



Title	多機系統不平衡故障時に於ける各対称相分電力に就て
Author(s)	小池, 東一郎; Koike, Tōichirō
Citation	北海道大學工學部研究報告, 17, 203-261
Issue Date	1957-12-20
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40614
Type	departmental bulletin paper
File Information	17_203-262.pdf



多機系統不平衡故障時に於ける 各対称相分電力に就て

小池 東 一 郎
(昭和 32 年 9 月 2 日 受理)

On the Values of each Phase Sequence Component Power during an Unbalanced Fault Condition in a Multi-Machine Power System

Tōichirō KOIKE

Abstract

Generally, the positive phase sequence power and phase angle equations for each generator are used for the purpose of studying power system stability. It is described in the first chapter of this paper how the method of calculating these power angle equations, under the condition of an unbalanced system fault, can be considerably simplified by using (1) the decreasing power output and phase angle relations during an unbalanced fault state, and (2) the normal state power angle equation. These two kinds of equations are easily obtained by introducing a coefficient a into the positive phase sequence voltage values at faulted terminal n . The coefficient a is an indicator to express the respective types of faults, and it may be pre-calculated readily by substituting the values of the positive, negative and zero phase sequence component driving point admittances at the faulted terminal n into the formulas given in the first chapter. The numerical examples of inducement of these above-mentioned equations are carried out under the state of each type of faults for practical three-machine power system.

Further, it is explained in the second chapter that the use of an equal area criterion for system stability is also possible by employing the decreasing power angle equations and pre-fault power angle equation. As the numerical example, this criterion is employed for one-line-to-ground fault and two-line-to-ground fault conditions, including three phase prompt opening of faulted circuit, for two-machine power system with a double circuit transmission line.

A method of calculating the negative phase sequence braking torques or powers in multi-machine power system is developed in the third chapter, and the effect of taking it into account in system stability calculations is also explained. For comparison, the power swing curves for each machine having no negative phase sequence resistances, which computations may be carried out from these power angle equations developed in chapter 1, and those for the machines with high-resistance damper windings are plotted in the same figures under the various types of faults.

In the next place, a method of computing the positive phase sequence damping torque or power which is produced by the damper winding of the generator in multi-machine power system is explained in the fourth chapter. The procedure of this is an extension from the calculating method for the basic system of one machine connected to an infinite bus given by O.G.C. Dahl and R.H. Park by the aid of so-called Ho-Thévenin's theorem.

The characteristic of the assembled elliptical locus of each phase sequence component power at each terminal due to the variation of fault point resistance R_f is proved in the last chapter. Moreover, it is explained in this chapter that the positive sequence powers which flow from one terminal to the other terminal can be generally shown as an assembled elliptical locus according to the variation of phase angle differences of each internal voltage, under the assumption of constant R_f . But, on the other hand, it is also shown that the locus of each three phase sequence component powers at faulted terminal, and also the negative and zero phase sequence component powers flowing on the transmission lines have the character of an assembly of sinusoidal function under the conditions of constant R_f and variable phase angle differences.

These characters are also verified by numerical examples under the condition of applying the two-line-to-ground fault on the three-machine power system.

目 次

緒 言	3
第 一 章 故障計算及び電力位相角方程式	3
I 多機系に於ける不平衡短絡, 地絡故障計算	4
II 故障前電力方程式	7
III 故障時各発電端子に作用する減少分出力電力	8
IV 係数 α の決定	8
V 単相断線の一般解	10
VI 単相断線時の電力位相角方程式	14
VII 不平衡短絡, 地絡故障計算例	15
VIII 単相断線計算例	19
第 二 章 減少分出力式を用いた等面積法	22
I 並行 2 回線の故障計算及び故障回線遮断	22
II 等面積法	25
第 三 章 逆相分制動電力	26
I 多機系に於ける逆相分制動電力計算法	26
II 高抵抗制動巻線を有する発電機群に於ける逆相分制動電力の計算例	30
III 逆相分制動の系統電力動揺に及ぼす影響	32
第 四 章 正相分制動電力	35
I 多機系に於ける正相分制動電力計算法	35
II 3 機系に於ける計算例	38
第 五 章 不平衡故障時系統を流れる各対称相分電力	40
I 故障端子電圧電流計算	40
II 内部誘起電圧点電力の故障抵抗 R_f 変化に依る楕円特性	43

III	故障端子に於ける各対称相分電力	45
IV	故障端子に於ける各相電力	48
V	一端子より隣接他端子に送電される各対称相分電力	49
VI	各対称相分電力の計算例	53
結	言	58
謝	辞	59

緒 言

一般多機多端子電力系統に於いて、系統任意点に不平衡故障の発生した場合、他の任意端子に於ける電圧電流及び電力値は、系統保護継電器及び継電方式の選定及び整定に対しては重要な基礎資料であり、又各発電端子正相分電力出力と各内部誘起電圧位相角との関係を示す出力方程式は、系統安定度計算に欠く事の出来ないものである事は周知の通りである。しかも其の計算は、端子数の増加するに伴なつて加速度的に複雑となるのであるが、本論文に於いては、今系統の単なる分岐点、負荷点又は変電所等は短絡マトリックスに依つて消去し、系統を全発電端子と故障点端子とのみによつて表示した場合には、その解析が極めて容易になる事を示している。次で又此の場合、故障点に於ける正相分逆相分及び零相分各電圧及び電流値を、各発電端内部誘起電圧と系統アドミッタンスで簡潔に表示する為の夫々に特有な係数を以て表示する時は、計算は更に著しく短縮され、その結果も又明確になる事を述べている。此の係数は故障種類に応じて予め計算して置く事が出来、夫々に対して例示してある。

更に前記計算法を用いる事により、安定度計算に用いられる故障時各発電端子出力方程式、故障発生により各発電端子に衝撃的に分布される減少分電力即ち加速電力式、故障前電力式等の多機多端子系に対する一般的誘導法が機械的且つ容易に行い得る事を示し、併せて計算例を述べてある。又別に発電機に制動巻線のある場合、安定度判定計算に対して影響を考慮すべき各機の逆相分制動電力方程式、又系統相差角動揺に振動抑制減衰効果を示す所の正相分ダンピング電力の計算法も、一般多機系に対して規則的に適用可能である事を示し、之等に対しても3機系に於ける動揺曲線計算を以て数値的に例示してある。

最後に電力及び電力方向継電器等の適用に際して考慮すべき系統故障時の各対称相分電力の計算法とその特性を求めている。即ちアークを主とする故障点抵抗値の変化は、電力座標上に一般的に楕円軌跡の一部として画かれる事を証明し、又実際の系統に於いて計器又は継電器測定要素として与へられる所の一端子より隣接他端子への流出入電力中正相分は、系統各発電端内部誘起電圧相差角の漸変に応じて、楕円軌跡を電力座標上に示す事を併せて述べ、実例によつて表示している。

第一章 故障計算及び電力位相角方程式

一般多機送電系統に於いて、地絡、短絡又は単相開放等の各種不平衡故障発生時に於ける

系統任意端子の電圧，電流及び電力値は，アドミッタンスマトリックスを用いて計算し得るが安定度計算の為の電力位相角方程式，故障発生により各発電端子に衝撃的に加えられる減少分電力の方程式等は，発生した故障の種類位置により夫々一定値を持つ所の，故障発生点に於ける正相分電圧値を示す為に用いる係数を予め計算する事により極めて簡略に知る事が出来る。

I. 多機系に於ける不平衡短絡，地絡故障計算

先づ系統を正，逆及び零相分アドミッタンスマトリックスで示し，次で負荷点，分岐点，変電所等の端子は短絡マトリックスに依つて消去すれば，各対称相分マトリックスは，発電端子群 1, 2, 3, ……(n-1), と，故障端子 n のみを含むものとなる。今系統に流入する電流を正符号と仮定すれば，正，逆及び零相分アドミッタンスマトリックスは次の如くなる。

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

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

但し零相分に対しては，今端子 1', 2', 3' ……(n-1)', を夫々中性点接地端子とし，また $y_{1'1'}^0, y_{2'2'}^0, \dots, y_{(n-1)'(n-1)'}^0$ を夫々の接地アドミッタンス値とすれば次の如くに示す事が出来る。

$$\begin{pmatrix} I_{1'}^0=0 \\ I_{2'}^0=0 \\ I_{3'}^0=0 \\ \vdots \\ I_{(n-1)'}^0=0 \\ -I_n^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{1'1'}^0 & -y_{1'2'}^0 & -y_{1'3'}^0 & \cdots & -y_{1'(n-1)'}^0 & -y_{1'n}^0 \\ -y_{2'1'}^0 & Y_{2'2'}^0 & -y_{2'3'}^0 & \cdots & -y_{2'(n-1)'}^0 & -y_{2'n}^0 \\ -y_{3'1'}^0 & -y_{3'2'}^0 & Y_{3'3'}^0 & \cdots & -y_{3'(n-1)'}^0 & -y_{3'n}^0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ -y_{(n-1)1'}^0 & -y_{(n-1)2'}^0 & -y_{(n-1)3'}^0 & \cdots & Y_{(n-1)'(n-1)'}^0 & -y_{(n-1)'n}^0 \\ -y_{n1'}^0 & -y_{n2'}^0 & -y_{n3'}^0 & \cdots & -y_{n(n-1)'}^0 & Y_{nn}^0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_{1'}^0 \\ E_{2'}^0 \\ E_{3'}^0 \\ \vdots \\ E_{(n-1)'}^0 \\ E_n^0 \end{pmatrix} \quad (1-3)$$

上記アドミッタンスマトリックスに於いて，次の関係が各要素に対して成立つ。

$$\left. \begin{aligned} y_{ik} &= y_{ki} \\ Y_{ii} &= \cdots + y_{i(i-2)} + y_{i(i-1)} + y_{ii} + y_{i(i+1)} + y_{i(i+2)} + \cdots \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

各対称相分故障端子電流は，(1-1)，(1-2)，及び(1-3)の各最下列の式として夫々次の如く

示し得る。

$$-\mathbf{I}_n^1 = \begin{bmatrix} -\mathbf{y}_{n1}^1 & -\mathbf{y}_{n2}^1 & -\mathbf{y}_{n3}^1 & \cdots & -\mathbf{y}_{n(n-1)}^1 & \mathbf{Y}_{nn}^1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{E}_1^1 \\ \mathbf{E}_2^1 \\ \mathbf{E}_3^1 \\ \vdots \\ \mathbf{E}_{(n-1)}^1 \\ \mathbf{E}_n^1 \end{pmatrix} \quad (1-5)$$

$$-\mathbf{I}_n^2 = \begin{bmatrix} -\mathbf{y}_{n1}^2 & -\mathbf{y}_{n2}^2 & -\mathbf{y}_{n3}^2 & \cdots & -\mathbf{y}_{n(n-1)}^2 & \mathbf{Y}_{nn}^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{E}_1^2=0 \\ \mathbf{E}_2^2=0 \\ \mathbf{E}_3^2=0 \\ \vdots \\ \mathbf{E}_{(n-1)}^2=0 \\ \mathbf{E}_n^2 \end{pmatrix} \quad (1-6)$$

$$-\mathbf{I}_n^0 = \begin{bmatrix} -\mathbf{y}_{n1}^0 & -\mathbf{y}_{n2}^0 & -\mathbf{y}_{n3}^0 & \cdots & -\mathbf{y}_{n(n-1)}^0 & \mathbf{Y}_{nn}^0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{E}_{1'}^0 \\ \mathbf{E}_{2'}^0 \\ \mathbf{E}_{3'}^0 \\ \vdots \\ \mathbf{E}_{(n-1)'}^0 \\ \mathbf{E}_n^0 \end{pmatrix} \quad (1-7)$$

(1-3) より

$$\begin{pmatrix} \mathbf{y}_{1'n}^0 & \mathbf{E}_n^0 \\ \mathbf{y}_{2'n}^0 & \mathbf{E}_n^0 \\ \mathbf{y}_{3'n}^0 & \mathbf{E}_n^0 \\ \vdots & \vdots \\ \mathbf{y}_{(n-1)'n}^0 & \mathbf{E}_n^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{Y}_{1'1'}^0 & \mathbf{y}_{1'2'}^0 & -\mathbf{y}_{1'3'}^0 & \cdots & -\mathbf{y}_{1'(n-1)'}^0 \\ -\mathbf{y}_{2'1'}^0 & \mathbf{Y}_{2'2'}^0 & -\mathbf{y}_{2'3'}^0 & \cdots & -\mathbf{y}_{2'(n-1)'}^0 \\ -\mathbf{y}_{3'1'}^0 & -\mathbf{y}_{3'2'}^0 & \mathbf{Y}_{3'3'}^0 & \cdots & -\mathbf{y}_{3'(n-1)'}^0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\mathbf{y}_{(n-1)'1'}^0 & -\mathbf{y}_{(n-1)'2'}^0 & -\mathbf{y}_{(n-1)'3'}^0 & \cdots & \mathbf{Y}_{(n-1)'(n-1)'}^0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{E}_{1'}^0 \\ \mathbf{E}_{2'}^0 \\ \mathbf{E}_{3'}^0 \\ \vdots \\ \mathbf{E}_{(n-1)'}^0 \end{pmatrix} \quad (1-8)$$

(1-5) より

$$-\mathbf{I}_n^1 = (-\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{E}_1^1 - \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1 - \mathbf{y}_{n3}^1 \mathbf{E}_3^1 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1) + \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{E}_n^1 \quad (1-9)$$

(1-6) より

$$-\mathbf{I}_n^2 = \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{E}_n^2 \quad (1-10)$$

零相分端子電圧 $\mathbf{E}_{1'}^0, \mathbf{E}_{2'}^0, \mathbf{E}_{3'}^0, \cdots, \mathbf{E}_{(n-1)'}^0$ は (1-8) を連立方程式として解く事によつて得られるが、その結果を (1-7) に代入して整理すれば次式を得る。

$$-\mathbf{I}_n^0 = \mathbf{Y}_{nn}^{0c} \mathbf{E}_n^0 \quad (1-11)$$

此処で $\mathbf{Y}_{nn}^2, \mathbf{Y}_{nn}^{0c}$ は夫々故障端子より眺めた系統の逆相及び零相分短絡駆動点アドミッタンスであつて、若し中性点がすべて直接接地であれば、 $\mathbf{y}_{1'1'}^0, \mathbf{y}_{2'2'}^0, \cdots, \mathbf{y}_{(n-1)'(n-1)'}^0$ の値を無限大に置けばよい。

故障端子 n に於いて成立つ各種短絡接地故障の条件式は、 Z_f をアークを主とする故障インピーダンスとすれば次記の如くであり、図示すれば Fig. (1-1) (A), (B) 及び (C) の如くである。

(a) b, c 相 2 線地絡

$$\left. \begin{aligned} I_n^2 &= -(I_n^1 + I_n^0), & E_n^2 &= E_n^1 \\ E_n^0 &= E_n^1 + 3Z_f I_n^0 \end{aligned} \right\} \quad (1-12)$$

(b) b, c 相 2 線短絡

$$\left. \begin{aligned} I_n^0 &= 0, & I_n^2 &= -I_n^1 \\ I_n^2 &= E_n^1 - Z_f I_n^1 \end{aligned} \right\} \quad (1-13)$$

(c) a 相 1 線地絡

$$\left. \begin{aligned} I_n^0 &= I_n^1 = I_n^2 \\ E_n^0 &= -(E_n^1 + E_n^2 - 3Z_f I_n^1) \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

故障時 n 端子の各対称相分電圧、電流は上記故障条件式を (1-9), (1-10) 及び (1-11) に代入して得られ、その結果より任意端子の各対称相分値は、(1-1), (1-2), (1-3) 及び (1-8) を用いて計算し得る。

しかし系統安定度に必要とする各発電端子正相分電流値を知るには、各発電機内部誘起電圧 $E_1^1, E_2^1, E_3^1, \dots, E_{(n-1)}^1$ は既知とする故、 n 端子正相分電圧値 E_n^1 を求める事により極めて計算が簡略されるが、 E_n^1 は (1-15) の如く置き得るので、結局各故障種類に応じて式中の係数“ α ”を決定すればよい事となる。

$$E_n^1 = \alpha (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - y_{n3}^1 E_3^1 - \dots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) \quad (1-15)$$

かくて (1-1) 及び (1-15) より、各発電端子に於ける正相分電圧及び電流の関係式は下記の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} I_1^1 &= Y_{11}^1 E_1^1 - y_{12}^1 E_2^1 - y_{13}^1 E_3^1 - \dots - y_{1(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1 \\ &\quad - y_{1n}^1 \alpha (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - \dots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) \\ I_2^1 &= -y_{21}^1 E_1^1 + Y_{22}^1 E_2^1 - y_{23}^1 E_3^1 - \dots - y_{2(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1 \\ &\quad - y_{2n}^1 \alpha (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - \dots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) \\ &\quad \dots \dots \dots \\ &\quad \dots \dots \dots \\ I_{(n-1)}^1 &= -y_{(n-1)1}^1 E_1^1 - y_{(n-1)2}^1 E_2^1 - y_{(n-1)3}^1 E_3^1 - \dots + Y_{(n-1)(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1 \\ &\quad - y_{(n-1)n}^1 \alpha (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - \dots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) \end{aligned} \right\} \quad (1-16)$$

かくて、各故障時並びに故障前の各発電端子電力表示は次式の如く書き得る。即ち添字 K を以て共軛値を示せば、

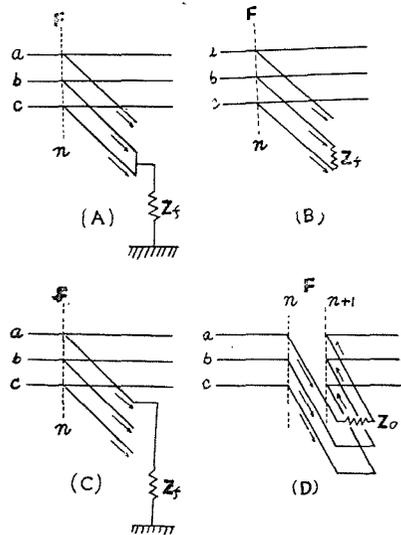


Fig. (1-1). Currents flowing into impedance faults.
 (A) Two-line-to-ground fault.
 (B) Line-to-line short circuit fault.
 (C) One-line-to-ground fault.
 (D) Open conductor considered as an unsymmetrical series circuit.

$$\left. \begin{aligned}
 (P_1 + jQ_1)_f &= \mathbf{E}_{1K}^1 \mathbf{I}_1^1 = \mathbf{Y}_{11}^1 |\mathbf{E}_1^1|^2 - \mathbf{y}_{12}^1 \mathbf{E}_2^1 \mathbf{E}_{1K}^1 - \mathbf{y}_{13}^1 \mathbf{E}_3^1 \mathbf{E}_{1K}^1 - \cdots - \mathbf{y}_{1(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1 \mathbf{E}_{1K}^1 \\
 &\quad - \mathbf{y}_{1n}^1 \alpha (-\mathbf{y}_{n1}^1 |\mathbf{E}_1^1|^2 - \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1 \mathbf{E}_{1K}^1 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1 \mathbf{E}_{1K}^1) \\
 (P_2 + jQ_2)_f &= \mathbf{E}_{2K}^1 \mathbf{I}_2^1 = -\mathbf{y}_{21}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_{2K}^1 + \mathbf{Y}_{22}^1 |\mathbf{E}_2^1|^2 \\
 &\quad - \mathbf{y}_{23}^1 \mathbf{E}_3^1 \mathbf{E}_{2K}^1 - \cdots - \mathbf{y}_{2(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1 \mathbf{E}_{2K}^1 \\
 &\quad - \mathbf{y}_{2n}^1 \alpha (-\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_{2K}^1 - \mathbf{y}_{n2}^1 |\mathbf{E}_2^1|^2 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1 \mathbf{E}_{2K}^1) \\
 &\quad \cdots \cdots \cdots \\
 &\quad \cdots \cdots \cdots \\
 (P_{(n-1)} + jQ_{(n-1)})_f &= \mathbf{E}_{(n-1)K}^1 \mathbf{I}_{(n-1)}^1 = -\mathbf{y}_{(n-1)1}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_{(n-1)K}^1 \\
 &\quad - \mathbf{y}_{(n-1)2}^1 \mathbf{E}_2^1 \mathbf{E}_{(n-1)K}^1 - \cdots + \mathbf{Y}_{(n-1)(n-1)}^1 |\mathbf{E}_{(n-1)}^1|^2 \\
 &\quad - \mathbf{y}_{(n-1)n}^1 \alpha (-\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_{(n-1)K}^1 - \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1 \mathbf{E}_{(n-1)K}^1 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 |\mathbf{E}_{(n-1)}^1|^2)
 \end{aligned} \right\} (1-17)$$

II. 故障前電力位相角方程式

端子 n に於いては、定常運転時の条件として (1-18) が成立つ。

$$\mathbf{I}_n^1 = \mathbf{I}_n^2 = \mathbf{I}_n^0 = 0 \quad (1-18)$$

之を (1-9), (1-10) 及び (1-11) に代入すれば

$$\left. \begin{aligned}
 \mathbf{E}_n^0 &= 0, \quad \mathbf{E}_n^2 = 0 \\
 \mathbf{E}_n^1 &= -\frac{1}{\mathbf{Y}_{nn}^1} (-\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{E}_1^1 - \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1)
 \end{aligned} \right\} (1-19)$$

(1-19) を (1-15) と比較すれば、故障前に於いては係数 α は $-\frac{1}{\mathbf{Y}_{nn}^1}$ に等しい事は明らかである。又 (1-19) を (1-1) に代入すれば、故障前各端子電流を下記の如くに得る。

$$\left. \begin{aligned}
 \mathbf{I}_1^1 &= \mathbf{Y}_{11}^1 \mathbf{E}_1^1 - \mathbf{y}_{12}^1 \mathbf{E}_2^1 - \mathbf{y}_{13}^1 \mathbf{E}_3^1 - \cdots - \mathbf{y}_{1(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1 \\
 &\quad + \mathbf{y}_{1n}^1 \times \frac{1}{\mathbf{Y}_{nn}^1} (-\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{E}_1^1 - \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1) \\
 &\quad \cdots \cdots \cdots \\
 &\quad \cdots \cdots \cdots \\
 \mathbf{I}_{(n-1)}^1 &= -\mathbf{y}_{(n-1)1}^1 \mathbf{E}_1^1 - \mathbf{y}_{(n-1)2}^1 \mathbf{E}_2^1 - \mathbf{y}_{(n-1)3}^1 \mathbf{E}_3^1 - \cdots + \mathbf{Y}_{(n-1)(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1 \\
 &\quad + \mathbf{y}_{(n-1)n}^1 \times \frac{1}{\mathbf{Y}_{nn}^1} (-\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{E}_1^1 - \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1)
 \end{aligned} \right\} (1-20)$$

各発電端子の有効無効電力は直ちに下記の如く表わし得る。

$$\left. \begin{aligned}
 (P_1 + jQ_1)_n &= \mathbf{Y}_{11}^1 |\mathbf{E}_1^1|^2 - \mathbf{y}_{12}^1 \mathbf{E}_2^1 \mathbf{E}_{1K}^1 - \mathbf{y}_{13}^1 \mathbf{E}_3^1 \mathbf{E}_{1K}^1 - \cdots - \mathbf{y}_{1(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1 \mathbf{E}_{1K}^1 \\
 &\quad + \mathbf{y}_{1n}^1 \times \frac{1}{\mathbf{Y}_{nn}^1} (-\mathbf{y}_{n1}^1 |\mathbf{E}_1^1|^2 - \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1 \mathbf{E}_{1K}^1 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1 \mathbf{E}_{1K}^1) \\
 &\quad \cdots \cdots \cdots \\
 &\quad \cdots \cdots \cdots \\
 (P_{(n-1)} + jQ_{(n-1)})_n &= -\mathbf{y}_{(n-1)1}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_{(n-1)K}^1 \\
 &\quad - \mathbf{y}_{(n-1)2}^1 \mathbf{E}_2^1 \mathbf{E}_{(n-1)K}^1 - \cdots + \mathbf{Y}_{(n-1)(n-1)}^1 |\mathbf{E}_{(n-1)}^1|^2 \\
 &\quad + \mathbf{y}_{(n-1)n}^1 \times \frac{1}{\mathbf{Y}_{nn}^1} (-\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_{(n-1)K}^1 - \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1 \mathbf{E}_{(n-1)K}^1 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 |\mathbf{E}_{(n-1)}^1|^2)
 \end{aligned} \right\} (1-21)$$

従つて(1-21)の有効分を採れば、故障前各発電端子の電力方程式を得る事は明らかである。

III. 故障時各発電端子に作用する減少分出力電力

故障発生時又は線路開閉時に系統各発電端子に分布されて衝撃的に作用する減少分の電力は、(1-21)及び(1-17)の差電力として下記の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} (P_1 + jQ_1)_d &= y_{1n}^1 \left(\alpha + \frac{1}{Y_{nn}^1} \right) (-y_{n1}^1 |E_1^1|^2 - y_{n2}^1 E_2^1 E_{1K}^1 - \dots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1 E_{1K}^1) \\ (P_2 + jQ_2)_d &= y_{2n}^1 \left(\alpha + \frac{1}{Y_{nn}^1} \right) (-y_{n1}^1 E_1^1 E_{2K}^1 - y_{n2}^1 |E_2^1|^2 - \dots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1 E_{2K}^1) \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ (P_{(n-1)} + jQ_{(n-1)})_d &= y_{(n-1)n}^1 \left(\alpha + \frac{1}{Y_{nn}^1} \right) (-y_{n1}^1 E_1^1 E_{(n-1)K}^1 \\ &\quad - y_{n2}^1 E_2^1 E_{(n-1)K}^1 - \dots - y_{n(n-1)}^1 |E_{(n-1)}^1|^2) \end{aligned} \right\} \quad (1-22)$$

(1-22)の有効分は、故障時各発電端子の出力の減少有効分電力であつて、その故障発生の初期値は明らかにその発電機に作用する初期加速電力を示し、又その爾後に於いても同様である。其の上本式は故障種類に応じて係数 α を決定すれば、各内部誘起電圧が判明している限り極めて容易に計算し得る。故に故障時出力式(1-17)は(1-21)及び(1-22)の差として逆に求める事も出来る。

IV. 係数 α の決定

故障時故障端子正相分電圧を示す(1-15)式に用いられている係数 α は、系統の各種故障を夫々解く事によつて、予め決定して置く事が出来る。

(a) b, c 相2線地絡

(1-9), (1-10), (1-11) 及び (1-12) より

$$\left. \begin{aligned} -I_n^1 &= (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - y_{n3}^1 E_3^1 - \dots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) + Y_{nn}^1 E_n^1 \\ I_n^1 + I_n^0 &= Y_{nn}^1 E_n^1 \\ -I_n^0 &= Y_{nn}^{0e} (E_n^1 + 3Z_f I_n^0) \end{aligned} \right\} \quad (1-23)$$

上式を I_n^1 , I_n^0 及び E_n^1 に就いて解き、その結果を(1-12)に代入すれば、 n 端子電圧電流を知る事が出来る。即ち

$$E_n^1 = - \frac{1 + 3Z_f Y_{nn}^{0e}}{(Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2 + Y_{nn}^{0e}) + 3Z_f Y_{nn}^{0e} (Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2)} (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - \dots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) \quad (1-24)$$

故に係数 α は此の故障に対しては次の如くである。

$$\alpha_{2LG} = - \frac{1 + 3Z_f Y_{nn}^{0e}}{(Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2 + Y_{nn}^{0e}) + 3Z_f Y_{nn}^{0e} (Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2)} \quad (1-25)$$

若し $Z_f = \infty$, と置けば, 本故障は b, c 相の金属 2 線短絡を示す事となり, (1-25) は下記の如くなる。

$$(\alpha_{2LG})_{\infty} = -\frac{1}{Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2} \quad (1-26)$$

他方 $Z_f = 0$, と置けば, 金属的な b, c 相 2 線地絡を示し, 下記の如くなる。

$$(\alpha_{2LG})_0 = -\frac{1}{Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2 + Y_{nn}^{0c}} \quad (1-27)$$

(1-27) より, 2 線地絡故障は, 正相分に関する限り, 係数 α の負値は故障点より眺めた系統駆動点逆相分及び零相分アドミッタンスと, 故障端子の正相分短絡駆動点アドミッタンスの 3 者の並列したものの逆数と等価である事が判明する。

(b) b, c 相 2 線短絡

(1-9), (1-10), (1-11) 及び (1-13) より

$$\left. \begin{aligned} -I_n^1 &= (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - \dots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) + Y_{nn}^1 E_n^1 \\ I_n^1 &= Y_{nn}^2 (E_n^1 - Z_f I_n^1) \end{aligned} \right\} \quad (1-28)$$

上式を I_n^1 及び E_n^1 に就いて解く事により,

$$E_n^1 = -\frac{1 + Z_f Y_{nn}^2}{(Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2) + Z_f Y_{nn}^1 Y_{nn}^2} (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - \dots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) \quad (1-29)$$

