

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 I

日 原 良 造

Theoretical analysis of harmonics currents in ac power systems by complex matrix method Part I

Ryozo Hihara

Harmonics currents, which result from the increase of electric converters in power systems, bring about many disturbances to ac power systems.

Also power transformers, which have been used in great quantities in ac power systems for many years, produce harmonics currents.

An explanation of the growth mechanism of harmonics currents in ac power systems, which contain many power transformers, is necessary in order to eliminate the above problems.

The author has developed a theory of the growth mechanism of harmonics currents and the basic equation of the fundamental frequency and harmonics voltage current in distribution systems containing Δ — Δ main transformers, distribution lines and many V—V transformers.

In this paper the author has developed a computer program for the ACOS 450 digital computer based upon the above new theory.

1. ま え が き

近年電力系統には産業用、家庭用を問わず半導体素子を用いた各種電力変換器が非常な勢いで普及している。これらの装置は複雑な周波数成分よりなる高調波を発生する特性を持っている。

大容量の産業用電力変換器には経済的に見合う高調波抑制装置を装備して、電力系統に高調波が侵入することを防止するよう努力している。しかし小容量機器にはこのような対策が充分なされていないので、高調波が電力系統に侵入して各種の障害問題を起している。

一方電源設備容量の数倍にあたる総容量を持った電力用変圧器（数 KVA～数十万 KVA 単位）

が電力系統に多数配置されている。これら電力用変圧器も低次ではあるが高調波の発生源となっている。

上記電力変換器による高調波障害問題を解決するには、まず電力用変圧器に起因する高調波の電力系統における分布状況解析法を確立して、その実態把握に役立てることが重要である。

最近の電力系統網は電源設備、超高压送電系、送電系、および配電系が複雑に連系しておりこれら全系を同時に一括して高調波分布解析の対象とすることは至難の技である。

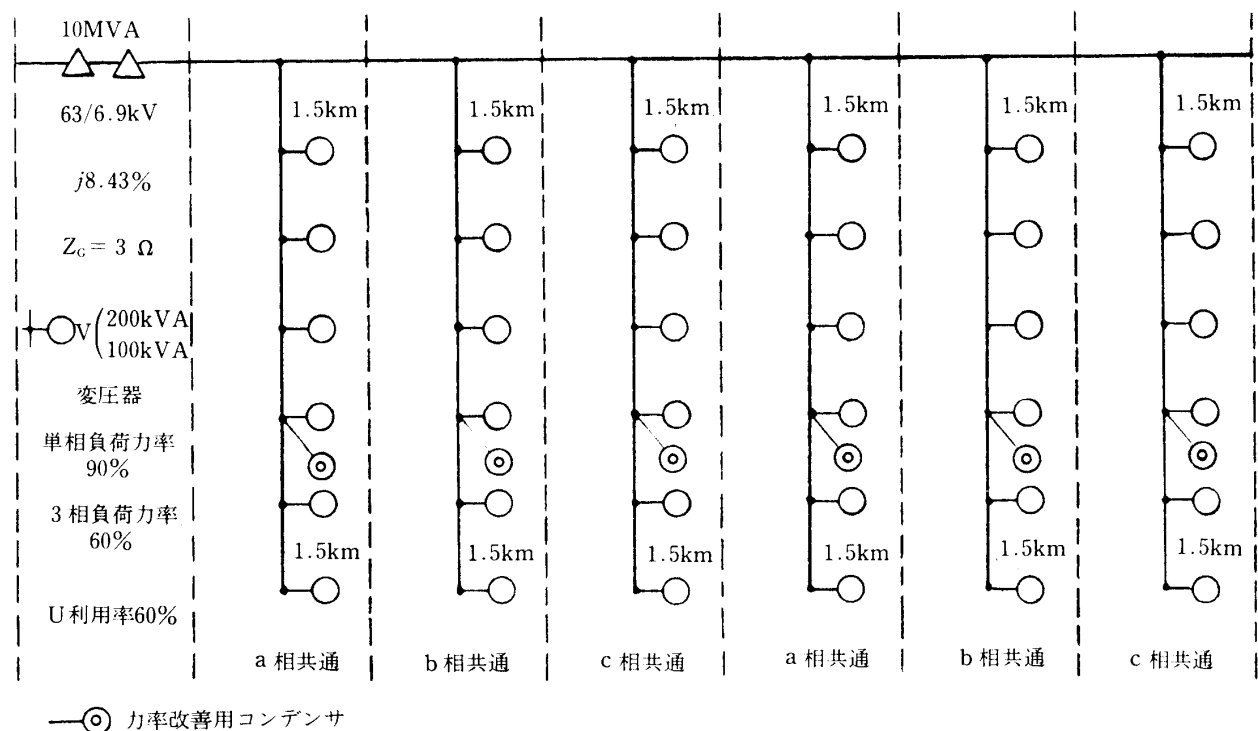
今回は第一段階として上記電力系統網末端部の主要部分を占める配電系を対象にして高調波分布解析法の研究を行ったので、その理論と、計算機への入力データ作成について報告する。

2. モデル配電系

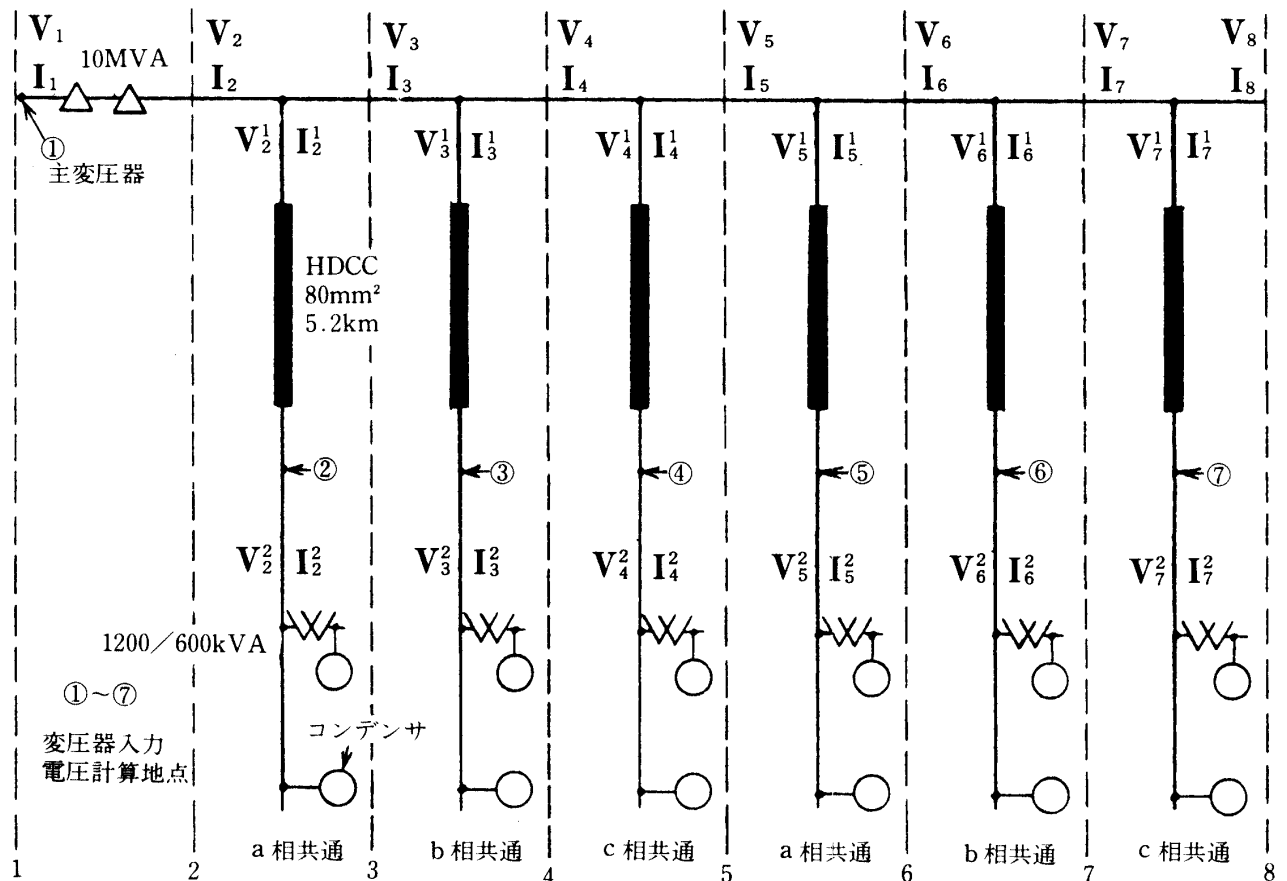
2-1. 対象配電系の選択。実在の配電系統構成は地域需用種別にみても千差万別であり、モデル系統の一本化は仲々困難である。

