

# 複素行列法による電力系統の 高調波電流の理論的解析法 そのⅢ

日 原 良 造

## Theoretical analysis of harmonic currents in ac power systems by complex matrix method Part III

Ryozo HIHARA

The author has investigated the theoretical analysis of harmonic currents due to power transformers in the model higher rank power transmission systems containing the distribution systems, which had been published in previous reports Part I and Part II.

In this paper author explains in detail about it, as following items ;

- ① the selection of model power transmission systems.
- ② the establishment of theoretical analysis about to harmonic currents distribution in the model power transmission systems.
- ③ the development a computer program for the Acos 450 digital computer based upon the above theory.

### 1. ま え が き

第Ⅰ報<sup>1)</sup>、第Ⅱ報<sup>2)</sup>に述べた配電系を含めた上位モデル電力系統における、電力用変圧器に起因する高調波電流分布解析法の研究を行い、次の三項目について成果が得られたので、その概要について発表する。

- (1) 上位モデル電力系統の選択
- (2) モデル系統における高調波電流分布の解析理論
- (3) 上記理論に基づくプログラムの作成 (ACOS-450)

### 2. モデル電力系統

2-1 モデル電力系統の選定。図-1にモデル電力系統を示す。今その系統要素の概要について述べる。

(1) 3 巻線変圧器。定格電圧  $147/\sqrt{3}$  kV,  $63/\sqrt{3}$  kV, 14.7 kV, 定格容量 100/100/50 MVA の 3 巻線変圧器を 3 バンク設置し, 1 次側 Y の中性点は高抵抗接地, 2 次側 Y の中性点は消弧リアクトル接地にとり, 3 次側  $\Delta$  結線には調相設備を接続している。

(2) 63kV 送電系。図示のとおり亘長12kmの1回線送電線路で、電圧線に410mm<sup>2</sup>のACSR、架空地線に120mm<sup>2</sup>の鋼心イ号アルミ合金線を用いている。

63 kV 系は 2km 間隔に容量 10 MVA の配電用変電所が、6 ヶ所配置されている。また他の 3 フェーズとも同一形式としている。

(3) 10 MVA 6.9kV 配電系。Ⅰ、Ⅱ報で詳述しているので説明は省略するが、図示の通り総容量は 240 MVA となる。

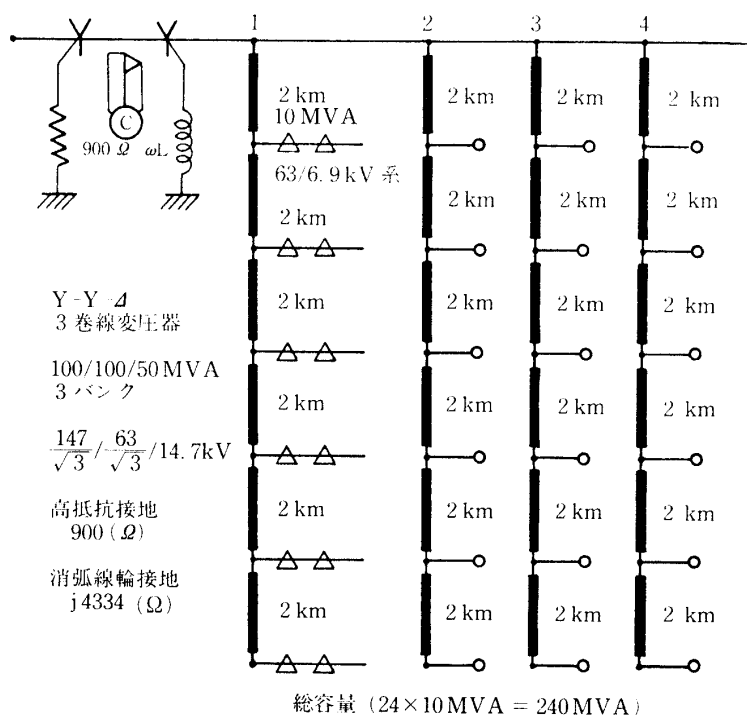


図-1 モデル電力系統

[illegible]

図-2 各区分の行列記号と電圧電流ベクトル指定

2-2 モデル系の行列記号。図-2にその模様を示しているが、その概要について述べる。

(1) 母線部。図示のとおり母線部を6つに区分し、**MATF**, **MATC**, **MBRC1**, **MBRC2**, **MBRC3**, **MBRC4**と各行列を指名している。

(2) 63kV 系。図示のとおり12区分として、63kV (亘長2km) 線路部行列名を **LIF1** ~ **LIF6** の6組と10MVA 配電系の行列名を **DIS1** ~ **DIS6** の6組とにそれぞれ指名している。な