従つて此の場合, 係数 α としては

$$\alpha_{2LS} = -\frac{1 + Z_f Y_{nn}^2}{(Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2) + Z_f Y_{nn}^1 Y_{nn}^2} \quad (1-30)$$

若し $Z_f = \infty$ ならば, これは定常非故障状態を示し, (1-30), は (1-31) となる。

$$(\alpha_{2LS})_{\infty} = -\frac{1}{Y_{nn}^1} \quad (1-31)$$

本式は (1-19) と一致し, 之を (1-22) に代入すれば, 当然の事乍ら減少分電力はすべて零となる。又若し $Z_f = 0$ ならば金属的な b, c 相 2 線短絡を示し, (1-26) と一致する。

$$(\alpha_{2LS})_0 = -\frac{1}{Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2} \quad (1-32)$$

(1-32) は, 故障点より眺めた等価逆相分駆動点アドミッタンスが故障端子に挿入され, 正相分駆動点アドミッタンスと並列になつているものの逆数の負値である。

(c) α 相 1 線地絡

(1-9), (1-10), (1-11) 及び (1-14) より

$$\left. \begin{aligned} -I_n^1 &= (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - y_{n3}^1 E_3^1 - \dots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) + Y_{nn}^1 E_n^1 \\ -I_n^1 &= Y_{nn}^2 E_n^2 \\ -I_n^1 &= Y_{nn}^{0c} (E_n^1 + E_n^2 - 3Z_f I_n^1) \end{aligned} \right\} \quad (1-33)$$

上式を \mathbf{I}_n^1 , \mathbf{E}_n^1 及び \mathbf{E}_n^2 に就いて解けば

$$\mathbf{E}_n^1 = - \frac{\mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^{0e} + 3\mathbf{Z}_f \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0e}}{\mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^{0e} + \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0e} + 3\mathbf{Z}_f \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0e}} \times (-\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{E}_1^1 - \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{n-1}^1) \quad (1-34)$$

故に、此の場合には

$$\alpha_{1LG} = - \frac{\mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^{0e} + 3\mathbf{Z}_f \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0e}}{\mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^{0e} + \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0e} + 3\mathbf{Z}_f \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0e}} \quad (1-35)$$

此処で $\mathbf{Z}_f = \infty$ と置けば非故障状態であつて、前同様

$$(\alpha_{1LG})_\infty = - \frac{1}{\mathbf{Y}_{nn}^1} \quad (1-36)$$

他方、 $\mathbf{Z}_f = 0$ ならば金属地絡状態を示し、

$$(\alpha_{1LG})_0 = - \frac{\mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^{0e}}{\mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^{0e} + \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0e}} \quad (1-37)$$

上式より、1線地絡時の α は、等価逆相分及び零相分駆動点アドミッタンスの直列回路と、 n 端子正相分アドミッタンスとの並列回路の逆数の負値を示している。

V. 単相断線の一般解

多機系統任意点に於いて一相の断線又は開放が行なわれた場合に就いては、Fig. (1-1)(D) に示す如く開放された両端子を夫々 n 及び $n+1$ 端子とし、両端子間にアークを主とする故障インピーダンス \mathbf{Z}_a が、開放相例えば a 相に挿入された状態にあるものとし、 n と $n+1$ 端子間の線路に於いては、各相間に相互誘導がないものと仮定する。次で前例短絡接地の場合と同様に、系統発電端子及び故障端子以外のすべての端子を消去すれば、簡略化された各相分アドミッタンスマトリックスは下記の如く表示し得る。

$$\begin{pmatrix} \mathbf{I}_1^1 \\ \mathbf{I}_2^1 \\ \vdots \\ \mathbf{I}_{(n-1)}^1 \\ -\mathbf{I}_n^1 \\ \mathbf{I}_{(n+1)}^1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{Y}_{11}^1 & -\mathbf{y}_{12}^1 & \cdots & -\mathbf{y}_{1(n-1)}^1 & -\mathbf{y}_{1n}^1 & -\mathbf{y}_{1(n+1)}^1 \\ -\mathbf{y}_{21}^1 & \mathbf{Y}_{22}^1 & \cdots & -\mathbf{y}_{2(n-1)}^1 & -\mathbf{y}_{2n}^1 & -\mathbf{y}_{2(n+1)}^1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -\mathbf{y}_{(n-1)1}^1 & -\mathbf{y}_{(n-1)2}^1 & \cdots & \mathbf{Y}_{(n-1)(n-1)}^1 & -\mathbf{y}_{(n-1)n}^1 & -\mathbf{y}_{(n-1)(n+1)}^1 \\ -\mathbf{y}_{n1}^1 & -\mathbf{y}_{n2}^1 & \cdots & -\mathbf{y}_{n(n-1)}^1 & \mathbf{Y}_{nn}^1 & -\mathbf{y}_{n(n+1)}^1 \\ -\mathbf{y}_{(n+1)1}^1 & -\mathbf{y}_{(n+1)2}^1 & \cdots & -\mathbf{y}_{(n+1)(n-1)}^1 & -\mathbf{y}_{(n+1)n}^1 & \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{E}_1^1 \\ \mathbf{E}_2^1 \\ \vdots \\ \mathbf{E}_{(n-1)}^1 \\ \mathbf{E}_n^1 \\ \mathbf{E}_{(n+1)}^1 \end{pmatrix} \quad (1-38)$$

$$\begin{pmatrix} \mathbf{I}_1^2 \\ \mathbf{I}_2^2 \\ \vdots \\ \mathbf{I}_{(n-1)}^2 \\ -\mathbf{I}_n^2 \\ \mathbf{I}_{(n+1)}^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{Y}_{11}^2 & -\mathbf{y}_{12}^2 & \cdots & -\mathbf{y}_{1(n-1)}^2 & -\mathbf{y}_{1n}^2 & -\mathbf{y}_{1(n+1)}^2 \\ -\mathbf{y}_{21}^2 & \mathbf{Y}_{22}^2 & \cdots & -\mathbf{y}_{2(n-1)}^2 & -\mathbf{y}_{2n}^2 & -\mathbf{y}_{2(n+1)}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -\mathbf{y}_{(n-1)1}^2 & -\mathbf{y}_{(n-1)2}^2 & \cdots & \mathbf{Y}_{(n-1)(n-1)}^2 & -\mathbf{y}_{(n-1)n}^2 & -\mathbf{y}_{(n-1)(n+1)}^2 \\ -\mathbf{y}_{n1}^2 & -\mathbf{y}_{n2}^2 & \cdots & -\mathbf{y}_{n(n-1)}^2 & \mathbf{Y}_{nn}^2 & -\mathbf{y}_{n(n+1)}^2 \\ -\mathbf{y}_{(n+1)1}^2 & -\mathbf{y}_{(n+1)2}^2 & \cdots & -\mathbf{y}_{(n+1)(n-1)}^2 & -\mathbf{y}_{(n+1)n}^2 & \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \mathbf{E}_n^2 \\ \mathbf{E}_{(n+1)}^2 \end{pmatrix} \quad (1-39)$$

$$\begin{pmatrix} \mathbf{I}_1^0 = 0 \\ \mathbf{I}_2^0 = 0 \\ \vdots \\ \mathbf{I}_{(n-1)}^0 = 0 \\ -\mathbf{I}_n^0 \\ \mathbf{I}_{(n+1)}^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{Y}_{1'1'}^0 & -\mathbf{y}_{1'2'}^0 & \cdots & -\mathbf{y}_{1'(n-1)'}^0 & -\mathbf{y}_{1'n}^0 & -\mathbf{y}_{1'(n+1)}^0 \\ -\mathbf{y}_{2'1'}^0 & \mathbf{Y}_{2'2'}^0 & \cdots & -\mathbf{y}_{2'(n-1)'}^0 & -\mathbf{y}_{2'n}^0 & -\mathbf{y}_{2'(n+1)}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -\mathbf{y}_{(n-1)1'}^0 & -\mathbf{y}_{(n-1)2'}^0 & \cdots & \mathbf{Y}_{(n-1)'(n-1)}^0 & -\mathbf{y}_{(n-1)'n}^0 & -\mathbf{y}_{(n-1)'(n+1)}^0 \\ -\mathbf{y}_{n1'}^0 & -\mathbf{y}_{n2'}^0 & \cdots & -\mathbf{y}_{n(n-1)'}^0 & \mathbf{Y}_{nn}^0 & -\mathbf{y}_{n(n+1)}^0 \\ -\mathbf{y}_{(n+1)1'}^0 & -\mathbf{y}_{(n+1)2'}^0 & \cdots & -\mathbf{y}_{(n+1)(n-1)'}^0 & -\mathbf{y}_{(n+1)n}^0 & \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{E}_{1'}^0 \\ \mathbf{E}_{2'}^0 \\ \vdots \\ \mathbf{E}_{(n-1)'}^0 \\ \mathbf{E}_n^0 \\ \mathbf{E}_{(n+1)}^0 \end{pmatrix} \quad (1-40)$$

(1-38) より

$$-\mathbf{I}_n^1 = \mathbf{p} + \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{E}_n^1 - \mathbf{y}_{n(n+1)}^1 \mathbf{E}_{(n+1)}^1 \quad (1-41)$$

$$\mathbf{I}_{(n+1)}^1 = \mathbf{q} - \mathbf{y}_{(n+1)n}^1 \mathbf{E}_n^1 + \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^1 \mathbf{E}_{(n+1)}^1 \quad (1-42)$$

此處で

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{p} &= -\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{E}_1^1 - \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1 \\ \mathbf{q} &= -\mathbf{y}_{(n+1)1}^1 \mathbf{E}_1^1 - \mathbf{y}_{(n+1)2}^1 \mathbf{E}_2^1 - \cdots - \mathbf{y}_{(n+1)(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1 \end{aligned} \right\} \quad (1-43)$$

(1-39) より

$$-\mathbf{I}_n^2 = \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{E}_n^2 - \mathbf{y}_{n(n+1)}^2 \mathbf{E}_{(n+1)}^2 \quad (1-44)$$

$$\mathbf{I}_{(n+1)}^2 = -\mathbf{y}_{(n+1)n}^2 \mathbf{E}_n^2 + \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^2 \mathbf{E}_{(n+1)}^2 \quad (1-45)$$

(1-40) より

$$\begin{pmatrix} \mathbf{y}_{1'n}^0 \mathbf{E}_n^0 + \mathbf{y}_{1'(n+1)}^0 \mathbf{E}_{(n+1)}^0 \\ \mathbf{y}_{2'n}^0 \mathbf{E}_n^0 + \mathbf{y}_{2'(n+1)}^0 \mathbf{E}_{(n+1)}^0 \\ \vdots \\ \mathbf{y}_{(n-1)'n}^0 \mathbf{E}_n^0 + \mathbf{y}_{(n-1)'(n+1)}^0 \mathbf{E}_{(n+1)}^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{Y}_{1'1'}^0 & -\mathbf{y}_{1'2'}^0 & \cdots & -\mathbf{y}_{1'(n-1)'}^0 \\ -\mathbf{y}_{2'1'}^0 & \mathbf{Y}_{2'2'}^0 & \cdots & -\mathbf{y}_{2'(n-1)'}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\mathbf{y}_{(n-1)1'}^0 & -\mathbf{y}_{(n-1)2'}^0 & \cdots & \mathbf{Y}_{(n-1)'(n-1)}^0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{E}_{1'}^0 \\ \mathbf{E}_{2'}^0 \\ \vdots \\ \mathbf{E}_{(n-1)'}^0 \end{pmatrix} \quad (1-46)$$

$$-\mathbf{I}_n^0 = (-\mathbf{y}_{n1'}^0 \mathbf{E}_{1'}^0 - \mathbf{y}_{n2'}^0 \mathbf{E}_{2'}^0 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)'}^0 \mathbf{E}_{(n-1)'}^0) + \mathbf{Y}_{nn}^0 \mathbf{E}_n^0 - \mathbf{y}_{n(n+1)}^0 \mathbf{E}_{(n+1)}^0 \quad (1-47)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{I}_{(n+1)}^0 &= (-\mathbf{y}_{(n+1)1'}^0 \mathbf{E}_{1'}^0 - \mathbf{y}_{(n+1)2'}^0 \mathbf{E}_{2'}^0 - \cdots - \mathbf{y}_{(n+1)(n-1)'}^0 \mathbf{E}_{(n-1)'}^0) \\ &\quad - \mathbf{y}_{(n+1)n}^0 \mathbf{E}_n^0 + \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^0 \mathbf{E}_{(n+1)}^0 \end{aligned} \quad (1-48)$$

(1-46) を $\mathbf{E}_{1'}^0, \mathbf{E}_{2'}^0, \mathbf{E}_{3'}^0, \dots, \mathbf{E}_{(n-1)'}^0$ に就て解き, 結果を \mathbf{E}_n^0 及び $\mathbf{E}_{(n+1)}^0$ によつて表わし, 之等を整理すれば下式を得る。

$$\left. \begin{aligned} -\mathbf{y}_{n1}^0 \mathbf{E}_{1'}^0 - \mathbf{y}_{n2}^0 \mathbf{E}_{2'}^0 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^0 \mathbf{E}_{(n-1)'}^0 &= \mathbf{a}_n^0 \mathbf{E}_n^0 + \mathbf{b}_n^0 \mathbf{E}_{(n+1)}^0 \\ -\mathbf{y}_{(n+1)1'}^0 \mathbf{E}_{1'}^0 - \mathbf{y}_{(n+1)2'}^0 \mathbf{E}_{2'}^0 - \cdots - \mathbf{y}_{(n+1)(n-1)'}^0 \mathbf{E}_{(n-1)'}^0 &= \mathbf{a}_{(n+1)}^0 \mathbf{E}_n^0 + \mathbf{b}_{(n+1)}^0 \mathbf{E}_{(n+1)}^0 \end{aligned} \right\} \quad (1-49)$$

上式及び (1-47), (1-48) より

$$-\mathbf{I}_n^0 = (\mathbf{a}_n^0 + \mathbf{Y}_{nn}^0) \mathbf{E}_n^0 + (\mathbf{b}_n^0 - \mathbf{y}_{n(n+1)}^0) \mathbf{E}_{(n+1)}^0 \quad (1-50)$$

$$\mathbf{I}_{(n+1)}^0 = (\mathbf{a}_{(n+1)}^0 - \mathbf{y}_{(n+1)n}^0) \mathbf{E}_n^0 + (\mathbf{b}_{(n+1)}^0 + \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^0) \mathbf{E}_{(n+1)}^0 \quad (1-51)$$

不平衡直列インピーダンス \mathbf{Z}_a は a 相にのみ挿入されている故, 端子 n 及び $n+1$ に於い

ては、下記の条件が満足されねばならない。

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{I}_n^1 &= \mathbf{I}_{(n+1)}^1, & \mathbf{E}_{(n+1)}^1 &= \mathbf{E}_n^1 - \mathbf{Z}_a (\mathbf{I}_n^1 + \mathbf{I}_n^2 + \mathbf{I}_n^0) \\ \mathbf{I}_n^2 &= \mathbf{I}_{(n+1)}^2, & \mathbf{E}_{(n+1)}^2 &= \mathbf{E}_n^2 - \mathbf{Z}_a (\mathbf{I}_n^1 + \mathbf{I}_n^2 + \mathbf{I}_n^0) \\ \mathbf{I}_n^0 &= \mathbf{I}_{(n+1)}^0, & \mathbf{E}_{(n+1)}^0 &= \mathbf{E}_n^0 - \mathbf{Z}_a (\mathbf{I}_n^1 + \mathbf{I}_n^2 + \mathbf{I}_n^0) \end{aligned} \right\} \quad (1-52)$$

(1-52) を (1-41) 及び (1-42) に代入し、その結果を整理すれば

$$-(1 + \mathbf{y}_{n(n+1)}^1 \mathbf{Z}_a) \mathbf{I}_n^1 - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{Z}_a \mathbf{I}_n^2 - \mathbf{y}_{n(n+1)}^1 \mathbf{Z}_a \mathbf{I}_n^0 = \mathbf{p} + (\mathbf{Y}_{nn}^1 - \mathbf{y}_{n(n+1)}^1) \mathbf{E}_n^1 \quad (1-53)$$

$$\begin{aligned} (1 + \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^1 \mathbf{Z}_a) \mathbf{I}_n^1 + \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^1 \mathbf{Z}_a \mathbf{I}_n^2 \\ + \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^1 \mathbf{Z}_a \mathbf{I}_n^0 = \mathbf{q} + (\mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^1 - \mathbf{y}_{n(n+1)}^1) \mathbf{E}_n^1 \end{aligned} \quad (1-54)$$

(1-52), (1-44) 及び (1-45) より

$$-\mathbf{y}_{n(n+1)}^2 \mathbf{Z}_a \mathbf{I}_n^1 - (1 + \mathbf{y}_{n(n+1)}^2 \mathbf{Z}_a) \mathbf{I}_n^2 - \mathbf{y}_{n(n+1)}^2 \mathbf{Z}_a \mathbf{I}_n^0 = (\mathbf{Y}_{nn}^2 - \mathbf{y}_{n(n+1)}^2) \mathbf{E}_n^2 \quad (1-55)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^2 \mathbf{Z}_a \mathbf{I}_n^1 + (1 + \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^2 \mathbf{Z}_a) \mathbf{I}_n^2 \\ + \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^2 \mathbf{Z}_a \mathbf{I}_n^0 = (\mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^2 - \mathbf{y}_{(n+1)n}^2) \mathbf{E}_n^2 \end{aligned} \quad (1-56)$$

同様に (1-52), (1-50) 及び (1-51) より

$$\begin{aligned} (\mathbf{b}_n^0 - \mathbf{y}_{n(n+1)}^0) \mathbf{Z}_a \mathbf{I}_n^1 + (\mathbf{b}_n^0 - \mathbf{y}_{n(n+1)}^0) \mathbf{Z}_a \mathbf{I}_n^2 - \{1 - (\mathbf{b}_n^0 - \mathbf{y}_{n(n+1)}^0) \mathbf{Z}_a\} \mathbf{I}_n^0 \\ = \{\mathbf{a}_n^0 + \mathbf{b}_n^0 + \mathbf{Y}_{nn}^0 - \mathbf{y}_{n(n+1)}^0\} \mathbf{E}_n^0 \end{aligned} \quad (1-57)$$

$$\begin{aligned} (\mathbf{b}_{(n+1)}^0 + \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^0) \mathbf{Z}_a \mathbf{I}_n^1 + (\mathbf{b}_{(n+1)}^0 + \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^0) \mathbf{Z}_a \mathbf{I}_n^2 + \{1 + (\mathbf{b}_{(n+1)}^0 + \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^0) \mathbf{Z}_a\} \mathbf{I}_n^0 \\ = \{\mathbf{a}_{(n+1)}^0 + \mathbf{b}_{(n+1)}^0 + \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^0 - \mathbf{y}_{(n+1)n}^0\} \mathbf{E}_n^0 \end{aligned} \quad (1-58)$$

更に (1-53) より (1-58) は便宜上次の如く置くものとする。

$$\left. \begin{aligned} -(1 + \mathbf{A}_1) \mathbf{I}_n^1 - \mathbf{A}_1 \mathbf{I}_n^2 - \mathbf{A}_1 \mathbf{I}_n^0 &= \mathbf{p} + \left(\frac{1}{\mathbf{D}_1}\right) \mathbf{E}_n^1 \\ (1 + \mathbf{B}_1) \mathbf{I}_n^1 + \mathbf{B}_1 \mathbf{I}_n^2 + \mathbf{B}_1 \mathbf{I}_n^0 &= \mathbf{q} + \left(\frac{1}{\mathbf{F}_1}\right) \mathbf{E}_n^1 \\ -\mathbf{A}_2 \mathbf{I}_n^1 - (1 + \mathbf{A}_2) \mathbf{I}_n^2 - \mathbf{A}_2 \mathbf{I}_n^0 &= \left(\frac{1}{\mathbf{D}_2}\right) \mathbf{E}_n^2 \\ \mathbf{B}_2 \mathbf{I}_n^1 + (1 + \mathbf{B}_2) \mathbf{I}_n^2 + \mathbf{B}_2 \mathbf{I}_n^0 &= \left(\frac{1}{\mathbf{F}_2}\right) \mathbf{E}_n^2 \\ -\mathbf{A}_0 \mathbf{I}_n^1 - \mathbf{A}_0 \mathbf{I}_n^2 - (1 + \mathbf{A}_0) \mathbf{I}_n^0 &= \left(\frac{1}{\mathbf{D}_0}\right) \mathbf{E}_n^0 \\ \mathbf{B}_0 \mathbf{I}_n^1 + \mathbf{B}_0 \mathbf{I}_n^2 + (1 + \mathbf{B}_0) \mathbf{I}_n^0 &= \left(\frac{1}{\mathbf{F}_0}\right) \mathbf{E}_n^0 \end{aligned} \right\} \quad (1-59)$$

此処で

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{Y}_{nn}^1 - \mathbf{y}_{n(n+1)}^1 &= \frac{1}{\mathbf{D}_1}, & \mathbf{Y}_{nn}^2 - \mathbf{y}_{n(n+1)}^2 &= \frac{1}{\mathbf{D}_2} \\ \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^1 - \mathbf{y}_{n(n+1)}^1 &= \frac{1}{\mathbf{F}_1}, & \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^2 - \mathbf{y}_{n(n+1)}^2 &= \frac{1}{\mathbf{F}_2} \\ \mathbf{a}_n^0 + \mathbf{b}_n^0 + \mathbf{Y}_{nn}^0 - \mathbf{y}_{n(n+1)}^0 &= \frac{1}{\mathbf{D}_0} \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} a_{(n+1)}^0 + b_{(n+1)}^0 + Y_{(n+1)(n+1)}^0 - y_{n(n+1)}^0 &= \frac{1}{F_0} \\ y_{n(n+1)}^1 Z_a = A_1' Z_a = A_1, & \quad y_{n(n+1)}^2 Z_a = A_2' Z_a = A_2 \\ Y_{(n+1)(n+1)}^1 Z_a = B_1' Z_a = B_1, & \quad Y_{(n+1)(n+1)}^2 Z_a = B_2' Z_a = B_2 \\ (y_{n(n+1)}^0 - b_n^0) Z_a = A_0' Z_a = A_0 \\ (Y_{(n+1)(n+1)}^0 + b_{(n+1)}^0) Z_a = B_0' Z_a = B_0 \end{aligned} \right\} \quad (1-60)$$

(1-59)を連立方程式として解いて、 $I_n^1, I_n^2, I_n^0, E_n^1, E_n^2$ 及び E_n^0 を p 及び q を以て表わす事により、 n 端子各対称相分電圧電流値を知る事が出来、更に之等を(1-52)に代入すれば、端子 $n+1$ に於ける各数値が容易に得られる。即ち今更に

$$\left. \begin{aligned} D_1 + F_1 = x_1, & \quad (A_1' D_1 + B_1' F_1) Z_a = y_1' Z_a = y_1 \\ D_2 + F_2 = x_2, & \quad (A_2' D_2 + B_2' F_2) Z_a = y_2' Z_a = y_2 \\ D_0 + F_0 = x_0, & \quad (A_0' D_0 + B_0' F_0) Z_a = y_0' Z_a = y_0 \end{aligned} \right\} \quad (1-61)$$

と置けば、 n 端子各相分電流値は(1-62)として、又正相分電圧値は(1-63)として各々得られる。

$$\left. \begin{aligned} I_n^1 &= -\frac{1}{A} (x_0 x_2 + x_0 y_2 + x_2 y_0) (p D_1 - q F_1) \\ I_n^2 &= \frac{1}{A} x_0 y_2 (p D_1 - q F_1) \\ I_n^0 &= \frac{1}{A} x_2 y_0 (p D_1 - q F_1) \\ A &= x_0 x_1 x_2 + x_1 x_2 y_0 + x_0 x_2 y_1 + x_0 x_1 y_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-62)$$

$$\left. \begin{aligned} E_n^1 &= \beta p + \gamma q \\ \beta &= -\frac{1}{A} D_1 F_1 \{x_0 x_2 (1 + B_1) + x_0 y_2 + x_2 y_0\} \\ \gamma &= -\frac{1}{A} D_1 F_1 \{x_0 x_2 (1 + A_1) + x_0 y_2 + x_2 y_0\} \end{aligned} \right\} \quad (1-63)$$

又(1-62), (1-63)及び(1-52)より

$$\left. \begin{aligned} E_{(n+1)}^1 &= \varepsilon p + \kappa q \\ \varepsilon &= -\frac{1}{A} D_1 [F_1 \{x_0 x_2 (1 + B_1) + x_0 y_2 + x_2 y_0\} - Z_a x_0 x_2] \\ \kappa &= -\frac{1}{A} F_1 [D_1 \{x_0 x_2 (1 + A_1) + x_0 y_2 + x_2 y_0\} + Z_a x_0 x_2] \end{aligned} \right\} \quad (1-64)$$

(1-63)及び(1-64)式にて符号 $\beta, \gamma, \varepsilon$ 及び κ は故障点に現われる正相分電圧に関係している係数である。

(1) $Z_a = \infty$ の場合

此の場合は完全な a 相の開放を意味するが、(1-59), (1-60), (1-61), (1-63)及び(1-64)より、下記の式が得られる。

$$\left. \begin{aligned}
 \beta_f &= -\frac{1}{A'} D_1 F_1 (x_0 y_2' + x_2 y_0' + x_0 x_2 B_1') \\
 \gamma_f &= -\frac{1}{A'} D_1 F_1 (x_0 y_2' + x_2 y_0' + x_0 x_2 A_1') \\
 \delta_f &= -\frac{1}{A'} D_1 \{ F_1 (x_0 y_2' + x_2 y_0' + x_0 x_2 B_1') - x_0 x_2 \} \\
 \kappa_f &= -\frac{1}{A'} F_1 \{ D_1 (x_0 y_2' + x_2 y_0' + x_0 x_2 A_1') + x_0 x_2 \} \\
 A' &= x_1 x_2 y_0' + x_0 x_2 y_1' + x_0 x_1 y_2'
 \end{aligned} \right\} \quad (1-65)$$

(2) $Z_a = 0$ の場合

此の場合は非故障状態を示し、

$$\beta_n = \gamma_n = \delta_n = \kappa_n = -\frac{D_1 F_1}{x_1} \quad (1-66)$$

完全開放の場合即ち $Z_a = \infty$ を適用した時には、 n 及び $n+1$ 端子間の正相等価インピーダンスは下記の如くなる。

$$Z_{n(n+1)}^1 = \frac{E_n^1 - E_{(n+1)}^1}{I_n^1} = \frac{1}{\frac{x_0}{y_0'} + \frac{x_2}{y_2'}} \quad (1-67)$$

VI. 単相断線時の電力位相角方程式

a 相 n 及び $n+1$ 端子間に直列インピーダンス Z_a が挿入された場合の、系統各発電端子に於ける電力計算式は、(1-63), (1-64) を (1-38) に代入すれば得られるが、今 $Z_a = \infty$ の条件を適用する場合は、(1-65) を使用して下記の如く現わし得る。

$$\left. \begin{aligned}
 (P_1 + jQ_1)_f &= Y_{11}^1 |E_1^1|^2 - y_{12}^1 E_2^1 E_{1K}^1 - y_{13}^1 E_3^1 E_{1K}^1 - \dots - y_{1(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1 E_{1K}^1 \\
 &\quad - (y_{1n}^1 \beta_f + y_{1(n+1)}^1 \delta_f) (-y_{1n}^1 |E_1^1|^2 \\
 &\quad \quad - y_{n2}^1 E_2^1 E_{1K}^1 - \dots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1 E_{1K}^1) \\
 &\quad - (y_{1n}^1 \gamma_f + y_{1(n+1)}^1 \kappa_f) (-y_{1(n+1)}^1 |E_1^1|^2 \\
 &\quad \quad - y_{(n+1)2}^1 E_2^1 E_{1K}^1 - \dots - y_{(n+1)(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1 E_{1K}^1) \\
 &\quad \dots \dots \dots \\
 &\quad \dots \dots \dots \\
 (P_{(n-1)} + jQ_{(n-1)})_f &= -y_{(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1 E_{1K}^1 \\
 &\quad - y_{(n-1)2}^1 E_2^1 E_{(n-1)K}^1 - \dots + Y_{(n-1)(n-1)}^1 |E_{(n-1)}^1|^2 \\
 &\quad - (y_{(n-1)n}^1 \beta_f + y_{(n-1)(n+1)}^1 \delta_f) (-y_{(n-1)n}^1 E_{(n-1)}^1 E_{1K}^1 \\
 &\quad \quad - y_{(n-1)2}^1 E_2^1 E_{(n-1)K}^1 - \dots - y_{(n-1)1}^1 |E_{(n-1)}^1|^2) \\
 &\quad - (y_{(n-1)n}^1 \gamma_f + y_{(n-1)(n+1)}^1 \kappa_f) (-y_{(n+1)1}^1 E_{(n-1)}^1 E_{1K}^1 \\
 &\quad \quad - y_{(n+1)2}^1 E_2^1 E_{(n-1)K}^1 - \dots - y_{(n+1)(n-1)}^1 |E_{(n-1)}^1|^2)
 \end{aligned} \right\} \quad (1-68)$$

従つて単相開放時の各端子に及ぼされる減少分有効電力は下記 (1-69) の有効分である。

$$\left. \begin{aligned}
 (P_1 + jQ_1)_d &= \{y_{1n}^1(\beta_f - \beta_n) + y_{1(n+1)}^1(\delta_f - \delta_n)\} \{-y_{n1}^1 |E_1^1|^2 \\
 &\quad - y_{n2}^1 E_2^1 E_{1K}^1 - \dots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1 E_{1K}^1\} \\
 &+ \{y_{1n}^1(\gamma_f - \gamma_n) + y_{1(n+1)}^1(\kappa_f - \kappa_n)\} \{-y_{(n+1)1}^1 |E_1^1|^2 \\
 &\quad - y_{(n+1)2}^1 E_2^1 E_{1K}^1 - \dots - y_{(n+1)(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1 E_{1K}^1\} \\
 &\quad \dots \\
 &\quad \dots \\
 (P_{(n-1)} + jQ_{(n-1)})_d &= \{y_{(n-1)n}^1(\beta_f - \beta_n) + y_{(n-1)(n+1)}^1(\delta_f - \delta_n)\} \\
 &\quad \{-y_{n(n-1)}^1 |E_{(n-1)}^1|^2 - \dots - y_{n(n-1)}^1 |E_{(n-1)}^1|^2\} \\
 &+ \{y_{(n-1)n}^1(\gamma_f - \gamma_n) + y_{(n-1)(n+1)}^1(\kappa_f - \kappa_n)\} \{-y_{(n+1)(n-1)}^1 |E_{(n-1)}^1|^2 \\
 &\quad - y_{(n+1)2}^1 E_2^1 E_{(n-1)K}^1 - \dots - y_{(n+1)(n-1)}^1 |E_{(n-1)}^1|^2\}
 \end{aligned} \right\} \quad (1-69)$$

VII. 不平衡短絡, 接地故障計算例

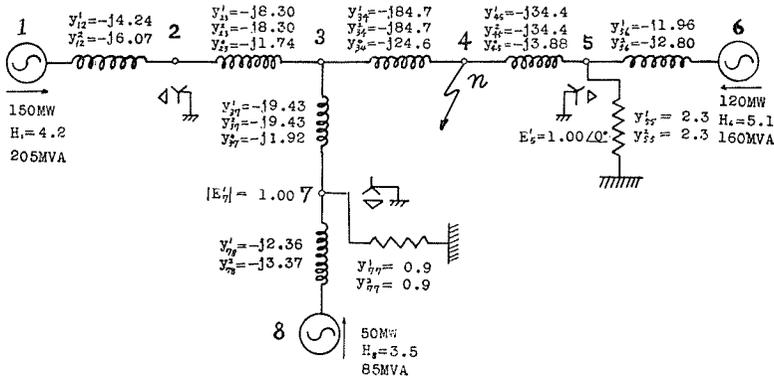


Fig. (1-2). Three machine system layout as an example.