本論文では高調波分布の理論的解析法の開発に重点を置いて図一1に示す配電系を対象に選んでいる。すなわち10MVA容量の変電所と、6回線の放射状1次系より構成され、1次系は1.5kmの等間隔に200/100KVAの均等容量進み接続V結線変圧器を配置し、亘長の2/3地点に力率改善用蓄電器を設置して負荷に電力を供給している。

電力供給の平衡化を計るため、a相共通、b相共通、c相共通V結線変圧器を2フィードづつ均等に配置しているが、これらの組合せを任意に変更することによって電力不均衡の影響についても検討しうようになっている。



図一1 モデル配電系統



図一 2 集約系統

2-2. 系統の集約法。計算を簡素化するため、図一 1 に示す系統に電圧降下等価亘長⁽¹⁾ (fL) を適用して集約すると図一 2 になる。すなわち各フィードとも 5.2km (fL=0.583×9) の地点に 1200/600KVA 容量の V 結線変圧器を集中配置するのと等価になる。

3. 本学の電子計算機による解析手順

理論的解析法は後節で詳述するが、図一 2 の集約系統における解析手順について概説する。

1. 複素行列処理プログラムライブラリ⁽²⁾ (HIHARA/MATRAN) に収納されている 49 項目の サブルーチンを必要に応じて呼び出し、基本波、第 3 調波および第 5 調波の分布が同一様式で解析しうるメインプログラムを作成する。

2. 図一 2 において Δ 結線主変圧器の 1 次側正相分電圧を既知量として、上記メインプログラムにより、各区間の基本波電圧電流分布を計算する。

3. 同図の①から⑦まで合計 7 地点における各変圧器の入力端子電圧を計算する。

4. 上記の電圧値を後述の高調波電流源近似式に代入して、各変圧器の第 3 調波と第 5 調波電流源をそれぞれ 15 組ずつ算出する。

5. 第 3 調波について、変電所入力側の各対称分起電力を零にとり、上記 15 組の第 3 調波電流源を既知量として、メインプログラムにより各区間の電圧電流分布を計算する。

6. 第5調波の分布解析も第3調波と同一様式で処理する。

4. 主変圧器のプログラム

4-1. 主変圧器の特性。 Δ — Δ 結線3相3脚式内鉄型変圧器の特性値を示すと表-1となる。

4-2. n 次調波基礎方程式⁽³⁾ 図-3に主変圧器の結線図を示す。いまここで \mathbf{Z}_{1n} , \mathbf{Z}_{2n} をそれぞれ1次, 2次インピーダンス行列, \mathbf{Y}_{1n} をアドミッタンス行列, \mathbf{N}_{12} を巻線比行列とすると, 各巻線電圧 \mathbf{V}_n^c , 巻線電流 \mathbf{I}_n^c , および高調波電流 \mathbf{J}_n との関係は,

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} \mathbf{V}_{1n}^c \\ \mathbf{V}_{2n}^c \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} (\mathbf{Z}_{1n} + \mathbf{Y}_{1n}^{-1}) & -\mathbf{N}_{12} \cdot \mathbf{Y}_{1n}^{-1} \\ \mathbf{N}_{12} \cdot \mathbf{Y}_{1n}^{-1} & -(\mathbf{Z}_{2n} + \mathbf{N}_{12}^2 \cdot \mathbf{Y}_{1n}^{-1}) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{I}_{1n}^c \\ \mathbf{I}_{2n}^c \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} \mathbf{Y}_{1n}^{-1} \\ \mathbf{N}_{12} \cdot \mathbf{Y}_{1n}^{-1} \end{vmatrix} \cdot \mathbf{J}_{1n} \\ &= \begin{vmatrix} \mathbf{Z}_n \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{I}_{1n}^c \\ \mathbf{I}_{2n}^c \end{vmatrix} - \mathbf{Z}_{ABn} \cdot \mathbf{J}_{1n} \quad \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

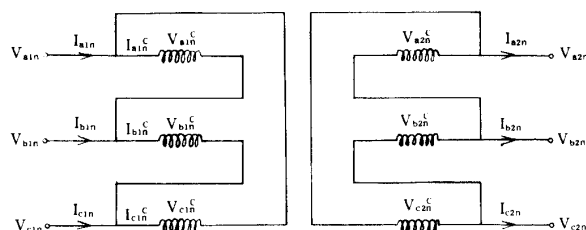
各巻線電流は,

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} \mathbf{I}_{1n}^c \\ \mathbf{I}_{2n}^c \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} \mathbf{Z}_n^{-1} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{V}_{1n}^c \\ \mathbf{V}_{2n}^c \end{vmatrix} + \mathbf{Z}_n^{-1} \cdot \mathbf{Z}_{ABn} \cdot \mathbf{J}_{1n} \\ &= \begin{vmatrix} \mathbf{Y}_{11n} & \mathbf{Y}_{12n} \\ \mathbf{Y}_{21n} & \mathbf{Y}_{22n} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{V}_{1n}^c \\ \mathbf{V}_{2n}^c \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \mathbf{A}_n \\ \mathbf{B}_n \end{vmatrix} \cdot \mathbf{J}_{1n} \quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

表-1 主変圧器の特性 (3相3脚内鉄型)

定格電圧・定格容量	63/6.9kV 10MVA
漏洩インピーダンス 1 次 2 次	$j 16.72935 \Omega$ %インピーダンス $j 2.00676 \times 10^{-1} \Omega$ $j 8.43$
励磁アドミッタンス 気 中 鉄 心	$-j 1.82389 \times 10^{-3} \text{ U}$ $\mathbf{Y}_a = \mathbf{Y}_c = 2.724405 \times 10^{-6} - j 1.36328 \times 10^{-5} \text{ U}$ $\mathbf{Y}_b = 8.06807 \times 10^{-7} - j 4.03833 \times 10^{-6} \text{ U}$
巻 線 比	0.1095238
励 磁 電 流 比	4.506104
不 平 衡 率 k	3.377

図-3 Δ — Δ 結線変圧器



つぎに相一線間変換行列, および逆変換行列を,

$$\mathbf{C} = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad \mathbf{C}^T = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{vmatrix} \quad \dots\dots\dots (3)$$

にとり, これを(2)式に適用して線路電流を求めると,

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} \mathbf{I}_{1n} \\ \mathbf{I}_{2n} \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} \mathbf{C}^T & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{C}^T \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{Y}_{11n} & \mathbf{Y}_{12n} \\ \mathbf{Y}_{21n} & \mathbf{Y}_{22n} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{C} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{C} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{V}_{1n} \\ \mathbf{V}_{2n} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \mathbf{C}^T & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{C}^T \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{A}_n \\ \mathbf{B}_n \end{vmatrix} \cdot \mathbf{J}_{1n} \\ &= \begin{vmatrix} \mathbf{Y}_{n44} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{V}_{1n} \\ \mathbf{V}_{2n} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \mathbf{C}_{1n44} \end{vmatrix} \cdot \mathbf{J}_{1n} \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