お同図には各区間の電圧電流記号を併記している。

### 3. 主変圧器のプログラム作成

3-1 3相3脚式内鉄形変圧器。変圧器は各種鉄心構造を持っているが、本論文では題記変圧器を対象に述べることにする。

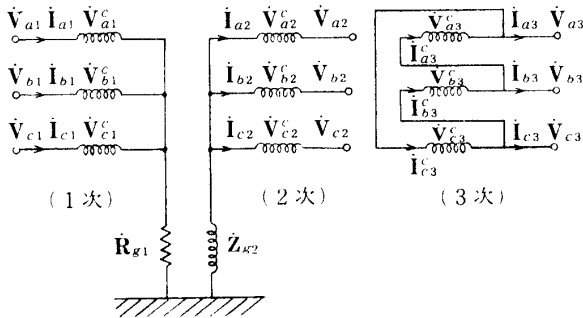


図-3 Y-Y-Δ 変圧器結線図

図-3は変圧器の結線方式と各巻線の電圧電流記号を示している。

#### 3-2 $n$ 次調波基礎方程式。<sup>3)</sup>

(1) 直接法。3相  $n$  次調波電流源  $\dot{\mathbf{J}}_{1n}$  を励磁アドミタンス行列  $\dot{\mathbf{Y}}_{1n}$  と並列に挿入するものとして変圧器の  $n$  次調波等価回路を示すと図-4となる。

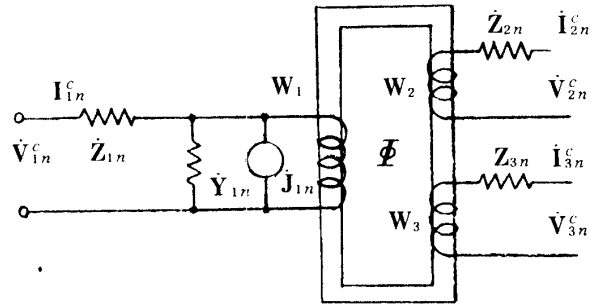
同図より  $n$  次調波基礎方程式を求めると

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{V}}_{1n}^c \\ \dot{\mathbf{V}}_{2n}^c \\ \dot{\mathbf{V}}_{3n}^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\dot{\mathbf{Z}}_{1n} + \dot{\mathbf{Y}}_{1n}^{-1}) & -\mathbf{N}_{12} \cdot \dot{\mathbf{Y}}_{1n}^{-1} & -\mathbf{N}_{12} \cdot \dot{\mathbf{Y}}_{1n}^{-1} \\ \mathbf{N}_{12} \cdot \dot{\mathbf{Y}}_{1n}^{-1} & -(\dot{\mathbf{Z}}_{2n} + \mathbf{N}_{12}^2 \cdot \dot{\mathbf{Y}}_{1n}^{-1}) & -\mathbf{N}_{12} \cdot \mathbf{N}_{13} \cdot \dot{\mathbf{Y}}_{1n}^{-1} \\ \mathbf{N}_{13} \cdot \dot{\mathbf{Y}}_{1n}^{-1} & -\mathbf{N}_{12} \cdot \mathbf{N}_{13} \cdot \dot{\mathbf{Y}}_{1n}^{-1} & -(\dot{\mathbf{Z}}_{3n} + \mathbf{N}_{13}^2 \cdot \dot{\mathbf{Y}}_{1n}^{-1}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{I}}_{1n}^c \\ \dot{\mathbf{I}}_{2n}^c \\ \dot{\mathbf{I}}_{3n}^c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{Y}}_{1n}^{-1} \\ \mathbf{N}_{12} \cdot \dot{\mathbf{Y}}_{1n}^{-1} \\ \mathbf{N}_{13} \cdot \dot{\mathbf{Y}}_{1n}^{-1} \end{bmatrix} \cdot \dot{\mathbf{J}}_{1n} = \dot{\mathbf{Z}}_{1n} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{I}}_{1n}^c \\ \dot{\mathbf{I}}_{2n}^c \\ \dot{\mathbf{I}}_{3n}^c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{Z}}_{1jn} \\ \dot{\mathbf{Z}}_{2jn} \\ \dot{\mathbf{Z}}_{3jn} \end{bmatrix} \cdot \dot{\mathbf{J}}_{1n} \dots\dots\dots (1)$$

図-3より  $n$  次調波についての変圧器各端子条件を示すと

$$\left. \begin{aligned} \dot{\mathbf{V}}_{1n}^c &= \dot{\mathbf{V}}_{1n} - \mathbf{R}_{g1} \cdot \dot{\mathbf{I}}_{1n} & \dot{\mathbf{I}}_{1n} &= \dot{\mathbf{I}}_{1n}^c \\ \dot{\mathbf{V}}_{2n}^c &= \dot{\mathbf{V}}_{2n} + \dot{\mathbf{Z}}_{g2n} \cdot \dot{\mathbf{I}}_{2n} & \dot{\mathbf{I}}_{2n} &= \dot{\mathbf{I}}_{2n}^c \\ \dot{\mathbf{V}}_{3n}^c &= \mathbf{C} \cdot \dot{\mathbf{V}}_{3n} & \dot{\mathbf{I}}_{3n} &= \mathbf{C}^t \cdot \dot{\mathbf{I}}_{3n}^c \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

②式を①式に代入して  $n$  次調波線路電流を求めると



$\mathbf{N}_{12} = \frac{W_2}{W_1}$ ,  $\mathbf{N}_{13} = \frac{W_3}{W_1}$  巻線比行列  
 $\dot{\mathbf{Z}}_{1n}$ ,  $\dot{\mathbf{Z}}_{2n}$ ,  $\dot{\mathbf{Z}}_{3n}$  各巻線インピーダンス行列  
 $\dot{\mathbf{Y}}_{1n}$  励磁アドミタンス行列  
 $\dot{\mathbf{J}}_{1n}$   $n$  次調波電流源ベクトル