Fig. (1-2) は安定度計算のための電力計算式の計算例としての系統図であつて, 187 KV 系統で 100 MVA をベースとした単位法で定数が示されている。其儘の端子を用いた正, 逆及び零相分アドミッタンスマトリックス式は夫々下記の如く示され得る。但し正相分式のみは 2 端子を消去してある。

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_6 \\ I_8 \\ -I_1 \\ I_3=0 \\ I_5=0 \\ I_7=0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -j2.8 & 0 & 0 & 0 & j2.8 & 0 & 0 \\ 0 & -j1.96 & 0 & 0 & 0 & j1.96 & 0 \\ 0 & 0 & -j2.36 & 0 & 0 & 0 & j2.36 \\ 0 & 0 & 0 & -j11.9 & j84.7 & j34.4 & 0 \\ j2.8 & 0 & 0 & j84.7 & -j96.9 & 0 & j9.43 \\ 0 & j1.96 & 0 & j34.4 & 0 & 2.3-j36.4 & 0 \\ 0 & 0 & j2.36 & 0 & j9.43 & 0 & 0.9-j11.8 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1^1 \\ E_6^1 \\ E_8^1 \\ E_1^1 \\ E_3^1 \\ E_5^1 \\ E_7^1 \end{pmatrix} \quad (1-1)$$

$$\begin{pmatrix} \mathbf{I}_1^2 \\ \mathbf{I}_6^2 \\ \mathbf{I}_8^2 \\ \mathbf{I}_2^2 \\ -\mathbf{I}_4^2 \\ \mathbf{I}_3^2=0 \\ \mathbf{I}_5^2=0 \\ \mathbf{I}_7^2=0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -j6.07 & 0 & 0 & j6.07 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -j2.80 & 0 & 0 & 0 & 0 & j2.80 & 0 \\ 0 & 0 & -j3.37 & 0 & 0 & 0 & 0 & j3.37 \\ j6.07 & 0 & 0 & -j14.4 & 0 & j8.30 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -j119 & j84.7 & j34.4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j8.30 & j84.7 & -j102.4 & 0 & j9.43 \\ 0 & j2.80 & 0 & 0 & j34.4 & 0 & 2.3-j37.2 & 0 \\ 0 & 0 & j3.37 & 0 & 0 & j9.43 & 0 & 0.9-j11.8 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \mathbf{E}_2^2 \\ \mathbf{E}_4^2 \\ \mathbf{E}_3^2 \\ \mathbf{E}_5^2 \\ \mathbf{E}_7^2 \end{pmatrix} \quad (1-2)$$

$$\begin{pmatrix} -\mathbf{I}_4^0 \\ \mathbf{I}_3^0=0 \\ \mathbf{I}_2^0=0 \\ \mathbf{I}_7^0=0 \\ \mathbf{I}_5^0=0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -j28.5 & j24.6 & 0 & 0 & j3.88 \\ j24.6 & -j28.3 & j1.74 & j1.92 & 0 \\ 0 & j1.74 & \infty-j1.74 & 0 & 0 \\ 0 & j1.92 & 0 & \infty-j1.92 & 0 \\ j3.88 & 0 & 0 & 0 & \infty j-3.88 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{E}_4^0 \\ \mathbf{E}_3^0 \\ \mathbf{E}_2^0 \\ \mathbf{E}_7^0 \\ \mathbf{E}_5^0 \end{pmatrix} \quad (1-3)$$

端子 3, 5 及び 7 を消去すれば上記マトリックスは夫々 (1-4), (1-5') となる。

$$\begin{pmatrix} \mathbf{I}_1^1 \\ \mathbf{I}_6^1 \\ \mathbf{I}_8^1 \\ -\mathbf{I}_4^1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.00056-j2.71 & 0 & 0.00486+j0.00588 & 0.0169+j2.65 \\ 0 & 0.00664-j1.86 & 0 & 0.117+j1.84 \\ 0.00486+j0.0588 & 0 & 0.0421-j1.85 & 0.147+j1.78 \\ 0.0169+j2.65 & 0.117+j1.84 & 0.147+j1.78 & 2.56-j6.4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{E}_1^1 \\ \mathbf{E}_6^1 \\ \mathbf{E}_8^1 \\ \mathbf{E}_4^1 \end{pmatrix} \quad (1-4)$$

$$\begin{pmatrix} \mathbf{I}_1^2 \\ \mathbf{I}_6^2 \\ \mathbf{I}_8^2 \\ -\mathbf{I}_4^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.000869-j3.36 & 0 & 0.00865+j0.1046 & 0.0210+j3.31 \\ 0 & 0.0130-j2.59 & 0 & 0.160+j2.58 \\ 0.00865+j0.1046 & 0 & 0.0859-j2.59 & 0.208+j2.52 \\ 0.0210+j3.31 & 0.160+j2.58 & 0.208+j2.52 & 2.47-j7.76 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \mathbf{E}_4^2 \end{pmatrix} \quad (1-5')$$

(1-3') に就いては、端子 3, 5, 7 及び 2 を消去すれば (1-6') を得る。

$$-\mathbf{I}_4^1 = -j7.07 \mathbf{E}_4^1 \quad (1-6')$$

又 (1-4) 及び (1-5') より

$$-\mathbf{I}_4^1 = (0.0169+j2.65) \mathbf{E}_1^1 + (0.117+j1.84) \mathbf{E}_6^1 + (0.147+j1.78) \mathbf{E}_8^1 + (2.56-j6.4) \mathbf{E}_4^1 \quad (1-7')$$

$$-\mathbf{I}_4^2 = (2.47-j7.76) \mathbf{E}_4^2 \quad (1-8')$$

故障状態に於ける系統電圧及び電流値は、(1-6'), (1-7') 及び (1-8') を連立方程式とし、之に故障種類に於て (1-12), (1-13) 又は (1-14) 条件式の内の一つを代入して解けば得られるが、安定度計算に必要とする正相分値のみを知るためには、次記 (1-9') 及び (1-10') を用いて係数 α を決定する方法により計算を容易にし得る。即ち (1-6'), (1-7') 及び (1-8') より、一般解に於ける故障端子 n としては本計算例では 4 端子となつてゐる故、

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{Y}_{nn}^1 &= \mathbf{Y}_{44}^1 = 2.56-j6.4 \\ \mathbf{Y}_{nn}^2 &= \mathbf{Y}_{44}^2 = 2.47-j7.76 \\ \mathbf{Y}_{nn}^{0c} &= \mathbf{Y}_{44}^{0c} = -j7.07 \end{aligned} \right\} \quad (1-9')$$

又 (1-15) に相当して下式も直ちに書く事が出来る。

$$\mathbf{E}_n^1 = \mathbf{E}_1^1 = \alpha \{ (0.0169 + j2.65) \mathbf{E}_1^1 + (0.117 + j1.84) \mathbf{E}_2^1 + (0.147 + j1.78) \mathbf{E}_3^1 \} \quad (1-10')$$

(a) **b, c 相 2 線地絡**

(1-9') 及び (1-25) より

$$\alpha_{2LG} = - \frac{1 - j21.21 Z_f}{(5.03 - j21.23) - (300.3 + j106.7) Z_f} \quad (1-11')$$

完全 2 線地絡に対しては

$$(\alpha_{2LG})_0 = -(0.0106 + j0.0447) \quad (1-12')$$

又完全 2 線短絡に対しては

$$(\alpha_{2LG})_\infty = -(0.0223 + j0.0627)$$

(b) **b, c 相 2 線短絡**

(1-9') 及び (1-30) より

$$\alpha_{2LS} = - \frac{1 + (2.47 - j7.76) Z_f}{(5.03 - j14.16) - (43.34 + j35.67) Z_f} \quad (1-13')$$

今 $Z_f = 0$ とせば

$$(\alpha_{2LS})_0 = (\alpha_{2LG})_\infty = -(0.0223 + j0.0627) \quad (1-14')$$

又 $Z_f = \infty$ は非故障状態であつて

$$(\alpha_{2LS})_\infty = -(0.054 + 0.135)$$

(c) **a 相 1 線地絡**

(1-9') 及び (1-35) より

$$\alpha_{1LG} = \frac{(2.47 - j14.83) - (164.6 + j52.39) Z_f}{(143.4 + j71.23) + (756.6 - j919.2) Z_f} \quad (1-15')$$

金属地絡に対しては

$$(\alpha_{1LG})_0 = -(0.0263 + j0.0865) \quad (1-16')$$

非故障状態に対しては

$$(\alpha_{1LG})_\infty = -(0.0540 + j0.135)$$

(d) **非故障状態**

(1-9') 及び (1-19) より, 前出と全く同じ結果を得る。

$$-\frac{1}{\mathbf{Y}_{nn}^1} = -(0.0540 + j0.135) \quad (1-17')$$

以上故障種類に応じて (1-12'), (1-14'), (1-16') 及び (1-17') を (1-10') に代入すれば, 故障点正相分電圧を得, その結果を (1-4') に代入して各発電端電流, 電力方程式, 及び有効電力計算

式が得られる事は明らかである。しかし、此の場合には各発電端内部誘起電圧絶対値が予め仮定又は実測されて居る必要があり、本例では運転条件に依つて、 $|\mathbf{E}_1^*| = 1.20$ 、 $|\mathbf{E}_2^*| = 1.08$ 、及び $|\mathbf{E}_3^*| = 1.06$ である。故障発生前定常状態の有効電力計算式は、即ち(1-17')を(1-10')に代入し、且つ結果を(1-4')に代入して下記の如くに得られる。

$$\left. \begin{aligned} P_{1n} &= 0.564 + 0.92 \sin(26^\circ + \phi_{16}) + 0.955 \sin(25^\circ 10' + \phi_{18}) \\ P_{6n} &= 0.290 + 0.92 \sin(26^\circ - \phi_{16}) + 0.547 \sin(30^\circ 20' + \phi_{68}) \\ P_{8n} &= 0.317 + 0.955 \sin(25^\circ 10' - \phi_{18}) + 0.547 \sin(30^\circ 20' - \phi_{68}) \end{aligned} \right\} \quad (1-18')$$

故障発生による各端子減少分電力は、(1-17')、(1-22)及び(1-12')、(1-14')、(1-16')の三種より、夫々下記の如くなる。

(a) **b, c 相 2 線 地 絡**

$$\left. \begin{aligned} P_{1d} &= 0.452 + 0.633 \sin(29^\circ 43' + \phi_{16}) + 0.605 \sin(30^\circ 48' + \phi_{18}) \\ P_{6d} &= 0.216 + 0.633 \sin(29^\circ 43' - \phi_{16}) + 0.377 \sin(34^\circ 4' + \phi_{68}) \\ P_{8d} &= 0.208 + 0.605 \sin(30^\circ 48' - \phi_{18}) + 0.377 \sin(34^\circ 4' - \phi_{68}) \end{aligned} \right\} \quad (1-19')$$

(b) **b, c 相 2 線 短 絡**

$$\left. \begin{aligned} P_{1d} &= 0.331 + 0.499 \sin(27^\circ 45' + \phi_{16}) + 0.477 \sin(28^\circ 50' + \phi_{18}) \\ P_{6d} &= 0.160 + 0.499 \sin(27^\circ 45' - \phi_{16}) + 0.297 \sin(32^\circ 6' + \phi_{68}) \\ P_{8d} &= 0.156 + 0.477 \sin(28^\circ 50' - \phi_{18}) + 0.297 \sin(32^\circ 6' - \phi_{68}) \end{aligned} \right\} \quad (1-20')$$

(c) **a 相 1 線 地 絡**

$$\left. \begin{aligned} P_{1d} &= 0.288 + 0.354 \sin(33^\circ 50' + \phi_{16}) + 0.338 \sin(34^\circ 55' + \phi_{18}) \\ P_{6d} &= 0.101 + 0.354 \sin(33^\circ 50' - \phi_{16}) + 0.210 \sin(38^\circ 11' + \phi_{68}) \\ P_{8d} &= 0.127 + 0.338 \sin(34^\circ 55' - \phi_{18}) + 0.210 \sin(38^\circ 11' - \phi_{68}) \end{aligned} \right\} \quad (1-21')$$

有効出力と位相角の関係式は夫々、(1-19')、(1-20')及び(1-21')の内の一と(1-18')から容易に得られる。

(a) **b, c 相 2 線 地 絡**

$$\left. \begin{aligned} P_{1f} &= 0.112 + 0.290 \sin(17^\circ 46' + \phi_{16}) + 0.357 \sin(15^\circ 36' + \phi_{18}) \\ P_{6f} &= 0.0744 + 0.290 \sin(17^\circ 46' - \phi_{16}) + 0.172 \sin(21^\circ 48' + \phi_{68}) \\ P_{8f} &= 0.156 + 0.357 \sin(15^\circ 36' - \phi_{18}) + 0.172 \sin(21^\circ 48' - \phi_{68}) \end{aligned} \right\} \quad (1-22')$$

(b) **b, c 相 2 線 短 絡**

$$\left. \begin{aligned} P_{1f} &= 0.233 + 0.421 \sin(23^\circ 52' + \phi_{16}) + 0.480 \sin(21^\circ 34' + \phi_{18}) \\ P_{6f} &= 0.130 + 0.421 \sin(23^\circ 52' - \phi_{16}) + 0.250 \sin(28^\circ 26' + \phi_{68}) \\ P_{8f} &= 0.161 + 0.480 \sin(21^\circ 34' - \phi_{18}) + 0.250 \sin(28^\circ 26' - \phi_{68}) \end{aligned} \right\} \quad (1-23')$$

(c) **a 相 1 線 地 絡**

$$\left. \begin{aligned} P_{1f} &= 0.276 + 0.570 \sin(21^\circ 6' + \phi_{16}) + 0.623 \sin(20^\circ + \phi_{18}) \\ P_{6f} &= 0.189 + 0.570 \sin(21^\circ 6' - \phi_{16}) + 0.340 \sin(25^\circ 27' + \phi_{68}) \\ P_{8f} &= 0.190 + 0.623 \sin(20^\circ - \phi_{18}) + 0.340 \sin(25^\circ 27' - \phi_{68}) \end{aligned} \right\} \quad (1-24')$$

次に故障発生直後の加速電力等の計算には、各発電端子の初期位相角を知る必要があり、この為各発電端子等の定常運転状態での測定電圧値を知つて各電流値を計算し、之より内部誘起電圧値及び位相角を試算するのが普通であるが、各内部誘起電圧絶対値が適当値に仮定出来るならば内部位相角の決定は下記の如く極めて容易である。即ち本例では位相角 ϕ_1 、 ϕ_5 及び ϕ_8 は、次記のマトリックス式 (1-25') を連立方程式として解く事によつて (1-26') の如く得られる。

$$\begin{pmatrix} 1.5+jQ_1 \\ 1.2+jQ_6 \\ 0.5+jQ_8 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -j2.59E_{1K}^1 & 0 & 0 & j1.87E_{1K}^1 & j0.72E_{1K}^1 \\ 0 & -j1.96E_{6K}^1 & 0 & j1.96E_{6K}^1 & 0 \\ 0 & 0 & -j2.36E_{8K}^1 & 0 & j2.36E_{8K}^1 \\ j1.87E_{5K}^1 & j1.96E_{5K}^1 & 0 & (2.3-j10.1)E_{5K}^1 & j6.30E_{5K}^1 \\ j0.72E_{7K}^1 & 0 & j2.36E_{7K}^1 & j6.3E_{7K}^1 & (0.9-j9.6)E_{7K}^1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} E_1^1 = 1.20 e^{j\phi_1} \\ E_6^1 = 1.08 e^{j\phi_6} \\ E_8^1 = 1.06 e^{j\phi_8} \\ E_5^1 = 1.00 \\ E_7^1 = 1.00 e^{j\phi_7} \end{pmatrix} \quad (1-25')$$

$$\left. \begin{matrix} \phi_1 = 26^\circ 10' \\ \phi_6 = 34^\circ 30' \\ \phi_8 = 12^\circ 20' \end{matrix} \right\} \quad (1-26')$$

此の結果、機械的入力より (1-22'), (1-23') 及び (1-24') の計算値を夫々差引く事により、初期加速電力を知り得る。

2 線地絡: $P_{1a} = 1.185$, $P_{6a} = 0.879$, $P_{8a} = 0.334$

2 線短連: $P_{1a} = 0.876$, $P_{6a} = 0.653$, $P_{8a} = 0.247$

1 線地連: $P_{1a} = 0.751$, $P_{6a} = 0.480$, $P_{8a} = 0.213$

VIII. 単相断線計算例

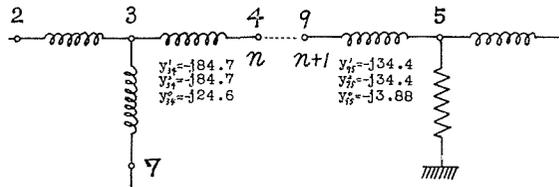


Fig. (1-3). Symbolical treatment of an opening fault at faulted terminals.

Fig. (1-3) に示す如く、開放両側端子を 4 及び 9 端子とし、其他の系統の取扱いは Fig. (1-2) の場合の如くする。但し此の場合は制動巻線なき発電機逆相分定数を用いて居り、正、逆及び零相アドミッタンスマトリックス式は従つて夫々 (1-27'), (1-28') 及び (1-29') の如く示される系統とする。

$$\begin{pmatrix} \mathbf{I}_1^1 \\ \mathbf{I}_6^1 \\ \mathbf{I}_8^1 \\ -\mathbf{I}_4^1 \\ \mathbf{I}_9^1 \\ \mathbf{I}_3^1=0 \\ \mathbf{I}_5^1=0 \\ \mathbf{I}_7^1=0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -j2.80 & 0 & 0 & 0 & 0 & j2.80 & 0 & 0 \\ 0 & -j1.96 & 0 & 0 & 0 & 0 & j1.96 & 0 \\ 0 & 0 & -j2.36 & 0 & 0 & 0 & 0 & j2.36 \\ 0 & 0 & 0 & -j84.7 & 0 & j84.7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -j34.4 & 0 & j34.4 & 0 \\ j2.80 & 0 & 0 & j84.7 & 0 & -j96.9 & 0 & j9.43 \\ 0 & j1.96 & 0 & 0 & j34.4 & 0 & 2.3-j36.4 & 0 \\ 0 & 0 & j2.36 & 0 & 0 & j9.43 & 0 & 0.9-j11.8 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{E}_1^1 \\ \mathbf{E}_6^1 \\ \mathbf{E}_8^1 \\ \mathbf{E}_4^1 \\ \mathbf{E}_9^1 \\ \mathbf{E}_3^1 \\ \mathbf{E}_5^1 \\ \mathbf{E}_7^1 \end{pmatrix} \quad (1-27')$$

$$\begin{pmatrix} \mathbf{I}_1^2 \\ \mathbf{I}_6^2 \\ \mathbf{I}_8^2 \\ -\mathbf{I}_4^2 \\ \mathbf{I}_9^2 \\ \mathbf{I}_3^2=0 \\ \mathbf{I}_5^2=0 \\ \mathbf{I}_7^2=0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -j2.32 & 0 & 0 & 0 & 0 & j2.32 & 0 & 0 \\ 0 & -j1.31 & 0 & 0 & 0 & 0 & j1.31 & 0 \\ 0 & 0 & -j1.67 & 0 & 0 & 0 & 0 & j1.67 \\ 0 & 0 & 0 & -j84.7 & 0 & j84.7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -j34.4 & 0 & j34.4 & 0 \\ j2.32 & 0 & 0 & j84.7 & 0 & -j96.5 & 0 & j9.43 \\ 0 & j1.31 & 0 & 0 & j34.4 & 0 & 2.3-j35.7 & 0 \\ 0 & 0 & j1.67 & 0 & 0 & j9.43 & 0 & 0.9-j11.1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \mathbf{E}_4^2 \\ \mathbf{E}_9^2 \\ \mathbf{E}_3^2 \\ \mathbf{E}_5^2 \\ \mathbf{E}_7^2 \end{pmatrix} \quad (1-28')$$

$$\begin{pmatrix} -\mathbf{I}_4^3 \\ \mathbf{I}_9^3 \\ \mathbf{I}_3^3=0 \\ \mathbf{I}_5^3=0 \\ \mathbf{I}_7^3=0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -j24.6 & 0 & j24.6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -j3.88 & 0 & 0 & j3.88 & 0 \\ j24.6 & 0 & -j28.3 & j1.74 & 0 & j1.92 \\ 0 & 0 & j1.74 & \infty-j1.74 & 0 & 0 \\ 0 & j3.88 & 0 & 0 & \infty-j3.88 & 0 \\ 0 & 0 & j1.92 & 0 & 0 & \infty-j1.92 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{E}_4^3 \\ \mathbf{E}_9^3 \\ \mathbf{E}_3^3 \\ \mathbf{E}_5^3 \\ \mathbf{E}_7^3 \end{pmatrix} \quad (1-29')$$

端子 3, 5, 7 及び 2 を消去して

$$\begin{pmatrix} \mathbf{I}_1^1 \\ \mathbf{I}_6^1 \\ \mathbf{I}_8^1 \\ -\mathbf{I}_4^1 \\ \mathbf{I}_9^1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.00056-j2.71 & 0 & 0.00486+j0.0588 & 0.0169+j2.65 & 0 \\ 0 & 0.00664-j1.86 & 0 & 0 & 0.117+j1.84 \\ 0.00486+j0.0588 & 0 & 0.0421-j1.85 & 0.147+j1.78 & 0 \\ 0.0169+j2.65 & 0 & 0.147+j1.78 & 0.512-j4.5 & 0 \\ 0 & 0.117+j1.84 & 0 & 0 & 2.05-j2.0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{E}_1^1 \\ \mathbf{E}_6^1 \\ \mathbf{E}_8^1 \\ \mathbf{E}_4^1 \\ \mathbf{E}_9^1 \end{pmatrix} \quad (1-30')$$

$$\begin{pmatrix} \mathbf{I}_1^2 \\ \mathbf{I}_6^2 \\ \mathbf{I}_8^2 \\ -\mathbf{I}_4^2 \\ \mathbf{I}_9^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.000443-j2.26 & 0 & 0.00326+j0.0369 & 0.0162+j2.22 & 0 \\ 0 & 0.00309-j1.26 & 0 & 0 & 0.0812+j1.26 \\ 0.00326+j0.0369 & 0 & 0.0240-j1.40 & 0.119+j1.35 & 0 \\ 0.0162+j2.22 & 0 & 0.119+j1.35 & 0.593-j3.6 & 0 \\ 0 & 0.0812+j1.26 & 0 & 0 & 2.13-j1.3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \mathbf{E}_4^2 \\ \mathbf{E}_9^2 \end{pmatrix} \quad (1-31')$$

$$\begin{pmatrix} -\mathbf{I}_4^3 \\ \mathbf{I}_9^3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -j3.2 & 0 \\ 0 & -j3.88 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{E}_4^3 \\ \mathbf{E}_9^3 \end{pmatrix} \quad (1-32')$$

(1-30'), (1-31') 及び (1-32') より

$$\left. \begin{aligned} -I_4^1 &= p + (0.512 - j4.5) E_4^1, & I_9^1 &= q + (2.05 - j2.0) E_9^1 \\ -I_4^2 &= (0.593 - j3.6) E_4^2, & I_9^2 &= (2.13 - j1.3) E_9^2 \\ -I_4^3 &= -j3.2 E_4^3, & I_9^3 &= -j3.88 E_9^3 \end{aligned} \right\} \quad (1-33')$$

$$\left. \begin{aligned} p &= (0.0169 + j2.65) E_1^1 + (0.147 + j1.78) E_3^1 \\ q &= (0.117 + j1.84) E_6^1 \end{aligned} \right\} \quad (1-34')$$

(1-33') 及び (1-34') は (1-41) から (1-48) 式に相当している故、(1-41) から (1-51) 式及び (1-52) を考慮して (1-35') を得る。

$$\left. \begin{aligned} -I_4^1 &= p + (0.52 - j4.5) E_4^1 \\ \{ &1 + (2.05 - j2.0) Z_a \} I_4^1 + (2.05 - j2.0) Z_a I_4^2 \\ &+ (2.05 - j2.0) Z_a I_4^3 = q + (2.05 - j2.0) E_4^1 \\ -I_4^2 &= (0.593 - j3.6) E_4^2 \\ (2.13 - j1.3) Z_a I_4^1 &+ \{ 1 + (2.13 - j1.3) Z_a \} I_4^2 \\ &+ (2.13 - j1.3) Z_a I_4^3 = (2.13 - j1.3) E_4^2 \\ -I_4^3 &= -j3.0 E_4^3 \\ -j3.88 Z_a I_4^1 &- j3.88 Z_a I_4^2 \\ &+ (1 - j3.88 Z_a) I_4^3 = -j3.88 E_4^3 \end{aligned} \right\} \quad (1-35')$$

(1-35') を (1-53) 乃至 (1-59) と比較する事により

$$\left. \begin{aligned} a_n^0 + Y_{nn}^0 &= -j3.2, & b_n^0 - y_{n(n+1)}^0 &= 0 \\ a_{(n+1)}^0 + Y_{(n+1)n}^0 &= 0, & b_{(n+1)}^0 + Y_{(n+1)(n+1)}^0 &= j3.88 \end{aligned} \right\} \quad (1-36')$$

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= 0.025 + j0.22, & D_2 &= 0.0448 + j0.272, & D_0 &= j0.313 \\ F_1 &= 0.25 + j0.244, & F_2 &= 0.342 + j0.208, & F_0 &= j0.258 \\ A_1 &= A_2 = A_0 = 0 \\ B_1 &= Z_a (2.05 - j2.0), & B_2 &= Z_a (2.13 - j1.3), & B_0 &= -j3.88 Z_a \end{aligned} \right\} \quad (1-37')$$

(1-36'), (1-37') 及び (1-61) より

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= 0.275 + j0.464 \\ x_2 &= 0.391 + j0.48 \\ x_0 &= j0.571 \\ y_0 &= y_1 = y_2 = Z_a \end{aligned} \right\} \quad (1-38')$$

かくて、(1-34'), (1-37') 及び (1-38') を (1-62), (1-63) 及び (1-64) に代入する事により、故障端子に於ける電流及び電圧値が得られるが、今 $Z_a = \infty$ の場合には、

$$\left. \begin{aligned} I_4^1 &= (0.23 - j0.652) E_1^1 + (0.136 - j0.454) E_3^1 + (0.298 + j0.698) E_6^1 \\ I_4^2 &= (-0.217 + j0.271) E_1^1 + (-0.141 + j0.189) E_3^1 + (-0.019 - j0.389) E_6^1 \\ I_4^3 &= (-0.011 + j0.379) E_1^1 + (0.017 + j0.265) E_3^1 + (-0.278 - j0.311) E_6^1 \end{aligned} \right\} \quad (1-39')$$

$$\left. \begin{aligned} \beta_f &= -(0.0381 + j0.164), & \gamma_f &= -(0.0397 + j0.0818) \\ \delta_f &= -(0.0397 + j0.0823), & \epsilon_f &= -(0.0670 + j0.051) \end{aligned} \right\} \quad (1-40')$$

又 $Z_a=0$ の場合に対しては

$$\beta_n = \gamma_n = \delta_n = \kappa_n = -(0.0529 + j0.133) \tag{1-41'}$$

又故障点正相分電圧は $Z_a = \infty$ にては (1-63), (1-64), (1-34') 及び (1-40') より

$$\begin{aligned} E_1^1 &= (0.433 - j0.104) E_1^1 + (0.286 - j0.091) E_3^1 + (0.145 - j0.0827) E_6^1 \\ E_3^1 &= (0.216 - j0.106) E_1^1 + (0.139 - j0.0814) E_3^1 + (0.324 - j0.243) E_6^1 \end{aligned} \tag{1-42'}$$

単相開放による加速電力は, (1-40'), (1-41') 及び (1-30') の数値を (1-69) に代入して得られる。又単相開放時の各発電端子に於ける有効分出力計算式は (1-30'), (1-40') 及び (1-68) から求められ, 下記の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} P_{1f} &= 0.410 + 1.08 \sin(17^\circ 10' + \phi_{1s}) + 0.575 \sin(30^\circ + \phi_{16}) \\ P_{6f} &= 0.575 + 0.575 \sin(30^\circ + \phi_{16}) + 0.342 \sin(34^\circ + \phi_{6s}) \\ P_{sf} &= 0.277 + 1.08 \sin(17^\circ 10' - \phi_{1s}) + 0.342 \sin(34^\circ - \phi_{6s}) \end{aligned} \right\} \tag{1-43'}$$

開放直後の加速電力分は下記の如くである。

$$P_{1a} = 0.268, \quad P_{6a} = 0.039, \quad P_{sa} = 0.174$$

第二章 減少分出力式を用いた等面積法

2機系統の安定度判定に用いられる等面積法は, 前記故障種類表示の係数 α を用い容易に算出出来る減少分出力電力計算式即ち加速分電力計算式と, 故障前出力計算式を用いても適用可能である。又並行2回線に於ける1回線遮断は, 遮断された部分の短絡伝達アドミッタンス分を零と置けば計算を容易にする事が出来る。

I. 並行2回線の故障計算及び故障回線遮断

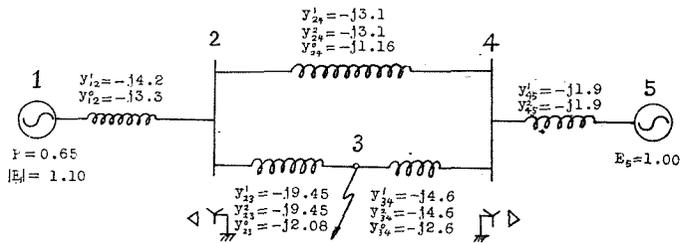


Fig. (2-1). Admittance diagram of a system consisting of a generator 1 supplying power over a double-circuit transmission line to a large metropolitan system 5.

