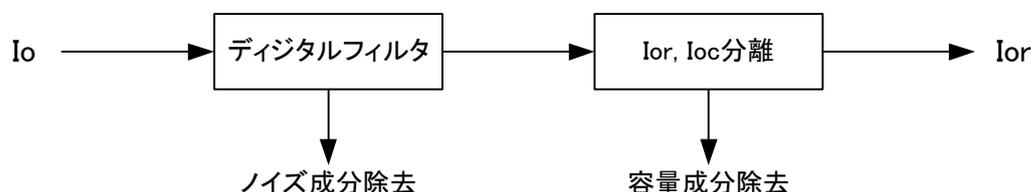
1. 電気設備の保守点検に必要な漏れ電流の種類は??
2. I_{or} が 5mA 、 I_{oc} が 10mA ありました。このときの I_o の値は?? また I_{or} が 10mA になったときの I_o の値は??
3. I_{oc} の要因は何でしょうか??

3. 3355 の特徴

-1. 高精度

(1) ノイズが多く含まれる工場の電源ラインでも測定できます

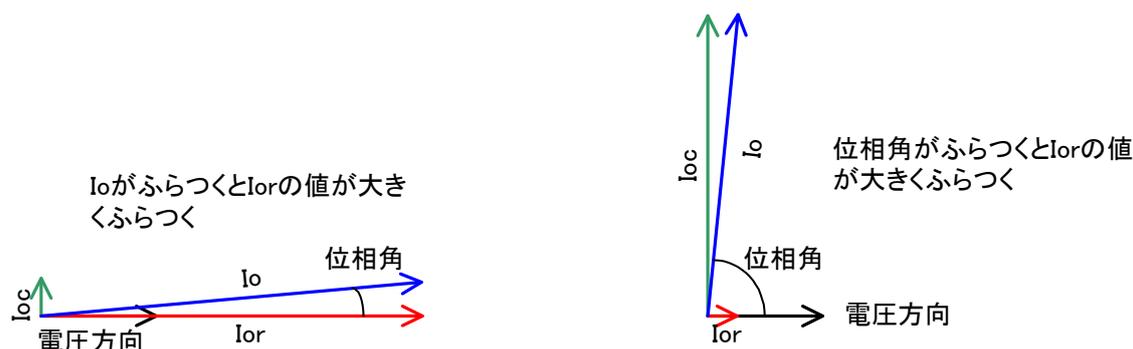
容量性漏れ電流の原因の 1 つとしてインバータがあります。インバータは高調波ノイズを出します。また一般的に工場の電源ラインはノイズがあります。3355 はそのノイズ成分を除去して I_{or} を表示します。



(2) コンデンサ成分が多い場合も

I_o の大きさと、 I_o と電圧の位相差から I_{or} を演算します。この 2 つの値を正確に測定しなければ正しく I_{or} を演算できません。容量成分 I_{oc} が小さい場合、 I_o の大きさが I_{or} の精度に大きく依存します。位相角の測定精度が悪くても I_{or} の精度に寄与しません。容量成分 I_{oc} が大きい場合、逆の状態になります。位相角の測定精度が悪ければ、 I_{or} の表示値は大きくふらつきます。

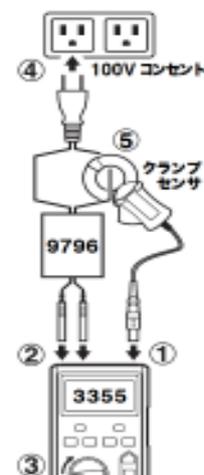
工場や集団住宅では容量成分が多いところがあり、 I_o と電圧の位相角は 90° 近い場合があります。位相角を正確に測定するには、センサの性能、内部演算方法の技術が必要です。3355 で使用するクランプセンサは電流値、位相ともに非常に優れた精度です。