図-4 3巻線変圧器の  $n$  次調波等価回路

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{I}}_{1n} \\ \dot{\mathbf{I}}_{2n} \\ \dot{\mathbf{I}}_{3n} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} (\mathbf{U} + \dot{\mathbf{Y}}_{11n} \cdot \mathbf{R}_{g1}) & \dot{\mathbf{Y}}_{12n} \cdot \dot{\mathbf{Z}}_{g2n} & \mathbf{O} \\ \dot{\mathbf{Y}}_{21n} \cdot \mathbf{R}_{g1} & (\mathbf{U} - \dot{\mathbf{Y}}_{22n} \cdot \dot{\mathbf{Z}}_{g2n}) & \mathbf{O} \\ \mathbf{C}^t \cdot \dot{\mathbf{Y}}_{31n} \cdot \mathbf{R}_{g1} & -\mathbf{C}^t \cdot \dot{\mathbf{Y}}_{32n} \cdot \dot{\mathbf{Z}}_{g2n} & \mathbf{U} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{V}}_{1n} \\ \dot{\mathbf{V}}_{2n} \\ \dot{\mathbf{V}}_{3n} \end{bmatrix} \\
 &= \dot{\mathbf{Y}}_{n \ Y-Y-A'} \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{V}}_{1n} \\ \dot{\mathbf{V}}_{2n} \\ \dot{\mathbf{V}}_{3n} \end{bmatrix} + \dot{\mathbf{M}}_{n \ Y-Y-A'} \dot{\mathbf{J}}_{1n} \dots\dots\dots \textcircled{3}
 \end{aligned}$$

(2) 対称座標法表示。③式を対称座標法変換して、図-5の3巻線変圧器の零相分等価回路に示す1～3次間ダミーライン法を用いて、変圧器の $n$ 次調波対称分基礎方程式を求めると④式となる。

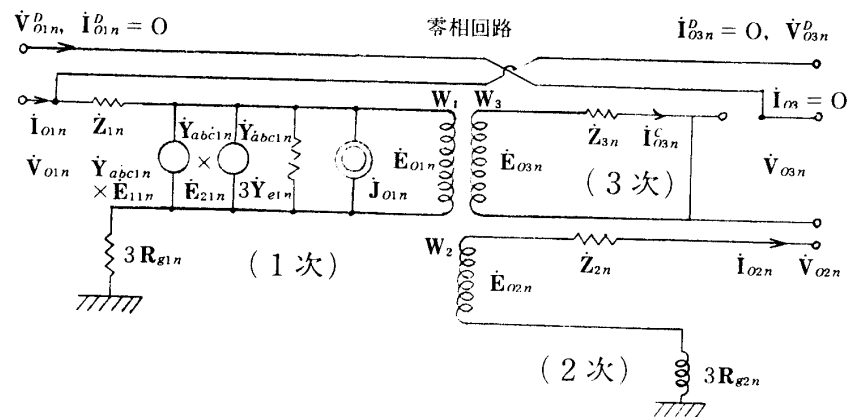


図-5 3巻線変圧器の零相分等価回路

**3-3 基本波の対称分基礎方程式。**④式の添字 $n$ を削除して、各要素の $w$ の関数となる部分を基本波に変換し、さらに3組の $n$ 次調波電流源を零とすれば基本波の方程式となる。

**3-4 3巻線変圧器のサブルーチン。**<sup>4)</sup>④式を用いて基本波、第3調波、および第5調波の基礎方程式を同一プログラムで解析しうるサブルーチンSSSDTR (**MTRY**)を作成している。このうち**MTRY** (19, 19, 3)は各調波の行列を格納しうな3次元配列である。

**3-5 変圧器行列MATF** (109, 109)の作成。図-6に示す母線部変圧器行列**MATF** (109, 109)は、まず同形の単位行列をつくり、その(1, 1)の位置に、前述の3次元配列**MTRY** (19, 19, 3)より各調波の2次元配列を抜きとり、これを挿入すると求まる。

#### 4. 調相機のプログラム

**MATC** (109, 109)の単位行列を作成し、調相設備のアドミタンス $\dot{\mathbf{Y}}\mathbf{Y}$ を(5, 2), (6, 3)に挿入すれば求まる。

[illegible]

..... ④式

$$\text{但し} \quad \left| \begin{array}{c} \mathbf{K}_n \\ \hline \alpha_n^{-1} \cdot \dot{\mathbf{H}}_n \end{array} \right| = \left| \begin{array}{c} 0 \ 0 \ 0 \\ \hline \alpha_n^{-1} \cdot \dot{\mathbf{H}}_n \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} \dot{\mathbf{D}}_n^{-1} \cdot \dot{\mathbf{E}}_n \end{array} \right|$$

$$\left| \begin{array}{c} \dot{\mathbf{L}}_n \\ \hline -\alpha_n^{-1} \cdot \beta_n \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \dot{\mathbf{D}}_n^{-1} \cdot \mathbf{F}_n \end{array} \right| = \left| \begin{array}{c} \dot{\mathbf{L}}_{2n} \\ \hline \dot{\mathbf{L}}_{1n} \end{array} \right|$$

$$\left| \begin{array}{c} \dot{\mathbf{N}}_n \\ \hline -\alpha_n^{-1} \cdot \dot{\mathbf{M}}_{3n} \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} 0 \ 0 \ 0 \\ \hline \dot{\mathbf{D}}_n^{-1} \cdot \dot{\mathbf{M}}_{2n} \end{array} \right|$$