100 MVA を基準として与へられた Fig. (2-1) 系統のアドミッタンス表示式は

$$\begin{pmatrix} I_1^1 \\ I_5^1 \\ -I_3^1 \\ I_2^1 = 0 \\ I_4^1 = 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11}^1 & 0 & 0 & -y_{12}^1 & 0 \\ 0 & Y_{55}^1 & 0 & 0 & -y_{54}^1 \\ 0 & 0 & Y_{33}^1 & -y_{32}^1 & -y_{34}^1 \\ -y_{12}^1 & 0 & -y_{32}^1 & Y_{22}^1 & -y_{24}^1 \\ 0 & -y_{45}^1 & -y_{34}^1 & -y_{24}^1 & Y_{44}^1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1^1 \\ E_5^1 \\ E_3^1 \\ E_2^1 \\ E_4^1 \end{pmatrix} \tag{2-1}$$

$$\begin{pmatrix} I_1^2 \\ I_5^2 \\ -I_3^2 \\ I_2^2=0 \\ I_4^2=0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11}^2 & 0 & 0 & -y_{12}^2 & 0 \\ 0 & Y_{55}^2 & 0 & 0 & -y_{54}^2 \\ 0 & 0 & Y_{33}^2 & -y_{32}^2 & -y_{34}^2 \\ -y_{12}^2 & 0 & -y_{32}^2 & Y_{22}^2 & -y_{24}^2 \\ 0 & -y_{15}^2 & -y_{34}^2 & -y_{24}^2 & Y_{44}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ E_3^2 \\ E_2^2 \\ E_4^2 \end{pmatrix} \quad (2-2)$$

$$\begin{pmatrix} -I_3^0 \\ I_2^0=0 \\ I_4^0=0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{33}^0 & -y_{32}^0 & -y_{34}^0 \\ -y_{32}^0 & Y_{22}^0 & -y_{24}^0 \\ -y_{34}^0 & -y_{24}^0 & Y_{44}^0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_3^0 \\ E_2^0 \\ E_4^0 \end{pmatrix} \quad (2-3)$$

$$\left. \begin{aligned} Y_{33}^1 &= y_{23}^1 + y_{34}^1, & Y_{33}^2 &= y_{23}^2 + y_{34}^2 \\ Y_{22}^1 &= (y_{12}^1 + y_{24}^1) + y_{23}^1, & Y_{22}^2 &= (y_{12}^2 + y_{24}^2) + y_{23}^2 \\ Y_{44}^1 &= (y_{15}^1 + y_{24}^1) + y_{34}^1, & Y_{44}^2 &= (y_{15}^2 + y_{24}^2) + y_{34}^2 \end{aligned} \right\} \quad (2-4)$$

短絡マトリックスを用いて、(2-1)を簡略にすれば

$$\begin{pmatrix} I_1^1 \\ I_5^1 \\ -I_3^1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1^1 & B_1^1 & C_1^1 \\ A_5^1 & B_5^1 & C_5^1 \\ A_3^1 & B_3^1 & C_3^1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1^1 \\ E_5^1 \\ E_3^1 \end{pmatrix} \quad (2-5)$$

此處で

$$\left. \begin{aligned} Z_{44}^1 &= 1/Y_{44}^1, & \delta^1 &= 1/\{Y_{22}^1 - (y_{24}^1)^2 Z_{44}^1\}, & A_1^1 &= Y_{11}^1 - (y_{12}^1)^2 \delta^1 \\ B_1^1 &= -y_{12}^1 y_{23}^1 y_{45}^1 Z_{44}^1 \delta^1, & C_1^1 &= -y_{12}^1 (y_{32}^1 + y_{23}^1 y_{34}^1 Z_{44}^1) \delta^1 \\ B_5^1 &= Y_{55}^1 - (y_{15}^1)^2 Z_{44}^1 - (y_{23}^1 y_{45}^1 Z_{44}^1)^2 \delta^1 \\ C_5^1 &= -y_{15}^1 Z_{44}^1 \{y_{34}^1 + y_{24}^1 Z_{44}^1 \delta^1 (y_{32}^1 + y_{34}^1 y_{24}^1 Z_{44}^1)\} \\ C_3^1 &= Y_{33}^1 - (y_{34}^1)^2 Z_{44}^1 - (y_{23}^1 + y_{34}^1 y_{24}^1 Z_{44}^1)^2 \delta^1 \\ A_5^1 &= B_1^1, & A_3^1 &= C_1^1, & B_3^1 &= C_5^1 \end{aligned} \right\} \quad (2-6)$$

(2-2)に就いても同様に

$$\begin{pmatrix} I_1^2 \\ I_5^2 \\ -I_3^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1^2 & B_1^2 & C_1^2 \\ A_5^2 & B_5^2 & C_5^2 \\ A_3^2 & B_3^2 & C_3^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ E_3^2 \end{pmatrix} \quad (2-7)$$

(2-7)の各要素は逆相分値を用い(2-6)と同様の形となる。又(2-3)は(2-8)となるが、直接接地であれば(2-9)と置く事が出来る。

$$-I_3^0 = Y_{33}^0 E_3^0 \quad (2-8)$$

$$Y_{33}^{0c} = Y_{33}^0 \quad (2-9)$$

かくて(2-5), (2-6), (2-7), (2-8)及び(2-9)より

$$\left. \begin{aligned} -I_5^1 &= A_5^1 E_1^1 + B_5^1 E_5^1 + C_5^1 E_3^1 \\ -I_3^1 &= C_3^1 E_3^1, & -I_3^2 &= Y_{33}^0 E_3^0 \end{aligned} \right\} \quad (2-10)$$

故障計算は(1-12), (1-13), (1-14)及び(2-10)により可能となるが、第一章に述べた係数 α を用いると簡略となる。又故障回線開放に対しては(2-11)が成立ち、

$$Y_{33}^1 = y_{23}^1 = y_{34}^1 = 0 \quad (2-11)$$

(2-11), (2-5) 及び (2-6) より

$$\left. \begin{aligned} A_1^1 &= Y_{11}^1 - (y_{12}^1)^2 \delta^1, & B_1^1 &= -y_{12}^1 y_{23}^1 y_{35}^1 Z_{44}^1 \delta^1, & A_5^1 &= B_1^1 \\ B_5^1 &= Y_{55}^1 - (y_{45}^1)^2 Z_{44}^1 - (y_{23}^1 y_{35}^1 Z_{44}^1)^2 \delta^1, & C_1^1 &= C_5^1 = A_3^1 = B_3^1 = C_3^1 = 0 \\ Y_{44}^1 &= y_{24}^1 + y_{45}^1, & \delta^1 &= (y_{12}^1 + y_{45}^1) / (y_{12}^1 y_{24}^1 + y_{12}^1 y_{45}^1 + y_{23}^1 y_{45}^1) \end{aligned} \right\} \quad (2-12)$$

Fig. (2-1) の諸定数を (2-4) より (2-8) に代入して (2-13), (2-14) を得、更に之等より (2-15) 及び (2-16) を得る。

$$\begin{pmatrix} I_1^1 \\ I_5^1 \\ -I_3^1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -j3.08 & j0.163 & j2.92 \\ j0.163 & -j1.50 & j1.34 \\ j2.92 & j1.34 & -j4.26 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1^1 \\ E_5^1 \\ E_3^1 \end{pmatrix} \quad (2-13)$$

$$\begin{pmatrix} I_1^2 \\ I_5^2 \\ -I_3^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -j2.57 & j0.136 & j2.43 \\ j0.136 & -j1.5 & j1.36 \\ j2.43 & j1.36 & -j3.77 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ E_3^2 \end{pmatrix} \quad (2-14)$$

$$\left. \begin{aligned} -I_3^1 &= j2.92 E_1^1 + j1.34 E_5^1 - j4.26 E_3^1 \\ -I_3^2 &= -j4.68 E_3^2, & -I_3^2 &= -j3.77 E_3^2 \end{aligned} \right\} \quad (2-15)$$

$$E_3^1 = \alpha (j2.92 E_1^1 + j1.34 E_5^1) \quad (2-16)$$

(a) α 相 1 線地絡

$$\alpha_{1LG} = - \frac{C_3^2 + Y_{33}^0 + 3C_3^2 Y_{33}^2 Z_f}{C_3^1 C_3^2 + Y_{33}^0 (C_3^1 + C_3^2 + 3C_3^1 C_3^2 Z_f)}$$

若し

$$Z_f = 0, \quad (\alpha_{1LG})_0 = -j0.158 \quad (2-17)$$

又

$$Z_f = \infty, \quad (\alpha_{1LG})_\infty = -\frac{1}{C_3^1} = -j0.235 \quad (2-18)$$

減少分の出力計算式は (1-22), (2-12), (2-16) 及び (2-17) より

$$(P_1 + jQ_1)_d = -j2.92 (j0.235 - j0.158) (j2.92 E_1^1 + j1.34 E_5^1)$$

有効分として

$$P_{1d} = 0.332 \sin \phi_{15} \quad (2-19)$$

(b) 非故障状態

(2-13), (2-16) 及び (2-18) より

$$P_{1n} = 1.083 |E_1^1| \sin \phi_{15} = 1.19 \sin \phi_{15} \quad (2-20)$$

(c) b, c 相 2 線短絡

$$\alpha_{2LS} = - \frac{1 + C_3^2 Z_f}{C_3^1 + C_3^2 + C_3^1 C_3^2 Z_f}$$

$Z_f = 0$ ならば

$$(\alpha_{2LS})_0 = -j0.124 \quad (2-21)$$

減少分電力計算式として

$$(P_1 + jQ_1)_d = -j2.92(j0.235 - j0.124)(j2.92 E_1^+ + j1.34 E_3^+)$$

有効分は

$$P_{d1} = 0.478 \sin \phi_{15} \tag{2-22}$$

(d) *b, c* 相 2 線地絡

$$\alpha_{2LG} = - \frac{1 + 3Y_{33}^0 Z_f}{C_3^1 + C_3^2 + Y_{33}^0 + 3Y_{33}^0 (C_1^1 + C_3^1) Z_f}$$

$Z_f = 0$ ならば

$$(\alpha_{2LG})_0 = -j0.0785 \tag{2-23}$$

故に

$$(P_1 + jQ_1)_d = -2.92(j0.235 - j0.0785)(j2.92 E_1^+ + j1.34 E_3^+)$$

$$P_{1d} = 0.675 \sin \phi_{15} \tag{2-24}$$

(2-19), (2-22) 及び (2-24) と (2-20) より, 故障時の発電端子有効分出力は (2-25) となる。

$$\left. \begin{aligned} 1 \text{ 線地絡: } P_{1f} &= 0.858 \sin \phi_{15} \\ 2 \text{ 線地絡: } P_{1f} &= 0.712 \sin \phi_{15} \\ 2 \text{ 線地絡: } P_{1f} &= 0.515 \sin \phi_{15} \end{aligned} \right\} \tag{2-25}$$

故障回線を端子 2 及び 4 にて開放した場合

$$\left. \begin{aligned} Y_{44}^1 &= -j5.0, \quad \delta^1 = j0.185 \\ \begin{pmatrix} I_1^1 \\ I_3^1 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} -j0.94 & j0.913 \\ j0.913 & -j1.18 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1^1 \\ E_3^1 \end{pmatrix} \end{aligned} \right\} \tag{2-26}$$

出力及びその有効分は夫々

$$\begin{aligned} (P_1 + jQ_1)_{(C)} &= -j0.94 |E_1^1|^2 \\ &\quad + j0.913 E_3^1 E_{1K}^1 \\ P_{1(C)} &= 1.005 \sin \phi_{15} \end{aligned} \tag{2-27}$$

出力電力の減少分としては

$$P_{1d(C)} = 0.185 \sin \phi_{15} \tag{2-28}$$

II. 等面積法

1 線地絡故障時, 故障前出力及び故障による減少分出力と位相角との関係は, (2-20) 及び (2-19) より夫々 Fig. (2-2) の *A* 及び *D* 曲線で示される。減少分出力は系統より発電機への等価入力と考へ得るので, 曲線 *D* は一定機械的入力 P_i の上加へられ *B* 曲線となる。かくすれば *B* は発電機への故障時

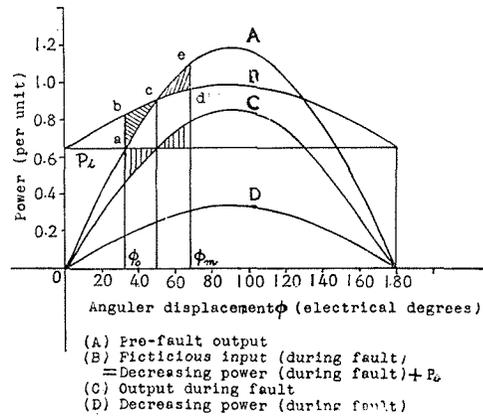


Fig. (2-2) The equal-area criterion applied to a sustained one-line-to-ground fault on power system of Fig. (2-1). The generator swings from the initial angle ϕ_0 to the maximum angle ϕ_m determined by equality of area *abc* and *cde*. The system is stable when transmitting power P_i .

の仮想的全入力であり、又 A は全出力である
と見做し得る。故障発生により動作点は a より
 b に上昇し、過剰電力部分は動作点を b から c
へと入力線上を移動せしめる。 c にて加速電力
部分は零となるが、位相角 ϕ は増加を続け、過
剰電力は負符号となり減速作用を呈し、面積
 abc が面積 cde に等しい角度 ϕ_m に至つて位相
角は減少を開始する。即ち

$$\int_{\phi_0}^{\phi_m} \{ (0.65 + 0.332 \sin \phi) - 1.19 \sin \phi \} d\phi = 0 \quad (2-29)$$

比較のため、故障時出力を用いている場合
も図示してあるが、勿論結果は一致する。しか
し前者は電力式計算がやや簡略で済む。

同様に 2 線地絡故障発生に対して、1 回線
遮断の場合を Fig. (2-3) に図示してあるが、此の場合 (2-20) に示す故障前出力の曲線 C 、(2-
24) と機械入力 0.65 の和である仮想的全入力曲線 A 、及び故障回線遮断後の仮相入力 B の 3 曲
線が必要である。故障発生により動作点は abc と移動するが、今 C 点にて遮断が行なはれた
とせば、動作点は B 曲線上に移動し、 ϕ_m は面積 $A = abcd$ と面積 $B = defg$ の等しい条件に依
り決定し得る。

$$\int_{\phi_0}^{\phi_s} \{ (0.65 + 0.675 \sin \phi) - 1.19 \sin \phi \} d\phi = \int_{\phi_s}^{\phi_m} \{ 1.19 \sin \phi - (0.65 + 0.185 \sin \phi) \} d\phi \quad (2-30)$$

第三章 逆相分制動電力

I. 多機系に於ける逆相分制動電力計算法

一般に不平衡故障は逆相分 $m. m. f.$ に依るトルクを生じ、之は回転子を減速せしめる作用
を働く。制動巻線を有する同期機に於いては、この逆相分制動の計算に誘導機としての取扱い
が可能であり、励磁電流を省略すれば、逆相分の電機子電流と回転子電流はほぼ同一と見做さ
れる。

又逆相分回転子銅損の半は、故障系統端子より供給され、速度がほぼ一定と見做し得る場
合には之が逆相分の制動トルクとして作用する。回転子抵抗の半値は、発電機逆相分抵抗 r^2
と正相分抵抗 r^1 の差にほぼ等しい故、不平衡故障発生に依る逆相分端子電流を予め計算する
事により、逆相分制動電力の近似的計算が可能となる。この制動電力は、発電機への機械的入
力トルク又は電力を減少せしめるもの故、見方を変えれば、仮想的出力とする事が出来る。

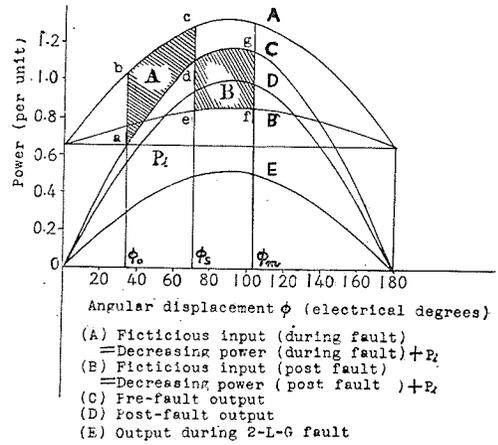


Fig. (2-3). The equal-area criterion applied to a two-line-to-ground fault on the power system of Fig. (2-1) for the fault cleared at angle ϕ_s . The figure is also usable for determination of critical clearing angle.

今各発電端の逆相分電流を, $I_1^2, I_2^2, \dots, I_{(n-1)}^2$ とし, 又逆相分制動電力を夫々 $(P_1^2)_b, (P_2^2)_b, \dots, (P_{(n-1)}^2)_b$ とすれば, (3-1) のマトリックス式が得られる。

$$\begin{pmatrix} (P_1^2)_b \\ (P_2^2)_b \\ (P_3^2)_b \\ \vdots \\ (P_{(n-1)}^2)_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_1^2 - r_1^1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & r_2^2 - r_2^1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & r_3^2 - r_3^1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & r_{(n-1)}^2 - r_{(n-1)}^1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1^2 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & I_2^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & I_3^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & I_{(n-1)}^2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} I_{1K}^2 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & I_{2K}^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & I_{3K}^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & I_{(n-1)K}^2 \end{pmatrix} \quad (3-1)$$

此処で

$r_1^2, r_2^2, \dots, r_{(n-1)}^2 =$ 各発電機の逆相分抵抗

$r_1^1, r_2^1, \dots, r_{(n-1)}^1 =$ 各発電機の正相分抵抗

$I_{1K}^2, I_{2K}^2, \dots, I_{(n-1)K}^2 =$ 各発電端逆相分ベクトル電流の共軛値

(1-2) より

$$\left. \begin{aligned} I_1^2 &= -y_{1n}^2 E_n^2 \\ I_2^2 &= -y_{2n}^2 E_n^2 \\ I_3^2 &= -y_{3n}^2 E_n^2 \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ I_{(n-1)}^2 &= -y_{(n-1)n}^2 E_n^2 \end{aligned} \right\} \quad (3-2)$$

上式中, E_n^2 は故障端子 n の逆相分電圧であつて, 一般に (3-3) を以て表わされる事は, 第一章に述べた正相分電圧の場合に類似している。

$$E_n^2 = a^2 (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - y_{n3}^1 E_3^1 - \dots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) \quad (3-3)$$

係数 a^2 は, 故障種類を示し, 故障条件より計算し得るものであつて, 故障インピーダンス Z_f を含めて下記の如くなる。

(a) b, c 相 2 線地絡

(1-12), (1-23) 及び (1-24) より

$$E_n^2 = E_n^1 = - \frac{1 + 3Z_f Y_{nn}^{0e}}{(Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2 + Y_{nn}^{0e}) + 3Z_f Y_{nn}^{0e} (Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2)} (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - y_{n3}^1 E_3^1 - \dots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) \quad (3-4)$$

(3-3) と比較すれば

$$\alpha_{2LG}^2 = - \frac{1 + 3Z_f Y_{nn}^{0e}}{(Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2 + Y_{nn}^{0e}) + 3Z_f Y_{nn}^{0e} (Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2)} \quad (3-5)$$

$$Z_f = 0: (\alpha_{2LG}^2)_0 = -\frac{1}{Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2 + Y_{nn}^{0e}} \quad (3-6)$$

$$Z_f = \infty: (\alpha_{2LG}^2)_\infty = -\frac{1}{Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2} \quad (3-7)$$

(b) *b, c* 相 2 線 短 絡

(1-13), (1-28) 及 び (1-29) よ り

$$E_n^2 = -\frac{1}{(Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2) + Z_f Y_{nn}^1 Y_{nn}^2} (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - \cdots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) \quad (3-8)$$

故 に

$$\alpha_{2LS}^2 = -\frac{1}{(Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2) + Z_f Y_{nn}^1 Y_{nn}^2} \quad (3-9)$$

$$Z_f = 0: (\alpha_{2LS}^2)_0 = -\frac{1}{Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2} \quad (3-10)$$

$$Z_f = \infty: (\alpha_{2LS}^2)_\infty = 0 \quad (3-11)$$

(c) *a* 相 1 線 地 絡

(1-14), (1-33) 及 び (1-34) よ り

$$E_n^2 = \frac{Y_{nn}^{0e}}{Y_{nn}^1 Y_{nn}^2 + Y_{nn}^1 Y_{nn}^{0e} + Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0e} + 3Z_f Y_{nn}^1 Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0e}} \times (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - \cdots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) \quad (3-12)$$

即 ち

$$\alpha_{1LG}^2 = \frac{Y_{nn}^{0e}}{Y_{nn}^1 Y_{nn}^2 + Y_{nn}^1 Y_{nn}^{0e} + Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0e} + 3Z_f Y_{nn}^1 Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0e}} \quad (3-13)$$

$$Z_f = 0: (\alpha_{1LG}^2)_0 = \frac{Y_{nn}^{0e}}{Y_{nn}^1 Y_{nn}^2 + Y_{nn}^1 Y_{nn}^{0e} + Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0e}} \quad (3-14)$$

$$Z_f = \infty: (\alpha_{1LG}^2)_\infty = 0 \quad (3-15)$$

かくて、(3-6), (3-10) 又 は (3-14) の 何 れ か 一 つ を (3-2) に 代 入 す る 事 に よ り、 $Z_f = 0$ の 時 の 各 発 電 端 逆 相 分 電 流 を、夫 々 の 故 障 状 態 に 対 し て 求 め 得 る。

$$\left. \begin{aligned} I_1^2 &= -y_{n1}^1 \alpha^2 (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - y_{n3}^1 E_3^1 - \cdots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) \\ &= H_{11}^2 E_1^1 + G_{12}^2 E_2^1 + G_{13}^2 E_3^1 + \cdots + G_{1(n-1)}^2 E_{(n-1)}^1 \\ I_2^2 &= -y_{n2}^1 \alpha^2 (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - y_{n3}^1 E_3^1 - \cdots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) \\ &= G_{21}^1 E_1^1 + H_{22}^2 E_2^1 + G_{23}^2 E_3^1 + \cdots + G_{2(n-1)}^2 E_{(n-1)}^1 \\ &\quad \cdots \cdots \cdots \\ &\quad \cdots \cdots \cdots \\ I_{(n-1)}^2 &= -y_{n(n-1)}^1 \alpha^2 (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - y_{n3}^1 E_3^1 - \cdots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) \\ &= G_{(n-1)1}^2 E_1^1 + G_{(n-1)2}^2 E_2^1 + G_{(n-1)3}^2 E_3^1 + \cdots + H_{(n-1) n-1}^2 E_{(n-1)}^1 \end{aligned} \right\} \quad (3-16)$$

此 處 で

$$\left. \begin{aligned}
 \mathbf{H}_{11}^2 &= \mathbf{y}_{1n}^2 \mathbf{y}_{n1}^1 \alpha^2, & \mathbf{G}_{12}^2 &= \mathbf{y}_{1n}^2 \mathbf{y}_{n2}^1 \alpha^2 \\
 \mathbf{H}_{22}^2 &= \mathbf{y}_{2n}^2 \mathbf{y}_{n2}^1 \alpha^2, & \mathbf{G}_{13}^2 &= \mathbf{y}_{1n}^2 \mathbf{y}_{n3}^1 \alpha^2 \\
 \dots & & \dots & \\
 \dots & & \dots & \\
 \dots & & \dots & \\
 \mathbf{H}_{(n-1)(n-1)}^2 &= \mathbf{y}_{(n-1)n}^2 \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \alpha^2, & \mathbf{G}_{21}^2 &= \mathbf{y}_{2n}^2 \mathbf{y}_{n1}^1 \alpha^2 \\
 & & \dots & \\
 & & \dots &
 \end{aligned} \right\} \quad (3-17)$$

