



Title	電力系統非対称故障に於ける保護継電器端子の測定値について
Author(s)	小池, 東一郎; Koike, Tōichirō
Citation	北海道大學工學部研究報告, 16, 143-178
Issue Date	1957-06-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40597
Type	departmental bulletin paper
File Information	16_143-178.pdf



電力系統非対称故障に於ける保護 継電器端子の測定値について

小池 東 一 郎

(昭和 32 年 2 月 28 日 受理)

On the Measured Values at Protective Relay Terminal in Unbalanced Fault Conditions in Power System

Tōichirō KOIKE

Abstract

In the first chapter, the method of computing the system voltages and currents in multi-machine power system are presented for the conditions of various unbalanced faults, including the fault point impedance. Then, the loci of vector impedance measured at the distance relay terminal are proved to have a circular characteristic by the gradual change of fault resistance. A practical example of a 196 KV system in Hokkaido district is also presented in the last paragraph of this chapter.

The impedance measured at the distance relay terminal in power system changes with the movement of faulted point in transmission line. In the second chapter, the locus of impedance measured by unfaulted phase relay is proved to have an arc of a circle, and its two ends move on two circles. The two circles are the near-by terminal fault circle and the remote terminal fault circle. It is also proved theoretically and by a practical example that this arc changes its location systematically in accordance with the values of internal voltage at the two internal voltage terminals.

The elliptical characteristic of the terminal power due to the fault point resistance is explained in the last chapter. It is necessary to consider the effect of fault resistance before the setting of a system protective relay contact, in order to detect the system unbalanced fault condition. In this chapter, it is proved that the mean power, each phase power and each phase sequence power at the faulted point, the relay terminals and the terminals generating each internal voltage in the system unbalanced fault state are generally expressed by elliptical loci on power coordinate plane, which can be obtained when the fault point resistance R_f changes. And it is also clarified that the points on the loci for $R_f=0$ indicate the power of metallic fault state, and that the points corresponding to $R_f=\infty$ refer to the unfaulted condition.

The elliptical characteristics mentioned above are verified by the practical calculation of a 196 KV system.

目 次

緒 言	2
第一章 多端子系統に於ける故障インピーダンスを含む	
非対称故障計算並びに距離継電器端子測定値に及ぼす故障点抵抗の影響	3
I. インピーダンスを含む非対称故障計算	3
II. 一線接地	4
III. 二線短絡	6
IV. 二線地絡	7
V. 距離継電器の眺めるインピーダンス	8
VI. 計 算 例	9
第二章 故障位置移動に応ずる距離継電器端子の測定インピーダンス値の変化	15
I. 二線短絡	15
II. 一線接地	19
III. 計 算 例	21
第三章 故障点抵抗による故障時電力の楕円特性	27
I. 故障時正相分電力及び定常時電力	27
II. 故障時平均電力及び各相電力	29
III. 計 算 例	30
結 言	35

緒 言

電力系統に各種非対称短絡，接地等の故障が発生せる場合，之を検出して系統を保護する各種継電器は，その測定端子に現われる電圧，電流又は電力値を，その保護継電器の種類に応じて夫々の確に測定利用し，系統保護の判断を誤らぬ様にする必要がある。此の為には，予めその系統の各種負荷状態に於いて，種々の故障状況を考慮に入れた非対称故障時の計算を行い継電器端子に現われる各相分電圧，電流及び電力値並びに各対称相分の各々の値を知つて，適切な接点整定を行なつて置かねばならない。この故障状況を示す条件の内，従来あまり明確に解析されていないものとしては，多機系統に於ける第三，第四等の発電端子増加の影響を加えた場合，又は故障点に於いて附加される所のアーク抵抗，塔脚抵抗等を主とする故障点抵抗の影響，或いは故障発生位置の異なる場合に就いての端子測定値の相違等があるが，本文は之等の点に就いて解析を行い，且つ実例計算を示したものである。

即ち第一章に於いては，先ず多機系統に於ける一線接地，二線短絡，或いは二線接地故障発生時の故障点インピーダンスを含んだ場合の解析法を述べ，多機系の例として，之を三機系統について解いて，各端子に於ける対称相分電圧，電流，各相分電圧，電流の例を示し，次いで之の結果を利用して，故障点抵抗値の，接地又は短絡保護距離継電器端子の故障を測定するインピーダンス値に与える影響について，自相故障，他相故障を含めて取扱つている。その結果は故障点抵抗変化により，測定インピーダンス値は円周上の一部を軌跡とするものである事

が示され、又併せて実例計算が述べてある。

第二章に於いては、故障発生位置が、保護すべき送電線上を移動した場合、他相故障を眺める接地、短絡距離継電器の測定する故障時インピーダンスは、故障位置迄の距離と直線的な関係とならず、円周の一部を軌跡とする円弧特性である事を、簡単な二機リアクタンス系統について、二線短絡及び一線接地故障の計算例と共に解析されている。

第三章は電力方向継電器の測定要素である端子電力が、故障点抵抗値により影響を受ける事を述べ、之が抵抗値変化により一般には楕円特性を示す事を証明し、且つ第一章の実例について、二線短絡、一線接地故障発生時の各系統端子に於ける電力は、楕円周の一部を軌跡とする特性である事を例示している。

第一章 多端子系統に於ける故障インピーダンスを含む非対称故障計算並びに距離継電器端子測定値に及ぼす故障点抵抗の影響

1. インピーダンスを含む非対称故障計算

多端子系統に於いて故障点、分岐点、継電器設置点、発電端、受電端等を夫々端子にて表はし、系統に流入する電流を正の符号とし、且つ正相逆相及び零相回路をπ回路として回路網アドミッタンスマトリックスを作成する事により故障を解く事が出来る¹⁾。今便宜上各対称分回路を別個に計算するものとすれば(1-1)の如くなる。

$$\left(\begin{array}{c} I_1^1 \\ I_2^1 \\ I_3^1 \\ \vdots \\ I_n^1 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{cccccc} Y_{11}^1 & -y_{12}^1 & -y_{13}^1 & \cdots & -y_{1n}^1 \\ -y_{21}^1 & Y_{22}^1 & -y_{23}^1 & \cdots & -y_{2n}^1 \\ -y_{31}^1 & -y_{32}^1 & Y_{33}^1 & \cdots & -y_{3n}^1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -y_{n1}^1 & -y_{n2}^1 & -y_{n3}^1 & \cdots & Y_{nn}^1 \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} E_1^1 \\ E_2^1 \\ E_3^1 \\ \vdots \\ E_n^1 \end{array} \right) \\
 \left(\begin{array}{c} I_1^2 \\ I_2^2 \\ I_3^2 \\ \vdots \\ I_n^2 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{cccccc} Y_{11}^2 & -y_{12}^2 & -y_{13}^2 & \cdots & -y_{1n}^2 \\ -y_{21}^2 & Y_{22}^2 & -y_{23}^2 & \cdots & -y_{2n}^2 \\ -y_{31}^2 & -y_{32}^2 & Y_{33}^2 & \cdots & -y_{3n}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -y_{n1}^2 & -y_{n2}^2 & -y_{n3}^2 & \cdots & Y_{nn}^2 \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} E_1^2 \\ E_2^2 \\ E_3^2 \\ \vdots \\ E_n^2 \end{array} \right) \\
 \left(\begin{array}{c} I_1^0 \\ I_2^0 \\ I_3^0 \\ \vdots \\ I_n^0 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{cccccc} Y_{11}^0 & -y_{12}^0 & -y_{13}^0 & \cdots & -y_{1n}^0 \\ -y_{21}^0 & Y_{22}^0 & -y_{23}^0 & \cdots & -y_{2n}^0 \\ -y_{31}^0 & -y_{32}^0 & Y_{33}^0 & \cdots & -y_{3n}^0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -y_{n1}^0 & -y_{n2}^0 & -y_{n3}^0 & \cdots & Y_{nn}^0 \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} E_1^0 \\ E_2^0 \\ E_3^0 \\ \vdots \\ E_n^0 \end{array} \right) \quad \dots\dots\dots (1-1)$$

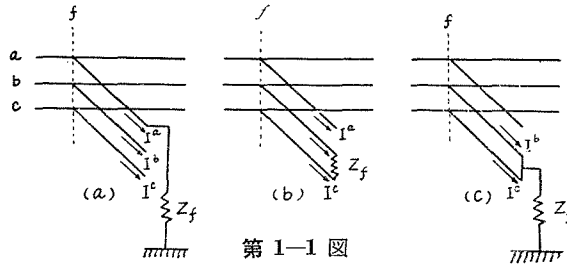
但し電圧電流の右下添字は端子番号、上部添字 1, 2, 0 は夫々正逆及び零相分を示すものとする。又任意 i 端子より見て送電側及び受電側隣接端子を夫々 j, k とした時、マトリック

ス元素は

$$y_{ij} = y_{ji} = \frac{1}{B_{ij}}, \quad y_{ii} = \sum \left(\frac{D_{ij}}{B_{ij}} - \frac{1}{B_{ij}} \right), \quad \left(\frac{A_{ik}}{B_{ik}} - \frac{1}{B_{ik}} \right), \dots \left. \vphantom{y_{ij}} \right\} \quad (1-2)$$

$$Y_{ii} = y_{ii} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in}$$

を表わすものとする。今第1-1図の如く、故障点インピーダンスを Z_f とすれば、任意の故障



第 1-1 図

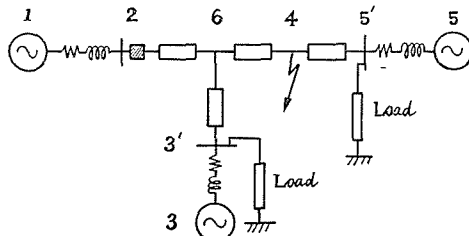
点端子 f に於ける対称分電圧電流で示した故障条件式は²⁾、(1-3)、(1-4)、(1-5)の如くなる。

(a) 一線接地	$I_f^1 = I_f^2 = I_f^3$	} \dots\dots\dots (1-3)
	$E_f^0 = -(E_f^1 + E_f^2 - 3Z_f I_f^1)$	
(b) 二線短絡	$I_f^0 = 0, \quad I_f^2 = -I_f^1$	} \dots\dots\dots (1-4)
	$E_f^2 = E_f^1 - Z_f I_f^1$	
(c) 二線接地	$I_f^2 = -(I_f^1 + I_f^0), \quad E_f^2 = E_f^1$	} \dots\dots\dots (1-5)
	$E_f^0 = E_f^1 + 3Z_f I_f^0$	

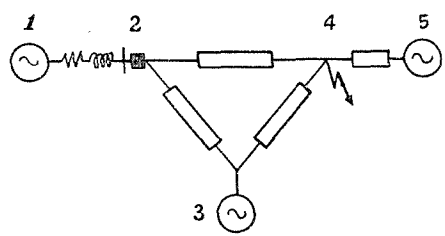
かくて、(1-1)に夫々の故障に応じて(1-3)~(1-5)式を代入し、且つ発電端子に於いては逆相及び零相分の内部誘起電圧を零と置き、分岐点の端子電流を零とすれば、故障マトリックス方程式を得るので、これより必要とする式を取出して連立方程式を解けばよい事となる。

II. 一線絡地

多機系統の例として第1-2図に示す3機6端子系に就いて見れば、回路の1, 3, 5端子は内部誘起電圧点, 6は分岐点, 2は継電器設置点, 4は故障箇所を示している。此の儘でも計算可能であるが、簡略の為今第1-2図の系統を(1-1)式の如く表わし、次いで6端子を短絡マトリックスを用いて消去し、且つ系統を整理すれば第1-3図の如くに示され、之を表示した各対



第 1-2 図



第 1-3 図

称相分マトリックスは故障の有無及び故障種類に拘らず(1-6)の如くなる。

$$\left. \begin{array}{l} \left(\begin{array}{c} I_1^1 \\ 0 \\ I_3^1 \\ I_4^1 \\ I_5^1 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{ccccc} Y_{11}^1 & -y_{12}^1 & 0 & 0 & 0 \\ -y_{12}^1 & Y_{22}^1 & -y_{23}^1 & -y_{24}^1 & 0 \\ 0 & -y_{23}^1 & Y_{33}^1 & -y_{34}^1 & 0 \\ 0 & -y_{24}^1 & -y_{34}^1 & Y_{44}^1 & -y_{45}^1 \\ 0 & 0 & 0 & -y_{45}^1 & Y_{55}^1 \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} E_1^1 \\ E_2^1 \\ E_3^1 \\ E_4^1 \\ E_5^1 \end{array} \right) \\ \\ \left(\begin{array}{c} I_1^2 \\ 0 \\ I_3^2 \\ I_4^2 \\ I_5^2 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{ccccc} Y_{11}^2 & -y_{12}^2 & 0 & 0 & 0 \\ -y_{12}^2 & Y_{22}^2 & -y_{23}^2 & -y_{24}^2 & 0 \\ 0 & -y_{23}^2 & Y_{33}^2 & -y_{34}^2 & 0 \\ 0 & -y_{24}^2 & -y_{34}^2 & Y_{44}^2 & -y_{45}^2 \\ 0 & 0 & 0 & -y_{45}^2 & Y_{55}^2 \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} 0 \\ E_2^2 \\ 0 \\ E_4^2 \\ 0 \end{array} \right) \\ \\ \left(\begin{array}{c} I_1^0 \\ 0 \\ I_3^0 \\ I_4^0 \\ I_5^0 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{ccccc} Y_{11}^0 & -y_{12}^0 & 0 & 0 & 0 \\ -y_{12}^0 & Y_{22}^0 & -y_{23}^0 & -y_{24}^0 & 0 \\ 0 & -y_{23}^0 & Y_{33}^0 & -y_{34}^0 & 0 \\ 0 & -y_{24}^0 & -y_{34}^0 & Y_{44}^0 & -y_{45}^0 \\ 0 & 0 & 0 & -y_{45}^0 & Y_{55}^0 \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} 0 \\ E_2^0 \\ 0 \\ E_4^0 \\ 0 \end{array} \right) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (1-6)$$

今4端子にてa相一線地絡すれば(1-3), (1-6)より

$$\left. \begin{array}{l} \left(\begin{array}{c} I_1^1 \\ 0 \\ I_3^1 \\ -I_4^1 \\ I_5^1 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{ccccc} Y_{11}^1 & -y_{12}^1 & 0 & 0 & 0 \\ -y_{12}^1 & Y_{22}^1 & -y_{23}^1 & -y_{24}^1 & 0 \\ 0 & -y_{23}^1 & Y_{33}^1 & -y_{34}^1 & 0 \\ 0 & -y_{24}^1 & -y_{34}^1 & Y_{44}^1 & -y_{45}^1 \\ 0 & 0 & 0 & -y_{45}^1 & Y_{55}^1 \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} E_1^1 \\ E_2^1 \\ E_3^1 \\ E_4^1 \\ E_5^1 \end{array} \right) \\ \\ \left(\begin{array}{c} I_1^2 \\ 0 \\ I_3^2 \\ -I_4^2 \\ I_5^2 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{ccccc} Y_{11}^2 & -y_{12}^2 & 0 & 0 & 0 \\ -y_{12}^2 & Y_{22}^2 & -y_{23}^2 & -y_{24}^2 & 0 \\ 0 & -y_{23}^2 & Y_{33}^2 & -y_{34}^2 & 0 \\ 0 & -y_{24}^2 & -y_{34}^2 & Y_{44}^2 & -y_{45}^2 \\ 0 & 0 & 0 & -y_{45}^2 & Y_{55}^2 \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} 0 \\ E_2^2 \\ 0 \\ E_4^2 \\ 0 \end{array} \right) \\ \\ \left(\begin{array}{c} I_1^0 \\ 0 \\ I_3^0 \\ -I_4^0 \\ I_5^0 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{ccccc} Y_{11}^0 & -y_{12}^0 & 0 & 0 & 0 \\ -y_{12}^0 & Y_{22}^0 & -y_{23}^0 & -y_{24}^0 & 0 \\ 0 & -y_{23}^0 & Y_{33}^0 & -y_{34}^0 & 0 \\ 0 & -y_{24}^0 & -y_{34}^0 & Y_{44}^0 & -y_{45}^0 \\ 0 & 0 & 0 & -y_{45}^0 & Y_{55}^0 \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} 0 \\ E_2^0 \\ 0 \\ -(E_4^1 + E_3^2 - 3Z_f I_4^1) \\ 0 \end{array} \right) \end{array} \right\} \dots (1-7)$$

(1-7)の各対称分マトリックスの第2, 第4番目の等式より(1-8)式を得る。

$$\left. \begin{array}{l} I_4^1 - y_{34}^1 E_3^1 + Y_{44}^1 E_4^1 = y_{31}^1 E_3^1 + y_{45}^1 E_5^1 \\ I_4^2 - y_{34}^2 E_3^2 + Y_{44}^2 E_4^2 = 0 \\ (1 + 3Z_f Y_{44}^0) I_4^0 - y_{24}^0 E_2^0 - Y_{44}^0 E_4^0 - Y_{44}^0 E_4^1 = 0 \\ Y_{22}^1 E_2^1 - y_{24}^1 E_4^1 = y_{12}^1 E_1^1 + y_{23}^1 E_3^1 \\ Y_{22}^2 E_2^2 - y_{24}^2 E_4^2 = 0 \\ -3Z_f y_{24}^0 I_4^0 + Y_{22}^0 E_2^0 + y_{24}^0 E_4^1 + y_{24}^0 E_4^2 = 0 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (1-8)$$