$\dot{V}$ $\dot{I}$ $\mathbf{J}_M$ $\mathbf{J}_{D1}$ $\mathbf{J}_{D2}$ $\mathbf{J}_{D3}$ $\mathbf{J}_{D4}$ $\mathbf{J}_{D5}$ $\mathbf{J}_{D6}$	$\mathbf{T}2(19, 19)$	$=$	$\dot{V}$ $\dot{I}$ $\mathbf{J}_M$ $\mathbf{J}_{D1}$ $\mathbf{J}_{D2}$ $\mathbf{J}_{D3}$ $\mathbf{J}_{D4}$ $\mathbf{J}_{D5}$ $\mathbf{J}_{D6}$	<p><math>\dot{V}\dot{I}</math> (16, 1) 電圧電流ベクトル</p> <p><math>\mathbf{J}_M</math> (3, 1) Y-Y-<math>\Delta</math>変圧器  <math>n</math> 次調波電流源</p> <p><math>\mathbf{J}_{D1} \sim \mathbf{J}_{D6}</math> (15, 1) 各10 MVA  <math>\Delta</math> 配電系 <math>n</math> 次調波電流源</p> <p>行列 <math>\mathbf{MATF}</math> (109, 109) 1-2区間  " <math>\mathbf{MATC}</math> (109, 109) 2-3区間  " <math>\mathbf{MBRC}</math> (109, 109) 3-4区間  " <math>\mathbf{MBRC}</math> (109, 109) 4-5区間  " <math>\mathbf{MBRC}</math> (109, 109) 5-6区間  " <math>\mathbf{MBRC}</math> (109, 109) 6-7区間  " <math>\mathbf{MATFT}</math> (109, 109) 1-7区間</p>
--	-----------------------	-----	--	--

図-6 母線部各ジャンクション  $n$  次調波基礎方程式

## 5. 亘長 12 km, 63 kV 送電系のプログラム

### 5-1 63 kV 系線路部行列の作成。

(1) 1～2区間の行列。いま 1 km 当り線路部の対称座標法による線路インピーダンス行列 **ZLB** (3, 3) が得られたとすると、この行列を単位行列 **ZL** (8, 8) の (1, 5) の位置に、また対称座標法による線路アドミタンス行列 **YLB** (3, 3) が得られたとすると、この行列を単位行列 **YL** (8, 8) の (5, 1) の位置に挿入する。

これらの行列を用いて 1～2区間の線路部対称分 4 端子回路網方程式を求めると

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{V}}_{3n} \\ \dot{\mathbf{I}}_{3n} \end{bmatrix}^1 = \left\{ \begin{bmatrix} \mathbf{ZL} & \mathbf{YL} \end{bmatrix} \right\}^2 \cdot \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{V}}_{3n} \\ \dot{\mathbf{I}}_{3n} \end{bmatrix}^2 = \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{A}}_{1n} & \dot{\mathbf{B}}_{1n} \\ \dot{\mathbf{C}}_{1n} & \dot{\mathbf{D}}_{1n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{V}}_{3n} \\ \dot{\mathbf{I}}_{3n} \end{bmatrix}^2 = \begin{bmatrix} \mathbf{Y}8 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{V}}_{3n} \\ \dot{\mathbf{I}}_{3n} \end{bmatrix}^2$$

$$\text{但し } \dot{\mathbf{V}}_{3n} = [\dot{V}_{0n} \ \dot{V}_{1n} \ \dot{V}_{2n} \ \dot{V}_{gn}]^T \quad \dot{\mathbf{I}}_{3n} = [\dot{I}_{0n} \ \dot{I}_{1n} \ \dot{I}_{2n} \ \dot{I}_{gn}]^T \quad \dots\dots\dots \textcircled{5}$$

(2) 1～2区間の上記 4 端子回路網方程式に 10 MVA 配電系の  $n$  次調波電流源  $\dot{\mathbf{J}}_{D1}$  (15, 1) を加え 4 端子回路網方程式を求めると

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{V}}_{3n} \\ \dot{\mathbf{I}}_{3n} \\ \dot{\mathbf{J}}_{D1} \end{bmatrix}^1 = \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{A}}_{1n} & \dot{\mathbf{B}}_{1n} & \mathbf{O} \\ \dot{\mathbf{C}}_{1n} & \dot{\mathbf{D}}_{1n} & \mathbf{O} \\ \mathbf{O} & \mathbf{O} & \mathbf{U} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{V}}_{3n} \\ \dot{\mathbf{I}}_{3n} \\ \dot{\mathbf{J}}_{D1} \end{bmatrix}^2 \quad \dots\dots\dots \textcircled{6}$$

(3) **LIF1** (98, 98) 行列の作成。図-7 に示す 1～2区間の線路行列 **LIF1** (98, 98) は単位行列 (98, 98) の (1, 1) の位置に⑤式の **Y8** (8, 8) 行列を挿入することによって求まる。他の **LIF2**～**LIF6** 行列はサブルーチン SCOPY を用いて複写すればよい。

5-2 10 MVA 配電系用サブルーチンの作成。図-2 に示す 63 kV フィーダ部から分岐している 6 組の 10 MVA 配電系の解析法は第 I 報で報告している。