逆相分電流共軛値は (3-16) 及び (3-17) より得られ、又各発電機の正、逆相分抵抗は実測可能である故、上記諸量を (3-1) に代入整理する事に依り、各機に働く逆相分制動電力計算式を容易に (3-18) の如く得る事が出来る。

$$\left. \begin{aligned}
 (P_i^2)_b &= (r_i^2 - r_i^1) (\mathbf{H}_{11}^2 \mathbf{E}_1^1 + \mathbf{G}_{12}^2 \mathbf{E}_2^1 + \dots + \mathbf{G}_{1(n-1)}^2 \mathbf{E}_{(n-1)}^1) \\
 &\quad \times (\mathbf{H}_{11}^2 \mathbf{E}_1^1 + \mathbf{G}_{12}^2 \mathbf{E}_2^1 + \dots + \mathbf{G}_{1(n-1)}^2 \mathbf{E}_{(n-1)}^1)_{\mathcal{R}} \\
 &= (r_i^2 - r_i^1) [\{ |\mathbf{H}_{11}^2 \mathbf{E}_1^1|^2 + |\mathbf{G}_{12}^2 \mathbf{E}_2^1|^2 + \dots + |\mathbf{G}_{1(n-1)}^2 \mathbf{E}_{(n-1)}^1|^2 \} \\
 &\quad + 2 |\mathbf{H}_{11}^2 \mathbf{G}_{12}^2 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_2^1| \sin(90^\circ - \theta_{11} + \theta_{12} - \phi_{12}) \\
 &\quad + 2 |\mathbf{H}_{11}^2 \mathbf{G}_{13}^2 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_3^1| \sin(90^\circ - \theta_{11} + \theta_{13} - \phi_{13}) \\
 &\quad + \dots \\
 &\quad + 2 |\mathbf{G}_{1(n-2)}^2 \mathbf{G}_{1(n-1)}^2 \mathbf{E}_{(n-2)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1| \sin(90^\circ - \theta_{1(n-2)} + \theta_{1(n-1)} - \phi_{(n-2)(n-1)}) \\
 &\quad \dots \\
 &\quad \dots \\
 &\quad \dots] \\
 (P_{(n-1)}^2)_b &= (r_{(n-1)}^2 + r_{(n-1)}^1) (\mathbf{G}_{(n-1)1}^2 \mathbf{E}_1^1 + \mathbf{G}_{(n-1)2}^2 \mathbf{E}_2^1 + \dots + \mathbf{H}_{(n-1)(n-1)}^2 \mathbf{E}_{(n-1)}^1) \\
 &\quad \times (\mathbf{G}_{(n-1)1}^2 \mathbf{E}_1^1 + \mathbf{G}_{(n-1)2}^2 \mathbf{E}_2^1 + \dots + \mathbf{H}_{(n-1)(n-1)}^2 \mathbf{E}_{(n-1)}^1)_{\mathcal{R}} \\
 &= (r_{(n-1)}^2 + r_{(n-1)}^1) [\{ |\mathbf{G}_{(n-1)1}^2 \mathbf{E}_1^1|^2 + |\mathbf{G}_{(n-1)2}^2 \mathbf{E}_2^1|^2 \\
 &\quad + \dots + |\mathbf{H}_{(n-1)(n-1)}^2 \mathbf{E}_{(n-1)}^1|^2 \} \\
 &\quad + 2 |\mathbf{G}_{(n-1)1}^2 \mathbf{G}_{(n-1)2}^2 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_2^1| \sin(90^\circ - \theta_{(n-1)1} + \theta_{(n-1)2} - \phi_{12}) \\
 &\quad + 2 |\mathbf{G}_{(n-1)1}^2 \mathbf{G}_{(n-1)3}^2 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_3^1| \sin(90^\circ - \theta_{(n-1)1} + \theta_{(n-1)3} - \phi_{13}) \\
 &\quad + \dots \\
 &\quad + 2 |\mathbf{G}_{(n-1)(n-2)}^2 \mathbf{H}_{(n-1)(n-1)}^2 \mathbf{E}_{(n-2)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1| \sin(90^\circ - \theta_{(n-1)(n-2)} \\
 &\quad \quad + \theta_{(n-1)(n-1)} - \phi_{(n-2)(n-1)})]
 \end{aligned} \right\} \quad (3-18)$$

此處で

θ_{ii} = アドミッタンス H_{ii} の角

θ_{ik} = アドミッタンス G_{ik} の角

ϕ_{ik} = 内部電圧 \mathbf{E}_i^1 と \mathbf{E}_k^1 との位相角差

上式は各機の位相角差の函数としての逆相分制動電力を示して居るが、故障時系統への電氣的出力とも見做されるので、系統安定度計算に於いては、夫々の故障状態に於ける端子出力方程式に予め加算されるか、又は故障発生による減少分電力即ち加速電力の計算式により差引

かれるべきものである。

II. 高抵抗制動巻線を有する発電機群に於ける 逆相分制動電力の計算例

本例に用いられる系統は第一章に用いたものと同様であるが、此の場合には100 MVA 基準で示される各発電機の逆相分アドミッタンスは、高抵抗制動巻線追加のために前例と異なつた定数を有するものとする。

又便宜上正相分抵抗を無視するものとするれば、正相分及び零相分のマトリックス要素は(1-4)及び(1-6)と同様であり、再記すれば下記の如くである。

$$\begin{pmatrix} I_1^1 \\ I_6^1 \\ I_8^1 \\ -I_4^1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.00056-j2.71 & 0 & 0.00486+j0.0588 & 0.0169+j2.65 \\ 0 & 0.00664-j1.86 & 0 & 0.117+j1.84 \\ 0.00486+j0.0588 & 0 & 0.0421-j1.85 & 0.147+j1.78 \\ 0.0169+j2.65 & 0.117+j1.84 & 0.147+j1.78 & 2.56-j6.4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1^1 \\ E_6^1 \\ E_8^1 \\ E_4^1 \end{pmatrix} \quad (3-1)$$

$$-I_4^0 = -j7.07 E_4^0 \quad (3-2)$$

各機の逆相分アドミッタンス定数を(3-3)の如く置けば、逆相分マトリックス式は(3-4)の如く示される。

$$\left. \begin{array}{l} \text{端子 1 機} \cdots \cdots y_{12}^2 = 2.68-j4.46 \\ \text{端子 6 機} \cdots \cdots y_{66}^2 = 1.23-j2.06 \\ \text{端子 8 機} \cdots \cdots y_{78}^2 = 1.49-j2.49 \end{array} \right\} \quad (3-3)$$

$$\begin{pmatrix} I_1^2 \\ I_6^2 \\ I_8^2 \\ -I_4^2 \\ I_3^2 \\ I_5^2 \\ I_7^2 \\ I_2^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.68-j4.46 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & * \\ 0 & 1.23-j2.06 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.23+j2.06 & \\ 0 & 0 & 1.49-j2.49 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & -j119 & j84.7 & j34.4 & 0 & \\ 0 & 0 & 0 & j84.7 & -j102.4 & 0 & 0 & \\ 0 & -1.23+j2.06 & 0 & j34.4 & 0 & 3.53-j36.46 & 0 & \\ 0 & 0 & -1.49+j2.49 & 0 & j9.43 & 0 & 0 & \\ -2.68+j4.46 & 0 & 0 & 0 & 0 & j8.30 & 0 & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ E_4^2 \\ E_3^2 \\ E_5^2 \\ E_7^2 \\ E_2^2 \end{pmatrix} \quad (3-4)$$

上式を簡略して

$$\begin{pmatrix} \mathbf{I}_1^2 \\ \mathbf{I}_6^2 \\ \mathbf{I}_8^2 \\ -\mathbf{I}_4^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.197-j3.033 & 0 & -0.05006+j0.0661 & -0.942+j2.97 \\ 0 & 1.10-j1.97 & 0 & -0.9625+j2.03 \\ -0.05006+j0.0661 & 0 & 0.921-j2.003 & -0.653+j2.02 \\ -0.942+j2.97 & -0.9625+j2.03 & -0.653+j2.02 & 5.346-j7.26 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \mathbf{E}_4^2 \end{pmatrix} \quad (3-5')$$

故に (3-1'), (3-2') 及び (3-5') より

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{Y}_{nn}^1 &= \mathbf{Y}_{41}^1 = 2.56-j6.4, & \mathbf{Y}_{nn}^2 &= \mathbf{Y}_{44}^2 = 5.346-j7.26, \\ \mathbf{Y}_{nn}^0 &= \mathbf{Y}_{44}^0 = -j7.07 \end{aligned} \right\} \quad (3-6')$$

(3-1') を (3-3) に比較して

$$\mathbf{E}_4^2 = \alpha^2 \{ (0.0169+j2.65) \mathbf{E}_1^1 + (0.117+j1.84) \mathbf{E}_6^1 + (0.147+j1.78) \mathbf{E}_8^1 \} \quad (3-7')$$

係数 α^2 の値は, (3-5) から (3-15) 及び (3-6') から決定出来る。

(a) *bc* 相 2 線 地 絡

$$\alpha_{2LG}^2 = - \frac{1-j21.21 \mathbf{Z}_f}{(7.91-j20.7)-(290+j168) \mathbf{Z}_f} \quad (3-8')$$

$$\mathbf{Z}_f = 0: (\alpha_{2LG}^2)_0 = -(0.0160+j0.0422) \quad (3-9')$$

$$\mathbf{Z}_f = \infty: (\alpha_{2LG}^2)_\infty = -(0.0318+j0.0548) \quad (3-10')$$

(b) *bc* 相 2 線 短 絡

$$\alpha_{2LS}^2 = - \frac{1}{(7.91-j13.7)-(32.7+j52.8) \mathbf{Z}_f} \quad (3-14')$$

$$\mathbf{Z}_f = 0: (\alpha_{2LS}^2)_0 = -(0.0318+j0.0548) \quad (3-12')$$

$$\mathbf{Z}_f = \infty: (\alpha_{2LS}^2)_\infty = 0 \quad (3-13')$$

(c) *a* 相 1 線 地 絡

$$\alpha_{1LG}^2 = \frac{j7.07}{(129+j108)+(1120-j696) \mathbf{Z}_f} \quad (3-14)$$

$$\mathbf{Z}_f = 0: (\alpha_{1LG}^2)_0 = (0.0269+j0.0323) \quad (3-15')$$

$$\mathbf{Z}_f = \infty: (\alpha_{1LG}^2)_\infty = 0 \quad (3-16')$$

かくて各端子逆相分電流は (3-2), (3-5'), (3-7') 及び (3-8') より (3-16') によつて求められる。即ち, 今 $\mathbf{Z}_f=0$ であつて, 且つ各発電機内部電圧は故障発生直前の値に維持せられているものとせば, 下記の如く計算せられる。

(a) *bc* 相 2 線 地 絡

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{I}_1^2 &= (0.0275+j0.446) \varepsilon^{j\phi_1} + (0.0331+j0.278) \varepsilon^{j\phi_6} + (0.0366+j0.264) \varepsilon^{j\phi_8} \\ \mathbf{I}_6^2 &= (-0.0237+j0.322) \varepsilon^{j\phi_1} + (-0.00331+j0.202) \varepsilon^{j\phi_6} + (0.00052+j0.193) \varepsilon^{j\phi_8} \\ \mathbf{I}_8^2 &= (0.0217+j0.316) \varepsilon^{j\phi_1} + (0.0248+j0.197) \varepsilon^{j\phi_6} + (0.0272+j0.187) \varepsilon^{j\phi_8} \end{aligned} \right\} \quad (3-17')$$

(b) *bc* 相 2 線 短 絡

$$\left. \begin{aligned} I_1^2 &= (0.140 + j0.612) \varepsilon^{j\phi_1} + (0.109 + j0.378) \varepsilon^{j\phi_2} + (0.111 + j0.358) \varepsilon^{j\phi_3} \\ I_6^2 &= (0.0408 + j0.452) \varepsilon^{j\phi_1} + (0.0417 + j0.281) \varepsilon^{j\phi_2} + (0.0447 + j0.267) \varepsilon^{j\phi_3} \\ I_8^2 &= (0.102 + j0.433) \varepsilon^{j\phi_1} + (0.0794 + j0.267) \varepsilon^{j\phi_2} + (0.0803 + j0.253) \varepsilon^{j\phi_3} \end{aligned} \right\} \quad (3-18')$$

(c) *a* 相 1 線 地 絡

$$\left. \begin{aligned} I_1^2 &= -(0.160 + j0.385) \varepsilon^{j\phi_1} - (0.114 + j0.235) \varepsilon^{j\phi_2} - (0.112 + j0.221) \varepsilon^{j\phi_3} \\ I_6^2 &= -(0.0769 + j0.291) \varepsilon^{j\phi_1} - (0.0585 + j0.179) \varepsilon^{j\phi_2} - (0.0589 + j0.169) \varepsilon^{j\phi_3} \\ I_8^2 &= -(0.115 + j0.272) \varepsilon^{j\phi_1} - (0.0817 + j0.166) \varepsilon^{j\phi_2} - (0.0807 + j0.156) \varepsilon^{j\phi_3} \end{aligned} \right\} \quad (3-19')$$

従つて逆相分制動電力計算式は (3-1), (3-3) 及び (3-17') より (3-19') によつて下記の如く得られる。

(a) *bc* 相 2 線 地 絡

$$\left. \begin{aligned} (P_1^2)_{b^2LG} &= 0.0345 + 0.0248 \sin(86^\circ 45' - \phi_{1G}) \\ &\quad + 0.0235 \sin(85^\circ 39' - \phi_{1S}) + 0.0148 \sin(88^\circ 55' - \phi_{6S}) \\ (P_6^2)_{b^2LG} &= 0.0391 + 0.0280 \sin(86^\circ 45' - \phi_{1G}) \\ &\quad + 0.0267 \sin(85^\circ 39' - \phi_{1S}) + 0.0167 \sin(88^\circ 55' - \phi_{6S}) \\ (P_8^2)_{b^2LG} &= 0.0311 + 0.0223 \sin(86^\circ 45' - \phi_{1G}) \\ &\quad + 0.0212 \sin(85^\circ 39' - \phi_{1S}) + 0.0133 \sin(88^\circ 55' - \phi_{6S}) \end{aligned} \right\} \quad (3-20')$$

(b) *bc* 相 2 線 短 絡

$$\left. \begin{aligned} (P_1^2)_{b^2LS} &= 0.0681 + 0.0489 \sin(86^\circ 45' - \phi_{1G}) \\ &\quad + 0.0464 \sin(85^\circ 39' - \phi_{1S}) + 0.0292 \sin(88^\circ 55' - \phi_{6S}) \\ (P_6^2)_{b^2LS} &= 0.0768 + 0.0551 \sin(86^\circ 45' - \phi_{1G}) \\ &\quad + 0.0523 \sin(85^\circ 39' - \phi_{1S}) + 0.0328 \sin(88^\circ 55' - \phi_{6S}) \\ (P_8^2)_{b^2LS} &= 0.0613 + 0.0439 \sin(86^\circ 45' - \phi_{1G}) \\ &\quad + 0.0419 \sin(85^\circ 39' - \phi_{1S}) + 0.0262 \sin(88^\circ 55' - \phi_{6S}) \end{aligned} \right\} \quad (3-21')$$

(c) *a* 相 1 線 地 絡

$$\left. \begin{aligned} (P_1^2)_{b^1LG} &= 0.0298 + 0.0215 \sin(86^\circ 45' - \phi_{1G}) \\ &\quad + 0.0203 \sin(85^\circ 39' - \phi_{1S}) + 0.0128 \sin(88^\circ 55' - \phi_{6S}) \\ (P_6^2)_{b^1LG} &= 0.0339 + 0.0244 \sin(86^\circ 45' - \phi_{1G}) \\ &\quad + 0.0231 \sin(85^\circ 39' - \phi_{1S}) + 0.0145 \sin(88^\circ 55' - \phi_{6S}) \\ (P_8^2)_{b^1LG} &= 0.0268 + 0.0194 \sin(86^\circ 45' - \phi_{1G}) \\ &\quad + 0.0185 \sin(85^\circ 39' - \phi_{1S}) + 0.0116 \sin(88^\circ 55' - \phi_{6S}) \end{aligned} \right\} \quad (3-22')$$

III. 逆相分制動の系統電力動揺に及ぼす影響

逆相分及び正相分抵抗を省略した場合の故障時出力計算式は第一章 VII に示した通りであるが、今各発電機の逆相分抵抗を考慮した場合の逆相分制動の影響を示せば下記の如くなる。但し故障前の出力式は (1-18') となる事は当然である。

(a) bc 相 2 線 地 絡

逆相抵抗を考慮しない場合の各機出力式は (1-22') であり、逆相分制動電力式は (3-20') で示される。故に電力動揺の計算は両者の和としての計算式を用いねばならない。即ち逆相分制動電力だけ、各機に働く加速電力は夫々減少せしめられる事となる。

$$\left. \begin{aligned} (P_{1fd})_{2LG} &= 0.147 + 0.296 \sin(22^\circ 28' + \phi_{16}) \\ &\quad + 0.363 \sin(19^\circ 46' + \phi_{18}) + 0.0167 \sin(88^\circ 54' - \phi_{68}) \\ (P_{6fd})_{2LG} &= 0.114 + 0.300 \sin(22^\circ 47' - \phi_{16}) \\ &\quad + 0.0267 \sin(85^\circ 39' - \phi_{18}) + 0.179 \sin(26^\circ 47' + \phi_{68}) \\ (P_{8fd})_{2LG} &= 0.187 + 0.0223 \sin(86^\circ 45' - \phi_{16}) \\ &\quad + 0.365 \sin(18^\circ 47' - \phi_{18}) + 0.178 \sin(25^\circ 44' - \phi_{68}) \end{aligned} \right\} \quad (3-23')$$

Fig. (1-2) に示されている各発電機の慣性定数は

$$M_1 = 10.5, \quad M_6 = 11.1, \quad M_8 = 30.3 \quad (3-24')$$

であつて、故障による系統各機の動揺は、Fig. (3-1) 及び Fig. (3-2) に示す如くなる。前者は時間に対する内部位相角度の変化を、夫々逆相分制動を考慮した場合(実線)と省略した場合(点線)に就いて示し、又後者は位相角差の変動を表示している。

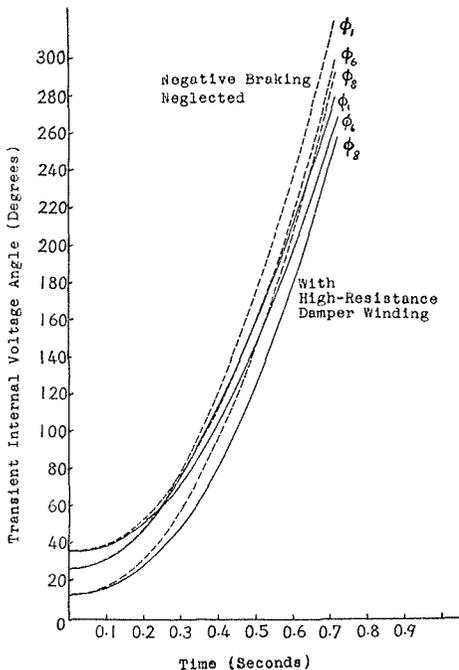


Fig. (3-1). Swing curves showing the effect of negative phase sequence braking powers under a sustained two-line-to-ground fault.

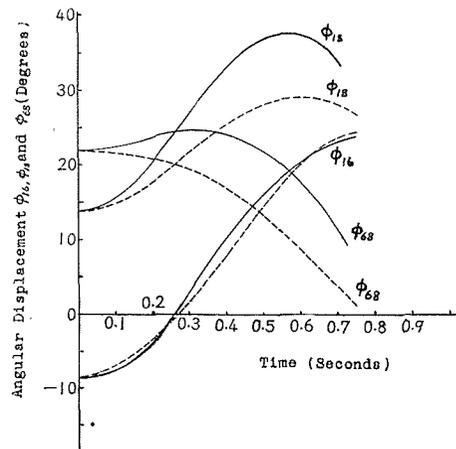


Fig. (3-2). Swing curves in terms of angular difference between each pair of machine. (same condition as in Fig. (3-1)).

(b) bc 相 2 線 短 絡

(1-23') と (3-21') を加へる事により、逆相分制動電力を考慮した出力式 (3-25') を得、之の段々法による計算結果と (1-23') の動揺曲線との比較を Fig. (3-3) 及び Fig. (3-4) に示しいる。

$$\left. \begin{aligned}
 (P_{1fb})_{LS} &= 0.301 + 0.443 \sin(30^\circ 36' + \phi_{16}) \\
 &\quad + 0.498 \sin(27^\circ 20' + \phi_{18}) + 0.0292 \sin(88^\circ 54' - \phi_{65}) \\
 (P_{6fb})_{LS} &= 0.207 + 0.450 \sin(30^\circ 5' - \phi_{16}) \\
 &\quad + 0.0523 \sin(85^\circ 39' - \phi_{18}) + 0.265 \sin(34^\circ 2' + \phi_{18}) \\
 (P_{8fb})_{LS} &= 0.222 + 0.0439 \sin(86^\circ 45' - \phi_{16}) \\
 &\quad + 0.526 \sin(24^\circ 26' - \phi_{18}) + 0.281 \sin(38^\circ 25' - \phi_{18})
 \end{aligned} \right\} \quad (3-25')$$

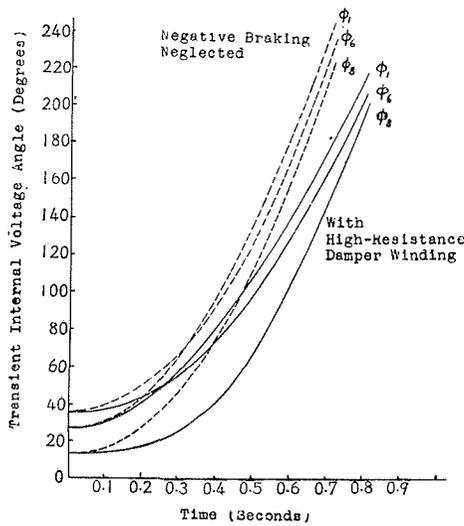


Fig. (3-3). Swing curves under a sustained line-to-line short circuit fault.

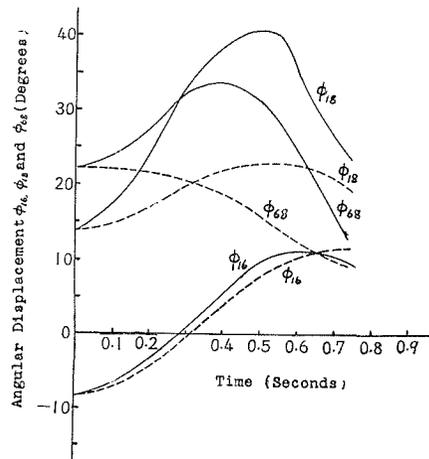


Fig. (3-4). Swing curves in terms of angular difference between each pair of machine. (same condition as Fig. (3-3)).

(c) a 相 1 線 地 絡

同様に (3-26') は (1-24') 及び (3-22') の和として得られ、動揺計算例は Fig. (3-5) 及び Fig. (3-6) の如くである。

$$\left. \begin{aligned}
 (P_{1fb})_{LG} &= 0.306 + 0.577 \sin(23^\circ 8' + \phi_{16}) \\
 &\quad + 0.629 \sin(21^\circ 43' + \phi_{18}) + 0.0128 \sin(88^\circ 54' - \phi_{65}) \\
 (P_{6fb})_{LG} &= 0.223 + 0.579 \sin(23^\circ 17' - \phi_{16}) \\
 &\quad + 0.0231 \sin(85^\circ 39' - \phi_{18}) + 0.346 \sin(27^\circ 40' + \phi_{18}) \\
 (P_{8fb})_{LG} &= 0.217 + 0.0194 \sin(86^\circ 45' - \phi_{16}) \\
 &\quad + 0.600 \sin(22^\circ 41' - \phi_{18}) + 0.345 \sin(27^\circ 11' - \phi_{18})
 \end{aligned} \right\} \quad (3-26')$$

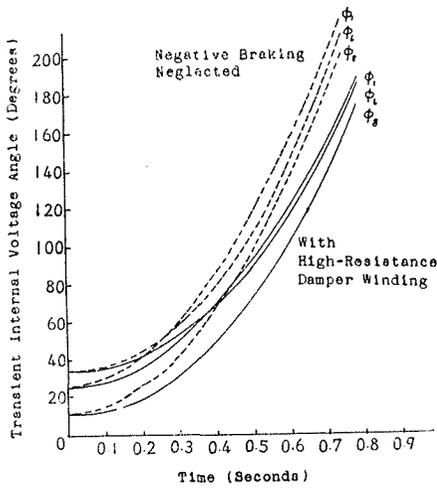


Fig. (3-5). Swing curves under a sustained one-line-to-ground fault.

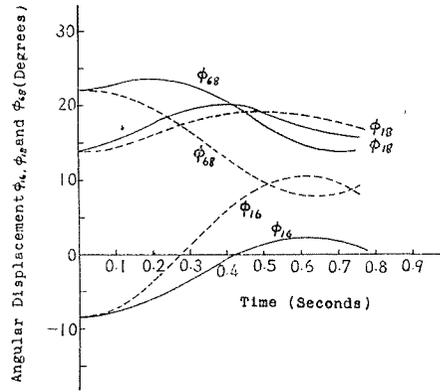


Fig. (3-6). Swing curves in terms of angular difference between each pair of machine. (same condition as in Fig. (3-5)).

之等の計算より、高抵抗制動巻線は逆相分制動を生ずるに可成効果的であると云い得るが特に2線短絡に対して影響が比較的大である。逆相分制動を考慮した場合の初期加速電力は、単位法で示せば下記の如くである。

- 2線地絡： $P_{1a} = 1.065, P_{6a} = 0.772, P_{5a} = 0.248$
- 2線短絡： $P_{1a} = 0.677, P_{6a} = 0.444, P_{5a} = 0.0587$
- 1線地絡： $P_{1a} = 0.669, P_{6a} = 0.387, P_{5a} = 0.141$

第四章 正相分制動電力

I. 多機系に於ける正相分制動電力計算法

系統に相边角変動の発生した場合、発電機制動巻線により、正相分によるダンピング作用が行なわれる事は周知であつて、無限大母線に連る一機系に於ける正相分制動電力の計算式としては、(4-1)が R. H. Park, O. G. C. Dahl 氏等によつて与へられている。

$$P_D = E^2 s \omega \left[\frac{(x'_d - x''_d) T'_{d0}}{(x_c + x'_d)^2} \sin^2 \delta + \frac{(x'_q - x''_q) T'_{q0}}{(x_c + x'_q)^2} \cos^2 \delta \right] \tag{4-1}$$

此処で各数値は単位法にて

P_D = 正相分制動電力瞬時値

E = 無限大母線電圧

s = 滑り, $\omega = 2\pi f$

x'_d, x''_d, x'_q, x''_q = 発電機リアクタンス

x_c = 電機子と直列にある外部リアクタンス

$T''_{d0}, T''_{q0} =$ 縦, 横軸開路次過渡時定数 (秒)

$\delta =$ 無限大母線よりの発電機電圧位相の進角
を示して居り, 此の中滑りは (4-2) に示される。

$$s = \frac{1}{360f} \cdot \frac{d\delta}{dt} \quad (4-2)$$

多機系統に於て, 近似的数値で満足するならば, 鳳-テブナンの法則を適用する事により, (4-1) を用い, 段々法を以て正相分制動電力の影響を知る事が出来る。

今多機系に於いて, 1, 2, …… (n-1) を発電端子とし, n を故障発生端子とする時, 端子 1 機の位相角動揺に対する同機制動巻線による正相分制動の影響を見るものとするならば, 端子 1 機の発電機出口端子を n+1 端子とし, Fig. (4-1) に示す如く系統アドミッタンス網を形成するものとする。

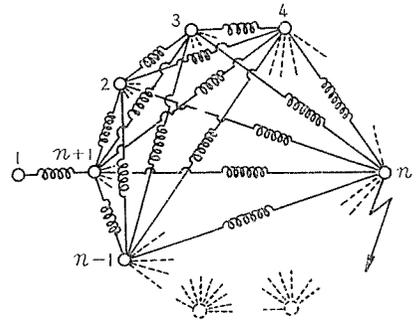


Fig. (4-1). Admittance diagram of a multi-machine power system for the computation of the positive phase sequence damping power on terminal 1.