位相角 θ が 85° のときの I_{or} の誤差は $\pm 10\%$ です。例えば、 $I_o = 10\text{mA}$ 、 $\theta = 85^\circ$ において $I_{or} = 0.87\text{mA}$ $\pm 10\%$ となります。従来製品と比較して I_{oc} が大きいときでも正確に I_{or} を演算できます。

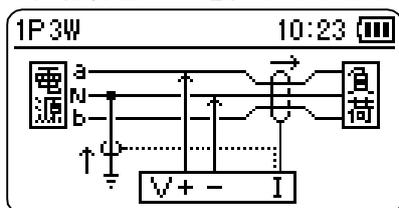
クランプセンサは部材、組立のばらつきにより位相誤差が異なります。よって測定器とクランプセンサをセットで調整します。測定器にクランプセンサのシリアル番号が調整データとともに書き込まれています。デメリットとして、クランプセンサを追加購入するとき、測定器本体を HIOKI 本社に送り返さないといけない点があります。しかし、位相を精度よく測定するため必要なことです。9796 位相校正ユニットがあれば本体を送り返さなくてもユーザで校正することができます。

さらに、クランプセンサの経年変化、落下、衝撃による噛み合わせ不良などがあります。位相精度を定期的に点検する 9796 位相校正ユニットも用意しています。9796 の内部にある純抵抗により位相角 0° の電流が発生します。その電圧と電流を測定し、位相角 0° になるように調整します。

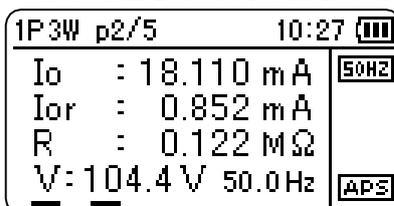
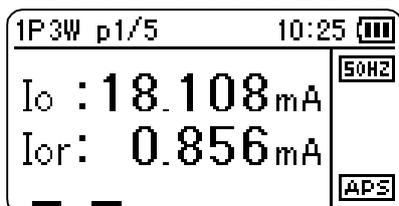


-2. 簡単操作

ロータリースイッチを回して、測定ラインを設定します。測定ラインにより接続方法が異なります。結線図キーを押せば、画面に結線図が表示されます。



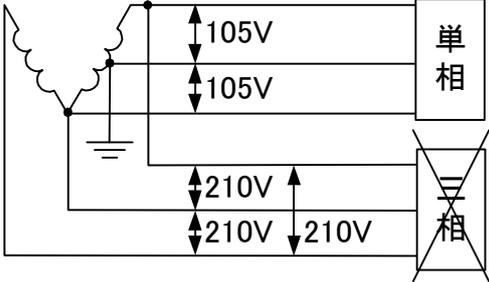
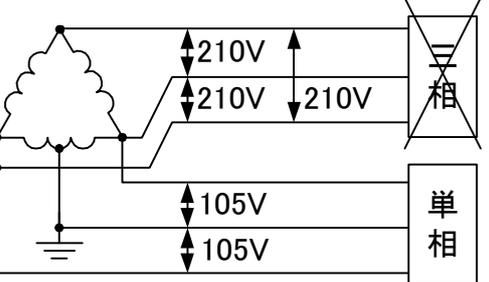
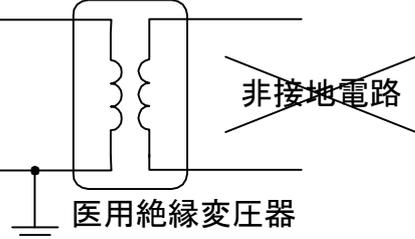
電流クランプ、電圧プローブを結線図に従い接続すれば、 I_o と I_{or} が同時表示されます。また画面切り替えにより、対地絶縁抵抗、電源電圧などと同時表示することができます。