ここで用いたメインプログラムを改良してサブルーチン SDDISF (**BRCH**) を作成した。**BRCH** (25, 25, 3) は各調波についての 10 MVA 配電系の始端と末端の電圧電流関係を示す合成行列を格納する 3 次元配列である。

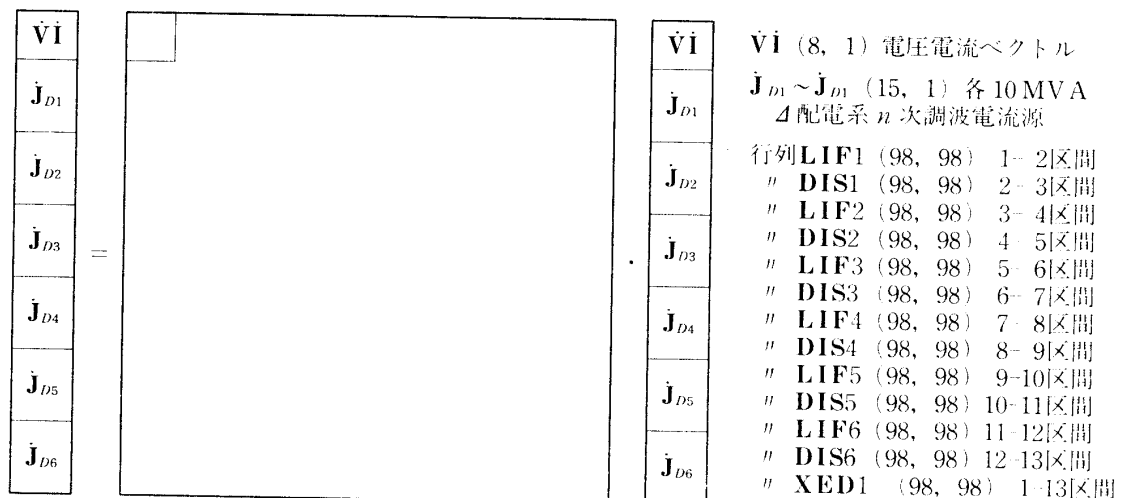
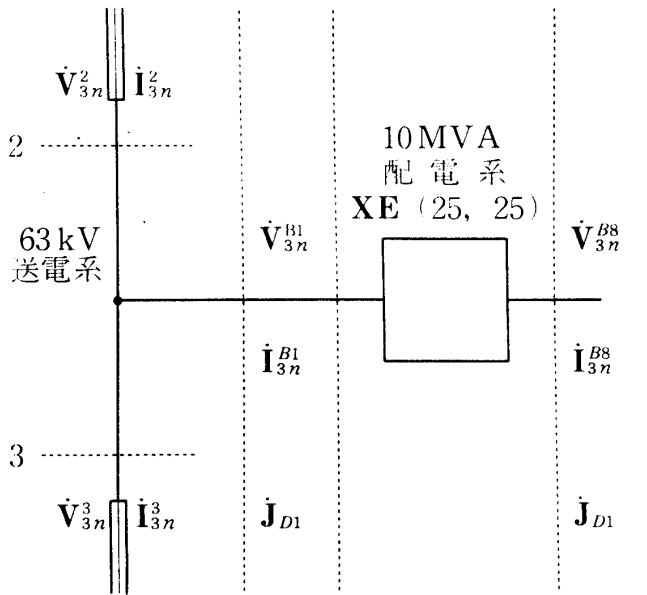


図-7 63 kV 線路部各ジャンクション  $n$  次調波基礎方程式



図－8 2-3区間 10 MVA 配電系分岐

### 5-3 10 MVA 配電系の 63 kV 系線路化。

(1) 10 MVA 配電系の電圧電流関係。

図－8に示す10 MVA 配電系分岐部の始端と末端の電圧電流関係を前述のサブルーチンSDDISF の3次元配列 **BRCH** (25, 25, 3) より引きぬいた2次元配列 **XE** (25, 25) の部分行列で示すと⑦式となる。なお⑦式においてB8端は開放されているから  $i_{3n}^{B8} \equiv 0$  となる。

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} B1 \\ \left| \begin{array}{c} \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \\ \dot{V}_G \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_G \end{array} \right| \\ 3n \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline \dot{A}L1 & \dot{A}L3 & \dot{E}T1 \ (3, 15) \\ \hline (3, 3) & (3, 3) & \\ \hline \dot{A}L2 & \dot{A}L4 & \dot{E}T2 \ (3, 15) \\ \hline (3, 3) & (3, 3) & \\ \hline \end{array} \cdot \begin{array}{c} B8 \\ \left| \begin{array}{c} \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \\ \dot{V}_G \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_G \\ \dot{J}_1 \\ \vdots \\ \dot{J}_{15} \\ \vdots \\ \dot{J}_1 \end{array} \right| \\ 3n \end{array} \quad \text{⑦}
 \end{array}$$