Fig. (4-1) のマトリックス式表示は (4-3), (4-4) 及び (4-5) となる事は前例の如くである。

$$\begin{pmatrix} I_1^1 \\ I_2^1 \\ \vdots \\ I_{(n-1)}^1 \\ I_{(n+1)}^1 = 0 \\ -I_n^1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11}^1 & 0 & \cdots & 0 & -y_{1(n+1)}^1 & 0 \\ 0 & Y_{22}^1 & \cdots & -y_{2(n-1)}^1 & -y_{2(n+1)}^1 & -y_{2n}^1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & -y_{(n-1)2}^1 & \cdots & Y_{(n-1)(n-1)}^1 & -y_{(n-1)(n+1)}^1 & -y_{(n-1)n}^1 \\ -y_{(n+1)1}^1 & -y_{(n+1)2}^1 & \cdots & -y_{(n+1)(n-1)}^1 & Y_{(n+1)(n+1)}^1 & -y_{(n+1)n}^1 \\ 0 & -y_{n2}^1 & \cdots & -y_{n(n-1)}^1 & -y_{n(n+1)}^1 & Y_{nn}^1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1^1 \\ E_2^1 \\ \vdots \\ E_{(n-1)}^1 \\ E_{(n+1)}^1 \\ E_n^1 \end{pmatrix} \quad (4-3)$$

$$\begin{pmatrix} I_1^2 \\ I_2^2 \\ \vdots \\ I_{(n-1)}^2 \\ I_{(n+1)}^2 = 0 \\ -I_n^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11}^2 & 0 & \cdots & 0 & -y_{1(n+1)}^2 & 0 \\ 0 & Y_{22}^2 & \cdots & -y_{2(n-1)}^2 & -y_{2(n+1)}^2 & -y_{2n}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & -y_{(n-1)2}^2 & \cdots & Y_{(n-1)(n-1)}^2 & -y_{(n-1)(n+1)}^2 & -y_{(n-1)n}^2 \\ -y_{(n+1)1}^2 & -y_{(n+1)2}^2 & \cdots & -y_{(n+1)(n-1)}^2 & Y_{(n+1)(n+1)}^2 & -y_{(n+1)n}^2 \\ 0 & -y_{n2}^2 & \cdots & -y_{n(n-1)}^2 & -y_{n(n+1)}^2 & Y_{nn}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1^2 = 0 \\ E_2^2 = 0 \\ \vdots \\ E_{(n-1)}^2 = 0 \\ E_{(n+1)}^2 \\ E_n^2 \end{pmatrix} \quad (4-4)$$

$$\begin{pmatrix} I_2^0 = 0 \\ I_3^0 = 0 \\ \vdots \\ I_{(n-1)}^0 = 0 \\ I_{(n+1)}^0 = 0 \\ -I_n^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{2'2'}^0 & -y_{2'3'}^0 & \cdots & -y_{2'(n-1)'}^0 & -y_{2'(n+1)'}^0 & -y_{2'n}^0 \\ -y_{3'2'}^0 & Y_{3'3'}^0 & \cdots & -y_{3'(n-1)'}^0 & -y_{3'(n+1)'}^0 & -y_{3'n}^0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -y_{(n-1)2'}^0 & -y_{(n-1)3'}^0 & \cdots & Y_{(n-1)'(n-1)'}^0 & -y_{(n-1)'(n+1)'}^0 & -y_{(n-1)'n}^0 \\ -y_{(n+1)2'}^0 & -y_{(n+1)3'}^0 & \cdots & -y_{(n+1)'(n-1)'}^0 & Y_{(n+1)'(n+1)'}^0 & -y_{(n+1)'n}^0 \\ -y_{n2'}^0 & -y_{n3'}^0 & \cdots & -y_{n'(n-1)'}^0 & -y_{n'(n+1)'}^0 & Y_{nn}^0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_2^0 \\ E_3^0 \\ \vdots \\ E_{(n-1)}^0 \\ E_{(n+1)}^0 \\ E_n^0 \end{pmatrix} \quad (4-5)$$

(4-5) にて E_n^0 に注目すれば

$$\begin{pmatrix} y_{2'n}^0 E_n^0 \\ y_{3'n}^0 E_n^0 \\ \vdots \\ y_{(n-1)'n}^0 E_n^0 \\ y_{(n+1)'n}^0 E_n^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{2'2'}^0 & -y_{2'3'}^0 & \cdots & -y_{2'(n-1)'}^0 & -y_{2'(n+1)}^0 \\ -y_{2'3'}^0 & Y_{3'3'}^0 & \cdots & -y_{3'(n-1)'}^0 & -y_{3'(n+1)}^0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ -y_{(n-1)'2'}^0 & -y_{(n-1)'3'}^0 & \cdots & Y_{(n-1)'(n-1)'}^0 & -y_{(n-1)'(n+1)}^0 \\ -y_{(n+1)'2'}^0 & -y_{(n+1)'3'}^0 & \cdots & -y_{(n+1)'(n-1)'}^0 & Y_{(n+1)'(n+1)}^0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_{2'}^0 \\ E_{3'}^0 \\ \vdots \\ E_{(n-1)'}^0 \\ E_{(n+1)}^0 \end{pmatrix} \tag{4-6}$$

(4-5) の最下列より

$$-I_n^0 = -y_{n2}^0 E_2^0 - y_{n3}^0 E_3^0 - \cdots - y_{n(n-1)}^0 E_{(n-1)'}^0 - y_{n(n+1)}^0 E_{(n+1)}^0 + Y_{nn}^0 E_n^0 \tag{4-7}$$

(4-6), (4-7) より

$$-I_n^0 = Y_{nn}^{0c} E_n^0 \tag{4-8}$$

又 (4-3) より

$$0 = -y_{(n+1)1}^1 E_1^1 + Y_{(n+1)(n+1)}^1 E_{(n+1)}^1 - y_{(n+1)n}^1 E_n^1 + p_1 \tag{4-9}$$

$$-I_n^1 = -y_{n(n+1)}^1 E_{(n+1)}^1 + Y_{nn}^1 E_n^1 + q_1 \tag{4-10}$$

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= -y_{(n+1)2}^1 E_2^1 - y_{(n+1)3}^1 E_3^1 - \cdots - y_{(n+1)(n-1)'}^1 E_{(n-1)'}^1 \\ q_1 &= -y_{n2}^1 E_2^1 - y_{n3}^1 E_3^1 - \cdots - y_{n(n-1)'}^1 E_{(n-1)'}^1 \end{aligned} \right\} \tag{4-11}$$

(4-4) より

$$0 = Y_{(n+1)(n+1)}^2 E_{(n+1)}^2 - y_{(n+1)n}^2 E_n^2 \tag{4-12}$$

$$-I_n^2 = -y_{n(n+1)}^2 E_{(n+1)}^2 + Y_{nn}^2 E_n^2 \tag{4-13}$$

かくて (4-8) より (4-13) 及び故障条件式より系統の故障時電圧及び電流を求め得るが、正相分制動電力を知るには、注目の端子 1 機以外の全系統を等価無限大母線と等価直列リアクタンスとに置く必要があり、その為には先づ端子 $n+1$ に於ける開放電圧を知る事を要する。今 $y_{1(n+1)}^1 = y_{(n+1)1}^1 = 0$ と置けば、 $Y_{11}^1 = Y_{11}^2 = 0$ であり、又 $Y_{(n+1)(n+1)}^1$, $Y_{(n+1)(n+1)}^2$ も値を變へるが、その値を $Y_{(n+1)(n+1)}^{1d}$, $Y_{(n+1)(n+1)}^{2d}$ と夫々置くならば、(4-9), (4-10), (4-12) 及び (4-13) は夫々下記の如くなり、(4-8) と故障条件 (1-12), (1-13) 又は (1-14) と共に任意不平衡短絡接地故障時の等価開路電圧即ち等価無限大母線電圧 $E_{(n+1)}^{1d}$ を得る。

$$0 = p_1 + Y_{(n+1)(n+1)}^{1d} E_{(n+1)}^{1d} - y_{(n+1)n}^1 E_n^1 \tag{4-14}$$

$$-I_n^1 = q_1 - y_{n(n+1)}^1 E_{(n+1)}^{1d} + Y_{nn}^1 E_n^1 \tag{4-15}$$

$$0 = Y_{(n+1)(n+1)}^{2d} E_{(n+1)}^{2d} - y_{(n+1)n}^2 E_n^2 \tag{4-16}$$

$$-I_n^2 = -y_{n(n+1)}^2 E_{(n+1)}^{2d} + Y_{nn}^2 E_n^2 \tag{4-17}$$

今計算例として n 端子 b, c 相 2 線地絡を採れば上記諸式の解として (4-18) を得る。

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{E}_{(n+1)}^{1d} &= \frac{1}{\mathcal{A}_1} \left[(\mathbf{y}_{n(n+1)}^2)^2 \mathbf{p}_1 - \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^{2d} \{ (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^{0e}) \mathbf{p}_1 + \mathbf{y}_{(n+1)n}^1 \mathbf{q}_1 \} \right] \\ \mathcal{A}_1 &= -\mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^{1d} \{ (\mathbf{y}_{n(n+1)}^2)^2 - \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^{2d} \} - \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^{2d} \{ (\mathbf{y}_{(n+1)n}^1)^2 \\ &\quad - \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^{1d} \} + \mathbf{Y}_{nn}^{0e} \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^{1d} \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^{2d} \end{aligned} \right\} \quad (4-18)$$

又 $(n+1)$ 端子より眺めた系統の等価正相インピーダンスは、端子 1 機を解放した状態に於いて、他のすべての電源電圧を零と置き、 $\mathbf{E}_{(n+1)}^{2d} = 0$ の条件の下に $\mathbf{I}_{(n+1)}^{1d}$ を解けばよい。即ち

$$\mathbf{I}_{(n+1)}^{1d} = \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^{1d} \mathbf{E}_{(n+1)}^{1d} - \mathbf{y}_{(n+1)n}^1 \mathbf{E}_n^1 \quad (4-19)$$

$$-\mathbf{I}_n^1 = -\mathbf{y}_{n(n+1)}^1 \mathbf{E}_{(n+1)}^{1d} + \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{E}_n^1 \quad (4-20)$$

$$\mathbf{I}_{(n+1)}^{2d} = -\mathbf{y}_{(n+1)n}^2 \mathbf{E}_n^2 \quad (4-21)$$

$$-\mathbf{I}_n^2 = \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{E}_n^2 \quad (4-22)$$

(4-19) より (4-22) と (4-8) 及び (1-12) より

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{I}_{(n+1)}^{1d} &= \frac{1}{\mathcal{A}_2} \{ \mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^{1d} (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^{0e}) - (\mathbf{y}_{n(n+1)}^1)^2 \} \mathbf{E}_{(n+1)}^{1d} \\ \mathcal{A}_2 &= (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^{0e}) \end{aligned} \right\} \quad (4-23)$$

即ち等価直列インピーダンスとして (4-24) を得るが、(4-1) に必要とするリアクタンス分としては、抵抗分を些小と見做して省略する。

$$\mathbf{Z}_i^e = \frac{\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^{0e}}{\mathbf{Y}_{(n+1)(n+1)}^{1d} (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^{0e}) - (\mathbf{y}_{n(n+1)}^1)^2} \quad (4-24)$$

他の不平衡故障状態に就いても同様方法によつて解析し得る。又注目する発電機を端子 2、端子 3 …… 機にとつても方法は同様である。

II. 3 機系に於ける計算例

Fig. (1-2) に示す 3 機系に於いて端子 1 機に注目すれば、端子 2 は $n+1$ 端子に相当し、端子 4 が故障端子 n に相当する。端子 2 を残した各対称相分マトリックス式は

$$\begin{pmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{I}_6 \\ \mathbf{I}_8 \\ \mathbf{I}_2 \\ -\mathbf{I}_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -j4.24 & 0 & 0 & j4.24 & 0 \\ 0 & 0.00664 - j1.86 & 0 & 0 & 0.117 + j1.84 \\ 0 & 0 & 0.0425 - j1.85 & 0.0152 + j0.184 & 0.156 + j1.88 \\ j4.24 & 0 & 0.0152 + j0.184 & 0.00546 - j11.73 & 0.0558 + j8.3 \\ 0 & 0.117 + j1.84 & 0.156 + j1.88 & 0.0558 + j8.3 & 2.62 - j1.9 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{E}_1 \\ \mathbf{E}_6 \\ \mathbf{E}_8 \\ \mathbf{E}_2 \\ \mathbf{E}_4 \end{pmatrix} \quad (4-1)$$

$$\begin{pmatrix} \mathbf{I}_1 \\ \mathbf{I}_6 \\ \mathbf{I}_8 \\ \mathbf{I}_2 \\ -\mathbf{I}_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -j6.07 & 0 & 0 & j6.07 & 0 \\ 0 & 0.013 - j2.59 & 0 & 0 & 0.160 + j2.58 \\ 0 & 0 & 0.0852 - j1.77 & 0.0193 + j0.234 & 0.197 + j2.39 \\ j6.07 & 0 & 0.0193 + j0.234 & 0.00438 - j13.6 & 0.0447 + j7.41 \\ 0 & 0.160 + j2.58 & 0.197 + j2.39 & 0.0447 + j7.41 & 2.42 - j11.8 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \mathbf{E}_2 \\ \mathbf{E}_4 \end{pmatrix} \quad (4-2')$$

$$-I_4^0 = -j7.07 E_4^0 \quad (4-3')$$

(4-1'), (4-2') 及び (4-3') より

$$\left. \begin{aligned} Y_{nn}^1 &= Y_{44}^1 = 2.62 - j1.9, & Y_{nn}^2 &= Y_{44}^2 = 2.42 - j11.8, & Y_{nn}^{0c} &= Y_{44}^{0c} = -j7.07 \\ Y_{(n+1)(n+1)}^{1d} &= Y_{22}^{1d} = 0.0546 - j7.49, & y_{n(n+1)}^1 &= y_{42}^1 = -0.0558 - j8.3 \\ Y_{(n+1)(n+1)}^{2d} &= Y_{22}^{2d} = 0.00438 - j7.53, & y_{n(n+1)}^2 &= y_{42}^2 = -0.0447 - j7.41 \end{aligned} \right\} \quad (4-6')$$

(4-4') 及び (4-18), (4-24) より等価無限大母線電圧及び等価直列インピーダンスとして

$$E_{(n+1)}^{1d} = (0.181 - j0.202) E_6^1 + (0.222 - j0.224) E_5^1 \quad (4-5')$$

$$Z_1^c = 0.0407 + j0.221 \quad (4-6')$$

無限大母線電圧は、段々法に於いて、各計算段階毎の値を用いて更新する必要がある、又等価リアクタンス x_e としては (4-6') より $+j0.221$ を用いるものとする。

端子 1 の発電機の諸定数をリアクタンス及び秒で表わせれば夫々下記の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} x_d &= 0.708, & x_d' &= 0.236, & x_d'' &= 0.153 \\ x_q &= 0.482, & x_q' &= 0.472, & x_q'' &= 0.177 \\ T_{d0}' &= 0.035, & T_{q0}'' &= 0.035 \end{aligned} \right\} \quad (4-7')$$

50 \circ 系統に於いては、(4-1), (4-2) 及び (4-7') より

$$\left. \begin{aligned} P_{D1} &= |E_{(n+1)}^{1d}|^2 (0.00308 + j0.000661 \cos 2\delta_1) \Delta\delta_1 \\ s &= \frac{1}{360f} \cdot \frac{\Delta\delta_1}{\Delta t} \\ \Delta t &= 0.1 \end{aligned} \right\} \quad (4-8')$$

δ_1 は端子 1 発電機内部電圧と等価無限大母線電圧との相差角であり、 $\Delta\delta_1$ は計算している時間 Δt の前の区間と次の区間の平均値を予め次の区間の $\Delta\delta_1$ を仮定して求め、之によつて行なつた計算結果の $\Delta\delta_1$ が仮想した値と一致するまで試算を繰返すものとする。2 線地絡の正相分制動、逆相分制動を考慮しない出力式 (1-22') を用いた場合、 P_{1f} に Δt の各区分毎に $\Delta\delta_1 = \Delta\phi_1$ の予想値を含んだ正相分制動電力 P_{D1} を加算して次の区分への加速電力を求め、之を用いて次の区間の各機の $\Delta\phi_1$, $\Delta\phi_6$, $\Delta\phi_8$ を夫々求めた後 $\Delta\phi_1$ が予想した値と合致したものを得た後更に次の区間に進むが、各機内部電圧相差角変動により、改めて等価無限大母線電圧及び位相角を求める事は当然である。Fig. (4-2), Fig. (4-3) はかくして求めた正相分制動の端子 1 機の動揺曲線に及ぼす影響を示している。

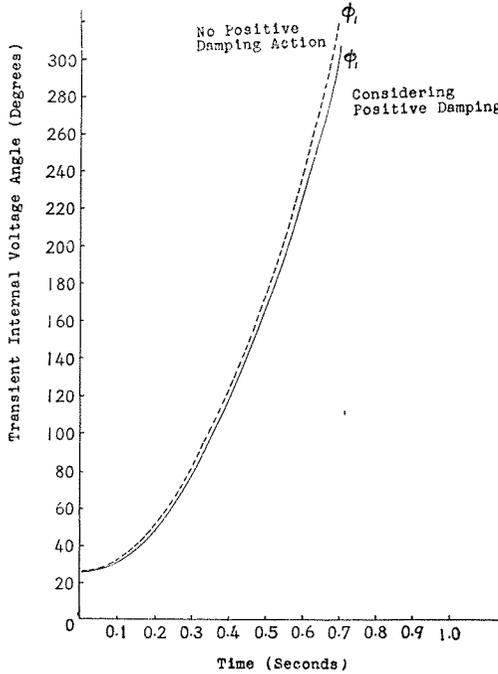


Fig. (4-2). Swing curves showing the effect of positive phase sequence damping power which acts on terminal 1 generator under a sustained two-line-to-ground fault.

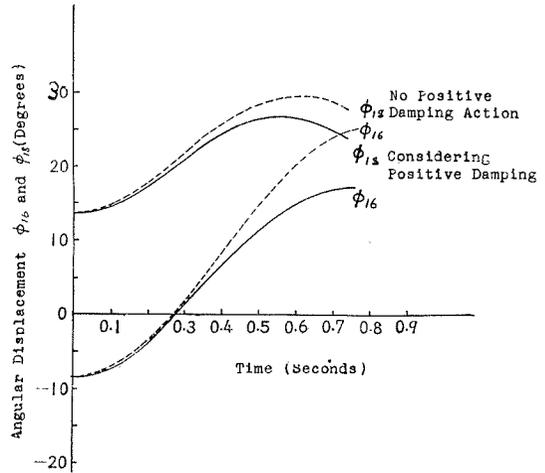


Fig. (4-3). Swing curves in terms of angular difference. (Same condition as in Fig. (4-2)).

第五章 不平衡故障時系統を流れる各対称相分電力

各発電端内部誘起電圧絶対値及び位相角一定の場合、各発電端正相分出力は故障点抵抗 R_f 値の変化に従つて連続楕円軌跡を示し、又 R_f 一定ならば相差角変動に応じて連続円特性を示す。又一端子より他端子に流出する正相分電力は R_f 変化に依つても又相差角変化に応じて連続楕円軌跡を電力座標上に画く。逆、零相分電力は、 R_f によつて連続楕円、相差角変動に応じて連続円特性等を示す。

I. 故障端子電圧電流計算

多機系統に於いて任意端子の各相分電圧電流値は、先ず故障端子 n に於ける各相分電圧電流値を、故障種類に応じて、後述する如く夫々各相分の電圧係数 $\alpha^1, \alpha^2, \alpha^0$ 及び電流係数 $\lambda^1, \lambda^2, \lambda^0$ を予め決定する事によつて計算すれば、爾後容易に計算をすすめる事が出来る。

(1-1), (1-2) 及び (1-3) より、各相分電圧電流の故障点 n に於ける値は (1-9), (1-10) 及び (1-11) の如く得られるが、之を再記すれば

$$-I_n^1 = (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - \dots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) + Y_{nn}^1 E_n^1 \tag{5-1}$$

$$-I_n^2 = Y_{nn}^2 E_n^2 \tag{5-2}$$

$$-I_n^0 = Y_{nn}^{0c} E_n^0 \quad (5-3)$$

適用されるべき故障条件は再記すれば

$$bc \text{ 相 2 線地絡: } I_n^2 = -(I_n^1 + I_n^0), \quad E_n^2 = E_n^1, \quad E_n^0 = E_n^1 + 3R_f I_n^0 \quad (5-4)$$

$$bc \text{ 相 2 線短絡: } I_n^0 = 0, \quad I_n^2 = -I_n^1, \quad E_n^2 = E_n^1 - R_f I_n^1 \quad (5-5)$$

$$a \text{ 相 1 線地絡: } I_n^0 = I_n^1 = I_n^2, \quad E_n^0 = -(E_n^1 + E_n^2 - 3R_f I_n^1) \quad (5-6)$$

1. 故障点 n 端子の電圧

(1) 正相分電圧

第一章に既述せる如く、故障点正相分電圧は (5-7) の如く表わし得る。

$$E_n^1 = \alpha^1 (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - \cdots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) \quad (5-7)$$

ここで α^1 は下記の如き値を有している。

(a) 2 線地絡 (b, c 相)

$$\alpha_{2LG}^1 = - \frac{1 + 3R_f Y_{nn}^{0c}}{(Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2 + Y_{nn}^{0c}) + 3R_f Y_{nn}^{0c} (Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2)} \quad (5-8)$$

(b) 2 線短絡 (b, c 相)

$$\alpha_{2LS}^1 = - \frac{1 + R_f Y_{nn}^2}{(Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2) + R_f Y_{nn}^1 Y_{nn}^2} \quad (5-9)$$

(c) 1 線地絡 (a 相)

$$\alpha_{1LG}^1 = - \frac{Y_{nn}^2 + Y_{nn}^{0c} + 3R_f Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0c}}{Y_{nn}^1 Y_{nn}^2 + Y_{nn}^1 Y_{nn}^{0c} + Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0c} + 3R_f Y_{nn}^1 Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0c}} \quad (5-10)$$

(2) 逆相分電圧

第三章に既述せる如く、故障点逆相分電圧は (5-11) の如く示し得る。

$$E_n^2 = \alpha^2 (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - \cdots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) \quad (5-11)$$

此處で α^2 の値に就いては

(a) 2 線地絡 (b, c 相)

$$\alpha_{2LG}^2 = - \frac{1 + 3R_f Y_{nn}^{0c}}{(Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2 + Y_{nn}^{0c}) + 3R_f Y_{nn}^{0c} (Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2)} \quad (5-12)$$

(b) 2 線短絡 (b, c 相):

$$\alpha_{2LS}^2 = - \frac{1}{(Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2) + R_f Y_{nn}^1 Y_{nn}^2} \quad (5-13)$$

(c) 1 線地絡 (a 相)

$$\alpha_{1LG}^2 = \frac{Y_{nn}^{0c}}{Y_{nn}^1 Y_{nn}^2 + Y_{nn}^1 Y_{nn}^{0c} + Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0c} + 3R_f Y_{nn}^1 Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0c}} \quad (5-14)$$

(3) 零相分電圧

同様にして

$$\mathbf{E}_n^0 = \alpha^0 (-\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{E}_1^1 - \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1) \quad (5-15)$$

(a) 2線地絡 (b, c 相), (5-7), (5-8) を (5-4) に代入し

$$\mathbf{I}_n^0 = \frac{\mathbf{Y}_{nn}^{0c}}{\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^{0c} + 3R_f \mathbf{Y}_{nn}^{0c} (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2)} (-\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{E}_1^1 - \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1) \quad (5-16)$$

(5-4), (5-15) 及び (5-16) より

$$\alpha_{2LG}^0 = -\frac{1}{\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^{0c} + 3R_f \mathbf{Y}_{nn}^{0c} (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2)} \quad (5-17)$$

(b) 2線短絡 (b, c 相), (5-5) より

$$\alpha_{2LS}^0 = 0 \quad (5-18)$$

(c) 1線地絡 (a 相), (5-2), (5-6) 及び (5-14) より

$$\mathbf{I}_n^0 = \mathbf{I}_n^1 = \mathbf{I}_n^2 = -\frac{\mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0c}}{\mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^{0c} + \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0c} + 3R_f \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0c}} \times (-\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{E}_1^1 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1) \quad (5-19)$$

(5-10), (5-14), (5-15) 及び (5-19) より

$$\alpha_{1LG}^0 = \frac{\mathbf{Y}_{nn}^2}{\mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^{0c} + \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0c} + 3R_f \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0c}} \quad (5-20)$$

2. 故障点 n 端子の電流

(1) 正相分電流

正相分電流に就いても (5-21) と置けば, 係数 λ^1 は夫々下記の如くなる。

$$\mathbf{I}_n^1 = \lambda^1 (-\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{E}_1^1 - \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1) \quad (5-21)$$

(a) 2線地絡 (b, c 相), (5-1) から (5-4), (5-8) 及び (5-21) より

$$\lambda_{2LG}^1 = -\frac{\mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^{0c} + 3R_f \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0c}}{\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^{0c} + 3R_f \mathbf{Y}_{nn}^{0c} (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2)} \quad (5-22)$$

(b) 2線短絡 (b, c 相), (5-5), (5-13) 及び (5-21) より

$$\lambda_{2LS}^1 = -\frac{\mathbf{Y}_{nn}^2}{\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2 + R_f \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^2} \quad (5-23)$$

(c) 1線地絡 (a 相), (5-19) より

$$\lambda_{1LG}^1 = -\frac{\mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0c}}{\mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^{0c} + \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0c} + 3R_f \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0c}} \quad (5-24)$$

(2) 逆相分電流

$$\mathbf{I}_n^2 = \lambda^2 (-\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{E}_1^1 - \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1) \quad (5-25)$$

(a) 2線地絡, (5-3) 及び (5-4) より

$$I_n^0 = - \frac{Y_{nn}^{0c}}{1 + 3R_f Y_{nn}^{0c}} E_n^1$$

又 (5-2), (5-7), (5-8), (5-22) 及び (5-25) より結局

$$\lambda_{2LG}^2 = \frac{Y_{nn}^2 + 3R_f Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0c}}{Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2 + Y_{nn}^{0c} + 3R_f Y_{nn}^{0c} (Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2)} \quad (5-26)$$

(b) 2線短絡, (5-5) 及び (5-23) より

$$\lambda_{2LS}^2 = \frac{Y_{nn}^2}{Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2 + R_f Y_{nn}^1 Y_{nn}^2} \quad (5-27)$$

(c) 1線地絡, (5-24) より

$$\lambda_{1LG}^2 = - \frac{Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0c}}{Y_{nn}^1 Y_{nn}^2 + Y_{nn}^1 Y_{nn}^{0c} + Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0c} + 3R_f Y_{nn}^1 Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0c}} \quad (5-28)$$

(3) 零相分電流

$$I_n^0 = \lambda^0 (-y_{n1}^1 E_1^1 - y_{n2}^1 E_2^1 - \dots - y_{n(n-1)}^1 E_{(n-1)}^1) \quad (5-29)$$

(a) 2線地絡, (5-4), (5-21), (5-22), (2-25) 及び (5-26) より

$$\lambda_{2LG}^0 = \frac{Y_{nn}^{0c}}{Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2 + Y_{nn}^{0c} + 3R_f Y_{nn}^{0c} (Y_{nn}^1 + Y_{nn}^2)} \quad (5-30)$$

(b) 2線短絡, (5-5) より

$$\lambda_{2LS}^0 = 0 \quad (5-31)$$

(c) 1線地絡, (5-19) 及び (5-29) より

$$\lambda_{1LG}^0 = - \frac{Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0c}}{Y_{nn}^1 Y_{nn}^2 + Y_{nn}^1 Y_{nn}^{0c} + Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0c} + 3R_f Y_{nn}^1 Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0c}} \quad (5-32)$$

かくて、発電端内部誘起電圧が判用している場合、故障端子の電圧、電流、電力は容易に得られるが、(1-1), (1-2) 及び (1-3) より任意端子の値も又計算出来る。

II. 内部誘起電圧点電力の故障抵抗 R_f 変化に依る楕円特性

内部誘起電圧発生端子に於いては、逆相分及び零相分電圧が欠いて居るため、正相分電力のみが存在する。(1-1), (5-7), (5-8), (5-9) 及び (5-10) より発電端子電流として

$$\left. \begin{aligned} I_1^1 &= (Y_{11}^1 + y_{1n}^1 \alpha^1 y_{n1}^1) E_1^1 - (y_{12}^1 - y_{1n}^1 \alpha^1 y_{n2}^1) E_2^1 - \\ &\quad \dots - (y_{1(n-1)}^1 - y_{1n}^1 \alpha^1 y_{n(n-1)}^1) E_{(n-1)}^1 \\ I_2^1 &= -(y_{21}^1 - y_{2n}^1 \alpha^1 y_{n1}^1) E_1^1 + (Y_{22}^1 + y_{2n}^1 \alpha^1 y_{n2}^1) E_2^1 - \\ &\quad \dots - (y_{2(n-1)}^1 - y_{2n}^1 \alpha^1 y_{n(n-1)}^1) E_{(n-1)}^1 \\ &\quad \dots \\ I_{(n-1)}^1 &= -(y_{(n-1)1}^1 - y_{(n-1)n}^1 \alpha^1 y_{n1}^1) E_1^1 - (y_{(n-1)2}^1 - y_{(n-1)n}^1 \alpha^1 y_{n2}^1) E_2^1 - \\ &\quad \dots + (Y_{(n-1)(n-1)}^1 + y_{(n-1)n}^1 \alpha^1 y_{n(n-1)}^1) E_{(n-1)}^1 \end{aligned} \right\} \quad (5-33)$$

従つて電力は (1-17) と同様

$$\left. \begin{aligned}
 P_1^1 + jQ_1^1 &= (\mathbf{Y}_{11}^1 + \mathbf{y}_{1n}^1 \alpha^1 \mathbf{y}_{n1}^1) |\mathbf{E}_1^1|^2 - (\mathbf{y}_{12}^1 - \mathbf{y}_{1n}^1 \alpha^1 \mathbf{y}_{n2}^1) \mathbf{E}_2^1 \mathbf{E}_1^1 K - \\
 &\quad \cdots - (\mathbf{y}_{1(n-1)}^1 - \mathbf{y}_{1n}^1 \alpha^1 \mathbf{y}_{n(n-1)}^1) \mathbf{E}_{(n-1)}^1 \mathbf{E}_1^1 K \\
 &\quad \cdots \cdots \cdots \\
 &\quad \cdots \cdots \cdots \\
 &\quad \cdots \cdots \cdots \\
 P_{(n-1)}^1 + jQ_{(n-1)}^1 &= -(\mathbf{y}_{(n-1)1}^1 - \mathbf{y}_{(n-1)n}^1 \alpha^1 \mathbf{y}_{n1}^1) \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1 K - (\mathbf{y}_{(n-1)2}^1 \\
 &\quad - \mathbf{y}_{(n-1)n}^1 \alpha^1 \mathbf{y}_{n2}^1) \mathbf{E}_2^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1 K - \cdots + (\mathbf{Y}_{(n-1)(n-1)}^1 + \mathbf{y}_{(n-1)n}^1 \alpha^1 \mathbf{y}_{n(n-1)}^1) |\mathbf{E}_{(n-1)}^1|^2
 \end{aligned} \right\} (5-34)$$