-3. 測定できる電路

電路	測定モード	結線図	
単相 2 線	1P2W		
単相 3 線	1P3W		各相同程度に同時に劣化しないと仮定。 Q and A -5. 参照
三相 3 線 -200V (Δ 結線)	3P3W-200V		各相同程度に同時に劣化しないと仮定。 Q and A -5. 参照
三相 3 線 -200V (Y 結線)	3P3W-200V		容量成分の漏れ電流が平衡していると仮定。 Q and A -6. 参照
三相 3 線 -400V (Y 結線)	3P3W-400V		各相の漏れ電流に分離することができません。 Q and A -7. 参照
三相 4 線 (Y 結線)	3P4W		

-4. 測定できない電路

異容量 三相 4 線 (V 結線)		单相は单相 3 線で測定可能です。 三相は測定できません。
異容量 三相 4 線 (Δ 結線)		单相は单相 3 線で測定可能です。 三相は異容量 V 結線同様に測定できません。
非接地電路		病院などの非接地電路は、1 線で絶縁不良があっても、漏洩電流が発生しませんので、測定できません。

4. Q and A

-1. Iorなんて読むの??

アイゼロアールと読みます。従来の漏れ電流が I_o: アイゼロ、容量成分が I_{oc}: アイゼロシーです。印刷物には Ior (大文字のアイ、小文字のオー、小文字のアール) と簡略的に書きますが、正確には大文字のアイに、数字のゼロと小文字のアールが添え字として右下に書きます。

$$I_{or}$$

-2. Ior と Igr の違い, 絶縁監視装置

Igr (アイジーアール) は 1~20Hz の低電圧をクランプで電源ラインに重畳し、その電圧から発生した電流を測定します。電流値と位相から抵抗成分の電流値を演算します。Ior は重畳電圧はなく、電源電圧と漏れ電流から抵抗成分の漏れ電流を演算します。Igr は重畳クランプが非常に大きくなり、装置が大きくなります。設置型の絶縁監視装置は Igr 方式が主流ですが、Ior 方式の漏電遮断器も発売されました。

	I _o 方式	Ior方式	Igr方式
計測信号	商用周波数の漏れ電流 (50/60Hz,)		重畳電圧 (1~20Hz)
検出信号	漏れ電流の大きさ	抵抗成分の漏れ電流	
測定器	クランプ漏れ電流計 小型軽量	クランプで漏れ電流測定する 上、電圧の位相を測定する。 小型軽量	重畳電圧用クランプが大きい。 主に設置型
測定電流	各相の漏れ電流が同程度の場合、相殺することがあります。 しかしそれは稀です。(Q and A -5 参照)		各相の漏れ電流は同相となり 総和で検出できます。 各相に分離可能。

-3. 国内規格は??

電気事業連合会から電気設備学会に委託され、集合住宅幹線等の絶縁管理に関する調査研究委員会により Ior 測定が研究されました。2007 年 3 月にその調査研究報告書 (IEIEJ-C-0273) がまとめられて、Ior 測定の有効性が実態調査にて確認されました。漏れ電流 I_o が 1mA 以上であっても、Ior が 1mA 以下であれば絶縁状態は良好と判断できます。

「電気設備の技術基準とその解釈」で「漏えい電流を 1mA 以下に保つこと」と規定されています。ここで規定されている「漏えい電流」は I_o と解釈されていて、I_o が 1mA 以下なら Ior は当然 1mA 以下になると説明されています。しかし近年の問題により I_o は 1mA 以上ですが、Ior は 1mA 以下という測定結果が多いと報告書で示されました。

近い将来に「電気設備の技術基準」を書き換わるか、「解釈」を書き換わる可能性があるかもしれません。それを裏付ける証拠としても研究報告書の価値は高いです。

-4. なぜ I_o ファンクションがある?