(2) 10 MVA 配電系の 63 kV 系化。

⑦式より  $\dot{V}_{3n}^{B8}$ ,  $\dot{I}_{3n}^{B1}$  を未知数として求めると

$$\begin{aligned}
 \dot{V}_{3n}^{B8} &= \dot{A}L1^{-1} \cdot (\dot{V}_{3n}^{B1} - \dot{E}T1 \cdot \dot{J}_{D1}) \\
 \dot{I}_{3n}^{B1} &= \dot{A}L2 \cdot \dot{A}L1^{-1} \cdot \dot{V}_{3n}^{B1} + (\dot{E}T2 - \dot{A}L2 \cdot \dot{A}L1^{-1} \cdot \dot{E}T1) \cdot \dot{J}_{D1} \\
 &= \dot{N}D \cdot \dot{V}_{3n}^{B1} + \dot{M}D \cdot \dot{J}_{D1} \quad \text{⑧}
 \end{aligned}$$

図－8における電圧電流関係は

$$\left. \begin{array}{l} \dot{V}_{3n}^2 = \dot{V}_{3n}^3 = \dot{V}_{3n}^{B1} \\ \dot{I}_{3n}^2 = \dot{I}_{3n}^{B1} + \dot{I}_{3n}^3 \end{array} \right\} \quad \text{⑨}$$

となるので⑧, ⑨式を整理すると

$$\left| \begin{array}{c} \dot{V}_{3n}^2 \\ \dot{I}_{3n}^2 \end{array} \right| = \left| \begin{array}{ccc} \dot{U} & \mathbf{O} & \mathbf{O} \\ \dot{N}D & \dot{U} & \dot{M}D \end{array} \right| \cdot \left| \begin{array}{ccc} \dot{V}_{3n}^3 & \dot{I}_{3n}^3 & \dot{J}_{D1} \end{array} \right|^T \quad \text{⑩}$$

⑩式が 10 MVA 配電系を 63 kV 系化した 4 端子回路網方程式である。

(3) **DIS1** (98, 98) 行列の作成。図-7 に示す 2-3 区間の **DIS1** (98, 98) 行列は単位行列 (98, 98) に **ND** (3, 3) 行列, **MD** (3, 15) 行列をそれぞれ (5, 2), (5, 9) の位置に挿入すれば求まる。

(4) **DIS2** (98, 98) ~ **DIS6** (98, 98) 行列の作成。単位行列を 5 組作成し, **ND** (3, 3) 行列を各単位行列の (5, 2) の位置に挿入する。

つぎに **MD** (3, 15) 行列を各単位行列の (5, 24), (5, 39), (5, 54), (5, 69), (5, 84) の位置にそれぞれ挿入することによって組立てられる。

(5) 63 kV 系の合成行列の作成。図-7 に示す 12 組の行列を **LIF1** (98, 98) から順次縦続積すれば合成行列 **XED1** (98, 98) が得られる。

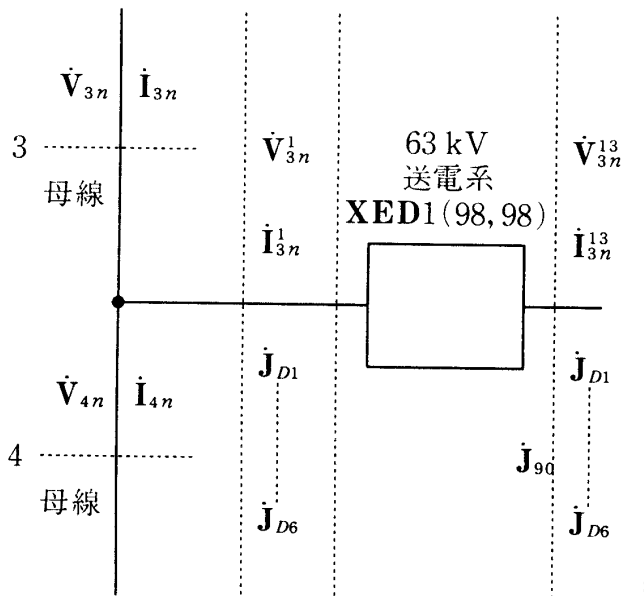


図-9 3-4区間63kV 送電系分岐

#### 5-4 63 kV 線路系行列の母線化。

(1) 母線部における 63 kV 系の電圧電流関係。図-9 に示す 3-4 区間の 63 kV 線路両端の 4 端子回路網方程式を上記の **XED1** (98, 98) の合成行列の部分行列を用いて示すと⑪式となる。

(2) 63 kV 系の母線化。⑪式において  $I_{3n}^{13} \equiv 0$  であるから,  $V_{3n}^{13} I_{3n}^1$  を未知数として求めると

$$\begin{aligned} V_{3n}^{13} &= AM1^{-1} \cdot (V_{3n}^1 - EM1 \cdot J_{90}) \\ I_{3n}^1 &= AM2 \cdot AM1^{-1} \cdot V_{3n}^1 + (EM2 - \\ &\quad - AM2 \cdot AM1^{-1} \cdot EM1) \cdot J_{90} \\ &= NM \cdot V_{3n}^1 + MM \cdot J_{90} \quad \dots\dots ⑫ \end{aligned}$$

$$\begin{matrix} 1 \\ \begin{matrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \\ \dot{V}_G \\ \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_G \end{matrix} \\ 3n \end{matrix} = \begin{matrix} \begin{matrix} \dot{A}M1 \\ (4, 4) \end{matrix} & \begin{matrix} \dot{A}M3 \\ (4, 4) \end{matrix} & \begin{matrix} \dot{E}M1 \\ (4, 15) \end{matrix} \\ \hline \begin{matrix} \dot{A}M2 \\ (4, 4) \end{matrix} & \begin{matrix} \dot{A}M4 \\ (4, 4) \end{matrix} & \begin{matrix} \dot{E}M2 \\ (4, 15) \end{matrix} \end{matrix} \cdot \begin{matrix} 13 \\ \begin{matrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \\ \dot{V}_G \\ \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_G \\ J_{D1} \\ J_{D2} \\ \vdots \\ J_{D6} \end{matrix} \\ 3n \end{matrix}$$