(1-8) を $I_4^1, E_2^0, E_2^1, E_3^2, E_4^1, E_4^2$ を未知数として解く事により (1-9) を得る。

$$\left. \begin{aligned} I_4^1 &= I_4^2 = I_4^0 = (1/A) a r \delta \\ E_2^1 &= (1/A) [\{r \delta (y_{12}^1 E_1^1 + y_{23}^1 E_3^1) - (Y_{22}^2 r + Y_{22}^0 \delta) \beta\} + 3Z_f \beta r \delta] \\ E_2^2 &= (1/A) y_{24}^2 a r \\ E_2^0 &= (1/A) y_{24}^0 a \delta \\ E_4^1 &= (1/A) \{-(Y_{22}^0 \delta + Y_{22}^2 r) a + 3Z_f a r \delta\} \\ E_4^2 &= (1/A) Y_{22}^2 a r \\ E_4^0 &= (1/A) Y_{22}^0 a \delta \\ A &= \{Y_{22}^0 \delta \kappa + Y_{22}^1 r \delta + Y_{22}^2 r \kappa\} - 3Z_f r \delta \kappa \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1-9)$$

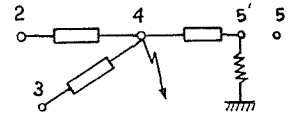
但し

$$\left. \begin{aligned} a &= y_{24}^1 (y_{12}^1 E_1^1 + y_{23}^1 E_3^1) + Y_{22}^1 (y_{34}^1 E_3^1 + y_{45}^1 E_5^1) \\ \beta &= Y_{44}^1 (y_{12}^1 E_1^1 + y_{23}^1 E_3^1) + y_{24}^1 (y_{34}^1 E_3^1 + y_{45}^1 E_5^1) \\ \gamma &= (y_{24}^0)^2 - Y_{22}^0 Y_{44}^0 \\ \delta &= (y_{24}^2)^2 - Y_{22}^2 Y_{44}^2 \\ \kappa &= (y_{24}^1)^2 - Y_{22}^1 Y_{44}^1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1-10)$$

又 (1-7), (1-9), 及び (1-10) より残りの端子の電流値を (1-11) の如く計算し得る。

$$\left. \begin{aligned} I_1^1 &= Y_{11}^1 E_1^1 - y_{12}^1 E_2^1 & I_1^2 &= -y_{12}^2 E_2^2 \\ I_3^1 &= -y_{23}^1 E_2^1 + Y_{33}^1 E_3^1 - y_{34}^1 E_4^1 & I_3^2 &= -y_{23}^2 E_2^2 - y_{34}^2 E_4^2 \\ I_5^1 &= -y_{45}^1 E_4^1 + Y_{55}^1 E_5^1 & I_5^2 &= -y_{45}^2 E_4^2 \\ I_1^0 &= -y_{12}^0 E_2^0 \\ I_3^0 &= -y_{23}^0 E_2^0 + y_{34}^0 (E_4^1 + E_4^2 - 3Z_f I_4^1) \\ I_5^0 &= y_{45}^0 (E_4^1 + E_4^2 - 3Z_f I_4^1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1-12)$$

但し第 1-4 図に示す如く， 零相回路に於いて端子 4, 5 の途中端子 5' にて接地点がある如き場合には， 5' 端子を短絡マトリックスで消去し， 45' 系零相定数を 4 端子の零相駆動点アドミッタンスに含ませて (1-12) の如くする。



第 1-4 図

$$\left. \begin{aligned} Y_{44}^0 &= y_{43}^0 + y_{42}^0 - \frac{(y_{45}^0)^2}{y_{45}^0 + 3/Z_{5'}} \\ y_{45}^0 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1-12)$$

III. 二 線 短 絡

第 1-3 図にて端子 4 に於いて， bc 相短絡すれば (1-4) 及び (1-6) より

$$\begin{pmatrix} I_1^1 \\ 0 \\ I_3^1 \\ -I_4^1 \\ I_5^1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11}^1 & -y_{12}^1 & 0 & 0 & 0 \\ -y_{12}^1 & Y_{22}^1 & -y_{23}^1 & -y_{24}^1 & 0 \\ 0 & -y_{23}^1 & Y_{33}^1 & -y_{34}^1 & 0 \\ 0 & -y_{24}^1 & -y_{34}^1 & Y_{44}^1 & -y_{45}^1 \\ 0 & 0 & 0 & -y_{45}^1 & Y_{55}^1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1^1 \\ E_2^1 \\ E_3^1 \\ E_4^1 \\ E_5^1 \end{pmatrix}$$

$$\left. \begin{aligned} \begin{pmatrix} I_1^2 \\ 0 \\ I_3^2 \\ I_4^2 \\ I_5^2 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} Y_{11}^2 & -y_{12}^2 & 0 & 0 & 0 \\ -y_{12}^2 & Y_{22}^2 & -y_{23}^2 & -y_{24}^2 & 0 \\ 0 & -y_{23}^2 & Y_{33}^2 & -y_{34}^2 & 0 \\ 0 & -y_{24}^2 & -y_{34}^2 & Y_{44}^2 & -y_{45}^2 \\ 0 & 0 & 0 & -y_{45}^2 & Y_{55}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ E_2^2 \\ 0 \\ E_4^1 - Z_f I_4^1 \\ 0 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} I_1^0 \\ 0 \\ I_3^0 \\ 0 \\ I_5^0 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} Y_{11}^0 & -y_{12}^0 & 0 & 0 & 0 \\ -y_{12}^0 & Y_{22}^0 & -y_{23}^0 & -y_{24}^0 & 0 \\ 0 & -y_{23}^0 & Y_{33}^0 & -y_{34}^0 & 0 \\ 0 & -y_{24}^0 & -y_{34}^0 & Y_{44}^0 & -y_{45}^0 \\ 0 & 0 & 0 & -y_{45}^0 & Y_{55}^0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ E_2^0 \\ 0 \\ E_4^0 \\ 0 \end{pmatrix} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1-13)$$

各対称分方程式の第2, 第4式より

$$\left. \begin{aligned} I_4^1 - y_{24}^1 E_2^1 + Y_{44}^1 E_4^1 &= y_{34}^1 E_3^1 + y_{45}^1 E_5^1 \\ (1 + Z_f Y_{44}^2) I_4^2 + y_{24}^2 E_2^2 - Y_{44}^2 E_4^2 &= 0 \\ Y_{22}^1 E_2^1 - y_{24}^1 E_4^1 &= y_{12}^1 E_1^1 + y_{23}^1 E_3^1 \\ Z_f y_{24}^2 I_4^2 + Y_{22}^2 E_2^2 - y_{24}^2 E_4^2 &= 0 \\ Y_{22}^0 E_2^0 - y_{24}^0 E_4^0 &= 0 \\ y_{23}^0 E_2^0 - Y_{44}^0 E_4^0 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1-14)$$

(1-14) を解いて (1-10) を用い簡略すれば (1-15) となる。

$$\left. \begin{aligned} I_2^0 &= E_4^0 = E_2^0 = 0 \\ I_4^1 &= (1/\mathcal{A}') \delta \alpha & E_4^1 &= -(1/\mathcal{A}') \{ Y_{22}^2 \alpha - Z_f \alpha \delta \} \\ I_4^2 &= -(1/\mathcal{A}') \alpha \delta & E_4^2 &= -(1/\mathcal{A}') Y_{22}^2 \alpha \\ E_3^1 &= (1/\mathcal{A}') [\{ (y_{12}^1 E_1^1 + y_{23}^1 E_3^1) \delta - Y_{22}^2 \beta \} + Z_f \beta \delta] \\ E_2^2 &= -(1/\mathcal{A}') y_{24}^2 \alpha \\ \mathcal{A}' &= (Y_{22}^1 \delta + Y_{22}^2 \kappa) - Z_f \delta \kappa \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1-15)$$

(1-13), (1-15) より更に他の端子の値も知り得る。

$$\begin{aligned} I_1^1 &= Y_{11}^1 E_1^1 - y_{12}^1 E_2^1 & I_1^2 &= -y_{12}^2 E_2^2 \\ I_3^1 &= -y_{23}^1 E_2^1 + Y_{33}^1 E_3^1 - y_{34}^1 E_4^1 & I_3^2 &= -y_{23}^2 E_2^2 - y_{34}^2 (E_4^1 - Z_f I_4^1) \\ I_5^1 &= -y_{45}^1 E_4^1 + Y_{55}^1 E_5^1 & I_5^2 &= -y_{45}^2 (E_4^1 - Z_f I_4^1) \end{aligned}$$

IV. 二線地絡

(1-5), (1-6) より

$$\left(\begin{array}{c} I_1^1 \\ 0 \\ I_3^1 \\ -I_4^1 \\ I_5^1 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{ccccc} Y_{11}^1 & -y_{12}^1 & 0 & 0 & 0 \\ -y_{12}^1 & Y_{22}^1 & -y_{23}^1 & -y_{24}^1 & 0 \\ 0 & -y_{23}^1 & Y_{33}^1 & -y_{34}^1 & 0 \\ 0 & -y_{24}^1 & -y_{34}^1 & Y_{44}^1 & -y_{45}^1 \\ 0 & 0 & 0 & -y_{45}^1 & Y_{55}^1 \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} E_1^1 \\ E_2^1 \\ E_3^1 \\ E_4^1 \\ E_5^1 \end{array} \right)$$

$$\left. \begin{aligned} \begin{pmatrix} I_1^2 \\ 0 \\ I_3^2 \\ I_4 + I_4^0 \\ I_5^2 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} Y_{11}^2 & -y_{12}^2 & 0 & 0 & 0 \\ -y_{12}^2 & Y_{22}^2 & -y_{23}^2 & -y_{24}^2 & 0 \\ 0 & -y_{23}^2 & Y_{33}^2 & -y_{34}^2 & 0 \\ 0 & -y_{24}^2 & -y_{34}^2 & Y_{44}^2 & -y_{45}^2 \\ 0 & 0 & 0 & -y_{45}^2 & Y_{55}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ E_2^2 \\ 0 \\ E_4^1 \\ 0 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} I_1^0 \\ 0 \\ I_3^0 \\ -I_4^0 \\ I_5^0 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} Y_{11}^0 & -y_{12}^0 & 0 & 0 & 0 \\ -y_{12}^0 & Y_{22}^0 & -y_{23}^0 & -y_{24}^0 & 0 \\ 0 & -y_{23}^0 & Y_{33}^0 & -y_{34}^0 & 0 \\ 0 & -y_{24}^0 & -y_{34}^0 & Y_{44}^0 & -y_{45}^0 \\ 0 & 0 & 0 & -y_{45}^0 & Y_{55}^0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ E_2^0 \\ 0 \\ E_4^1 + 3Z_f I_4^0 \\ 0 \end{pmatrix} \end{aligned} \right\} \dots (1-16)$$

(1-16) より

$$\left. \begin{aligned} I_4 - y_{24}^1 E_2^1 + Y_{44}^1 E_4^1 &= y_{34}^1 E_3^1 + y_{45}^1 E_5^1 \\ I_4^0 + I_4 + y_{24}^0 E_2^0 - Y_{44}^0 E_4^0 &= 0 \\ (1 + 3Z_f Y_{44}^0) I_4^0 - y_{24}^0 E_2^0 + Y_{44}^0 E_4^0 &= 0 \\ Y_{22}^1 E_2^1 - y_{24}^1 E_4^1 &= y_{12}^1 E_1^1 + y_{23}^1 E_3^1 \\ Y_{22}^0 E_2^0 - y_{24}^0 E_4^0 &= 0 \\ 3Z_f y_{24}^0 I_4^0 - Y_{22}^0 E_2^0 + y_{24}^0 E_4^0 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots (1-17)$$

(1-17) を解き (1-10) を用い、れば

$$\left. \begin{aligned} I_4^1 &= (1/A'') \{ \alpha (Y_{22}^2 \gamma + Y_{22}^0 \delta) - 3Z_f \alpha \gamma \delta \} \\ I_4^0 &= -(1/A'') (Y_{22}^0 \alpha \delta - 3Z_f \alpha \gamma \delta), \quad I_4^0 = -(1/A'') Y_{22}^0 \alpha \gamma \\ E_2^1 &= -(1/A'') [Y_{22}^0 Y_{22}^2 \beta - (Y_{22}^2 \gamma + Y_{22}^0 \delta) (y_{12}^1 E_1^1 + y_{23}^1 E_3^1) \\ &\quad + 3Z_f \gamma \{ \delta (y_{12}^1 E_1^1 + y_{23}^1 E_3^1) - Y_{22}^2 \beta \}] \\ E_2^0 &= -(1/A'') y_{24}^0 (Y_{22}^0 + 3Z_f \gamma) \quad E_2^0 = -(1/A'') Y_{22}^0 y_{24}^0 \alpha \\ E_4^1 &= E_4^0 = -(1/A'') (Y_{22}^0 Y_{22}^2 \alpha - 3Z_f Y_{22}^2 \gamma \alpha) \quad E_4^0 = -(1/A'') Y_{22}^0 Y_{22}^2 \alpha \\ A'' &= (Y_{22}^1 Y_{22}^2 \gamma + Y_{22}^0 Y_{22}^1 \delta + Y_{22}^0 Y_{22}^2 \kappa) - 3Z_f \gamma (Y_{22}^1 \delta + Y_{22}^2 \kappa) \end{aligned} \right\} \dots (1-18)$$

(1-16), (1-18) より下記の電流も計算出来る。

$$\begin{aligned} I_1^1 &= Y_{11}^1 E_1^1 - y_{12}^1 E_2^1 & I_1^0 &= -y_{12}^0 E_2^0 \\ I_3^1 &= -y_{23}^1 E_2^1 + Y_{33}^1 E_3^1 - y_{34}^1 E_4^1 & I_3^0 &= -y_{23}^0 E_2^0 - y_{34}^0 E_4^0 \\ I_5^1 &= -y_{45}^1 E_4^1 + Y_{55}^1 E_5^1 & I_5^0 &= -y_{45}^0 E_4^0 \\ I_1^0 &= -y_{12}^0 E_2^0 \\ I_3^0 &= -y_{23}^0 E_2^0 - y_{34}^0 (E_4^1 + 3Z_f I_4^0) \\ I_5^0 &= -y_{45}^0 (E_4^1 + 3Z_f I_4^0) \end{aligned}$$

V. 距離継電器の眺めるインピーダンス

例えば第1-2, 第1-3 図にて, 2 端子が継電器設置点とすれば, 端子の電流は零であるから, 1 端子より流入して 6 端子へ又は 3, 4 端子の方向に通過する電流が継電器電流となる。今四端子定数にて $A_{12}^0 = A_{12}^1 = A_{12}^2 = 1$ とすれば (1-19) となる。

$$I_{1-2}^1 = y_{12}^1(E_1^1 - E_2^1), \quad I_{1-2}^2 = -y_{12}^2 E_2^2, \quad I_{1-2}^0 = -y_{12}^0 E_2^0 \quad \dots\dots\dots (1-19)$$

故, (1-9), (1-15), (1-18) 及び (1-10) より計算可能であり, 他の任意の継電器設置点に就いても類似である。従つて相電圧, 相電流を利用した場合の接地検出距離継電器の眺めるインピーダンスは

$$Z_2^a = \frac{E_2^a}{I_{1-2}^a}, \quad Z_2^b = \frac{E_2^b}{I_{1-2}^b}, \quad Z_2^c = \frac{E_2^c}{I_{1-2}^c} \quad \dots\dots\dots (1-20)$$

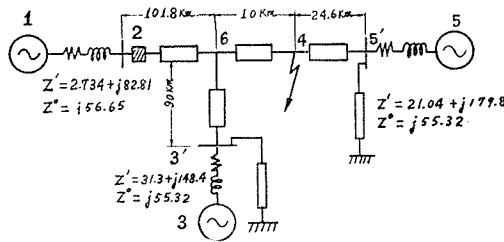
Δ 電圧, Δ 電流を利用する短絡距離継電器の眺めるインピーダンスは

$$Z_2^{a-b} = \frac{E_2^a - E_2^b}{I_{1-2}^a - I_{1-2}^b}, \quad Z_2^{b-c} = \frac{E_2^b - E_2^c}{I_{1-2}^b - I_{1-2}^c}, \quad Z_2^{c-a} = \frac{E_2^c - E_2^a}{I_{1-2}^c - I_{1-2}^a} \quad \dots\dots\dots (1-21)$$