ここで添字“K”は共軛値を示している。

次に係数 α^1 を有理化すれば、夫々の故障に対して下記の如くなる。

(a) 2線地絡, (5-8) より

$$-\alpha_{2LG}^1 = \frac{(\mathbf{A}_0^1)_{2LG} + (\mathbf{A}_1^1)_{2LG} \mathbf{R}_f + (\mathbf{A}_2^1)_{2LG} (\mathbf{R}_f)^2}{(\mathbf{D}_0^1)_{2LG} + (\mathbf{D}_1^1)_{2LG} \mathbf{R}_f + (\mathbf{D}_2^1)_{2LG} (\mathbf{R}_f)^2} \quad (5-35)$$

$$\left. \begin{aligned}
 (\mathbf{A}_0^1)_{2LG} &= (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^{0e})_K \\
 (\mathbf{A}_1^1)_{2LG} &= 3 \{ \mathbf{Y}_{nnK}^{0e} (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2)_K + \mathbf{Y}_{nn}^{0e} (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^{0e})_K \} \\
 (\mathbf{A}_2^1)_{2LG} &= 9 | \mathbf{Y}_{nn}^{0e} |^2 (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2)_K \\
 (\mathbf{D}_0^1)_{2LG} &= | \mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^{0e} |^2 \\
 (\mathbf{D}_1^1)_{2LG} &= 3 \{ (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^{0e})_K \mathbf{Y}_{nn}^{0e} (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2) \\
 &\quad + (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^{0e}) \mathbf{Y}_{nnK}^{0e} (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2)_K \} \\
 (\mathbf{D}_2^1)_{2LG} &= 9 | \mathbf{Y}_{nn}^{0e} (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2) |^2
 \end{aligned} \right\} (5-36)$$

(b) 2線短絡, (5-9) より

$$-\alpha_{2LS}^1 = \frac{(\mathbf{A}_0^1)_{2LS} + (\mathbf{A}_1^1)_{2LS} \mathbf{R}_f + (\mathbf{A}_2^1)_{2LS} (\mathbf{R}_f)^2}{(\mathbf{D}_0^1)_{2LS} + (\mathbf{D}_1^1)_{2LS} \mathbf{R}_f + (\mathbf{D}_2^1)_{2LS} (\mathbf{R}_f)^2} \quad (5-37)$$

$$\left. \begin{aligned}
 (\mathbf{A}_0^1)_{2LS} &= (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2)_K \\
 (\mathbf{A}_1^1)_{2LS} &= \mathbf{Y}_{nnK}^1 + \mathbf{Y}_{nnK}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^2 (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2)_K \\
 (\mathbf{A}_2^1)_{2LS} &= | \mathbf{Y}_{nn}^2 |^2 \mathbf{Y}_{nnK}^1 \\
 (\mathbf{D}_0^1)_{2LS} &= | \mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2 |^2 \\
 (\mathbf{D}_1^1)_{2LS} &= (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2)_K \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^2 + (\mathbf{Y}_{nn}^1 + \mathbf{Y}_{nn}^2) \mathbf{Y}_{nnK}^1 \mathbf{Y}_{nnK}^2 \\
 (\mathbf{D}_2^1)_{2LS} &= | \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^2 |^2
 \end{aligned} \right\} (5-38)$$

(c) 1線地絡, (5-10) より

$$-\alpha_{1LG}^1 = \frac{(\mathbf{A}_0^1)_{1LG} + (\mathbf{A}_1^1)_{1LG} \mathbf{R}_f + (\mathbf{A}_2^1)_{1LG} (\mathbf{R}_f)^2}{(\mathbf{D}_0^1)_{1LG} + (\mathbf{D}_1^1)_{1LG} \mathbf{R}_f + (\mathbf{D}_2^1)_{1LG} (\mathbf{R}_f)^2} \quad (5-39)$$

$$\left. \begin{aligned}
 (\mathbf{A}_0^1)_{1LG} &= (\mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^{0e}) (\mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^{0e} + \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0e})_K \\
 (\mathbf{A}_1^1)_{1LG} &= 3 \{ \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0e} (\mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^{0e} + \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0e})_K \\
 &\quad + (\mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0e}) \mathbf{Y}_{nnK}^1 \mathbf{Y}_{nnK}^2 \mathbf{Y}_{nnK}^{0e} \} \\
 (\mathbf{A}_2^1)_{1LG} &= 9 | \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0e} |^2 \mathbf{Y}_{nnK}^1 \\
 (\mathbf{D}_0^1)_{1LG} &= | \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^2 + \mathbf{Y}_{nn}^1 \mathbf{Y}_{nn}^{0e} + \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0e} |^2
 \end{aligned} \right\} (5-40)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\mathbf{B}_0^2 + \mathbf{B}_1^2 R_f + \mathbf{B}_2^2 (R_f)^2}{D_0 + D_1 R_f + D_2 (R_f)^2} [\{ |\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{E}_1^1|^2 + |\mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1|^2 + \cdots + |\mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1|^2 \} \\
&\quad + 2 |\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_2^1| \sin(90^\circ - \theta_{n1} + \theta_{n2} - \phi_{12}) \\
&\quad + \cdots \cdots \cdots \\
&\quad + 2 |\mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{y}_{n(n-2)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-2)}^1| \sin(90^\circ - \theta_{n(n-1)} + \theta_{n(n-2)} - \phi_{(n-1)(n-2)})] \quad (5-53)
\end{aligned}$$

(a) 2線地絡, (5-12), (5-26) より

$$(\alpha_K^2 \lambda^2)_{2LG} = \frac{(\mathbf{B}_0^2)_{2LG} + (\mathbf{B}_1^2)_{2LG} R_f + (\mathbf{B}_2^2)_{2LG} (R_f)^2}{(D_0)_{2LG} + (D_1)_{2LG} R_f + (D_2)_{2LG} (R_f)^2} \quad (5-54)$$

$$\left. \begin{aligned}
(\mathbf{B}_0^2)_{2LG} &= -\mathbf{Y}_{nn}^2 \\
(\mathbf{B}_1^2)_{2LG} &= -3 \mathbf{Y}_{nn}^2 (\mathbf{Y}_{nn}^{0c} + \mathbf{B}_{nnK}^{0c}) \\
(\mathbf{B}_2^2)_{2LG} &= -9 |\mathbf{Y}_{nn}^{0c}|^2 \mathbf{Y}_{nn}^2
\end{aligned} \right\} \quad (5-55)$$

(b) 2線短絡, (5-13) 及び (5-27) より

$$(\alpha_K^2 \lambda^2)_{2LS} = \frac{(\mathbf{B}_0^2)_{2LS} + (\mathbf{B}_1^2)_{2LS} R_f + (\mathbf{B}_2^2)_{2LS} (R_f)^2}{(D_0)_{2LS} + (D_1)_{2LS} R_f + (D_2)_{2LS} (R_f)^2} \quad (5-56)$$

$$(\mathbf{B}_0^2)_{2LS} = -\mathbf{Y}_{nn}^2, \quad (\mathbf{B}_1^2)_{2LS} = (\mathbf{B}_2^2)_{2LS} = 0 \quad (5-57)$$

(c) 1線地絡, (5-14) 及び (5-28) より

$$(\alpha_K^2 \lambda^2)_{1LG} = \frac{(\mathbf{B}_0^2)_{1LG} + (\mathbf{B}_1^2)_{1LG} R_f + (\mathbf{B}_2^2)_{1LG} (R_f)^2}{(D_0)_{1LG} + (D_1)_{1LG} R_f + (D_2)_{1LG} (R_f)^2} \quad (5-58)$$

$$\left. \begin{aligned}
(\mathbf{B}_0^2)_{1LG} &= -|\mathbf{Y}_{nn}^{0c}|^2 \mathbf{Y}_{nn}^2 \\
(\mathbf{B}_1^2)_{1LG} &= (\mathbf{B}_2^2)_{1LG} = 0
\end{aligned} \right\} \quad (5-59)$$

逆相分電力は完全短絡にして抵抗地絡の時に楕円軌跡を示す。位相角変化は正弦波函数の和の値に従う。

3. 零相分電力

(5-15) 及び (5-29) より前同様

$$\begin{aligned}
P_n^0 + jQ_n^0 &= \alpha_K^0 \lambda^0 (-\mathbf{y}_{1n}^1 \mathbf{E}_1^1 - \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1)_K \\
&\quad \times (-\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{E}_1^1 - \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1 - \cdots - \mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1) \\
&= \frac{\mathbf{B}_0^0 + \mathbf{B}_1^0 R_f + \mathbf{B}_2^0 (R_f)^2}{D_0 + D_1 R_f + D_2 (R_f)^2} [\{ |\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{E}_1^1|^2 + |\mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1|^2 + \cdots + |\mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1|^2 \} \\
&\quad + 2 |\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_2^1| \sin(90^\circ - \theta_{n1} + \theta_{n2} - \phi_{12}) \\
&\quad + \cdots \cdots \cdots \\
&\quad + 2 |\mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{y}_{n(n-2)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-2)}^1| \sin(90^\circ - \theta_{n(n-1)} + \theta_{n(n-2)} - \phi_{(n-1)(n-2)})] \quad (5-60)
\end{aligned}$$

(a) 2線地絡, (5-15), (5-16), (5-17), (5-29) 及び (5-30) より

$$(\alpha_K^0 \lambda^0)_{2LG} = \frac{(\mathbf{B}_0^0)_{2LG} + (\mathbf{B}_1^0)_{2LG} R_f + (\mathbf{B}_2^0)_{2LG} (R_f)^2}{(D_0)_{2LG} + (D_1)_{2LG} R_f + (D_2)_{2LG} (R_f)^2} \quad (5-61)$$

$$\left. \begin{aligned} (\mathbf{B}_0^0)_{2LG} &= -\mathbf{Y}_{nn}^{0e} \\ (\mathbf{B}_1^0)_{2LG} &= (\mathbf{B}_2^0)_{2LG} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (5-62)$$

(b) 2線短絡, (5-18) 及び (5-31) より

$$(\alpha_K^0 \lambda^0)_{2LS} = 0 \quad (5-63)$$

(c) 1線地絡, (5-20) 及び (5-32) より

$$(\alpha_K^0 \lambda^0)_{1LG} = \frac{(\mathbf{B}_0^0)_{1LG} + (\mathbf{B}_1^0)_{1LG} R_f + (\mathbf{B}_2^0)_{1LG} (R_f)^2}{(D_0)_{1LG} + (D_1)_{1LG} R_f + (D_2)_{1LG} (R_f)^2} \quad (5-64)$$

$$\left. \begin{aligned} (\mathbf{B}_0^0)_{1LG} &= -|\mathbf{Y}_{nn}^2|^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0e} \\ (\mathbf{B}_1^0)_{1LG} &= (\mathbf{B}_2^0)_{1LG} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (5-65)$$

零相分電力は R_f 変化に対して楕円特性を示さない。

IV. 故障端子に於ける各相電力

各相分電圧及び電流により, n 端子各 a, b 及び c 相電力は, 対称座標法により容易に求め得る。

(a) b, c 相 2線地絡

(5-8), (5-12) 及び (5-17) により, 各相電圧は次式と共に得る事が出来る。

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{E}_n^a &= \mathbf{E}_n^1 + \mathbf{E}_n^2 + \mathbf{E}_n^0, & \mathbf{a} &= -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \mathbf{E}_n^b &= \mathbf{a}^2 \mathbf{E}_n^1 + \mathbf{a} \mathbf{E}_n^2 + \mathbf{E}_n^0, & \mathbf{a}^2 &= -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \mathbf{E}_n^c &= \mathbf{a} \mathbf{E}_n^1 + \mathbf{a}^2 \mathbf{E}_n^2 + \mathbf{E}_n^0, \end{aligned} \right\} \quad (5-66)$$

又 (5-22), (5-26) 及び (5-30) を次式に代入して各相電流を得る。

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{I}_n^a &= \mathbf{I}_n^1 + \mathbf{I}_n^2 + \mathbf{I}_n^0 \\ \mathbf{I}_n^b &= \mathbf{a}^2 \mathbf{I}_n^1 + \mathbf{a} \mathbf{I}_n^2 + \mathbf{I}_n^0 \\ \mathbf{I}_n^c &= \mathbf{a} \mathbf{I}_n^1 + \mathbf{a}^2 \mathbf{I}_n^2 + \mathbf{I}_n^0 \end{aligned} \right\} \quad (5-67)$$

上諸式と (5-8), (5-12), (5-17), (5-22), (5-26) 及び (5-30) より求むる電力は容易に計算し得る。

$$P_n^a + jQ_n^a = 0 \quad (5-68)$$

$$\left. \begin{aligned} P_n^b + jQ_n^b &= \frac{3\sqrt{3} R_f \mathbf{Y}_{nn}^{0e} \{ j \mathbf{Y}_{nn}^2 + (0.866 + j0.5) \mathbf{Y}_{nn}^{0e} + j3R_f \mathbf{Y}_{nn}^2 \mathbf{Y}_{nn}^{0e} \}}{(D_0)_{2LG} + (D_1)_{2LG} R_f + (D_2)_{2LG} (R_f)^2} \quad (\Sigma) \\ &= \left\{ \begin{aligned} & \{ |\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{E}_1^1|^2 + |\mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_2^1|^2 + \dots + |\mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1|^2 \} \\ & + 2 |\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{y}_{n2}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_2^1| \sin(90^\circ - \theta_{n1} + \theta_{n2} - \phi_{12}) \\ & + 2 |\mathbf{y}_{n1}^1 \mathbf{y}_{n3}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_3^1| \sin(90^\circ - \theta_{n1} + \theta_{n3} - \phi_{13}) \\ & + \dots \dots \dots \\ & + 2 |\mathbf{y}_{n(n-1)}^1 \mathbf{y}_{n(n-2)}^1 \mathbf{E}_{(n-1)}^1 \mathbf{E}_{(n-2)}^1| \sin(90^\circ - \theta_{n(n-1)} + \theta_{n(n-2)} - \phi_{(n-1)(n-2)}) \end{aligned} \right\} \quad (5-69) \end{aligned}$$

$$P_n^c + jQ_n^c = - \frac{3\sqrt{3}R_f Y_{nn}^{0c} \{jY_{nn}^2 - (0.866 - j0.5)Y_{nn}^{00} + j3R_f Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0c}\}}{(D_0)_{2LG} + (D_1)_{2LG} R_f (D_2)_{2LG} (R_f)^2} \quad (\Sigma) \quad (5-70)$$

(b) *b, c* 相 2 線短絡

(5-9), (5-13), (5-18), (5-23) 及び (5-27) より

$$P_n^a + jQ_n^a = 0 \quad (5-71)$$

$$P_n^b + jQ_n^b = \frac{j\sqrt{3} \{Y_{nn}^2 + R_f(0.5 - j0.866)|Y_{nn}^2|^2\}}{(D_0)_{2LS} + (D_1)_{2LS} R_f + (D_2)_{2LS} (R_f)^2} \quad (\Sigma) \quad (5-72)$$

$$P_n^c + jQ_n^c = - \frac{j\sqrt{3} \{Y_{nn}^2 + R_f(0.5 + j0.866)|Y_{nn}^2|^2\}}{(D_0)_{2LS} + (D_1)_{2LS} R_f + (D_2)_{2LS} (R_f)^2} \quad (\Sigma) \quad (5-73)$$

(c) *a* 相 1 線地絡

(5-10), (5-14) (5-20), (5-24), (5-28) 及び (5-32) より

$$P_n^a + jQ_n^a = \frac{9R_f |Y_{nn}^2 Y_{nn}^{0c}|^2}{(D_0)_{1LG} + (D_1)_{1LG} R_f + (D_2)_{1LG} (R_f)^2} \quad (\Sigma) \quad (5-74)$$

$$P_n^b + jQ_n^b = 0, \quad P_n^c + jQ_n^c = 0 \quad (5-75)$$

上諸式より、故障抵抗変化に応じ、故障相電力は楕円軌跡特性を示す事が判明する。

V. 一端子より隣接他端子に送電される各対称相分電力

任意の端子より隣接の他端子に送電される正相分電力は、故障抵抗 R_f の変化に応じて楕円特性を示し、その一部を軌跡とする事前述の場合と同様であるが、又各発電端内部誘起電圧相差角変化に従つても、連続楕円特性を電力座標上に画く。便宜上多機系の最も簡略な Fig. (5-1) に示す 3 機系の場合に就いて計算するものとし、故障点は端子 4 と仮定する。

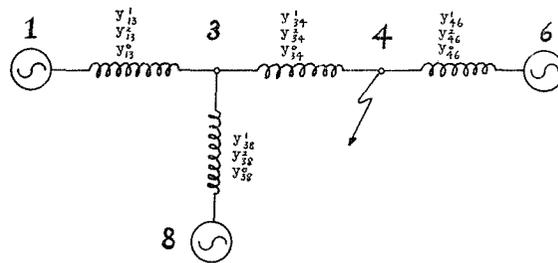


Fig. (5-1). Three-machine power system for which the analysis of line flowing powers are carried out in the present example.

正、逆及び零相分マトリックス式は

$$\begin{pmatrix} \mathbf{I}_1^1 \\ \mathbf{I}_3^1 = 0 \\ -\mathbf{I}_4^1 \\ \mathbf{I}_6^1 \\ \mathbf{I}_8^1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{Y}_{11}^1 & -\mathbf{y}_{13}^1 & 0 & 0 & 0 \\ -\mathbf{y}_{13}^1 & \mathbf{Y}_{33}^1 & -\mathbf{y}_{34}^1 & 0 & -\mathbf{y}_{38}^1 \\ 0 & -\mathbf{y}_{34}^1 & \mathbf{Y}_{44}^1 & -\mathbf{y}_{46}^1 & 0 \\ 0 & 0 & -\mathbf{y}_{46}^1 & \mathbf{Y}_{66}^1 & 0 \\ 0 & -\mathbf{y}_{38}^1 & 0 & 0 & \mathbf{Y}_{88}^1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{E}_1^1 \\ \mathbf{E}_3^1 \\ \mathbf{E}_4^1 \\ \mathbf{E}_6^1 \\ \mathbf{E}_8^1 \end{pmatrix} \quad (5-76)$$

$$\begin{pmatrix} I_1^2 \\ I_3^2=0 \\ -I_4^2 \\ I_6^2 \\ I_8^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11}^2 & -y_{13}^2 & 0 & 0 & 0 \\ -y_{13}^2 & Y_{33}^2 & -y_{34}^2 & 0 & -y_{38}^2 \\ 0 & -y_{34}^2 & Y_{44}^2 & -y_{46}^2 & 0 \\ 0 & 0 & -y_{46}^2 & Y_{66}^2 & 0 \\ 0 & -y_{38}^2 & 0 & 0 & Y_{88}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1^2=0 \\ E_3^2 \\ E_4^2 \\ E_6^2=0 \\ E_8^2=0 \end{pmatrix} \quad (5-77)$$

$$-I_4^0 = Y_{44}^{0c} E_4^0 \quad (5-78)$$

(5-4), (5-5) 又は (5-6) の一を (5-76), (5-77) 及び (5-78) に代入計算すれば故障解を得るが、本例では 4 端子に於ける b, c 相 2 線地絡の状態に於ける端子 3 より端子 4 に送電される各相分電力に就いて見るものとする。計算の結果は

$$\left. \begin{aligned} \Delta E_4^1 &= -Y_{33}^2 (1+3R_f Y_{44}^{0c}) E, \\ \Delta E_4^2 &= \Delta E_4^1, \quad \Delta E_4^3 = -Y_{33}^2 E \\ \Delta I_4^1 &= -\{(Y_{33}^2 Y_{44}^{0c} + \beta) + 3R_f Y_{44}^{0c}(\beta)\} E \\ \Delta I_4^2 &= \beta (1+3R_f Y_{44}^{0c}) E, \quad \Delta I_4^3 = Y_{33}^2 Y_{44}^{0c} E \\ \Delta E_3^1 &= -(Y_{33}^2 Y_{44}^{0c} + Y_{44}^1 Y_{33}^2 + \beta) (y_{13}^1 E_1^1 + y_{38}^1 E_8^1) - y_{16}^1 y_{34}^1 Y_{33}^2 E_6^1 \\ &\quad - 3R_f Y_{44}^{0c} \{(Y_{44}^1 Y_{33}^2 + \beta) (y_{13}^1 E_1^1 + y_{38}^1 E_8^1) + y_{46}^1 y_{34}^1 Y_{33}^2 E_6^1\} \\ \Delta E_3^2 &= -y_{34}^2 (1+3R_f Y_{44}^{0c}); \\ \Delta I_3^1 &= Y_{11}^1 \Delta E_1^1 - y_{13}^1 \Delta E_3^1, \quad \Delta I_3^2 = -y_{13}^2 \Delta E_3^2 \\ \Delta I_3^3 &= Y_{66}^1 \Delta E_6^1 - y_{46}^1 \Delta E_3^1, \quad \Delta I_3^6 = -y_{46}^2 \Delta E_3^2 \\ \Delta I_3^8 &= Y_{88}^1 \Delta E_8^1 - y_{38}^1 \Delta E_3^1, \quad \Delta I_3^8 = -y_{38}^2 \Delta E_3^2 \\ \Delta &= -(Y_{33}^1 Y_{33}^2 Y_{44}^{0c} + Y_{33}^2 \alpha + Y_{33}^1 \beta) - 3R_f Y_{44}^{0c} (Y_{33}^2 \alpha + Y_{33}^1 \beta) \\ \alpha &= Y_{33}^1 Y_{44}^1 - (y_{34}^1)^2, \quad \beta = Y_{33}^2 Y_{44}^2 - (y_{34}^2)^2 \\ E &= y_{13}^1 y_{34}^1 E_1^1 + y_{38}^1 y_{34}^1 E_8^1 + y_{36}^1 Y_{33}^2 E_6^1 \end{aligned} \right\} \quad (5-79)$$

1. 正相分電力

端子 3 より端子 4 に送られる電力は

$$P_{34}^1 + jQ_{34}^1 = y_{34}^1 E_{3\kappa}^1 (E_3^1 - E_4^1) \quad (5-80)$$

今電流の結果を整理して、(5-79) より

$$y_{34}^1 (E_3^1 - E_4^1) = \frac{1}{\Delta} \{H_1^1 E_1^1 + H_6^1 E_6^1 + H_8^1 E_8^1\} + 3R_f (G_1^1 E_1^1 + G_6^1 E_6^1 + G_8^1 E_8^1) \quad (5-81)$$

$$\left. \begin{aligned} H_1^1 &= y_{34}^1 y_{13}^1 \{Y_{33}^2 (y_{34}^1 - Y_{44}^1 - Y_{44}^{0c}) - \beta\} \\ H_6^1 &= y_{34}^1 y_{46}^1 Y_{33}^2 (Y_{33}^1 - y_{34}^1) \\ H_8^1 &= y_{34}^1 y_{38}^1 \{Y_{33}^2 (y_{34}^1 - Y_{44}^1 - Y_{44}^{0c}) - \beta\} \\ G_1^1 &= y_{34}^1 y_{13}^1 Y_{44}^{0c} \{Y_{33}^2 (y_{34}^1 - Y_{44}^1) - \beta\} \\ G_6^1 &= y_{34}^1 y_{46}^1 Y_{33}^2 Y_{44}^{0c} (Y_{33}^1 - y_{34}^1) \\ G_8^1 &= y_{34}^1 y_{38}^1 Y_{44}^{0c} \{Y_{33}^2 (y_{34}^1 - Y_{44}^1) - \beta\} \end{aligned} \right\} \quad (5-82)$$

又電圧を簡略に表わして、(5-79) より

$$E_3^1 = \frac{1}{\Delta} \{(R_1^1 E_1^1 + R_6^1 E_6^1 + R_8^1 E_8^1) + 3R_f (S_1^1 E_1^1 + S_6^1 E_6^1 + S_8^1 E_8^1)\} \quad (5-83)$$

$$\left. \begin{aligned} R_1^i &= -y_{13}^1 \{ Y_{33}^2 (Y_{44}^1 + Y_{44}^{0c}) - \beta \} \\ R_6^i &= -y_{46}^1 y_{34}^1 Y_{33}^2 \\ R_8^i &= -y_{38}^1 \{ Y_{33}^2 (Y_{44}^1 + Y_{44}^{0c}) - \beta \} \\ S_1^i &= -y_{13}^1 Y_{44}^{0c} (Y_{33}^2 Y_{44}^1 - \beta) \\ S_6^i &= -y_{46}^1 y_{34}^1 Y_{33}^2 Y_{44}^{0c} \\ S_8^i &= -y_{38}^1 Y_{44}^{0c} (Y_{33}^2 Y_{44}^1 - \beta) \end{aligned} \right\} \quad (5-84)$$

(5-81), (5-82), (5-83) 及び (5-84) を (5-80) に代入し整理すれば

$$\begin{aligned} P_{31}^i + jQ_{31}^i &= \frac{1}{C_0 + C_1 R_f + C_2 (R_f)^2} \\ &\times [|E_1^i|^2 \{ H_1^i R_{1K}^1 + 3R_f (G_1^i R_{1K}^1 + H_1^i S_{1K}^1) + 9(R_f)^2 (G_1^i S_{1K}^1) \} \\ &+ |E_6^i|^2 \{ H_6^i R_{6K}^1 + 3R_f (G_6^i R_{6K}^1 + H_6^i S_{6K}^1) + 9(R_f)^2 (G_6^i S_{6K}^1) \} \\ &+ \dots \dots \dots \\ &+ E_1^i E_{6K}^i \{ H_1^i R_{6K}^1 + 3R_f (G_1^i R_{6K}^1 + H_1^i S_{6K}^1) + 9(R_f)^2 (G_1^i S_{6K}^1) \} \\ &+ \dots \dots \dots \\ &+ E_{6K}^i E_8^i \{ H_8^i R_{6K}^1 + 3R_f (G_8^i R_{6K}^1 + H_8^i S_{6K}^1) + 9(R_f)^2 (G_8^i S_{6K}^1) \}] \end{aligned} \quad (5-85)$$

$$\left. \begin{aligned} C_0 &= |Y_{33}^1 Y_{33}^2 Y_{44}^{0c} + Y_{33}^2 \alpha + Y_{33}^1 \beta|^2 \\ C_1 &= 3 [(Y_{33}^1 Y_{33}^2 Y_{44}^{0c} + Y_{33}^2 \alpha + Y_{33}^1 \beta)_K (Y_{33}^2 \alpha + Y_{33}^1 \beta) \\ &+ (Y_{33}^1 Y_{33}^2 Y_{44}^{0c} + Y_{33}^2 \alpha + Y_{33}^1 \beta) Y_{44}^{0c} (Y_{33}^2 \alpha + Y_{33}^1 \beta)_K] \\ C_2 &= 9 |Y_{44}^{0c} (Y_{33}^2 \alpha + Y_{33}^1 \beta)|^2 \end{aligned} \right\} \quad (5-86)$$

上式中 C_0 , C_1 及び C_2 は実数である故、今 (5-87) の R_f を変化せしめれば、 $Y_1, Y_2 \dots Y_9$ は夫々楕円特性を示す事は明らかである。

$$\left. \begin{aligned} Y_1 &= \frac{1}{C_0 + C_1 R_f + C_2 (R_f)^2} \{ H_1^i R_{1K}^1 + 3R_f (G_1^i R_{1K}^1 + H_1^i S_{1K}^1) + 9(R_f)^2 (G_1^i S_{1K}^1) \} \\ &\dots \dots \dots \\ Y_9 &= \frac{1}{C_0 + C_1 R_f + C_2 (R_f)^2} \{ H_8^i R_{6K}^1 + 3R_f (G_8^i R_{6K}^1 + H_8^i S_{6K}^1) + 9(R_f)^2 (G_8^i S_{6K}^1) \} \end{aligned} \right\} \quad (5-87)$$

一方 R_f が一定数値であれば、上式は定ベクトル値を示すが、その特別な場合として、 $R_f = 0$ の時には、完全 2 線地絡の状態として (5-85) は (5-88) となる。

$$\left. \begin{aligned} (P_{31}^i + jQ_{31}^i)_{R_f=0} &= \frac{1}{C_0} [\{ H_1^i R_{1K}^1 |E_1^i|^2 + H_6^i R_{6K}^1 |E_6^i|^2 + H_8^i R_{6K}^1 |E_8^i|^2 \} \\ &+ (H_1^i R_{6K}^1 E_1^i E_{6K}^i + H_6^i R_{1K}^1 E_{1K}^i E_6^i) \\ &+ (H_1^i R_{8K}^1 E_1^i E_{8K}^i + H_8^i R_{1K}^1 E_{1K}^i E_8^i) \\ &+ (H_6^i R_{8K}^1 E_6^i E_{8K}^i + H_8^i R_{6K}^1 E_{6K}^i E_8^i)] \end{aligned} \right\} \quad (5-88)$$