⑪



図-9の電圧電流関係は

$$\left. \begin{aligned} \dot{V}_{3n} &= \dot{V}_{4n} = \dot{V}_{3n} \\ \dot{I}_{3n} &= \dot{I}_{3n} + \dot{I}_{4n} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

⑫, ⑬式を整理すると

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_{3n} \\ \dot{I}_{3n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{U} & \mathbf{O} & \mathbf{O} \\ \mathbf{NM} & \mathbf{U} & \mathbf{MM} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{V}_{4n} & \dot{I}_{4n} & \mathbf{J}_{90} \end{bmatrix}^T \dots\dots\dots (14)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_G \end{bmatrix}_{3n} = \begin{bmatrix} \mathbf{MQ1} & \mathbf{MQ} \\ (3, 3) & 3 \\ & (3, 1) \\ \mathbf{MQ2}(1, 3) & \mathbf{MQ4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \\ \dot{V}_G \end{bmatrix}_{4n} + \begin{bmatrix} \mathbf{MQ5}(3, 90) \\ \mathbf{MQ6}(1, 90) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{J}_{D1} \\ \mathbf{J}_{D2} \\ \vdots \\ \mathbf{J}_{D6} \end{bmatrix} + \dot{I}_{4n}$$

$\mathbf{NM} (4, 4) \qquad \mathbf{MM} (4, 90)$   
 $\mathbf{J}_{90} (90, 1)$

\dots\dots\dots (15)

(3) **MBRC1** (109, 109) 行列の作成。⑭式において  $\dot{I}_{3n}$  を未知数とする式を誘導すると⑮式となる。⑮式の **NM** (4, 4) 行列よりそれぞれ **MQ1** (3, 3), **MQ2** (1, 3), **MQ3** (3, 1), **MQ4** (1, 1) を **MM** (4, 90) 行列よりそれぞれ **MQ5** (3, 90), **MQ6** (1, 90) をぬきとる。つぎに単位行列 **MBRC1** (109, 109) を組立て、これに上記の抜きとった行列をそれぞれ, (4, 1), (8, 1), (4, 7), (8, 7), (4, 20), (8, 20) の位置に挿入する。

他の3つの **MBRC2**~**MBRC4** 行列はサブルーチン SCOPY を使って複写すれば組立てることが出来る。

## 6. 母線部各区間の電圧電流計算

6-1 母線部合成行列の作成。図-6に示す6組の行列を縦続積すれば **MATFT** (109, 109) 行列が得られる。

6-2 両端の  $n$  次調波端子条件。

(1) 始端部の  $|\dot{V}_{11}, \dot{V}_{21}, \dot{V}_g, \dot{I}_g, \dot{V}_{03}, \dot{V}_{13}, \dot{V}_{23}|^T \equiv 0$  となる。

(2) 末端部。93ヶの  $n$  次調波電流源は既知量であり、末端の電流は開放端であるから全て零、また  $\dot{V}_{03} = 0$  となる。したがって末端部の未知量は  $\dot{V}_{02}, \dot{V}_{12}, \dot{V}_{22}, \dot{V}_g, \dot{V}_{13}, \dot{V}_{23}, \dot{V}_{03}^D$  の7電圧となる。

6-3 末端部の各対称分電圧の計算。

上記両端の各端子条件と合成行列 **MATFT** (109, 109) を用いて末端の7つの未知電圧を求めると⑩式となる。

#### 6-4 母線部各地点の $n$ 次調波電圧電流。

$$\begin{array}{c}
 \left[ \begin{array}{c} \dot{V}_{02} \\ \dot{V}_{12} \\ \dot{V}_{22} \\ \dot{V}_G \\ \dot{V}_{13} \\ \dot{V}_{23} \\ \dot{V}_{03}^D \end{array} \right]_{7n} = \left[ \text{Box} \right]_{\dot{\mathbf{M}}\mathbf{X}\mathbf{T}^{-1}(7,7)} \left\{ \left[ \begin{array}{c} \dot{V}_{01} \\ \dot{V}_{11} \\ \dot{V}_{21} \\ \dot{I}_G \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right]_{1n} - \left[ \text{Box} \right]_{\dot{\mathbf{N}}\mathbf{X}\mathbf{T}(7,93)} \cdot \left[ \begin{array}{c} \dot{\mathbf{J}}_{93} \end{array} \right]_{7n} \right\}
 \end{array}$$

$\dot{\mathbf{V}}\mathbf{B}7(7,1) \qquad \qquad \qquad \dot{\mathbf{V}}\mathbf{B}1(7,1) \qquad \qquad \qquad \dot{\mathbf{N}}\mathbf{X}\mathbf{T}(7,93)$

$$\begin{array}{c}
 | \dot{V}_{02} \quad \dot{V}_{12} \quad \dot{V}_{22} \quad \dot{V}_G \quad \dot{V}_{13} \quad \dot{V}_{23} \quad \dot{V}_{03}^D |_{7n}^t \\
 \Rightarrow | \dot{\mathbf{S}}1, \dot{\mathbf{S}}2, \dot{\mathbf{S}}3, \dot{\mathbf{S}}4 |_{7n}^t \\
 \qquad \qquad (3,1) \quad (1,1) \quad (2,1) \quad (1,1)
 \end{array}$$