に依り知る事が出来る。又各対称分電流を目的に応じて適当に組合わせ使用する場合の継電器測定値も同様に求め得る事となる。

VI. 計 算 例

第 1-1 図の諸定数を第 1-5 図の如く仮定する。又故障点, 継電器点の電圧電流を目的とする故, 中性点は 1, 3, 5 点にて接地されているものとして計算を簡略化する。



第 1-5 図

線路は

$$\begin{aligned} Z^1 = Z^2 &= (0.1275 + j0.4125) \Omega/\text{km}, & Y^1 = Y^2 &= j2.79 \times 10^{-6} \sigma/\text{km} \\ Z^0 &= (0.4275 + j1.412) \Omega/\text{km} & Y^0 &= j1.69 \times 10^{-6} \sigma/\text{km} \end{aligned}$$

とし, 且つ $A=D=1$ とし, 5', 3' 端子の負荷は

$$Y_{5'} = (6.57 - j0.493) \times 10^{-3} \sigma, \quad Y_{3'} = (2.58 - j0.2138) \times 10^{-3} \sigma$$

とする。内部誘起電圧は線間電圧にて

$$\left. \begin{aligned} E_1^1 &= 247.5 \angle 30^\circ 28' \text{ KV}, & E_3^1 &= 210.7 \angle 7^\circ 42' \text{ KV} \\ E_5^1 &= 269.7 \angle 20^\circ 42' \text{ KV} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (1-22)$$

今過渡値として正逆相アドミッタンスを等しくとれば (1-6) 式の各元素は, 次式 (1-23) の如くなる。

$$\left. \begin{aligned}
 Y_{11}^1 &= Y_{11}^2 = (0.3982 - j12.05) \times 10^{-3} \sigma, & Y_{11}^0 &= (-j17.65) \times 10^{-3} \sigma \\
 Y_{22}^1 &= Y_{22}^2 = (6.506 - j31.87) \times 10^{-3} \sigma, & Y_{22}^0 &= (1.773 - j23.52) \times 10^{-3} \sigma \\
 Y_{33}^1 &= Y_{33}^2 = (1.277 - j5.049) \times 10^{-3} \sigma, & Y_{33}^0 &= (1.108 - j5.240) \times 10^{-3} \sigma \\
 Y_{44}^1 &= Y_{44}^2 = (14.76 - j29.47) \times 10^{-3} \sigma, & Y_{44}^0 &= (3.874 - j20.88) \times 10^{-3} \sigma \\
 Y_{55}^1 &= Y_{55}^2 = (0.6778 - j5.195) \times 10^{-3} \sigma, & Y_{55}^0 &= (1.279 - j10.95) \times 10^{-3} \sigma \\
 y_{12}^1 &= y_{12}^2 = (0.3982 - j12.05) \times 10^{-3} \sigma, & y_{12}^0 &= (-j17.65) \times 10^{-3} \sigma \\
 y_{23}^1 &= y_{23}^2 = (0.0655 - j0.4404) \times 10^{-3} \sigma, & y_{23}^0 &= (0.09561 - j0.4365) \times 10^{-3} \sigma \\
 y_{34}^1 &= y_{34}^2 = (0.6725 - j4.477) \times 10^{-3} \sigma, & y_{34}^0 &= (0.9668 - j4.445) \times 10^{-3} \sigma \\
 y_{45}^1 &= y_{45}^2 = (0.3370 - j5.082) \times 10^{-3} \sigma, & y_{45}^0 &= (1.279 - j10.95) \times 10^{-3} \sigma \\
 y_{54}^1 &= y_{54}^2 = (5.479 - j19.40) \times 10^{-3} \sigma, & y_{54}^0 &= (1.679 - j5.403) \times 10^{-3} \sigma
 \end{aligned} \right\} (1-23)$$

(a) 一線 接地

(1-10), (1-22) 及び (1-23) より

$$\left. \begin{aligned}
 \alpha &= -60.50 - j50.34 & \gamma &= (0.4579 + j0.1101) \times 10^{-3} \\
 \beta &= -51.99 - j66.26 & \delta = \kappa &= (0.4958 + j0.4501) \times 10^{-3}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1-24)$$

(1-9), (1-23) 及び (1-24) より

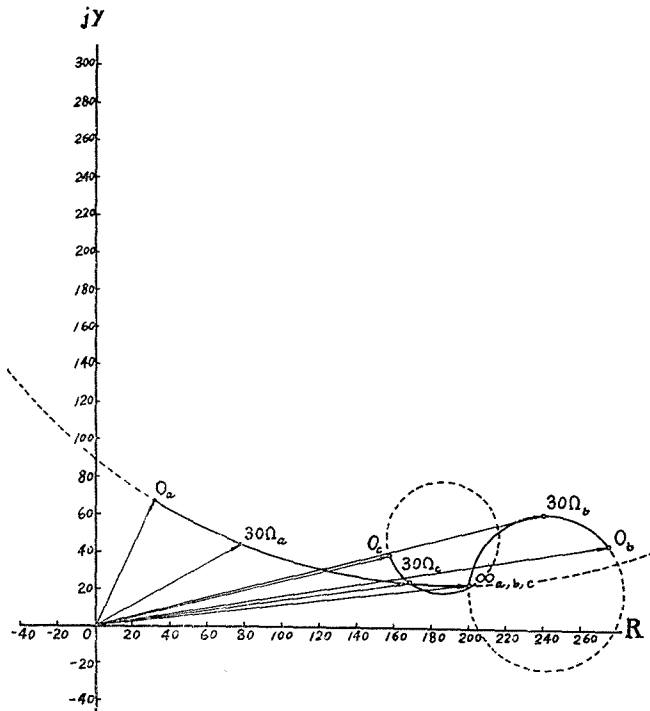
$$\left. \begin{aligned}
 E_2^1 &= (1/\Delta) \{ (3.131 - j0.1211) + Z_f(0.02414 - j0.07593) \} \times 10^{-3} \\
 E_2^2 &= (1/\Delta) (-0.6982 + j0.2669) \times 10^{-3} \\
 E_2^0 &= (1/\Delta) (-0.2943 - j0.04778) \times 10^{-3} \\
 \Delta &= \{ (29.51 - j8.139) + Z_f(0.08844 - j0.6268) \} \times 10^{-9}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1-25)$$

(1-19), (1-20), (1-21), (1-23) 及び (1-25) より

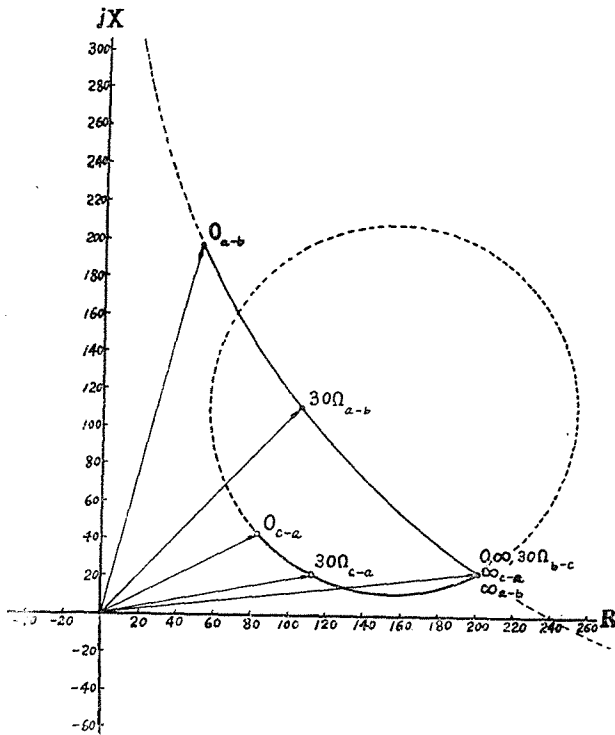
$$\left. \begin{aligned}
 Z_2^a &= \frac{(2.139 + j0.09802) + Z_f(0.02414 - j0.07593)}{(13.46 - j25.39) + Z_f(0.07462 - j0.3848)} \times 10^3 \\
 Z_2^b &= \frac{(1.752 + j3.437) + Z_f(0.07782 - j0.01706)}{(8.187 + j11.13) + Z_f(0.3704 - j0.1278)} \times 10^3 \\
 Z_2^c &= \frac{(-1.269 + j3.196) + Z_f(0.05368 + j0.05888)}{(-2.747 + j20.92) + Z_f(0.2958 + j0.2570)} \times 10^3
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1-26)$$

$$\left. \begin{aligned}
 Z_2^{a-b} &= \frac{(3.891 + j3.535) + Z_f(0.10196 - j0.09299)}{(21.65 - j14.20) + Z_f(0.4450 - j0.5126)} \times 10^3 \\
 Z_2^{b-c} &= \frac{(0.4832 + j6.632) + Z_f(0.1315 + j0.04182)}{(5.44 + j32.05) + Z_f(0.6662 + j0.1292)} \times 10^3 \\
 Z_2^{c-a} &= \frac{(-3.408 + j3.097) + Z_f(0.02954 + j0.1348)}{(-16.21 + j46.31) + Z_f(0.2212 + j0.6418)} \times 10^3
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1-27)$$

(1-26), (1-27) にて Z_f 中にリアクタンス分零とすれば $Z_f = R_f$ にて R_f 変化に応じて夫々 第1-6 図, 第1-7 図に示す如く, 円周の一部を軌跡として動作し, $R_f = 0$ は金属接地, $R_f = \infty$ は非故障定常時継電器の眺める系統正相分インピーダンスに一致する。



第1-6図 α 相接地を眺める各相接地継電器



第1-7図 α 相接地を眺める短絡継電器

(b) 二線短絡

端子 4 で bc 相短絡発生の場合には (1-15), (1-23) 及び (1-24) より

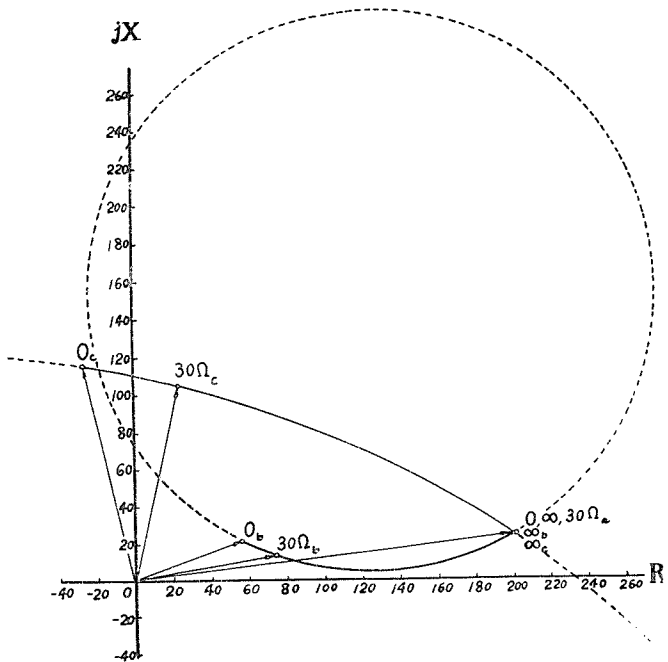
$$\left. \begin{aligned} E_2^1 &= (1/A') \{ (3.593 - j1.551) + Z_f(0.00403 - j0.05627) \} \\ E_2^2 &= (1/A') (1.308 - j0.8982) \\ A' &= \{ (35.15 - j25.74) - Z_f(0.0431 + j0.4464) \} \times 10^{-6} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1-28)$$

(1-28), (1-19), (1-20), (1-21) 及び (1-23) より

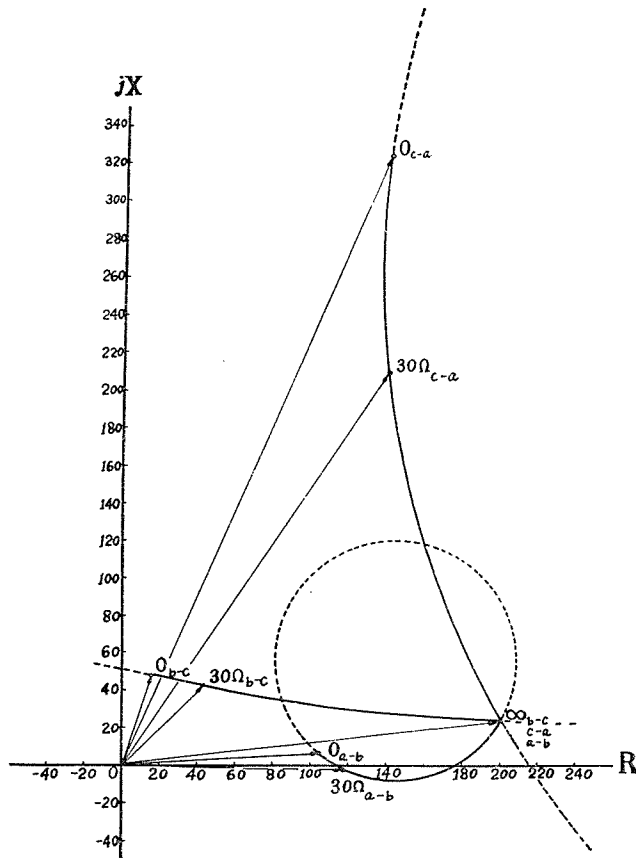
$$\left. \begin{aligned} Z_2^a &= \frac{(4.9003 - j2.448) + Z_f(0.00403 - j0.05624)}{(22.48 - j14.90) - Z_f(0.01182 + j0.2779)} \times 10^3 \\ Z_2^b &= \frac{(3.011 + j0.7554) + Z_f(0.05021 - j0.02463)}{(52.08 - j5.826) + Z_f(0.2349 - j0.1492)} \times 10^3 \\ Z_2^c &= \frac{(-1.879 + j3.204) + Z_f(0.04619 + j0.03161)}{(29.60 + j9.066) + Z_f(0.2467 + j0.1287)} \times 10^3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1-29)$$

$$\left. \begin{aligned} Z_2^{a-b} &= \frac{(7.911 - j1.692) + Z_f(0.05424 - j0.08087)}{(74.55 - j20.72) + Z_f(0.2231 - j0.4271)} \times 10^3 \\ Z_2^{b-c} &= \frac{(1.132 + j3.959) + Z_f(0.0964 + j0.00698)}{(81.68 + j3.240) + Z_f(0.4816 - j0.0205)} \times 10^3 \\ Z_2^{c-a} &= \frac{(-6.780 + j5.651) + Z_f(0.04216 + j0.08785)}{(7.127 + j23.96) + Z_f(0.2585 + j0.4066)} \times 10^3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1-30)$$

$Z_f = R_f$ とした時, (1-29), (1-30) を図示すれば第 1-8 図, 第 1-9 図となり, 同様円特性である。又 $R_f = \infty$ は皆一致する。



第 1-8 図 bc 相短絡を眺める各相接地継電器



第1-9図 bc相短絡を眺める短絡継電器

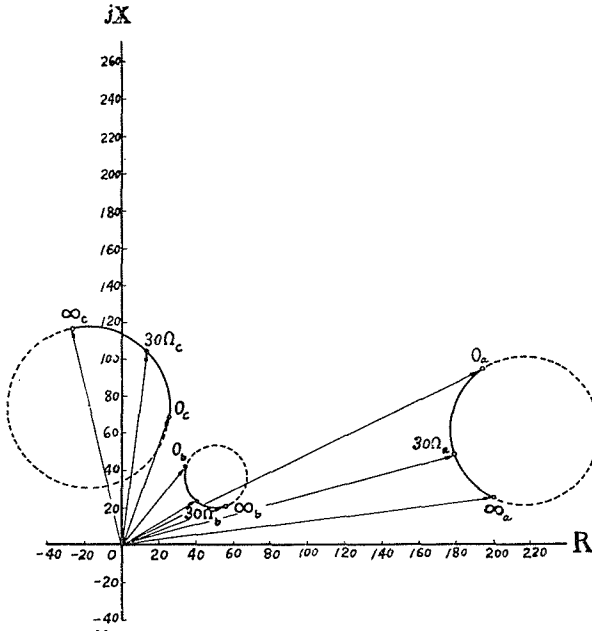
(c) 二線地絡

(1-8), (1-23) 及び (1-24) より

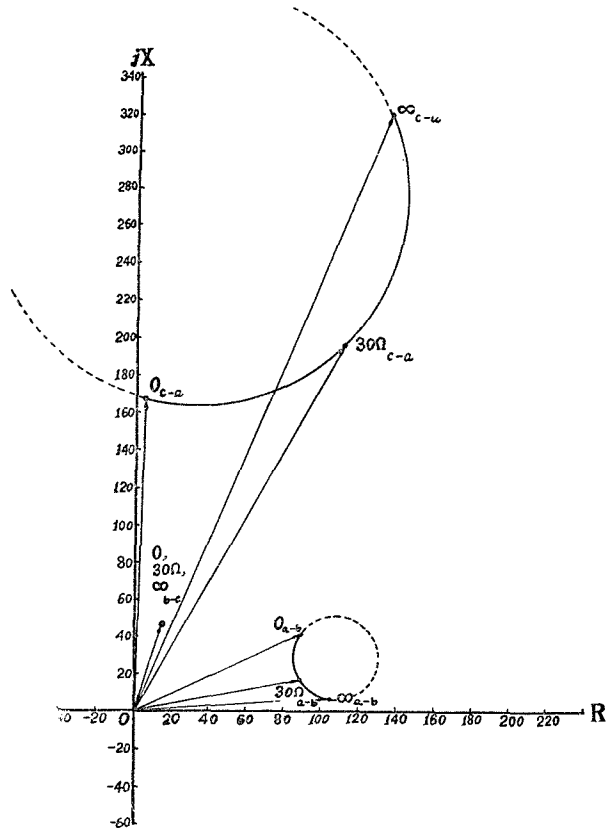
$$\left. \begin{aligned} E_2^1 &= (1/A'') \{ -(44.96 + j110.1) + Z_f(-5.447 + j0.9444) \} \times 10^{-3} \\ E_2^2 &= (1/A'') \{ -(18.80 + j32.36) + Z_f(-2.0895 + j0.7790) \} \times 10^{-2} \\ E_2^0 &= (1/A'') \{ -5.294 - j13.48 \} \times 10^{-3} \\ A'' &= \{ -(0.9423 + j1.169) - Z_f(0.05676 - j0.02380) \} \times 10^{-6} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1-31)$$