となる。

(4)式を対称座標変換すると,

$$\begin{vmatrix} \mathbf{I}_{s1n} \\ \mathbf{I}_{s2n} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \mathbf{T}^{-1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{T}^{-1} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{Y}_{n44} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{T} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{T} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{V}_{s1n} \\ \mathbf{V}_{s2n} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \mathbf{T}^{-1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{T}^{-1} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{C}_{1n44} \end{vmatrix} \cdot \mathbf{T} \cdot \mathbf{J}_{s1n} \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。

ただし,

$$\mathbf{T}^{-1} = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{vmatrix} \quad \mathbf{T} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{vmatrix}$$

(5) 式において $\mathbf{I}_{01n} = \mathbf{I}_{02n} = 0$, \mathbf{V}_{01n} と \mathbf{V}_{02n} は他のベクトルと無関係であるから, この関係を入れて (5) 式に書きかえると,

$$\begin{vmatrix} \mathbf{I}_{01n} \\ \mathbf{I}_{11n} \\ \mathbf{I}_{21n} \\ \mathbf{I}_{02n} \\ \mathbf{I}_{12n} \\ \mathbf{I}_{22n} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & & \mathbf{E}_n & & & \mathbf{F}_n \\ 0 & & & 0 & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & & \mathbf{G}_n & & 0 & \mathbf{H}_n \\ 0 & & & 0 & & \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{V}_{01n} \\ \mathbf{V}_{11n} \\ \mathbf{V}_{21n} \\ \mathbf{V}_{02n} \\ \mathbf{V}_{12n} \\ \mathbf{V}_{22n} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ & \mathbf{C}_{1n} & \\ 0 & 0 & 0 \\ & \mathbf{C}_{2n} & \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{J}_{01n} \\ \mathbf{J}_{11n} \\ \mathbf{J}_{21n} \end{vmatrix} \quad \dots\dots\dots (6)$$

となる。

(6) 式より正相分, 逆相分をぬき出して, 入力側の電圧電流ベクトルを求めると,

$$\begin{vmatrix} \mathbf{V}_{s1n}^R \\ \mathbf{I}_{s1n}^R \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\mathbf{G}_n^{-1} \cdot \mathbf{H}_n & \mathbf{G}_n^{-1} \\ \mathbf{F}_n - \mathbf{E}_n \cdot \mathbf{G}_n^{-1} \cdot \mathbf{H}_n & \mathbf{E}_n \cdot \mathbf{G}_n^{-1} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{V}_{s2n}^R \\ \mathbf{I}_{s2n}^R \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -\mathbf{G}_n^{-1} \cdot \mathbf{C}_{2n} \\ \mathbf{C}_{1n} - \mathbf{E}_n \cdot \mathbf{G}_n^{-1} \cdot \mathbf{C}_{2n} \end{vmatrix} \cdot \mathbf{J}_{s1n} \quad \dots\dots\dots (7)$$

となる。

(7) 式より n 次調波の対称分基礎方程式を求めると (8) 式となる。

(8) 式の V_{g1n} , I_{g1n} は変電所架空地線の対地電位と電流を, V_{01n}^D , I_{01n}^D はダミーラインの電位と電流, Y_G は架空地線の接地アドミタンスを示す。

4-3. 基本波の基礎方程式。(8)式の添字 n を削除し、特性要素のインピーダンスのうちリアクタンス分を基本波分に変換する。また3組の n 次調波電流源をすべて零とすれば、そのまま基本波基礎方程式として用いられる。

4-4. 主変圧器のサブルーチン。(8)式を用いて基本波、第3調波と第5調波の基礎方程式が同一プログラムで解析しうるサブルーチン SDLADL(F30, XZ₁, XZ₂, XY₁, XY₂, A, YG₂)を作成している。すなわち**F30**(13, 13, 3)は基本波、第3調波、第5調波の行列を格納する配列である。**XZ1**(3, 3)は1次インピーダンス行列、**XZ2**(3, 3)は2次インピーダンス行列、**XY1**(3, 3)は気中アドミッタンス行列、**XY2**(3, 3)は鉄心部アドミッタンス行列、**A**(3, 3)は巻線比行列を表わし、**XG2**は架空地線接地アドミッタンスを表わしている。本論文の計算に用いた値は表-1に示されている。

5. a 相共通 V 結線変圧器プログラム

5-1. 変圧器の特性。前述のように電圧降下等価亘長を用いて変圧器を1個所に集中しているので、実在の変圧器の特性値から換算したものをを用いている。表-2にそれらの値を示す。

5-2. a 相共通 V 結線変圧器結線図。図-4 は n 次調波についての進み接続変圧器の 4 端子回路を示す。すなわち上側は共用相、下側は専用相変圧器の記号であり、 J_{can} 、 J_{abn} はそれぞれ共用相、専用相変圧器の n 次調波電流源を表わす。

5-3. n 次調波基礎方程式⁽⁴⁾。対称座標法による n 次調波の基礎方程式を示すと (9) 式となる。

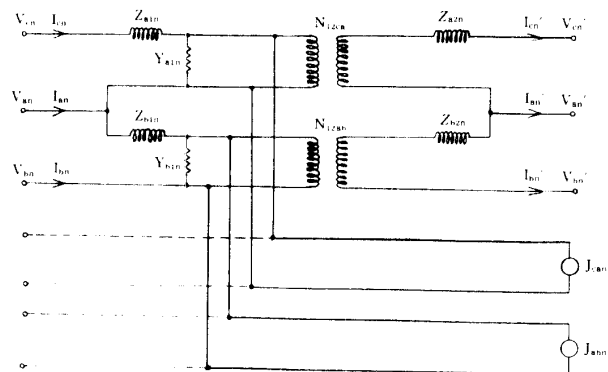
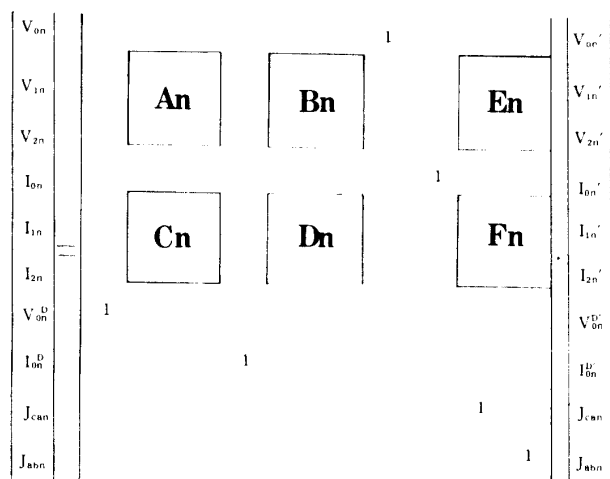


図-4 a 相共通 V 結線変圧器 4 端子回路

..... (9)

ただし (9) 式の各小行列の内容は,

$$A_n = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} (1-a^2)\alpha_{an} + (1-a)\alpha_{bn}, & (a-a^2)\alpha_{an} + (a^2-a)\alpha_{bn} \\ (a^2-a)\alpha_{an} + (a-a^2)\alpha_{bn}, & (1-a)\alpha_{an} + (1-a^2)\alpha_{bn} \end{vmatrix}$$

$$B_n = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} (\beta_{an} + \beta_{bn}), & (a\beta_{an} + a^2\beta_{bn}) \\ (a^2\beta_{an} + a\beta_{bn}), & (\beta_{an} + \beta_{bn}) \end{vmatrix}$$

$$C_n = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} (\theta_{an} + \theta_{bn}), & -(a^2\theta_{an} + a\theta_{bn}) \\ -(a\theta_{an} + a^2\theta_{bn}), & (\theta_{an} + \theta_{bn}) \end{vmatrix}$$

$$D_n = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} (1-a)\delta_{an} + (1-a^2)\delta_{bn}, & (a-a^2)\delta_{an} + (a^2-a)\delta_{bn} \\ (a^2-a)\delta_{an} + (a-a^2)\delta_{bn}, & (1-a^2)\delta_{an} + (1-a)\delta_{bn} \end{vmatrix}$$

$$E_n = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} a^2Z_{a1n}, & -aZ_{b1n} \\ aZ_{a1n}, & -a^2Z_{b1n} \end{vmatrix}$$

$$F_n = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} (a^2-1), & (1-a) \\ (a-1), & (1-a^2) \end{vmatrix}$$