I_o は電気システムに依らず、クランプすれば測定できます。Ior は電気システムに依り演算方法が異なるので、それを設定しなければなりません。現場の作業効率を考えると、電圧測定が必要な Ior 測定よりクランプだけで測定できる I_o 測定で終わらせたいです。I_o を測定して不良であるなら、Ior を測定する、と作業手順が考えられます。

そこで、電気システムを気にせずに、従来のクランプ漏れ電流計のように I_o を測定できるファンクションがあります。Ior ファンクションでも I_o を測定できますが、電気システムを気にせずクランプ漏れ電流計のように測定できる点が異なります。

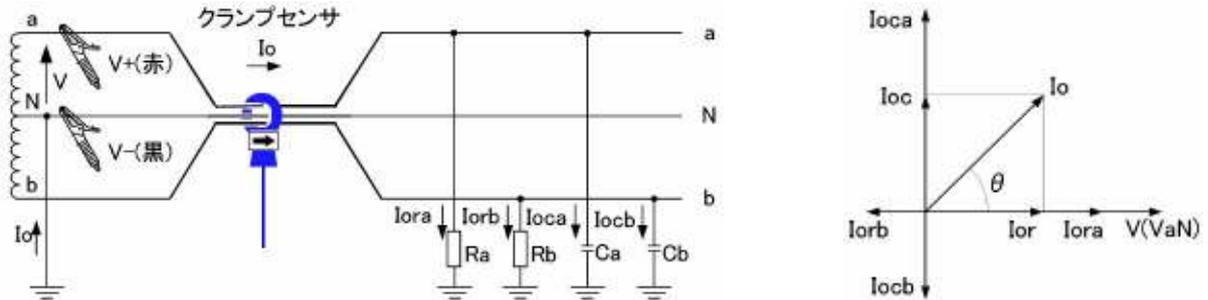
-5. 各相同程度に同時に劣化しない

Ior 測定は Io 測定同様に電源システム全体の漏れ電流を評価する方法なので、各相の漏れ電流に分離できません。

例えば単相 3 線で説明します。a 相、b 相の抵抗性漏れ電流をそれぞれ Iora, Iorb とすると、Iora と Iorb の位相は 180° ずれています。よって Iora と Iorb が同じ大きさであれば、総和 Ior はゼロになります。Iora と Iorb が閾値以上であっても同じ大きさなら Ior はゼロと表示されます。これは従来のクランプによる Io 測定と同じです。

しかし、1993 年 3 月に電気設備学会が発行した「低圧電路の絶縁管理に関する調査研究報告書」に、各相同程度に同時に劣化が進行することは稀である、と報告しています。このことから絶縁劣化した電源システムは 1 つ(ないし 2 つ)の相が顕著に劣化します。

3355 では Io が -90° から 90° の場合、a 相が劣化していると判断して、Iora = Ior, Iorb = 0 と表示します。Io が他の位相の場合、b 相が劣化していると判断して、Iora = 0, Iorb = Ior と表示します。



-6. 容量成分の漏れ電流が平衡している (三相の場合)

各相同じような機器を使用していると各相の対地容量は同じ大きさになります。このとき各相からの容量成分の漏れ電流は同じ大きさになり平衡、つまり総和としてゼロになります。Ior を演算するとき、この仮定が必要です。

逆に、異容量三相システムでは Ior を演算することができません。(3355 の特徴 -4. 測定できない電路を参照)

-7. 各相の漏れ電流に分離できるか?

できません。Ior 測定器は電源システム全体の漏れ電流の総和を測定する測定器です。このことはクランプ漏れ電流計と同じです。分離するには Igr 測定が必要です。

しかし、目安として分離する機能があります。右図は三相 3 線 Y 結線のベクトル図例です。Ior ベクトルが a 相と b 相の電圧間にあります。この場合、Iorc (VcN: c 相電圧と同じ方向) は Iora, Iorb と比べ小さく、ゼロと仮定します。そして Ior を Iora と Iorb に分離します。これらの値は正確な値ではありませんが、各相の傾向をつかむことができます。

もし Ior ベクトルが a 相と c 相電圧の間にあれば、Iorb = 0、Ior が b 相と c 相の間にあれば、Iora = 0 と仮定して分離します。