(1-19), (1-20), (1-21) 及び (1-31) より

$$\left. \begin{aligned} Z_2^a &= \frac{(0.06905 + j0.1559) + Z_f(0.007536 - j0.001723)}{(0.6011 + j0.5110) + Z_f(0.03577 - j0.01302)} \times 10^3 \\ Z_2^b &= \frac{(-0.04067 + j0.08039) + Z_f(0.003912 + j0.002046)}{(0.6667 + j1.5310) + Z_f(0.07339 + j0.009559)} \times 10^3 \\ Z_2^c &= \frac{(0.09385 + j0.03512) + Z_f(0.003624 - j0.003770)}{(0.6485 - j1.310) - Z_f(0.03761 + j0.02258)} \times 10^3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1-32)$$



第1—10図 bc 相接地を眺める接地継電器



第1—11図 bc 相接地を眺める短絡継電器

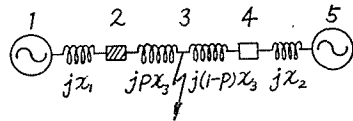
$$\left. \begin{aligned} Z_2^{a-b} &= \frac{(0.02838 + j0.2363) + Z_f(0.01145 + j0.0003229)}{(1.268 + j2.042) + Z_f(0.1092 - j0.003463)} \times 10^3 \\ Z_2^{b-c} &= \frac{(-0.1345 + j0.04527) + Z_f(0.0002876 + j0.005816)}{(0.0182 + j2.841) + Z_f(0.1110 + j0.03214)} \times 10^3 \\ Z_2^{c-a} &= \frac{(0.1629 + j0.191) + Z_f(0.01116 - j0.005493)}{(1.250 - j0.7992) - Z_f(0.001839 + j0.03560)} \times 10^3 \end{aligned} \right\} \dots\dots (1-33)$$

となり、(1-32)、(1-33)を $Z_f = R_f$ の下に図示すれば、第1-10図、第1-11図の如くなる。図より $R_f = \infty$ は第1-1図より判明する如く完全二線短絡となり、第1-9図及び第1-10図の $R_f = 0$ 点に夫々一致する。

第二章 故障位置移動に於ける距離継電器端子の測定インピーダンス値の変化

I. 二線短絡

第2-1図の如くリアクタンスのみ考慮した回路に於いて、今3端子点を故障発生箇所とし、bc相二相短絡を仮定すれば、故障点に於ける各対称分の故障条件は(2-1)に示す如くであり、之を考慮すれば、故障時各端子電圧電流値は(2-2)を解く事によつて得られる。



第2-1図

$$\left. \begin{aligned} E_3^1 &= E_3^2 \\ I_3^1 &= -I_3^2, \quad I_3^0 = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-1)$$

$$\left. \begin{aligned} \begin{pmatrix} I_1^1 \\ 0 \\ -I_3^1 \\ 0 \\ I_5^1 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} Y_{11}^1 & -y_{12}^1 & 0 & 0 & 0 \\ -y_{12}^1 & Y_{22}^1 & -y_{23}^1 & 0 & 0 \\ 0 & -y_{23}^1 & Y_{33}^1 & -y_{34}^1 & 0 \\ 0 & 0 & -y_{34}^1 & Y_{44}^1 & -y_{45}^1 \\ 0 & 0 & 0 & -y_{45}^1 & Y_{55}^1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1^1 \\ E_2^1 \\ E_3^1 \\ E_4^1 \\ E_5^1 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} I_1^2 \\ 0 \\ I_3^2 \\ 0 \\ I_5^2 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} Y_{11}^2 & -y_{12}^2 & 0 & 0 & 0 \\ -y_{12}^2 & Y_{22}^2 & -y_{23}^2 & 0 & 0 \\ 0 & -y_{23}^2 & Y_{33}^2 & -y_{34}^2 & 0 \\ 0 & 0 & -y_{34}^2 & Y_{44}^2 & -y_{45}^2 \\ 0 & 0 & 0 & -y_{45}^2 & Y_{55}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ E_2^2 \\ E_3^2 \\ E_4^2 \\ 0 \end{pmatrix} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-2)$$

簡略のため回路の正相分逆相分アドミッタンスは相等しいとすれば、継電器設置点2及び故障点3の対称分電圧は、

$$\left. \begin{aligned} \Delta E_2^1 &= \left\{ y_{12}^1 \{ (y_{34}^1)^2 - Y_{33}^1 Y_{44}^1 \} Y_{22}^1 Y_{44}^1 + y_{12}^1 (y_{23}^1)^2 (Y_{44}^1)^2 \right\} E_1^1 \\ &\quad - y_{23}^1 y_{34}^1 y_{45}^1 Y_{22}^1 Y_{44}^1 E_1^1 \\ \Delta E_2^2 &= -y_{12}^2 (y_{23}^2)^2 (Y_{44}^2)^2 E_1^2 - y_{23}^2 y_{34}^2 y_{45}^2 Y_{22}^2 Y_{44}^2 E_1^2 \\ \Delta E_3^1 &= \Delta E_3^2 = -Y_{22}^1 Y_{44}^1 \{ y_{12}^1 y_{23}^1 Y_{44}^1 E_1^1 + y_{34}^1 y_{45}^1 Y_{22}^1 E_5^1 \} \\ \Delta &= 2Y_{22}^1 Y_{44}^1 \{ (y_{34}^1)^2 - Y_{33}^1 Y_{44}^1 \} Y_{22}^1 + (y_{23}^1)^2 Y_{44}^1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-3)$$

(2-3) より 2 端子点に於ける電圧電流は

$$\left. \begin{aligned}
 \Delta E_2^a &= \Delta E_2^1 + \Delta E_2^3 \\
 \Delta E_2^b &= a^2 \Delta E_2^1 + a \Delta E_2^3 \\
 \Delta E_2^c &= a \Delta E_2^1 + a^2 \Delta E_2^3 \\
 \Delta I_{2-3}^a &= y_{23}^1 (\Delta E_2^1 - \Delta E_3^1) + y_{23}^3 (\Delta E_2^3 - \Delta E_3^3) \\
 \Delta I_{2-3}^b &= a^2 y_{23}^1 (\Delta E_2^1 - \Delta E_3^1) + a y_{23}^3 (\Delta E_2^3 - \Delta E_3^3) \\
 \Delta I_{2-3}^c &= a y_{23}^1 (\Delta E_2^1 - \Delta E_3^1) + a^2 y_{23}^3 (\Delta E_2^3 - \Delta E_3^3) \\
 a &= -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad a^2 = -\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-4)$$

(2-4) に依つて、2 端子の継電器設置点より眺めた故障時インピーダンスが計算し得る。四端子定数に於いて $A=D=1$ とし、故障点は 2, 3 端子間に於いて 2 端子より p の位置に発生したとすれば、

$$\left. \begin{aligned}
 Y_{11}^1 &= -j \frac{1}{x_1} & y_{12}^1 &= -j \frac{1}{x_1} \\
 Y_{22}^1 &= -j \frac{x_1 + px_3}{px_1 x_3} & y_{23}^1 &= -j \frac{1}{px_3} \\
 Y_{33}^1 &= -j \frac{1}{p(1-p)x_3} & y_{34}^1 &= -j \frac{1}{(1-p)x_3} \\
 Y_{44}^1 &= -j \frac{x_2 + (1-p)x_3}{(1-p)x_2 x_3} & y_{45}^1 &= -j \frac{1}{x_2} \\
 Y_{55}^1 &= -j \frac{1}{x_2}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-5)$$

となり、各相電圧電流の比を用いた接地検出距離継電器に就いては、その眺める故障インピーダンスは各相夫々 (2-6), (2-7), (2-8) の如くなる。

$$\begin{aligned}
 Z_2^a &= \frac{y_{12}^1 \{ (y_{34}^1)^2 - Y_{33}^1 Y_{44}^1 \} E_1^1 - y_{23}^1 y_{34}^1 y_{45}^1 E_5^1}{y_{12}^1 y_{23}^1 \{ (y_{34}^1)^2 - Y_{33}^1 Y_{44}^1 + y_{23}^1 Y_{44}^1 \} E_1^1 - y_{23}^1 y_{34}^1 y_{45}^1 (y_{23}^1 - Y_{22}^1) E_5^1} \\
 &= j \frac{(x_2 + x_3) E_1^1 + x_1 E_5^1}{E_1^1 - E_5^1} \dots\dots\dots (2-6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_2^b &= \frac{(1 + j\sqrt{3}) \{ (y_{34}^1)^2 - Y_{33}^1 Y_{44}^1 \} y_{12}^1 Y_{22}^1 Y_{44}^1 E_1^1 + j\sqrt{3} \{ y_{12}^1 (y_{23}^1)^2 (Y_{44}^1)^2 \} E_1^1 - y_{23}^1 y_{34}^1 y_{45}^1 Y_{22}^1 Y_{44}^1 E_5^1}{y_{23}^1 [(1 + j\sqrt{3}) \{ (y_{34}^1)^2 - Y_{33}^1 Y_{44}^1 \} y_{12}^1 Y_{22}^1 Y_{44}^1 E_1^1 + y_{12}^1 y_{23}^1 (Y_{44}^1)^2 (Y_{22}^1 + j\sqrt{3} y_{23}^1) E_1^1 - y_{23}^1 y_{34}^1 y_{45}^1 Y_{22}^1 Y_{44}^1 (y_{23}^1 - Y_{22}^1) E_5^1]} \\
 &= \frac{-\sqrt{3} px_3 (x_1 + x_2 + x_3) E_1^1 + j(x_1 + px_3) \{ (x_2 + x_3) E_1^1 + x_1 E_5^1 \}}{(x_1 + px_3) (E_1^1 - E_5^1) + j\sqrt{3} (x_1 + x_2 + x_3) E_1^1} \dots\dots\dots (2-7)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_2^c &= \frac{(1 - j\sqrt{3}) \{ (y_{34}^1)^2 - Y_{33}^1 Y_{44}^1 \} y_{12}^1 Y_{22}^1 Y_{44}^1 E_1^1 - j\sqrt{3} y_{12}^1 (y_{23}^1)^2 (Y_{44}^1)^2 E_1^1 - y_{23}^1 y_{34}^1 y_{45}^1 Y_{22}^1 Y_{44}^1 E_5^1}{y_{23}^1 [1 - j\sqrt{3} \{ (y_{34}^1)^2 - Y_{33}^1 Y_{44}^1 \} y_{12}^1 Y_{22}^1 Y_{44}^1 E_1^1 + y_{12}^1 y_{23}^1 (Y_{44}^1)^2 (Y_{22}^1 - j\sqrt{3} y_{23}^1) E_1^1 - y_{23}^1 y_{34}^1 y_{45}^1 Y_{22}^1 Y_{44}^1 (y_{23}^1 - Y_{22}^1) E_5^1]} \\
 &= \frac{\sqrt{3} px_3 (x_1 + x_2 + x_3) E_1^1 + j(x_1 + px_3) \{ (x_2 + x_3) E_1^1 + x_1 E_5^1 \}}{(x_1 + px_3) (E_1^1 - E_5^1) - j\sqrt{3} (x_1 + x_2 + x_3) E_1^1} \dots\dots\dots (2-8)
 \end{aligned}$$

同様な計算により A 電圧と A 電流を利用する短絡距離継電器の眺めるインピーダンスは

$$Z_2^{b-c} = jpx_3 \dots\dots\dots (2-9)$$

$$Z_2^{c-a} = \frac{\sqrt{3} px_3(x_1+x_2+x_3)E_1^+ + j3(x_1+px_3)\{(x_2+x_3)E_1^+ + x_1E_3^+\}}{3(x_1+px_3)(E_1^+ - E_3^+) - j\sqrt{3}(x_1+x_2+x_3)E_1^+} \dots\dots\dots (2-10)$$

$$Z_2^{a-b} = \frac{-\sqrt{3} px_3(x_1+x_2+x_3)E_1^+ + j3(x_1+px_3)\{(x_2+x_3)E_1^+ + x_1E_3^+\}}{3(x_1+px_3)(E_1^+ - E_3^+) + j\sqrt{3}(x_1+x_2+x_3)E_1^+} \dots\dots\dots (2-11)$$

(2-9), (2-10), (2-11) となる。即ち簡単なりアクタンス回路に於いて, bc 相短絡を見る bc 相短絡継電器は正しく距離に比例する。しかし内部誘起電圧 E_1^+ 及び E_3^+ が故障継続中一定と仮定すれば, (2-7), (2-8), (2-10) 及び (2-11) は故障位置 p の変化に応ずる円特性として得られ, 円周上 $p=0$ 及び $p=1$ の値の間の円弧を以て軌跡としている。 E_1^+ 及び E_3^+ の位相差角一定として, その絶対値の比のみ変化する時, 又は絶対値一定にてその位相差角のみ変化する時のインピーダンス測定値の変化は, 夫々絶対値の比又は位相差角をパラメーターとした円群上の一部分を軌跡とする特性を示すものである。今 (2-7) に於いて分母子を E_3^+ で除し, $E_1^+/E_3^+ = n\epsilon^{j\varphi}$ とすれば, φ 一定の時は (2-12) と

$$Z_2^b = \frac{j(x_1+px_3)x_1 - n\{\sqrt{3} px_3(x_1+x_2+x_3) - j(x_1+px_3)(x_2+x_3)\} \epsilon^{j\varphi}}{(x_1+px_3) + n\{(x_1+px_3) + j\sqrt{3}(x_1+x_2+x_3)\} \epsilon^{j\varphi}} \dots\dots\dots (2-12)$$

なり, n 変化により円特性を示すが, 之等の円群上実際の軌跡部分は, 上式にて $p=0$, 及び $p=1$ と置いた 2 円 (2-13) に挟まれた部分となる。

$$\left. \begin{aligned} Z_2^b_{p=0} &= \frac{j(x_1)^2 + n\{jx_1(x_2+x_1)\} \epsilon^{j\varphi}}{x_1 + n\{x_1 + j\sqrt{3}(x_1+x_2+x_3)\} \epsilon^{j\varphi}} \\ Z_2^b_{p=1} &= \frac{j(x_1+x_3)x_1 - n\{\sqrt{3} px_3(x_1+x_2+x_3) - j(x_1+x_3)(x_2+x_3)\} \epsilon^{j\varphi}}{(x_1+x_3) + n\{(x_1+x_3) + j\sqrt{3}(x_1+x_2+x_3)\} \epsilon^{j\varphi}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-13)$$

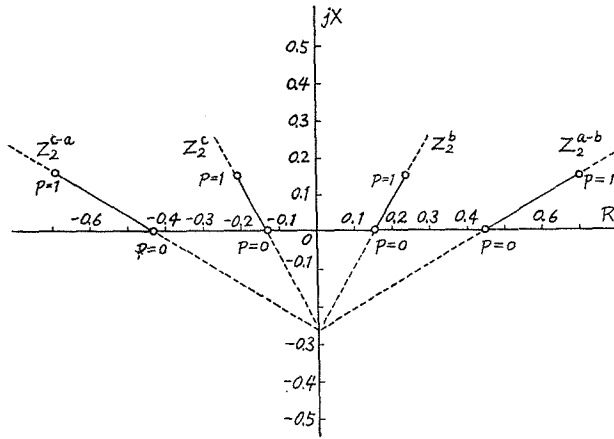
同じく φ を変化せしめ, p 及び n を一定とすれば, 円特性である事は (2-12), (2-13) より明らかであつて, 之等の円群上実際の軌跡部分は, n を一定とした (2-13) の示す 2 円に挟まれた部分である事も同様である。他の (2-6), (2-8), (2-10) 及び (2-11) 式等からも上述と同様にして, n 変化円及び φ 変化円が容易に得られる。