また,

$$\alpha_{an} = (1 + Z_{a1n} \cdot Y_{a1n}) / N_{12ca}$$

$$\beta_{an} = (1 + Z_{a1n} \cdot Y_{a1n}) \cdot Z_{a2n} / N_{12ca} + Z_{a1n} \cdot N_{12ca}$$

$$\theta_{an} = Y_{a1n} / N_{12ca} \quad \delta_{an} = Y_{a1n} \cdot Z_{a2n} / N_{12ca} + N_{12ca}$$

$$\alpha_{bn} = (1 + Z_{b1n} \cdot Y_{b1n}) / N_{12ab}$$

$$\beta_{bn} = (1 + Z_{b1n} \cdot Y_{b1n}) \cdot Z_{b2n} / N_{12ab} + Z_{b1n} \cdot N_{12ab}$$

$$\theta_{bn} = Y_{b1n} / N_{12ab} \quad \delta_{bn} = Y_{b1n} \cdot Z_{b2n} / N_{12ab} + N_{12ab}$$

である。

5-4. 基本波の基礎方程式。(9)式の添字 n を削除し, 特性要素のうちリアクタンスを基本波分に変換し, また 2 つの n 次調波電流源を零とすればそのまま基本波の基礎方程式が得られる。

5-5. V 結線変圧器のサブルーチン。(9)式を用いて基本波, 第3調波と第5調波の基礎方程式が同一プログラムで解析しうるサブルーチン SVVTRA (F30, YA, YB, ZA1, ZA2, ZB1, ZB2, WA, WB) を作成している。すなわちF30 (10, 10, 3) は基本波, 第3調波, 第5調波を収納する3次元配列であり, YA, ZA1, ZA2, WA はそれぞれ共用相変圧器の励磁アドミッタンス, 1次インピーダンス, 2次インピーダンス, 巻線比を示している。またBの記号は専用相変圧器のものを表わしている。表-2に示す特性値は本論文で計算に用いる入力値を示したものである。

表-2 V 結線変圧器特性

定格電圧・定格容量	6300/210V	1200/600KVA
共用変圧器		
1次インピーダンス	$0.216642 + j 0.864912 \quad \Omega$	
2次インピーダンス	$0.240712 \times 10^{-3} + j 0.9612 \times 10^{-3} \quad \Omega$	
励磁アドミッタンス	$1.08844 \times 10^{-4} - j 6.71508 \times 10^{-4} \quad \text{U}$	
巻線比	30	
励磁電流比	72.1258	
専用変圧器		
1次インピーダンス	$0.48951 + j 0.61187 \quad \Omega$	
2次インピーダンス	$0.5439 \times 10^{-3} + j 0.679875 \times 10^{-3} \quad \Omega$	
励磁アドミッタンス	$5.82313 \times 10^{-5} - j 3.35115 \times 10^{-4} \quad \text{U}$	
巻線比	30	
励磁電流比	36.0629	

5-6. 共通相変換用サブルーチン。上記の外b相共通とc相共通変圧器の2種類の結線方式があるが, a相共通変圧器のサブルーチン (SVVTRA) をb相用, c相用に変換可能なサブルーチン SVVBOC (X, Y, K) を作成している。すなわち行列X (10, 10) にはa相共通の行列が入り, Y (10, 10) にはK=1のときb相, K=2のときc相共通の行列が格納される。なおXの内容は実行前後で不変である。

6. 線路, 各種負荷のプログラム

6-1. 1次フィーダのプログラム

1. 線路定数。図-1の1次系の導体は断面積80mm²の硬銅撚線を水平配置にしているが, これら電線の200m当りのインピーダンス, アドミッタンス行列を示すと表-3となる。

表-3 線路のインピーダンス・アドミッタンス行列

インピーダンス行列		
$6.76 \times 10^{-2} + j15.96365 \times 10^{-2}$	$2.2 \times 10^{-2} + j9.442912 \times 10^{-2}$	$2.2 \times 10^{-2} + j8.57188 \times 10^{-2}$
$2.2 \times 10^{-2} + j9.442912 \times 10^{-2}$	$6.76 \times 10^{-2} + j15.96365 \times 10^{-2}$	$2.2 \times 10^{-2} + j9.442912 \times 10^{-2}$
$2.2 \times 10^{-2} + j8.57188 \times 10^{-2}$	$2.2 \times 10^{-2} + j9.442912 \times 10^{-2}$	$6.76 \times 10^{-2} + j15.96365 \times 10^{-2}$

アドミッタンス行列

$$\begin{vmatrix} 0+j5.2490 \times 10^{-7} & 0-j16.86488 \times 10^{-8} & 0-j9.524046 \times 10^{-8} \\ 0-j16.86488 \times 10^{-8} & 0+j5.618068 \times 10^{-7} & 0-j16.86488 \times 10^{-8} \\ 0-j9.524046 \times 10^{-8} & 0-j16.86488 \times 10^{-8} & 0+j5.2490 \times 10^{-7} \end{vmatrix}$$

全長5.2kmの線路についての4端子回路を求めると、

$$\begin{vmatrix} V_1 \\ I_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} U & Z_l \\ Y_l & U \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} V_2 \\ I_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} ZY_l \\ 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} V_2 \\ I_2 \end{vmatrix} \quad \dots\dots\dots (10)$$

これを対称座標変換すると、

$$\begin{vmatrix} V_{s1} \\ I_{s1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} T^{-1} & 0 \\ 0 & T^{-1} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} ZY_l \\ 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} T & 0 \\ 0 & T \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} V_{s2} \\ I_{s2} \end{vmatrix} \\ = \begin{vmatrix} Z_A & Z_B \\ Z_C & Z_D \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} V_{s2} \\ I_{s2} \end{vmatrix} \quad \dots\dots\dots (11)$$

2. プログラムの作成。(10), (11) 式にしたがって線路部分のプログラムを作成している。

6-2. 負荷部分のプログラム作成

1. 負荷の種類。図-5に示すように3種類の単相負荷と1種類の3相負荷とに分類される。

2. 負荷のKVA容量の決定。a相共通進み接続V結線変圧器の結線とそれぞれの記号を示すと図-6となる。

図-6に示す記号を用いて単相負荷容量 K_1 と3相負荷容量 K_3 を求めると、

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= (-A + \sqrt{A^2 - 4B}) / 2 \\ K_3 &= \sqrt{3} \cdot U \cdot KV_B \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (12)$$

ただし、 $A = 2 \cdot U \cdot KV_B \cdot \cos(\theta_3 - \theta_1 + 30^\circ)$

$$B = U^2 \cdot (KV_B^2 - KV_A^2)$$

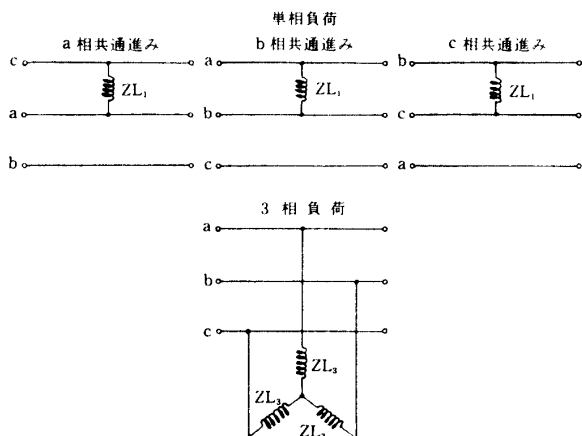


図-5 負荷の種類

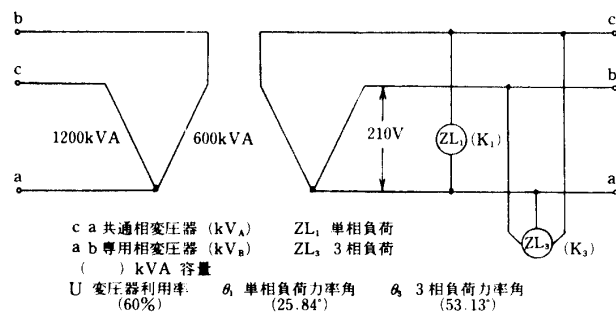


図-6 a相共通進み接続V結線変圧器

表一 4 単相負荷と 3 相負荷インピーダンス

単相負荷 Z_{L1}	$8.6532 \times 10^{-2} + j4.19098 \times 10^{-2} \Omega$
3 相負荷 Z_{L3}	$4.24353 \times 10^{-2} + j5.65803 \times 10^{-2} \Omega$