上式中第 2, 第 3 及び第 4 の括弧内は位相差の変化に応じて楕円軌跡を有する事は明らかであつて、例えば

$$\begin{aligned}
 U_{16} &= (\mathbf{H}_1^1 \mathbf{R}_{6K}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_{6K}^1 + \mathbf{H}_6^1 \mathbf{R}_{1K}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_6^1) \\
 &= |\mathbf{H}_1^1 \mathbf{R}_{6K}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_6^1| \varepsilon^{j(\theta_{1K} - \theta_{6r} + \phi_{16})} + |\mathbf{H}_6^1 \mathbf{R}_{1K}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_6^1| \varepsilon^{j(\theta_{6K} - \theta_{1r} - \phi_{16})}
 \end{aligned} \quad (5-89)$$

とせば、 U_{16} は ϕ_{16} を変数として楕円をしめし、長軸は $|\mathbf{H}_1^1 \mathbf{R}_{6K}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_6^1| + |\mathbf{H}_6^1 \mathbf{R}_{1K}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_6^1|$ 、短軸は $|\mathbf{H}_1^1 \mathbf{R}_{6K}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_6^1| \sim |\mathbf{H}_6^1 \mathbf{R}_{1K}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_6^1|$ であり、その軸は $\frac{1}{2}\{(\theta_{1K} - \theta_{6r}) + (\theta_{6K} - \theta_{1r})\}$ だけ反時計式に有効分軸より回転する。変数 ϕ_{16} は \mathbf{E}_1^1 と \mathbf{E}_6^1 の相差角であるが、この変化に伴ない、 $|\mathbf{H}_1^1 \mathbf{R}_{6K}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_6^1|$ と $|\mathbf{H}_6^1 \mathbf{R}_{1K}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_6^1|$ 、及び $(\theta_{1K} - \theta_{1r})$ と $(\theta_{6K} - \theta_{6r})$ との夫々の大小関係に応じて時計式に、或いは反時計式に動作点は移動する。

次に $R_f = \infty$ の場合は完全 2 線短絡に相当するが、(5-90) に示す如く連続楕円を矢張り示している。

$$\begin{aligned}
 (P_{34}^1 + jQ_{34}^1)_{R_f = \infty} &= \frac{9}{C_2} [G_1^1 S_{1K}^1 |E_1^1|^2 + G_6^1 S_{6K}^1 |E_6^1|^2 + G_8^1 S_{8K}^1 |E_8^1|^2] \\
 &\quad + (G_1^1 S_{6K}^1 E_1^1 E_{6K}^1 + G_6^1 S_{1K}^1 E_1^1 E_6^1) \\
 &\quad + (G_1^1 S_{8K}^1 E_1^1 E_{8K}^1 + G_8^1 S_{1K}^1 E_1^1 E_8^1) \\
 &\quad + (G_1^1 S_{8K}^1 E_6^1 E_{8K}^1 + G_8^1 S_{6K}^1 E_6^1 E_8^1)
 \end{aligned} \quad (5-90)$$

2. 逆相分電力

$$P_{34}^2 + jQ_{34}^2 = \mathbf{y}_{34}^2 \mathbf{E}_{3K}^2 (\mathbf{E}_3^2 - \mathbf{E}_4^2) \quad (5-91)$$

更に (5-79)、(5-91) より

$$\begin{aligned}
 P_{34}^2 + jQ_{34}^2 &= - \frac{|\mathbf{y}_{34}^2 (1 + 3R_f Y_{41}^{0c})|^2 (Y_{33}^2 - \mathbf{y}_{34}^2)}{C_0 + C_1 R_f + C_2 (R_f)^2} \\
 &\quad \times [|\mathbf{y}_{13}^1 \mathbf{y}_{34}^1 \mathbf{E}_1^1|^2 + |\mathbf{y}_{46}^1 Y_{33}^1 \mathbf{E}_6^1|^2 + |\mathbf{y}_{38}^1 \mathbf{y}_{34}^1 \mathbf{E}_8^1|^2] \\
 &\quad + 2|\mathbf{y}_{33}^1 \mathbf{y}_{13}^1 \mathbf{y}_{46}^1 Y_{33}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_6^1| \sin(90^\circ - \theta_{13} - \theta_{34} + \theta_{46} + \theta_{33} - \phi_{16}) \\
 &\quad + 2|\mathbf{y}_{13}^1 \mathbf{y}_{34}^1 \mathbf{y}_{38}^1 \mathbf{y}_{34}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_8^1| \sin(90^\circ - \theta_{13} + \theta_{38} - \phi_{18}) \\
 &\quad + 2|\mathbf{y}_{46}^1 Y_{33}^1 \mathbf{y}_{38}^1 \mathbf{y}_{34}^1 \mathbf{E}_6^1 \mathbf{E}_8^1| \sin(90^\circ - \theta_{46} - \theta_{33} + \theta_{38} + \theta_{34} - \phi_{68})
 \end{aligned} \quad (5-92)$$

3. 零相分電力

$$P_{34}^0 + jQ_{34}^0 = \mathbf{y}_{34}^0 \mathbf{E}_{3K}^0 (\mathbf{E}_3^0 - \mathbf{E}_4^0) \quad (5-93)$$

(5-79) 及び (5-93) より

$$\begin{aligned}
 P_{34}^0 + jQ_{34}^0 &= - \frac{|\mathbf{Y}_{23}^0|^2 (\mathbf{y}_{34}^0 - 2Y_{41}^{0c}) \mathbf{Y}_{4K}^{0c} / \mathbf{y}_{34K}^0}{C_0 + C_1 R_f + C_2 (R_f)^2} \\
 &\quad \times [|\mathbf{y}_{13}^1 \mathbf{y}_{34}^1 \mathbf{E}_1^1|^2 + |\mathbf{y}_{46}^1 Y_{33}^1 \mathbf{E}_6^1|^2 + |\mathbf{y}_{38}^1 \mathbf{y}_{34}^1 \mathbf{E}_8^1|^2] \\
 &\quad + 2|\mathbf{y}_{33}^1 \mathbf{y}_{13}^1 \mathbf{y}_{46}^1 Y_{33}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_6^1| \sin(90^\circ - \theta_{13} - \theta_{34} + \theta_{46} + \theta_{33} - \phi_{16}) \\
 &\quad + 2|\mathbf{y}_{13}^1 \mathbf{y}_{34}^1 \mathbf{y}_{38}^1 \mathbf{y}_{34}^1 \mathbf{E}_1^1 \mathbf{E}_8^1| \sin(90^\circ - \theta_{13} + \theta_{38} - \phi_{18}) \\
 &\quad + 2|\mathbf{y}_{46}^1 Y_{33}^1 \mathbf{y}_{38}^1 \mathbf{y}_{34}^1 \mathbf{E}_6^1 \mathbf{E}_8^1| \sin(90^\circ - \theta_{46} - \theta_{33} + \theta_{38} + \theta_{34} - \phi_{68})
 \end{aligned} \quad (5-94)$$

VI. 各対称相分電力の計算例

計算例は Fig. (1-2) 及び Fig. (5-1) に示す 3 機系に就いて、4 端子 b, c 相 2 線地絡事故を対称として行なつたものであるが、便宜上本例では逆相分アドミッタンス値は正相分値に等しく仮定してある。

Elliptical loci of output power at terminal 1 for respective expression inside the brace and the common denominator in eq.

- (5-1') according to the variable R_f .
- (A) Inside of the first brace with denominator.
- (B) Inside of the second brace and denominator as a coefficient of $\varepsilon^{-j\theta}$.
- (C) Inside of the third brace and denominator as a coefficient of $\varepsilon^{-j\theta}$.
- (D) Total elliptical characteristic under the assumption of constant phase angles.

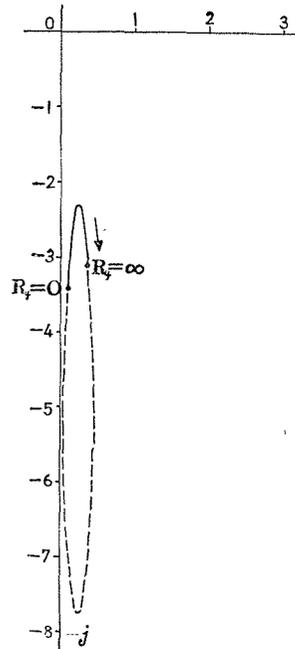


Fig. (5-2). (A)

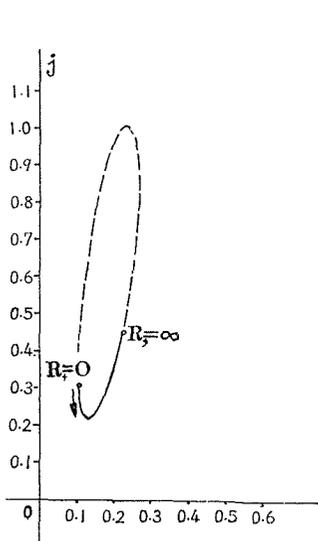


Fig. (5-2). (B)

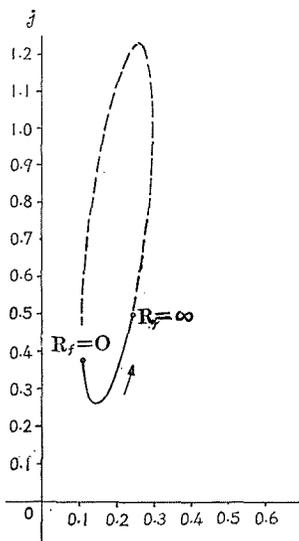


Fig. (5-2). (C)

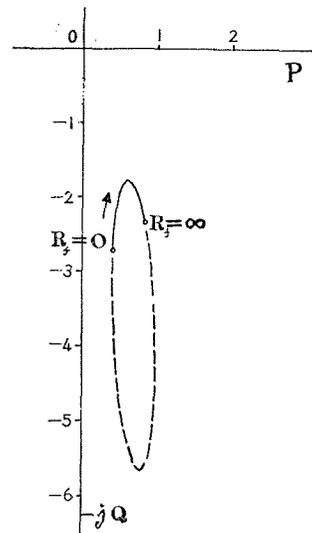


Fig. (5-2). (D)

(A) 端子 1 より流出する電力

(5-34), (5-35) 及び (5-36) より, 各内部誘起電圧絶対値不変として

$$\begin{aligned}
 P_1 + jQ_1 = & \frac{1}{2.39 + 42.9R_f + 460(R_f)^2} \\
 & \times [\{ (0.314 - j8.12) + (9.17 - j38.1)R_f + (151 - j1460)(R_f)^2 \} \\
 & + \{ (0.257 + j0.735) + (0.608 - j0.456)R_f + (106.8 + j208)(R_f)^2 \} \epsilon^{-j\phi_{16}} \\
 & + \{ (0.279 + j0.872) + (5.82 + j0.218)R_f + (107 + j225)(R_f)^2 \} \epsilon^{-j\phi_{18}}] \quad (5-1')
 \end{aligned}$$

今若し ϕ_{16} 及び ϕ_{18} が (1-26') に示す内部電圧値の値のまま維持されるとすれば, $P_1 + jQ_1$ は R_f の変化により 3 つの楕円とベクトルの和の軌跡であつて, それらの和も又楕円の一部を軌跡として画く事, Fig. (5-2) (A), (B), (C), (D) の如くである。図中 $R_f = 0$ は bc 相金属 2 線地絡, $R_f = \infty$ は金属 2 線短絡状態を示して居り, 軌跡はこの範囲である。

又, R_f が一定であれば, (5-1') は ϕ_{16} 及び ϕ_{18} の変動に応じ Fig. (5-3) の如く連続円線図を示す。

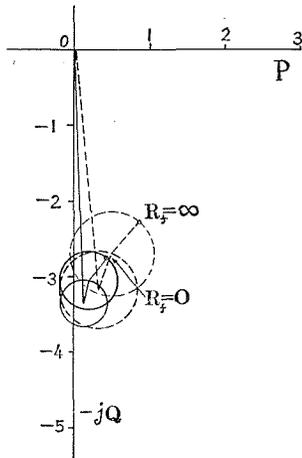


Fig. (5-3). Circular loci showing power at terminal 1, immediately after the occurrence of fault.
Full line: two-line-to-ground fault.
Dotted line: line-to-line-short circuit.

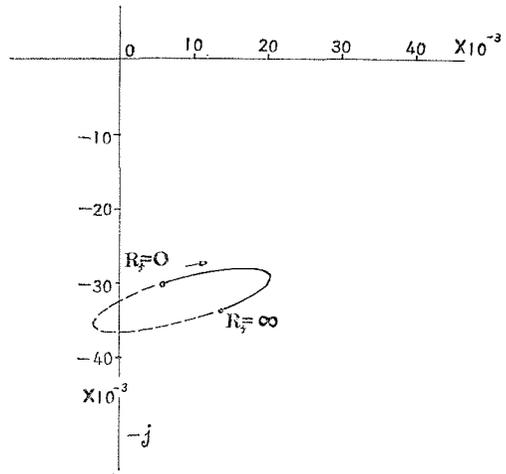


Fig. (5-4). Elliptical locus denotes the effect of variable R_f which is expressed as a coefficient of positive phase sequence power at faulted terminal n .

(B) 故障端子の各相分電力

(1) 正相分電力

(5-45), (5-47) 及び (5-48) より

$$P_1 + jQ_1 = \frac{(2.56 - j13.5) + (151 - j0.6)R_f + (1150 - j2880)(R_f)^2}{442 + 1550R_f + 85410(R_f)^2} \times \{17.66 + 12.6 \sin(86^\circ 40' - \phi_{16}) + 12.0 \sin(85^\circ 35' - \phi_{18}) + 7.50 \sin(88^\circ 55' - \phi_{18})\} \quad (5-2')$$

分数係数部分は R_f の影響を示し、之のベクトル軌跡は Fig. (5-4) に示す如くである。又相差角一定で初期値に等しい場合は次の如くなる。

$$R_f = 0 : P_1 + jQ_1 = 0.281 - j1.48$$

$$R_f = \infty : P_1 + jQ_1 = 0.654 - j1.63$$

(2) 逆相分電力

(5-53), (5-54) 及び (5-55) より

$$P_1 + jQ_1 = - \frac{(2.56 - j6.4) + (1152 - j2880)(R_f)^2}{442 + 1550R_f + 85410(R_f)^2} \times \{17.66 + 12.6 \sin(86^\circ 40' - \phi_{16}) + 12.0 \sin(85^\circ 35' - \phi_{18}) + 7.50 \sin(88^\circ 55' - \phi_{18})\} \quad (5-3')$$

最初の分数係数項は R_f を変数として Fig. (5-5) の如く示される軌跡を有している。 R_f 一定の場合は、変数 ϕ_{16} , ϕ_{18} に初期値を採れば

$$R_f = 0 : P_1 + jQ_1 = -(0.281 - j0.704)$$

$$R_f = \infty : P_1 + jQ_1 = -(0.654 - j1.63)$$

2線金属短絡では正逆相分電力は等しく、方向反対となる。

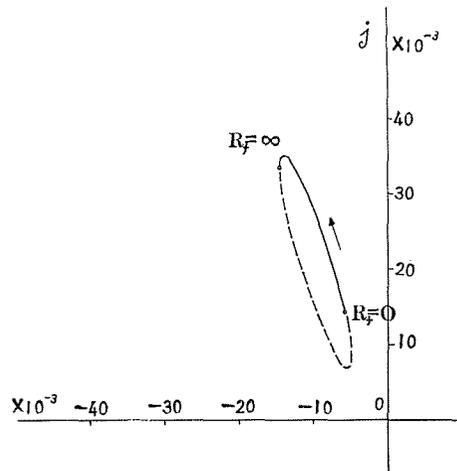


Fig. (5-5). Elliptical locus denotes the effect of variable R_f , which is a coefficient of negative phase sequence power at faulted terminal n .

(3) 零相分電力

同様 (5-60), (5-61) 及び (5-62) より

$$\begin{aligned}
 P_4^0 + jQ_4^0 &= \frac{j7.07}{442 + 1550R_f + 85410(R_f)^2} \\
 &\times (17.66 + 12.6 \sin(86^\circ 40' - \phi_{16}) + 12.0 \sin(85^\circ 35' - \phi_{18}) \\
 &+ 7.50 \sin(88^\circ 55' - \phi_{18})) \quad (5-4)
 \end{aligned}$$

此の場合分母係数の示す楕円の短軸は零となる故 Fig. (5-6) の如くなり、初期値としては

$$\begin{aligned}
 R_f = 0 : \quad P_4^0 + jQ_4^0 &= -(-j0.774) \\
 R_f = \infty : \quad P_4^0 + jQ_4^0 &= 0
 \end{aligned}$$

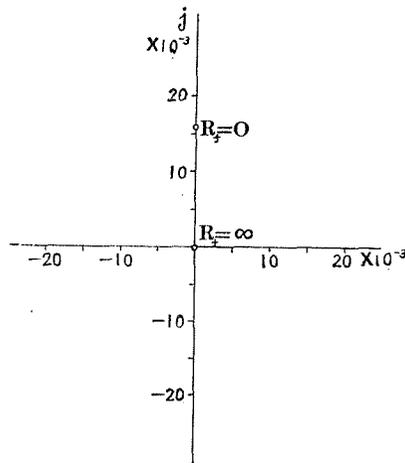


Fig. (5-6). Locus denotes the effect of variable R_f , which is a coefficient of zero phase sequence power at faulted terminal n .

(C) 端子 3 より 4 に流出する各対称相分電力

(1) 正相分電力

(5-82), (5-84), (5-85) 及び (5-86) より

$$\begin{aligned}
 P_{34}^1 + jQ_{34}^1 &= \frac{1}{2.40 + 42.9R_f + 460(R_f)^2} \\
 &\times [(0.297 - j1.11) + (15 + j17.9)R_f + (135 - j240)(R_f)^2] \\
 &+ \dots \\
 &+ \{(0.211 - j0.539) + (7.35 + j10.2)R_f + (85.9 - j119.2)(R_f)^2\} \epsilon^{j\phi_{16}} \\
 &+ \dots \\
 &+ \{(0.228 - j0.648) + (-4.64 + j11.34)R_f + (90.6 - j136)(R_f)^2\} \epsilon^{j\phi_{18}} \\
 &+ \dots \\
 &+ \{(0.104 - j0.331) + (0.344 + j0.0167)R_f + (46.4 - j75.9)(R_f)^2\} \epsilon^{-j\phi_{60}} \quad (5-5')
 \end{aligned}$$

各括弧内はすべて R_f の変化により別個の 9 個の楕円として示されるが、別に $R_f=0$ とす

れば(5-6')の如く簡略な形となり

$$\begin{aligned}
 (R_{34}^1 + jQ_{34}^1)_{2LG} &= (0.123 - j0.459) + (-0.055 + j0.450) + (0.046 - j0.164) \\
 &+ \frac{1}{240} \{ (0.578 \epsilon^{-j68^\circ 30'} \epsilon^{j\phi_{16}} + 0.213 \epsilon^{-j90^\circ 10'} \epsilon^{-j\phi_{16}}) \\
 &+ (0.687 \epsilon^{-j70^\circ 35'} \epsilon^{j\phi_{18}} + 0.133 \epsilon^{-j2^\circ 56'} \epsilon^{-j\phi_{18}}) \\
 &+ (0.128 \epsilon^{-j85^\circ} \epsilon^{j\phi_{68}} + 0.347 \epsilon^{-j72^\circ 30'} \epsilon^{-j\phi_{68}}) \} \tag{5-6'}
 \end{aligned}$$

本式は定ベクトルと3つの楕円の連続軌跡を示し, Fig.(5-7)の如くであり, 図は初期状態を示している。

又 $R_f = \infty$ の場合は, (5-90) により

$$\begin{aligned}
 (P_{34}^1 + jQ_{34}^1)_{2LG} &= (0.292 - j0.52) + (-0.0129 + j0.106) + (0.103 - j0.185) \\
 &+ \frac{1}{460} (147 \epsilon^{-j54^\circ 15'} \epsilon^{j\phi_{16}} + 87.3 \epsilon^{-j89^\circ 30'} \epsilon^{-j\phi_{16}}) \\
 &+ (163.7 \epsilon^{-j55^\circ 30'} \epsilon^{j\phi_{18}} + 163.0 \epsilon^{-j65^\circ 3'} \epsilon^{-j\phi_{18}}) \\
 &+ (54.5 \epsilon^{-j85^\circ 15'} \epsilon^{j\phi_{68}} + 89.0 \epsilon^{-j58^\circ 30'} \epsilon^{-j\phi_{68}}) \} \tag{5-7'}
 \end{aligned}$$

Fig. (5-8) は(5-7')の故障初期値を示している。

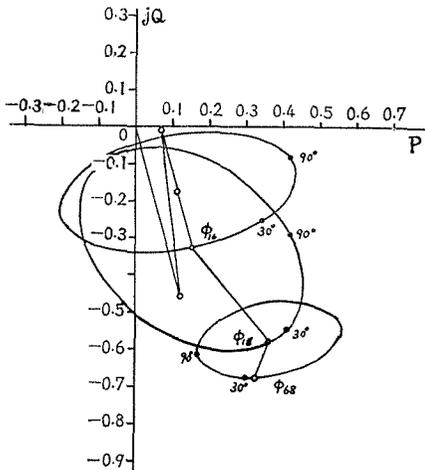


Fig. (5-7). Assembled elliptical loci of positive phase sequence power according to the variation of internal phase angle differences of each pair of machine. The figure is plotted for the value of immediately after the occurrence of metallic two-line-to-ground fault under $R_f=0$.

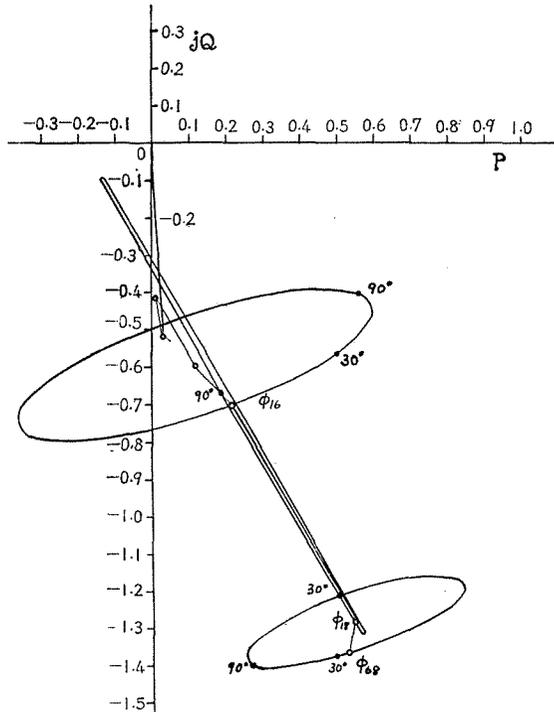


Fig. (5-8). Assembled elliptical loci of positive phase sequence power according to the variation of internal phase angle differences of each pair of machine. The figure is plotted for the value of immediately after the occurrence of metallic line-to-line short circuit fault.

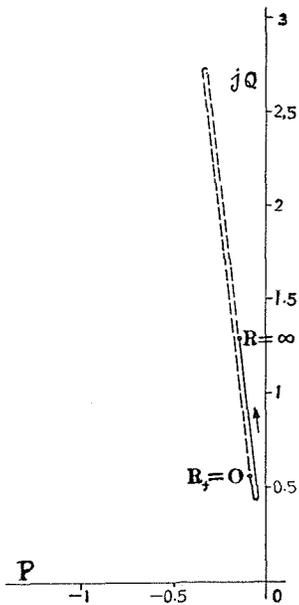


Fig. (5-9). Elliptical locus of negative phase sequence power. It is flowing in to the terminal 3.

2. 逆相分電力

(5-92) より

$$P_{31}^2 + jQ_{31}^2 = \frac{(-0.411 + j3.38) - (184 + j1550)(R_f)^2}{2.40 + 42.9 R_f + 460 (R_f)^2} \times \{0.141 + 0.101 \sin(86^\circ 40' - \phi_{16}) + 0.0960 \sin(85^\circ 40' - \phi_{18}) + 0.0596 \sin(88^\circ 55' - \phi_{68})\} \quad (5-8')$$

最初の分数係数項は R_f 変化により楕円を示し、その初期値は Fig. (5-9) に示す如く

$$R_f = 0 : P_{31}^2 + jQ_{31}^2 = -(0.0665 - j0.549)$$

$$R_f = \infty : P_{31}^2 + jQ_{31}^2 = -(0.156 - j1.285)$$

3. 零相分電力

(5-94) より

$$P_{31}^0 + jQ_{31}^0 = \frac{j2.4}{2.40 + 42.9 R_f + 460 (R_f)^2} \times \{0.141 + 0.101 \sin(86^\circ 40' - \phi_{16}) + 0.0960 \sin(85^\circ 40' - \phi_{18}) + 0.0596 \sin(88^\circ 55' - \phi_{68})\} \quad (5-9')$$

$R_f = 0$ ならば、故障直後 $P_{31}^0 + jQ_{31}^0 = -(-j0.39)$ である。

結 言

1. 故障点インピーダンスを含んだ不平衡故障が、多機系統に発生した場合の解析は、故障発生点に於いて現われる正相、逆相及び零相分の各電圧及び電流値を、凡ての内部誘起電圧値に関して簡潔に示す所の係数を考える事によつて、極めて簡略に逐行する事が出来る。

2. 此の係数は正、逆及び零相分電圧及び電流夫々に対して、又故障種類に対して、故障点が決定して居さえすれば、予め計算して置く事が出来るが、本文第一、第三及び第五章に之等の諸係数が一般多機系に対して計算されている。

3. 上述の方法を用い、安定度計算に要する各発電端子に於ける有効分電力と位相角関係を示す方程式を一般に誘導し、併せて定常時、单相再閉路等に対する場合も示してあるが、又故障発生により各発電端子に衝撃される電力の変動減少分即ち加速電力として作用するものの誘導も簡略である事が第一章に述べられている。

4. 上記の減少分電力式と定常時出力電力の方程式より、2機系に於いては普通の等面積法による安定度判定法が適用出来る事を第二章に於いて計算例と共に示してある。

5. 制動巻線を有する発電機を含む系統に於いては、系統故障時の動揺に対して逆相分制動電力の影響があるが、第三章に於いて一般多機系に於いてのこの計算法を示し、併せて3機

系に於いての計算結果を、逆相分制動のなき場合の結果と共に夫々の故障状態に対する動揺曲線によつて示してあり、仮定が高抵抗制動巻線定数にとつてあるので可成の影響が見られる。

6. 同じく制動巻線による正相分電力としての動揺抑制現象の計算法が第四章に示してある。基本となる式は一機無限大母線の系統に対するものであるが、之を拡張適用して近似的解法を示し、3機系に於ける実例計算によりその影響の程度を例示している。

7. 各内部誘起電圧絶対値及びその位相角が、故障発生後暫時一定の値に留つていれば各発電端電力、故障端子の正相分及び逆相分電力、更には任意端子より隣接他端子へ流入する各相分電力等はすべて、故障点に於いて存在する故障点抵抗値の変化に応じて、一般に楕円上の一部を軌跡とする特性を示す事が第五章に述べてあるが、之は系統の保護継電器適用上注意すべき点であると思われる。

8. 他方又故障点抵抗一定とした場合、一端子より任意隣接他端子へ流入する正相分電力及び相電力は、内部電圧相差角の変動によつて楕円軌跡の連続表示としての特性を示している。

謝 辞

終りに当り、本研究に多大の御教示御指導を戴き、又終始変らざる御鞭撻を賜つた小串孝治教授に心から感謝の意を表すると共に、計算の一部を手伝つて戴いた宮田忠義、小野誠治助手に御礼を申述べます。

参 考 文 献

- 1) 小串・宮田：電気学会連合大会予稿，昭和29年5月，335.
- 2) K. Ogushi：Working Characteristics of Electric Power Transmission Networks., A book, 1957.
- 3) E. W. Kimbark：Power System Stability., Vol. III.
- 4) 梅津・中島：多端子系統に於ける系統脱調時の諸問題。電学誌，昭和29年10月，p. 37-38.
- 5) 埴野・田村・松元：送電系統の過渡安定度に及ぼす damper winding の効果。電気3学会連大，昭和29年5月，343.
- 6) 埴野・高橋：送電系統における相差角変動式の新近似解法。連大，昭和28年4月，312.
- 7) 埴野・吉野・田村：制動巻効果を検討した新北陸幹線の安定度計算と試験値との比較。連大，昭和30年4月，357.
- 8) 山田・日高・永村：国鉄信濃川線の過渡安定度。連大，昭和28年11月，267.