特に $E_1^+ = E_3^+$ の成立つ場合には (2-6) は無限大の値をとり, 又 $E_1^+ = 0$ にて $-jx_1$, $E_3^+ = 0$ にては $j(x_2+x_3)$ を測定する。(2-7), (2-8), (2-10) 及び (2-11) も $E_1^+ = E_3^+$ の場合には夫々 (2-14), (2-15) となり,

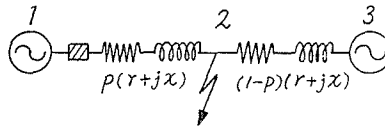
$$\left. \begin{aligned} Z_2^b &= \frac{x_1}{\sqrt{3}} + px_3 \left(\frac{1}{\sqrt{3}} + j1 \right) \\ Z_2^c &= -\frac{x_1}{\sqrt{3}} + px_3 \left(-\frac{1}{\sqrt{3}} + j1 \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-14)$$

$$\left. \begin{aligned} Z_2^{a-a} &= -\sqrt{3} x_1 + px_3 (j - \sqrt{3}) \\ Z_2^{a-b} &= \sqrt{3} x_1 + px_3 (j + \sqrt{3}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-15)$$

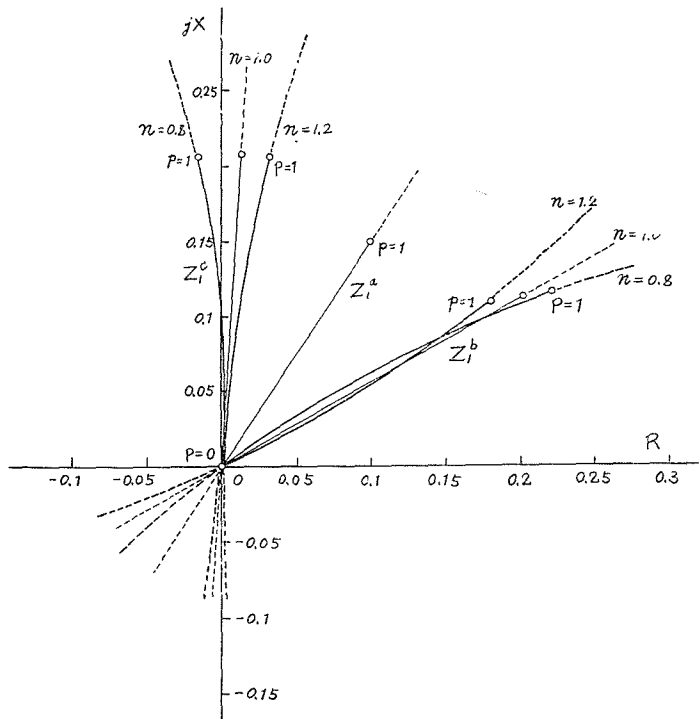
即ち直線特性である。一例を示せば第 2—2 図の如くである。



第 2-2 図 $x_1=0.25, x_2=0.2, x_3=0.15$ の場合



第 2-3 図



第 2-4 図 回路抵抗を含む場合

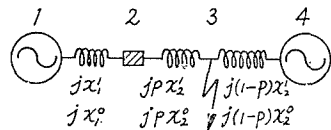
回路に有効分抵抗を考えた場合には、例えば第2-3図の時は(2-16)で計算され、 $E_1^1 = E_3^1$ の場合は(2-17)となり、図示すれば第2-4図の如くであつて、対称軸が傾いて居る。他相故障を見る場合は円特性であるが、 $E_1^1 = E_3^1$ では直線を示す。

$$\left. \begin{aligned} Z_1^{0-c} &= p(r+jx) \\ Z_1^b &= \frac{p(r+jx)(\sqrt{3}-j1)E_1^1}{\sqrt{3}E_1^1-jp(E_1^1-E_3^1)} \\ Z_1^c &= \frac{p(r+jx)(\sqrt{3}+j1)E_1^1}{\sqrt{3}E_1^1+jp(E_1^1-E_3^1)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-16)$$

$$\left. \begin{aligned} Z_1^b &= p(r+jx)\left(1-j\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \\ Z_1^c &= p(r+jx)\left(1+j\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-17)$$

II. 一線接地

他の非対称故障例えば第2-5図の回路にて3点に於いてa相一線地絡が生じた場合に就いても、同様に取扱う事が出来る。故障計算の条件及び基本式は(2-18), (2-19)となり



第2-5図

$$\left. \begin{aligned} I_3^1 &= I_3^2 = I_3^0 \\ E_3^0 &= -(E_3^1 + E_3^2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-18)$$

$$\left. \begin{aligned} \begin{pmatrix} I_1^1 \\ 0 \\ -I_3^1 \\ I_4^1 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} Y_{11}^1 & -y_{12}^1 & 0 & 0 \\ -y_{12}^1 & Y_{22}^1 & -y_{23}^1 & 0 \\ 0 & -y_{23}^1 & Y_{33}^1 & -y_{34}^1 \\ 0 & 0 & -y_{34}^1 & Y_{44}^1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1^1 \\ E_2^1 \\ E_3^1 \\ E_4^1 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} I_1^2 \\ 0 \\ -I_3^2 \\ I_4^2 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} Y_{11}^2 & -y_{12}^2 & 0 & 0 \\ -y_{12}^2 & Y_{22}^2 & -y_{23}^2 & 0 \\ 0 & -y_{23}^2 & Y_{33}^2 & -y_{34}^2 \\ 0 & 0 & -y_{34}^2 & Y_{44}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ E_2^2 \\ E_3^2 \\ 0 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} I_1^0 \\ 0 \\ -I_3^0 \\ I_4^0 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} Y_{11}^0 & -y_{12}^0 & 0 & 0 \\ -y_{12}^0 & Y_{22}^0 & -y_{23}^0 & 0 \\ 0 & -y_{23}^0 & Y_{33}^0 & -y_{34}^0 \\ 0 & 0 & -y_{34}^0 & Y_{44}^0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ E_2^0 \\ -(E_3^1 + E_3^2) \\ 0 \end{pmatrix} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-19)$$

(2-19)を解いて継電器設置点2にて眺めた故障時インピーダンスを求めれば(2-20)で示すアドミッタンスを仮定して(2-21), (2-22), (2-23), (2-24)を得る。

$$\left. \begin{aligned} Y_{11}^1 &= Y_{11}^2 = -j\frac{1}{x_1} & y_{12}^1 &= y_{12}^2 = -j\frac{1}{x_1} \\ Y_{22}^1 &= Y_{22}^2 = -j\frac{x_1 + px_2}{px_1x_2} & y_{23}^1 &= y_{23}^2 = -j\frac{1}{px_2} \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned}
 Y_{33}^1 &= Y_{33}^2 = -j \frac{1}{p(1-p)x_2^1} & y_{34}^1 &= y_{34}^2 = -j \frac{1}{(1-p)x_2^1} \\
 Y_{44}^1 &= Y_{44}^2 = -j \frac{1}{(1-p)x_2^1} & & \\
 Y_{11}^0 &= -j \frac{1}{x_1^0} & y_{12}^0 &= -j \frac{1}{x_1^0} \\
 Y_{22}^0 &= -j \frac{x_1^0 + px_2^0}{px_1^0 x_2^0} & y_{23}^0 &= -j \frac{1}{px_2^0} \\
 Y_{33}^0 &= -j \frac{1}{p(1-p)x_2^0} & y_{34}^0 &= -j \frac{1}{(1-p)x_2^0} \\
 Y_{44}^0 &= -j \frac{1}{(1-p)x_2^0} & &
 \end{aligned} \right\} \dots\dots (2-20)$$

$$Z_2^a = jp \frac{x_2^1(x_1^0 + x_2^0)(x_2^0 + 2x_2^1)E_1^1 - x_2^0(x_1^0 x_2^1 - x_1^1 x_2^0)E_1^1}{(2x_1^0 x_2^1 + 3x_2^0 x_2^1 + x_1^0 x_2^0)E_1^1 + x_2^0(x_1^1 - x_1^0)E_1^1 + px_2^0(x_2^0 - x_2^1)(E_1^1 - E_1^1)} \dots (2-21)$$

$$Z_2^b = \frac{(A_n E_1^1 + B_n E_1^1) + j(A'_n E_1^1 + B'_n E_1^1) + p\{(C_n E_1^1 + D_n E_1^1) + j(C'_n E_1^1 + D'_n E_1^1)\}}{(A_a E_1^1 + B_a E_1^1) + j(A'_a E_1^1 + B'_a E_1^1) + p\{(C_a E_1^1 + D_a E_1^1) + j(C'_a E_1^1 + D'_a E_1^1)\}} \dots\dots (2-22)$$

$$Z_2^c = \frac{-(A_n E_1^1 + B_n E_1^1) + j(A'_n E_1^1 + B'_n E_1^1) - p\{(C_n E_1^1 + D_n E_1^1) - j(C'_n E_1^1 + D'_n E_1^1)\}}{(A_a E_1^1 + B_a E_1^1) - j(A'_a E_1^1 + B'_a E_1^1) + p\{(C_a E_1^1 + D_a E_1^1) - j(C'_a E_1^1 + D'_a E_1^1)\}} \dots\dots (2-23)$$

$$\left. \begin{aligned}
 A_n &= -\sqrt{3} x_1^1 x_2^1 \{x_1^1 x_2^1 (x_1^0 + x_2^0) + \frac{1}{2} x_1^0 x_2^0 (x_1^1 + x_2^1)\} \\
 A'_n &= \frac{3}{2} x_1^0 x_1^1 x_2^0 x_2^1 (x_1^1 + x_2^1) \\
 B_n &= -\sqrt{3} (x_1^1)^2 \{x_1^1 x_2^1 (x_1^0 + x_2^0) + \frac{1}{2} x_1^0 x_2^0 (x_1^1 + x_2^1)\} \\
 B'_n &= \frac{3}{2} x_1^0 (x_1^1)^2 x_2^0 (x_1^1 + x_2^1) \\
 C_n &= -\sqrt{3} x_1^1 x_2^1 \{(x_2^1)^2 (x_1^0 + x_2^0) + \frac{1}{2} (x_2^0) (x_1^1 + x_2^1)\} \\
 C'_n &= x_1^1 x_2^1 (x_1^1 + x_2^1) \{x_2^1 (x_1^0 + x_2^0) + \frac{1}{2} (x_2^0)^2 - x_1^0 x_2^0\} \\
 D_n &= -\sqrt{3} (x_1^1)^2 \{(x_2^1)^2 (x_1^0 + x_2^0) + \frac{1}{2} (x_2^0)^2 (x_1^1 + x_2^1)\} \\
 D'_n &= x_1^1 x_2^0 (x_1^1 + x_2^1) (x_1^0 x_2^0 + \frac{1}{2} x_1^1 x_2^0) \\
 A_a &= x_1^0 x_1^1 (x_1^1 + x_2^1) (x_2^1 + \frac{1}{2} x_2^0) \\
 A'_a &= \sqrt{3} x_1^1 \{x_1^1 x_2^1 (x_1^0 + x_2^0) + \frac{1}{2} x_1^0 x_2^0 (x_1^1 + x_2^1)\} \\
 B_a &= -x_1^1 x_2^0 (x_1^1 + x_2^1) (x_1^1 + \frac{1}{2} x_1^0) \\
 B'_a &= -\sqrt{3} x_1^1 \{x_1^1 x_2^1 (x_1^0 + x_2^0) + \frac{1}{2} x_1^0 x_2^0 (x_1^1 + x_2^1)\} \\
 C_a &= x_1^1 x_2^0 (x_1^1 + x_2^1) (x_2^1 + \frac{1}{2} x_2^0) \\
 C'_a &= \sqrt{3} x_1^1 \{(x_2^1)^2 (x_1^0 + x_2^0) + \frac{1}{2} (x_2^0)^2 (x_1^1 + x_2^1)\} \\
 D_a &= -x_1^1 x_2^0 (x_1^1 + x_2^1) (x_2^1 + \frac{1}{2} x_2^0) \\
 D'_a &= -\sqrt{3} x_1^1 \{(x_2^1)^2 (x_1^0 + x_2^0) + \frac{1}{2} (x_2^0)^2 (x_1^1 + x_2^1)\}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots (2-24)$$

(2-21) は直線, (2-22), (2-23) は円特性である。(2-21) は $E_1^1 = E_1^1$ の場合には (2-25) となる。

$$Z_2^a = jpa_2^0 + jp \frac{x_2^1(x_1^0 + x_2^0)(2x_2^1 - x_2^0)}{x_1^0 x_2^1 + 2x_2^0 x_2^1 + x_1^0 x_2^0} \dots\dots (2-25)$$

(2-25) では a 相地絡を眺める a 相地絡継電器は, $2x_2^1 = x_2^0$ なる条件が満足される回路では

正確に故障点距離を測定する事が判明する。(2-22), (2-23) も $E_1^I = E_3^I$ の場合には同様に直線特性となる。

III. 計 算 例

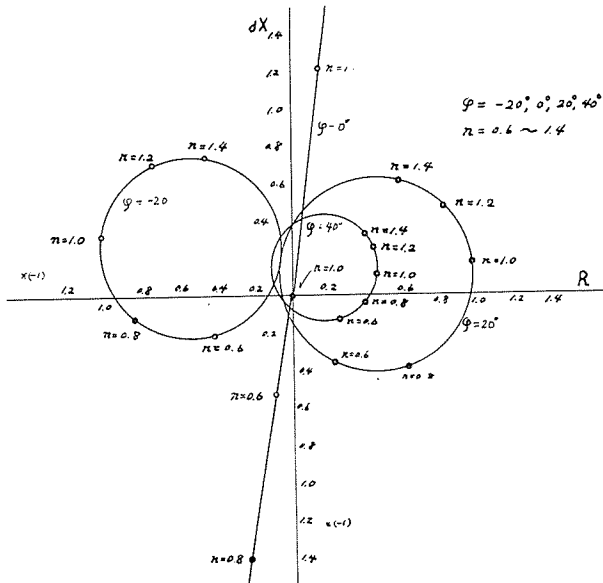
(a) bc 相二線短絡

第 2-1 図に於いて

$$\begin{aligned} jx_1 &= j0.05 & E_3^I &= 1.00 \\ jx_2 &= j0.1 & E_1^I &= n\varepsilon^{j\varphi} \\ jx_3 &= j0.25 & n &= |E_1^I/E_3^I| \end{aligned}$$

と置いた場合には, (2-6) は (2-26) となり, $\varphi = -40^\circ, -20^\circ, 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ$

$$Z_2^u = j \cdot \frac{0.35 n \varepsilon^{j\varphi} + 0.05}{n \varepsilon^{j\varphi} - 1} \dots\dots\dots (2-26)$$



第 2-6 図 bc 相短絡を眺める α 相接地距離継電器

と一定の時の n の変化による α 相接地継電器の眺めるインピーダンス点の移動に就いては, 第 2-6 図に示す如くである。即ち故障に無関係であつて, 両端の内部誘起電圧で変化する事は周知である。(2-7) は計算によれば (2-27) となり, n 及び φ により決定されるある円周上を移動す

$$Z_2^b = \frac{j(0.0175 n \varepsilon^{j\varphi} + 0.0025) + p \{ -0.0694 n \varepsilon^{j\varphi} + j(0.0875 n \varepsilon^{j\varphi} + 0.0125) \}}{\{ 0.05(n \varepsilon^{j\varphi} - 1) + j0.694 n \varepsilon^{j\varphi} \} + p(0.25)(n \varepsilon^{j\varphi} - 1)} \dots\dots\dots (2-27)$$

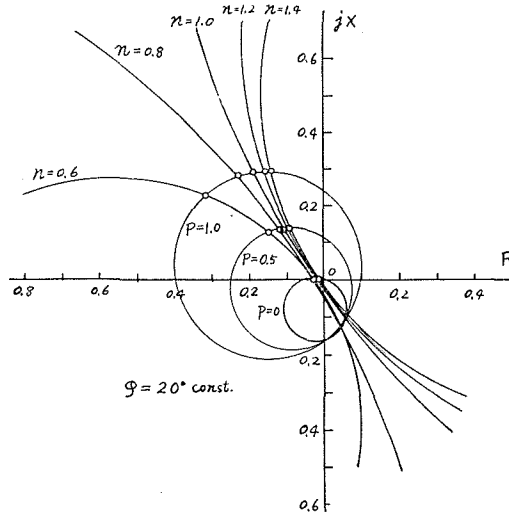
るが, 2 端子及び 3 端子間を故障点が移動するに伴つて, インピーダンス値は近端故障を示す $p=0$ 円と, 遠端故障を示す $p=1$ 円の上に両端を置いた円弧上を軌跡とする事は第 2-7 図, 第 2-8 図に示す如くである。第 2-7 図は $\varphi=20^\circ$ 一定とし, n を変えた場合であり, 第 2-8 図

は $n=1.2$ 一定と置いた場合 φ を変化せしめた時の軌跡の存在範囲を示している。図上2及び3端子の中間にて故障発生せる場合のインピーダンス値も併記してある。