表一 5 各負荷の計算行列

單 相 負 荷			3 相 負 荷
a 相 共 通	b 相 共 通	c 相 共 通	
0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0
0 Y_{L1} $-a^2Y_{L1}$	0 Y_{L1} $-aY_{L1}$	0 Y_{L1} $-Y_{L1}$	0 Y_{L3} 0
0 $-aY_{L1}$ Y_{L1}	0 $-a^2Y_{L1}$ Y_{L1}	0 $-Y_{L1}$ Y_{L1}	0 0 Y_{L3}

また単相負荷, 3 相負荷のインピーダンスは,

$$\left. \begin{aligned} Z_{L1} &= \frac{V^2}{K_1 \cdot 10^3} (\cos \theta_1 + j \sin \theta_1) \\ Z_{L3} &= \frac{V^2}{K_3 \cdot 10^3} (\cos \theta_3 + j \sin \theta_3) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

図一 6 に示す数値を代入して計算した単相と 3 相負荷のインピーダンスを表一 4 に示す。

3. 負荷の 4 端子回路。図一 5 に示す負荷の 4 端子方程式は,

$$\begin{vmatrix} V_1 \\ I_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} U & 0 \\ Z_L^{-1} & U \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} V_2 \\ I_2 \end{vmatrix} \dots\dots\dots (14)$$

これを対称座標変換すると,

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} V_{S1} \\ I_{S1} \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} T^{-1} & 0 \\ 0 & T^{-1} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} U & 0 \\ Z_L^{-1} & U \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} T & 0 \\ 0 & T \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} V_{S2} \\ I_{S2} \end{vmatrix} \\ &= \begin{vmatrix} U & 0 \\ Z_{LS}^{-1} & U \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} V_{S2} \\ I_{S2} \end{vmatrix} \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

となる。

(15) 式の Z_{LS}^{-1} (3, 3) 行列を各負荷について一括して示すと表一 5 となる。

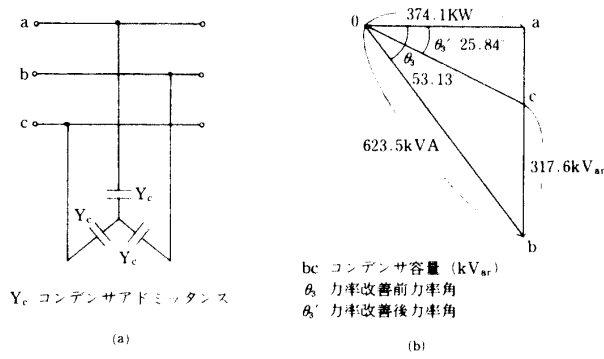
4. 単相負荷のサブルーチン。a 相共通進み接続単相負荷のサブルーチンを SVSLOA (X, Z1) と名づけている。X (12, 12) には a 相共通の単相負荷の行列が挿入され, Z1 は単相負荷のインピーダンス値を示している。

サブルーチン SVSLBC (X, Y, K) は a 相共通単相負荷の行列を K=1 のとき b 相共通に, K=2 のとき c 相共通にそれぞれ変換するプログラムである。

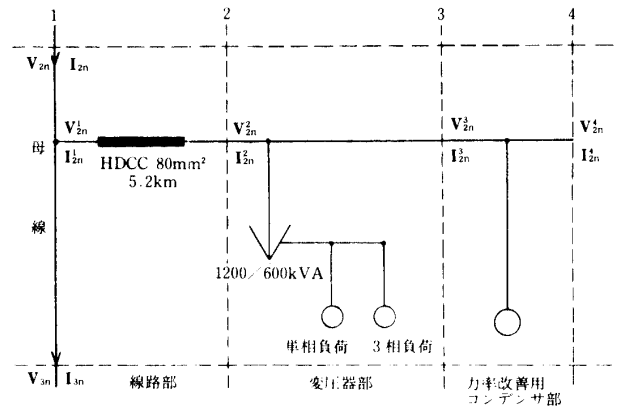
5. 3 相負荷のプログラム。(14), (15) 式にしたがってプログラムを作成している。

6-3. 力率改善用コンデンサ

1. コンデンサ KVar 容量の決定。配電系には低力率の 3 相負荷が散在しているので, この力率を改善するために, 1 次系に力率改善用並列コンデンサを設置するのが常識になっている。



図一 7 力率改善用コンデンサ容量の決定



図一 8 a 相共通進み接続V結線変圧器系統

コンデンサの接続法は図一 7(a)のとおりで、 Y_c の値を調整して系統に進み無効分電流を流して力率の改善をしている。またコンデンサの $kVar$ 容量および静電容量は図一 7(b)に示すベクトル関係にしたがって求まるが、

$$\left. \begin{aligned} KVar &= oa(\tan\theta_3 - \tan\theta_3') \\ C &= \frac{KVar \times 10^3}{2\pi f(V/\sqrt{3})^2} \times 10^6 (\mu F) \quad Y_c = j\omega C \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (16)$$

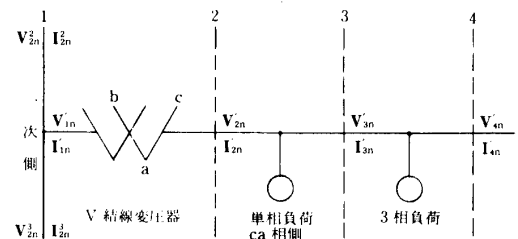
となる。

2. コンデンサのプログラム。3 相負荷のプログラムと同一処理すればよい。すなわち Y_{L3} に Y_c をおきかえるだけでよいことになる。図一 7 に示す数値をつかって Y_c を求めると、 $j 6.887 \times 10^{-3}$ (U) となる。

7. 計算行列規模の集約化

7-1. 分岐フィードの構成。図一 2 の 2 ~ 3 区間から a 相共通進み接続 V 結線変圧器系統を抜きとると図一 8 に示すように、線路部、変圧器部および力率改善用コンデンサ部から構成される。

7-2. 変圧器部の n 次調波基礎方程式。上記変圧器部を拡大して、各部に記号をつけて示すと図一 9 となる。V 結線変圧器の ca 共通相に単相負荷が、また各相に 3 相負荷が接続される。5-6 節に示した (9) 式、および (15) 式を用いて 1 と 4 区間の n 次調波基礎方程式を求めると (17) 式となる。



図一 9 V 結線変圧器部の構成

Figure 1 consists of four block diagrams labeled (VTRANS), (LOAD 1), (LOAD 3), and (V-TM). Each diagram shows a set of input variables on the left, a central block representing a system, and a set of output variables on the right. The input and output variables are listed in columns, and the central block contains a matrix of coefficients or parameters.