..... ⑩

まず零行列 **JMB7** (109, 1) をつくり、⑩式で求めた7電圧ベクトルのうち **S1** (3, 1), **S2** (1, 1), **S3** (2, 1), **S4** (1, 1) をそれぞれ零行列の (1, 1), (7, 1), (10, 1), (15, 1) の位置に、また (17, 1) の位置に93ヶの  $n$  次調波電流源の値を挿入する。

このベクトル値の左辺に **MBRC4** (109, 109) 行列をかければ母線部6地点の電圧電流が計算される。この操作を送電端まで繰返せば母線部全区間の対称分電圧電流分布が計算される。

また **T** 変換行列, **C** 変換行列をかけることによって相電圧, 線電流, および線間電圧が決められる。

### 7. 母線部の基本波電圧電流分布計算

**7-1** 基本波の基礎方程式。⑩式において添字  $n$  を削除し、各特性要素の虚数部を基本波の値に変換して、93組の  $n$  次調波電流源を零とすれば基本波の基礎方程式が得られる。

#### 7-2 基本波の端子条件

(1) 始端部。⑩式の **VB1** (7, 1) ベクトルのうち  $\dot{V}_{11} = \dot{E}_a$  とする以外すべて零とする。

(2) 末端部。93組の  $n$  次調波電流源および他の電流ベクトルはすべて零とする。したがって未知量は⑩式に示す7つの電圧ベクトルとなる。

**7-3** 基本波の電圧電流分布計算。まず⑩式で末端の未知電圧を求める。各地点の電圧電流分布計算は  $n$  次調波と同一手法で処理しうる。

### 8. 63 kV 送電系の $n$ 次調波電圧電流計算

**8-1**  $n$  次調波基礎方程式。⑪式が63 kV 系の  $n$  次調波基礎方程式であるが、これより末

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} 13 \\ \left[ \begin{array}{c} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \\ \dot{V}_G \end{array} \right] \\ 3n \\ \dot{B}D13 \\ (4, 1) \end{array} = \begin{array}{c} \boxed{\phantom{0000}} \\ \dot{A}M1^{-1} \\ (4, 4) \end{array} \left\{ \begin{array}{c} 1 \\ \left[ \begin{array}{c} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \\ \dot{V}_G \end{array} \right] \\ 3n \\ \dot{B}D1 \\ (4, 1) \end{array} - \begin{array}{c} \boxed{\phantom{0000}} \\ \dot{E}M1(4, 90) \end{array} \cdot \begin{array}{c} \boxed{\phantom{0000}} \\ \dot{J} \\ 9 \\ 0 \\ \boxed{\phantom{0000}} \end{array} \right\} \\
 \begin{array}{c} \dot{J}_{90} \\ (90, 1) \end{array}
 \end{array}
 \quad \text{⑰}$$

端部の4電圧ベクトルを求める式を誘導すると⑰式となる。

#### 8-2 両端の端子条件。

(1) 始端部。始端部の4電圧値は7節の計算で決定されている。

(2) 末端部。90ヶの $n$ 次調波電流源は基本波の各変圧器端子電圧の関数として求められており、また末端部は開放であるから電流値は全て零である。

8-3 末端部対称分電圧の計算。⑰式に両端の端子条件を代入すると、末端の4電圧値が計算される。

8-4 各地点の $n$ 次調波電圧電流計算。⑰式で得られた4電圧値を図-7に示す末端の $\dot{V}I$ (8, 1)行列に代入して、6-4節に述べた手法を図-7の各区間に適用すれば各地点の電圧電流が計算される。

### 9. 基本波の電圧電流分布計算

9-1 基本波基礎方程式。⑰式の各特性要素の虚数部を基本波に変更し、90ヶの $n$ 次調波電流源を零とすれば基礎方程式が得られる。

9-2 各地点の電圧電流分布計算。重複するので記述しないが、 $n$ 次調波と同一手法で処理すればよい。

### 10. 10 MVA, 6.9 kV 配電系の電圧電流計算

紙数の関係で詳細な記述は省略するが、サブルーチン SDDISF と第 I 報のメインプログラムをたくみに利用して、6組の10 MVA 配電系の計算結果も同時印刷しうるようにプログラムは作成されている。

### 11. む す び

本論で述べたように10 MVA 配電系を含む上位電力系統を対象とする電力用変圧器に起因する高調波電流分布解析法を確立し、この理論にもとづくプログラムの作成は完了した。

本格的計算は近く本学に設置される大型電子計算機を用いて実施したいと考えている。

最後に本研究の実施にあたり、本学の石井、清水の両先生に御指導、御助力いただいた事に深甚なる謝意を表する。

#### 参 考 文 献

- 1) 福井工業大学研究紀要 1986 (16号) 日原良造
- 2) " " 1987 (17号) 日原良造
- 3) 新潟大学工学部研究報告 1981 (30号) 日原良造 外1名
- 4) " " 1982 (31号) 日原良造 外1名