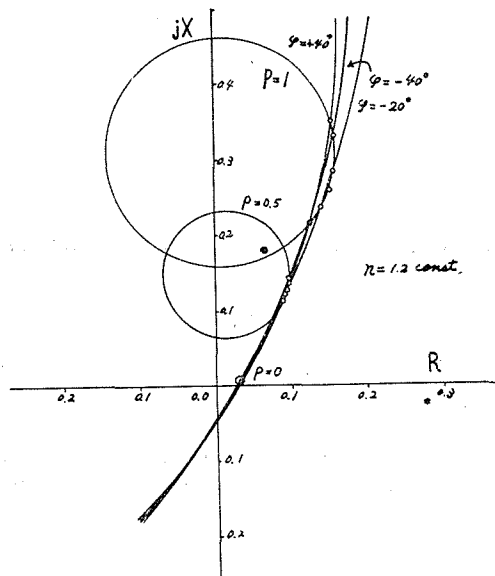
(2-8) も同様な方法により (2-28) として得られ、

$$Z_2 = \frac{j(0.0175 n \varepsilon^{j\varphi} + 0.0025) + p \{0.0694 n \varepsilon^{j\varphi} + j(0.0875 n \varepsilon^{j\varphi} + 0.0125)\}}{\{0.05(n \varepsilon^{j\varphi} - 1) - j0.694 n \varepsilon^{j\varphi}\} + p(0.25)(n \varepsilon^{j\varphi} - 1)} \quad (2-28)$$

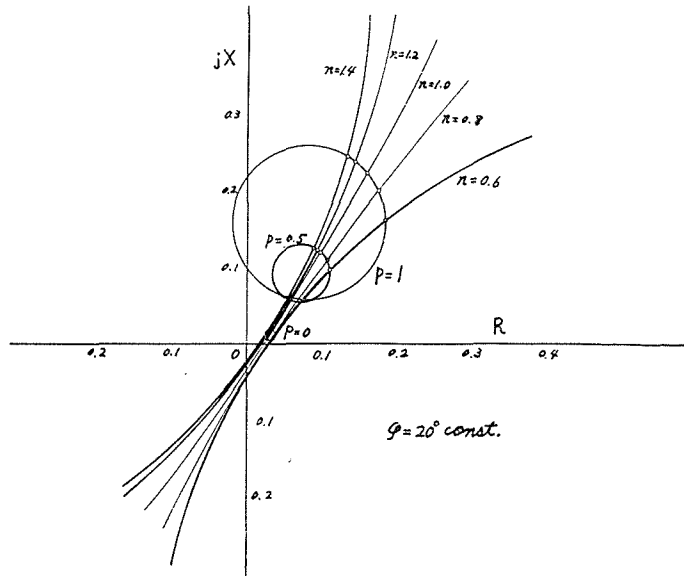
図示すれば第2-9図及び第2-10図である。



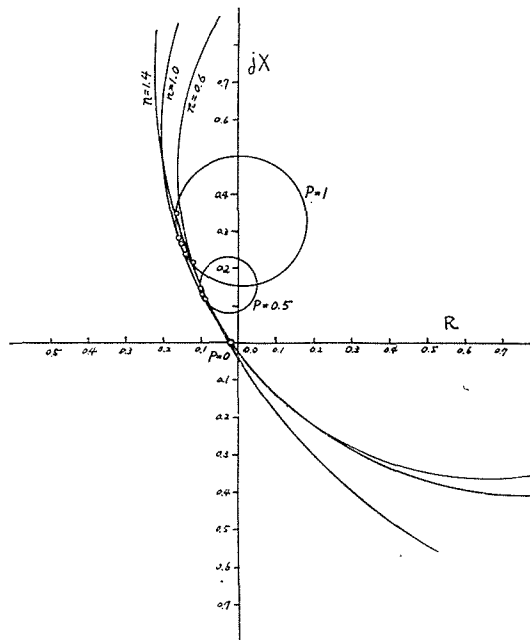
第2-7図 bc 相短絡を眺める b 相接地距離継電器 $\varphi=20^\circ$ 一定, n 変化の場合



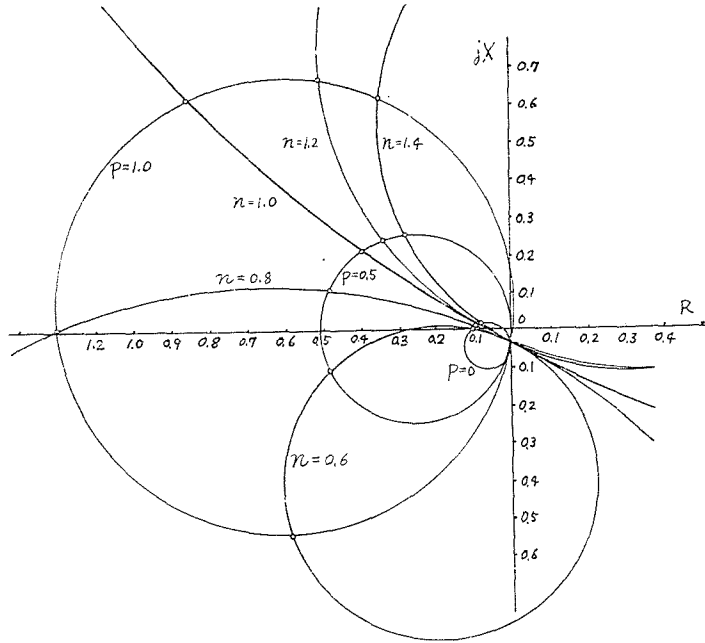
第2-8図 bc 相短絡を眺める b 相接地距離継電器 $n=1.2$ 一定, φ 変化の場合



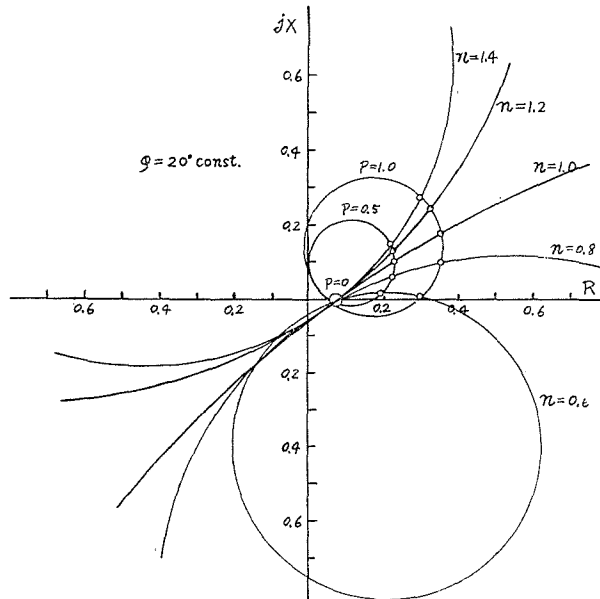
第2-9図 bc相短絡を逃めるc相接地距離継電器
 $\varphi = 20^\circ$ 一定, n 変化の場合



第2-10図 bc相短絡を逃めるc相接地距離継電器
 $n = 1.2$ 一定, φ 変化の場合



第2-11図 bc 相短絡を眺める $c-a$ 相短絡距離継電器



第2-12図 bc 相短絡を眺める $a-b$ 相短絡距離継電器

第2-9図は $\varphi=20^\circ$ 一定として n を変えた場合、第2-10図は $n=1.2$ 一定として φ を変えた時である事は前記と同様である。即ち bc 相短絡を眺める b 相及び c 相の接地距離継電器の測定するインピーダンスは、特別の場合を除いては、故障点移動に応じて円弧特性を示し、又 a 相継電器も含めて両端の内部誘起電圧の位相及び大きさに関係するものである事が判明する。(2-10), (2-11) も同じく取扱えば (2-29) 及び (2-30) となり、図示すれば夫々第2-11図、第2-12図の如くなる。

$$Z_2^{c-a} = \frac{j(0.0525 n \varepsilon^{j\varphi} + 0.0075) + p \{0.0694 n \varepsilon^{j\varphi} + j(0.263 n \varepsilon^{j\varphi} + 0.03)\}}{\{0.15(n \varepsilon^{j\varphi} - 1) - j0.694 n \varepsilon^{j\varphi}\} + p(0.75)(n \varepsilon^{j\varphi} - 1)} \quad (2-29)$$

$$Z_2^{a-b} = \frac{j(0.0525 n \varepsilon^{j\varphi} + 0.0075) + p \{-0.0649 n \varepsilon^{j\varphi} + j(0.263 n \varepsilon^{j\varphi} + 0.03)\}}{\{0.15(n \varepsilon^{j\varphi} - 1) + j0.694 n \varepsilon^{j\varphi}\} + p(0.75)(n \varepsilon^{j\varphi} - 1)} \quad (2-30)$$

(b) a 相一線地絡

第2-5図に於いて $jx_1^1=j0.2$, $jx_2^1=j0.15$, $ja_1^0=j0.05$, $ja_2^0=j0.35$ とした時 (2-21), (2-22), (2-23) は夫々 (2-31), (2-32), (2-33) となり、之を図示すれば第2-13, 2-14 及び第2-15図の如

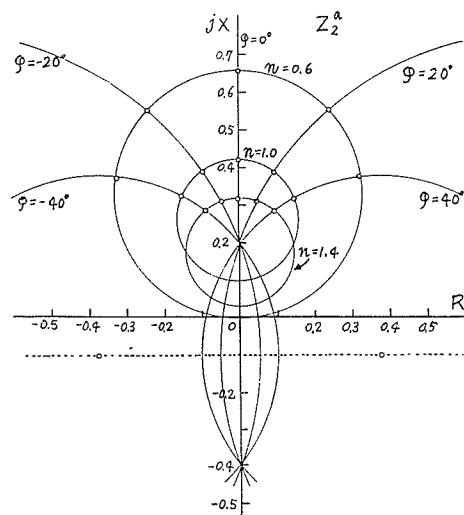
$$Z_2^a = jp \frac{0.039 n \varepsilon^{j\varphi} + 0.02185}{0.130 n \varepsilon^{j\varphi} + 0.0175 + 0.07p(n \varepsilon^{j\varphi} - 1)} \dots\dots\dots (2-31)$$

$$Z_2^b = \frac{-(0.780 n \varepsilon^{j\varphi} + 1.04) + j(0.276 n \varepsilon^{j\varphi} + 0.368) - p \{(1.582 n \varepsilon^{j\varphi} + 2.175) - j(1.08 n \varepsilon^{j\varphi} + 1.04)\}}{(1.135 n \varepsilon^{j\varphi} - 5.52) + j5.2(n \varepsilon^{j\varphi} - 1) + p \{6.75(n \varepsilon^{j\varphi} - 1) + j10.6(n \varepsilon^{j\varphi} - 1)\}} \dots\dots\dots (2-32)$$

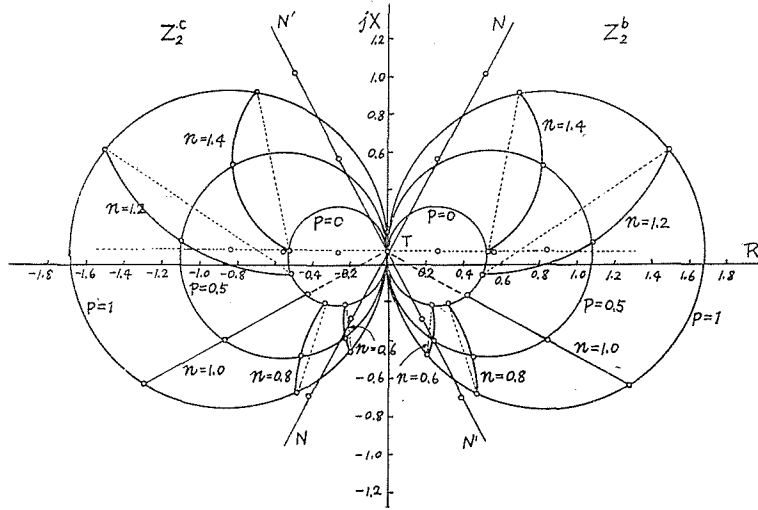
$$Z_2^c = \frac{(0.780 n \varepsilon^{j\varphi} + 1.04) + j(0.276 n \varepsilon^{j\varphi} + 0.368) + p \{(1.582 n \varepsilon^{j\varphi} + 2.175) + j(1.08 n \varepsilon^{j\varphi} + 1.04)\}}{(1.135 n \varepsilon^{j\varphi} - 5.52) - j5.2(n \varepsilon^{j\varphi} - 1) + p \{6.75(n \varepsilon^{j\varphi} - 1) - j10.6(n \varepsilon^{j\varphi} - 1)\}} \dots\dots\dots (2-33)$$

くなる。第2-13図は a 相接地距離継電器の直線特性であつて、内部誘起電圧の大きさ及び位相により、その直線特性の方向及び位置が変化する事を示している。

第2-14図は $\varphi=0^\circ$ 一定とした時の b 相及び c 相接地距離継電器の眺める故障時インピーダンスの故障位置移動に応ずる軌跡であつて、 n の変化により、 $p=0$ の円及び $p=1$ の円を両脚点とする円弧である事は前述した短絡故障の場合と同様である。 p 円は $n=1.0$, 即ち $E_1^1=E_1^0$ の場合に応ずる直線軌跡の延長と縦軸との交点 T にて相切し、各円弧の中心は NN 及び $N'N'$ 上線にあつて移動する。

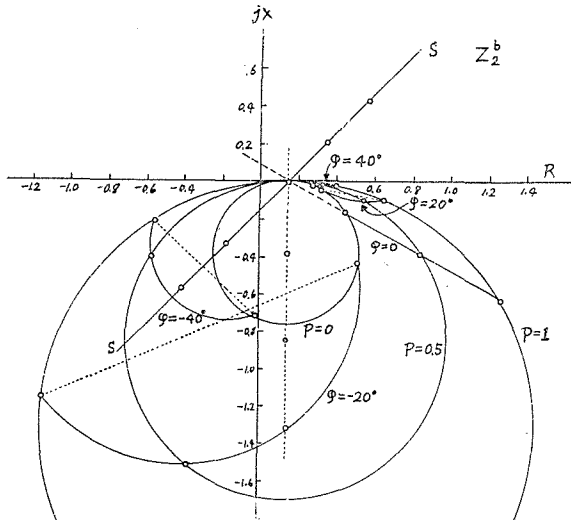


第2-13図 a 相接地を眺める a 相接地距離継電器



第2-14図 a相接地を眺めるb相, c相接地距離
継電器, $\varphi=0^\circ$ 一定, n 変化の場合

第2-15図は $n=1$ 一定とした場合, φ の変化により, b 相継電器の眺める故障点位置移動のインピーダンス値であつて, 前同様 $p=0$ 円と $p=1$ 円に挟まれた円弧群であり, $\varphi=0^\circ$ の時のみ直線特性を示して居り, p 円は $\varphi=0^\circ$ 直線が横軸と交る点にて相切し, 各円弧の中心は, SS 線上を移動する。 c 相の継電器に就いても同様で, b 相の縦軸に対する対称的な図となる。



第2-15図 a相接地を眺めるb相接地距離
継電器, $n=1$ 一定, φ 変化の場合

第三章 故障点抵抗による故障時電力の楕円特性

I. 故障時正相分電力及び定常時電力

任意電力網の任意地点に於いて、一線接地、二線短絡、或いは二線地絡等の非対称故障が発生した場合、故障点にアーク抵抗、塔脚抵抗等を主とする故障点抵抗が挿入される場合が普通と見做されているが、此の場合¹⁾回路の各隣接端子間を等価π回路で表わし、之を用いた各対称分アドミッタンスマトリックスに依り、此の故障時の各端子及び故障点の各対称分電圧、電流を求めれば、各発電端の内部誘起電圧が一定と見做される時間内の取扱いに於いては、一般に(3-1)の如く表わし得る。今之を正相分に就いて示せば、任意*f*端子に於いては

$$\left. \begin{aligned} E_f &= (1/A) \{ (a_{rf}^1 + j a_{if}^1) + R_f (b_{rf}^1 + j b_{if}^1) \} \\ I_f &= (1/A) \{ (c_{rf}^1 + j c_{if}^1) + R_f (d_{rf}^1 + j d_{if}^1) \} \\ A &= (e_r + j e_i) + R_f (g_r + j g_i) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-1)$$

(3-1) より *f* 端子の正相分電力を求めれば (3-2)、(3-3) となる。

$$P_f + jQ_f = \bar{E}_f I_f = \frac{A_{0f}^1 + A_{1f}^1 R_f + A_{2f}^1 (R_f)^2}{C_0 + C_1 R_f + C_2 (R_f)^2} \dots\dots\dots (3-2)$$

$$\left. \begin{aligned} A_{0f}^1 &= (a_{rf}^1 c_{rf}^1 + a_{if}^1 c_{if}^1) + j (a_{rf}^1 c_{if}^1 - a_{if}^1 c_{rf}^1) \\ A_{1f}^1 &= (a_{rf}^1 d_{rf}^1 + a_{if}^1 d_{if}^1 + b_{rf}^1 c_{rf}^1 + b_{if}^1 c_{if}^1) \\ &\quad + j (a_{rf}^1 d_{if}^1 - a_{if}^1 d_{rf}^1 + b_{rf}^1 c_{if}^1 - b_{if}^1 c_{rf}^1) \\ A_{2f}^1 &= (b_{rf}^1 d_{rf}^1 + b_{if}^1 d_{if}^1) + j (b_{rf}^1 d_{if}^1 - b_{if}^1 d_{rf}^1) \\ C_0 &= e_r^2 + e_i^2 \\ C_1 &= 2(e_r g_r + e_i g_i) \\ C_2 &= g_r^2 + g_i^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-3)$$