- (VTRANS):** The input variables are $V_{01n}^1, V_{11n}^1, V_{21n}^1, I_{01n}^1, I_{11n}^1, I_{21n}^1, V_{g1n}^1, I_{g1n}^1, V_{01n}^{1D}, I_{01n}^{1D}, J_{can}, J_{abn}$. The output variables are $V_{01n}^1, V_{11n}^1, V_{21n}^1, I_{01n}^1, I_{11n}^1, I_{21n}^1, V_{g1n}^1, I_{g1n}^1, V_{01n}^{1D}, I_{01n}^{1D}, J_{can}, J_{abn}$. The central block contains a matrix of coefficients $A_n, B_n, C_n, D_n, E_n, F_n$.
- (LOAD 1):** The input variables are $V_{01n}^1, V_{11n}^1, V_{21n}^1, I_{01n}^1, I_{11n}^1, I_{21n}^1, V_{g1n}^1, I_{g1n}^1, V_{01n}^{1D}, I_{01n}^{1D}, J_{can}, J_{abn}$. The output variables are $V_{01n}^1, V_{11n}^1, V_{21n}^1, I_{01n}^1, I_{11n}^1, I_{21n}^1, V_{g1n}^1, I_{g1n}^1, V_{01n}^{1D}, I_{01n}^{1D}, J_{can}, J_{abn}$. The central block contains a matrix of coefficients $Y_{L1}, -a^2 Y_{L1}, a Y_{L1}, Y_{L1}$.
- (LOAD 3):** The input variables are $V_{04n}^1, V_{14n}^1, V_{24n}^1, I_{04n}^1, I_{14n}^1, I_{24n}^1, V_{g4n}^1, I_{g4n}^1, V_{04n}^{1D}, I_{04n}^{1D}, J_{can}, J_{abn}$. The output variables are $V_{04n}^1, V_{14n}^1, V_{24n}^1, I_{04n}^1, I_{14n}^1, I_{24n}^1, V_{g4n}^1, I_{g4n}^1, V_{04n}^{1D}, I_{04n}^{1D}, J_{can}, J_{abn}$. The central block contains a matrix of coefficients $Y_{L3}, 0, 0, Y_{L3}$.
- (V-TM):** The input variables are $V_{04n}^1, V_{14n}^1, V_{24n}^1, I_{04n}^1, I_{14n}^1, I_{24n}^1, V_{g4n}^1, I_{g4n}^1, V_{04n}^{1D}, I_{04n}^{1D}, J_{can}, J_{abn}$. The output variables are $V_{04n}^1, V_{14n}^1, V_{24n}^1, I_{04n}^1, I_{14n}^1, I_{24n}^1, V_{g4n}^1, I_{g4n}^1, V_{04n}^{1D}, I_{04n}^{1D}, J_{can}, J_{abn}$. The central block contains a matrix of coefficients $\alpha_n, \beta_n, \gamma_n, \delta_n, \theta_n, \phi_n$.

$$\dots\dots\dots (17)$$

7-3. 基本波基礎方程式。(17)式について(9)式と同様な処理をすれば, そのまま基本波基礎方程式が得られる。

7-4. 1次系への変換。(17)式において正相分，逆相分のみをぬきだして電圧電流関係を示すと，

$$\begin{vmatrix} \mathbf{V}'_{1nR} \\ \mathbf{I}'_{1nR} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \alpha_n & \beta_n \\ \gamma_n & \delta_n \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{V}'_{4nR} \\ \mathbf{I}'_{4nR} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \theta_n \\ \phi_n \end{vmatrix} \cdot \mathbf{J}_n \quad \dots\dots\dots (18)$$

ここで $\mathbf{I}_{4nR} = \mathbf{0}$ であるから,

$$\begin{vmatrix} \mathbf{V}'_{1nR} \\ \mathbf{I}'_{1nR} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \alpha_n & \theta_n \\ \gamma_n & \phi_n \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \mathbf{V}'_{4nR} \\ \mathbf{J}_n \end{vmatrix} \dots \dots \dots (19)$$

(19) 式より V'_{4nR} を消去すれば,

$$\begin{aligned} \mathbf{I}'_{\text{InR}} &= \boldsymbol{\gamma}_n \cdot \boldsymbol{\alpha}_n^{-1} \cdot \mathbf{V}_{\text{InR}} + (\boldsymbol{\phi}_n - \boldsymbol{\gamma}_n \cdot \boldsymbol{\alpha}_n^{-1} \cdot \boldsymbol{\theta}_n) \cdot \mathbf{J}_n \\ &= \mathbf{N}_n \cdot \mathbf{V}'_{\text{InR}} + \mathbf{M}_n \cdot \mathbf{J}_n \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{また, } \mathbf{V}'_{1nR} &= \mathbf{V}^2_{2nR} = \mathbf{V}^3_{2nR} \\ \mathbf{I}^2_{2nR} &= \mathbf{I}^3_{2nR} + \mathbf{I}'_{1nR} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (21)$$

(20), (21) 式の関係から図-9における1次側電圧電流を求めると,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{V}_{2nR}^2 \\ \mathbf{I}_{2nR}^2 \\ \mathbf{J}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{U} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{N}_n & \mathbf{U} & \mathbf{M}_n \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{U} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{V}_{2nR}^3 \\ \mathbf{I}_{2nR}^3 \\ \mathbf{J}_n \end{bmatrix} \dots \quad (22)$$

となる。b 相共通、c 相共通変圧器部についても同一手法で計算される。

7-5. 分岐系の n 次調波基礎方程式。図—8 に示す a 相共通進み接続 V 結線変圧器系統の始端と末端間の n 次調波基礎方程式を示すと (23) 式となる。

(線路部)

(変圧器部)

(コンデンサ部)

(T M)

7-6. 分岐系の基本波基礎方程式。(23) 式を (9) 式と同様な処理をすれば基本波基礎方程式が得られる。

7-7. 母線系への変換。(23)式から n 次調波対称分電圧電流と n 次調波電流源の関係をぬきだすと,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{V}_{2n}^1 \\ \mathbf{I}_{2n}^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\alpha}_{nT} & \boldsymbol{\beta}_{nT} \\ \boldsymbol{\gamma}_{nT} & \boldsymbol{\delta}_{nT} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{V}_{2n}^4 \\ \mathbf{I}_{2n}^4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \boldsymbol{\theta}_{nT} \\ \boldsymbol{\phi}_{nT} \end{bmatrix} \cdot \mathbf{J}_n \dots \dots \dots (24)$$

ここで、 $\mathbf{I}_{2n}^4 = \mathbf{0}$ であるから、

$$\begin{bmatrix} \mathbf{V}_{2n}^1 \\ \mathbf{I}_{2n}^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\alpha}_{nT} & \boldsymbol{\theta}_{nT} \\ \boldsymbol{\chi}_{nT} & \boldsymbol{\phi}_{nT} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{V}_{2n}^4 \\ \mathbf{J}_n \end{bmatrix} \dots \dots \dots (25)$$

(25) 式より V_{2n}^4 を消去すれば,

$$\begin{aligned} \mathbf{I}_{2n}^2 &= \boldsymbol{\gamma}_{nT} \cdot \boldsymbol{\alpha}_{nT}^{-1} \cdot \mathbf{V}_{2n}^1 + (\boldsymbol{\phi}_{nT} - \boldsymbol{\gamma}_{nT} \cdot \boldsymbol{\alpha}_{nT}^{-1} \cdot \boldsymbol{\theta}_{nT}) \cdot \mathbf{J}_n \\ &= \mathbf{N}_{nT} \cdot \mathbf{V}_{2n}^1 + \mathbf{M}_{nT} \cdot \mathbf{J}_n \end{aligned} \quad (26)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{また } \mathbf{V}_{2n} &= \mathbf{V}_{3n} = \mathbf{V}_{2n}^1 \\ \mathbf{I}_{2n} &= \mathbf{I}_{3n} + \mathbf{I}_{2n}^1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (27)$$

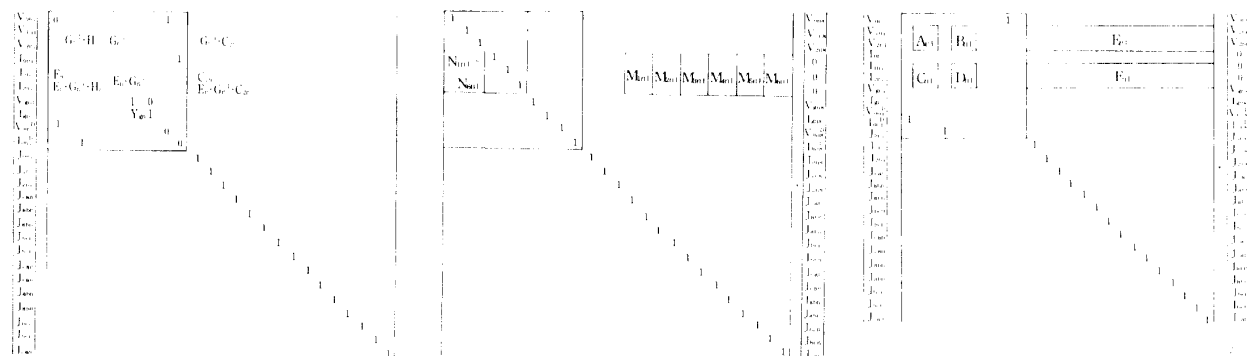
であるから、両式より図-8の母線側電圧電流関係を求めると、

$$\begin{bmatrix} \mathbf{V}_{2n} \\ \mathbf{I}_{2n} \\ \mathbf{J}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{U} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{N}_{nT} & \mathbf{U} & \mathbf{M}_{nT} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{U} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{V}_{3n} \\ \mathbf{I}_{3n} \\ \mathbf{J}_n \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (28)$$

となる。その他の分岐系についても同様な手法でそれぞれ n 次調波基礎方程式が得られる。

8. 対象システムへの集約式の適用

8-1. n 次調波集約基礎方程式。前節までの理論的解析法に従って図-2に示す集約系統における全区間の n 次調波基礎方程式を求めると (29) 式となる。すなわち、主変圧器部と 6 組の分岐変圧器系統行列を縦続接続してトータル行列を求めるのであるが、ここでは繁雑さを防ぐため 6 組の分岐変圧器系統行列は一括表示しているので留意する必要がある。



8－2．基本波集約基礎方程式。(29)式において添字 n を削除，各特性要素のリアクタンス分を基本波に変換して，15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。

9．全系統の n 次調波電圧電流分布計算

9－1．両端の n 次調波端子条件。 n 次調波の全区間にわたる電圧電流分布を求めるためには，始端と末端の端子条件を決める必要がある。

1．始端条件。始端の25行1列のベクトルのうち，電源側の各対称分起電力は零とみなすので， $V_{0n1}=V_{1n1}=V_{2n1}=0$ となる。また架空地線電位 V_{gn1} ，架空地線電流 I_{gn1} およびダミーライン電流 I_{0n1}^D は零と扱う。したがって始端の未知数は各対称分電流とダミーライン電圧 V_{0n1}^D となる。

2．末端条件。図－2の如く末端開放状態であるから，各対称分電流は零となる。また架空地線電位 V_{gn8} ，架空地線電流 I_{gn8} およびダミーライン電圧 V_{0n8}^D ，ダミーライン電流 I_{0n8}^D も零と扱える。

後節で詳述するが15組の n 次調波電流源は各変圧器の基本波端子電圧の関数系として決定される。したがって末端の未知数は各対称分電圧 V_{1n8} ， V_{2n8} の2個となる。

9－2． n 次調波の末端各対称分電圧電流。(29)式より V_{1n1} ， V_{2n1} と末端の各対称分電圧 V_{1n8} ， V_{2n8} および15組の n 次調波電流源の関係を求めると，

$$\begin{bmatrix} V_{1n1} \\ V_{2n1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{XAT}(2,2) \\ (\mathbf{A}_{nT}(2,2)) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_{1n8} \\ V_{2n8} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{XET}(2,15) \\ (\mathbf{E}_{nT}(2,15)) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{J}_n \\ 1 \\ S \\ 15 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (30)$$

ただし括弧付行列は同上行列の内容を示す。

(30)式より末端の各対称分電圧を求めると，

$$\begin{bmatrix} V_{1n8} \\ V_{2n8} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{XAT}^{-1}(2,2) \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} V_{1n1} \\ V_{2n1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mathbf{XET}(2,15) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{J}_n \\ 1 \\ S \\ 15 \end{bmatrix} \right\} \quad \dots\dots\dots (31)$$

9－3．各地点の n 次調波電圧電流計算。上記で求められた25行1列のベクトルに(29)式に示す7－8区間の c 相共通変圧器系統の25行25列の行列をかければ，7の地点の電圧，電流が求まる。この操作を送電端まで繰返せば，全区間の対称分電圧電流値が計算されることになる。

また \mathbf{A} 変換行列， \mathbf{C} 変換行列をかければ，生の相電圧電流および線間電圧が決められる。

10. 全系統の基本波電圧電流分布計算

8—2節でのべた基本波集約基礎方程式をつかって基本波の電圧電流分布計算すればよいが、両端の基本波の端子条件を決める必要がある。

10—1. 基本波の端子条件。

1. 始端の条件。正相分電位 $\dot{V}_{11} = \dot{E}_a$ とする以外始端条件は n 次調波と同一に扱う。
2. 末端の条件。15組の n 次調波電流源を全て零とする外は n 次調波の条件と同一である。

10—2. 基本波の末端対称分電圧電流。 n 次調波と同様 (31) 式を用いて計算される。

10—3. 各地点の基本波電圧電流計算。 n 次調波と同一手法で各地点の電圧電流分布を求めることが出来る。

10—4. 各変圧器の入力端子電圧の計算。各変圧器の高調波電流源近似式は変圧器の基本波端子電圧の関数系として扱っているので、主変圧器と6ヶ所のV結線変圧器の1次側端子電圧を求める必要がある。

1. 主変圧器の端子電圧は10—3節で計算されているが、V結線変圧器の端子電圧を求めるには、図—2からまず母線電流と各分岐フィーダの電流関係を示すと、

$$\left. \begin{array}{ll} I_2^1 = I_2 - I_3 & I_5^1 = I_5 - I_6 \\ I_3^1 = I_3 - I_4 & I_6^1 = I_6 - I_7 \\ I_4^1 = I_4 - I_5 & I_7^1 = I_7 - I_8 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (32)$$

となる。

(11) 式に示す線路部の4端子行列の逆行列を

$$\left| \begin{array}{cc} Z_A & Z_B \\ Z_C & Z_D \end{array} \right|^{-1} = \left| \begin{array}{cc} L_1 & L_2 \\ L_3 & L_4 \end{array} \right| \dots\dots\dots (33)$$

とすると、各分岐系のV結線変圧器の1次側対称分電圧は、

$$\left. \begin{array}{l} V_2^2 = L_1 \cdot V_2 + L_2 \cdot (I_2 - I_3) \\ V_3^2 = L_1 \cdot V_2 + L_2 \cdot (I_3 - I_4) \\ V_4^2 = L_1 \cdot V_2 + L_2 \cdot (I_4 - I_5) \\ V_5^2 = L_1 \cdot V_2 + L_2 \cdot (I_5 - I_6) \\ V_6^2 = L_1 \cdot V_2 + L_2 \cdot (I_6 - I_7) \\ V_7^2 = L_1 \cdot V_2 + L_2 \cdot (I_7 - I_8) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (34)$$

2. V結線変圧器の1次側端子電圧は(34)式より

$$\left. \begin{array}{ll} V_{2L}^2 = C \cdot A \cdot V_2^2 & V_{5L}^2 = C \cdot A \cdot V_5^2 \\ V_{3L}^2 = C \cdot A \cdot V_3^2 & V_{6L}^2 = C \cdot A \cdot V_6^2 \\ V_{4L}^2 = C \cdot A \cdot V_4^2 & V_{7L}^2 = C \cdot A \cdot V_7^2 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (35)$$

となる。

11. 変圧器の n 次調波電流源

11-1. n 次調波電流源の求め方⁽⁵⁾ 無負荷変圧器の 1 次側に正弦波電圧を印加すると、変圧器鉄心の磁気抵抗が非線形であるから励磁電流中に基本波と高調波電流が含まれる。