(3-2) に於いて、*R_f* は実変数であり、*A_{0f}¹*、*A_{1f}¹* 及び *A_{2f}¹* は一定複素数、*C₀*、*C₁* 及び *C₂* は一定実数となる故 (3-2) は一般に二次曲線を示し、分母を *R_f* を変数として (3-4) の如く零と置いた二次方程式の根が、

$$C_2 (R_f)^2 + C_1 R_f + C_0 = 0 \dots\dots\dots (3-4)$$

- (a) 相異なる実根の場合は双曲線
- (b) 等根の場合は抛物線
- (c) 相異なる複素根の場合は楕円

を示すものである。電力系統に於いては、之が(c)の楕円となる場合が普通であつて、系統定数が特に(a)又は(b)の条件を満足する構成の場合は稀であると思われる。又(3-2)の特別な場合として、各係数の条件によつては円又は直線となる時が存在する事も又明らかである。之等双曲線、抛物線、直線及び円の表示は単に数式上の取扱いである省省略し、以下楕円の場合に就いて計算をすすめるものとする。

(3-2) に於いて今、焦点から電力座標の原点迄の位置のベクトルを F_f^1 とすれば (3-5) で表示し得るが、(3-5) の右端の項は焦点を原点とする二次曲線の方程式を示している。

$$P_f^1 + jQ_f^1 = \frac{A_{0f}^1 + A_{1f}^1 R_f + A_{2f}^1 (R_f)^2}{C_0 + C_1 R_f + C_2 (R_f)^2} = F_f^1 + \frac{(A_{0nf}^1 + A_{1nf}^1 R_f)^2}{C_0 + C_1 R_f + C_2 (R_f)^2} \dots\dots\dots (3-5)$$

(3-5) より

$$A_{0f}^1 + A_{1f}^1 R_f + A_{2f}^1 (R_f)^2 = F \{ C_0 + C_1 R_f + C_2 (R_f)^2 \} + (A_{0nf}^1 + A_{1nf}^1 R_f)^2 \dots\dots\dots (3-6)$$

(3-6) の各 R_f の同一乗幂の係数を比較等置して、方程式を解けば、焦点のベクトル値及び A_{0nf}^1 及び A_{1nf}^1 が (3-7)、(3-8) に示す如く計算出来る。

$$F_1^1, F_2^1 = \frac{-(2A_{0f}^1 C_2 - A_{1f}^1 C_1 + 2A_{2f}^1 C_0) \pm 2\sqrt{(A_{2f}^1 C_0 - A_{0f}^1 C_2)^2 + (A_{1f}^1)^2 C_0 C_2 + A_{2f}^1 A_{1f}^1 (C_1)^2 - A_{0f}^1 A_{1f}^1 C_1 C_2 - A_{1f}^1 A_{2f}^1 C_0 C_2}}{(C_1)^2 - 4C_0 C_2} \dots\dots (3-7)$$

$$\left. \begin{aligned} A_{0nf}^1 &= \sqrt{A_{0f}^0 - F \cdot C_0} \\ A_{1nf}^1 &= \sqrt{A_{2f}^0 - F \cdot C_2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-8)$$

又一般の焦点を極とする楕円の方程式 (3-9) に於いて、今 (3-10) を仮定すれば、(3-5) の右端の式の係数は (3-11) の如くして計算し得る。

$$\left. \begin{aligned} Z &= a \cos \phi + jae + jb \sin \phi \\ e &= \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} = \text{離心率} \\ 2a &= \text{長径}, \quad 2b = \text{短径} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-9)$$

$$\left. \begin{aligned} \tan \frac{\phi}{2} &= \frac{a_0 + a_1 R_f}{b_0 + b_1 R_f} \\ a_0, a_1, b_0, b_1 &\text{は実定数} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-10)$$

$$\left. \begin{aligned} A_{0nf}^1 &= \frac{bb_0 + jaa_0(\mp e + 1)}{\sqrt{a(\mp e + 1)}} \\ A_{1nf}^1 &= \frac{bb_1 + jaa_1(\mp e + 1)}{\sqrt{a(\mp e + 1)}} \\ C_0 &= b_0^2 + a_0^2 \\ C_1 &= 2(b_0 b_1 + a_0 a_1) \\ C_2 &= b_1^2 + a_1^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-10)$$

次に任意端子に於いての系統故障計算結果に於いて、(3-2) 式中の A_{2f}^1 の項を欠く場合が多く存在するが、此の時も矢張り楕円特性を示す事に変わり無く、焦点の位置は (3-7) 中の A_{2f}^1 を零と置いたものに等しく (3-12) となる。

$$F_1^1, F_2^1 = \frac{-(A_{0f}^1 C_2 - A_{1f}^1 C_1) \pm 2\sqrt{(A_{1f}^1 C_1 - 2A_{0f}^1 C_2)^2 - \{(C_1)^2 - 4C_0 C_2\} (A_{1f}^1)^2}}{(C_1)^2 - 4C_0 C_2} \dots\dots (3-12)$$

扱て次に (3-2) に於いて $R_f = \infty$ と置けば、故障回復後に非故障状態を示し、その3倍の値として

$$3(P_f^1 + jQ_f^1) = 3 \frac{A_{1f}^1}{C_2} \dots\dots\dots (3-13)$$

は定常時に於けるその f 端子の電力を示すものである事は明らかであり、同様に又金属的故障の場合には (3-2) にて $R_f=0$ と置けばよく、(3-14) 式となるが、之は完全故障時の端子の正相分電力を示している。

$$P_f^1 + jQ_f^1 = \frac{A_0^1}{C_0} \dots\dots\dots (3-14)$$

II. 故障時平均電力及び各相電力

正相分電力の故障時及び定常時の計算法と全く同様にして、電力網に於ける故障時の任意端子に於ける逆相分電力及び零相分電力も求め得る事は勿論である。即ち (3-1), (3-2) 及び (3-3) を参照すれば (3-15) 及び (3-16) が得られる。

$$\left. \begin{aligned} E_f^2 &= (1/\Delta) \{(a_{rf}^2 + ja_{if}^2) + R_f(b_{rf}^2 + jb_{if}^2)\} \\ I_f^2 &= (1/\Delta) \{(c_{rf}^2 + jc_{if}^2) + R_f(d_{rf}^2 + jd_{if}^2)\} \\ E_f^0 &= (1/\Delta) \{(a_{rf}^0 + ja_{if}^0) + R_f(b_{rf}^0 + jb_{if}^0)\} \\ I_f^0 &= (1/\Delta) \{(c_{rf}^0 + jc_{if}^0) + R_f(d_{rf}^0 + jd_{if}^0)\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-15)$$

$$\left. \begin{aligned} P_f^2 + jQ_f^2 &= \bar{E}_f^2 \bar{I}_f^2 = \frac{A_{0f}^2 + A_{1f}^2 R_f + A_{2f}^2 (R_f)^2}{C_0 + C_1 R_f + C_2 (R_f)^2} \\ P_f^0 + jQ_f^0 &= \bar{E}_f^0 \bar{I}_f^0 = \frac{A_{0f}^0 + A_{1f}^0 R_f + A_{2f}^0 (R_f)^2}{C_0 + C_1 R_f + C_2 (R_f)^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-16)$$

故に (3-1), (3-2), (3-15) 及び (3-16) より f 端子の平均電力は

$$P_f + jQ_f = 3 \{ \bar{E}_f^1 \bar{I}_f^1 + \bar{E}_f^2 \bar{I}_f^2 + \bar{E}_f^0 \bar{I}_f^0 \} \dots\dots\dots (3-17)$$

(3-17) で計算し得るので結局 (3-18) となる。

$$\left. \begin{aligned} P_f + jQ_f &= 3 \times \frac{A_{0f} + A_{1f} R_f + A_{2f} (R_f)^2}{C_0 + C_1 R_f + C_2 (R_f)^2} \\ A_{0f} &= A_{0f}^1 + A_{0f}^2 + A_{0f}^0 \\ A_{1f} &= A_{1f}^1 + A_{1f}^2 + A_{1f}^0 \\ A_{2f} &= A_{2f}^1 + A_{2f}^2 + A_{2f}^0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-18)$$

又各相電力は対称座標法により (3-19) より求め

$$\left. \begin{aligned} P_f^a + jQ_f^a &= \bar{E}_f^a \bar{I}_f^a \\ P_f^b + jQ_f^b &= \bar{E}_f^b \bar{I}_f^b \\ P_f^c + jQ_f^c &= \bar{E}_f^c \bar{I}_f^c \\ \dot{E}_f^a &= \dot{E}_f^1 + \dot{E}_f^2 + \dot{E}_f^0 & \dot{I}_f^a &= \dot{I}_f^1 + \dot{I}_f^2 + \dot{I}_f^0 \\ \dot{E}_f^b &= a^2 \dot{E}_f^1 + a \dot{E}_f^2 + \dot{E}_f^0 & \dot{I}_f^b &= a^2 \dot{I}_f^1 + a \dot{I}_f^2 + \dot{I}_f^0 \\ \dot{E}_f^c &= a \dot{E}_f^1 + a^2 \dot{E}_f^2 + \dot{E}_f^0 & \dot{I}_f^c &= a \dot{I}_f^1 + a^2 \dot{I}_f^2 + \dot{I}_f^0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-19)$$

られ、その形は a 相に於いては (3-20) となる。

$$P_f^a + jQ_f^a = \frac{A_0^a + A_1^a R_f + A_2^a (R_f)^2}{C_0 + C_1 R_f + C_2 (R_f)^2} \dots\dots\dots (3-20)$$

b, c 相電力も同様にして (3-19) より計算し得る。一般に発電端内部誘起電圧点では、逆相分及び零相分の誘起電圧は零と見做されるので、正相分電力のみとなる。

故障時には、 $R_f=0$ より $R_f=\infty$ までの値をとり楕円軌跡となるが、 $R_f=0$ は金属故障時の出力を示し、 $R_f=\infty$ は健全時の電力を示している。平均電力についても同様である。

故障点に於いては、対称相分電圧又は電流値中にて $(R_f)^2$ の項を分母の Δ 内に有り、分子に之を欠く場合が多く、此の場合には、 $R_f=\infty$ の状態即ち健全状態では勿論端子故障電力は零となる。継電器設置点に於いても同様にて定常時は正相分通過電力を測定する。即ち一般には回路網に設置されている電力方向継電器等では、各相電力が故障点抵抗値の変化により各々楕円特性を示すために、故障時に3相の合成トルクはその大小及び方向が故障状況、回路状況によつては異なるものが生ずる。

III. 計 算 例

(a) 二線短絡

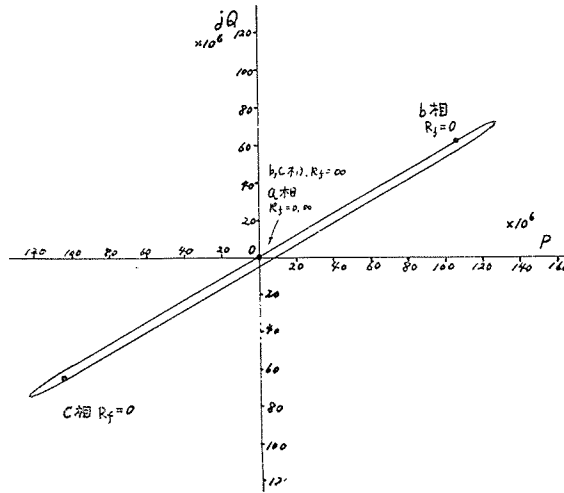
第1-5図に示す三機系に於いて、端子2を継電器設置点、端子4は故障点とし、今 *bc* 相短絡を仮定すれば、故障点抵抗 R_f を含む場合に於いては、各端子の電圧、電流値は (1-13), (1-15) 及び (1-10) より計算可能であつて、(3-21) に示す内部誘起電圧一定の範囲内に於いては (3-22) の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} E_0^1 &= (123.1 + j72.45) \times 10^3 \quad (\text{V}) \\ E_0^2 &= (120.6 + j16.28) \times 10^3 \quad (\text{V}) \\ E_0^3 &= (144.6 + j57.56) \times 10^3 \quad (\text{V}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-21)$$

$$\left. \begin{aligned} I_4^1 &= -I_4^2 = (1/\Delta) (-7.25 - j52.24) \times 10^{-3} \\ E_4^1 &= (1/\Delta) \{1998 - j1599 - R_f(7.25 + j52.24)\} \times 10^{-3} \\ E_4^2 &= (1/\Delta) (1998 - j1599) \times 10^{-3} \\ I_2^1 &= (1/\Delta) \{(12.18 - j31.02) - R_f(0.01182 + j0.2799)\} \times 10^{-3} \\ I_2^2 &= (1/\Delta) (10.80 + j16.13) \times 10^{-3} \\ E_2^1 &= (1/\Delta) \{(3.593 - j1.551) + R_f(0.00403 - j0.05672)\} \\ E_2^2 &= (1/\Delta) (1.308 - j0.8982) \\ I_1^1 &= (1/\Delta) \{(12.21 - j30.94) - R_f(0.01132 + j0.2772)\} \times 10^{-3} \\ I_1^2 &= (1/\Delta) (10.3 + j16.13) \times 10^{-3} \\ I_3^1 &= -(1/\Delta) \{(0.5966 + j15.04) + R_f(0.00947 + j0.07193)\} \times 10^{-3} \\ I_3^2 &= (1/\Delta) (6.126 + j10.66) \times 10^{-3} \\ I_5^1 &= (1/\Delta) \{3.061 - j24.56 - R_f(0.0669 + j0.1656)\} \times 10^{-3} \\ I_5^2 &= (1/\Delta) (7.425 + j10.7) \times 10^{-3} \\ \Delta &= \{(35.15 - j25.74) - R_f(0.0431 + j0.4464)\} \times 10^{-6} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-22)$$

之より各端子の電力及び2端子の通過電力が計算出来る。例へば故障点4端子に於ては、各相電力の計算結果は(3-23)であり、*b*相電力を図示すれば第3-1図の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} P_a + jQ_a &= 0 \\ P_b + jQ_b &= \frac{(200.9 + j119.6) + (4.173 + j2.407)R_f}{1896 + 19.92R_f + 0.2006(R_f)^2} \times 10^9 \\ P_c + jQ_c &= \frac{-(200.9 - j119.6) + (4.173 - j2.407)R_f}{1896 + 19.92R_f + 0.2006(R_f)^2} \times 10^9 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-23)$$



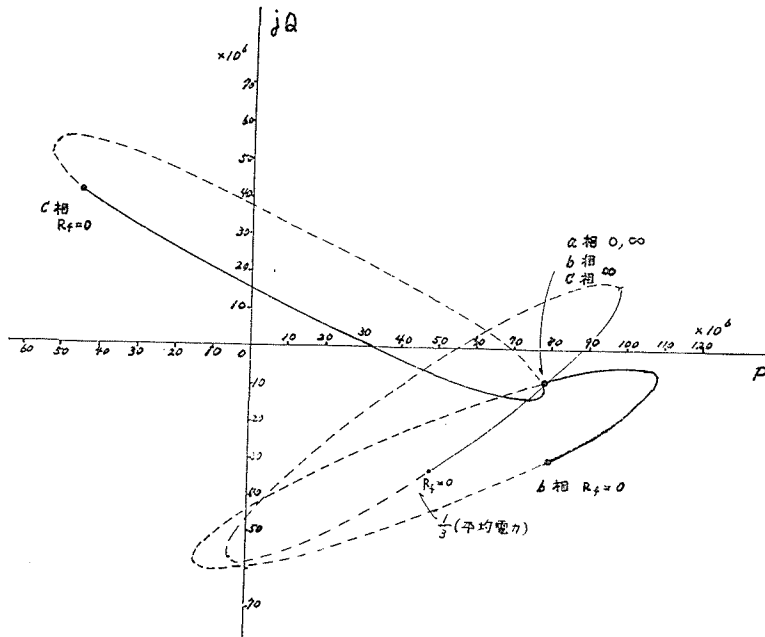
第3-1図 *bc*相短絡時故障端子 *a*, *b*相電力

図上 $R_f=0$ は完全短絡時の故障点電力を示し、 $R_f=\infty$ は故障回復後の端子電力を示すものである故に、各相分の電力は此の場合はすべて零に一致し、 R_f 変化に依り一般には此の楕円軌跡上の一部分を移動するものである事が判明する。