この高調波電流成分は基本波入力電圧の関数となるが、高調波電流と基本波電圧とは周波数が異なるので、高調波電流は能動素子として電流源扱いにしている。

供試変圧器について励磁電流波形を測定し、その波形分析結果より n 次調波電流と基本波入力電圧との関数関係を詳細に検討した。その結果によると絶対値は指数関数の多項式、位相は多項式近似がよく合うことが明らかになった。

上記供試変圧器から求めた近似式と実規模変圧器への換算係数を含めて実規模変圧器の n 次調波電流源近似式を示すと、

$$\left. \begin{aligned} J_{(2m-1)}(E) &= p \cdot \frac{I_{OR}}{I_{OMR}} \cdot \exp \left\{ \sum_{k=0}^n a_k \cdot \left(\frac{E_{MR}}{E_R} \right)^k \cdot E^k \right\} \\ \theta_{(2m-1)}(E) &= \sum_{k=0}^n b_k \cdot \left(\frac{E_{MR}}{E_R} \right)^k \cdot E^k + (2m-1)\theta_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (36)$$

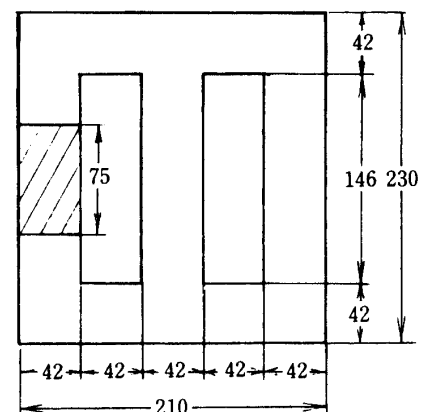
となる。ただし、

- p : 倍率
- I_{OR} : 実規模変圧器の励磁電流 (定格電圧)
- I_{OMR} : 供試変圧器の励磁電流 (定格電圧)
- E_R : 実規模変圧器の定格電圧
- E_{MR} : 供試変圧器の定格電圧
- E : 実規模変圧器の 1 次電圧
- a_k, b_k : 供試変圧器の係数

11-2. 主変圧器の近似式諸係数。実規模変圧器について近似式を求めるのが理想的であるが、表一 6 に示す特性および図一 10 のような鉄心構造の供試変圧器について係数 a_k, b_k を求めた結果を表一 7 に示す。

表一 6 3 相供試変圧器特性

3 相 3 脚 内 鉄 型 変 圧 器	
使用鉄心	G-11 (方向けい素鋼板)
磁束密度	1.281wb/m ²
鉄心構造	42×75×0.9 (占有率)
容 量	1 KVA 定格電圧 100V (1 次, 2 次)
巻 線	1.4φPEW 124 巻き



図一 10 3 相 3 脚内鉄型変圧器

表一 7 主変圧器高調波近似式の諸係数

	正 相 分				逆 相 分			
	大 き さ		位 相		大 き さ		位 相	
第 3 調波	a_0	-1.6051×10^1	b_0	7.4165	a_0	-1.9136×10^1	b_0	8.5859×10^2
	a_1	5.005×10^{-1}	b_1	9.9835×10^{-1}	a_1	5.9375×10^{-1}	b_1	-2.4160×10^1
	a_2	-9.3302×10^{-5}	b_2	-1.8547×10^{-2}	a_2	6.1606×10^{-5}	b_2	2.0463×10^{-2}
	a_3	-1.3087×10^{-4}	b_3	-1.2847×10^{-4}	a_3	-1.5861×10^{-4}	b_3	6.8725×10^{-3}
	a_4	1.2442×10^{-6}	b_4	3.8551×10^{-6}	a_4	1.4675×10^{-6}	b_4	-6.6922×10^{-5}
	a_5	3.2883×10^{-10}	b_5	-9.7413×10^{-9}	a_5	5.8535×10^{-10}	b_5	-2.2829×10^{-8}
	a_6	-2.6672×10^{-11}	b_6	-5.8645×10^{-11}	a_6	-3.1759×10^{-11}	b_6	1.5231×10^{-9}
第 5 調波	a_0	-2.9206×10	b_0	8.1936×10^2	a_0	-2.8031×10^1	b_0	7.5936×10^2
	a_1	9.2581×10^{-1}	b_1	-1.9377×10^1	正相分と同一		b_1	正相分と同一
	a_2	-1.3338×10^{-3}	b_2	3.8740×10^{-2}			b_2	
	a_3	-2.4598×10^{-4}	b_3	4.9429×10^{-3}			b_3	
	a_4	2.5255×10^{-6}	b_4	-4.8939×10^{-5}			b_4	
	a_5	1.4258×10^{-10}	b_5	-2.0508×10^{-9}			b_5	
	a_6	-5.5407×10^{-11}	b_6	9.9719×10^{-10}	a_6		b_6	
第 3 調波倍率		2 倍			2 倍			
第 5 調波倍率		1 倍			1 倍			
励磁電流比		4.506104			4.506104			

表一 8 単相供試変圧器特性

カ ッ ト コ ア 内 鉄 型 変 圧 器	
使用鉄心	G-11 厚さ 0.3mm
磁束密度	1.70wb/m ²
容 量	100VA 定格電圧 100V (1 次, 2 次)

11-3. 単相変圧器の近似式諸係数。主変圧器と同様、表一 8 に示す特性をもった供試変圧器の係数 a_k , b_k は表一 9 となる。

11-4. 15組の n 次調波電流源近似式。このようにして各変圧器の基本波端子電圧が確定すれば、(36) 式に上記の諸係数を代入することにより 15組の n 次調波電流源近似式は求められる。

表一 9 V 結線変圧器高調波近似式の諸係数

	第 3 調 波				第 5 調 波			
	大 き さ		位 相		大 き さ		位 相	
係 数	a_0	3.89017×10^{-1}	b_0	1.11187×10^2	a_0	-5.63351×10^0	b_0	-4.74133×10^2
	a_1	-7.42632×10^{-2}	b_1	-1.069×10^0	a_1	2.46193×10^{-2}	b_1	1.87940×10^1
	a_2	1.68607×10^{-3}	b_2	2.02604×10^{-2}	a_2	2.0935×10^{-3}	b_2	-3.44845×10^{-1}
	a_3	-1.81638×10^{-6}	b_3	-1.03855×10^{-4}	a_3	-2.98477×10^{-5}	b_3	2.79358×10^{-3}
	a_4	-9.31389×10^{-8}			a_4	1.30680×10^{-7}	b_4	-8.3322×10^{-6}
	a_5	1.15977×10^{-10}						
	a_6	2.53598×10^{-12}						
倍率	2 倍				3 倍			
	電流比		共用相	72.1258			専用相	36.0629

12. む す び

本論で述べたようにモデル配電系を対象とする高調波分布解析法の確立，これにもとづくプログラムの作成および数値解析に必要な入力データの処理は完成した。

目下本学の電子計算機 ACOS450に複素行列処理ライブラリを収納して，本格的数値解析の準備を進めている。数値解析結果が得られ次第その成果を発表したいと考えている。

最後に筆者がこのような研究に着手し得た動機は本学に新鋭の電子計算機が導入されたからであり，本学の理事者側の英断に心から敬意を表するとともに，計算の実施にあたっては本学の電子計算機室長加戸教授をはじめ加藤助教授，石井助手の御指導，御助力をいただいた事に深甚の謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 近代配電工学 1969 日原良造
- 2) 新潟大学工学部研究報告 1978, 3 (27号) 日原良造 外 1 名
- 3) 新潟大学工学部研究報告 1981, 3 (30号) 日原良造 外 1 名
- 4) 新潟大学工学部研究報告 1980, 3 (29号) 日原良造 外 1 名
- 5) 新潟大学工学部研究報告 1982, 3 (31号) 日原良造 外 1 名