次に電力方向継電器設置点である2端子の故障時通過電力を見れば、計算式は(3-24)となり、図示すれば第3-2図の如く示される。

$$\left. \begin{aligned} P_2 + jQ_2 &= \frac{(2724.6 - j186.2) + (6.549 - j1.368)R_f + (0.04674 - j0.005352)(R_f)^2}{1896 + 19.92R_f + 0.2006(R_f)^2} \times 10^9 \\ P_2^a + jQ_2^a &= \frac{(146.6 - j17.93) + (1.55 - j0.186)R_f + (0.01558 - j0.0001775)(R_f)^2}{1896 + 19.92R_f + 0.2006(R_f)^2} \times 10^9 \\ P_2^b + jQ_2^b &= \frac{(152.5 - j56.79) + (3.38 + j0.361)R_f + (0.01558 - j0.0001774)(R_f)^2}{1896 + 19.92R_f + 0.2006(R_f)^2} \times 10^9 \\ P_2^c + jQ_2^c &= \frac{-(84.87 - j77.63) + (0.7908 - j0.0347)R_f + (0.01558 - j0.0001774)(R_f)^2}{1896 + 19.92R_f + 0.2006(R_f)^2} \times 10^9 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-24)$$

此處で $R_f=\infty$ 点は定常通過電力にして、正相分電力に等しい。 R_f の値によつては、各相の電力の大き及び方向が相変り、この合成は一般に同一地点、同一故障を仮定しても、 R_f の



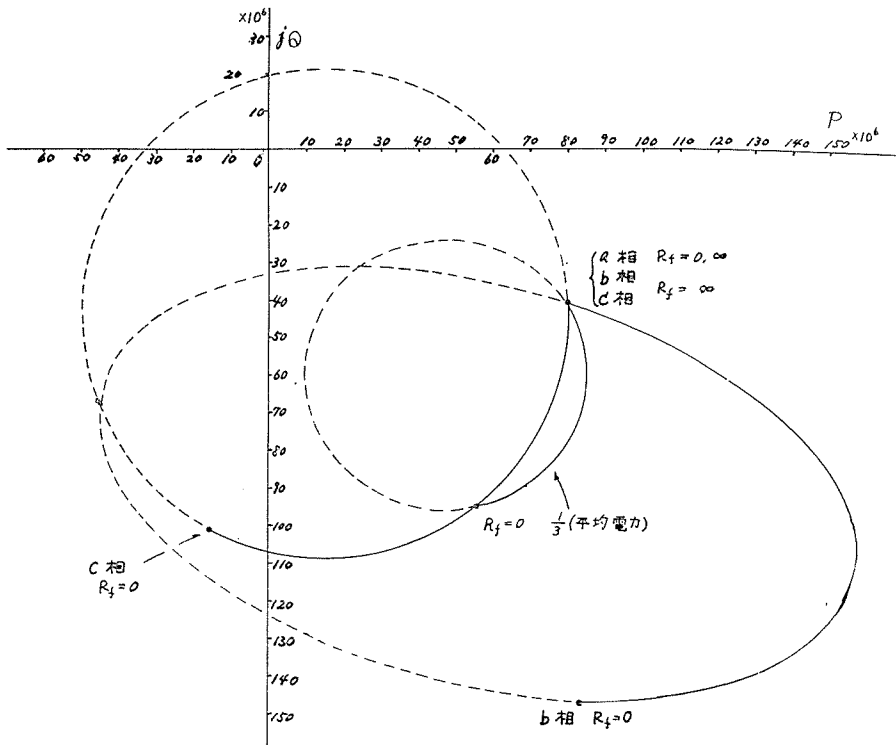
第 3—2 図 bc 相短絡時継電器点電力

値によつて異なるため、電力方向継電器の合成トルクに影響し、その整定の最小値に対しては注意を払う必要が生ずる。

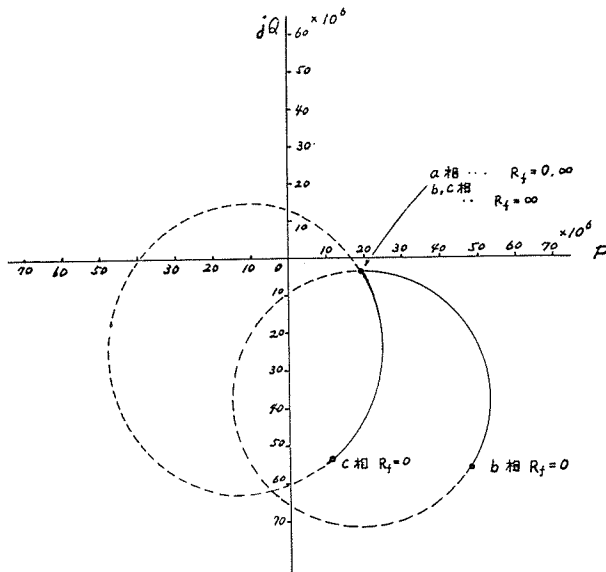
各内部誘起電圧点に於ける電力は、逆相分誘起電圧は零であるが、各相電流値は不平衡である故、各相電力は異なる事となる。計算結果は 1, 3 及び 5 の端子に就いて夫々 (3-25), (3-26) 及び (3-27) となり、之等を図示すれば第 3-3 図、第 3-4 図 及び 第 3-5 図が之である。

$$\left. \begin{aligned}
 P_1 + jQ_1 &= \frac{(284.9 - j552.0) + (6.678 - j5.553)R_f + (0.04731 - j0.02441)(R_f)^2}{1896 + 19.92R_f + 0.2006(R_f)^2} \times 10^9 \\
 P_1^a + jQ_1^a &= \frac{(148.7 - j77.66) + (1.569 - j0.819)R_f + (0.01577 - j0.008135)(R_f)^2}{1896 + 19.92R_f + 0.2006(R_f)^2} \times 10^9 \\
 P_1^b + jQ_1^b &= \frac{(160.1 - j283.7) + (3.448 - j1.798)R_f + (0.01577 - j0.008135)(R_f)^2}{1896 + 19.92R_f + 0.2006(R_f)^2} \times 10^9 \\
 P_1^c + jQ_1^c &= \frac{-(24.05 + j190.6) + (1.661 - j2.937)R_f + (0.01577 - j0.008135)(R_f)^2}{1896 + 19.92R_f + 0.2006(R_f)^2} \times 10^9
 \end{aligned} \right\} \dots (3-25)$$

$$\left. \begin{aligned}
 P_3 + jQ_3 &= \frac{(36.86 - j6.38) + (0.3384 - j0.0647)R_f + (0.003902 - j0.000666)(R_f)^2}{1896 + 19.92R_f + 0.2006(R_f)^2} \times 10^9 \\
 P_3^a + jQ_3^a &= \frac{(91.13 - j105.5) + (1.55 - j0.1079)R_f + (0.003902 - j0.000666)(R_f)^2}{1896 + 19.92R_f + 0.2006(R_f)^2} \times 10^9 \\
 P_3^b + jQ_3^b &= \frac{-(21.9 + j102.9) + (0.9335 - j1.095)R_f + (0.003902 - j0.000666)(R_f)^2}{1896 + 19.92R_f + 0.2006(R_f)^2} \times 10^9
 \end{aligned} \right\} \dots (3-26)$$

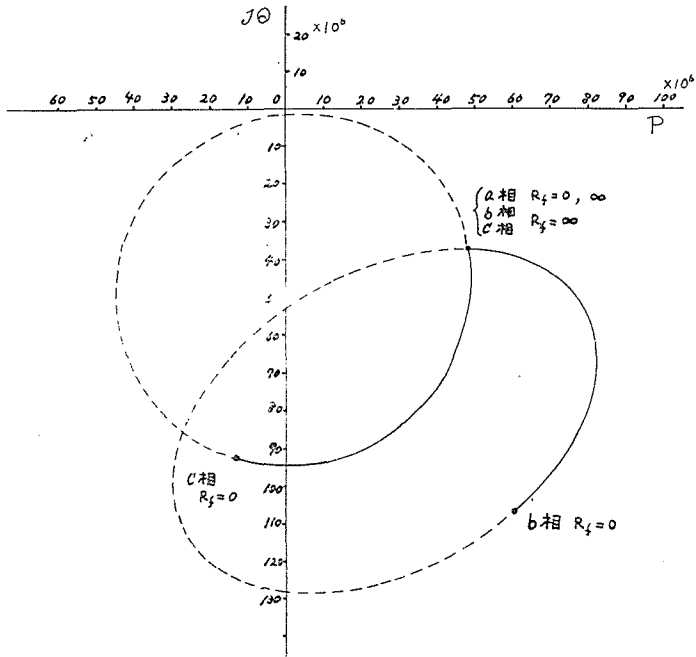


第3-3図 bc相短絡時1端子電力



第3-4図 bc相短絡時3端子電力

$$\left. \begin{aligned}
 P_s^a + jQ_s^a &= \frac{(92.56 - j73.12) + (0.9763 - j0.765)R_f + (0.00981 - j0.007707)(R_f)^2}{1896 + 19.92R_f + 0.2006(R_f)^2} \times 10^9 \\
 P_s^b + jQ_s^b &= \frac{(118.3 - j22.4) + (2.764 - j1.33)R_f + (0.00981 - j0.007707)(R_f)^2}{1896 + 19.92R_f + 0.2006(R_f)^2} \times 10^9 \\
 P_s^c + jQ_s^c &= \frac{-(25.26 + j170.6) + (1.221 - j2.311)R_f + (0.00981 - j0.007707)(R_f)^2}{1896 + 19.92R_f + 0.2006(R_f)^2} \times 10^9
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-27)$$

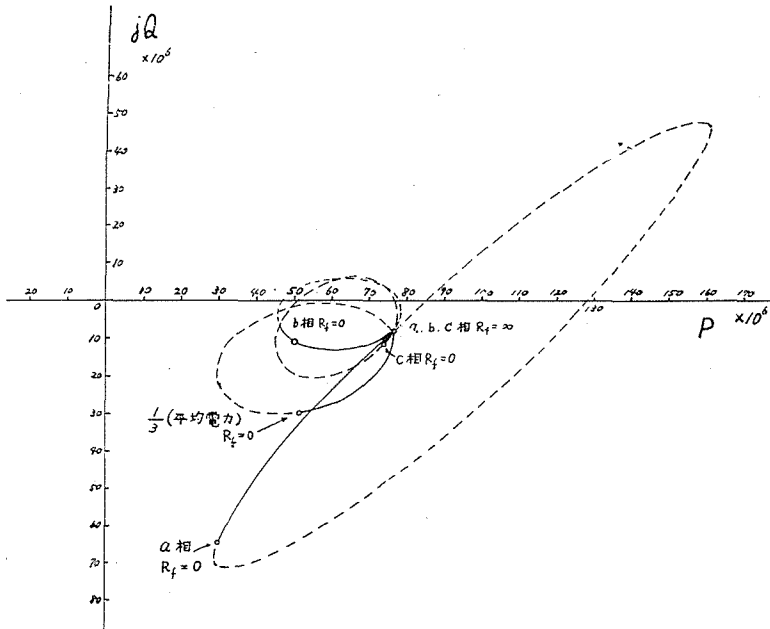


第3-5図 bc相短絡時5端子電力

(b) 一線接地

第1-5図の4端子に於いて、a相一線の地絡が発生したと仮定した場合も、前記と同様にして電力を求める事が出来るが、継電器設置点の通過電力のみに就いて例示すれば(1-9)、(1-10)及び(1-11)等より計算し得て、その結果(3-28)を得、之を図示すれば第3-6図となる。故障点、内部誘起電圧点等に就いても前記同様容易に求め得る事は明らかである。

$$\left. \begin{aligned}
 P_2^a + jQ_2^a &= \frac{(149.7 - j83.58) + (4.623 - j0.8894)R_f + (0.09306 - j0.01086)(R_f)^2}{937 + 15.42R_f + 0.4006(R_f)^2} \times 10^9 \\
 P_2^b + jQ_2^b &= \frac{(29.036 - j61.607) + (-1.480 - j2.583)R_f + (0.031 - j0.00364)(R_f)^2}{937 + 15.42R_f + 0.4006(R_f)^2} \times 10^9 \\
 P_2^c + jQ_2^c &= \frac{(50.421 - j10.441) + (0.5879 - j0.4479)R_f + (0.31 - j0.00364)(R_f)^2}{937 + 15.42R_f + 0.4006(R_f)^2} \times 10^9 \\
 P_2 + jQ_2 &= \frac{(70.26 - j9.490) + (1.620 + j0.105)R_f + (0.31 - j0.00364)(R_f)^2}{937 + 15.42R_f + 0.4006(R_f)^2} \times 10^9
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-28)$$



第3-6図 a相1線接地時，継電器点電力

又二線地絡に就いても，(1-16)，(1-18)等より計算し，前記同様に取扱い得る事は明瞭である。

結 言

三機系統に設置された距離継電器は，その故障時の測定距離が，第三の端子挿入に依つて実際より遠方に測定される事等良く知られているが，第一章に示した多機多端子系統の場合に就いての，各種非対称短絡，接地故障時の計算法は，之等の距離継電器の測定するインピーダンスの問題の解明に役立つのみでなく，一般に継電器整定に必要とする各地点端子の対称分電圧，電流を計算し得る事により，例えば，正逆及び零相分電流を目的に応じた比率を以て混合した単相電流 $I^1 + kI^2 + k'I^0$ を用いる位相比較搬送保護継電方式，比率差動パイロット継電方式等各種の場合に有用である。又実例を以て示した如く，故障点抵抗値によつて，継電器の測定するインピーダンスは円軌跡を以て移動する特性を有する故，動作時限の長い，例えば後備保護に用いた距離継電器等の場合には，之の影響を充分考慮する必要がある。アーク抵抗値は多くの実測例があるが，大略零オームより25乃至30オームと云われている。塔脚及び鉄塔の抵抗も場所によつて可成の相違が存在している。本章計算例では各場合とも，30オームの場合のインピーダンス測定値を図上に附記してある。又 $R_f = \infty$ とする事により，定常態の測定値が示されるので，各種故障時の測定との比較に本章計算法を利用すれば便利であると思われる。

又現在距離継電器の測定値誤差は，継電器の構造，回路の構成，測定要素の選択等によつて補償する多くの方法が行なわれているが，一般には故障発生前の系統負荷状態，系統構成等

によつて、その内部誘起電圧は相違しているので、同一地点、同一種類の故障もその測定インピーダンスは大幅に相違を来すものである。又同時に、故障発生位置が、保護すべき送電線区間内を移動する事に対し、他相故障を眺める距離継電器は、円の一部分を軌跡とする円弧特性を有している事を、第二章に於いて、簡単な二機系リアクタンス回路に就いて示してある。従つて前述した故障点インピーダンスの存在による距離継電器端子点測定値の円弧特性が、この故障点位置の変化に応じて示す円弧特性に重畳加算される為、測定誤差は更に大きくなる故、継電器の特性の選定、その接点の整定に於いては特に検討して、充分誤動作の無き様に予め計算して置く必要があると思われる。第二章に述べた此の計算法も、任意多端子系統に対して、故障点の移動を考える隣接二端子を挟んで系統を二機系に統合計算する方法によつて、同様に取扱う事が出来る。

第三章に於いては、多機系統に於いて故障抵抗を含む非対称な短絡、接地故障が発生せる場合の系統内に於ける故障端子、任意継電器端子、各内部誘起電圧端子等に於ける平均電力、各相電力、或いは各対称相分電力の故障点抵抗値変化による電力座標上の電力軌跡表示は、一般には二次曲線、普通は楕円の一部分を辿るものである事を示している。本計算法により、金属故障の場合を始めとし、各任意故障点抵抗値の状態及び故障排除後の定常状態の電力まで、連続的にその変化が示し得る故、電力方向継電器等の電力要素を利用する継電器の設置とその接点の整定に対しては勿論、電力網として見た場合の動作の予測等に資する事が出来る。内部誘起電圧に就いては、本文は一定として取扱つて来た故、系統動揺等の状態は計算に入っていないが、内部誘起電圧の変化を考慮に入れれば、此の為の楕円特性が、故障抵抗による楕円特性に更に重畳される事が判明している。又今故障点抵抗の代りに、可変リアクタンスの挿入された場合に就いても、第一章、第三章共類似の取扱い方が可能であり、インピーダンス挿入の場合には、抵抗分かリアクタンス分の一方を一定とすれば、前記と全く同様な事となる。又電力系統内にある任意受電端子、分岐端子、又は一定電圧維持端子に対しても同様である。しかし断線事故に対しては、円又は二次曲線表示は一般には出来ない。

終りに本研究に終始御指導、御鞭撻を賜つた小串孝治教授に深く感謝の意を表すると共に計算に助力して戴いた小野誠治、宮田忠義両助手に対し厚く御礼申上げる。

参 考 文 献

- 1) 小串・宮田： 電気 3 学会連合大会予稿，昭和 29 年 5 月，335.
- 2) 小池： 北大工学部研究報告，第 15 号，昭和 31 年 12 月.
- 3) A. R. Warrington： T.A.I.E.E. Vol. 68, p. 608 (1949).
- 4) 小串・三浦： 北大工学部紀要，Vol. 10, No. 1 (1955).